

燃焼排ガスによる室内空気の汚染について (第2報)

齊 藤 安 正*
 山 形 真 司*
 木 内 孝 文**

1. はじめに

近年、木造建物より一般に通気性の良くない耐火建物の増加と、アルミサッシ等の普及により、建物内の機密性が高まる傾向が見受けられる。このような建物内において、十分な換気を行わずに開放型の燃焼器具(以下火器と称する)を使用した場合、建物内部の空気における酸素濃度が低下することにより、火器の燃焼は不完全燃焼となって一酸化炭素等の不完全燃焼ガスが放出されてくる。

東京消防庁管内におけるこのような火器の不完全燃焼による事故(一酸化炭素中毒)は、調査⁽¹⁾によると昭和49年に71件、昭和50年に72件、昭和51年に70件発生しており、今回は昨年報告した「燃焼排ガスによる室内空気の汚染について」の結果を基礎にして、現象究明のための実験を進めてきたので、その概要を報告する。

2. 実験目的

通気性の良くない室内で火器を使用した場合における、一酸化炭素の発生状況及び一酸化炭素濃度と酸素濃度の関係を把握し、不完全燃焼による事故の発生過程を究明する。

3. 実験設定

(1) 実験室

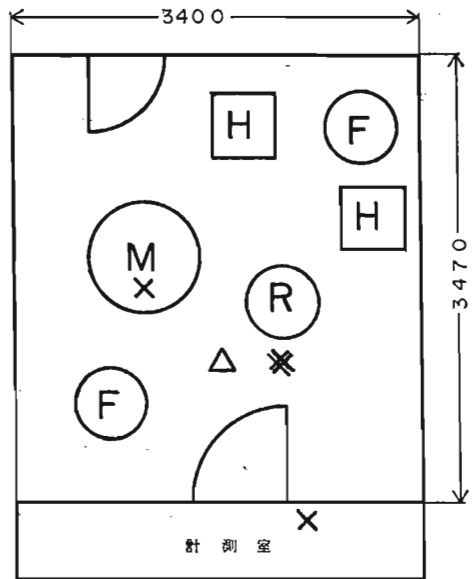
実験室の天井、床、壁は全てコンクリートであり、その容積は32.03m³(間口3.4m、奥行3.47m、高さ2.8m)である。これは、天井高2.2mとすると9畳の部屋に相当する。また、開口部は外に通じる換気口(40cm×40cm)と計測室との出入口(92cm×183cm)の2つであり、実験中はどちらも閉鎖してガムテープで目張りをした。

(2) 実験装置

- ア 酸素濃度計
- イ 一酸化炭素濃度計

- ウ 二酸化炭素濃度計
 - エ 熱電対及び打点式記録計
 - オ 輻射計
 - カ ヒーター(300W×2台)
 - キ 扇風機(2台)
- これ等の配置は、図1に示す通りである。

図 1



- M: 供試体
- F: 扇風機
- H: ヒーター
- R: 輻射計
- △: ガス吸入口
- X: 温度測定点
- ※: //

(3) 供試体

今回の実験においては、火器として、都市ガス6B(発熱量5,000kcal/m³)用器具と石油器具を使用した。これ等の器具は全て新品である。また、参考として、練炭コンロについても実験を行なった。各供試体に関するデータを表に示す。

* 第二研究室 ** 八王子消防署

表 1

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
器具名	ストーブ	ストーブ	ストーブ	ストーブ	ストーブ	ストーブ	コンロ	コンロ	瞬間沸沸器	瞬間沸沸器	コンロ
表示燃料消費量 又は発熱量	0.555ℓ/hr	0.23ℓ/hr	0.258ℓ/hr	0.26ℓ/hr	2,150 kcal/hr	2,400 kcal/hr	4,600 kcal/hr	2,150 kcal/hr	8,000 kcal/hr	9,990 kcal/hr	
燃焼継続時間 (hr)	$\frac{40}{60}$	$\frac{6}{60}$	$\frac{3}{60}$	$\frac{40}{21}$	$\frac{42}{7}$	$\frac{30}{5}$	$\frac{40}{9}$	$\frac{30}{7}$	$\frac{59}{2}$	$\frac{20}{3}$	$\frac{15}{10}$ $\frac{60}{60}$
単位時間当りの 燃料消費量	2,292 kcal/hr	1,339 kcal/hr	904 kcal/hr	2,284 kcal/hr	1,937 kcal/hr	2,823 kcal/hr	2,263 kcal/hr	2,973 kcal/hr	5,539 kcal/hr	4,865 kcal/hr	
強制消火、 自然消火の別	強制	強制	強制	強制	強制	強制	強制	強制	自然	自然	自然
使用燃料	灯油	灯油	灯油	灯油	都市ガス (6B)	都市ガス (6B)	都市ガス (6B)	都市ガス (6B)	都市ガス (6B)	都市ガス (6B)	練炭
燃焼方式	複筒白炎	複筒青炎	単筒白炎	単筒青炎	赤外線 (セラミック プレート)	耐熱金網	円孔	円孔			
換気量 (m ³ /hr)	4.23	4.39	4.96	4.42	3.46	4.36	5.45	5.38	2.01	3.91	3.46
換気回数	0.132	0.137	0.155	0.138	0.108	0.136	0.170	0.168	0.072	0.122	0.108

表 2

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
一酸化炭素濃度 (%)	$\frac{0}{0.0004}$	$\frac{0.0156}{0.0160}$	$\frac{0.0001}{0.0008}$	$\frac{0.0104}{0.0112}$	$\frac{0.0012}{0.0013}$	$\frac{0}{0.0017}$	0	0	0	0	—
二酸化炭素濃度 (%)	$\frac{3.50}{4.60}$	$\frac{1.20}{4.47}$	$\frac{4.68}{4.83}$	$\frac{4.10}{4.17}$	$\frac{2.80}{3.80}$	$\frac{0.31}{5.60}$	$\frac{0.12}{0.15}$	$\frac{0.40}{0.60}$	$\frac{2.30}{2.62}$	$\frac{4.33}{4.43}$	—

4. 実験内容

(1) 測定項目

ア 酸素濃度 (1点)

イ 一酸化炭素濃度 (1点)

ウ 二酸化炭素濃度 (1点)

エ 温度 (4点)

温度は図1の※印に示す位置の上下2点(床面から65cmと120cm)と、×印に示す計測室(1点)及び供試体の燃焼排ガス(1点)について測定した。

オ 放射量 (1点)

供試体の燃焼状態を視視することが不可能な場合に、これを確認するために放射計を用いた。

(2) 火器燃焼中における測定

各火器を単体ごとに、目張りされた実験室内で燃焼させ、不完全燃焼が発生する過程における各ガス濃度を測定した。これらのガス濃度を測定するための吸入口は、図1の△印の箇所(床面から140cm)だけであり、実験室内のガス分布を一樣にする必要があるため、扇風機2台を使用して室内空気を攪拌し、この確認方法として空気温度を測定した。つまり、実験室上下の温度差が微小ならば実験室内の空気はよく攪拌されており、ガス分布は一樣であると見なせるからである。また、計測室における温度測定は、実験室内部との温度差が一回の実験中において、一樣であるかどうか、また、実際に即しているかを確認するために行なった。

各実験での燃焼停止の仕方は、自然消火と、強制消火の2種類である。自然消火とは、酸素濃度の低下により、燃焼が継続できなくなり自然に消えることであり、強制消火とは、酸素濃度及び二酸化炭素濃度がほぼ一定に近づいた場合に、人為的に消火することである。

(3) 火器燃焼停止後における測定

各実験毎の換気量と換気回数を求めるために、火器の燃焼停止後の各ガス濃度を測定した。なお、燃焼停止と同時に、ヒーターのスイッチを入れたが、これは実験室内の温度を燃焼中と等しく保ち、実験室内外の温度差を燃焼停止後も一定とするためである。

(4) 正常燃焼時における一酸化炭素及び二酸化炭素の発生状況の比較

実験室内の空気を、正常(酸素濃度21%の状態)に保って各火器を燃焼させ、一酸化炭素濃度と二酸化炭素濃度を測定した。ただし、練炭については省略した。

5. 実験結果

(1) 各ガス濃度の測定結果

各ガス濃度の測定結果を、石油ストーブ、ガスストーブ、ガスコンロ、ガス瞬間湯沸器、練炭コンロに分類して次に示す。

ア 酸素濃度

酸素濃度の低下速度は、時間に対しほぼ一定でこの傾向は練炭を除く全ての火器に共通して見られた。また、同一燃料を使用する火器について比較すると、燃料消費率の大きな火器は、酸素をより多く消費するために、酸素濃度の低下は早くなった。この例として、実験No1と実験No3を比較してみる(図2-1)。

燃焼開始から2時間30分時点を見ると、実験No1においては約16%、実験No3においては約19%である。燃料消費率は、前者が0.282ℓ/hr、後者が0.111ℓ/hrである。この様に、燃料消費率は酸素濃度の低下速度に大きな影響を与える。

図2-1

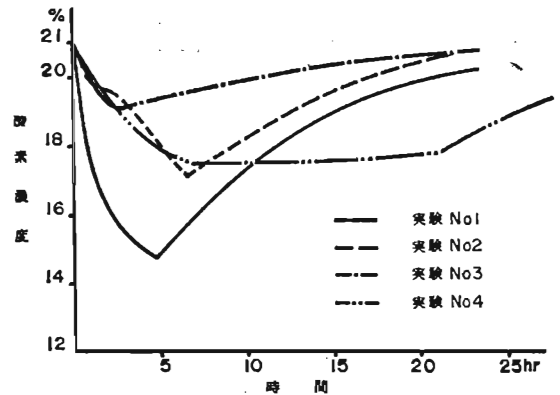


図3-1

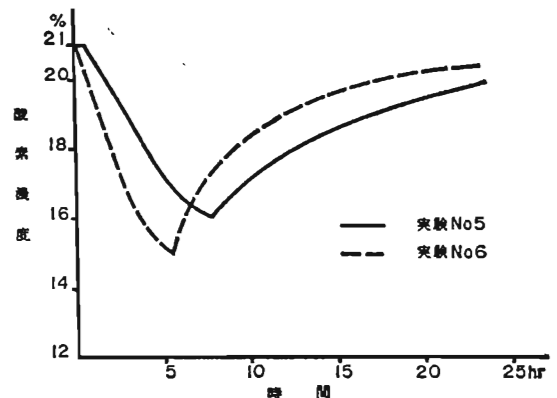


図 4-1

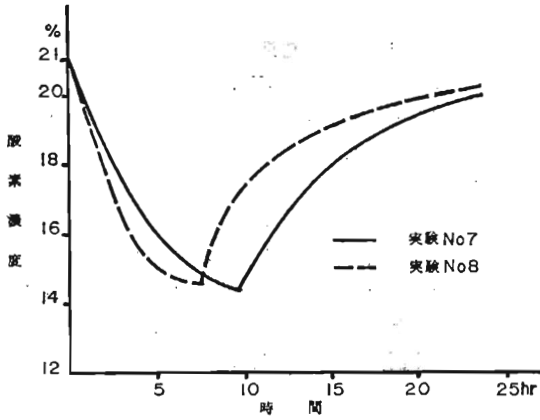


図 5-1

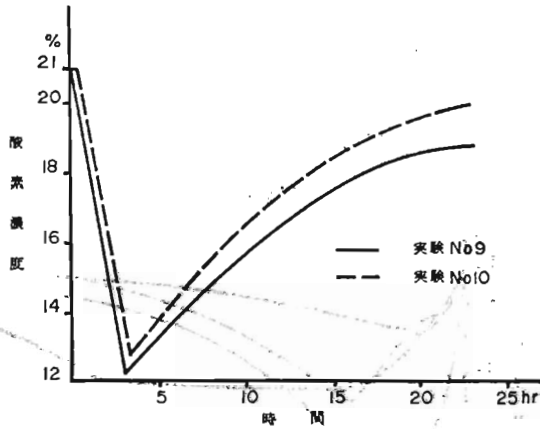


図 6-1

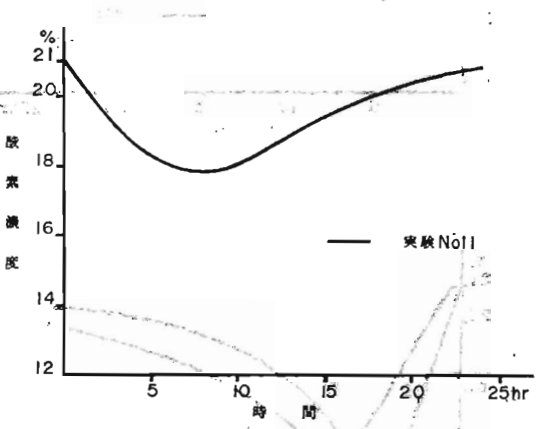


図 2-2

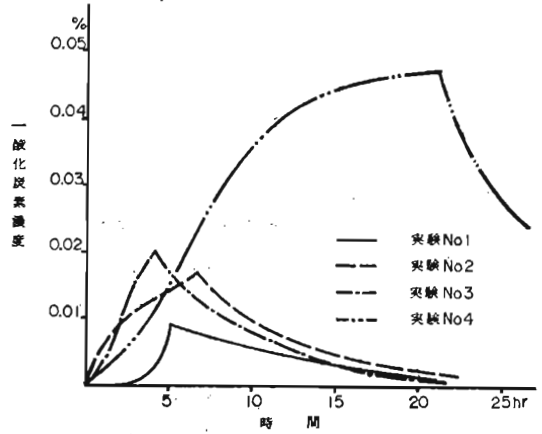


図 3-2

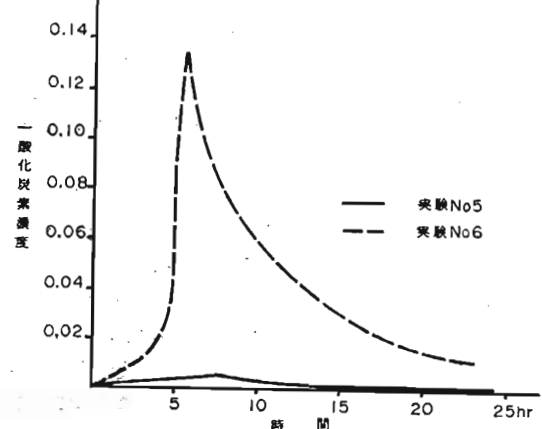
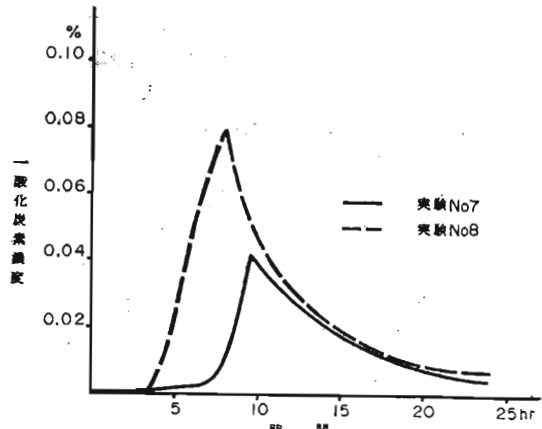


図 4-2



イ. 一酸化炭素濃度

一酸化炭素の発生量や発生過程は、燃焼方式等により違っている。このことは、同一燃料を用いる火器であっても同様のことが言える。

今回の実験結果について、一酸化炭素の発生の仕方により分類すると、次の様になる。

- (7) 実験開始時から発生し、途中から急激に増加するタイプ。(実験No. 6, 7)
- (i) 実験開始時から、ほぼ同じ割合で発生を続けるタイプ。(実験No. 2, 3, 4, 5)
- (c) 実験開始時には発生が見られず、途中から徐々に発生し、後に急激に増加するタイプ。

図 5-2

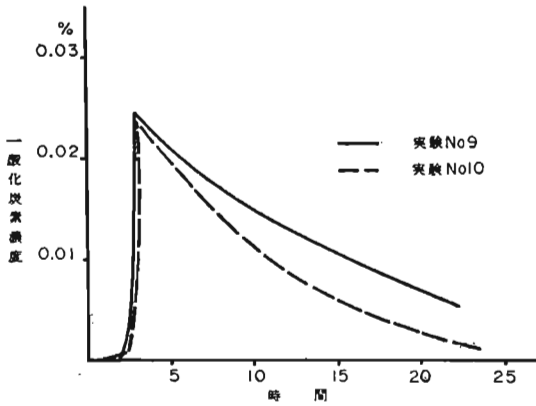


図 3-3

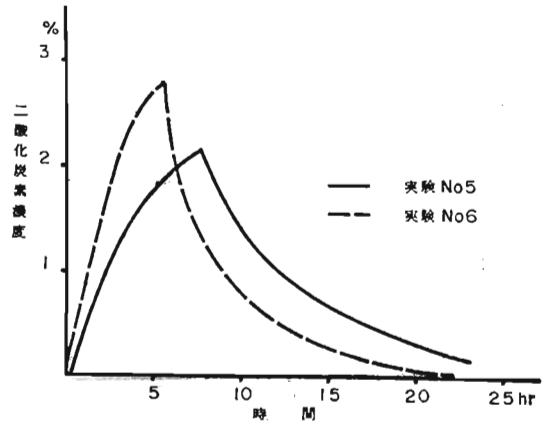


図 6-2

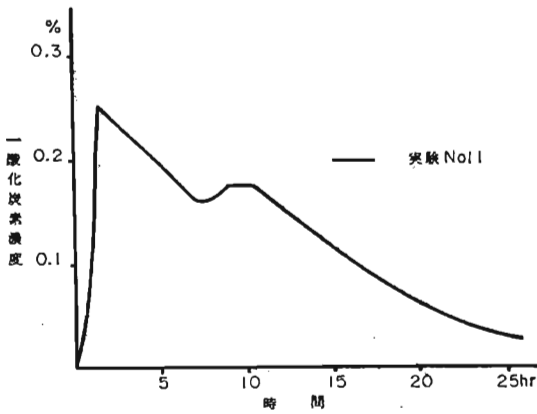
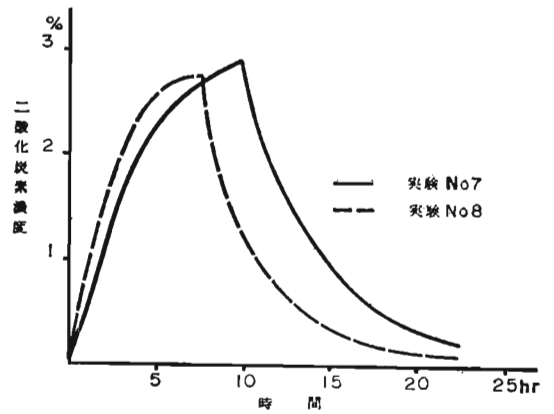


図 4-3



(実験No.10)

(イ) 実験開始時には発生が見られず、途中から急激に増加するタイプ。(実験No.1, 8, 9)

ウ 二酸化炭素濃度

二酸化炭素濃度は、酸素濃度の低下に対応して増加したが、このことは、全ての火器に共通して

図 2-3

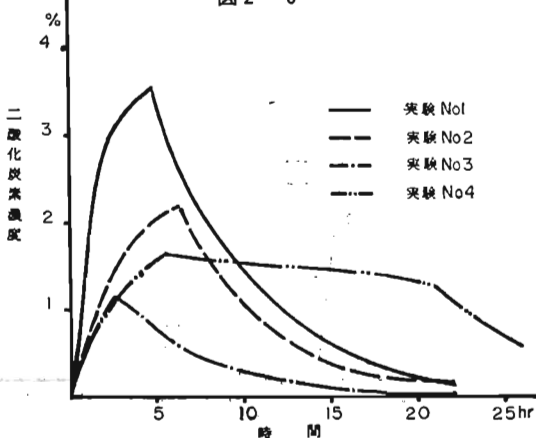
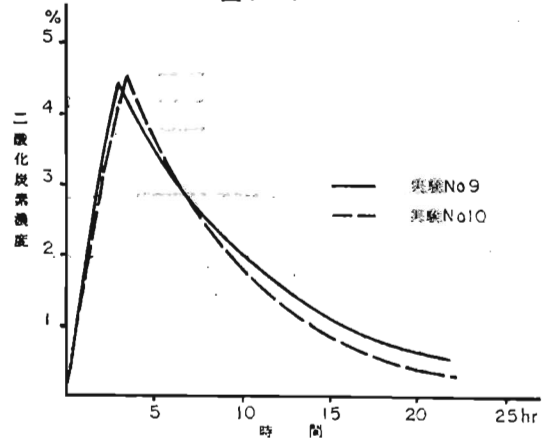


図 5-3



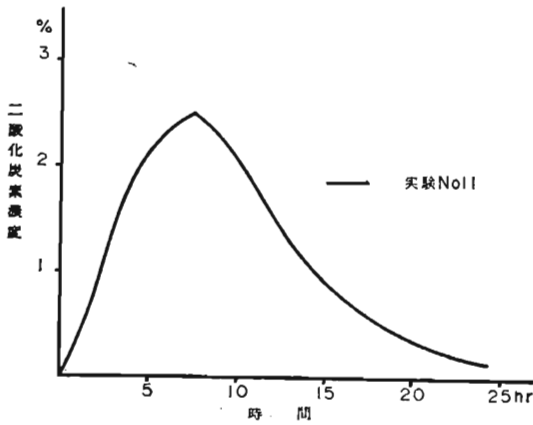
いた。

(2) 正常燃焼時における一酸化炭素及び二酸化炭素の発生状況の比較

測定の結果は表 2 の通りである。

計器の性能上、ここでの一酸化炭素濃度 0 というのは 0.0001% (1 ppm) 未満、二酸化炭素濃度 0 と

図6-3



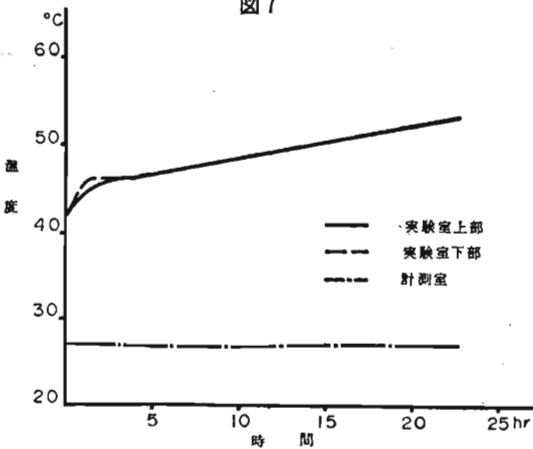
というのは0.01%未満のことである。

二酸化炭素は、全ての火器で発生していたが、一酸化炭素に関しては、石油ストーブ、ガスストーブで発生していたのに対し、ガスコンロ、ガス瞬間湯沸器では発生していなかった。

(3) 温度

温度測定の結果、各実験において実験室内上下の温度差は図7(実験No.3)に見られるように、最高1℃以内であった。この結果から、実験室内の空気は良く攪拌されていたと言える。

図7



実験室内外の温度差を一定に保つため、火器の燃焼停止後にヒーター(600W)を使用した⁵⁾、このヒーターの発熱量は

$$H = 0.24 \times 600 \times 60^2 \times 10^{-8} = 518.4 \text{ (kcal/hr)}$$

であるから、図7の場合には、使用された火器の発熱量(976.8kcal/hr)より相当少ないため、消火後の温度上昇がゆるやかになっている。また、消火後も温度上昇が続くのは、実験室がコンクリートで囲まれ、その上換気も少なく、熱が放散しにくいから

である。

(4) 換気量, 換気回数

燃料別, 器具別の換気量, 換気回数を求め表1に示した。これらの算出方法は、前回報告済みなのでここでは省略する。

今回の実験では、酸欠状態を早く発生させるために開口部に目張りをしたことにより、換気回数は0.1~0.7回/hrと全般に一般家屋のものより少なくなった。

文献⁽²⁾によると、一般に鉄筋コンクリート造洋室の換気回数は0.3~1.0回/hrとされているが、これと比較しても少ない。しかし、一般家庭で火器を使用する場合、ガスコンロとガスストーブというように複数の火器を同時に使用することがあり、その場合における酸素濃度と低下速度は、今回の実験と大差ないか、それ以上になる場合も充分考えられる。

(5) 酸素濃度と一酸化炭素濃度の関係

不完全燃焼による一酸化炭素の発生を、酸素濃度と関連して考察する手段として、CO-O₂特性グラフ(一酸化炭素-酸素特性グラフ)がある。

このグラフの作成には、次式⁽³⁾を用いる。

$$m = \frac{R}{B} \left(\frac{\Delta C}{\Delta t} \right)$$

m: 一酸化炭素発生率 (m³/kg又はm³/m³)
(単位燃料当りの一酸化炭素の発生量)

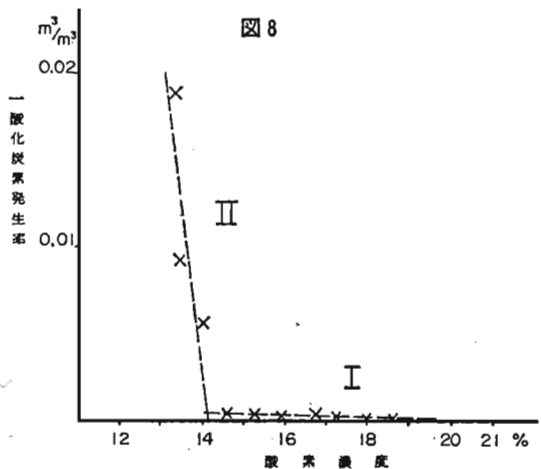
R: 実験室容積 (m³)

B: 燃料消費率 (kg/hr又はm³/hr)

Δt: 微小時間

ΔC: Δt 間における一酸化炭素濃度の増減量

この式に、実験No.10の値を代入して、横軸に酸素濃度、縦軸に一酸化炭素発生率を取りプロット(×印)したのが図8のグラフである。



プロットしたこれらの点に、直線を仮定すると、図8のⅠとⅡの様に2本の直線が引ける。これらの直線の勾配を求めることにより、計算で時間と一酸化炭素濃度の関係を把握することが可能となるが、解析上の問題が生じたため、今回はそこまで至らなかった。

6. ま と め

今回の実験結果から、多くの火器について言えることは、酸素濃度の低下に伴い、ある時点から一酸化炭素の発生が急激に増加するということである。

このことは、火器使用中の室内で、気分が悪くなったり、頭痛等の症状を自覚した時に体が動かなかったという、テレビや新聞等の報道を裏付けている。

このような事故を防止するためには、火器自体を「燃焼排ガスを屋外に放出する機種」に切り替えれば最も良いのであるが、それが不可能な場合は、消費される屋内空気に見合う外気を、換気により取り入れる必要がある。

また、最少限どの程度の換気が必要かは今後の課題であるが、とにかく今回の実験により、換気の必要性

が明確に裏付けられたと言える。

一方、東京消防庁管内における事故発生状況を、建物の用途別に見た場合、一般住宅と共同住宅で過半数を占めている。¹⁾したがって、今後も広報活動を通して、機会ある度に住民の注意を喚起する必要があると考えられる。

7. お わ り に

今回の実験は、都市ガス6B（製造ガス）用器具と石油器具について行なったが、今後は、都市ガス13A（天然ガス）用器具とLPG（プロパンガス）用器具についても実験を行なう予定である。

参 考 文 献

- (1) 東京消防庁生活安全課；ガス燃焼機器等によるガス事故の実態
- (2) 斎藤平蔵；建築気候，共立出版
- (3) 吉沢 晋，小林陽太郎；煙突なしストーブの必要換気量について(3)，日本建築学会関東支部第39回学術研究発表会論文集

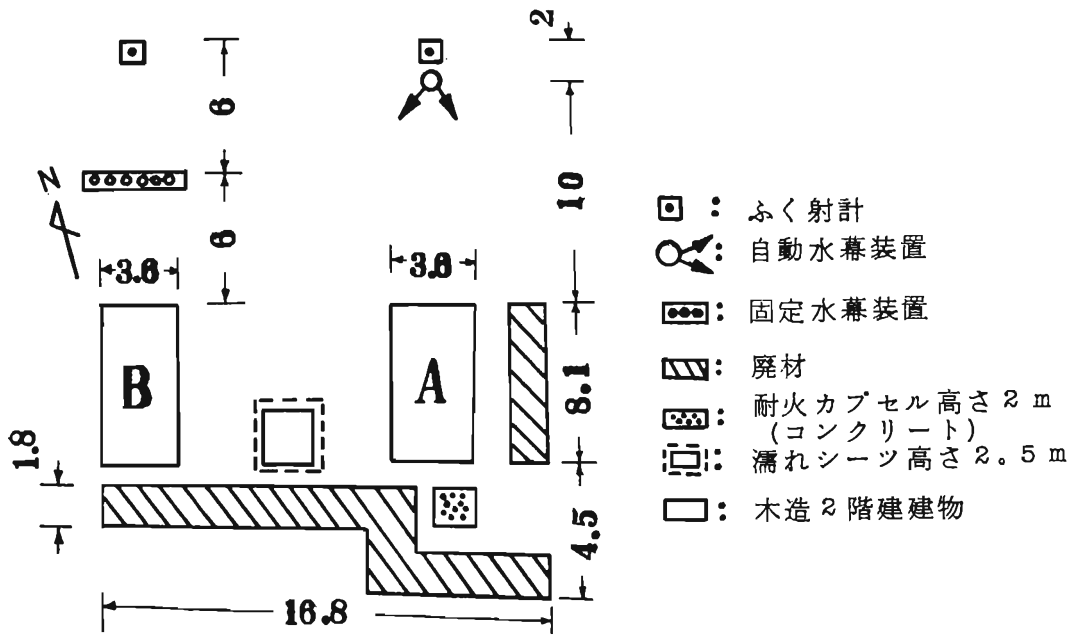


図5 火災建物, 水幕装置配置図 (単位: m)

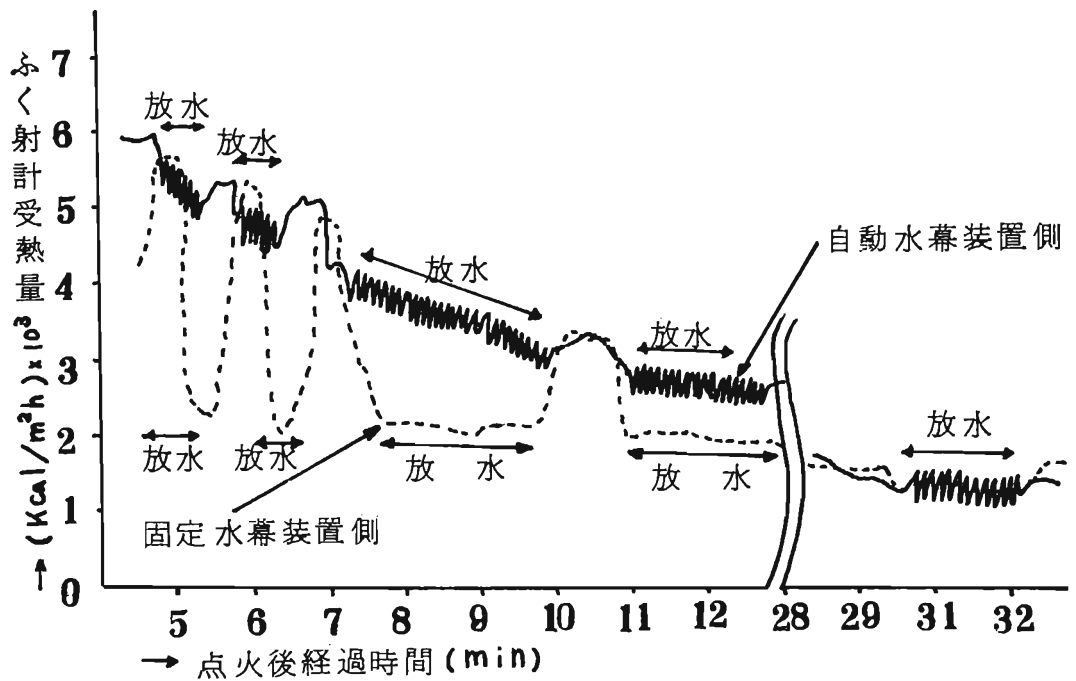


図6 各水幕装置側におけるふく射計の受熱量

表4 熱遮断実験結果

点火後経過時間 (分:秒)	ふく射計受熱量 (kcal/m ² h)	
	自動水幕装置側	固定水幕装置側
2:30	10377	—
3:50	—	2358(放水)
4:00	—	5283
4:20	—	2358(放水)
4:45	5975	—
4:50	—	5660
4:55	最高 5346 (放水) 最低 4403	—
5:20		2138(放水)
5:30	5189	—
5:45	—	5189
5:50	最高 4701 (放水) 最低 4245	—
6:15		—
6:20	5031	1981(放水)
6:40	—	4874
6:43 } (7:10) } 9:50	最高 4276 (放水) 最低 2389	1981(放水)
10:10		
10:20	2987	—
21:20	1415	—
21:26 } 21:30	最高 1335 (放水) 最低 1022	—
23:40		1226
23:50 } 27:26	最高 1148 (放水) 最低 833	—
27:30		1022
28:40	—	1179
29:00 } 30:50	最高 905 (放水) 最低 761	959
31:30		—
	—	959

※ 気象 天候, 晴, 気温29.5℃, 湿度52%
 風向, 風速南東, 東南東 3 m/s~3.5m/s
 ※ 使用した輻射計 東京精工 REⅢ型

は燃焼物体, 延焼危険建物または避難する人に直接注水するか, 水噴霧粒子を散水させ, 冷却効果を得るような防ぎ方方法で活用する方が有利であると思われる。