

0.5MPa 型ガンタイプノズルによる 泡放射に関する検証

栗原 豪*、中西 智宏*、金子 公平*、
山口 敦史*、加藤 達仁*、相河 好江*、町井 雄一郎*

概要

危険物火災等への泡消火薬剤を用いた初期対応を行う場合、当庁では0.7MPa型ガンタイプノズル（以下「0.7GN」という。）及び0.5MPa型ガンタイプノズル（以下「0.5GN」という。）から21型改噴霧ノズル及びフォームショットガンに付け替えて活動を行っているが、筒先等の付け替えに時間を要し、迅速な初期対応に支障をきたしている。このことから平成23年度改良検証で実施した「ガンタイプノズルによる泡放射の消火能力の検証」¹⁾に引き続き、本検証では0.5GNにおいて検証を行い、0.5GNから放射された泡消火薬剤の有効性を確認した。

その結果、0.5GNから放射された泡消火薬剤は、ヘプタンの燃焼を抑制できることがわかった。また災害現場で泡放射薬剤を放射する場合、発泡器具を装着せず0.5GNのまま放水することが、全体的な消防活動の省力化に対し効果的であることがわかった。

1 はじめに

現行の0.7GNに替わり、0.5GNが開発されたことにより、消防活動の省力化及び活動性の向上が期待されている。本検証では平成23年度改良検証で実施した0.7GNによる「ガンタイプノズルによる泡放射の消火能力の検証」に引き続き、本検証では0.5GN（A社製及びB社製）において検証を行い、0.5GNから放射された泡消火薬剤の有効性を確認した。

2 検証方法

火皿に油脂燃料（ヘプタン）を入れて燃焼させ、火皿に向けて0.5GNにより泡を放射した場合の挙動の観察及び各種データの測定を行い、消火能力を評価した。使用した0.5GNはメーカー別に2種類で、それぞれ放射形状及び発泡器具の有無を変えて比較した。

3 実験装置

(1) 0.5GNと発泡器具

実験で使用した0.5GNと発泡器具を表1に示す。また、発泡器具の仕様を表2に示す。

表1 実験で使用したGN及びメーカー指定発泡器具







	A社製	B社製
0.5GN		
発泡器具		
GNに発泡器具を取り付けた状況		

表2 発泡器具の仕様（メーカー資料より）

	質量 (kg)	全長 (mm)	発泡倍率	指定放水形状
A社製	約1.3	513	約6.7倍	直状(ストレート)
B社製	約0.9	270	約8.5倍	噴霧(約30°)

* 装備安全課

(2) 使用した泡消火薬剤及び混合方法

ポンプ車から口径 50mm ホース 3 本を延長したホースラインの先端に 0.5GN 専用ラインプロポーションナーを結合し、混合率 3% で泡消火薬剤の混合を行った。

ア 泡消火薬剤

合成界面活性剤(三愛石油株式会社製三愛スーパーフォーム 型式: 泡第 18~2 号)

イ 0.5GN 専用ラインプロポーションナー及び仕様 (表 3)

表 3 0.5GN 専用ラインプロポーションナーと仕様

ラインプロポーションナー	仕様	
	規格流量	450 L/min
	入口圧力	1.0 MPa
	出口圧力	0.5 MPa
	混合率	3%
	結合金具	Φ50×50 ねじ式

4 実験方法等

(1) 実験実施日

平成 26 年 11 月 25 日 (火) から平成 26 年 12 月 9 日 (火)

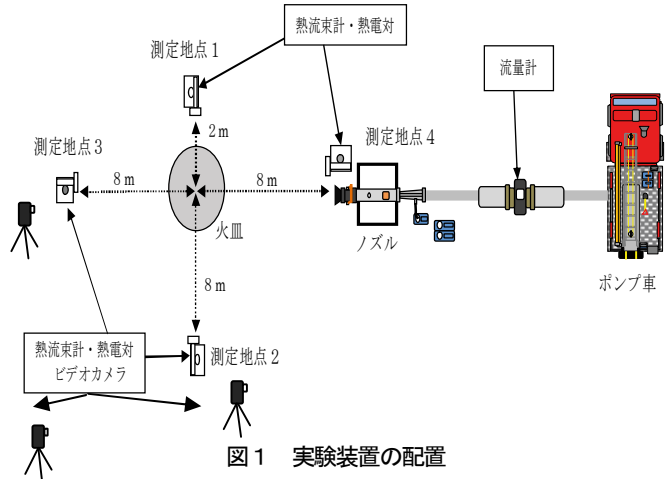
(2) 実験実施場所

名称 総務省消防庁 消防研究センター
 住所 東京都調布市深大寺東町 4-35-3
 棟名 大規模火災実験棟

(3) 実験装置の配置

直径約 2m の円形の火皿 (円形部分の面積は 4m²) の中心から 8m 離れた位置で床から 1.2 m の高さに 0.5GN を配置した。0.5GN の放射方向と直角で火皿の中心から 2m の位置に測定地点 1 を設定し、測定地点 1 と火皿を結ぶ直線上で火皿の中心から 8m 離れた位置に測定地点 2 を設定した。測定地点 3 はノズルと火皿を結ぶ直線上で火皿から 8m 離れた位置に設定した。測定地点 4 はノズルの直近の位置とした。

燃焼と消火の様子を記録するためのビデオカメラは、測定地点 2 と測定地点 3 にそれぞれ設置した。また、検証全体を俯瞰できる位置にビデオカメラを設置した。(図 1 参照)



(4) 測定内容

- ア 測定地点 1 から 4 において、熱電対及び熱流束計を床から高さ 1.5m の位置に設置し、温度並びに熱流束を測定した。
- イ 0.5GN の 1 次側に圧力計と流量計をそれぞれ取り付け付けた整流管を設置し、放水時の圧力と流量を測定した。
- ウ 前(3)で実験全体を俯瞰できる位置に設置したビデオカメラで、燃焼及び消火時の火皿の様子を観測した。その他、詳細は表 4 に示す。

表 4 観測・測定項目と内容

観測・測定項目	内容
各測定地点の熱流束及び温度	測定地点 1 ~ 4 に熱流束計、熱電対を 1.5m の高さに設置し、データロガーにて 0.5 秒毎でデータを収集した。
映像	ビデオカメラにて映像を撮影した。
泡放射開始から消火までの時間	燃焼火皿上に炎が視認できなくなった時点を「消火」とし、泡放射開始から消火までの時間を所要時間とした。 消火の確認は燃焼火皿から水平距離で 8m 離れた測定地点 2 の位置から行った。
消火から 15 分後の再着火の有無	消火から 15 分後に再度火源を近づけ、再着火の有無を確認した。近づけた直後に着火しない場合は火源を火皿上で適宜移動させた。
ノズル圧力	デジタル圧力計及びデータロガーにより 0.5 秒毎に記録するとともに、ブルドン管圧力計で確認した。
流量	流量をデータロガーに接続し計測した。

(5) 実験パターン

実験はA社製及びB社製の0.5GNを用い、直状放水及び噴霧放水の場合、発泡器具無の場合及び取り付けた場合を組合せて実験を行った。(表5参照)発泡器具はA社製及びB社製の0.5GNに適合するそれぞれのメーカーのものを使用した。なお実験は図2に示すように、直状放水時は泡放射薬剤が火皿の内側面に衝突するように放射し、噴霧放水時は泡消火薬剤が火皿全体を覆うように放水した。

表5 放水パターン

	ノズル	放水方法		その他条件
		発泡器具	放水形状	
実験1	放射なし	—	—	自由燃焼
実験2、3	A社製 0.5GN	無	直状	ノズル圧：0.5MPa 放水量：470L/min 噴霧放水展開角度：30°
実験4、5		無	噴霧	
実験6、7		有	直状	
実験8、9		有	噴霧	
実験10、11	B社製 0.5GN	無	直状	
実験12、13		無	噴霧	
実験14、15		有	噴霧	

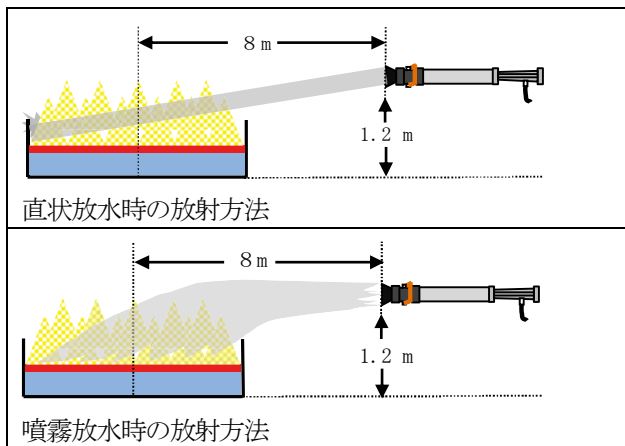


図2 放射方法

(6) 実験手順

実験手順を表6に示す。

表6 実験手順

手順	写真
【手順1】 火皿にヘプタン50Lを入れる。	

【手順2】 着火する。	
【手順3】 着火から30秒後に各放水パターンに基づく泡放射を行う。	
【手順4】 消火を確認してから、10秒間泡放射を継続する。	
【手順5】 10秒間の泡放射終了後、15分間放置し、消泡状況を観察する。	
【手順6】 手順5の後、火皿に火源を接近させて再着火の有無を確認する。	

5 結果と考察

(1) 消火性能結果

表7に各実験パターンにおける消火までの所要時間及び15分後の再着火試験結果を示す。また、各実験パターンにおける結果の詳細を表8に示す。実験1はリファレンスとして自由燃焼を行ったものである。

発泡器具を装着しない場合、特に実験12及び13は消火までに平均48.5秒を要したものの、最終的には消火に至った。その他の条件では放水形状が直状及び噴霧にかかわらず、A社製0.5GN及びB社製0.5GNいずれの放水器具においても、比較的短時間で消火でき、消火に要する時間はいずれの条件でも概ね10秒から15秒であった。それに対し、発泡器具を装着した場合は、泡放射後の火炎は微小になるものの完全には消火できず、最終的に火炎が火皿よりあふれ出たため、消火前に実験を停止した。これは発泡器具を装着しない場合、火皿内壁に激しく衝突して発泡した泡消火薬剤が素早く火皿表面を覆うように拡散していったのに対し、発泡器具を装着した場合は、火皿上方から降り注ぐように放射された泡消火

薬剤が火皿油面内部まで進入し、このとき飛び跳ねたヘプタンが火皿油面を覆った泡消火薬剤の上部に露出することにより、燃焼が継続したものと考えられる。

表9～13に各実験パターンにおける消火状況を示す。全ての実験において、①泡が火炎に命中すると同時に、火炎が大きく立ち上がる。②その直後に火炎は急激に小さくなる。③そのまま消火に至るか、火皿の縁付近で小さく燃焼を継続する。という現象が確認できた。これはボイルオーバーのように、高温のヘプタン油面に放射された泡消火薬剤が接触することにより、泡内の水分が熱エネルギーにより瞬間的に蒸発することが原因であると考えられる。

全ての実験において、放射した泡消火薬剤が火炎に命中すると同時に、放水の勢いによりヘプタンが火皿外に溢れ火皿外での燃焼継続が確認された。このことから、放水することは、ヘプタンの燃焼範囲を広げ、延焼拡大につながる危険性があると考えられる。消防隊員は、放水する際には、延焼拡大に細心の注意を払う必要がある。

なお、本実験で発泡器具を装着した場合、火皿内での消火はできなかったが、泡放射による消火性能の多大な効果は認められ、放水を継続した場合は消火に至る可能性が高いと考えられることから、本実験は発泡器具の優劣を示すものではないことを申し添える。

表7 各実験パターンにおける消火までの所要時間及び15分後の再着火試験結果

	ノズル	放水方法	所要時間	15分後の再着火
実験1	放射なし	—	3分02秒 ※1	—
実験2	A社製 0.5GN	無・直状	12秒	有
実験3		無・直状	13秒	有
実験4		無・噴霧	14秒	有
実験5		無・噴霧	15秒	有
実験6		有・直状	—※2	—※2
実験7		有・直状	—※2	—※2
実験8		有・噴霧	—※2	—※2
実験9		有・噴霧	—※2	—※2
実験10		B社製 0.5GN	無・直状	10秒
実験11	無・直状		13秒	有
実験12	無・噴霧		45秒	有
実験13	無・噴霧		52秒	有
実験14	有・噴霧		—※2	—※2
実験15	有・噴霧		—※2	—※2

※1 実験1は着火から自然鎮火までの時間

※2 泡放射に伴い火炎は抑制できるが、泡消火薬剤が火皿から溢れたことから実験中止としたもの。

表8 各実験パターンにおける泡放射時及び消火後の状況

	ノズル	放水方法	泡放射時及び消火後の状況
実験1	放射なし	—	着火後約15秒後に定常燃焼状態になった。約2分45秒後に急激に火炎が小さくなり、着火から3分02秒後に自然鎮火した。
実験2、3	A社製 0.5GN	無・直状	放射した泡消火薬剤のほぼすべてが、火皿内側面に激しく衝突した。命中と同時に燃焼物の一部が火皿外に溢れしばらく燃焼を継続したがやがて消火に至った。消火15分後における泡は消火直後よりも若干減少していたが油面全体を覆っていた。 再着火時、実験2は火源が火皿に到達する前に火皿外に滞留したヘプタンのペーパーに引火した。実験3は火皿に火源を近づけると容易に着火し、その後火皿外に滞留したヘプタンのペーパーに引火した。
実験4、5	A社製 0.5GN	無・噴霧	放射した泡消火薬剤は、約半分程度が直接油面に落下し、残りの泡消火薬剤は火皿の上方を通過及び火皿手前の外側壁に衝突している状況であった。 消火15分後における泡は油面全体を覆っていたが、泡の体積は消火時と比較し、約半分程度に減少しており、再着火も容易であった。実験4においては火皿外に溢れ出したヘプタンの燃焼も確認できたが、実験5においてはこの現象は確認できなかった。
実験6、7	A社製 0.5GN	有・直状	実験2及び3の発泡器具を装着しない場合と比較すると、実験6及び7で放射した泡消火薬剤はやや拡散した形状となり、火皿内側面に衝突するとともに油面に直接落下する現象も確認できた。放射した泡消火薬剤の勢いで燃焼物が火皿外に溢れ、しばらく燃焼を継続した。 実験6においては、泡消火薬剤を約78秒、実験7においては約37秒間放射したが、火皿内の縁付近でヘプタンの燃焼が継続し、放射した泡が火皿から溢れ出そう

			となったため、泡放射を停止した。
実験 8、9	A社製 0.5GN	有 ・ 噴 霧	<p>実験8及び9の泡の結果は、実験6及び7と比較して泡消火薬剤は勢いが弱くなり、直接油面に落下する現象が多く確認された。また、泡放射の勢いで燃焼物が火皿外に溢れだし、しばらく燃焼を継続する現象も確認できた。実験8では泡消火薬剤を約48秒放射したが、火皿内の側縁付近でヘプタンの燃焼が継続し、放射した泡が火皿から溢れ出そうとなったため、泡放射を停止した。実験9においても火皿内の側縁付近でヘプタンの燃焼が継続する現象が確認された。泡放射開始後約27秒で火皿から泡が溢れ出し、泡放射開始後約41秒で溢れた泡とともに火皿内の側面半ば付近の火炎が押し出され、火皿外に落下して消火した。</p>
実験 10、11	B社製 0.5GN	無 ・ 直 状	<p>放射した泡消火薬剤のほぼすべてが火皿内側面に衝突した。実験10においては、泡消火薬剤の衝突と同時に燃焼物の一部が火皿外に溢れ出る現象は見られなかったが、実験11はこの現象がありしばらく火皿外でも燃焼が継続した。</p> <p>消火15分後の再着火時は、泡は油面をかるうじて覆っていたが、大部分が消失しており、実験10及び11とも再着火は容易であった。また、実験10及び11とも再着火後火皿外に滞留したヘプタンに引火した。</p>
実験 12、13	B社製 0.5GN	無 ・ 噴 霧	<p>放射した泡消火薬剤は、約半分程度が直接油面に落下し、残りの泡消火薬剤は火皿の上方を通過及び火皿手前の外側壁に衝突している状況であった。実験12においては泡消火薬剤の衝突と同時に燃焼物の一部が火皿外に溢れ出る現象は見られなかったが、実験13においてはこの現象が確認され、しばらく火皿外でも燃焼が継続した。泡消火薬剤衝突時の火の煽りは大きかった。消火は実</p>

			<p>験12及び13ともに火皿内の側縁付近のヘプタンの燃焼が継続し消火に時間を要した。</p> <p>消火15分後における泡は、油面をかるうじて覆っていたが、大部分が消失しており、実験12及び13ともに再着火は容易であった。また、実験12及び13ともに再着火後火皿外に滞留したヘプタンに引火した。</p>
実験 14、15	B社製 0.5GN	有 ・ 噴 霧	<p>実験12及び13の発泡器具を装着しない場合と比較すると、実験14及び15におけるGNから放射された泡はやや拡散した形状となり、火皿内側面に衝突するとともに油面に直接落下する現象が確認できた。放射した泡消火薬剤の勢いで燃焼物が火皿外に溢れ、しばらく燃焼を継続した。実験14において泡消火薬剤を約60秒、実験15においては約61秒間放射したが、火皿内の側縁付近でヘプタンの燃焼が継続し、放射した泡が火皿から溢れ出そうとなったため、泡放射を停止した。</p>

表9 各実験パターンにおける消火状況(自由燃焼)







		着火 30 秒後	着火 40 秒後	着火 45 秒後	着火 2 分後
実験 1	自由 燃 焼				
		着火 2 分 45 秒後	着火 3 分 02 秒後 (消火判定時)		
					

表 10 各実験パターンにおける消火状況(A社製 発泡器具無)









		泡放射直前	放射直後	放射 10 秒後	放射 15 秒後
実験 2	A 社 製				
実験 3	無 ・ 直 状				
実験 4	A 社 製				
実験 5	無 ・ 噴 霧				

表 11 各実験パターンにおける消火状況(A社製 発泡器具有)

















		泡放射直前	放射直後	放射 10 秒後	放射 15 秒後
実験 6	A社製				
実験 7	有・直状				
実験 8	A社製				
実験 9	有・噴霧				

表 12 各実験パターンにおける消火状況(B社製 発泡器具無)

























		泡放射直前	放射直後	放射 10 秒後	放射 15 秒後
実験 10	B社製				
実験 11	無・直状				
実験 12	B社製				
実験 13	無・噴霧				

表 13 各実験パターンにおける消火状況(B社製 発泡器具有)

		泡放射直前	放射直後	放射 10 秒後	放射 15 秒後
実験 14	B社製				
実験 15	有・噴霧				

(2) 各測定地点における熱流束及び温度測定結果

図3～17に、各測定地点における熱流束及び温度測定結果において、高い値を示していた測定地点1の結果を示す。いずれの実験パターンにおいても、火皿の中心から約2m離れた測定地点1における熱流束及び温度は、泡消火薬剤が燃焼物に命中した直後に鋭いピーク状に上昇し、その後急速に降下した。熱流束の最高値は図6に示す実験4の場合に12.98W/cm²まで上昇したが、放射から15秒後にはほぼ0W/cm²になった。

温度に関しては同測定地点において、図17に示す実験15の場合に最高137.5℃に達した。泡放射開始後約1分30秒後には温度は30℃以下まで低下し、ほぼ定常状態になった。

各実験パターンにおいて、「0.5GN、発泡器具無し、放水形状が噴霧」の場合、放射直後の火炎の立ち上がりが他の実験パターンに比べて大きかった。また測定地点1における熱流束は、「0.5GN、発泡器具無し、放水形状が噴霧」の場合、8.77～12.98W/cm²であったのに対し、他の実験パターンにおいては約4.8～7.5W/cm²であった。この現象は平成23年度に0.7GNに対して実施した「ガンタイプノズルによる泡放射の消火能力の検証」¹⁾においても同様の傾向が確認された。これは放水形状を噴霧にすることで、火炎に接する泡消火薬剤の表面積の増加に伴い、火炎の熱エネルギーを吸収しやすくなること及びヘプタン油面に直接落下する泡が多いことで蒸発する水分量が多くなり、炎の立ち上がりが大きくなったものと考えられる。

火皿の中心から約8m離れた測定地点2から4において、熱流束及び温度は測定地点1と同様に、泡消火薬剤が火炎に命中した直後に鋭いピーク状に上昇し、その後急速に降下した。これらの地点における熱流束は実験5の測定地点3において最大4.77W/cm²で、温度は実験4の測定地点3で最大30.0℃を示した。

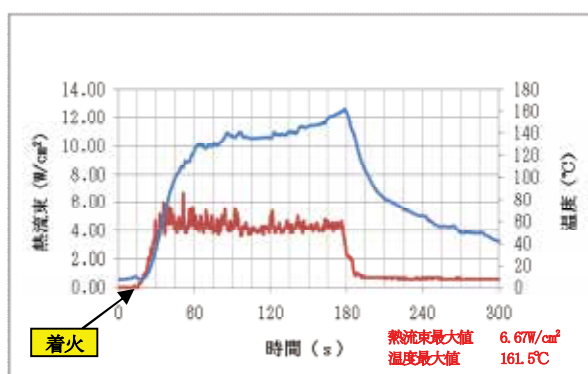


図3 実験1の熱流束及び温度測定結果

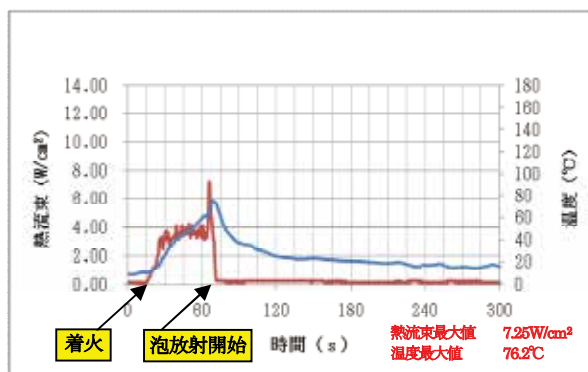


図4 実験2の熱流束及び温度測定結果

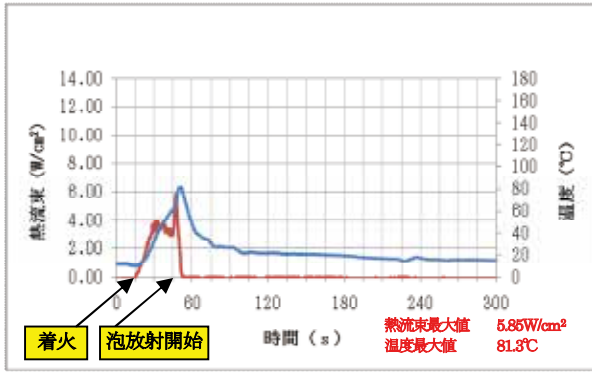


図5 実験3の熱流束及び温度測定結果

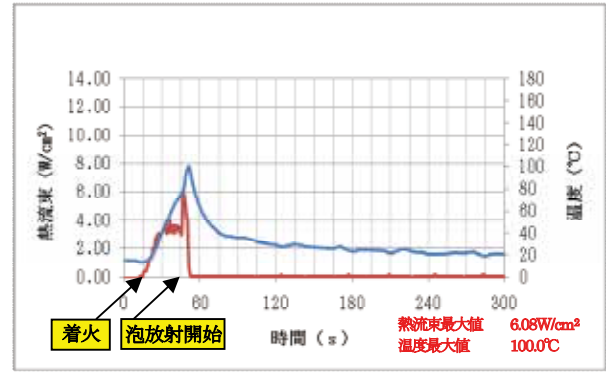


図9 実験7の熱流束及び温度測定結果

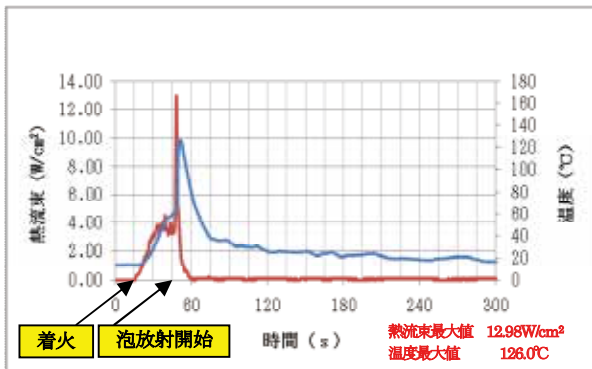


図6 実験4の熱流束及び温度測定結果

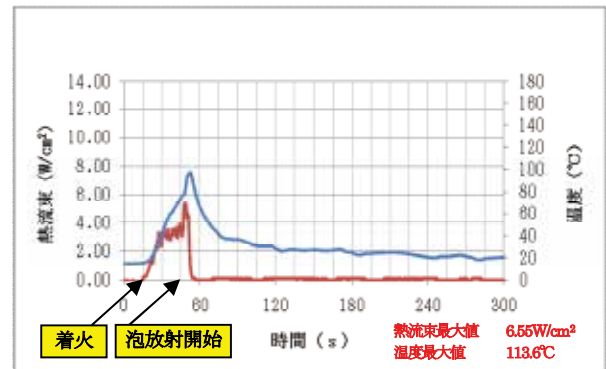


図10 実験8の熱流束及び温度測定結果

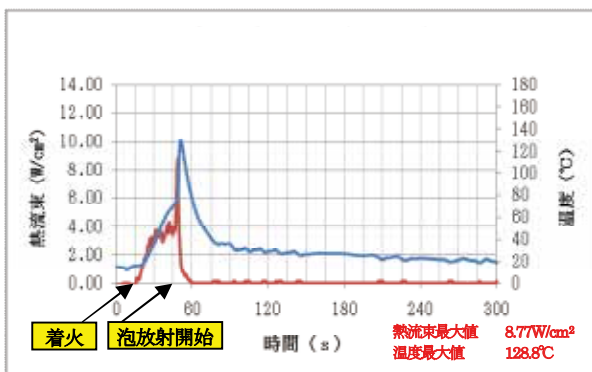


図7 実験5の熱流束及び温度測定結果

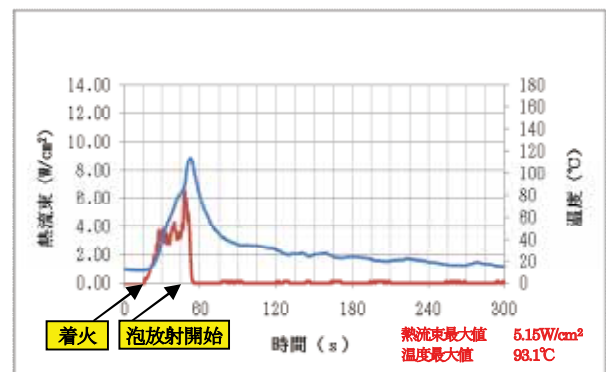


図11 実験9の熱流束及び温度測定結果

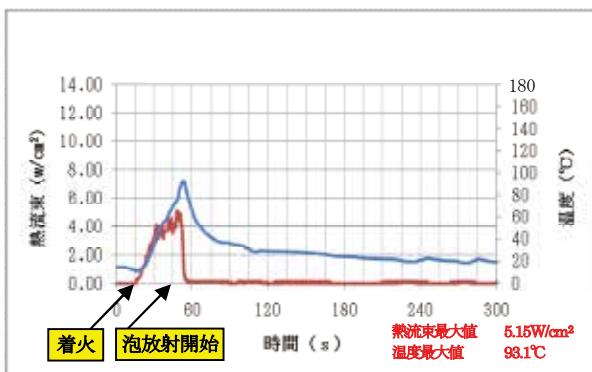


図8 実験6の熱流束及び温度測定結果

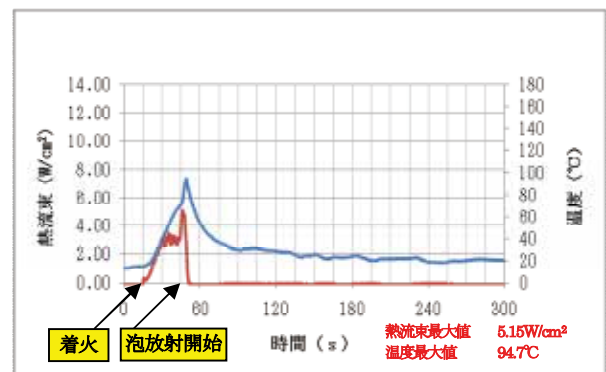


図12 実験10の熱流束及び温度測定結果

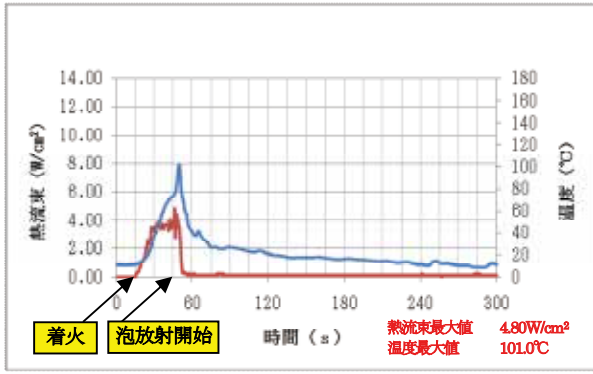


図 13 実験 11 の熱流束及び温度測定結果

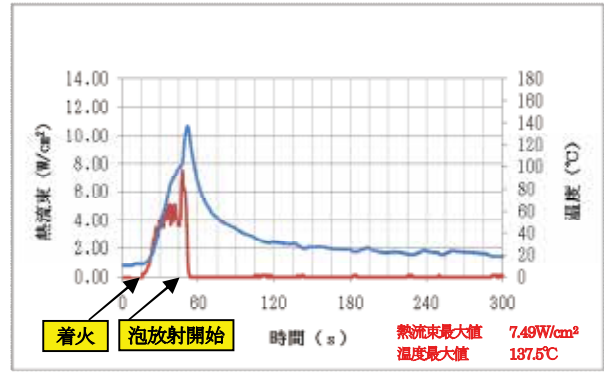


図 17 実験 15 の熱流束及び温度測定結果

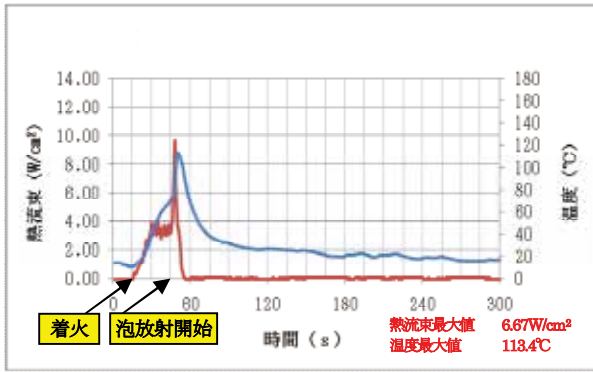


図 14 実験 12 の熱流束及び温度測定結果

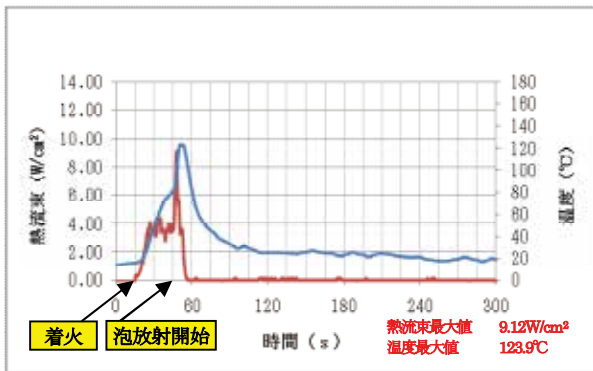


図 15 実験 13 の熱流束及び温度測定結果

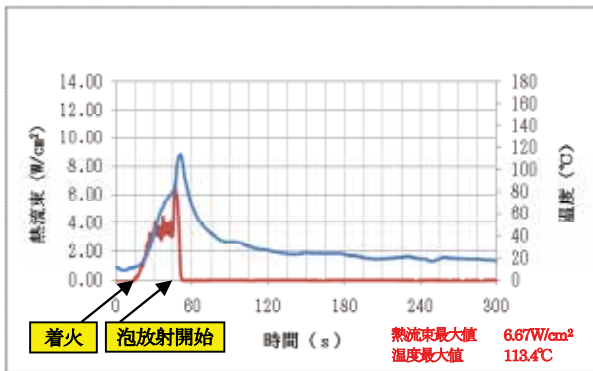


図 16 実験 14 の熱流束及び温度測定結果

(3) 発泡倍率

各放水パターンにおける発泡倍率を表 14 に示す。A社製 0.5GN においては放水形状にかかわらず、発泡器具を付けない場合の発泡倍率は、発泡器具を付けた場合よりも高い結果となった。B社製 0.5GN においては、発泡倍率は放水形状、発泡器具の有無にかかわらずほぼ同等であった。

(4) 25%還元時間

同じく表 14 に各放水パターンにおける 25%還元時間を示す。また表 15~16 に各実験パターンにおける火皿内の泡消火薬剤の還元状況を示す。その結果、A社製及びB社製 0.5GN において、放水形状にかかわらず、発泡器具を装着しない場合は発泡器具を装着した場合よりも 25%還元時間が長かった。

発泡器具を装着しない場合、泡の体積は減少し、消火後 15 分後においても泡が油面を覆っているものの、再着火試験で容易に着火したことから、低発泡の泡消火薬剤は、ヘプタンの蒸散を抑制する能力は低いと考えられる。

表 14 各放水パターンにおける発泡倍率及び泡の 25%還元時間

		発泡倍率 (倍)	25%還元時間 (秒)
A社製 0.5GN	無・直状	25.5	684
	無・噴霧	13.9	623
	有・直状	9.1	574
	有・噴霧	8.6	467
B社製 0.5GN	無・直状	16.7	718
	無・噴霧	14.9	737
	有・噴霧	15.4	641

表 15 各実験パターンにおける火皿内の泡消火薬剤の還元状況 (A社製)

			消火直後	消火 5 分後	消火 10 分後	消火 15 分後
実験 2	A 社 製	無・直状				
実験 3						
実験 4		無・噴霧				
実験 5						

表 16 各実験パターンにおける火皿内の泡消火薬剤の還元状況 (B社製)

			消火直後	消火 5 分後	消火 10 分後	消火 15 分後
実験 10	B 社 製	無・直状				
実験 11						
実験 12		無・噴霧				
実験 14						

6 おわりに

- (1) 0.5GN から放射された泡消火薬剤は、ヘプタンの燃焼を抑制できることがわかった。
- (2) 今回の実験では、A社製及びB社製の0.5GNに関し、発泡器具がない場合でも消火できることがわかった。
- (3) A社製 0.5GN に関し、発泡器具を付けない場合の発泡倍率は放水形状にかかわらず、発泡器具を付けた場合のそれよりも高い結果となった。また 25%還元時間は発泡器具を付けない方が発泡器具を付けた場合のそれよりも長い結果であった。
B社製 0.5GN に関し、発泡倍率は放水形状にかかわらずほぼ同等であった。25%還元時間はA社製 0.5GN と同様に、発泡器具を付けない方が発泡器具を付けた場合のそれよりも長い結果であった。
- (4) 今回の実験において、放水の勢いによりヘプタンが火皿外に溢れ火皿外での燃焼継続を確認したことから、消防隊員は油脂火災において、放水する際には延焼拡大に対し細心の注意を払う必要がある。

7 謝辞

本検証にあたり、総務省消防庁消防研究センターに実験施設等を提供頂きました。また、同センターのスタッフの皆様からは多大なご支援、ご協力を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 平成 24 年東京消防庁消防技術安全所報 49 号, p 2 - p 9

Study on the Fire Extinguishing Capacity of the Foam Discharged from a 0.5 MPa Gun-Type Nozzle

Go KURIHARA*, Tomohiro NAKANISHI*, Kohei KANEKO*

Atsushi YAMAGUCHI*, Tatsuhiro KATOU*, Yoshie AIKAWA*, Yuuichirou MACHII*

Abstract

When using fire extinguishing foam in the early stage of a hazardous material fire, the Tokyo Fire Department (TFD) replaces a gun-type nozzle (GN) with the type 21 modified spray nozzle (21 Mod) and a “foam shot gun.” Replacing the nozzle attachment takes time, however, and this interferes with rapid first-stage responses. Following up on the 2011 improvement study “Properties and Fire Extinguishing Capacity of the Foam Emitted from the 0.7 MPa GN,” this new study confirmed the effectiveness of the fire extinguishing foam discharged from the 0.5 MPa GN.

These experiments showed that the fire extinguishing foam emitted from the 0.5 MPa GN was able to suppress the combustion of heptane. When fire extinguishing foam is emitted at a disaster scene, discharging water from the 0.5 MPa GN without attaching foaming equipment is effective to save labor in overall firefighting activities.