

消火器を用いた初期消火時の周辺環境の変化に関する検証

原田 祐介*, 飯田 明彦*, 大滝 英一**

概 要

初期消火の手段として消火器は最も身近な消防用設備等であり、ほとんどの防火対象物に設置が義務付けられている。一般の方々が使用する目的で設置されているため、これまで多くの都民に対して自衛消防訓練や防災訓練といった機会で行って来た。自衛消防活動基準や初期消火マニュアルでは飛散物や煙の危険性、避難路確保の重要性等を強くうたっているが、消火方法は抽象的な部分がある。

本検証では、「屋内環境」(以下「区画内」と示す。)で発生した火災において消火器で初期消火を実施した場合、初期消火者がより安全かつ確実に初期消火できる手順を具体的に明示する事を目的とし、実験を行った。

その結果、区画内で初期消火を実施する際に、初期消火者周辺の温度や煙濃度(減光係数)が受傷や避難路を見失う危険性のある値を示す場合があり、初期消火者の姿勢や位置が重要であることが確認できた。

1 はじめに

平成 22 年 8 月、予防技術検討委員会で報告された「防火管理部会(自衛消防活動時の安全管理に係る事項)検討報告書」によると、平成 15 年 1 月から平成 21 年 12 月までの 7 年間に防火管理義務対象物で死傷者の発生した火災の出火原因は「ガステーブル等」が 28%で最も多く、「たばこ」、「放火」、「大型ガスこんろ」、「電気ストーブ」と続いている。全体的に火気設備や火気器具、たばこといった区画内の火災によって多くの死傷者が生じている。また、防火管理義務対象物の火災全体の約 75%で初期消火が実施されており、そのうち約 85%が初期消火に成功している。一方で、発生した死傷者のうち約 35%が初期消火実施中であることから、区画内火災のより安全な消火方法を検討した。

2 目的

区画内で発生した火災において消火器で初期消火を実施した場合、初期消火者がより安全かつ確実に初期消火できる手順を具体的に明示する。

3 実験方法

(1) 実験区画

燃焼実験棟内に高さ 2.4m、幅 4.0m、奥行 6.0mの約 15 畳程度で、火源は壁際に設定した(図 1、図 2)。

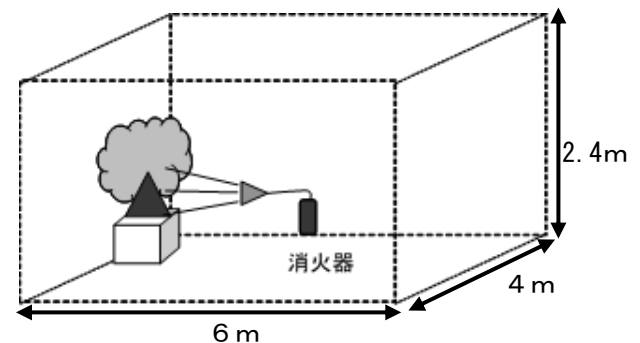


図 1 実験区画全体イメージ



図 2 区画内の状況

(2) 火源の設定

火源はA火災及びB火災の2種類を対象とした。A火災は住宅用消火器の性能試験に用いられるA火災模型を準用し、1辺 0.45mのクリブにヘプタンを助燃剤として

* 装備安全課 ** 企画課

点火した。B火災も同様に住宅用消火器の性能試験に用いられるB火災模型を準用し、直径0.3m、深さ0.075mの中華鍋に1Lの大豆油を入れ、加熱することにより発火させた。

消火を開始した火炎の高さは天井高さ(2.4m)と初期消火実施者の目線の高さ(1.5m)とした(図3、図4)。

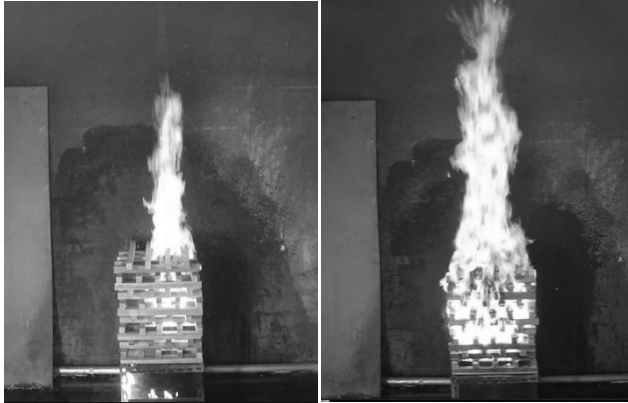


図3 A火災(火炎高さ 左:1.5m、右:2.4m)

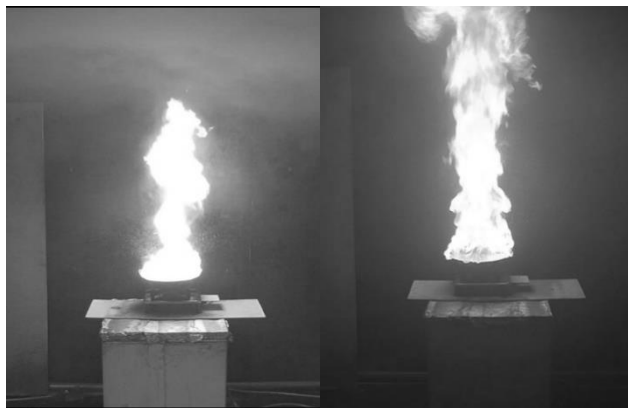


図4 B火災(火炎高さ 左:1.5m、右:2.4m)

(3) 消火方法

火源に対して消火器で直接噴射する「直状噴射」と広く指導されている「掃くようにして噴射」の2種類とした。掃くようにして噴射する場合の振り幅は噴射位置と火源の幅から、ノズルの中心軸が火源の幅になるようにした(図5、6)。

ノズルの振る速さは中村ほかの報告¹⁾では1秒間に6~7往復(6~7Hz)が適切であるとされるが、強化液消火器(噴射時間約50秒)でも振り続けられる速さとして1秒間に2往復(2Hz)に設定した。

消火器を噴射する位置は一般的な10型の消火器の放射距離の範囲で近い距離3mと遠い距離6mの2箇所とした。

消火器を噴射するノズルの高さは成年男子が直立時に消火器を構えた高さが約1.0mであることから、1.0mに固定した。

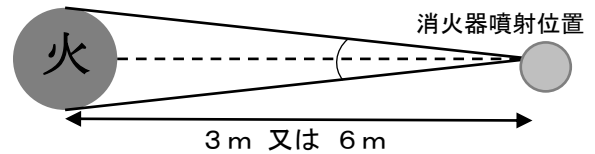


図5 ノズルの振り幅イメージ



図6 ノズル振幅固定金具

(4) 消火器種別

消火器は粉末消火器(ABC)、強化液消火器(中性)、強化液消火器(アルカリ性)の3種類を用いた(表1)。

表1 使用消火器種別

消火器種別	消火薬剤	対応火災種別
粉末消火器	ABC粉末	A火災・B火災・C火災
強化液消火器	中性	
	アルカリ性	

(5) 実験パターン

表2に示す実験条件をそれぞれの組合せにおいて実験を行った。以下、実験条件を示すため、直状噴射を「①」、掃くような噴射を「②」で、火源はA火災を「A」、B火災を「B」とし、消火薬剤は粉末を「粉」、強化液(中性)を「中」、強化液(アルカリ性)を「ア」と略して実験パターンを表記する。例えば、火炎高さ1.5mのA火災に粉末消火器を直状噴射で3.0mの位置から消火するパターンは「①A1.5粉3」と表記する。また、複数同時噴射は2本の場合を「粉粉」、3本の場合を「粉粉粉」と表記する。異なる消火薬剤を使用した場合のみ、同じ組み合わせで二回実施し、(1)、(2)と表記した。

表2 実験条件

	消火方法	火源	火源高さ	消火薬剤	噴射位置
条件	①直状噴射 ②掃くような噴射	A火災 B火災	1.5m 2.4m	粉末	3.0m 6.0m
				強化液(中性)	
				強化液(アルカリ性)	
合計	2	2	2	3	2

(6) 測定項目及び測定点

図7に示す測定点において温度、煙濃度(減光係数)、一酸化炭素濃度の測定を行った。また、初期消火者の口

元付近（噴射位置の高さ 1.5m）の酸素濃度、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度は別途赤外線ガス分析計を用いて測定した。それぞれの測定器等を図 8 から図 11、表 3、表 4 に示す。

ア 温度・・・K 型熱電対・素線径 0.32mm のもので測定した。

イ 煙濃度（減光係数）・・・煙濃度（減光係数）計は白熱電球を投光器、Se 太陽電池を素子とした受光器を距離 1.0m で測定した。（JIS1306：2014 の測定方法に準拠）

ウ 一酸化炭素・・・電気化学式センサによる一酸化炭素濃度計により記録した。

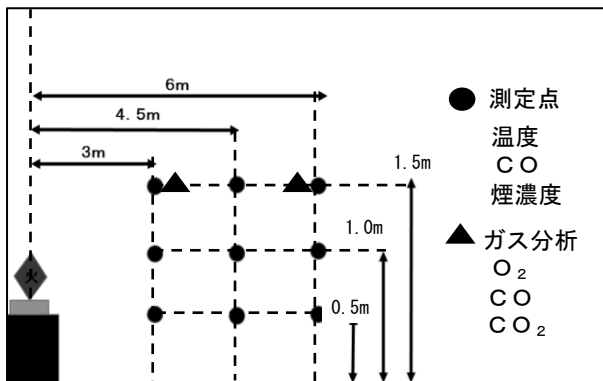


図 7 区画内断面図



図 8 煙濃度計



図 9 一酸化炭素濃度計



図 10 ガス分析計吸気口



図 11 赤外線ガス分析計

表 3 赤外線ガス分析計の仕様

機種	富士電機製赤外線ガス分析計
計測ガス	CO ₂ 、CO、O ₂
測定範囲	CO ₂ ：最小レンジ 0-1vol%、最大レンジ 0-10vol% CO：最小レンジ 0-1vol%、最大レンジ 0-10vol% O ₂ ：最小レンジ 0-10vol%、最大レンジ 0-25vol%
測定原理	CO ₂ 、CO：非分散型赤外線方式 O ₂ ：磁気力式
再現性	±0.5% 以内
測定間隔	1.0秒間隔（データロガーにて測定値を記録。）
応答速度	ガス入口より90%応答60秒以下

表 4 一酸化炭素測定器の仕様

機種	Lascar Electronics Inc. 製 データロガーUSB
計測ガス	CO
測定範囲	0-1,000ppm
測定原理	電気化学式センサ
分解能	0.5ppm
測定間隔	10秒間隔
使用温度	-10-40℃

4 実験結果

実験番号や実験条件消火可否、再燃有無の一覧を表 5 に示す。また、実験の状況及び消火後の状況を図 12 から図 15 に示す。



図 12 消火前の状況



図 13 消火中の状況



図 14 消火後の A 火災模型



図 15 消火後の B 火災模型

※ 強化液（アルカリ性）の消火器使用後の例

(1) 消火方法について

表 5 の結果や各測定項目において、消火方法の違いで結果に大きな変化はなかった。

(2) 火源について

表 5 より、A 火災に比べ B 火災の方が消火に失敗するパターンが多く見られた。また、煙濃度（減光係数）や温度において、全体的に A 火災に比べ B 火災の方が高い値を示した。

表5 消火可否一覧

① 直状噴射				② 掃くような噴射				B火災直状噴射距離3m火炎高さ1.5m			
実験番号	実験条件	消火可否	再燃有無	実験番号	実験条件	消火可否	再燃有無	実験番号	実験条件	消火可否	再燃有無
1	A1.5粉3	○		25	A1.5粉3	○		49	粉粉粉	○	
2	A1.5粉6	○		26	A1.5粉6	○		50	中中中	○	
3	A1.5中3	○		27	A1.5中3	○		51	アアア	○	
4	A1.5中6	×		28	A1.5中6	×		52	粉粉	○	
5	A1.5ア3	○		29	A1.5ア3	○		53	中中	○	
6	A1.5ア6	○		30	A1.5ア6	○		54	アア	○	
7	A2.4粉3	○		31	A2.4粉3	○		55	粉中(1)	○	
8	A2.4粉6	○		32	A2.4粉6	○		56	粉中(2)	○	
9	A2.4中3	×		33	A2.4中3	×		57	粉ア(1)	○	
10	A2.4中6	×		34	A2.4中6	×		58	粉ア(2)	○	
11	A2.4ア3	○		35	A2.4ア3	○		59	中ア(1)	○	
12	A2.4ア6	○		36	A2.4ア6	○		60	中ア(2)	○	
13	B1.5粉3	×	再燃	37	B1.5粉3	○					
14	B1.5粉6	×	再燃	38	B1.5粉6	×	再燃				
15	B1.5中3	○		39	B1.5中3	○					
16	B1.5中6	○		40	B1.5中6	×					
17	B1.5ア3	○		41	B1.5ア3	○					
18	B1.5ア6	○		42	B1.5ア6	○					
19	B2.4粉3	○		43	B2.4粉3	×					
20	B2.4粉6	×	再燃	44	B2.4粉6	×	再燃				
21	B2.4中3	×		45	B2.4中3	○					
22	B2.4中6	×		46	B2.4中6	×					
23	B2.4ア3	○		47	B2.4ア3	○					
24	B2.4ア6	○		48	B2.4ア6	○					

(3) 火炎高さについて

表5より火炎高さが高い方が、消火に失敗しているパターンが散見された。また、初期消火者の口元付近のガス濃度は、火炎高さが高い方が、二酸化炭素濃度がやや高い傾向があった(図16、図17)。

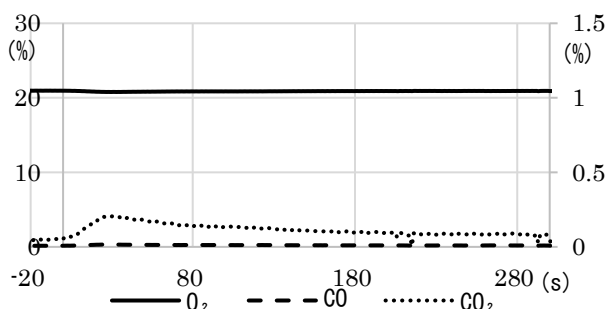


図16 ①A1.5 中3：ガス種別の濃度

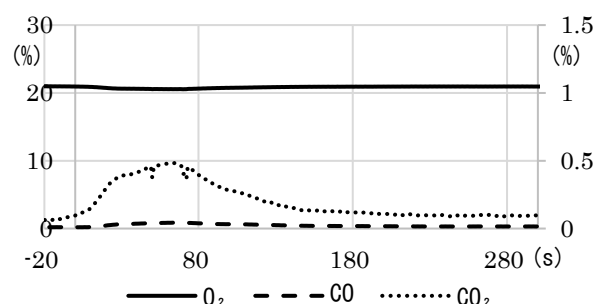


図17 ①A2.4 中3：ガス種別の濃度

※ O₂は左縦軸、CO、CO₂は右縦軸で示す。

(4) 消火薬剤について

表5の結果より、強化液(アルカリ性)の消火成功率が若干高く、粉末はB火災において再燃しやすい傾向が見られた。煙濃度(減光係数)は粉末を使用した場合、火源に近いほど高い値を示し、早い時間にピークが表れた。また、強化液(中性・アルカリ性)は地面から高い

位置であるほど顕著に高い値を示した(図18~図23)。温度は強化液(中性)を使用した場合のみ位置に関係なく1.5mの高さで高い値を示した(図24~図27)。

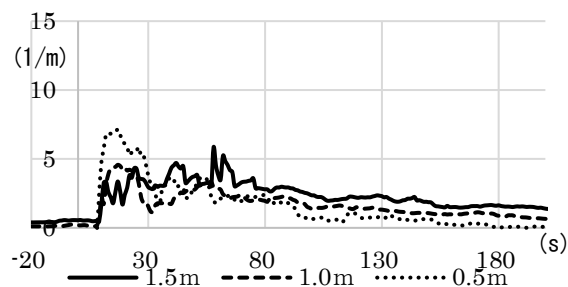


図18 ②B1.5 粉3：水平距離3m高さ別の減光係数

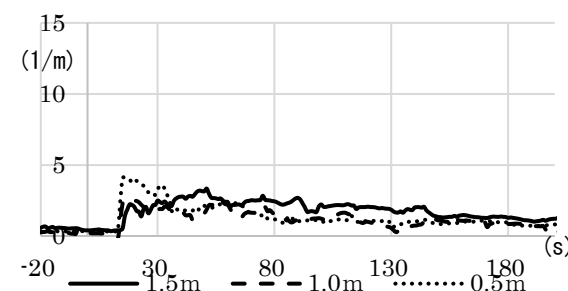


図19 ②B1.5 粉3：水平距離4.5m高さ別の減光係数

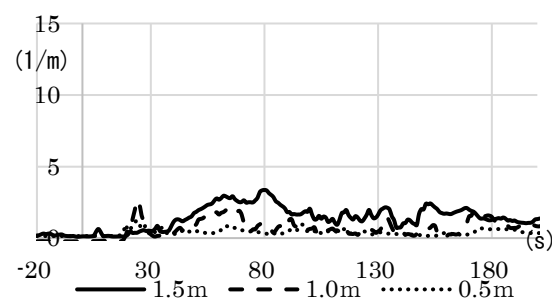


図20 ②B1.5 粉3：水平距離6m高さ別の減光係数

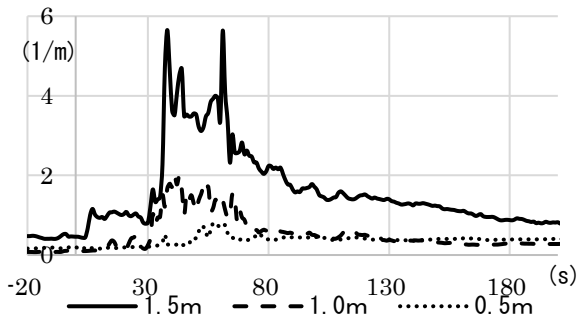


図 21 ②B1.5 中 3 : 水平距離 3m 高さ別の減光係数

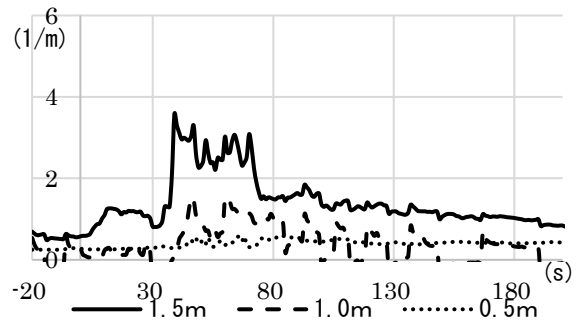


図 22 ②B1.5 中 3 : 水平距離 4.5m 高さ別の減光係数

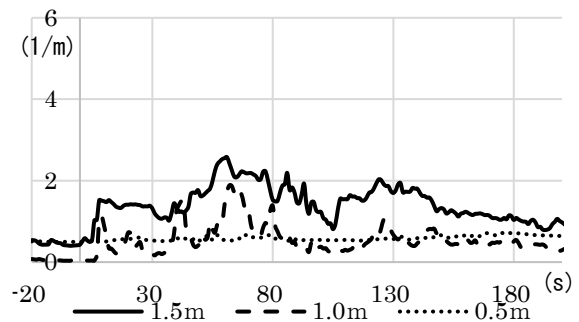


図 23 ②B1.5 中 3 : 水平距離 6m 高さ別の減光係数

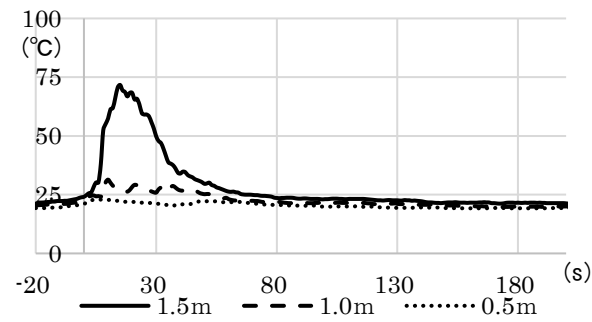


図 24 ①B1.5 中 3 : 水平距離 3m 高さ別の温度

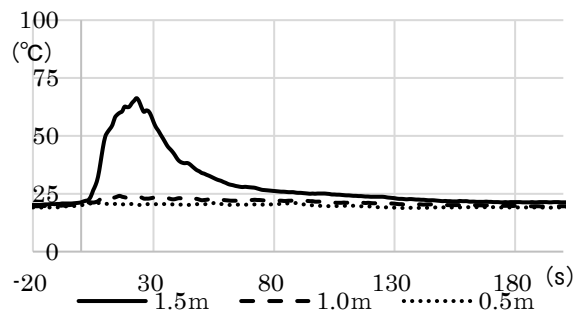


図 25 ①B1.5 中 3 : 水平距離 4.5m 高さ別の温度

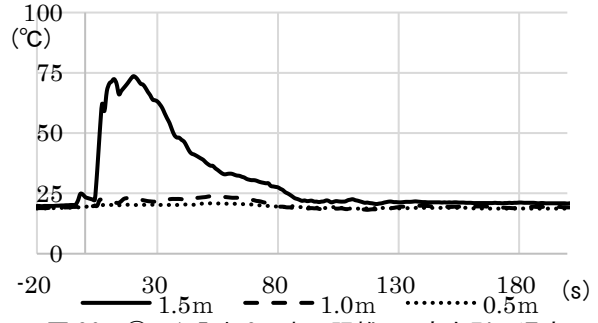


図 26 ①B1.5 中 3 : 水平距離 6m 高さ別の温度

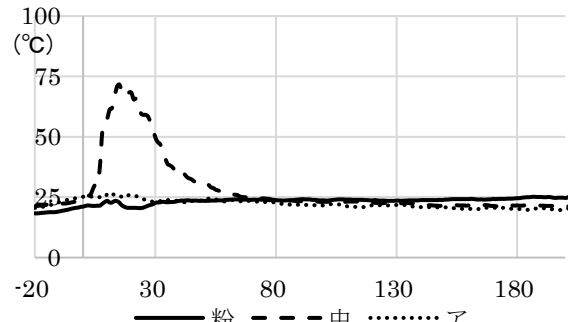


図 27 B 火災水平距離 3m 高さ 1.5m の消火薬剤別温度

(5) 噴射位置について

表 5 より噴射位置が遠い方が、消火に失敗しているパターンが散見された。その他の測定項目においては噴射位置の違いによる大きな変化は生じなかった。

5 考察

実験結果から、実験条件や測定項目ごとに初期消火者への危険性を見出し「効果的な消火方法」を検討する。

(1) 煙濃度 (減光係数) について

4(2)より、煙濃度 (減光係数) はA火災に比べB火災の方が高い値を示す傾向があった。A火災は火炎の成長が早く、着火後約 30 秒で消火する火炎高さに到達したのに対し、B火災は発火前から多量の煙が発生し、消火開始時には既に天井から高さ約 1.8m の高さまで煙が降下していたことにより、区画内に充満した煙の量で差が生じたものと思われる。4(4)より、粉末を使用した場合、火源に近いほど初期に高い値を示した。区画内に滞留した煙よりも、噴射した消火薬剤の吹き返しによる影響が大きいためと考えられる。強化液 (中性・アルカリ性) は地面から高い位置であるほど高い値を示した。これは、強化液 (中性・アルカリ性) は区画内の天井に滞留した煙が下りてくるため、火源からの距離にかかわらず、高い位置の減光係数が高くなったと考えられる。

煙中でのものの見え方の指標として煙濃度 (減光係数) が用いられ、その値は高いほど視界が悪くなる。比較的少人数の出入りする建物で、かつ建物内をよく知っ

ている場合には、3～5m程度の見通し距離でも避難可能だといわれている²⁾。見通し距離3～5mのときの減光係数は1.0～0.6/mであることから、減光係数が1.0/mを超えると危険性があるとして考察する。今回の実験結果において高い値を示したのは粉末を使用した場合であり、火源から3mの位置では噴射から約10秒で減光係数1.0/mを大きく上回った(図18)。火源から4.5mの位置で約15秒(図19)、6.0mの位置では約30秒で値が減光係数1.0/mを大きく上回った(図20)。強化液(中性・アルカリ性)は噴射から約15秒の時点で高さ1.5mの値が火源からの距離に関係なく高くなる(図21～23)。

図28と図29に火源に対して消火中の目線(火源から距離3m前向き、高さ1.5m)と避難路の目線(火源から距離4.5m後ろ向き、高さ1.0m)の画像を示す。消火中の目線の噴射0秒後と噴射5秒後と比較すると、同じ程度の減光係数でも、目線の先の空間における煙濃度(減光係数)によって視界は大きく変化することが分かる。わずかな距離ではあるが向きや高さの違いで視界が大きく異なることから、避難路を断たれないためには煙にまかれない位置と姿勢が重要であることが分かる。噴射10秒後の前方の目線と避難路の目線と比較すると、前者の減光係数が1.78/mでほぼ視界が利かない状況が確認できる。一方、避難路の目線の煙濃度(減光係数)は0.31/mであり、十分避難が可能であると考えられる。

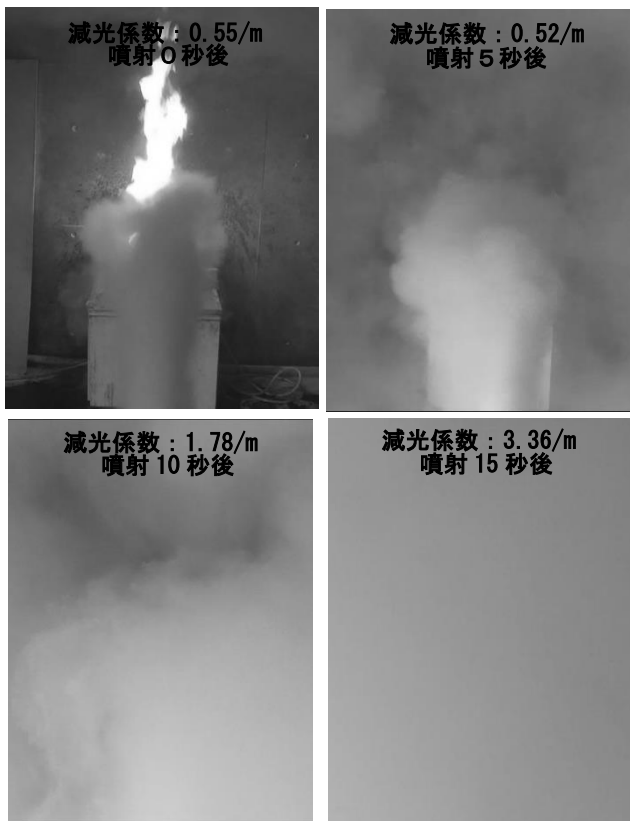


図28 B1.5粉3、火源方向の視界

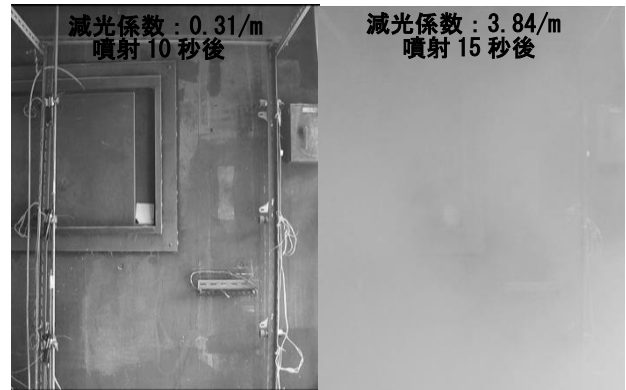


図29 B1.5粉3、避難方向の視界

(2) 温度について

4(2)より、A火災に比べB火災の方が高い値を示す傾向があった。これは消火を開始するタイミングまでに、区画内の天井付近に滞留していた熱気によって差が生じたと思われる。A火災は着火後約30秒で消火する火炎高さに到達したのに対し、B火災は発煙から発火まで約3分以上かかり、多量の煙や熱気流が発生していたため、天井付近に熱気が滞留していたと思われる。4(4)より、強化液(中性)を使用した場合のみ高い値を示した。これは粉末と強化液(アルカリ性)は火炎を消火するまでに時間を要しないため、滞留した熱気の拡散が少ないのに対し、中性は消火するまでに30秒以上の時間を要し、消しきれないこともあった。したがって天井付近に滞留した熱気が拡散されて降下してくることで温度上昇するものと思われる。

皮膚は70℃の温度が1秒間接触すると熱傷を引き起こす³⁾と示されている。今回の実験において70℃を超える温度を示したのは強化液(中性)を使用した場合であり、特にB火災において強化液(中性)を使用した場合、高さ1.5mの位置で70℃を超えている。高さ1.0mの位置ではほとんど温度が上昇していないことから、低い姿勢が重要である事が確認できた。

(3) 一酸化炭素濃度・二酸化炭素濃度について

各測定点や初期消火者の口元付近で測定した赤外線ガス分析計の測定結果から、一酸化炭素濃度と二酸化炭素濃度ともに消火器を噴射するまで数値にほとんど変化はなく、噴射直後から約1分でピーク値を示し、約3分後には噴射前の値に戻った。一酸化炭素濃度のピーク値は最大で約700ppm、二酸化炭素濃度のピーク値は最大で約1.03%程度であった(図30)。いずれの濃度も短時間で人体に影響を与える濃度ではないことから、初期消火を行う時間では危険性は少ないと思われる。

(4) 油温について

表5よりB火災において粉末を使用した場合、再燃を起こすことが多く見られた。図31から図33にB火災、直状噴射、火炎高さ1.5m、噴射位置3mにおける消火薬剤種別ごとの油温の経過を示す。

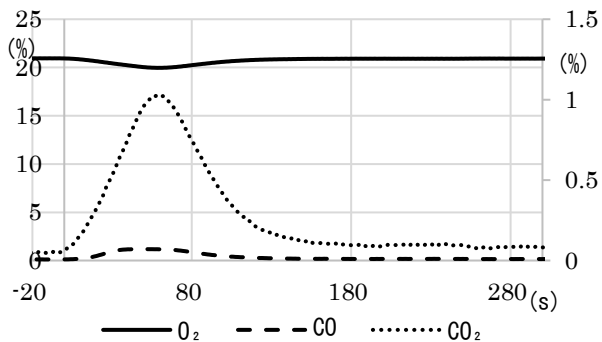


図 30 ②A1.5 中 6：初期消火者立ち位置のガス濃度
※ O₂は左縦軸、CO、CO₂は右縦軸で示す。

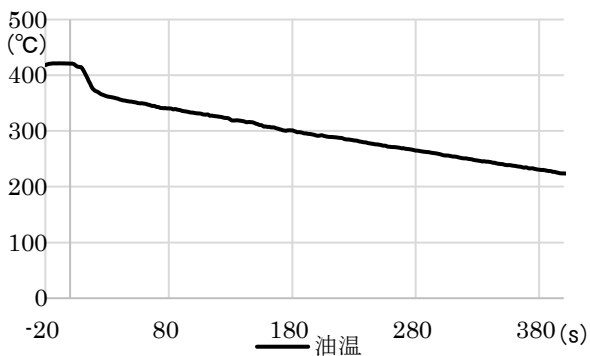


図 31 ①B1.5 粉 3 の油温の経過

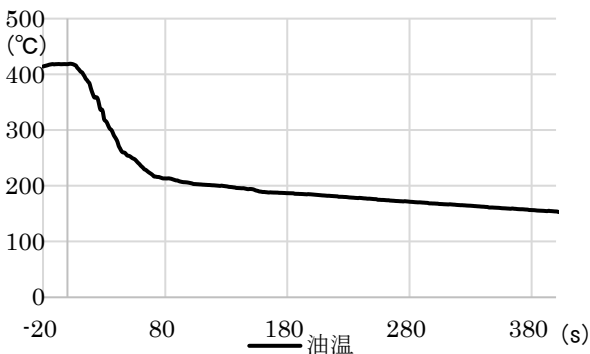


図 32 ①B1.5 中 3 の油温の経過

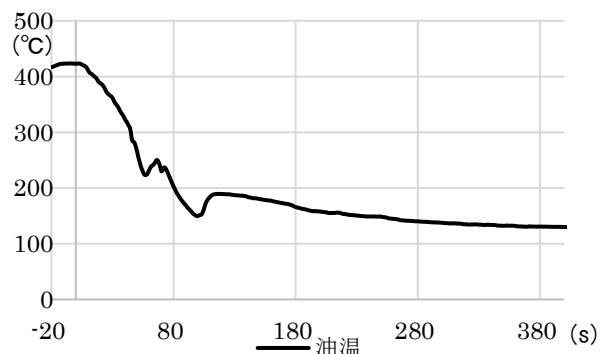


図 33 ①B1.5 ア 3 の油温の経過

どの消火薬剤においても噴射後の約 15 秒間は同じような温度低下を示している。強化液（中性・アルカリ性）は約 50 秒間噴射できることから、その間急速に温度低下するが、粉末は約 15 秒間で噴射が終わるため、その後は緩やかに温度低下している。

B 火災模型に使用した大豆油の発火点は一般的に約 360°C とされる。強化液（中性・アルカリ性）を噴射した後は約 200°C まで冷却されており、再び発火する危険性はないと思われる。しかし、粉末の場合は噴射後の油温が約 360°C であったため、多くの実験条件で再燃してしまったと思われる。また、消火を開始する時点の油温や油の容量によって、発火点を下回らないことが十分考えられるため、B 火災には強化液と粉末の併用が望ましい。

(5) 複数同時噴射について

表 5 より、複数の消火器で同時に消火を行うと、初期消火成功率を上げるが、複数の消火器がそろふまで時間を要することから、火炎が成長する早さ（1.5m から 2.4m まで約 15 秒）を勘案すると、初期消火を困難にさせるとともに、受傷の危険性が増すと思われる。また、1 本噴射した後に継続して複数使用する場合、1 本終了時点で視界不良若しくは熱により避難が必要な状況になることから、2 本目以降の噴射は不可能と思われる。迅速に複数の消火器を同時に準備できない場合は、1 本のみで消火を開始することが望ましい。

(6) 消火方法について

表 5 より、「直状噴射」と「ほうきで掃くような噴射」で消火の可否に大きな違いは見られなかった。これは火源の幅が狭く、ノズルの振り幅が狭いことから火源の単位面積当たりにかかる消火薬剤の量に差が少なかったためと思われる。

区画内における初期消火可能な範囲の火災では火炎幅が狭いことが多く、「直状噴射」と「掃くような噴射」の差が表れにくい。振ることを意識するあまり、消火薬剤が火源から外れてしまうことを避けるため、「直状噴射」が望ましい。また、噴射位置が遠く、火炎高さが高いほど消火に失敗する傾向があった。このことから「効果的な消火方法」における初期消火者の位置は、消火器の放射範囲内で可能な限り近く、火炎の高さの目安は天井に火が移るまでが望ましい。

6 区画内における効果的な消火方法

実験結果や考察より、区画内における効果的な消火方法はこれまでの項目に加え、以下のように提言する。

- (1) ノズルは振らず、「直状噴射」で行う。
- (2) 噴射位置は「消火器の放射範囲内で安全を考慮し、可能な限り近づく」。
- (3) 噴射時間は「火元に約 10 秒～15 秒を目安に噴射し、避難する」。
- (4) 「低い姿勢で煙から逃げるように下がりつつ噴射する」。

7 おわりに

今回の実験を通して、区画内で消火器を使用した場合、屋外で消火器を使用した場合とは周辺環境の変化が大きく異なることが確認できた。

初期消火時の受傷事故を減らすためには、消火器具の使い方は屋外と区画内でそれぞれ適した消火方法を指導することが必要と思われる。

8 謝辞

本検証にあたり、東京理科大学大学院の関澤愛教授から貴重な助言を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 中村ほか：「粉末消火器による消火戦略」 pp. 226-229
平成 29 年度日本火災学会研究発表会概要集(2017)
- 2) 神忠久：照明学会誌 第 57 巻 第 3 号 「煙中でのものの見え方」(1973)
- 3) 大阪大学医学部特殊救急部：「目で見ると救命救急処置」
(1991)

Study on the Changes in Surrounding Environments During Initial Firefighting Using Fire Extinguishers

Yuusuke HARADA*, Akihiko IIDA*, Hidekazu OTAKI**

Abstract

Fire extinguishers are the most familiar type of firefighting equipment used for initial firefighting, and their installation is mandatory in most places that require fire prevention. Because fire extinguishers are installed to be used by the general public, guidance in their use has been provided to many citizens at such opportunities as private fire brigade training and disaster prevention drills. Private fire brigade operational standards and initial firefighting manuals strongly note the dangers of flying objects and smoke, the importance of securing evacuation routes, etc., but the explanation about fire extinguishing methods have remained partly difficult to understand.

In this study, experiments were conducted with the aim of clarifying the specific procedures that people working at initial firefighting can safely and reliably apply when using a fire extinguisher indoors. The study findings confirmed that the posture and position of the person undertaking initial firefighting in a compartment are important because the temperature and the smoke concentration (extinction coefficient) surrounding the person could cause one to lose sight of injuries and evacuation routes.