

高圧噴霧消火装置等による消火効果に関する研究について

根本 昌平*, 高井 啓安*, 富田 功*

概 要

本研究は、市販されている高圧噴霧消火装置の消火効果を、東京消防庁のポンプ車に標準装備されているフォグガンと単純比較し、その活用方法を検討するため消火実験を実施した。消火実験は、2種類を実施した。基本的な消火能力を確認するため所定の杉材を燃焼させ消火したものと、実火災を想定した居室規模の消火実験である。これらの実験から高圧噴霧の消火能力を検証し、消火の有効性、水損を軽減するための消火方法について方向を示した。

1 はじめに

市販されている高圧噴霧消火装置は、少ない水量で消火効果を上げるために、高圧で噴霧放水するものである。その対象となる火災は、主に車両火災や初期の建物火災等とされているが、建物の構造や用途によっては、この消火活動範囲がさらに広がることも考えられ、水損防止を考慮した被害の軽減が期待できる。今回、消火実験を行い基本的な部分に関してその消火効果を確認する。

2 実験日時等

- (1) 日時 平成15年2月12日～平成15年2月18日
- (2) 場所 東京消防庁消防科学研究所燃焼実験室

3 高圧噴霧消火装置等の選定

高圧噴霧消火装置は、放水圧力、放水形状、噴霧の粒子を考慮し次の3機種を選定した。3機種は、4サイクルガソリンエンジンで駆動する高圧ポンプと専用的高圧ホース(50m)、噴霧ノズルから構成されるシステムである。高圧噴霧消火装置及びフォグガンの特長は表1のとおりである。

表1 高圧噴霧消火装置等の特長

放水器具	放水形状	粒子径 (μm)	放水圧力 (MPa)	放水量 ($\text{L}/\text{分}$)
製品A	ストレート噴霧	1～50	11	25
製品B	ストレート噴霧	1～50	25	25
製品C	ストレート噴霧	110～130	4.5	25
フォグガン	ストレート	-	1.5	50
フォグガン	開度30度噴霧	200～300	1.5	180

※ 各性能の値は各社カタログによる。

*第一研究室

4 2単位クリブの消火実験

(1) 実験設定

ア 実験室

実験室は、図1、2に示すとおり壁・床・天井をALC材、ステンレス板で仕上げ、その中央には回転台を設置した。回転台は、約9秒で1回転するように設定し、その上にオイルパン(900mm×900mm)、アングル、※2単位クリブをのせた。オイルパンには、予め水道水を50mmはり、点火10秒前に自動車ガソリン0.5リットルを助燃剤として入れた。

※ 2単位クリブとは、「消火器の技術上の規格を定める省令(昭和39年9月17日自治省令第27号)第3条の規定による第1模型である。

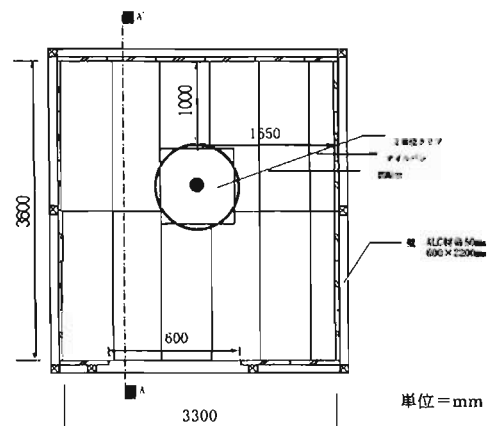


図1 実験室平面図

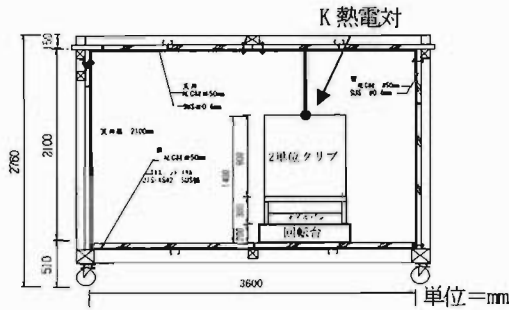


図2 実験室A-A' 断面図

イ 放水体形



図3 製品A、製品Bの放水体形 図4 製品Cの放水体形

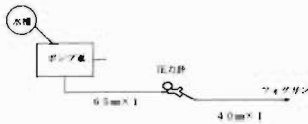


図5 フォグガンの放水体形

ウ 放水形状

放水形状の設定は、噴霧による消火実験を前提としていること、2単位クリブまでの放水距離による放水の広がりやを考慮しストレート噴霧（写真1から5）とし、表2のとおりとした。

表2 放水形状

放水器具	放水形状
製品A	ストレート噴霧
製品B	ストレート噴霧
製品C	ストレート噴霧
フォグガン	ストレート
フォグガン	開度30度噴霧



写真1 製品A



写真2 製品B



写真3 製品C



写真4 フォグガン
(ストレート)



写真5 フォグガン (開度30度)

エ 放水圧力

高圧噴霧消火装置の放水圧力は、自動設定のため測定時の値とし、フォグガンは、表1で示す1.5MPaとした。

オ 放水量の測定

2単位クリブを消火するために必要な水量は、流量計によりその水量を計測するところであるが、高圧噴霧消火装置は、流量計を設定することができないため、消火実験前に、放水量を測定し、これをもとに消火実験で得られた放水時間に乗じて消火水量を算出した。

放水量の測定方法は、直径0.9m×高さ1mの円柱のポリ容器に10秒間放水し計量容器を用いて測定した。

なお、計量は、それぞれ3回実施し、その平均を求め、1分間の放水量を算出したのが表3である。

表3 放水量の測定

放水形状	製品A	製品B	製品C	フォグガン	フォグガン
計測時放水圧力 (Mpa)	11	21	6.7	1.47	1.47
1回目 (L/10秒)	2.18	3.25	7.28	8	30.5
2回目 (L/10秒)	2.3	3.375	7.26	8.2	30.6
3回目 (L/10秒)	2.35	3.33	7.46	8.42	30.4
平均 (L/10秒)	2.277	3.318	7.333	8.207	30.5
基準水量 (L/10秒)	13.662	19.908	43.998	49.242	183.000

(2) 実験回数 放水器具ごとに2回実施。

(3) 放水方法

放水開始時間は、2単位クリブの燃焼が最盛期になる時期を考慮して、点火から3分とした。放水は、2単位クリブを回転させながら水平距離で3m離れた位置から行った。

また、放水は、消防隊員の技術による個人差を無くするため筒先を上下方向のみ動かすこととした。

(4) 消火の判定

消火の判定は、有炎現象がなくなってから放水停止後5分経過したところで判断し、5分未満で再度有炎した場合は、その時点から計測し、繰り返し消火を行うこととした。消火を判断するための時間を5分とした理由は、過去における同内容の実験を参考に決めた。

なお、有炎現象の有無は、予め観測者を決め目視により判断することとした。

(5) 測定項目等

測定項目は、点火から消火するまでの2単位クリブの温度、消火時間及び放水量等の計測である。

ア 温度

温度は、シーズ型 K 熱電対 (JIS C 1605 規格品、シーズ外径:1.6mm、素線径:0.3mm) 1点で2単位クリブ上部を測定した。

イ 燃焼状況及び放水時間

デジタルビデオカメラで記録した。あとから2単位クリブの燃焼状況を確認するとともに、放水場面の時間を集計し放水時間とした。

……デジタルビデオカメラ (ソニー社製、DCR-VX2000)

ウ データ記録機

記録は、各計測機器の電圧出力をデータロガーでAD変換したものをパーソナルコンピュータで制御し記録した。

……データロガー (江藤電気社製、CADAC21 モデル 9201)

(6) 実験結果

ア 消火状況

(7) 製品A

実験1回目は、点火から3分に放水開始、3分16秒で放水を停止、その後1回再燃した。実験2回目は、点火から3分に放水開始、3分37秒で放水を停止、その後、2回再燃した。放水は、2単位クリブにかかった正面が消火するが、中心の燃焼は続いた。炎は、2単位クリブ中心から背面に噴出し、背面で燃焼した面が回転し正面に向いたとき消火し、また、背面で再燃することを繰り返した。消火状況を確認すると、2単位クリブの中心が円柱状に焼失しており、その直径は約40cmであった。

(i) 製品B

実験1回目は、点火から3分に放水開始、4分51秒で放水を停止、その後、3回再燃した。実験2回目は、点火から3分に放水開始、5分42秒で放水を停止、その後、4回再燃し消火した。放水は、2単位クリブにかかった正面が消火するが、中心の燃焼は続いた。炎は、2単位クリブ中心から背面に噴出し、背面で燃焼した面が回転し正面に向いたとき消火し、また、背面で再燃することを繰り返した。消火状況を確認すると、2単位クリブの中心が円柱状に焼失しており、その直径は約40cmであった。

(k) 製品C

実験1回目は、点火から3分に放水開始、3分20秒で放水を停止、その後、1回再燃した。実験2回目は、点火から3分に放水開始、4分20秒で放水を停止し消火した。実験1回目、2回目ともに、2単位クリブ背面に炎を噴出しながら、消火した。消火後の2単位クリブは、杉材表面が一様に炭化し原形を保っていた。

(e) フォグガン (ストレート)

実験1回目は、点火から3分に放水開始、3分24秒で放水を停止、その後、1回再燃した。実験2回目は、点火から3分に放水開始、3分32秒で放水を停止、その後、1回再燃した。実験1回目、2回目ともに、2単位クリブ背面に炎を噴出しながら、消火した。消火後の2単位クリブは、杉材表面が一様に炭化し原形を保っていた。

(o) フォグガン (開度30度噴霧)

実験1回目、実験2回目ともに3分から放水開始し、それぞれ、3分14秒、3分10秒で消火した。放水後、一気に有炎現象を抑え消火となった。また、消火後、2単位クリブは、杉材表面が一様に炭化し原形を保っていた。

イ 温度状況

(7) 製品A

実験1回目の温度変化は、放水直後881°Cから969°Cに上昇するが、すぐに下降して650°C前後を保った。温度下降は、4分10秒に711.9°Cのピークをとると、5分19秒に66.8°Cとなった。(図6)

実験2回目の温度変化は、放水直後845°Cから940°Cに上昇し、小刻みに下降し6分18秒に74°Cになった。(図7)

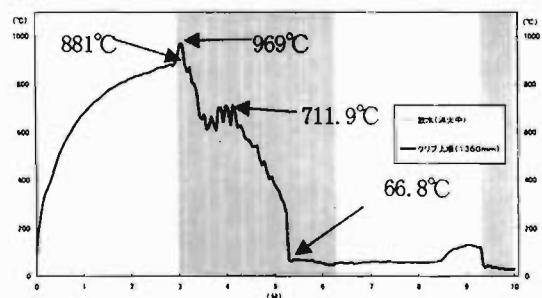


図6 製品A実験1回目

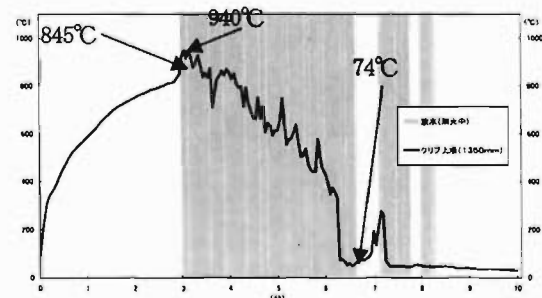


図7 製品A実験2回目

(i) 製品B

実験1回目の温度変化は、放水直後、839°Cから1014°Cに上昇するが、すぐに下降し4分44秒に356°Cになった。(図8)

実験2回目の温度変化は、放水直後、869°Cから1019°Cに上昇し、小刻みに下降し5分03秒に83.9°Cとなった。(図9)

実験1回目の消火では、2単位クリブが完全に消火してないうちに停止したため、早く再燃した。

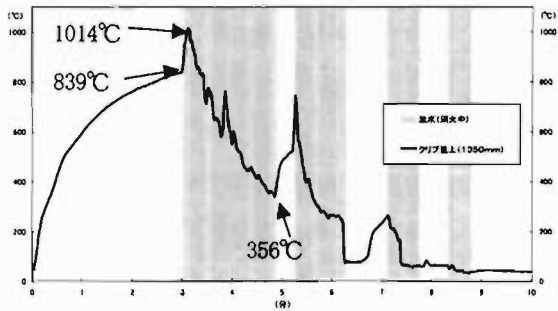


図8 製品B実験1回目

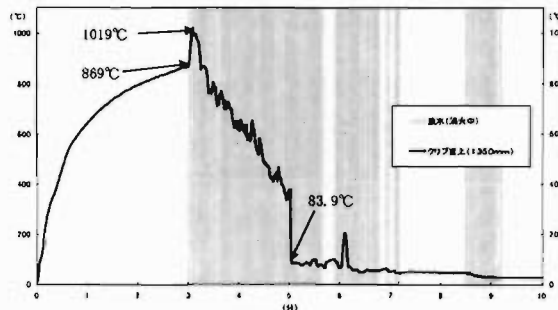


図9 製品B実験2回目

(f) 製品C

実験1回目の温度変化は、放水直後839°Cから903°Cに上昇し3分21秒に437°Cに降下するが、その後、徐々に上昇した。(図10) 実験2回目は、放水直後828°Cから891°Cに上昇するが、すぐに下降し3分49秒に94°Cとなった。(図11) 実験1回目は、完全に消火しなかったため無炎燃焼が継続し1分以内に再燃した。実験2回目は、これを踏まえて十分に放水し再燃なく消火した。

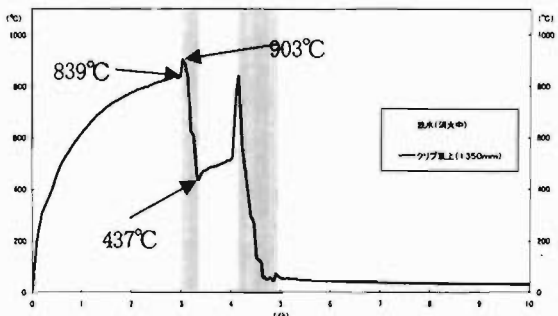


図10 製品C実験1回目

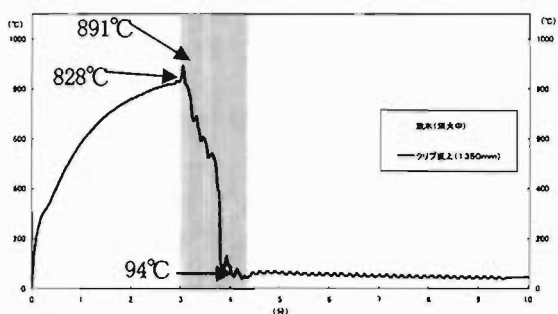


図11 製品C実験2回目

(エ) フォグガン (ストレート)

実験1回目の温度変化は、放水直後、829°Cから853°Cに上昇するが、一機に下降し3分13秒に60.4°Cになった。(図12) 実験2回目の温度変化は、放水直後、839°Cから889°Cに上昇するが、下降し3分30秒に301°Cとなった。(図13)

実験1回目、2回目ともに、温度がすぐに下降したが、2回目は、2単位クリブ中心を十分に消火しないうちに放水を停止したため、200°C以上の温度を保った。

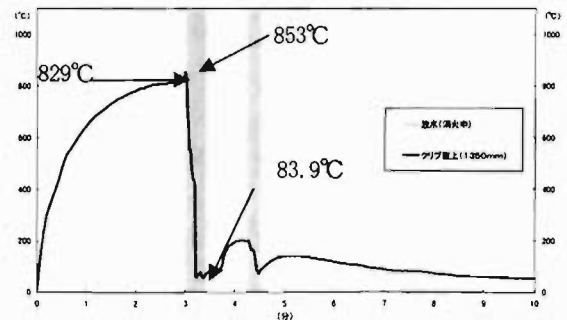


図12 フォグガン (ストレート) 1回目

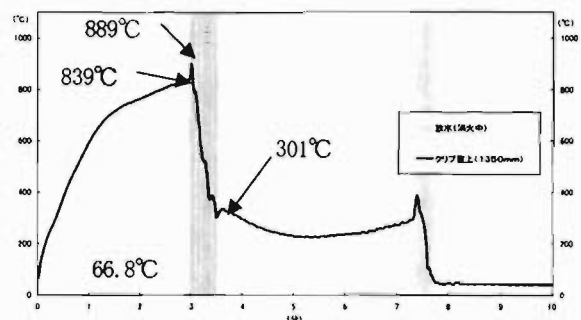


図13 フォグガン (ストレート) 2回目

(オ) フォグガン (開度30度噴霧)

実験1回目の温度変化は、放水直後842°Cから882°Cに上昇し、3分16秒に296°Cとなった。(図14) 実験2回目は、放水直後853°Cから876°Cに上昇し、3分13秒に382.9°Cとなった。(図15)

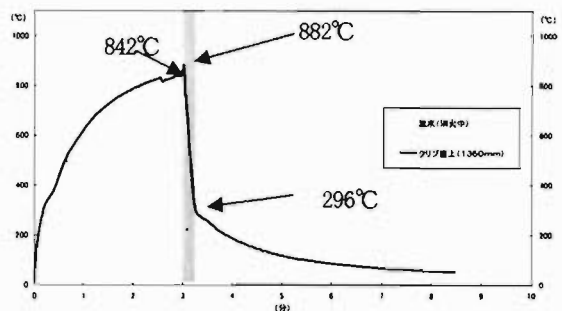


図14 フォグガン (開度30度噴霧) 1回目

たものをパーソナルコンピュータで制御し記録した。

・データロガー (江藤電気社製 CADAC21 モデル 9201)

ウ 燃焼状況及び放水時間

デジタルビデオカメラで記録した映像から、クリブの燃焼状況を確認するとともに、放水場面を集計し放水時間とした。

・デジタルビデオカメラ (ソニー社製、DCR-VX2000)

(7) 実験結果

ア 消火状況

(7) フォグガン

消火の状況は、放水開始後、火炎を抑え込むと、ほぼ同時に水蒸気と煙が噴出し実験室内の視界を遮った。また、放水位置を5mから3mまで接近するに要した時間は、17秒だった。

(イ) 製品C

消火状況は、放水開始後、火炎がゆっくりと消炎するが、接近し右側クリブを放水していると、左側クリブから延焼し、この状況を何度も繰り返し消火した。また、放水位置を5mから3mまで接近するに要した時間は、20秒だった。

イ 実験室内の温度状況

(7) フォグガン

実験室内の温度は、点火後2分00分に817.3℃となり、消火開始とともに温度が下降し4分18秒に134.2℃になるが、徐々に温度が上昇した。4分58秒には、229.1℃となり、2回目の消火で消火した。(図17)

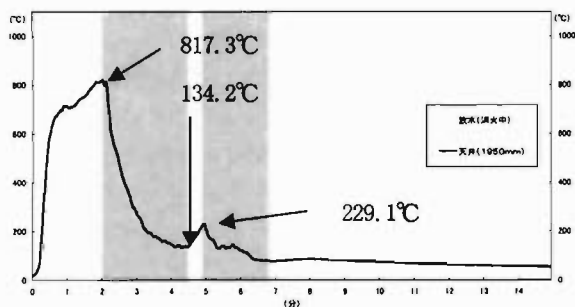


図17 室内温度状況 (フォグガン)

(イ) 製品C

実験室内の温度は、点火後2分00分に870℃となり、消火開始とともに温度が下降し、5分40秒に84.3℃なり、その後、5回再燃した。(図18)

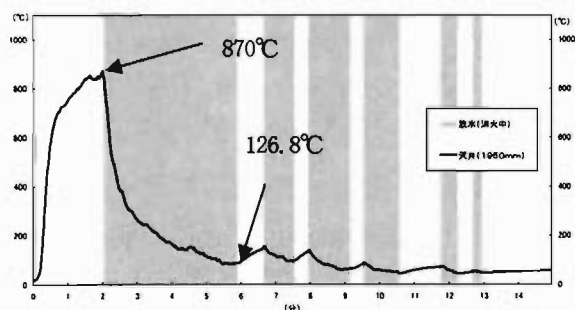


図18 室内温度状況 (製品C)

ア 消火時間経過 表5のとおり

表5 消火時間経過

消火時間経過	放水器具	フォグガン	製品C
放水形状	ストレート	ストレート	ストレート噴霧
放水開始	2分00秒	2分00秒	2分00秒
1回目放水終了	4分27秒	5分02秒	5分02秒
1回目再燃	4分43秒	6分48秒	6分48秒
2回目放水開始	4分43秒	6分38秒	6分38秒
2回目放水終了	6分46秒	7分42秒	7分42秒
2回目再燃		7分56秒	7分56秒
3回目放水開始		7分46秒	7分46秒
3回目放水終了		9分07秒	9分07秒
3回目再燃		9分11秒	9分11秒
4回目放水開始		10分31秒	10分31秒
4回目放水終了		10分32秒	10分32秒
4回目再燃		11分44秒	11分44秒
5回目放水開始		11分44秒	11分44秒
5回目放水終了		12分14秒	12分14秒
5回目再燃		12分40秒	12分40秒
6回目放水開始		12分40秒	12分40秒
6回目放水終了		12分54秒	12分54秒
消火時間 (秒)		200	402
放水量 (ℓ/分)		19.242	43.998
消火水量 (ℓ)		213.4	338.8

※1 消火時間は放水時間の合計

※2 消火水量の値は、少数第2位四捨五入

6 考察

(1) 2単位クリブの消火実験

ア 消火と温度状況について

4(6)アの消火状況及び図10から15に示す温度状況からフォグガンと製品Cは、火炎を抑制して消火したと考える。これに対し、製品A、Bは、2単位クリブの中心部が筒状に消失しており、燃焼しながら消火したと考える。図6から9に示す放水直後の温度上昇やその後の小刻みの温度変化は、空気を送りこみクリブの燃焼を助けたと推察される。このことから製品A、Bが有効に消火するためには、より接近して放水する必要があることがわかった。

イ 放水量と消火時間について

表6に示すとおり、最も短い消火時間は、フォグガン(開度30度噴霧)の10秒であり、最も長い消火時間は、製品Bの270秒だった。製品AとBの消火時間は、ほぼ同程度であり、2単位クリブの中心が焼失したため同ような消火時間に収束したと考えるが、1回目消火終了をみると、製品Aよりも放水量が多い製品Bが早く消火している。このことから、消火時間と放水量の関係は、放水量が減少すると消火時間が長くなる傾向を示した。

表6 消火時間等の状況

放水器具	製品A	製品A	製品B	製品B	製品C	製品C	フォグガン	フォグガン	フォグガン	フォグガン
放水形状	ストレート噴霧	ストレート噴霧	ストレート噴霧	ストレート噴霧	ストレート噴霧	ストレート噴霧	ストレート	ストレート	開度30度噴霧	開度30度噴霧
放水圧力 (MPa)	11	11	71	71	67	67	1.5	1.5	1.5	1.5
実験回数	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
1回目放水終了	6分16秒	6分37秒	4分51秒	5分42秒	3分20秒	4分30秒	3分24秒	3分52秒	3分14秒	3分10秒
消火時間 (秒)	234	267	238	270	66	80	37	50	14	10
放水量 (ℓ/分)	13.662	13.662	19.908	19.908	43.998	43.998	49.242	49.242	183	183
消火水量 (ℓ)	53.3	60.8	79	89.6	48.4	58.7	30.4	41	42.7	30.5

ウ 放水圧力と消火時間について

放水圧力による消火時間の影響を表7に示すと、高圧による放水が消火時間の短縮となっていないことを確認した。これは、製品A、Bの消火方法が直近で消火できなかったため消火効果が上がらなかったことと、間接消火による水蒸気圧を利用した消火でなく、実験方法が燃焼物に直接放水することを狙っており冷却消火の要因が支配しているためと思われる。

表7 放水圧力による消火時間

放水器具	放水形状	実験回数	放水圧力 (MPa)	消火時間 (秒)	放水量 (リットル)	消火水量 (リットル)
フォグガン	開度30度噴霧	2回目	1.5	10	183	30.5
フォグガン	開度30度噴霧	1回目	1.5	14	183	42.7
フォグガン	ストレート	1回目	1.5	37	49.242	30.4
フォグガン	ストレート	2回目	1.5	50	49.242	41
製品C	ストレート噴霧	1回目	6.7	66	43.998	48.4
製品C	ストレート噴霧	2回目	6.7	80	43.998	58.7
製品A	ストレート噴霧	1回目	11	234	13.662	53.3
製品A	ストレート噴霧	2回目	11	267	13.662	60.8
製品B	ストレート噴霧	1回目	21	238	19.908	79
製品B	ストレート噴霧	2回目	21	270	19.908	89.6

(2) 2単位クリブ3個の消火実験

ア 消火と温度状況について

5(7)アの消火状況より、放水位置を5mから3mまで接近するに要した時間は、フォグガンが17秒に対し製品Cが20秒であったが、大きな差はなかった。5(7)イの実験室内お温度状況でもこれを示しており放水による温度降下は、フォグガンの1回目の放水終了4分18秒が134.2℃に対し、製品Cの4分18秒では、126.8℃であり同程度であった。このことから放水初期における火炎の抑制は同程度と考える。

また、全体の消火状況としては、フォグガンが1回の放水で火炎を大きく抑制しているのに対し、製品Cは、5回も再燃しており、一方のクリブを消火すると、他方のクリブが有炎するという状況が何度も繰り返した。これは、他方のクリブを消火する際、放水とともに実験室内に空気が供給し、別のクリブの燃焼を助けたためと考える。このことから、製品Cが有効に消火するためには、より接近して放水する必要があることがわかった。

イ 消火水量と消火時間について

表8に示すとおり消火水量は、フォグガン213.4リットルに対し、製品Cが338.8リットルあり、その差は、製品Cの方が125.0リットル多く、約1.6倍だった。また、消火時間は、フォグガンが260秒、製品Cが462秒であり、その差は、製品Cの方が202秒であり約1.8倍となった。いずれの結果からも消火効果は、フォグガンが優れていた。製品Cがフォグガンより消火効果が劣ったことを考えると、消火時間が462秒のうち、再燃後の消火に要した時間が232秒もかかっていることにある。これは、放水による消火効果が有効でなかったためで、製品Cの消火効果を有効に引き出すには、燃焼物からの放水距離を3mより短くすべきであり、燃焼物に接近し放水する消火実験では、有効な消火効果が期待できると考える。

表8 消火水量等の比較

放水器具	フォグガン	製品C
放水形状	ストレート	ストレート噴霧
消火時間(秒)	260	462
放水量(リットル)	49.242	43.998
消火水量(リットル)	213.382	338.7846

7 結論

(1) 消火の有効性

今回の実験結果では、放水器具の機種に関係なく放水量が多いものが早く消火できることが確認できた。このことから高圧噴霧消火装置で対応する火災は、消火の有効射程から他への延焼危険がない耐火区画された小空間の火災には有効だといえる。

(2) 水損を軽減するための消火方法

高圧噴霧消火装置の場合、2単位クリブの消火実験からは、クリブの中心が焼失していることや、2単位クリブ3個の消火実験でも一方のクリブを消火していると他方のクリブが有炎する状況からクリブの奥まで有効に消火するには直近での消火が必要である。このことから、早期に炎をたたき屋内進入し直近で燃焼物に放水し、スポット注水を有効に活用することが、消火時間の短縮となり水損の軽減につながると考える。

おわりに

放水による水損を軽減するためには、消防隊員の消火技術を高めることが必要であり、同時に、消防隊員の意思が瞬時に反応する放水器具の操作性が重要である。この点、高圧噴霧消火装置は、放水、停止の操作が1秒単位で行える特性をもっている。

今後は、ホース延長等の活動や既存の消防用設備等との整合性について検討して研究を進めることが必要であると考えます。

参考文献

- 「改定新版 消防機器便覧 東京消防庁装備部監修」
- 東京消防庁消防科学研究所；「堅穴区画の煙流動等に関する調査報告書」平成15年3月

A STUDY OF FIRE EXTINGUISHING EFFECTIVENESS OF HIGH PRESSURE FOGGING EXTINGUISHERS

Shohei NEMOTO*, Hiroyasu TAKAI*, Isao TOMITA*

Abstract

This study compared the fire extinguishing effects of commercial high pressure fogging extinguishers to those of the fog guns that are generally loaded on Tokyo Fire Department fire engines. Optimal methods of usage for the two extinguishers were also considered. The fire extinguishing experiments consisted of two types: setting fire to and extinguishing cedar materials in order to test basic extinguishing ability, and room fire extinguishing experiments. These experiments verified the fire extinguishing ability of the high pressure fogging extinguishers and indicated which methods are most effective in fire extinguishing and in reducing water damage.

*First Laboratory