

# 圧縮空気泡消火システムの小規模油火災に対する消火能力の検証

木田哲夫\*, 渡邊茂男\*, 玉越孝一\*\*

## 概要

圧縮空気泡消火システム (Compressed Air Form System;以下「CAFS」いう。)の小規模油火災に対する消火能力を確認するため、消火実験を行った。

4 m<sup>2</sup>の燃焼火皿に50 Lのガソリンを燃焼させ、消防救助機動部隊配置の車載用CAFSを使用した。

ノズルはポンプ隊配置のガンタイプノズルとCAFS専用ノズルの2種類を用い、泡質は水分量の多いウェット泡と空気含有量の多いドライ泡の2種類を設定し、検証を実施した。

その結果、ノズル及び泡質によらず、CAFSが小規模油火災の消火に有効であることを確認した。

## 1 はじめに

CAFSは、建物火災、車両火災、森林火災における消火、延焼阻止、残火処理における消火効率を高めることを目的として導入されたものであり、その活用に関する検証は建物火災を想定した検討が主であって、油火災を想定した検証は行われていない。

本検証は、消防救助機動部隊に配置されている車載用CAFSを使用し、ノズルをガンタイプノズル(以下「GN」という。)とCAFS専用ノズル(以下「CN」という。)の2種類、泡質を発泡倍率が数倍程度のウェット泡(以下「W泡」という。)と、十数倍のドライ泡(以下「D泡」という。)の2種類の条件を組み合わせた消火実験を行い、CAFSの小規模油火災に対する消火能力の確認及び使用ノズルの検討を行った。

## 2 検証項目

### (1) ノズルの違いによる消火能力の検証

GN及びCNを使用した場合の消火能力を下記の項目により比較した。

- ア W泡を使用した場合
- イ D泡を使用した場合

### (2) 泡質の違いによる消火能力の検証

W泡及びD泡を使用した場合の消火能力を下記の項目により比較した。

- ア GNを使用した場合
- イ CNを使用した場合

### (3) 放水者の受熱状況の検証

放水者が小規模油火災対応時に受ける熱の影響を下記の項目により検証した。

- ア 放水位置における温度及び熱流束
- イ 耐熱服内及び防火衣内の温度

## 3 検証内容

### (1) 実験場所

調布市深大寺東町四丁目35-3 消防大学校  
消防研究センター 大規模火災実験棟

### (2) 想定する燃焼規模

燃焼規模は、車両等からのガソリン漏洩数の99%が5 m<sup>2</sup>未満の漏洩面積という調査結果<sup>1)</sup>から、高橋らによる「アルコール含有ガソリンの消火に関する検証」<sup>2)</sup>と同じ燃焼規模で消火実験を行った。

### (3) 実験概要

#### ア 燃焼実験

ガソリンの燃焼継続時間等及び放水位置における耐熱服及び防火衣の内外に及ぼす熱の影響を確認するため、燃料の燃焼実験を実施した。温度計を取り付けた耐熱服及び防火衣を着装させたマネキンを放水位置に設置し、写真1に示す4 m<sup>2</sup>の燃焼火皿に、50 Lのガソリンを入れて点火し、ガソリン全量が燃え尽きるまで燃焼を継続させた。



写真1 燃烧火皿

#### イ 消火実験

燃烧実験で得られた結果を考慮し、表1に示す4通りの放水条件で燃烧面積 4 m<sup>2</sup>、50 L のガソリン火災に対する消火実験を行い、消火能力を確認した。

表1 実験番号と放水条件

実験番号	放水条件
実験1	D泡を用いたGNによる消火
実験2	W泡を用いたCNによる消火
実験3	D泡を用いたCNによる消火
実験4	W泡を用いたGNによる消火

なお、実験に使用したGNは、写真2に示すものを使用した。また、CNは口径7/8インチ(22 mm相当)の写真3に示すものを使用した。



写真2 GNの側面



写真3 CNの側面

### 4 実験

#### (1) 燃烧実験

##### ア 測定項目

(ア) 燃烧時間の測定

(イ) 耐熱服内及び防火衣の内外に与える熱影響の測定

##### イ 実験設定

実験器材の設定状況を図1に示す。

##### (ア) マネキンの設定

図1に示すように、耐熱服と防火衣を着装したマネキンを燃烧火皿の中心から11 mの位置に配置した。この距離は、後に4(2)イ(エ)で述べる各ノズル(GNとCN)と各泡質(W泡とD泡)とを組み合わせて放水した場合の放水距離を測定した結果得られた最も短い距離である。

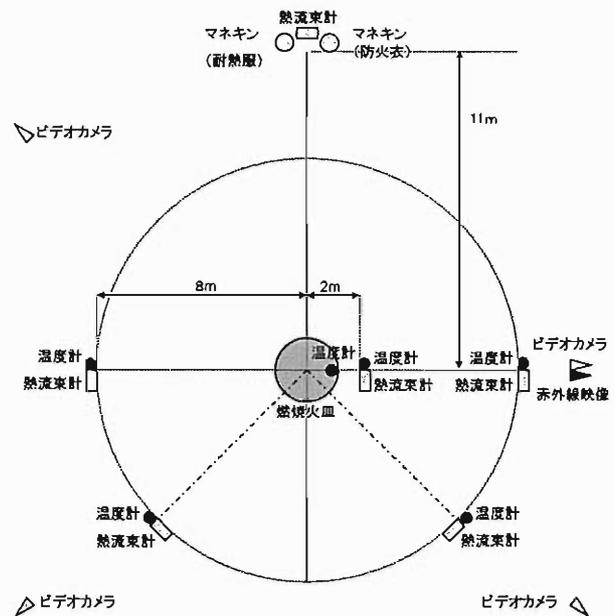


図1 燃烧実験の測定機器等設定図

#### (イ) 測定機器の設定

測定機器は、表2に示すものを使用した。

表2 測定機器

測定機器等	測定範囲	備考
温度計	0 °C ~ 1000 °C	K型熱電対
熱流束計 (輻射)	0 ~ 100 kW/m <sup>2</sup>	A社製
ビデオカメラ	(デジタル)	B社製
	(デジタル)	C社製
赤外線映像装置	0 °C ~ 250 °C	D社製

#### ① 熱流束計及び温度計

放水者が着装する防護服の効果を確認するため、マネキンに着装させた耐熱服(写真4)及び防火衣(写真5)の右胸部の表面と内部に温度計を設定した。



写真4 耐熱服



写真5 防火衣

実験に使用した耐熱服は、実際に当庁で使用されているもので、上衣、ズボン、フード、手袋及び長靴から構成されている。フード部分の前面は、フードから連なって腰元までの

前掛け部分がある。その末端には胴に締めつけるための胴輪が設けてあり、耐熱服上衣の上から締め付ける方式となっている。胸部は上衣と前掛け部分で2重構造になっている。

防火衣も当庁で使用されているセパレート型のものを使用した。

また、放水者周囲の熱環境を測定するため、熱流束計及び温度計を燃焼火皿の北側 11.0 m、高さ 1.5 m の位置に配置した。

さらに、燃焼火皿周囲の熱環境を測定するため、熱流束計及び温度計を高さ 1.5 m の位置に取り付けた測定柱を、図 1 に示すように、燃焼火皿の東側 2 m、燃焼火皿の東側、南東側、南西側及び西側の 8 m の位置にそれぞれ配置した。

(以下、測定柱を燃焼火皿の東側 8 m に配置した場合を「東 8」と表示する。)

② 赤外線映像装置及びビデオカメラ

実験状況を映像に記録するため、燃焼火皿の東側に赤外線映像装置を、東側、南東側、南西側及び北西側にビデオカメラを配置した。

③ 測定データの集録

熱流束計及び温度計は、データロガー (G社製) に接続し、1 秒間隔でデータを収録した。

ウ 実験手順

実験手順は、表 3 に示すとおり、ガソリン 50 L を燃焼火皿に注入し、注入完了直後に着火した。その後、有炎現象の消滅を確認し、実験を終了した。

表 3 消火実験の手順

手順	内容	参考写真
1	燃焼火皿にガソリン 50 L 注入	写真 8
2	着火	
↓	(燃焼)	写真 9
3	有炎現象の消滅・実験終了	

(2) 消火実験

ア 測定項目

- (7) 消火時間の測定、消火状況の撮影
- (4) 放水位置における熱環境の測定

イ 実験設定

実験器材の設定状況を図 2 に示す。

(7) 放水隊形

放水隊形は、図 2 に示すように、ポンプ車により消火栓から吸水し、第一放口から口径 65 mm ホースを使用して C A F S に送水し、C A F S から口径 40 mm ホースを 1 本 (20 m) 延長し、その先にノズルを取り付けた。なお、放水は写真 6 に示す放水台座 (高さ 0.94 m) に筒先を固定し行った。

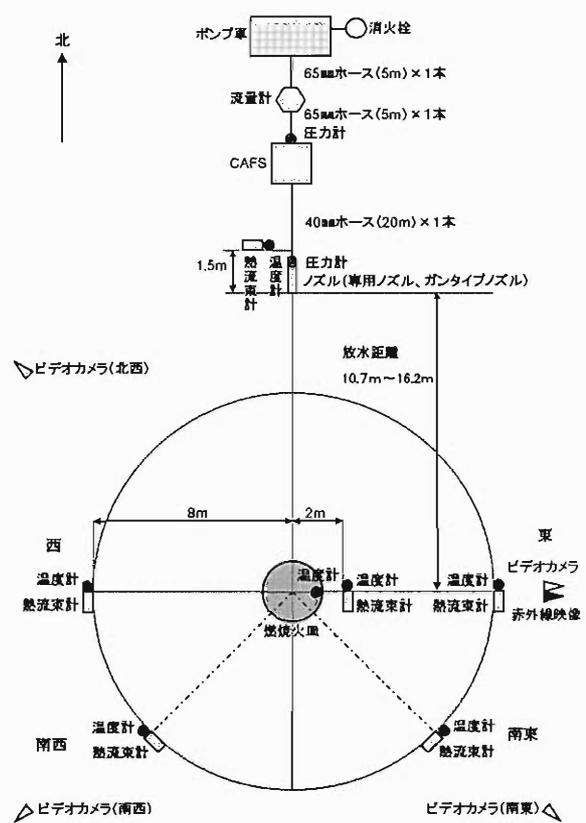


図 2 実験 1 ~ 4 の測定機器等設定図

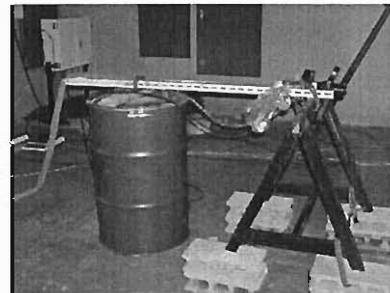


写真 6 放水台座

① CAFS

CAFS は、水に一定割合の消火薬剤を混合した液体に圧縮空気を注入し、発泡させた状態でホースにのせてノズルまで送り、泡を放射する装置である (写真 7)。

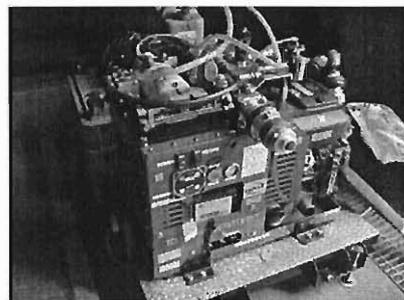


写真 7 CAFS

② ポンプ車

当庁所有のポンプ車を使用した。

(イ) 測定機器の設定

測定機器は、表4に示すものを使用した。

表4 測定機器

測定機器等	測定範囲	備考
温度計	0℃～1000℃	K型熱電対
熱流束計(輻射)	0～100 kW/m <sup>2</sup>	A社製
ビデオカメラ	(デジタル)	B社製
	(デジタル)	C社製
赤外線映像装置	0℃～250℃	D社製
圧力計	～20 kgf/cm <sup>2</sup>	E社製
電磁流量計	0～1000 L/分	F社製

① 流量計

流量計は、放水流量を測定するため第一放口からCAFSの間に設定した。

② 圧力計

圧力計は、ノズル根元圧力を測定するためにノズルとホースの結合部に設定した。

③ 熱流束計及び温度計

燃焼火皿周囲の熱環境を測定するため、熱流束計及び温度計を高さ1.5mの位置に取り付けた測定柱を、図2に示すように、燃焼火皿の東側2m、燃焼火皿の東側、南東側、南西側及び西側の8m、ノズル先端から北側に1.5mの位置に配置した。

また、燃焼火皿の中心から東側1.02m、高さ0.4mの位置に温度計を設置した。

④ 赤外線映像装置及びビデオカメラ

実験状況を映像に記録するため、燃焼火皿の東側に赤外線映像装置を、東側、南東側、南西側及び北西側にビデオカメラを配置した。

⑤ 測定データの集録

熱流束計、温度計、圧力計及び流量計は、データロガーに接続し、1秒間隔でデータを収録した。

(ウ) ポンプ車、CAFS及びGNの設定

ポンプ車、CAFS及びGNの設定は表5の通りとした。

表5 ポンプ車及びCAFSの設定

装置	項目	設定値
ポンプ車	送水圧力	1.0 MPa
CAFS	泡消火薬剤	3%型合成界面活性剤泡消火薬剤
	薬剤濃度	1.0%
	泡質設定	W泡、D泡
GN	流量切替ダイヤル	フラッシュ
	噴霧角度調整ヘッド	棒状

(エ) 放水距離の設定

消火実験に際して、各放水条件(ノズル及び泡質)における有効な放水距離を測定し、その距離を実験時の放水距離とした。

有効な放水距離とは、筒先の放水角度をほぼ水平とし、放水した泡が、図3に示す状態で、燃焼火皿に入るときの燃焼火皿の中心からノズル先端までの距離とした。

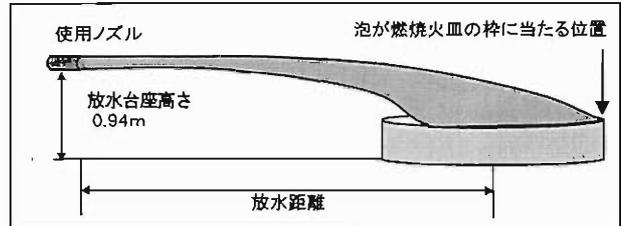


図3 放水距離の決定基準

放水距離の測定結果を表6に示す。同じ泡質でCNとGNを比較するとCNの方が放射距離が長い結果となった。

表6 放水距離

	放水条件		放水距離
	ノズル	泡質	
実験1	GN	D泡	10.7 m
実験2	CN	W泡	16.2 m
実験3	CN	D泡	12.7 m
実験4	GN	W泡	15.7 m

ウ 実験手順(実験1～実験4)

実験手順は、表7に示すとおり、ガソリンを燃焼火皿に注入し、注入完了直後に着火した。

着火30秒後に放水を開始し、有炎現象の消滅を確認してから10秒後に放水を停止した。

放水を停止してから15分後に再着火試験を行った。

表7 消火実験の手順

時間経過	内容	参考写真
	ガソリン50Lの注入	写真8
0	着火	
↓	(燃焼)	写真9
30秒	放水開始	写真10
↓	(有炎現象の消滅)	
10分	↓	
↓	放水停止、発泡倍率の測定	
15分	↓	
↓	再着火試験	写真11
↓	実験終了	



写真8 ガソリン注入状況



写真9 燃焼状況



写真10 放水状況



写真11 再着火試験状況

## 5 実験結果と考察

### (1) 消火能力

#### ア 消火状況

#### (7) 放水開始時の状況

放水開始時の燃焼火皿の状況を写真12～15に、熱流束及び温度の放水直前の値、放水開始時からの最大値及びその上昇幅を表8及び表9に示す。写真から、ノズル及び泡質によらず、燃焼火皿から立ち上がる炎は南側に傾いており、熱流束及び温度の変化（上昇幅）からも南側への熱の影響が大きいことが確認できた。



写真12 実験1



写真13 実験2



写真14 実験3



写真15 実験4

表8 熱流束の状況

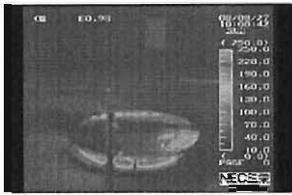
	放水条件	熱流束 (kW/m <sup>2</sup> )				
		項目	東8	南東8	南西8	西8
実験1	GN D泡	直前	4.0	3.7	3.3	3.5
		最高値	12.9	14.4	15.2	11.3
		上昇幅	8.9	10.7	11.9	7.8
実験2	CN W泡	直前	3.8	3.8	3.8	3.4
		最高値	14.9	20.3	21.7	12.5
		上昇幅	11.1	16.5	17.9	9.1
実験3	CN D泡	直前	3.1	3.6	3.6	3.2
		最高値	10.2	13.7	14.4	9.4
		上昇幅	7.1	10.1	10.8	6.2
実験4	GN W泡	直前	3.8	3.9	4.1	3.4
		最高値	10.6	15.2	16.9	9.5
		上昇幅	6.8	11.3	12.8	6.1

表9 温度の状況

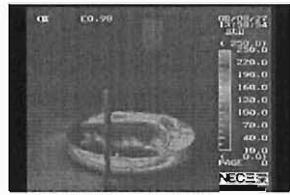
	放水条件	温度 (°C)				
		項目	東8	南東8	南西8	西8
実験1	GN D泡	直前	34.3	34.1	28.9	31.4
		最高値	44.5	44.8	36.6	39.9
		上昇幅	10.2	10.7	7.7	8.5
実験2	CN W泡	直前	36.3	34.9	32.0	35
		最高値	46.8	49.2	41.5	44.8
		上昇幅	10.5	14.3	9.5	9.8
実験3	CN D泡	直前	32.9	34.1	30.7	33.3
		最高値	43.7	48.1	36.8	40.8
		上昇幅	10.8	14.0	6.1	7.5
実験4	GN W泡	直前	34.7	36.0	31.8	34.0
		最高値	43.5	48.6	39.9	40.8
		上昇幅	8.8	12.6	8.1	6.8

#### (i) 燃焼火皿内の消火状況

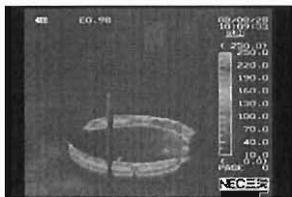
消火実験において、燃焼火皿の放水側を「北側」、反対側を「南側」とすると、すべての消火実験において、燃焼火皿の北側に最後まで有炎現象が残っている。この状況を赤外線画像で、写真16～19に示す（写真右側が北側、写真左側が南側である。）。



(GN, D泡)  
写真16 実験1



(CN, W泡)  
写真17 実験2



(CN, D泡)  
写真18 実験3



(GN, W泡)  
写真19 実験4

燃焼火皿内の消火過程を、実験2を例にとり、5秒間隔で写真20から写真23に示す。泡は、燃焼火皿の南側の表面から北側に向かって覆っていき、消火されていく様子を確認することができる。



写真20 0秒 (放水開始)



写真21 +5秒



写真22 +10秒



写真23 +15秒

#### イ 消火時間

表10に、目視で確認した各消火実験の消火時間及び燃焼実験の燃焼時間を示す。

消火時間は、放水開始から燃焼火皿内の有炎現象が消滅するまでの時間とした。

燃焼実験の消火時間欄は、点火から燃焼火皿内の有炎現象が消滅した時間から30秒を差し引いた数値を示す。

すべての実験で、放水しなければ燃焼を継続していたと予測される250秒より、5分の1以下の短い時間で消火した。

表10 消火時間

	放水条件	消火時間 (秒)
燃焼実験	—	250
実験1	GN, D泡	31
実験2	CN, W泡	46
実験3	CN, D泡	50
実験4	GN, W泡	30

表11に、燃焼火皿周囲に配置した熱流束計の測定結果から求められた、有炎現象の消滅時間を示す。

消火時間は、点火した時点(熱流束値  $0 \text{ kW/m}^2$ ) から消火後に熱流束計の値が最初に  $0 \text{ kW/m}^2$  を示すまでの時間から30秒を差し引いた時間とした。

すべての実験において、目視で確認した結果同様、放水しなければ燃焼を続けていたと予測される250秒より、短い時間で熱流束が  $0 \text{ kW/m}^2$  となった。

表11 消火時間

	放水条件	時間 (秒)					
		東 2	東 8	南 東 8	南 西 8	西 8	平均
実験1	GN, D泡	26	16	25	16	27	22
実験2	CN, W泡	38	28	38	30	38	34
実験3	CN, D泡	48	40	47	44	47	45
実験4	GN, W泡	26	22	25	22	30	25

#### ウ 放水停止からの泡の消滅状況

放水停止時及び放水停止15分後の画像を写真24に示す。すべての実験において、放水停止直後は燃焼火皿全面が泡で覆われていたが、15分経過時には、すべての実験において、泡の一部が消滅し、油面が見える状態となった。

再着火試験では、すべての実験で再着火を確認した。

	放水条件	放水停止直後	15分後
実験1	GN D泡		
実験2	CN W泡		
実験3	CN D泡		
実験4	GN W泡		

写真2-4 泡の消滅状況

エ 放水量

各実験の放水量を表1-2に示す。

流量計の値は、消火時間内の平均値をとった。消火に使用しないCAFSの冷却水は、事前にメスシリンダーにより測定した。放水流量は、流量計の値から冷却水を差し引いたものとし、放水量は、放水流量に消火時間を掛けたものとした。この結果から、消火に要した放水量はW泡よりD泡のほうが少なかった。

表1-2 放水量

	放水条件	流量計	冷却水	放水流量	消火時間	放水量
		(L/分)	(L/分)	(L/分)	(分)	(L)
実験1	GN、D泡	177	60	117	0.51	59
実験2	CN、W泡	254		194	0.76	147
実験3	CN、D泡	89		29	0.83	24
実験4	GN、W泡	255		195	0.50	97

(2) 放水者への影響

ア 放水者付近の熱環境 (実験1~4)

表1-3に、放水位置付近での熱流束の放水直前の値とその後の最大値及びその上昇幅を示す。

放水位置付近の熱流束は最大で2.7 kW/m<sup>2</sup>であった。皮膚表面に与える熱流束 (輻射熱) と時間と症状の関係<sup>3)</sup>を表1-4に示したが、熱流束値 (輻射熱) 2.1 kW/m<sup>2</sup>は、皮膚に直接受けると1分程度で痛みを感じる値であり、この規模の火災における消火活動は、完全着装を行う必要がある。

表1-3 放水開始時の熱流束の状況 (kW/m<sup>2</sup>)

	放水条件	放水直前	最高値	上昇幅
実験1	GN、D泡	1.6	2.7	1.1
実験2	CN、W泡	0.7	1.5	0.8
実験3	CN、D泡	1.0	2.7	1.7
実験4	GN、W泡	0.7	1.7	1.0

表1-4 輻射熱による熱流束と時間と症状の関係

熱流束	症状
1.2 kW/m <sup>2</sup>	長時間の露出に耐えられる最大輻射熱
1.4 kW/m <sup>2</sup>	苦痛を感じはじめる。
2.1 kW/m <sup>2</sup>	1分後苦痛
4.2 kW/m <sup>2</sup>	10 ~20 秒で苦痛
7.0 kW/m <sup>2</sup>	20 数秒でひどい火傷、数秒で痛み
10.5 kW/m <sup>2</sup>	10 ~20 秒で火ぶくれ、数秒で苦痛

イ 耐熱服及び防火衣内の環境 (燃焼実験)

(7) マネキンを配置した付近の熱環境

表1-5に、マネキンを配置した付近の熱流束を示す。この場所での熱流束及び温度の最大値は1.9 kW/m<sup>2</sup>、28.5℃であった。

表1-5 人形を配置した付近の熱環境

	実験前	最高値
熱流束	0.0 kW/m <sup>2</sup>	1.9 kW/m <sup>2</sup>
温度	22.2℃	28.5℃

(4) 耐熱服内の温度

表1-6に、耐熱服の右胸部表面付近に設置した温度計による測定結果を示す。この結果、最高40.6℃まで上昇したが、耐熱服内部の温度計測の結果は、最高でも、22.9℃となり0.5℃の上昇にとどまった。

表1-6 耐熱服内の温度上昇

	実験開始時	最大値	上昇幅
耐熱服内部	22.4℃	22.9℃	0.5℃
耐熱服表面	23.1℃	40.6℃	17.5℃

(9) 防火衣内の温度

表1-7に示すように、防火衣内の温度は、12.8℃の温度上昇が見られ、最高温度は35.1℃であり、耐熱服と比較して大きく上昇した。

表1-7 防火衣内の温度上昇

	実験開始時	最大値	上昇幅
防火衣内部	22.3℃	35.1℃	12.8℃
防火衣表面	23.7℃	66.9℃	43.2℃

## 6 おわりに

- (1) 今回の消火実験では、4 m<sup>2</sup>の燃焼火皿にガソリンを入れ、液厚を約1 cmとして行ったが、実際は、道路上に薄く広がったり、側溝や窪地にガソリンが溜まったりと、様々な状態が考えられる。4 m<sup>2</sup>程度の小規模に漏洩した火災では、泡質やノズルの種類によらずCAFSで火勢制圧することが可能であるが、放水することによって、燃焼物体から立ち上がる炎を放水方向に傾かせ、一時的に、周囲により高い熱環境を作り出す危険性があるので、放水時に周囲へ延焼拡大させることのないように十分な配慮が必要である。
- (2) 放水距離は、GNよりCNの方が長い結果となったが、実験時のどの放水距離をとっても想定した小規模油火災からの輻射熱及び温度は消火活動には影響を与えない範囲であった。このことから、この規模の油火災では、GN及びCNとも使用可能であると考えられる。
- (3) 想定した小規模油火災では防火衣で対応可能であるが、漏洩物の拡大等の状況変化などを考慮すれば、耐熱服を着装することで、より安全性を高めることができる。
- (4) 今回使用したCAFSでは薬剤缶からの薬剤供給が薬剤缶の3分の2程度までしか供給できなくなることや、圧縮空気の供給量に変化する場合があった。消火活動中に泡質が変化し、水が放水されると、被害を拡大させる危険性があることから、CAFSのより安定した泡の供給性能が望まれる。また、今回使用したCAFSは、現場到着後、車両から降ろし、ポンプ車からの吸水を受けて放水するシステムであり、放水までに比較的時間を要する。従って、今後CAFSを消防活動に活用する場合には、CAFS装置をポンプ車のポンプ装置へ組み込むなどの方策を考慮する必要がある。

## 謝辞

本検証にあたり、総務省消防庁消防研究センターから実験場所の提供等、多大な支援、協力をいただいたことを感謝いたします。

### [参考文献]

- 1) 高橋伸幸、黒田裕司、森尻宏、田中康之、尾川義雄 「アルコール含有ガソリンの消火に関する検証(その1)」平成19年度 日本火災学会 研究発表会概要集 p248-249 2007
- 2) 高橋伸幸、黒田裕司、菊池保正、森尻宏 「アルコール含有ガソリンの消火に関する検証」消防技術安全所報 第43号 p73-83 2007
- 3) 火災便覧 新版 日本火災学会編 p1314

# Verification of the Extinguishing Capacity of the Compressed Air Foam System for Small-Scale Oil Fires

Tetsuo KIDA\*, Shigeo WATANABE\*, Kouichi TAMAKOSHI\*\*

## Abstract

To check the extinguishing capacity of the Compressed Air Foam System (hereafter referred to as "CAFS") for small-scale oil fires, we conducted an extinguishing experiment.

We burned 50 liters of gasoline on a 4 m<sup>3</sup> burning blow, and extinguished the fire with the in-vehicle type of CAFS for Fire Rescue Task Forces' use. A synthetic surfactant was used as the extinguishing agent.

We used two types of nozzles(i.e., the gun-type nozzle deployed for pump companies and the CAFS-dedicated one) and chose two types of foam(i.e., the wet foam containing much water and the dry one containing much air) to verify the extinguishing capacity of CAFS.

As a result, we found out that CAFS was effective in extinguishing small-scale oil fires regardless of the nozzle and the foam.