泡による消火技術*

Fire Extinguishing Technology with Foam

岩 崎 良 之**
IWASAKI Yoshiyuki

Abstract From ancient times fire has been extinguished mainly by using water. But there may be some problems in large amount of water discharge against fire, such as enough water volume for fire extinguishing may not be secured in case of large-scale natural disasters, and also secondary damage may be caused by discharged water. CAFS, one of fire extinguishing method by using air foam, is the solution because it utilizes small amount of water very efficiently. This report presents an overview of fire extinguishing with air foam, how to generate it and verification experiments of fire extinguishing effect with CAFS foam in MORITA Corporation.

Keywords: Fire extinguishing, Fire vehicle, Foam, Compressed air foam system

1. はじめに

平成 23 年に全国で発生した火災件数は約 50,000 件であり、その損失額は 1,128 億円にのぼる[1]。この火災による損失を少しでも減らすために消防車は必要不可欠であり、住宅火災から車両火災、工場火災など様々な火災に対応するため多種多様な機種が配備されている。

古来より、火災に対しては水を放射することが最も有効であり、21 世紀の現代においても水による消火が主流である。したがって、消防車にはより早く消火するために大量の水を放射する能力が求められてきた。しかし、1995 年の阪神淡路大震災や 2011 年の東日本大震災では、数日で 300 件近い火災が発生したが、インフラが寸断されたため消火用の水が十分確保できず、思う様に火災を抑制できなかった。また通常の火災現場においては、放射された大量の水により階下や周辺の部屋の家財が損害を受ける、いわゆる「水損」による二次災害が問題となっている[2]。このような背景から、火災に対して大量の水で消火する従

来の方法から、少量の水で効率良く消火する新しい方法が求められている。

少量の水で消火する手段として、ウォーターミストによる消火や、泡による消火が注目されている。特に泡による消火（以下、泡消火）は、従来油火災への適用が主流であったが、より環境に優しい泡消火薬剤の開発や、Photo 1 の「圧縮空気泡消火装置（Compressed Air Foam System、略称

Photo 1 Fire vehicle with CAFS.

* 2013.4.24 受付

** 株式会社モリタ 生産本部 商品開発第二部 〒669-1339 兵庫県三田市テクノパーク 1-5
TEL: (079)568-7939 FAX: (079)568-7959 E-mail: YosiYuki.Iwasaki@morita119.com

CAFS)」の登場、普及により、一般火災にも使用されるようになっていく。

本稿では、泡消火の概要や消防車における泡の生成方法を解説するとともに、株式会社モリタで行った CAFS による泡消火の有効性の検証実験を紹介する。

2. 泡消火の概要

2.1 泡の生成

消火に用いられる泡は、その生成方法により化学泡と空気泡の2種類に分類される。

化学泡 二つの薬剤を混合することで、化学反応による炭酸ガスを発生させ、泡を生成する。最初に消火に用いられた泡は、この化学泡である。混合する薬剤は、炭酸水素ナトリウム（重曹として知られている）と硫酸アルミニウムであり、この組み合わせは最初に化学泡が発明されて以降変わっていない。但し近年では、化学泡が使用されることは少なくなり、一部の消火器で採用されるにとどまっている。

空気泡 水と泡消火薬剤を混ぜた混合液に、空気を混入させることで泡を生成する。現在、消火に用いられる泡のほとんどがこの空気泡であり、消防車や消火設備、消火器など幅広い場面で使用されている。

2.2 消火の原理

モノが燃焼するためには、「可燃物・酸素・温度」の三要素（連鎖反応を加えて、四要素とする場合もある）が必要であり、消火するためにはこのいずれかを取り除く必要がある。その方法として、可燃物を除去する除去消火、酸素を除去する窒息消火、温度を除去する冷却消火があり、これらを消火の三要素という。

消火方法は燃焼する可燃物によって適切に対応する必要があり（Table 1）、選択を誤ると被害が拡大するので注意が必要である。

Table 1 Type of fire.

分類	燃焼物の例	主な消火方法
普通火災	木材、紙	冷却 窒息
油火災	天ぷら油、ガソリン	窒息 冷却
電気火災	配電盤、発電機	窒息
金属火災	マグネシウム、ナトリウム	窒息
ガス火災	都市ガス、プロパンガス	除去

最も一般的な水による消火は、冷却消火に分類され、水が持つ高い熱容量と気化熱を利用して燃焼に必要な温度を取り除く。また、水が一定の場所に留まることで酸素が遮断されるため、窒息消火の側面も併せ持つ。水は普通火災には最も優れた消火方法になるが、油火災や電気火災、金属火災には用いることが出来ない。

一方泡消火は、泡が燃焼物を覆うことで燃焼に必要な酸素を遮断する窒息消火に分類される。また、泡を構成する水分が燃焼に必要な温度を取り除くため、冷却消火の効果も持つ。泡消火は、電気火災・ガス火災を除く多くの火災に対して使用できるため、各火災に対する研究が行われている[3,4]。

2.3 泡消火の歴史[5-7]

泡消火は、1900 年ごろナフサ（石油化学製品の原料）による火災を、化学泡を用いて消火したのが最初とされている。その後 1927 年に空気泡が発明され、消火に用いられた。また 1935 年ごろより、空気泡を生成するためのノズルや装置、水に混合する泡消火薬剤の開発が進み、製油所や化学工場の消火設備として普及が広まった。日本国内においては昭和初期に化学泡が伝来し、第二次世界大戦までは、この化学泡が主流であった。その後、戦後の経済成長に伴って製油所や化学工場が建設され、その消火設備として空気泡が普及した。このように当初の泡消火は、製油所や化学工場での油火災に対する消火方法として発展した。

一方、普通火災に対して本格的に泡消火が普及し始めたのは、1970 年代からである。この当時、アメリカのテキサス州林野局は、延焼が非常に速い林野火災に対応するため、泡消火とくに CAFS の研究を行い、防災体制の強化を図った（Photo 2）。また 1980 年代後半からは、建物火災への応用が研究されるようになり、泡消火の有効性が検証された。一方、日本国内においても、1990 年

Photo 2 Texas forest service CAFS.

代より泡消火を普通火災で使用するための研究・開発が積極的に行われるようになり、1990年代後半から実際の普通火災に活用され始めた。株式会社モリタでも、それまで海外製がほとんどであった CAFS の装置や泡消火薬剤を自社で開発し、積極的に泡消火の普及を進めている。

3. 消防車における泡の生成方法

消防車では空気泡が用いられており、水、泡消火薬剤、空気によって泡が生成される。これらを混合する方法はいくつかあり、消防車の機種によって異なる。本章では、水と泡消火薬剤の混合方式、水と泡消火薬剤の混合液と空気の混合方式について紹介する。

3.1 水と泡消火薬剤の混合方式

(1) ピック・アップノズル方式

消火の際に消防隊員が持つ筒先ノズルにて水と泡消火薬剤を混合する方式である (Fig. 1)。筒先ノズルの根元部には、エゼクターと呼ばれる水流によって負圧を発生させる機構が設けられ、この負圧によって泡消火薬剤を吸引して水と混合する (Fig. 2)。ピック・アップノズル方式は、水を放出するいかなる消防車でも使用することができる。しかし、十分な負圧を発生するためには一定以上の流速が必要であるため、消防車から筒先ノズルまでのホースの延長本数、消防車と筒先

Fig. 1 Pick-up system.

Fig. 2 Structure of the ejector.

ノズルの高低差などに制限がある。また筒先ノズルまで泡消火薬剤を運搬する必要があるため、ポリタンクなどの比較的小さな容器 (20L 程度) に泡消火薬剤を入れる必要がある。

(2) ライン・プロポーション方式

ピック・アップノズル方式が筒先ノズルで水と泡消火薬剤を混合するのに対して、ライン・プロポーション方式は、消防車から筒先ノズルを繋ぐホースの途中で水と泡消火薬剤を混合する方式である (Fig. 3)。泡消火薬剤を吸引する部分はライン・プロポーションと呼ばれ、ピック・アップノズル方式と同様、エゼクターによる負圧を利用する。またライン・プロポーションには、泡消火薬剤の吸入量を調整するバルブが設けられ、予め設定された混合比に調整することができる。ライン・プロポーション方式も、水を放出するいかなる消防車でも使用できるが、ホースの延長本数、消防車と筒先ノズルの高低差などに制限がある。また、ポリタンクなどの比較的小さな容器 (20L 程度) に泡消火薬剤を入れる必要がある。

(3) ポンプ・プロポーション方式

水ポンプの吐出側と吸水側の間にバイパス回路を設け、その部分で水と泡消火薬剤を混合する方式である (Fig. 4)。泡消火薬剤を吸引する部分

Fig. 3 Line proportioning system.

Fig. 4 Around the pump proportioning system.

はポンプ・プロポーショナーと呼ばれ、前述の2方式と同様にエゼクターによる負圧を利用する。またライン・プロポーショナーと同様に、泡消火薬剤の吸入量を調整するバルブが設けられている。しかし、前述の2方式とは異なり、消防車の内部で水と泡消火薬剤を混合するため、消防車に泡消火薬剤専用のタンクを設けることができ、消火活動の際に泡消火薬剤を運搬する必要が無い。

(4) サクション・プロポーショナー方式

水ポンプの吸水側で水と泡消火薬剤を混合する方式である (Fig. 5)。ライン・プロポーショナー方式やポンプ・プロポーショナー方式と異なり、泡消火薬剤の吸入量は、水及び泡消火薬剤の吸入ラインに設けられた、オリフィス径によって調整される。したがって、水ポンプの吸水側は常に一定の負圧でなければならず、河川や池からの自然吸水、あるいは消火栓等から有圧水を受ける中継吸水では使用することができない (消防車に積載した水タンクからの吸水時のみ使用可能)。

(5) 圧送自動比例混合方式

前述の4方式は、負圧により泡消火薬剤を吸引して混合するが、本方式は泡消火薬剤専用のポンプを用いて、泡消火薬剤を水に圧入して混合する方式である。圧送自動比例混合方式には、圧力によって泡消火薬剤の量を調整する等圧弁方式 (Fig. 6) と、流量によって泡消火薬剤の量を調

Fig. 5 Suction proportioning system.

Fig. 6 Balanced pressure proportioning system.

整する電子制御方式 (Fig. 7) がある。圧送自動比例混合方式では、薬剤専用のポンプを使用して圧入するため、放水量の変動に対しても自動的に混合比を一定に保つ利点がある一方、機器が増えるため構造が複雑になる。

3.2 混合液と空気の混合方式

(1) アスピレート方式 (内部吸気発泡方式)

アスピレート方式は、筒先ノズル内で混合液と空気を混合する方式である (Fig. 8)。筒先ノズルに流入する混合液によって空気がノズル内に吸入され、プレイパイプと呼ばれるノズル内の直管部で攪拌、整泡されて泡として放射される。ノズルによって、低発泡の泡 (発泡倍率: 5-10 倍) から高発泡の泡 (発泡倍率: 100 倍以上) まで生成できる。

(2) ノンアスピレート方式 (外部吸気発泡方式)

ノンアスピレート方式は、筒先ノズルから放射されたあとに空気と混合する方式である (Fig. 9)。ノズルから放射された混合液同士が空中で衝突し、その際に空気を取り込んで発泡する。発泡倍率は 2-6 倍と低いが、長い放射距離が得られる。

(3) 圧縮空気泡方式 (CAFS)

前述の2方式は、混合液を筒先ノズルまで送液

Fig. 7 Direct injection foam proportioning system.

Fig. 8 Aspirating system.

Fig. 9 Nonaspirating system.

Fig. 10 Compressed air foam system.

し、簡先ノズルあるいは放射後に空気を自然に混入させる方式であった。これに対して CAFS は、コンプレッサーを用いて消防車の内部で空気を圧入し泡を生成する (Fig. 10)。本方式は、

- ・ コンプレッサーを使用することで機器が複雑になる、
- ・ 混合液の圧力は、コンプレッサーの空気圧以下にする必要がある、

などのデメリットがある一方、

- ・ 消防車内部で泡を生成するため、ホースが軽くなり消防活動が容易になる、
- ・ 火災の状況に応じて泡の性状を容易に変えることができる、
- ・ より均質な泡を生成できる、
- ・ 圧縮空気のエネルギーを利用することで、通常の泡放射に比べ、より遠くまで泡を放射することが出来る、

などのメリットがある。この CAFS を搭載した消防車は年々増加傾向にあり、H24 年度に株式会社モリタから出荷された水ポンプ付消防車の内、10 台に 3 台は CAFS 搭載消防車となっている。

4. CAFS による泡消火の有効性検証

株式会社モリタでは、泡消火装置を搭載した消防車を製造するとともに、泡消火の有効性を検証するために、CAFS を用いて各種の実験を実施している。本章ではその一部を紹介する。

4.1 水と泡の当たり面積の測定[8,9]

水の消火効率は、水の当たり面積に比例し、当たり面積を大きくすることが出来れば消火効率は増大する。水を霧状に放水する噴霧放水は、大きい当たり面積を得られるが、射程が短くなるデメリットがある。一方、水を一点に集中させて放水する棒状放水は、射程は長いものの弾けや重力によって水が燃焼面から流出するため、水が燃焼

物の表面に拡がらず、大きい当たり面積が得られない。Photo 3 に、5 m 先から $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ のアクリル板に向かって、約 200 L/min の流量で放水する様子を示す。放射される水の多くは弾けてしまい、板との接触は板の中心部に限られる。

したがって、水の弾きが抑制できれば、より多くの水が燃焼物表面に留まり、水の利用効率が上がるわけである。泡は水に比べて体積が増える他、泡のクッション効果によって接触面での弾きも抑えられるため、水のみの場合より大きい当たり面積が得られる。Photo 4 に、Photo 3 と同じ水流量に設定した泡放射の様子を示す。放射された泡が弾けることなく、アクリル板の表面に拡がるのがわかる。

次に、水放射と泡放射の当たり面積を定量的に評価する。Photo 5 に、放射された水と泡の当たり面積の測定方法を示す。水の流量と泡の水量は

Photo 3 Behavior of water on the collision wall.

Photo 4 Behavior of foam on the collision wall.

Photo 5 Measurement of hit area of water and foam.

Table 2 Test conditions and results of hit area.

項目	水	泡
水流量 L/min	200	200
空気流量 L/min	—	1,200
ノズル圧力 Mpa	0.6	0.6
発泡倍率 倍	—	3.5
ノズルから板までの距離 m	5	5
当たり半径 m	0.3	1.1
当たり面積 m ²	0.28	3.8
単位水量の当たり面積 m ² /(L/min)	0.0014	0.019

それぞれ約 200 L/min に制御され、ノズル圧力は約 0.6 MPa である (Table 2)。また、泡放射時の空気／水の体積比率は約 6 倍で、実際の発泡倍率は約 3.5 倍である。なお、放水の形状は、表面に垂れ流す部分を見直し、放水の中心から壁面に広がる消火剤の上縁までの距離を半径とする円形と仮定する。

上述の条件においては、水と泡の当たり面積が、それぞれ 0.28 m² と 3.80 m² であり、単位水量の当たり面積に換算すると、それぞれ 0.0014 m²/(L/min) と 0.019 m²/(L/min) になる。つまり、泡の単位水量の当たり面積は、水の約 13 倍になる。

以上の結果より、消火に泡を用いることで当たり面積が格段に広がり、少ない水量でより大きい燃焼面を消火できることがわかる。

4.2 自動車火災に対する泡消火の有効性[10]

高速道路上では消火用の水の確保が困難なため、少ない水で効率よく消火することが求められる。そこで、高速道路上での自動車火災を想定した実大規模の消火実験を行い、消火時間と水の使用量により、水と泡を比較する。

実験は、高速道路の路肩に停車した自動車

Photo 6 Experimental car.

(Photo 6) から出火した状態を想定する。エンジン下部に可燃物 (ヘプタン) を置き、それを着火剤として車両に引火させる。また消火開始は、車両に十分火が回る様着火から 10 分後とし、消火の際は高速道路の路肩を想定して 3 面からのみの放射とする (Fig. 11)。水の流量と泡の水量はそれぞれ約 100 L/min に制御され、ノズル圧力は約 0.6 MPa である (Table 3)。

上述の条件による実験の結果、水および泡による消火時間はそれぞれ 5 分と 2 分 50 秒であり、水の使用量はそれぞれ 343 L と 50 L である。泡による消火は水による消火に比べて、消火時間が約 3/5、水の使用量が約 1/7 に低減できることがわかる。なお、車両エンジン部燃焼から、消火までの実験写真を Photo 7 に示す。

5. おわりに

本稿では、泡消火の概要や、その有効性について紹介した。近年、火災報知機やスプリンクラーの普及、耐火構造物の増加により、火災が発生しにくい、若しくは発生してもボヤで終わる状況にある。しかし、人が火 (熱) を使用する限り、火災を根絶することは困難であり、火災による被害

Fig. 11 Fire extinguishing method.

Table 3 Test conditions and results of car fire.

項目	水	泡
水流量 (L/min)	100	100
空気流量 (L/min)	—	600
ノズル圧力 (MPa)	0.7	0.7
消火時間※1	5分 00秒	2分 50秒
水の使用量 (L)	343	50

※1 火災の状況を見ながらの間欠放水としたため、消火時間は参考値とする

エンジン部燃焼

泡消火の様子

車内燃焼（消火開始）

鎮火

Photo 7 Fire extinguishing for car fire.

を最小限に抑える努力が必要不可欠である。消防業界の一員である著者も、今回紹介した泡消火の更なる有効活用、あるいは泡消火を超える新技術の開発に注力し、火災による被害の低減に貢献していきたい。

参考文献

- [1] Fire and Disaster Management Agency ed., White Paper on Fire Fighting (in Japanese), 45-46, Katsumi Publishing, Tokyo (2012).
- [2] Hoshikawa, M., Field Study of Water Damage in High-Rise Building Fires in the Case of Yokohama City, Fire (in Japanese), JAFSE, Vol.51 (5), 51-55 (2001).
- [3] Kitakyusyu Fire Department Report on Extinguishing Experiments with Water and Surface Active Agent, Fire (in Japanese), JAFSE, Vol.50 (3), 65-68 (2000).
- [4] Kondo, S., Liao, C., Yamano, K., Matsushima, Y., Sakamoto, N., Matsushita, T., Kanda, S., Saso, Y. and Naito, H., Production of Hydrogen during Aluminum Fire Suppression using Compressed Air Foam, Proc. of JAFSE Annual Symposium, 390-391 (2011).
- [5] Yoshihara, T. and Oosato, J., On Foam Fire Extinguishing Agent (in Japanese), Fire (in Japanese), JAFSE, and Vol.7 (2), 67-75 (1957).
- [6] Murota, J., Reform of Firefighting Tactics using Class A Form (in Japanese), Journal of NRIFD, 106-113 (2004).
- [7] Dominic, C., The Compressed Air Foam Systems Handbook, 49-78, Lyon's Publishing, Pennsylvania (2006).
- [8] Liao, C., On Form for Ordinary Fire and CAFS (in Japanese), Journal of Japan Security System Association, 19-23 (2007).
- [9] Liao, C., Kawahigashi, H., Kumashiro, H., Murai, N., Nagatomo, Y. and Umeki, H., Effectiveness on Fire Extinguishing by Compressed Air Foam System, Proc. of JAFSE Annual Symposium, 238-239 (2007).
- [10] Sakamoto, N., Liao, C., Yamano, Y., Matsushima, Y., Akiyama, M. and Tsutsui, Y., Fire Extinguishing for Car Fire and Biogasoline Fire using Compressed Air Form System, Proc. of JAFSE Annual Symposium, 266-269 (2010).