

ガンタイプノズルによる泡放射の消火能力の検証

加藤 達仁*, 山内 一弘*, 田中 守人*, 石井 剛*, 渡邊 茂男*

概要

現在ポンプ隊への配置が進められているガンタイプノズル（以下、「GN」という）を用いた泡放射の油脂火災への対応能力を検証するため、面積4㎡の火皿内で50ℓの油脂燃料（ヘプタン）を燃焼させてこれに対して泡放射を行い、燃焼挙動の観察や周囲熱環境の測定等を実施した。その結果、当該泡放射に関して一定の消火能力が認められた。

また、GNの種類、発泡器具取付けの有無、展開角度等の放射条件を変えながら消火実験を実施した結果、放射条件の違いによる消火特性が明らかとなった。

1 はじめに

GNを用いた合成界面活性剤の泡放射については、先行検証¹⁾において、射程距離、発泡倍率等の基礎データが測定された。今回はGNによる泡放射の油脂火災に対する消火能力の確認を目的に検証を行った。

また、先行検証の結果から各GNメーカーが販売する専用の発泡器具を装着しなくても低発泡の泡放射が可能であることが明らかとなったことも踏まえ、発泡器具の有無及び放射形状（直状、噴霧）による消火能力の違いについて比較を行った。

2 検証方法

燃焼火皿内で油脂燃料（ヘプタン）を燃焼させ、GN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GNはメーカー別に3種類で、それぞれ発泡器具の有無及び放射形状（直状、噴霧）を変えて比較した。なお、噴霧放射は射程距離及び目標物の大きさ等を考慮し、展開角度を約30度に設定し実施した。

(1) 検証日及び検証場所

平成23年11月18日(金)から平成23年12月5日(月)まで
総務省消防庁消防研究センター（調布市深大寺東町4-35-3）大規模火災実験棟

(2) 使用GN及び発泡器具

A社製、B社製、C社製の3種類のGNを使用し、発泡器具にあっては各メーカー指定のものを使用した。それらの外観及び仕様を表1及び表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

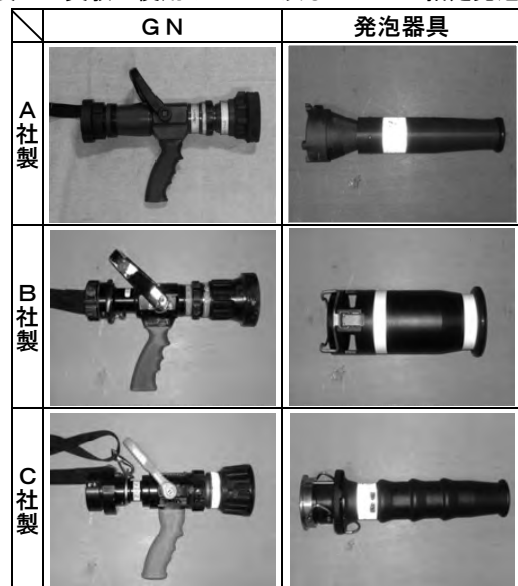


表2 発泡器具の仕様（メーカー資料より）

	質量 (kg)	全長 (mm)	発泡倍率	指定放水形状
A社製	約1.1	423	約12倍	直状(ストレート)
B社製	約0.9	約270	約8倍	不明
C社製	約1.3	513	約6.7倍以上	直状(ストレート)

(3) 使用泡薬剤及び混合方法

ポンプ車から50mmホース2本を延長したホースラインの先端にGN専用ラインプロポーションナーを結合し混合率3%で泡薬剤(合成界面活性剤泡)の混合を行った。

実験で使用したGN用ラインプロポーションナー及び仕

* 装備安全課

様を写真1、表3に示す。

写真1 使用したGN用ラインプロポーションナー

表3 GN用ラインプロポーションナーの仕様

規格流量	475 ℓ /min
入口圧力	1.4MPa
出口圧力	0.7MPa
混合率	3%
結合金具	φ50×50 ねじ式

(4) 燃焼条件、実験パターン及び放射条件

ア 燃焼条件

面積約4m²高さ約30cmの円形燃焼火皿(以下「火皿」という)に深さ約5cmの水をはり、その上にヘプタン50ℓを注ぐ。長さ約2mの金属棒の先端に布を巻き、灯油を浸み込ませライターにて着火した火源を用いて火皿上のヘプタンに着火し燃焼させる。30秒間の予備燃焼後、泡放射を行った。

イ 実験パターン

表4に示すとおり、各条件を変えて全10パターンの実験を行った。

実験1において泡放射をしない条件で行ったのは泡放射による消火効果を判断する上での基準とするためである。

表4 実験パターン

	使用GN	発泡器具の有無※	放水形状	その他の条件
実験1	放射なし			自然鎮火まで計測
実験2	A社製 ダイヤル 475	有	直状	ノズル圧 0.7MPa 放水量 475ℓ/min
実験3		無	噴霧	
実験4		無	直状	
実験5	B社製 ダイヤル 475	有	直状	
実験6		無	噴霧	
実験7		無	直状	
実験8	C社製 ダイヤル 470	有	直状	
実験9		無	噴霧	
実験10		無	直状	

※ 発泡器具は各社指定のものを使用し、放水形状はメーカー指定である直状とした。(B社製にあつては指定放水形状が不明であるが他の2社製に倣い直状とした)

以後、発泡器具ありでの放射を「有」、発泡器具なしでの噴霧放射を「無・噴霧」、同直状放射を「無・直状」とする。

ウ 放射条件

GNを火皿の中心部からGNの先端(発泡器具使用時は発泡器具の先端)までの距離が8m、地面からの高さが1.2mとなる位置に設定し、有及び無・直状のパターンでは火皿の内側の側面を狙うように泡放射を行い、無・噴霧のパターンでは放射泡の先端部が火皿の内側の側面に当たるよう設定し、大部分の泡が火皿内に入るように泡放射を行った。図1に放射条件の概略図を示す。

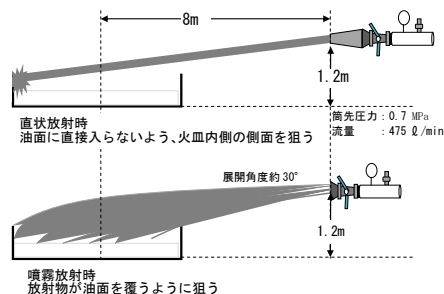


図1 放射条件概略図

(5) 実験設定

実験の設定概略図を図2、設定状況を写真2、3及び表5に示す。

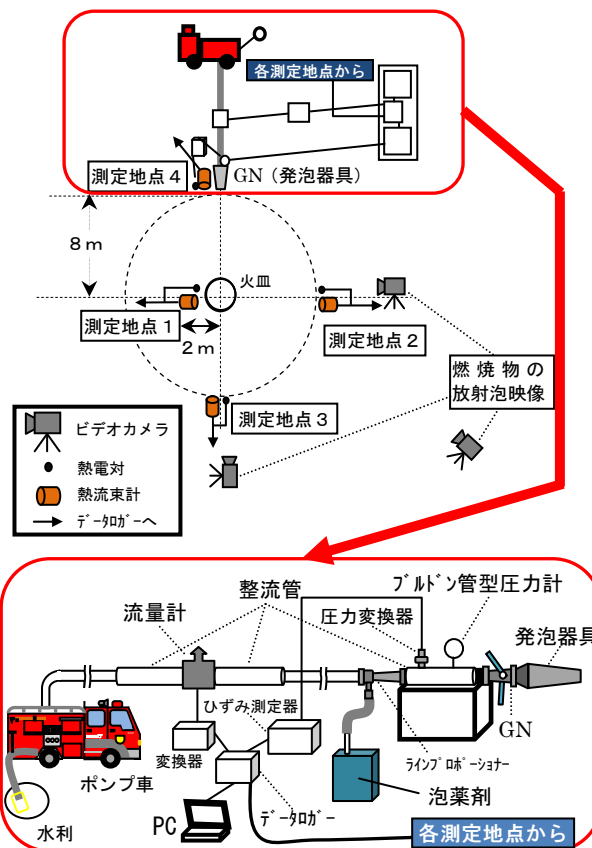


図2 実験全体の設定状況

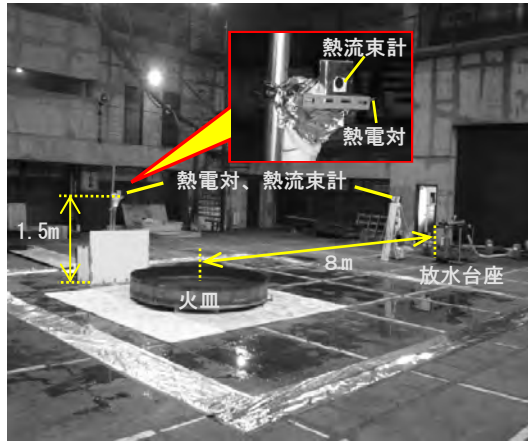


写真2 実験設定全体

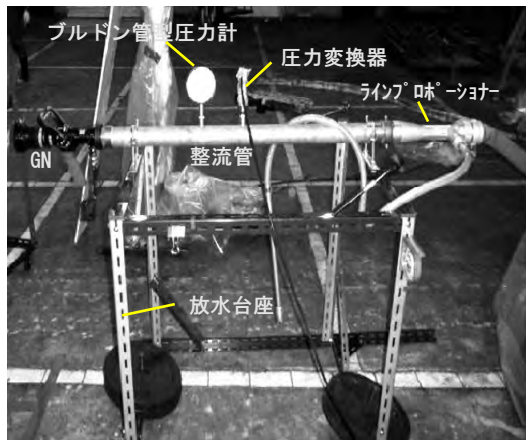


写真3 放水台座にGNを固定した状況

表5 放水台座へのGN及び発泡器具の設定状況

	A	B	C
発泡器具 無			
発泡器具 有			

(6) 観測・測定項目

図2で示した地点に機器を設定し、観測並びに測定を行った。各項目と方法を表6に示す。

表6 観測・測定項目

観測・測定項目	測定方法
各測定地点 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、データロガーで0.5秒毎にデータを収集した。
映像	ビデオカメラで映像を収集した。

泡放射から 消火 までの時間	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。消火の確認は火皿から水平距離約10m上方約3m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	圧力変換器及びデータロガーにより0.5秒毎に記録する共にブルドン管型圧力計で確認した。
流量	流量計をデータロガーに接続し、0.5秒毎計測した。

(7) 実験手順

実験の手順を表7に示す。

表7 実験手順

	着火約3分前にヘプタン50ℓを火皿に投入開始。
	着火。着火後、30秒間予備燃焼。
	着火30秒後に各実験パターン及び放射条件のもと泡放射を開始。
	消火判定から10秒後に泡放射を停止。
	消火後15分放置。その間の消泡状況を確認した。
	15分後、火源を近づけ再着火の有無を確認した。

3 観測・測定結果

各実験パターンの所要時間及び再着火の有無を表8に、再着火時の様子を写真4、5に、泡放射から再着火までの状況を表9に、各実験パターンの写真及び周囲温度・周囲熱流束（周囲温度・周囲熱流束は実験9のデータ）を表10から表13及び図3から図6に示す。

表8 各実験パターンにおける所要時間及び15分後の再着火の有無

	使用 G N	放 水 方 法	所 要 時 間*1	15 分 後 の 再 着 火
実験1	放射 なし	—	3分00秒	—
実験2	A	有	0分48秒	有
実験3		無・噴霧	0分38秒	有
実験4		無・直状	0分15秒	有
実験5		有	0分34秒	有
実験6	B	無・噴霧	0分31秒	有
実験7		無・直状	0分13秒	有
実験8	C	有	1分27秒	有*2
実験9		無・噴霧	0分24秒	有
実験10		無・直状	0分09秒	有

※1 実験1は着火から自然鎮火までの時間を表す。

※2 実験8における再着火は火源を近づける際、火皿外に滞留したヘプタンのペーパーに引火し、炎上した。火皿内での燃焼は見られなかった。



写真4 写真5
15分後の再着火の様子(実験6)

表9 各実験パターンにおける実験実施時の状況

実験1 放 射 な し	着火10秒後に定常燃焼状態に達した。炎の高さは油面から約8m。2分45秒後に急激に炎が小さくなり、着火から3分00秒後に自然鎮火した。
A 社 製 実 験 2 有	放射形状は直状の設定であるが、発泡器具を装着しない場合と比べてやや拡散した放水形状となった。大部分の泡が火皿の内側の側面に当たり、一部の泡は油面に直接落下した。放射の継続に伴って油面が上昇し、最終的には火皿内の泡が溢れたが、燃焼物が溢れることはなかった。火皿側面の縁付近の炎が消火判定直前まで残った。消火から15分後には油面上の泡は大部分が消えており、火源を近づけると容易に再着火した。

B 社 製	実験3 無・噴霧	油面に直接落下する泡の割合が高く、放射直後の炎の煽りが大きい。火皿の手前側縁付近の炎が最後まで残った。消火から15分後には油面上の泡は大部分が消えており、容易に再着火した。
	実験4 無・直状	放射泡の大部分が火皿内側の側面に当たって火皿内に入る形となった。放射の勢いで火皿外に溢れ出る燃焼物もあったが、継続的な燃焼はなかった。消火から15分後にも油面全体を泡が覆っており、火源を近づけてから再着火に約10秒要した。
	実験5 有	放射形状は直状の設定であるが、発泡器具を装着しない場合と比べてやや拡散した形状となった。放射の勢いで燃焼物が火皿外に溢れ出し、泡の上で燃焼を続けた。消火から15分後は、油面全体を泡が覆っているものの容易に再着火した。
	実験6 無・噴霧	火皿内側の側面に当たるものと油面上に落下するものが同程度の割合であった。放射直後の炎の煽りが大きい。火皿側面の縁付近の炎が最後まで残った。消火から15分後も泡が油面全体を覆っており、火源を近づけてから再着火までに11秒要した。
	実験7 無・直状	放射泡のほぼ全てが火皿内側の側面に命中した。命中と同時に燃焼物が火皿外に溢れ、しばらく燃焼を続けたがやがて消火。消火から15分後も泡が油面全体を覆っており、火源を近づけてから再着火までに約7秒を要した。
	実験8 有	放射形状は直状の設定であるが、発泡器具を装着しない場合と比べてやや拡散した形状となった。放射泡の勢いで燃焼物が火皿外に溢れ、火皿の外で燃焼が継続する場面もあったが、最終的には消火した。火皿の手前側縁付近の炎が消えず、消火までに長時間を要した。消火から15分後も油面全体を泡が覆っていた。再着火時、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、炎上した。
	C 社 製	放射泡の約半分程度が直接油面に落下し、約半分は火皿の上方を通過した。放射直後の炎の煽りが大きい。消火から15分後は油面上の泡は大部分が消えており火源を近づけると容易に再着火した。
実験10 無・直状	放射泡の大部分が火皿内側の側面に命中した。すべての実験パターン中、最短時間で消火した。火皿内側の側面に当たり、当たった泡が油面上に広がり、燃焼物を覆って消火する様子がよく確認できた。消火から15分後には油面上の泡は半分程度が消えており、火源を近づけると容易に再着火した。	

表 10 実験 1 (放射なし) の燃焼状況

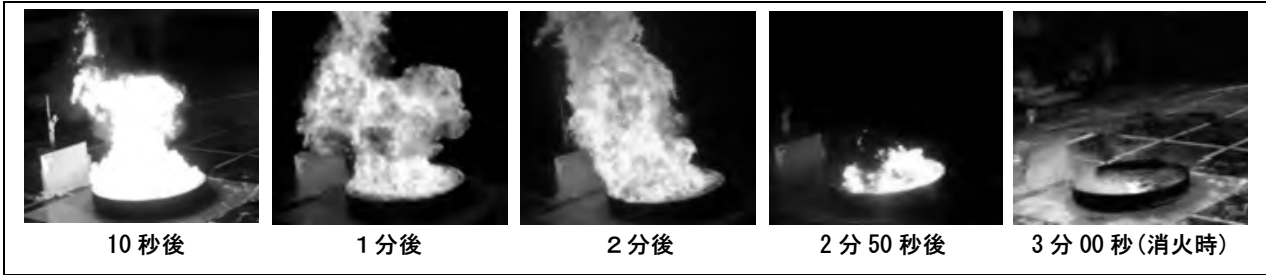


表 11 各実験パターンの泡放射時の状況

		放射直前	放射直後	放射 10 秒後	消火判定直後
A 社 製	実験 2 有				
	実験 3 無・噴霧				
	実験 4 無・直状				
B 社 製	実験 5 有				
	実験 6 無・噴霧				
	実験 7 無・直状				

C 社 製	実験 8 有				
	実験 9 無・噴霧				
	実験 10 無・直状			放射開始 9 秒後 消火判定直後	左写真と同じ

表 12 各実験パターンによる放水状況（側方から撮影）

	有	無・噴霧	無・直状
A 社 製	 実験 2	 実験 3	 実験 4
B 社 製	 実験 5	 実験 6	 実験 7
C 社 製	 実験 8	 実験 9	 実験 10

表 13 火皿内に蓄積した泡の状況

消火判定直後	10 分後	再着火直前
実験 2 A 社製 有		
実験 3 A 社製 無・噴霧		
実験 4 A 社製 無・直状		
実験 5 B 社製 有		
実験 6 B 社製 無・噴霧		
実験 7 B 社製 無・直状		
実験 8 C 社製 有		
実験 9 C 社製 無・噴霧		
実験 10 C 社製 無・直状		

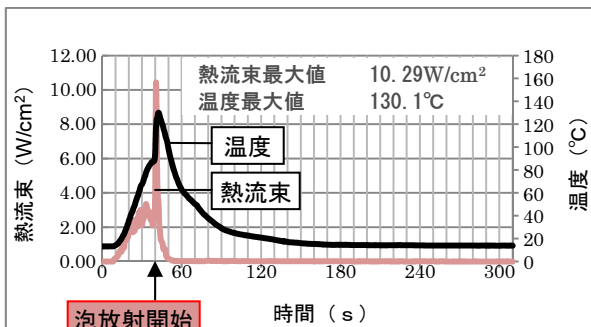


図 3 測定地点 1 の温度及び熱流速 (実験 9)

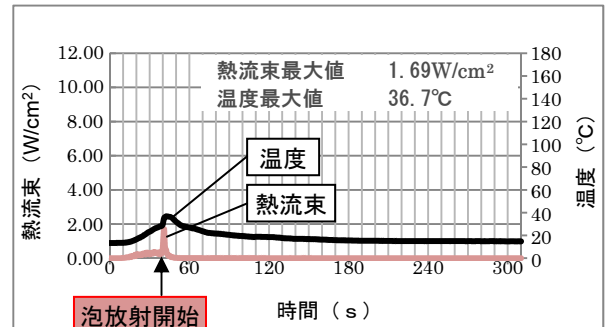


図 4 測定地点 2 の温度及び熱流速 (C 社製 無・噴霧)

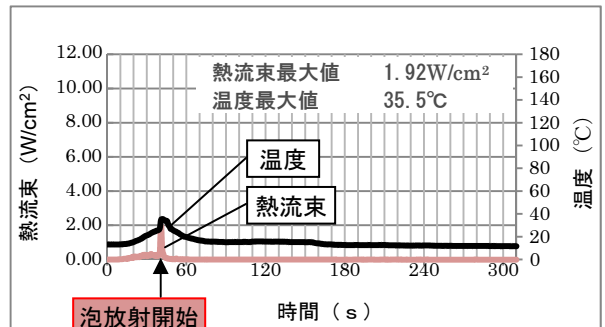


図 5 測定地点 3 の温度及び熱流速 (C 社製 無・噴霧)

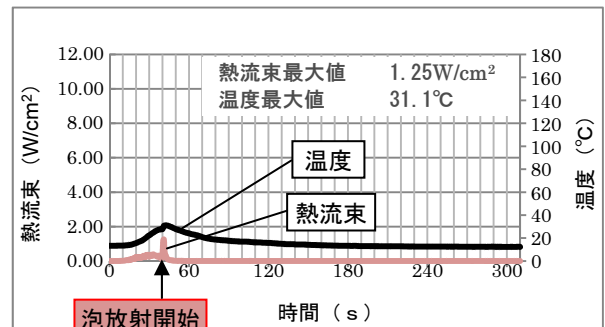


図 6 測定地点 4 の温度及び熱流速 (C 社製 無・噴霧)

4 結果及び考察

(1) 今回の実験では全ての泡放射パターンで「放射なし」の所要時間(3 分 00 秒)より早く消火することができた(表 8 参照)。このことから GN を用いた泡放射の油脂火災に対する一定の消火能力が示されたといえる。また、GN 及び発泡器具の種類による顕著な能力差はなく、放射方法による消火効果の違いが明確となった。放射方法別に見られた特徴及びそれに対する考察を以下ア～ウに示す。

ア 「無・直状」が全ての GN において最も所要時間が短かった。これは、「無・直状」の場合は火皿内側の側面に放射泡の大部分が命中していたことから、燃焼していない固定物に一旦当たり、速度エネルギーをなくした放射泡が燃焼する油面上を「静かに」覆っていくという消火プロセスが効果的に働いたためと考えられる。

イ 「無・噴霧」では全ての GN において所要時間は「無・直状」に次いで短く、放射直後の炎の煽りが大きい傾向が見られた。測定地点 1 の熱流束測定データを比較しても、「有」及び「無・直状」が $5.20 \text{ W/cm}^2 \sim 6.34 \text{ W/cm}^2$ であるのに対し、「無・噴霧」は $8.41 \text{ W/cm}^2 \sim 10.29 \text{ W/cm}^2$ と高い値を示していた。炎が煽られる原因は高温の油面に落下した放射泡中の水分が熱エネルギーにより蒸発することで瞬間的に膨張し（水蒸気爆発）、燃焼物も同時に巻き上げられることによるものと考えられるが、噴霧放射の場合、①直状放射に比べて放射物の表面積が大きく、外部からの熱エネルギーを吸収しやすい状態であること、②前記 2（4）ウのとおり、油面に直接落下する放射泡量が他に比較して多いこと、以上の理由から蒸発する水分量が多くなり、結果として炎の煽りが大きくなったものと考えられる。

ウ 「有」の場合は、全ての GN において最も所要時間が長い結果となった。表 9 中に記載のとおり、「有」での放射形状は直状がやや拡散した形状であり、一部は火皿内側の側面に当たり、一部は火皿内の油面に直接落下する形となった。直状に近い形状の放射泡はヘプタンの下の水の層まで到達してしまい、油面上を効果的に覆うことがなかったことが原因と考えられる。仮に「無・直状」で油面に直接放射していれば、同様に所要時間が長い結果となったと予測され、今回の実験において「有」での放射に劣性の傾向が見られたのは、発泡器具を装着して放射する泡の質自体ではなく、直状放射による泡が油面に直接落下したことが原因と考えられる。

(2) いずれの泡放射パターンにおいても、泡が燃焼物に命中すると一時的に熱流束、温度が上昇するが、その後急速に降下している。熱流束は、火皿中心から 2 m の測定地点 1 において最高で 10.29 W/cm^2 （実験 9）まで達しているが、命中後約 10 秒～15 秒後には全ての測定地点においてほぼ 0 W/cm^2 となっている。また、温度に関しても、同測定点において最高で 133.9°C （実験 3）に達しているが消火判定から約 2 分後には燃焼物が漏れ出し火皿の外で燃焼したものを除き各測定点とも約 20°C で定常状態となっている。このことから、今回の実験における燃焼条件のように数十倍程度の油脂のみが燃焼している場合、GN を用いた泡放射によって泡が油面を覆い火炎が抑制されれば、直ちに周囲が受ける熱量は小さくなり、延焼危険、活動危険を排除できることが考えられる。

(3) 火皿中心から 8 m 離れた測定地点 2、測定地点 3 及び測定地点 4 における測定データを見ると、熱流束の最高値が 1.92 W/cm^2 （実験 9 における測定地点 3）、温度の最高値が 41.6°C （実験 3 における測定地点 2）であった。熱流束に関しては、皮膚に直接受けると 1 秒後に苦痛を感じる値²⁾である。実火災において、この距離での消火活動の際には、防火衣等の完全着装が必須であるといえる。

(4) 消火 15 分後の再着火実験では、着火時点でほぼ完全に消泡している場合もあり、全ての実験パターンで再着火が確認された。残泡量が多いと、火源を近付けてから再着火するまでの時間が長くなる傾向が見られたが、油面上の全てを泡が覆っていながら容易に着火する例もあった。低発泡という特徴上可燃性ガス蒸散を抑制する能力は低いと考えられる。

(5) 放射の勢いで燃焼物が火皿外に溢れ、火皿外で燃焼を継続するという状況が見られた。低発泡は高発泡に比べて放射泡の密度が高く、単位体積当たりの運動エネルギーが大きくなることから、燃焼物に直接当たった場合、このような事態が起きやすくなるものと考えられる。実火災では延焼拡大させないよう、この点に注意する必要がある。

(6) 今回の検証では、各 GN とも、発泡器具を装着することによる消火能力の顕著な向上は認められず、むしろ消火の所要時間が長くなるという結果となった。前(1)ウに記載のとおり、所要時間が長くなったのは発泡器具の装着そのものが原因ではないと考えられるが、実火災の現場での使用を想定した場合、器具の取り付けに要する時間的ロス等も勘案する必要があり、発泡器具の有効性については更なる検討を要する。

5 おわりに

(1) GN による泡放射で、燃焼する油類を消火することは A 社製、B 社製及び C 社製いずれのものでも可能である。ただし、発泡倍率が低い泡であり、可燃性ガス蒸散を抑制する能力は低いことから、他の消火手段が整うまでの一時的な手段、または他の消火手段の補助として考えるのが適当である。

(2) 消火手段としては、直状放射で何らかの構造物等に一旦当てることによる消火が最も有効である。それができない場合、放射による燃焼物の飛び散りに注意する必要がある。また放射物が燃焼物に直接命中した際の一時的な火炎の拡大にも注意する必要がある。

(3) 今回の実験では発泡器具を装着するメリットは認められなかった。

6 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ご提供頂きました。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) 佐藤建司ほか 3 名: ガンタイプノズルによる泡放射に関する検証 平成 21 年東京消防庁消防技術安全所報 46 号 p8-14
- 2) J.O.Stull, Proceedings of NRIFD Symposium, National Research Institute of Fire and Disaster, p51(2005)