

# 放水による消火活動が困難な閉鎖空間における 効果的な消火方法の検証 (消火薬剤による基礎的消火実験について)

根本 昌平\*, 楠本 直樹\*, 町井 雄一郎\*, 渡邊 茂男\*\*

## 概 要

本検証は、NBC関連施設等開放し続けて消火することが困難な区画火災に対する、効果的な消火方法を確認するため、カリ化合物の消火薬剤等を使用し、木材及び油を火源とする火災に対する消火実験を実施した。その結果、効果的な消火方法に関する基礎データを得ることができた。

## 1 はじめに

東京消防庁では管内に放射性物質、生物剤及び毒劇物等の取扱施設（以下「施設」という）を有しているが、これらの施設における消火活動の原則は、放水による汚染拡大防止を考慮し、密閉消火等の効果的な消火方法を選定して延焼防止を図ることを重点としている。このような火災では、密閉消火と消火薬剤を併用した消火方法で、残火状態まで燃焼を抑制させ少量の放水で鎮火させることが有効と考えられる。

閉鎖空間における消火実験<sup>1)</sup>は、過去の実験でもなされているが、その消火効果が消火薬剤によるものか窒息によるものか未解明な部分もあり、基礎データが十分得られてない。また、最近では、新たな消火薬剤も市販されていることから消火実験を実施し基礎データを取得することを目的として検証を実施した。

## 2 検証目的

本検証は、放水による消火活動が困難な閉鎖空間に対して消火薬剤と密閉消火を併用した消火薬剤の効果的な消火方法の確認を目的とする。

## 3 実験

### (1) 実験期間

平成25年10月22日～平成26年4月23日

### (2) 実験場所

消防技術安全所燃焼実験棟移動実験室（以下「火災室」という）

### (3) 測定項目

測定項目は、次のとおりとする。

- ・消火薬剤放射による火源上部の温度推移
- ・消火薬剤放射後の再燃時間の推移

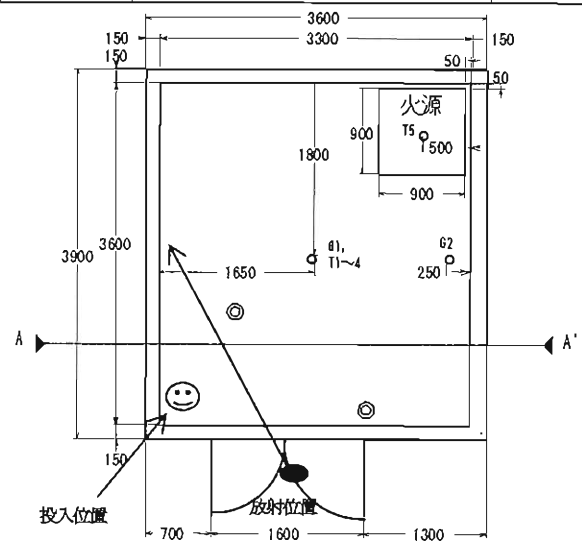
- ・消火薬剤放射による火災室内のガス濃度の推移
- ・消火薬剤放射による火源の重量減少の推移
- ・消火薬剤放射による火源の火災状況の記録

### (4) 測定方法

表1のとおり。

表1 測定内容

区分	測定点数	位置
温度	シース (K) 熱電対×5点	図1、2
ガス濃度	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 及びCO×2点	図1、2
荷重	ロードセル4点	図5、図6
可視画像	可視カメラ3点	図1

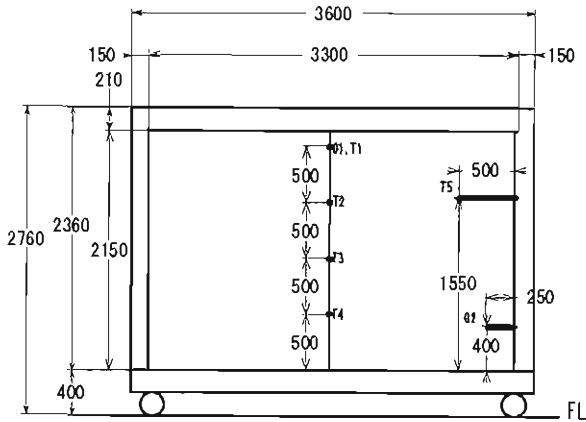


◎可視カメラ

単位：mm

図1 温度 (T1～T5) ガス濃度 (G1、G2) の測定位置等  
(火災室平面図)

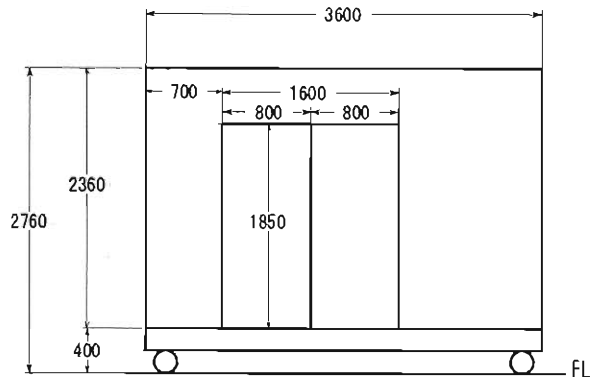
\* 装備安全課 \*\* 小平消防署



※：油系火源の T5 の高さは、床から 30 mm

単位：mm

図2 温度 (T1~T5) ガス濃度 (G1, G2) の測定高さ  
(火災室 AA' 断面図)



単位：mm

図3 火災室の開口部状況 (開口側立面図)

(5) 火災の想定

想定は、放水による消火活動が困難な閉鎖空間で、開口部を 1 とする区画内において木質系又は油系火源から出火したフラッシュオーバー直前の火災とする。

(6) 火源の選定

火源の種類は、次のとおりとした。

ア 木質系火源

火災室の内装が不燃で収容物が木質の場合、区画火災による換気支配の燃焼速度は、実大建物の火災実験で<sup>2)</sup>示されている。

$$\text{燃焼速度 (kg/分)} = (5.5 \sim 6) A\sqrt{H} \quad \text{①}$$

A：開口面積 (m<sup>2</sup>) H：開口高さ (m)

実験条件となる燃焼速度は、図4の建物火災の進展より、最盛期における燃焼速度の1/2とし、①式に図3で示す開口条件をあてはめ

$$6 \times (1.85 \times 0.8) \sqrt{1.85} / 2 \approx 6 \text{ (kg/分)} \quad \text{②}$$

とすることを目標とした。

予備実験により2単位クリブの燃焼速度は、7.5kg/分前後で②で求めたものと近い値であった。このことから、木質系火源は、目標とする燃焼速度に近い2単位クリブ<sup>3)</sup>とした。着火は、深さ8cmに水を張った金属製のオイルパンに注入した助燃剤(無鉛ガソリン400cc)に行うことにした。

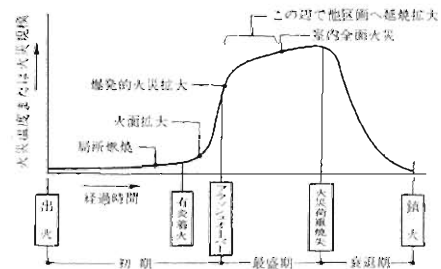
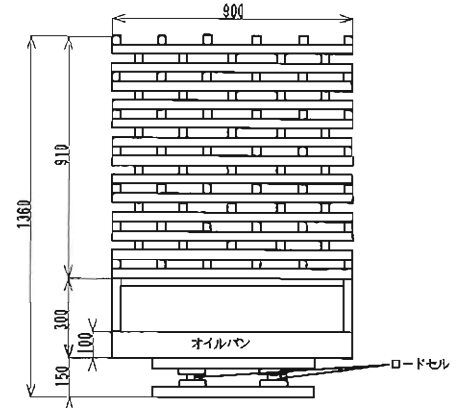


図4 建物火災の進展<sup>4)</sup>

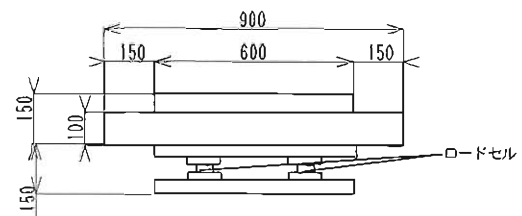


単位：mm

図5 2単位クリブの設置状況

イ 油系火源

油系の火源は、火災の想定が建物であることから建物内で使用又は存在することが条件と考える。考えられる火源は、石油系暖房燃料の灯油、軽油(第2石油類)、ボイラー燃料の重油及び変圧器の絶縁油(第3石油類)などが挙げられる。このことから油系の火源は、燃焼の危険性を引火点に着目し灯油と重油の間にある軽油(第2石油類)を代表とすることを適当と判断した。



単位：mm

図6 油系火源の設置状況

軽油は、金属製のオイルパン(60cm×60cm×15cm)に深さ

10 cmになるように入れた。着火は、プラスチック製シャーレに入れた助燃剤を、写真1のとおり配置し、これに対して行った。なお、軽油の燃焼は、予備実験により火災室の開口部を閉鎖後2分以上継続できることを確認している。



写真1 油系火源の助燃剤の配置状況

(7) 消火薬剤の選定

消火薬剤は、消防隊が可搬可能な表2に示す市販されている消火器等に使用されているものを選定することにした。

カリ化合物鎮圧装置は、近年、海外で市販されたものである。使用目的は、火災初期に投入しフラッシュオーバーを抑制させるとある。実際の使用事例では、建物火災で鎮火したとの報告がある。今回は、消火薬剤量が違う2種類を準備した。

表2 選定した消火器等

試験体	内 容※
粉末消火器	消火薬剤：リン酸2水素アンモニウム (以下「粉末薬剤」という) 総質量：5.16kg (薬剤質量：3.0kg) 放射時間：約16秒、放射距離：約3～6m 消火対象火災：A火災、B火災、C火災
二酸化炭素消火器	消火薬剤：二酸化炭素 (以下「CO <sub>2</sub> 」 という) 総質量：14.3kg (CO <sub>2</sub> 質量：4.6kg) 放射時間：約21秒、放射距離：約2～4m 消火対象火災：B火災、C火災
カリ化合物鎮圧装置	消火薬剤：窒素70%カリ化合物30% (以下「カリ化合物」という) 放出時間：25秒、消火対象火災：A火災、 B火災、C火災 ① 重量：2.0kg (消火成分：0.9kg) 消火 可能範囲：18 m <sup>2</sup> ② 重量：5.4kg (消火成分：3.3kg) 消火 可能範囲：60 m <sup>2</sup>

※内容は、メーカーカタログによる。

(8) 消火薬剤の放射方法

消火薬剤による放射方法は、消防隊員の安全を図るため火災室に進入できないことを想定し、燃焼物に直接放射しない火災

室の空間に対する間接放射とした。

ア 粉末消火器及び二酸化炭素消火器

放射条件は、予備実験から室内に拡散することを確認し、45°開放した扉から実験室内左壁に向け、床面から0.5mの高さで水平に放射することにした。

イ カリ化合物鎮圧装置

図1で示す実験室内の角隅に投入した。

(9) 実験方法

実験は、開口条件を変えて表3のとおり計画した。開口条件が開放の実験は、消火薬剤だけで消火可否を確認するために計画した。ただし、開放の実験は、同種の消火器等で開口条件が閉鎖のとき、消火したものについてのみ行うことにした。実験方法は、表4及び表5の進行により実施した。

なお、CO<sub>2</sub>については、A火災に対応しないことから油系火源の実験のみとした。

表3 実験条件

実験番号	火源	開口条件	消火器等
実験1	木質系	閉鎖	消火なし
実験2			粉末消火器
実験3			カリ化合物鎮圧装置①
実験3-1		カリ化合物鎮圧装置②	
実験4		開放	消火なし
実験5			粉末消火器
実験6	カリ化合物鎮圧装置①		
実験6-1	カリ化合物鎮圧装置②		
実験7	油系	閉鎖	消火なし
実験8			粉末消火器
実験9			二酸化炭素消火器
実験10		カリ化合物鎮圧装置①	
実験11		開放	消火なし
実験12			粉末消火器
実験13			二酸化炭素消火器
実験14			カリ化合物鎮圧装置①

表4 木質系火源の進行

時間	粉末消火器	カリ化合物鎮圧装置
0分	着火	同左
3分	放射行動開始	投入扉閉鎖
—	放射終了直後 扉閉鎖	—
10分	扉開放	同左
12分	消火判断・終了	同左

表5 油系火源の進行

時間	粉末消火器・ 二酸化炭素消火器	カリ化合物 鎮圧装置
—	着火	同左
—	定常燃焼で 放射開始	—
0分	放射終了直後 扉閉鎖	定常燃焼で投入 扉閉鎖
1分	扉開放	同左
2分	実験終了	同左

(10) 消火の判断

開口条件が閉鎖の場合は、所定の時間に扉を開放した後、木質系火源で2分間、油系火源で1分間放置し、視認により再燃がない場合を消火とした。

開口条件が開放の場合は、放射終了直後から上記と同様の判断とした。

4 実験結果

(1) 消火の可否

表6のとおり。なお、3 (9) 実験方法で示したとおり開口条件が開放の実験4~6, 実験6-1, 実験11~13は、行わなかった。

表6 実験条件及び消火の可否状況

実験番号	火源	開口条件	試験体	再燃時間(秒)	消火可否	備考
実験1	木質	閉鎖	消火なし	5	/	消火可否判断なし
実験2			粉末消火器	38	×	開放実験なし
実験3			カリ化合物鎮圧装置①	24	×	開放実験なし
実験3-1			カリ化合物鎮圧装置②	23	×	開放実験なし
実験7	木質	閉鎖	消火なし	—	/	消火可否判断なし
実験8			粉末消火器	—	×	開放実験なし
実験9			二酸化炭素消火器	—	×	開放実験なし
実験10			カリ化合物鎮圧装置①	なし	○	開放実験あり
実験14	木質	開放	カリ化合物鎮圧装置①	—	×	

(2) 温度の結果

図7で示す木質系の結果は、実験1、実験3、実験3-1は、

同様な傾向をしめした。実験2のみが、扉閉鎖後(3分)扉開放まで降下した。

図8に示す油系の結果は、実験10のみが放射開始から温度降下し消火に至った。他の実験は、放射終了後も実験終了(3分)まで400℃以上であった。

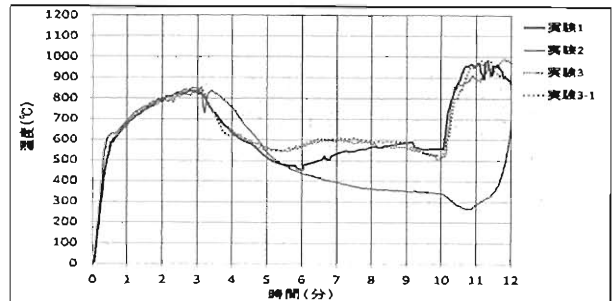


図7 クリブ直上(T5)の温度推移

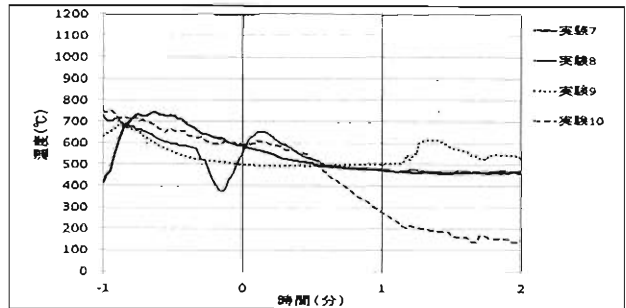


図8 油系火源のオイルパン(T5)の温度推移

(3) ガス濃度の結果

ア 木質系火源

ガス濃度は、実験1、実験3、実験3-1が同様な傾向を示した。実験2は、5分以後、図9、図10でO<sub>2</sub>濃度が上昇した。このことは、図11~14のとおりCO<sub>2</sub>、COが減少し、燃焼が抑制されたことを示した。

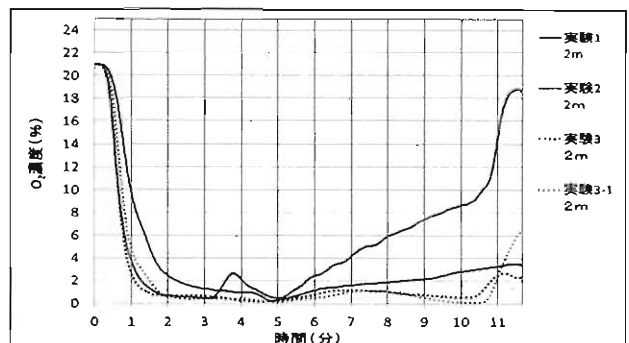


図9 天井付近の木質系火源のO<sub>2</sub>濃度(G1)の推移

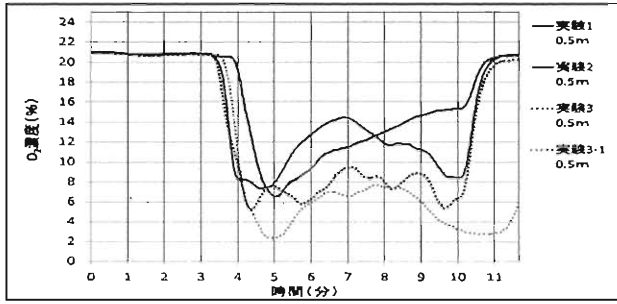


図10 木質系火源周辺のO<sub>2</sub>濃度 (G2) の推移

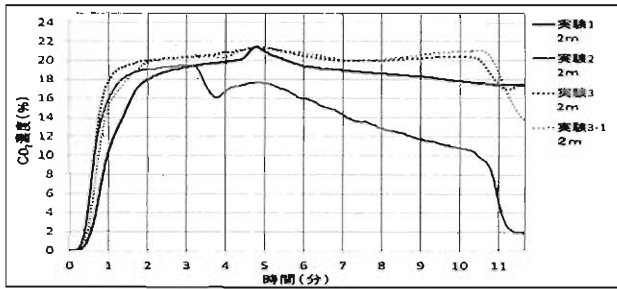


図11 天井付近の木質系火源のCO<sub>2</sub>濃度 (G1) の推移

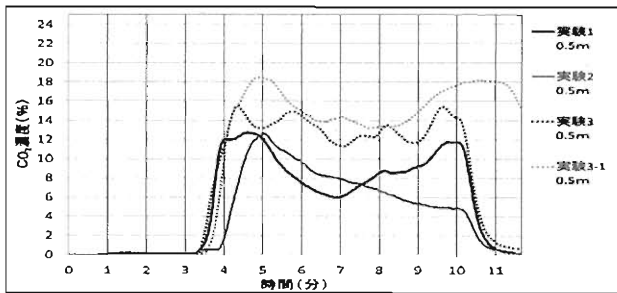


図12 木質系火源周辺のCO<sub>2</sub>濃度 (G2) の推移

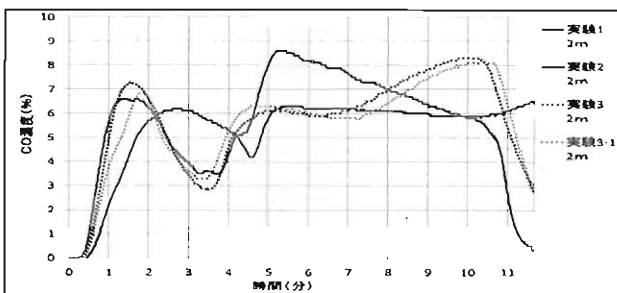


図13 天井付近の木質系火源のCO濃度 (G1) の推移

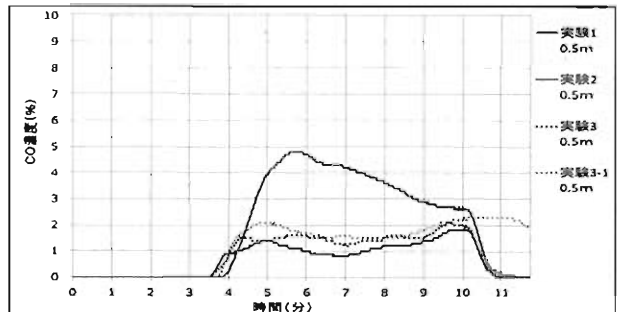


図14 木質系火源周辺のCO濃度 (G2) の推移

イ 油系火源

図15及び図16に示すO<sub>2</sub>濃度及びCO<sub>2</sub>濃度は、扉閉鎖(0分)から扉開放(1分)まで実験9~実験10は同様な傾向を示した。実験9は、消火薬剤の影響で他の実験よりO<sub>2</sub>濃度が低く、CO<sub>2</sub>濃度が高い値で推移した。

図17及び図18で示すCO<sub>2</sub>濃度は、実験の違いによる差を示さなかった。

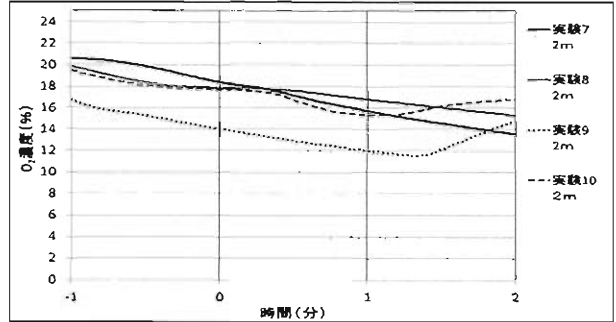


図15 天井付近の油系火源のO<sub>2</sub>濃度 (G1) の推移

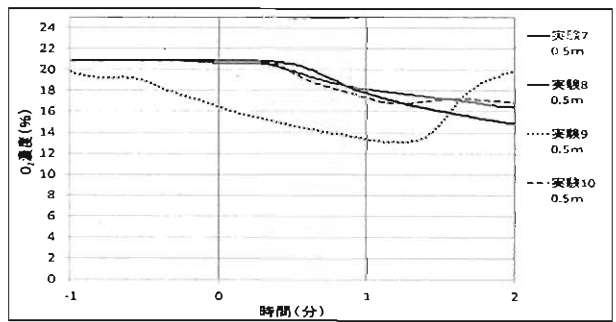


図16 油系火源周辺のO<sub>2</sub>濃度 (G2) の推移

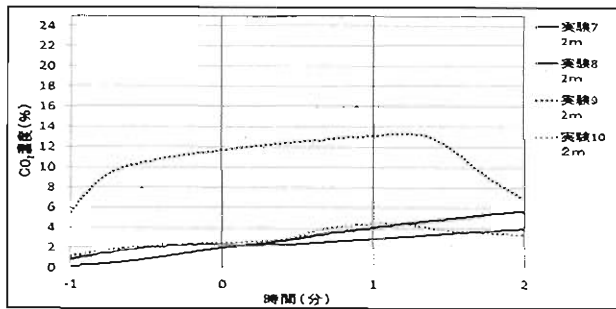


図17 油系火源周辺のCO<sub>2</sub>濃度 (G1) の推移

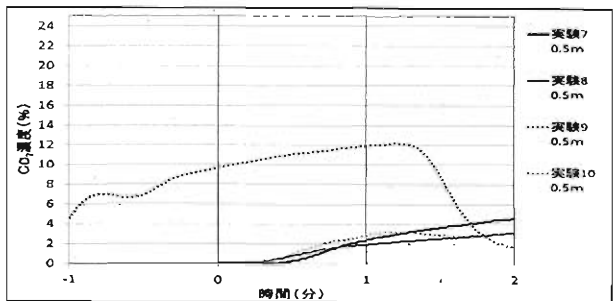


図18 油系火源周辺のCO<sub>2</sub>濃度 (G2) の推移

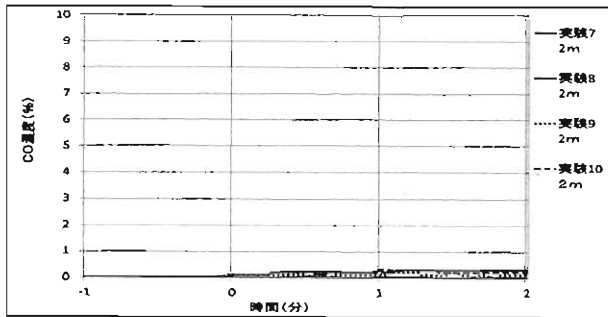


図 19 天井付近の油系火源の CO 濃度 (G1) の推移

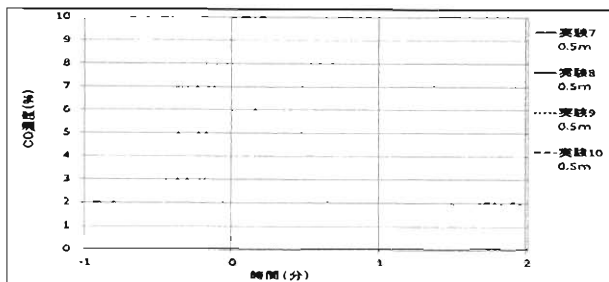


図 20 油系火源周辺の CO 濃度 (G2) の推移

#### (4) 可視画像の結果

別表 1 は、木質系火源の放射開始後の火炎の状況である。実験 1 は、扉の閉鎖とともに煙層が下降し、火炎は上から下へ消炎した様子を確認した。実験 2 は、放射後、粉末薬剤が浮遊しながら球状の火炎が徐々に中心に向かって小さくなっていったことを確認した。実験 3 は、放射直前に可視カメラが熱により記録不能となった。実験 3-1 は、投入位置を中心し一様に広がり、放射終了前に薬剤を充満させた。その後、熱により記録不能となった。

別表 2 は、木質系火源の扉開放後の再燃の状況である。実験は、いずれも、再燃したが、実験 1、実験 3、実験 3-1 の火炎の広がり比べて、実験 2 の火炎は、小さかった。

別表 3 は、油系火源の放射開始後の火炎の状況である。実験 7～実験 9 は、放射終了後も燃焼を継続した。実験 10 は、火炎が小さくなり、30 秒後は、光が強弱しながら小さくなり、53 秒後に完全に暗くなった。

### 5 考察

#### (1) 木質系火源

##### ア 有炎燃焼の抑制

別表 1 で示す可視画像を見ると、火炎抑制されたのは、粉末薬剤の放射後 60 秒 (実験時間 1 分) であり、そのときの室内の  $O_2$  濃度は、図 10 で示すとおり 19% 以上であった。室内の  $O_2$  濃度が、燃焼を継続するのに十分であることから火炎が抑制された要因は、扉閉鎖によるものではなく、粉末薬剤の影響であ

ると考えられる。

カリ化合物の有炎燃焼の抑制状況は、別表 1 示す可視画像で消炎を捉えることができず、別表 2 で示すように、扉開放直後に炎がなかったことを目視で確認した。火炎が抑制された要因は、カリ化合物の影響及び扉閉鎖による酸素欠乏による影響と考えられる。

##### イ 無炎燃焼の抑制

粉末薬剤は、図 7 で示すクリブ直上の温度において、扉閉鎖から開放まで他の実験と比べて温度が下がっていることから無炎燃焼を抑制したと考えられる。

カリ化合物は、図 7 で示すクリブ直上の温度から実験 1 と同じ傾向を示し、図 9～14 のガス濃度をみても同様であることから、無炎燃焼を抑制してはいないと考えられる。カリ化合物は、薬剤量を変えて実施したが、図 7 のとおりクリブ直上の温度に差がなかったことから、本実験条件では薬剤量の影響はないことを確認した。

##### ウ 再燃現象への影響

粉末薬剤は、表 6 の再燃時間や図 7 の扉開放以降の温度上昇、別表 2 で示される扉開放後の火炎の成長がゆっくりであったことから、密閉消火との併用による消火方法に有効であると考えられる。

#### (2) 油系火源

##### ア 有炎燃焼の抑制

粉末薬剤は、図 8 で示す実験 8 において、薬剤の放射直後に温度降下があったことから火炎の抑制があったと考えられる。しかし、放射終了以後、実験終了まで有炎現象は継続した。

$CO_2$  は、有炎現象を抑制することができなかった。その要因は、短時間 (26 秒) で薬剤 4.6 kg を放射しても、巻き込み空気の影響により火源周辺の  $O_2$  濃度を下げることができず、燃焼が継続したためと考えられる。

##### イ 消火判断

粉末薬剤及び  $CO_2$  は、図 8 で示す温度のとおり、放射終了後も燃焼が継続し消火できないことが確認できた。

カリ化合物は、扉開放後 1 分において目視により有炎現象がないことを確認できた。この実験から、カリ化合物は、油系火災の火炎を抑制する効果が高いと考えられる。

#### (3) 消火薬剤の検討

##### ア 粉末薬剤

粉末薬剤の主成分は、リン酸 2 水素アンモニウムである。リン酸 2 水素アンモニウムは、木材等の燃焼に対して次のように熱分解をしてガラス状の物質を形成して木材等に付着し消火<sup>5)</sup>する。消火メカニズムは次のように考えられている。



別表1 木質系火源の放射開始後の火炎の状況

No	3分00秒	3分10秒	3分20秒	3分30秒	3分40秒	3分50秒	4分00秒
実験1							
実験2							
実験3.1						記録不能	

※：実験3は、記録不能

別表2 木質系火源の扉開放後の再燃の状況

No	10分00秒	10分10秒	10分20秒	10分30秒	10分40秒	10分50秒	11分00秒
実験1							
実験2							
実験3							
実験3.1							

別表3 油系火源の放射開始後の火炎の状況

No	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒
実験7							
実験8							
実験9							
実験10							



# Study on the Methods of Effective Firefighting for the Enclosed Spaces Where Firefighting with Water is Difficult

Shohei NEMOTO\*, Naoki KUSUMOTO\*, Yuuichirou MACHII\*, Shigeo WATANABE\*\*

## Abstract

In this study, we used potassium compounds as a fire extinguishing agent to ascertain effective firefighting methods for the fires in compartmentalized spaces like "NBC" (nuclear, biological, and chemical) facilities that cannot be kept open for fire suppression. We conducted experiments in extinguishing fires on wood materials and oils.

We were able to obtain basic data pertaining to effective firefighting methods.