

密閉室内の燃焼性状と窒息消火の実験結果について

鳥 井 四 郎*

三 好 和 人**

1. はじめに

密閉可能な耐火構造区画内で火災が発生した場合の消火方法の一つとして、窒息消火方法が有効であることが知られている。特に最近の建物は、気密性が高いことや規模が大きく内部区画があり進入が困難であることなどから、この消火方法が検討されてきた。

当庁においても、昭和51年12月の本洲製紙(株)旧社宅火災実験を初めとして多くの実験を重ね、放射時期、放射要領などの運用上の検討が行なわれ成果を上げている。しかし、反面、密閉室内の燃焼限界、窒息消火用薬剤の飛散範囲、ガラス破壊現象等の開口部拡大条件と時期の予想など、基礎的資料について不明な点もみられる。

今回の実験は、消火剤としてCO₂、粉末ABCを使用し、窒息消火上のこれら基礎的資料を得るために行ったものである。室内の容積は、耐火共同住宅2DK程度を想定した。室内はドア、窓等は全て閉鎖し、換気率(約0.4回/時)を調査した上で、燃焼性状、燃焼位置による消火の効果、並びに実際の室内と同様に天井、壁などに可燃物を立体的配置した状態での窒息消火の効果を検査したものである。

2. 実験概要

(1) 実験場所

板橋区加賀2丁目3番1号
旧明治製菓(株)東京工場 変電室跡

(2) 実験建物等

耐火造 Ⅰ。窓 全面網入ガラス。内装材なし。
火災室床面積 33.95m²。天井高 2.9m。

室内容積 98.2m³。中央部をクロスする梁(30cm×30cm)がある。(図1参照)

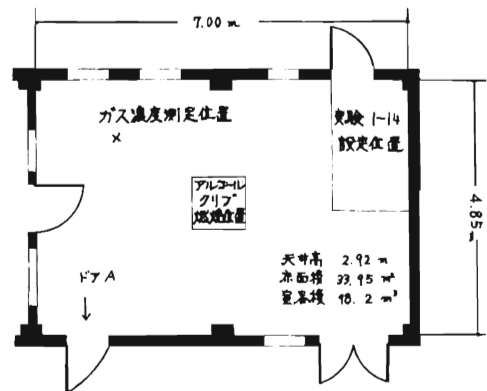


図1 火災室平面概要図

(3) 実験実施日

昭和55年3月14、15、21日の三日間

(4) 実施内容

燃焼位置別、燃料別、消火剤別の組合せ実験13回、天井、壁設定実験2回の計15回の実験を実施した。(表1参照)

(5) 消火作業

消火剤の噴射は図1ドアAの下部(ドア中央床上高14cm位置)に直径8cmの穴を開け、火源に向けて実施した。

(6) 点火方法

アルコール以外の燃料への点火は、点火用クリップ(2.0×2.0×50.0cm)を50本(下部に2本、その上部に12本づつ4段の井桁組み)使用し、その上にアルコールを含ませた布を置き、その布に点火した。

アルコールについては直接点火した。

(7) 測定項目等

* 第一研究室 ** 新宿消防署

ア 温度

熱電対（0.65mmφ C.A線）を使用し、室内平均温度等を測定した（測定点26箇所）。

イ ガス濃度

垂直方向4点のO₂、CO₂、CO濃度を測定した。測定位置は図1参照。分析計器は次のとおりである。

O₂分析

ポータブルO₂分析計（日本碍子Model scp-x）

CO₂、CO分析

赤外線式CO₂、CO分析計（三鷹工業）

ウ 荷重

アルコールおよびクリブの燃焼による重量減少を荷重変換器を使用して測定した。

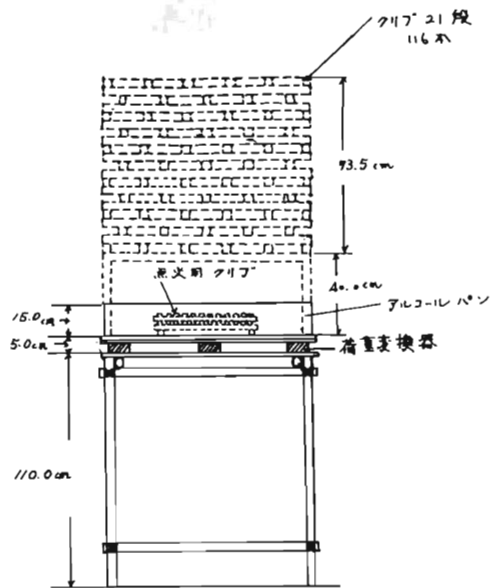
表 1 実 施 内 容

| 実験番号 | 燃料及び燃焼規模 | 燃 焼 位 置 | 消 火 剤 | |
|--------|-------------------------|---------|-----------------|----------|
| | | | 種 別 | 噴射量 (kg) |
| 1 - 2 | アルコール 0.3m ² | 低 位 置 | | |
| 1 - 2 | アルコール 1.0m ² | 低 〃 | | |
| 1 - 3 | アルコール 0.3m ² | 高 〃 | | |
| 1 - 4 | アルコール 1.0m ² | 高 〃 | | |
| 1 - 5 | クリブ 116本 | 低 〃 | | |
| 1 - 6 | クリブ 116本 | 高 〃 | | |
| 1 - 7 | アルコール 1.0m ² | 低 〃 | CO ₂ | 6.2 |
| 1 - 8 | アルコール 1.0m ² | 高 〃 | CO ₂ | 6.0 |
| 1 - 9 | クリブ 116本 | 低 〃 | CO ₂ | 4.3 |
| 1 - 10 | アルコール 1.0m ² | 低 〃 | 粉 末 A B C | 5.3 |
| 1 - 11 | アルコール 1.0m ² | 高 〃 | 粉 末 A B C | 6.3 |
| 1 - 12 | クリブ 116本 | 低 〃 | 粉 末 A B C | 5.2 |
| 1 - 13 | クリブ 116本 | 高 〃 | 粉 末 A B C | 4.8 |
| 1 - 14 | 表 2 参 照 | 火 災 室 | 粉 末 A B C | 約13 |
| 1 - 15 | 表 2 参 照 | 火 災 室 | 粉 末 A B C | 約13 |

- (注)
- 1 アルコールはメチルアルコール（純度99.9%）を使用した。
 - 2 クリブは杉材（3.0×3.5×90.0cm）含水率約13%を使用した。
 - 3 アルコールの燃焼規模はアルコールパンの燃焼面積を示す。
 - 4 燃焼位置「低位置」とは図2の台（1.1m高）を取りはずした場合とした。
 - 5 燃焼位置「高位置」とは図2の様に台を取り付けた場合とした。

表 2 実験1-14, 1-15の可燃物量

| 実験番号 可燃物 | 実験 1 - 14 | 実験 1 - 15 |
|-------------|---|--|
| 天井内装材 | ベニア板（厚さ3mm） | 火源側半分 吸音テックス 他半分 ベニア板（厚さ3mm） |
| 壁内装材 | 火源側のみ ベニア板（厚さ3mm） | |
| 床 | タタミ 2畳 | |
| 家 具 | タンス 1 本箱 1 | 収納棚 1 |
| そ の 他 | 衣 類 6 着 雑 誌 約30冊 紙 類 若 干 ダンボール 2 ケ | 衣 類 2 着 雑 誌 約30冊 ダンボール 5 ケ 紙 類 若 干 ク リ ブ 約20kg |



低位置の場合は台(110cm高)を取る
破線はクリブ設定時の状況

図2 燃料設定状況(高位置)

(8) 開口条件と室内換気率

実験は窓、ドアを全て閉鎖して実施した。この条件下でCO₂濃度減少速度から測定した室内換気率は次のとおりであった。

室内換気率 0.4回/時
 条件 (室内温度 平均7.2℃
 外気温度 7.5℃
 平均風速 約 0.7m/秒)

3. 実験結果および考察

(1) 目視観測結果

実験毎の目視観測結果は表3のとおりである。

(2) 密閉室内の燃焼性状

ア 燃焼規模と燃焼継続

アルコール燃焼時には、燃焼面積0.3m²の場合では燃焼が継続しているが、燃焼面積1.0m²の場合には自然消火現象が起きている。このことは燃焼量が多くなることで、消費される酸素が増加し、燃焼に必要な酸素が室内の換気だけでは供給できなくなり、自然消火現象が起きることを示している。

クリブの場合には、時間と共に燃焼速度が早くなるが、ある時点から急速に火勢がおとろえて、くん焼状態に入り、やがて燃焼音がしなくなった。この現象は、アルコール燃焼時の燃焼

面積の拡大と同じ状態が、クリブ燃焼時には燃焼速度が早くなることで起きたものである。しかし、アルコール燃焼時と異なり完全に消火してはいないので燃焼拡大に必要な酸素が供給されると再燃してくる。

表3 目視観測結果

| 実験番号 | 消火時間 (点火後) | 再燃 | 消火放射開始時間 (点火後) |
|------|---------------|----|-------------------|
| 1-1 | 消火せず* | × | × |
| 1-2 | 12' 30" | 無 | × |
| 1-3 | 消火せず* | × | × |
| 1-4 | 8' 25" | 無 | × |
| 1-5 | 8' 30" 項** | 有 | × |
| 1-6 | 10' 00" 項** | 有 | × |
| 1-7 | 6' 15" | 無 | 5' 00" 時 |
| 1-8 | 7' 50" | 無 | " |
| 1-9 | 7' 00" 項** | 有 | " |
| 1-10 | 5' 18" | 無 | " |
| 1-11 | 8' 30" | 無 | " |
| 1-12 | 6' 35" 項** | 無 | " |
| 1-13 | 6' 30" 項** | 有 | " |
| 1-14 | 8' 00" 項** | 有 | 6' 00" 時 |
| 1-15 | 燃焼音消えず | 有 | 7' 00" 時 |

* 点火後20分まで実施

** 燃焼音が聞えなくなった時間

イ 燃焼位置と燃料減少量

アルコール燃焼時の燃焼位置と燃焼による燃料減少量の関係は、若干、高位置の方が多い傾向が見られるもののあまり差が無い(図3参照)。

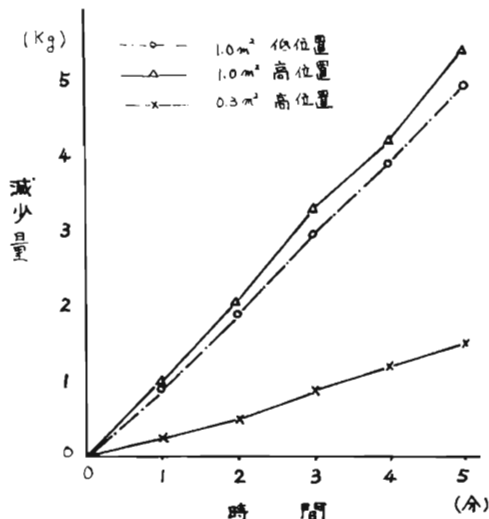


図3 燃料減少量(アルコール)

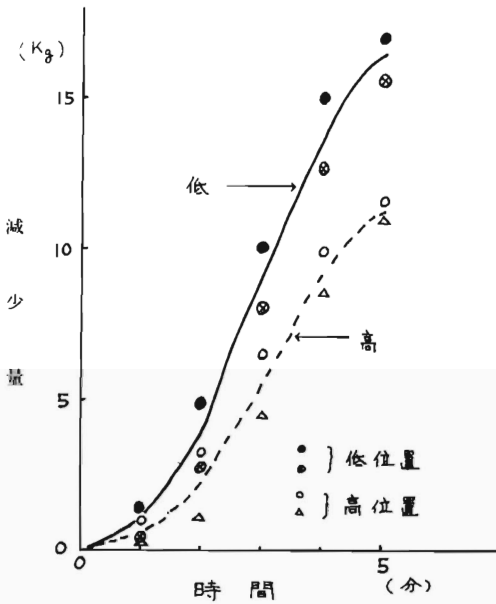
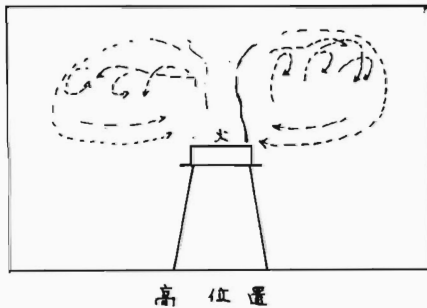
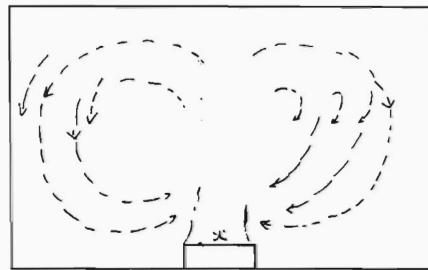


図4 燃料減少量(クリブ)

これに対して、クリブ燃焼時では、差が明確であり、しかも、低位置の方が燃料減少量が多い



高位置



低位置

図5 燃焼位置と気流の流れ(想像図)

ウ 室内平均温度

図6は室内平均温度と燃焼位置を示したものである。燃焼位置を高位置に設定した場合の方が低位置に設定した場合よりも低くなっている。これは、火源より下方部分に温度の低い層があることによって起る影響である。(図7参照)。

エ ガス濃度

(ア) 酸素濃度

測定した酸素濃度中で最も低い値は、クリブ燃焼時(燃焼位置高位置)の火源上部で検出できなかった値(0%)である。しかし、この時の火源より下方部分では20.5%の高濃度を示している。この傾向はアルコール燃焼

(図4参照)。この理由としては、アルコール燃焼時では、アルコールの蒸発が燃焼速度に影響するのに対し、クリブ燃焼時では、燃焼によって生ずる炎の高さが燃焼速度に影響するという燃焼機構の差によるものと思われる。(図5参照)

この為、アルコール燃焼時では、燃焼消費酸素量がほぼ同じであり、従って、高位置に設定した場合の方が低位置に設定した場合よりも自己消火に至る時間が短い。それに対してクリブ燃焼時では、低位置に設定した場合の方が一般的に炎が高いため、燃焼速度が早く、燃焼消費酸素量が多い。しかし、燃焼に使用できる室内の酸素量を比較すると、低位置に設定した場合の方が高位置に設定した場合よりも多いことを考えると、画一的な判断は下せない。今回の場合には、低位置に設定した場合が高位置に設定した場合より燃焼音が早く聞えなくなり、実質的な自然消火現象が起きた。

時でも同様である。これに対し、燃焼位置を低位置に設定した場合は、垂直方向全体の酸素濃度が低下しているのが特徴である。

(図7参照)。

(イ) 二酸化炭素および一酸化炭素濃度

酸素濃度の低下と二酸化炭素濃度の増加には燃料に関係なく相関性がみられる。しかし一酸化炭素濃度については、アルコール燃焼時のみ0.1%以下と低い値であった以外は燃焼状態によって1%~5%範囲の濃度を示した。

オ 酸素濃度と消火

アルコール燃焼時に自然消火現象が生じた時の酸素濃度は約15%であり、クリブ燃焼時に燃

焼音が聞こえなくなった時（実質的な自然消火現象と思われる時）の酸素濃度は約11.5%であった。又、天井、壁等の可燃物設定時（実験1-14）のくん焼時の垂直酸素濃度分布が約13.5%で一定していた。（図8参照）。このことからアルコール燃焼時では15%、一般の木質系の燃

焼時では13.5%を一応燃焼継続上の酸素濃度の下限と考えてみた。この値は、二酸化炭素を用いて希釈した消炎実験の酸素濃度値（混合炎15~16%、拡散炎16~17%）よりやや低い値である。

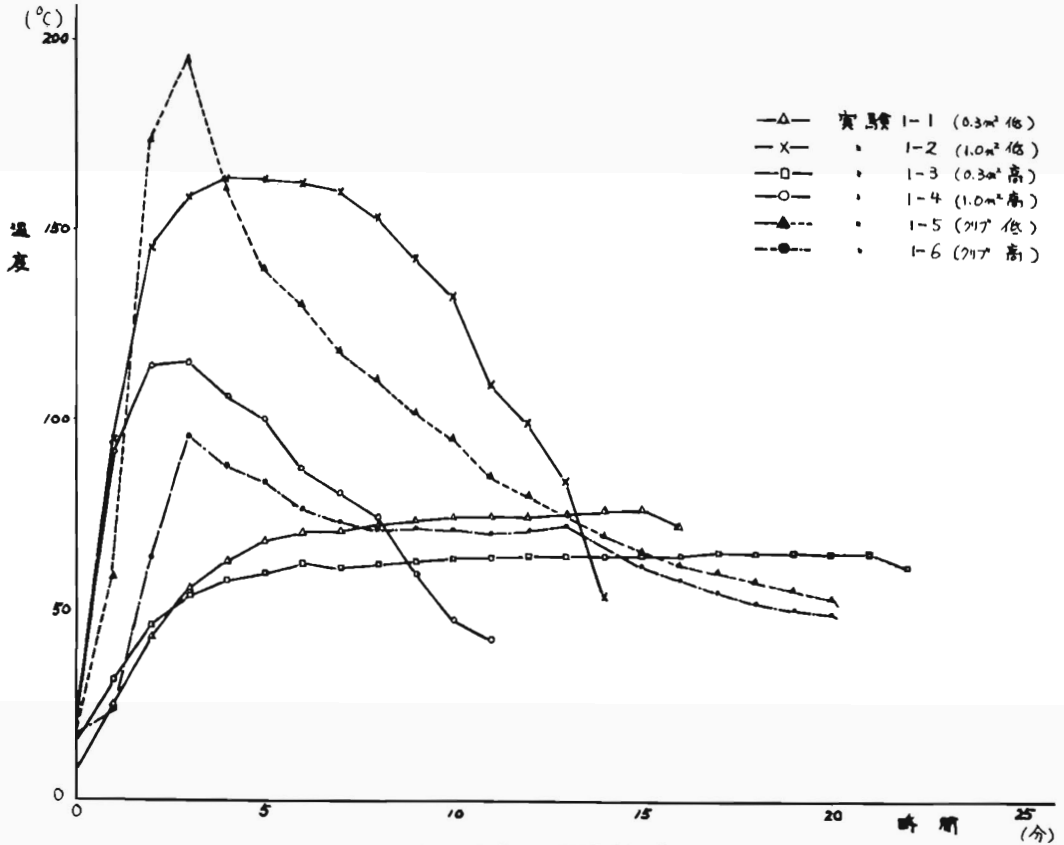


図6 室内の平均温度推移

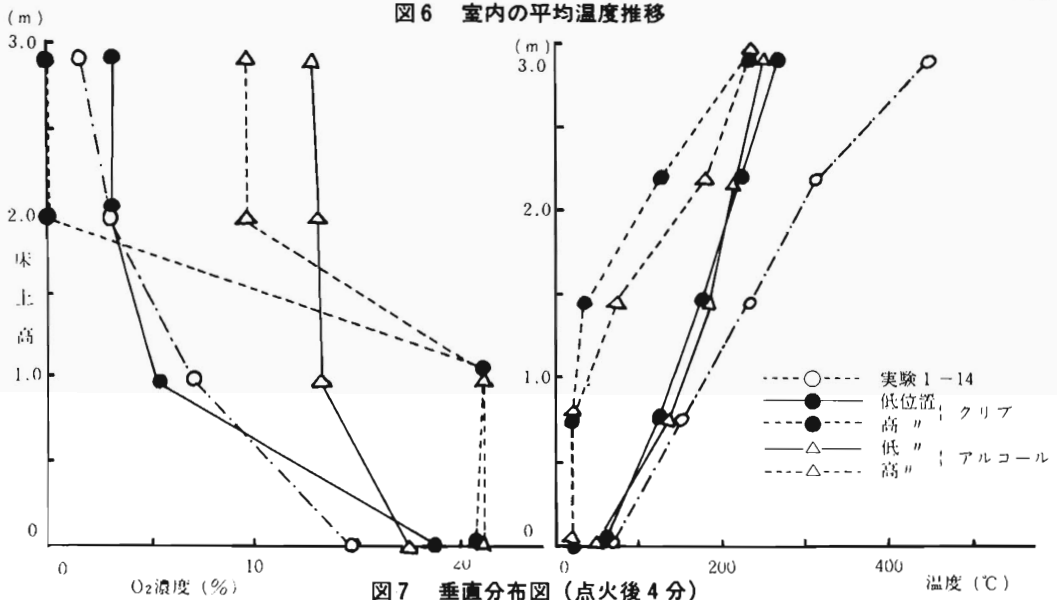


図7 垂直分布図 (点火後4分)

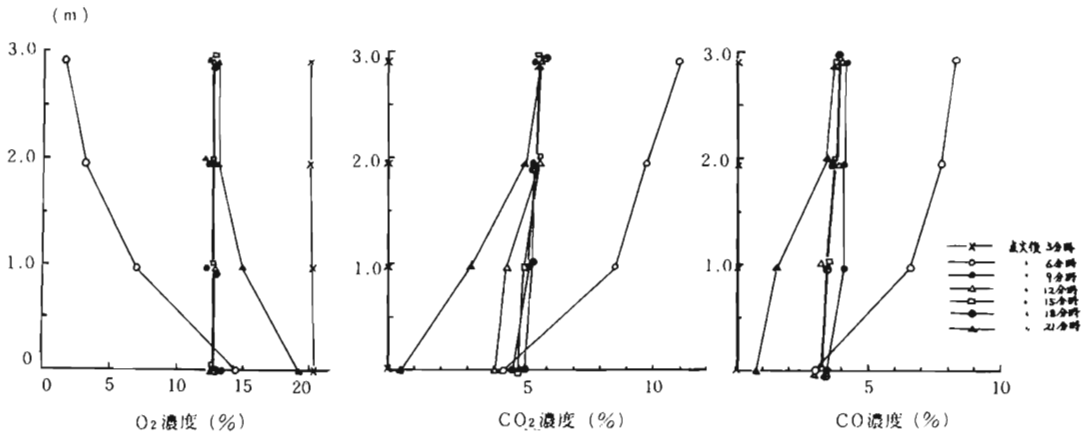


図8 天井壁設定時のガス濃度分布 (実験1-14)

カ 室内平均酸素濃度

室内の垂直方向4点の酸素濃度を平均した平均酸素濃度が燃焼継続上の下限酸素濃度に達する時間をアルコール燃焼時の場合について調査

してみた。計算値および実測値は図9である。実測値が測定値の換気率0.4の予想線にあることから、室内温度の上昇による換気率の上昇はあまり無かったものと思われる。

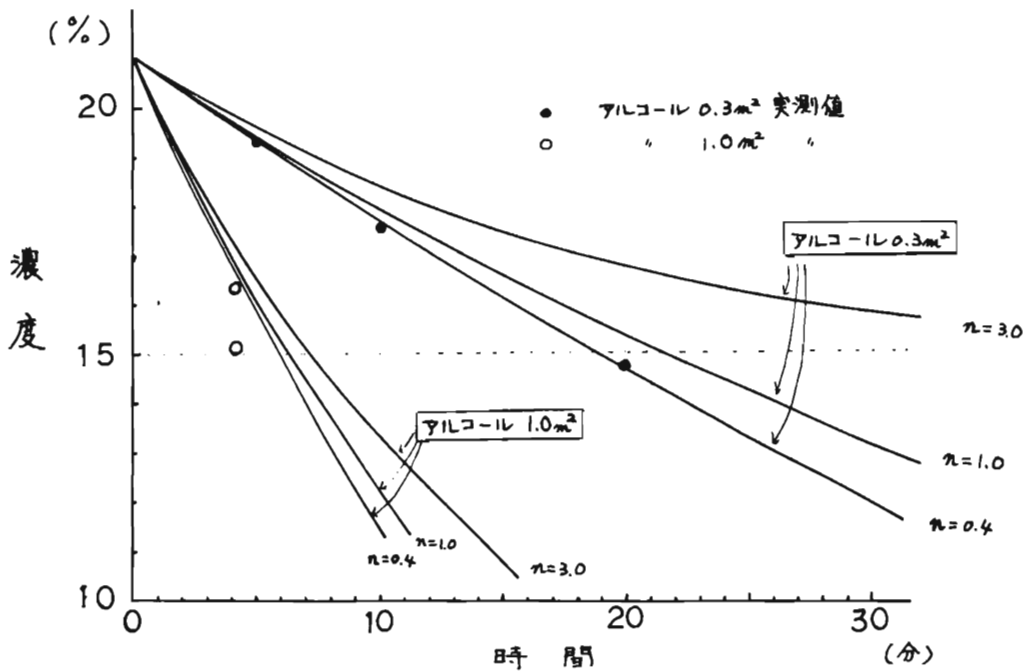


図9 室内平均酸素濃度 (計算値)

計算は次のザイデルの式を用いた。

$$K = K_1 e^{-nt} + \left(K_0 - \frac{G_0/R}{n} \right) (1 - e^{-nt})$$

但し

K……時刻 t における室内酸素濃度

K₁…… t = 0 における

K₀……外気の酸素濃度

G₀……燃焼による酸素消費速度
[m³/hr]

R……室内の容積 [m³]

n……換気率 [1/hr]

t……時間 [hr]

アルコールの燃焼量は燃焼面積0.3m²の時は、0.3kg/分、燃焼面積1.0m²の時は1.0kg/分とし、完全燃焼するとして計算した。

よって

燃焼面積0.3m²の時 $G_0/R=0.195$ [1/hr]

〃 1.0m²の時 $G_0/R=0.585$ [1/hr]

となる。又、 $t=0$ における室内酸素濃度 K_1 と外気の酸素濃度 K_0 は共に0.21(21%)とした。

この計算結果では、垂直方向の酸素濃度分布の検討ができないため、燃焼位置の酸素濃度で表わすことができなく、実際の自己消火時間とに差がでた。

例えば、燃焼面積1.0m²の場合、計算値約6分、実測値、高位置、8分25秒、低位置12分30秒とかなりの差がある。

(2) 消火剤の効果

表4は燃料、燃焼位置、消火剤種別の関係を整理したものである。燃料がアルコールの場合には

完全に消火している。クリブの場合には、粉末ABC消火剤を使用した場合(1回のみ)再燃を防止できた。しかし、他の場合は燃焼を抑制するだけであり、ドアを開放して室内の酸素濃度が上昇すると再燃した。図10は消火剤の放射による温度の降下を示したもので、二酸化炭素でも燃焼抑制の効果があることが確認された。しかし、クリブの焼き状況や消火時間から考えて粉末ABCを使用した場合の方が有効であることが判明した。

表4 消火剤放射開始から消火まで時間

| 燃料別 (燃焼規模) | 燃焼位置 | 使用消火剤種別 | | |
|-------------------------------|------|---------|-----------------|---------|
| | | 未使用 | CO ₂ | 粉末ABC |
| アルコール (1.0m ²) | 低 | 7' 30" | 1' 15" | 0' 18" |
| | 高 | 3' 25" | 2' 50" | 3' 30" |
| クリブ※※ (116本) | 低 | 3' 30"※ | 2' 35"※ | 1' 35" |
| | 高 | 5' 00"※ | — | 1' 30"※ |

※ ドア開放時に再燃した

※※ 燃焼音が聞えなくなった時間

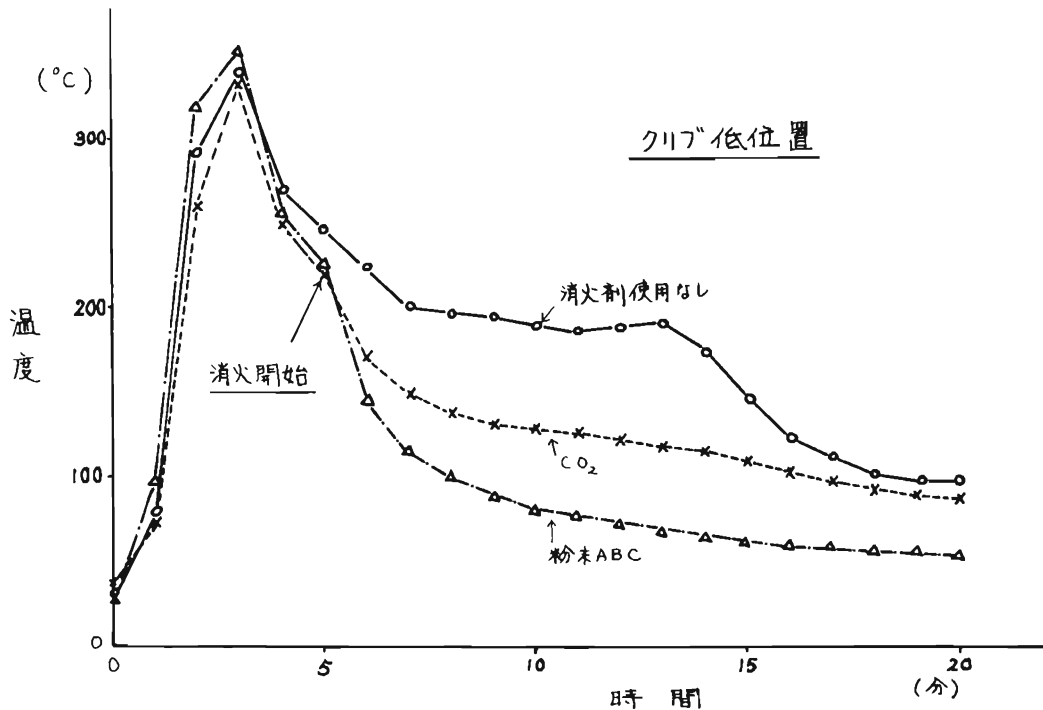


図10 消火剤による温度降下(天井面)

各消火剤の効果とガス濃度との関係を調べたのが図11である。CO₂消火剤の場合には明確に酸素濃度の減少効果が表われている。しかもCO₂消火剤は酸素濃度が高い火源下側に拡散している。一方、粉末ABC消火剤の場合には酸素濃度の減少

効果はほとんどみられない。このことから、CO₂消火剤は酸素濃度を減少させる効果、粉末ABC消火剤は消火剤自体の消火効果といえる。

(3) 天井、壁などに可燃物が立体的に配置された場合(実験1-14, 1-15)

ア フラッシュオーバーの発生

図12は実際の居室を想定して天井、壁などに可燃物を立体的に配置した実験1-14の室内平均温度である。この実験では、点火後5分30秒頃、フラッシュオーバー現象が発生し、閉鎖状

態にあったドアが開放された。この時のドア開放力は約5kg重(静圧換算約6.3mmAg)であり、この圧力は、窓ガラスの爆風による破壊圧力(300~700mAg)と比較すると極めて小さい。

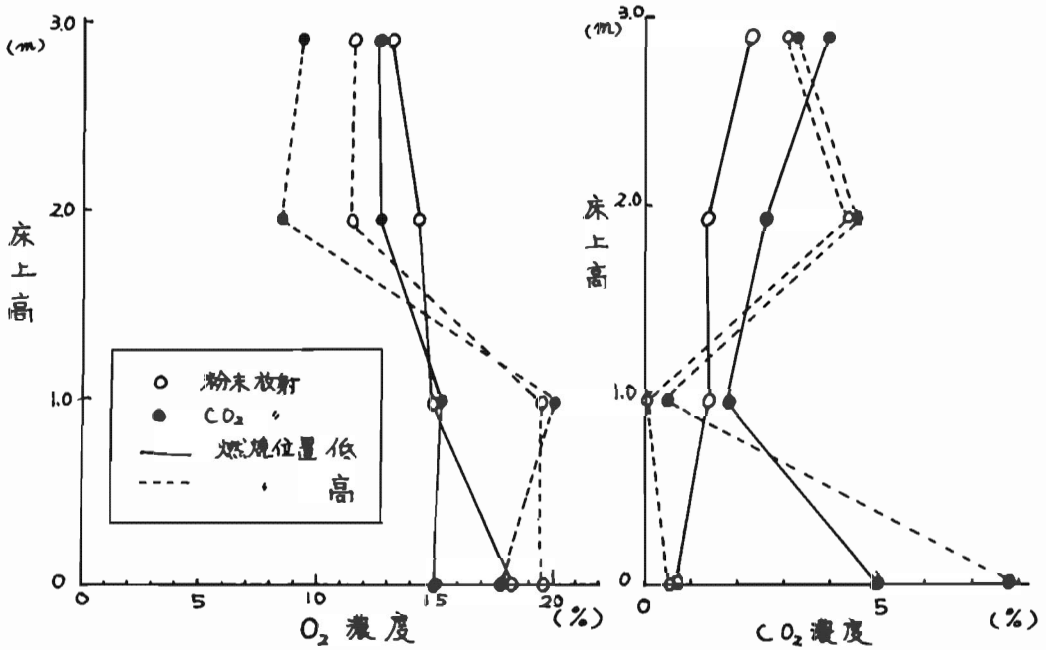


図11 ガス濃度分布(消火剤放射後1分30秒時)

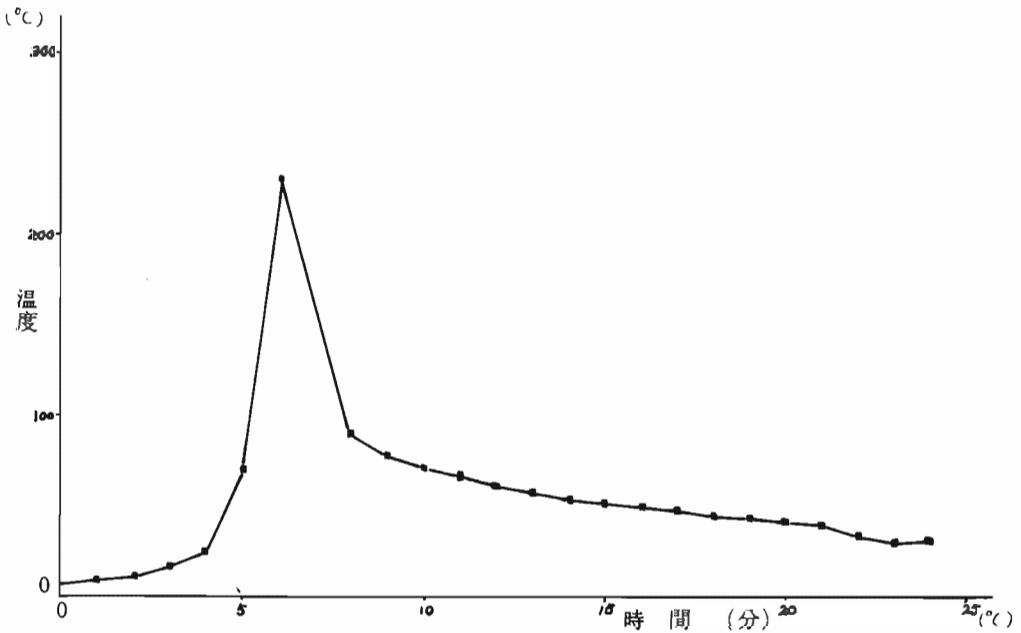


図12 室内の平均温度推移(実験1-14)

イ 消火剤の効果

消火剤（粉末ABC約13kg使用）放射後の垂直方向のガス濃度分布には全く変化は見られない。（図8参照）。この現象は、内部でくん焼状態が続いているため、流入する酸素が消費されることが主な要因と思われる。前述したとおり、くん焼位置が高位置ならば、その下方には酸素濃度の高い空気層があることが予想できる。これから推察すれば、くん焼位置は床上付近であることが考えられる。しかも、ドア開放後に再燃が確認されたのが、壁下側である事実から考えると、天井面よりも床面の方が消火しにくい。

又、図12の室内平均温度が点火後7分で急速に降下している現象は、急に燃焼が停止したことを示すものである。しかし、この燃焼の停止原因が消火剤の放射による燃焼抑制効果であるか、急速な燃焼に起因する酸素不足による影響であるのかについては、今回の実験だけでは判断できなかった。

4. おわりに

今回の実験では、密閉室内の燃焼性状を調査した上で、同一条件下で消火剤を放射してその効果

を確認した。しかし、窒息消火効果とは火災の燃焼を抑制し、熱気流の発生を防ぎ、室内進入を容易にする効果であり、完全に消火するには屋内進入して注水する必要があるという結論しか得られなかった。

又、密閉室内の燃焼性状については、今後、無窓階、地下室等の燃焼性状の推定資料として活用するために行ったものであるが、実施上の時間的制約及び計測上の問題などから実験計画どおりにできなかった。今後、確認できなかった事項については、別の機会に実験を行って完全な資料にしていきたい。

参 考 文 献

- (1) 斎藤平蔵：建築気候 共立出版
- (2) 碓井憲一：火災研究(II) (出火の可能性に関する研究)
- (3) 木内孝文 山形真司：所報14号 (燃焼ガスの室内空気の汚染について)
- (4) 山鹿修蔵：火災vol. 27 No. 3 1977 P 20 (ガス系消火設備, 消火剤)
- (5) 近代消防戦術第四編