

特集 災害と中毒—2— “人為災害”

# 建物火災による燃焼生成物の毒性

小林 恭一

危険物保安技術協会業務企画部長  
(前 消防庁危険物判定指導官)

## はじめに

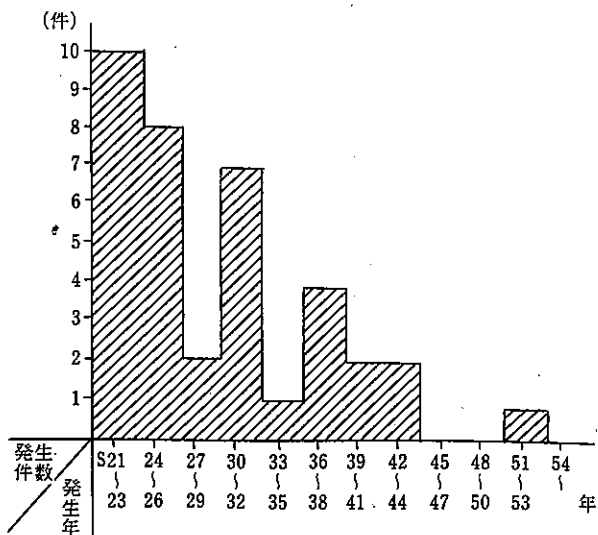
「最近の火災は火よりも煙の方が恐ろしい」といわれるようになって久しい。プラスチックを燃やしたときのいかにも毒性の強そうな臭いや、息詰まりそうに閉鎖性の高いオフィスビルのことを思い起こせば、“さもありなん”と納得がいきそうになるが、その実態については意外に知られていない。本稿では、建物火災による燃焼生成物の毒性と、それが人体に及ぼす影響などについて、統計と実験結果などをもとに解説してみることにしたい。

## 1. 火災による死者と死因の推移

### 1) 火災パターンの変化

日本では、近年まで、火災による被害は“火災発生→急激な炎上→隣棟延焼→市街地大火”というパターンが典型的なものと考えられてきた。これは旧来の日本の家屋構造と都市構造によるところが大きいのだが、このような火災パターンの場合は、大地震火災や大空襲などの同時多発的な火災を除くと、火災が発生しても死者が大量に出るということはあまりなかった。

ところが、日本が高度成長期に入り、都市構造や消防力が整備されて市街地大火が少なくな



注 (1)この図は、消防白書(平成3年版)から作成したものである  
(2)大火とは、この場合、建物の焼損面積が33,000m<sup>2</sup>以上のもののうち、工場火災、倉庫火災を除いたものをいう

図1 昭和21年以降の大火数の変遷

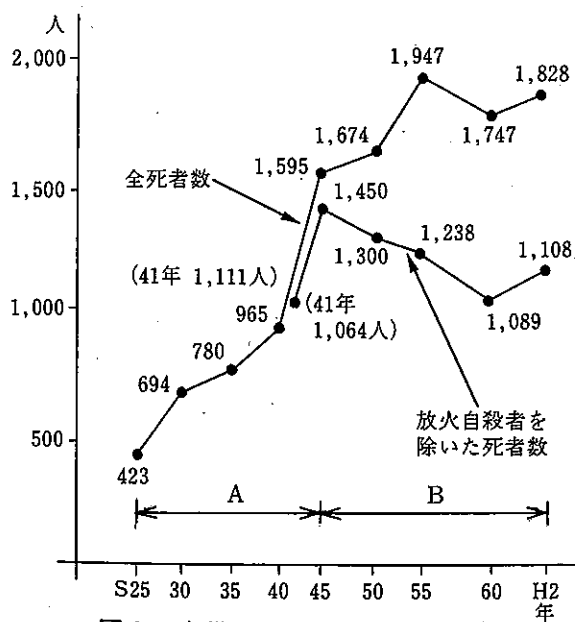


図2 火災による死者の数の推移  
(消防白書より作成)

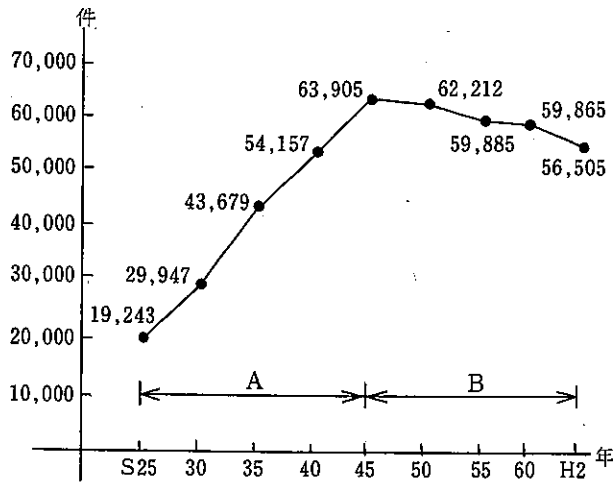


図3 出火件数の推移 (消防白書より作成)

る (図1参照) のと反比例するかのように、火災による死者が急激に増加した (図2のA部分参照)。

この理由については、火災そのものの件数が増加したこと (図3のA部分参照)、依然として家屋が急激に炎上しやすい構造をもっていたことなどと併せて、煙にまかれて逃げ遅れたり、CO中毒や窒息などによって死亡する (いわゆる「煙死」) 者が増加したことも大きな要因と考えられている。「煙死」者が増加した理由は、燃焼時に多量の煙や有毒ガスを発生する化学製品が建物内部に大量に用いられるようになった一

方で、建物の密閉構造化が進み、不完全燃焼によりCOが発生しやすくなったり、発生した煙や有毒ガスが建物内部に滞留しがちになったりしたためであると考えられる。

すなわち、建物構造や内部の可燃物の変化に伴って、火災による典型的な被害のパターンが“火災発生→大量の煙や有毒ガスの発生→逃げ遅れ→死亡”という形に変化してきたと考えられるのである。

2) 火災による死者の死因をめぐる逆説

図4は、火災による死者 (放火自殺者を除く、以下同じ) の死因に占める「火傷」と「CO中毒または窒息」との比率の推移をみたものである。この図をみると、奇妙なことに気付く。1)で立てた仮説のとおりなら、建物の密閉構造化や化学製品の使用状況はますます進んでいるはずであるから、CO中毒などによる死者の比率は増加しそうなものであるが、統計上は逆になっている。すなわち、

- ① 昭和40年代の半ばまでは、CO中毒などによる死者の比率が急増して火傷による死者の比率を大きく上回っており、1)の仮説のとおりである (図4のA部分)
- ② 昭和40年代半ば以降は、CO中毒などによる死者の比率は減少しているのに、火傷による死

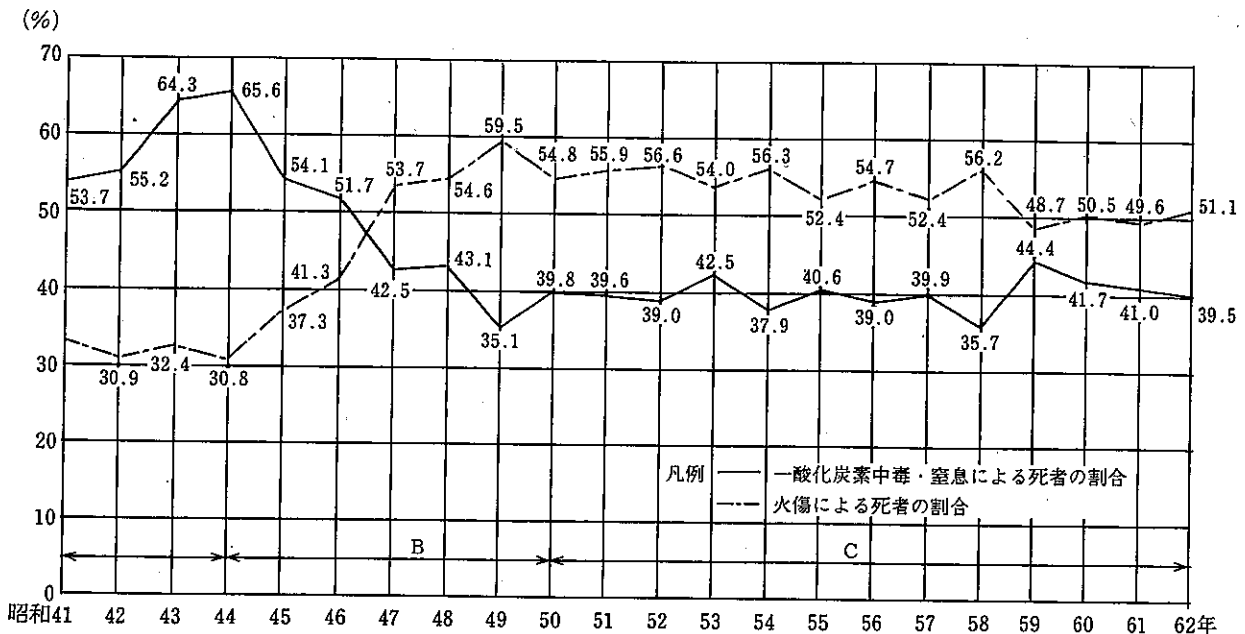


図4 放火自殺者を除く火災による死者の死因別の割合の推移

(火災による死者の実態について (消防庁予防課) より作成)

表1 高分子材料の燃焼生成ガス

材料	空気供給量 1000/hr	HCl	CO <sub>2</sub>	CO	COS	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> CN	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> CHO	ベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> OH	アクリロレイン	トルエン	アセトニトリル	アトリロニトリル	備考	
杉材	100 50	- -	1573 1397	16 66	- -	- -	- -	- -	- -	- 2.0	- 1.1	- 2.1	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリ塩化ビニル	100 50	286 279	657 594	177 207	- -	- -	- -	- -	- -	- 6.5	- 2.3	11 6.4	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリウレタン	100 50	- -	665 625	173 160	- -	- -	- -	- -	3.3 1.1	21 17	43 37	14 6.4	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリエチレン	100 50	- -	738 502	210 195	- -	- -	- -	- -	- -	72 65	185 187	34 9.5	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリスチレン	100 50	- -	619 590	178 207	- -	- -	- -	- -	- -	6.5 6.5	18 16	13 6.4	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリアクリロニトリル	100 50	- -	556 630	108 132	- -	- -	- -	- -	56 59	5.9 7.8	7.4 4.2	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
エポキシ樹脂	100 50	- -	1138 961	153 228	- -	- -	- -	- -	2.2 3.3	16 33	2.4 4.6	7.4 6.4	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ユリア樹脂	100 50	- -	1193 980	- 80	- -	- -	- -	- -	- 22	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
メラミン樹脂	100 50	- -	576 702	194 190	- -	- -	34 27	84 136	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
ポリ塩化ビニル	220 ml/min	230	<8	7.0	-	-	-	-	-	1.7	0.98	1.7	0.83	0.73	0.30	0.30	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ポリウレタン	"	-	88	57	-	-	-	-	<2	4.6	3.9	1.3	29	-	32	-	0.38	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
ポリエチレン	"	-	120	120	-	-	-	-	-	2.5	18	1.6	2.5	12	-	-	-	-	-	-	10	8.4	-	-	-	-	-
ポリプロピレン	"	-	21	25	-	-	-	-	-	1.5	2.1	3.3	-	-	27	7.9	-	-	-	-	5.6	3.9	-	-	-	-	-
ポリエステル	"	-	290	85	-	-	-	-	-	1.7	2.7	0.14	-	0.18	14	2.7	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	-
ポリアクリロニトリル	"	-	73	12	-	-	-	2.6	6.6	3.4	0.6	0.79	1.4	0.27	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	3.0	5.6	-	

加熱温度 700°C  
試料 0.1gr  
単位 mg/試料1gr  
出典 森本孝克  
(高分子22,  
No253(1973))

分解温度 500°C  
試料 100mg  
単位 mg/gr  
出典 齊藤直  
箭内英治  
(消防研究所技術  
資料No.10(1977))

者の比率は増加しているため昭和46年には両者が逆転している（同B部分）

- ③ 昭和50年以降はほぼ5:4の割合で火傷による死者の方が多い状態で現在にいたっている（同C部分）

のである。1)の仮説が正しいのなら、この両者の関係は少なくとも逆になっていないとおかしい。統計がこのような逆説を示すのはなぜであろうか。昭和40年代の中頃に何が起こったのであろうか。

このような疑問を解く鍵は、火災による死者の死因の決定方法にあると考えられる。火災による死者の死因には、大別すると「CO中毒または窒息」、「火傷」および「(避難のための飛び降りなどによる)打撲骨折」の三つがある。火災による死者の死因を判定するのは検死を担当する医師であり、前述の消防の統計も医師による検死の結果を集計しているにすぎない。現在行われている検死の方法や分類の方法を調べてみると、「CO中毒または窒息」とは文字どおりCOガスによる中毒と窒息または酸欠が死亡の直接の原因であるもののことであり、CO以外の有毒ガスによる死亡は含まれていないとのことである。一方、「火傷」の方にはなんらかの原因によって身動きできなくなって焼死した者も、「CO中毒または窒息」と「打撲骨折」以外の理由によって死亡した後で死体が焼けたものも皆含まれてしまうとのことである。

このような検死や死因判定のシステムを前提として考えると、昭和40年代半ばに起こった死因の逆転現象の原因については、次のような仮説が考えられる。

- ① 化学製品の中には燃焼時にCO以外の有毒ガスを大量に発生するものがあるのではないか？
- ② そのような化学製品が大量に用いられるようになると、火災時に、CO以外の有毒ガスによって身動きできなくなって焼死したり、CO以外の有毒ガスによって死亡した後で死体が焼けたりするものが増加するのではないか？
- ③ このような場合、その死因は「火傷」と判定されるため、統計上は「火傷」の比率が増えて

「CO中毒または窒息」の比率が減少することになるのではないか？

- ④ このような化学製品が大量に用いられるようになったのが昭和40年代の中頃ではないか？

この仮説が正しいとすると、毎年の火災による死者数の中にはCO以外の有毒ガスに起因する死者が相当数含まれていることになる。

## 2. 火災時の燃焼生成物

1では、火災統計から、火災による死者の死因と火災時の有毒ガスについて考察してみたのだが、もっと直接的に、火災時に発生する燃焼生成物とその毒性について行った研究も多い。

建物火災といっても、化学工場の火災や特殊な物品を貯蔵する倉庫の火災などの場合は特異な有毒ガスを発生する可能性があるので、とりあえず除外して考えることとすると、通常の住宅や事務所ビル、店舗などのごく普通の建物で使用されている化学物質を様々な条件で燃焼させて、発生する燃焼生成物を定量分析してみるのが一般的なアプローチであろう。そのような研究の例を表1に示す。

一方、各種ガスの許容濃度は表2のとおりである。

表1と表2とを見比べてみると、通常の建物火災の際に化学製品から発生するCO以外の有毒ガスで注意すべきものは、主として①HCN、②アクロレイン、③HClの三つであることが推測できる。

HCNはメラミン樹脂、ポリアクリロニトリルなど、構成分子中に窒素を含む物質（その意味では絹や羊毛も含まれる）を燃焼させると容易に発生する。アクロレインはポリエチレンやポリプロピレン、HClはポリ塩化ビニルなどの普遍的に使われている物質を燃焼させると発生するので、最近の建物火災においては、多かれ少なかれこれらの有毒ガスが発生しているとみなければならないだろう。

## 3. 旧富士見病院火災実験

実験室での定量分析以外に、実際に建物を燃

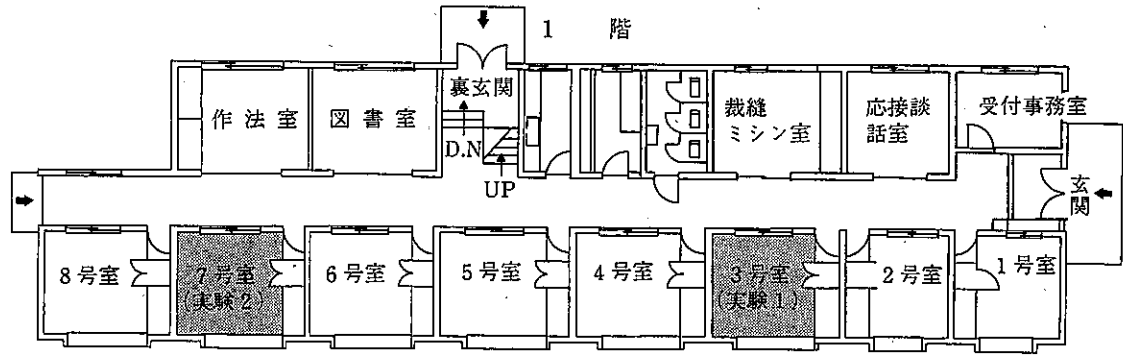


図5 旧富士見病院看護婦宿舎1階平面図

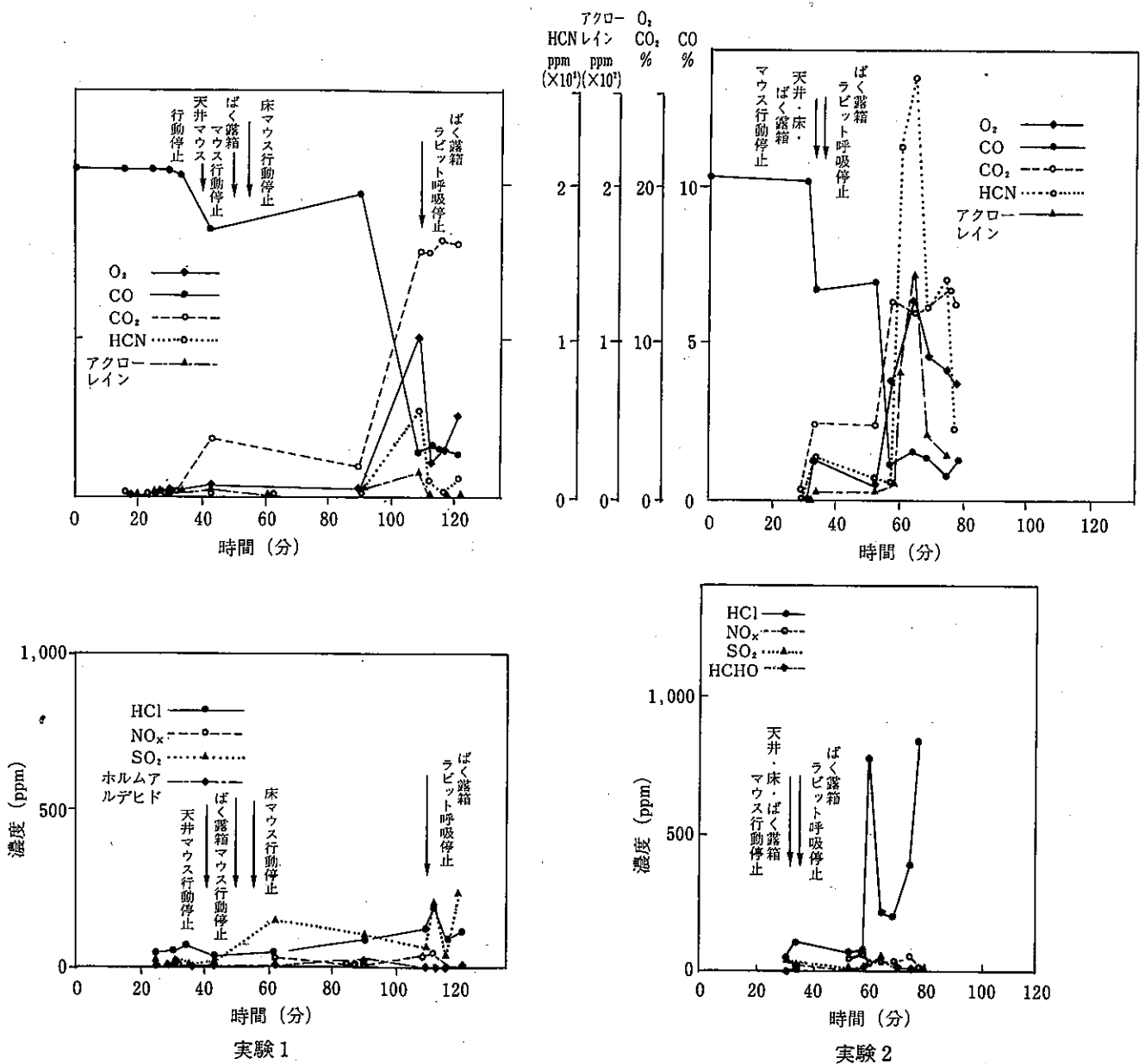


表2 各種ガス許容濃度 (ACGIH 1986~1987)

物質名	化学式	許容濃度	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
一酸化炭素	CO	50	55
シアン化水素	HCN (皮)	10	10
塩化水素	HCl	5	7
アクロレイン	CH <sub>2</sub> =CHCHO	0.1	0.25
ホルムアルデヒド	HCHO	1	1.5
二酸化窒素	NO <sub>2</sub>	3	6
二酸化炭素	CO <sub>2</sub>	5,000	9,000
アンモニア	NH <sub>3</sub>	50	18
硫化水素	H <sub>2</sub> S	10	14
亜硫酸ガス	SO <sub>2</sub>	5	13

注) 表中 (皮) 印のものは、気道以外にも、皮膚、粘膜を通して侵入し、全身的影響を起こしうる物質である

焼させ、その際に発生する燃焼生成物を採取して分析したり、マウスやラビットに吸入させたりする実験もこれまでに幾つか行われている。

これらの中で、筆者も係わり、消防庁の消防研究所が中心になって、静岡県環境衛生センターなどの協力を得て行った旧富士見病院看護婦宿舍の火災実験 (昭和61年7月3日、静岡県清水市) について紹介する (詳細については、「火災燃焼生成物の毒性 (自治省消防庁予防課監修: 新日本法規出版)」参照)。

実験を行ったのは、図5のような平面プランを有する耐火構造2階建ての建物である。ほぼ同一の条件を持つ3号室 (実験1) と7号室 (実験2) において、表3に示したように内部の積載可燃物を、実験1ではすべて天然系のものでし、実験2ではできるだけ化学製品を用いたものとして、別々に薫焼状態から火災を発生させ

表3 火災室収納可燃物

3号室 (天然系)		7号室 (合成系)	
・タンス類	120kg	・タンス類	63kg
・机	18	・机	41
・椅子	2	・椅子	4
・本棚	10	・本棚	26
・こたつ	4	・こたつ	11
・下駄箱	7	・下駄箱	20
・カーペット (羊毛)	20	・テレビ	27
・カーテン (綿)	4	・電話機	2
・布団類 (綿)	59.2	・カーペット (アクリル)	16
・まくら (綿)	3	・カーテン (アクリル, ポリエステルなど)	11.1
・毛布 (羊毛)	5.4	・布団類 (アクリル, ナイロン, ポリエステルなど)	28.4
・布類 (綿, 絹, 羊毛)	21.8	・マットレス (ウレタン)	8.4
・ゴム	3	・まくら (化繊)	2.2
・スキー靴	3	・毛布 (アクリル)	7.4
・皮革	5.1	・布類 (アクリル, ナイロン, ポリエステルなど)	16.5
・ダンボール	11	・塩ビシート	2
・新聞紙	10	・合成皮革	4.9
・本	100	・新聞紙	10
・木材 (天井内装用)	11	・本	100
・壁紙 ( " )	4	・木材 (天井内装用)	11
・合板 ( " )	27.3	・合板 ( " )	27.3
		・硬質ウレタンフォーム (天井内装用)	7
		・塩ビ壁紙 (天井内装用)	4
計	449kg	計	450kg
		(合成可燃物27.3%)	

積載可燃物 約450kg (28kg/m<sup>2</sup>)

固定可燃物 (床, 土台を除く) 約350kg (22kg/m<sup>2</sup>)

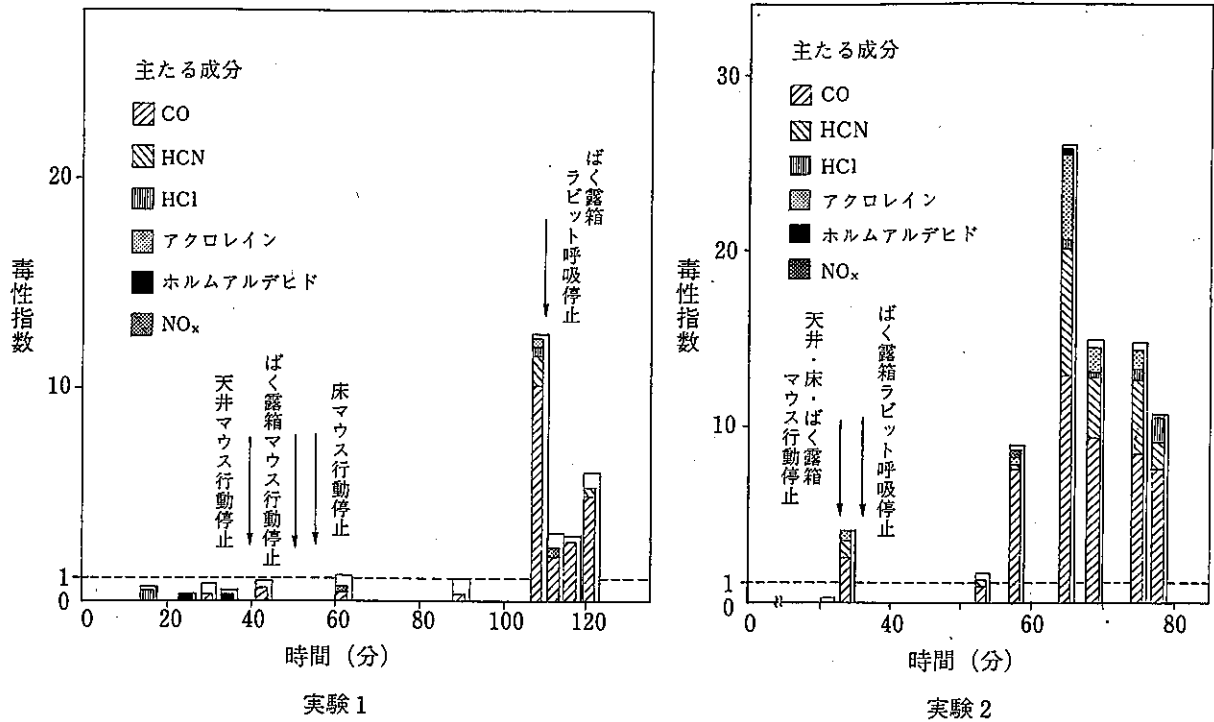


図7 火災室における毒性指数の変化(守川時生：消防研究所資料)

てデータをとった。

図6は火災室における各種ガス濃度の変化を、図7および図8は火災室と階段室における毒性指数(ガス濃度と致死濃度(ここでは表4の値を用いている)との比)の変化を表したものであり、また表5はラビットの臨床観察結果と死後のラビットの血液分析の結果を示したものである。

これらの実験結果をまとめると、概ね以下のとおりとなる。

- ① 火災初期の薫焼中における有毒ガスの発生量は、実験1(天然系可燃物)、実験2(合成系を含む可燃物)とも致死量に達しておらず、マウスやラビットの行動停止もなかった
- ② 発炎直後の有毒ガスの毒性指数は、  
 実験1の場合、COが0.6、アクロレインが0.15で、全毒性指数は0.92となり、致死量にわずかに達しなかった  
 実験2の場合、COが2.54で、これだけで致死量を超えており、その他のガスも、HCNが0.78、HCHOが0.23、全毒性指数も4.05となって、致死量をはるかに超える値を示している

表4 毒性指数算出に用いた致死濃度

致死濃度(5~10分曝露)	
CO	5,000ppm
HCN	350
アクロレイン	30
HCl	500
SO <sub>2</sub>	500
ホルムアルデヒド	180

- ③ この結果、火災室から採取した空気を吸入させたラビットは、実験1の場合は発炎直後には呼吸停止にいたっていない(呼吸停止したのはフラッシュオーバー直前(実験開始後115分頃)の時期)が、実験2では発炎後数分(実験開始後34~39分)ですべて呼吸停止した
- ④ フラッシュオーバーの時期には、実験1、2とも、O<sub>2</sub>の濃度が急減する一方で燃焼ガスの発生量が急増し、以後の火災最盛期には、大量の煙と酸欠空気および有毒ガスが火災室の外にも急速に拡大していった
- ⑤ このため、階段室から採取した空気を吸入させていたラビットは、実験1、2ともすべてフラッシュオーバー直後に呼吸停止した
- ⑥ 火災最盛期に検出された有毒ガスの種類は

実験1, 2とも同じで, COをはじめ, HCN, アクロレイン, HCl, SO<sub>2</sub>, HCHO, NO<sub>2</sub>であった

⑦ 火災最盛期の有毒ガスの毒性指数は,

実験1の場合はCOが10.24, HCNが1.52, アクロレインが0.53で, 全毒性指数は12.7

実験2の場合はCOが12.8, HCNが7.23, アクロレインが4.9, HClが0.45で, 全毒性指数は25.9

であった。両者ともCOの占める比重が最も大きく, また実験1でHCNの毒性指数が1を超えていることも注目されるが,

実験2の全毒性指数は実験1の2倍に達

すること,

実験2のCO以外の有毒ガスの毒性の総量は, 実験1に比べてはるかに大きいことは, 特記しておかなければならない。

以上のような実験結果から考えると, 化学製品が多用されるようになって, 火災の際にCOの果たす役割は依然としてきわめて大きい, 化学製品があまり使用されなかった時代に比べると,

① 火災時に発生する有毒ガスの毒性の総量ははるかに増大していること

② HCN, アクロレイン, HClなどのCO以

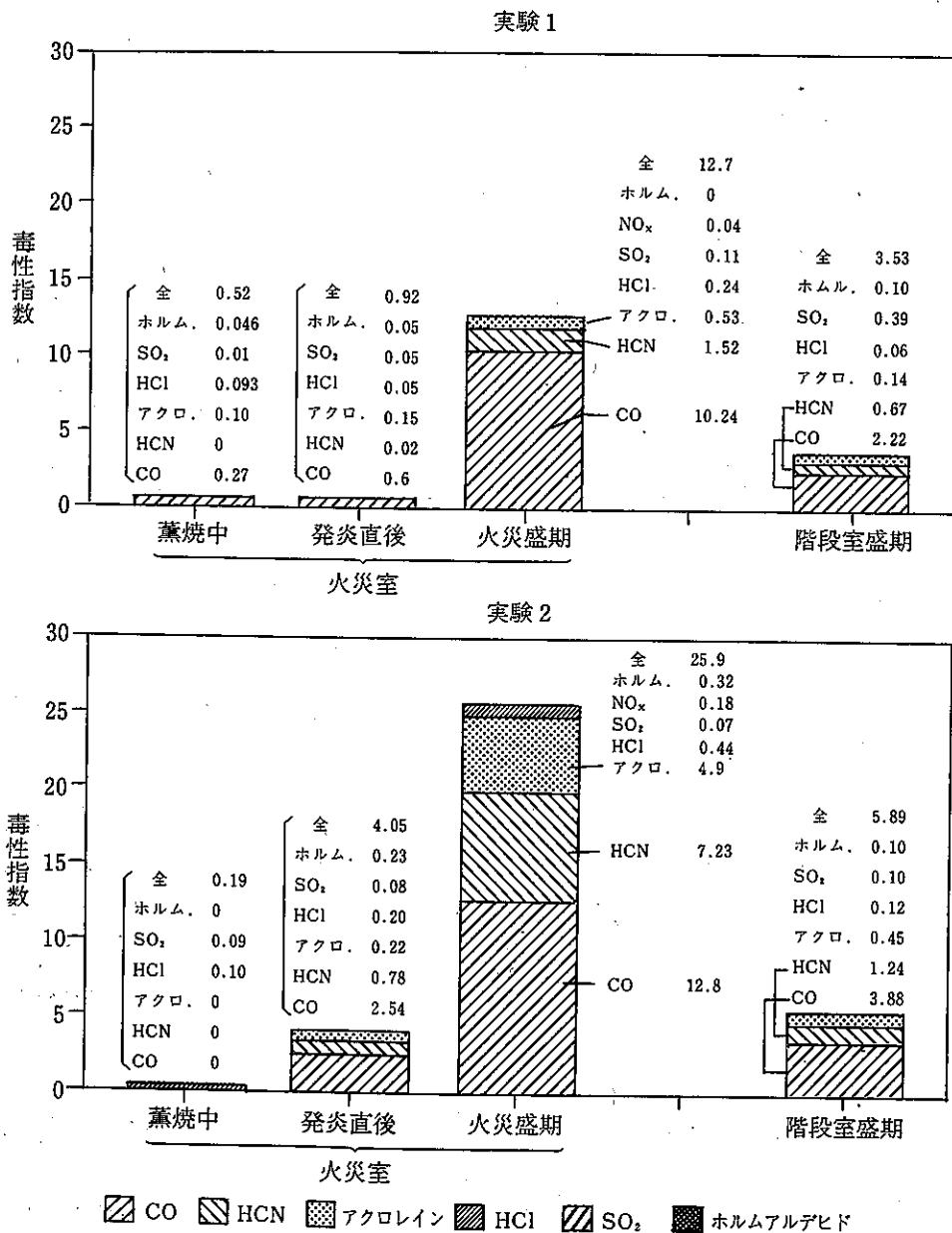


図8 火災室と階段室における各種ガスの毒性指数



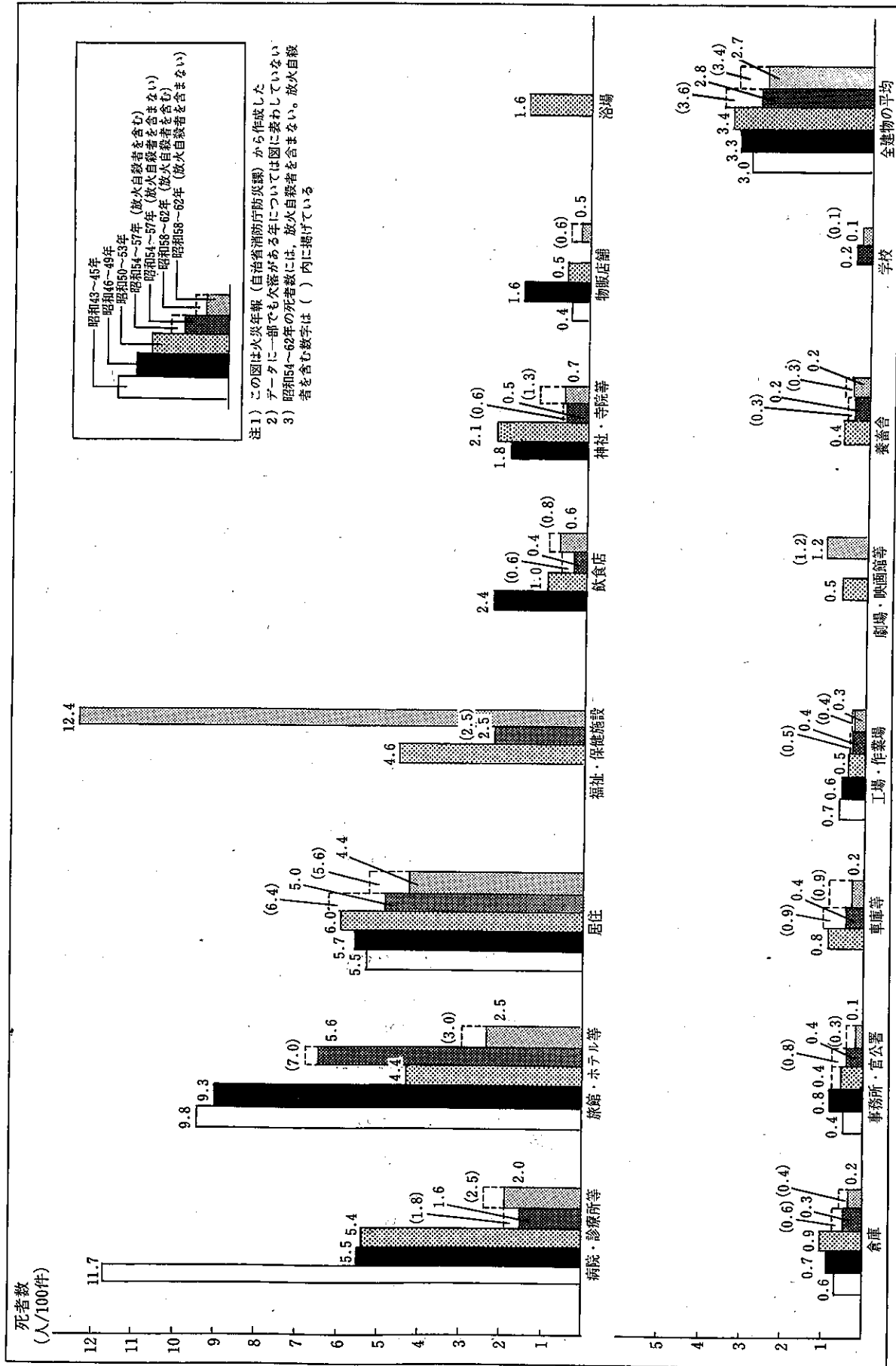


図9 建物用途別にみた火災100件当たり死者数

表5 ラビットの臨床観察の結果と死後の血液検査結果

	ラビット No.	症状出現時間			ラビットの死後の 血液検査結果	
		四肢 マヒ	鼻汁	呼吸 停止	血中シアン 濃度 ( $\mu\text{g/ml}$ )	COヘモグ ロビン濃度 (%)
		(分)	(分)	(分)		
実験 1	火災室 1	108	25	110	0.53	65.1
	火災室 2	108	26	110	1.05	55.2
	火災室 3	108	25	110	0.39	57.7
	階段室 1	112	+	115	0.91	56.1
	階段室 2	113	+	115	0.76	48.8
	階段室 3	112	+	114	0.82	47.5
実験 2	火災室 1	33	20	39	3.28	61.8
	火災室 2	34	20	35	1.01	47.5
	火災室 3	33	20	34	2.65	44.4
	階段室 1	66	50	71	1.25	57.2
	階段室 2	65	50	69	1.63	58.1
	階段室 3	66	49	67	血液凝固	血液凝固

注) 血中シアン致死濃度  $3\mu\text{g/ml}$   
COヘモグロビン致死濃度 50%

外の有毒ガスの果たす役割が相当増大してきていること

がうかがえる。

また、この実験を実際にみた印象では、実験2におけるフラッシュオーバー以降の煙の発生量は実験1の比ではなく、激しい勢いで黄褐色の煙が渦巻いて噴出する様は、実験者がたじろぐほどであった。このことから考えると、化学製品が多用された建物の火災では、有毒ガスの危険性の他に、このように猛烈な勢いで発生する濃い煙に巻かれて逃げ遅れるケースも相当あり、このことも1の2)の火災による死者の死因の逆転現象に影響しているのではないかと推測される。

#### 4. 火災の危険性の変化と住宅防火対策

3に記したような結果をみると、火災が発生した場合の危険性は以前に比べて増大しているように思われるかも知れないが、事実はその単純ではない。

まず、図2のB部分をもみてもわかるように、昭和50年代以降、火災による死者の数は横ばいからやや減少気味に推移しているが、これは、火災の件数が減少気味(図3のB部分参照)であることのほか、建物自体の火災安全性が増大してきたことによるところが大きい。

図9は用途別にみた建物火災100件あたりの死者発生率の推移であるが、居住用建物(住宅)以外の用途の建物の死者発生率が昭和40年代に比べて激減していることがおわかりいただけるだろう。これは、住宅以外の用途の建物に適用される建築基準法や消防法が昭和40年代後半に大幅に強化されたこと、これらの用途の建物の耐火構造化が進んだことなどが大きな理由と考えられる。

一方、住宅の死者発生率はむしろ増加の傾向さえみられるが、これは、

① 住宅については建築基準法や消防法の強化が行われていないこと

② 火災による死者の多数を占める老人の住居は、昔ながらの燃えやすい構造を有しているものが多いと考えられること

などのためと考えられ、3で検討した化学製品の燃焼時の危険性がこのあたりに現れているとみるべきなのであろう。

今後、高齢者の数が急増していくこと、高齢者は煙や有毒ガスに対する耐性がとくに弱いといわれていることなどを考えると、このままでは住宅火災による死者の増加の問題が社会問題にまで発展する可能性もあると指摘されている。

このため消防庁と建設省では、昨年からは、火災を発生させないことと火災を早期に(できれば薫焼状態のうちに)発見し、消火することを中心とした各種の対策を「住宅防火対策の推進」という形で国民運動的に推進しようとしているのである。

注) 図5~8および表1~5は「火災燃焼生成物の毒性(自治省消防庁予防課監修 新日本法規出版)」の図表およびデータから作成したものである。