

自衛防災組織等の標準的な教育テキストの概要について

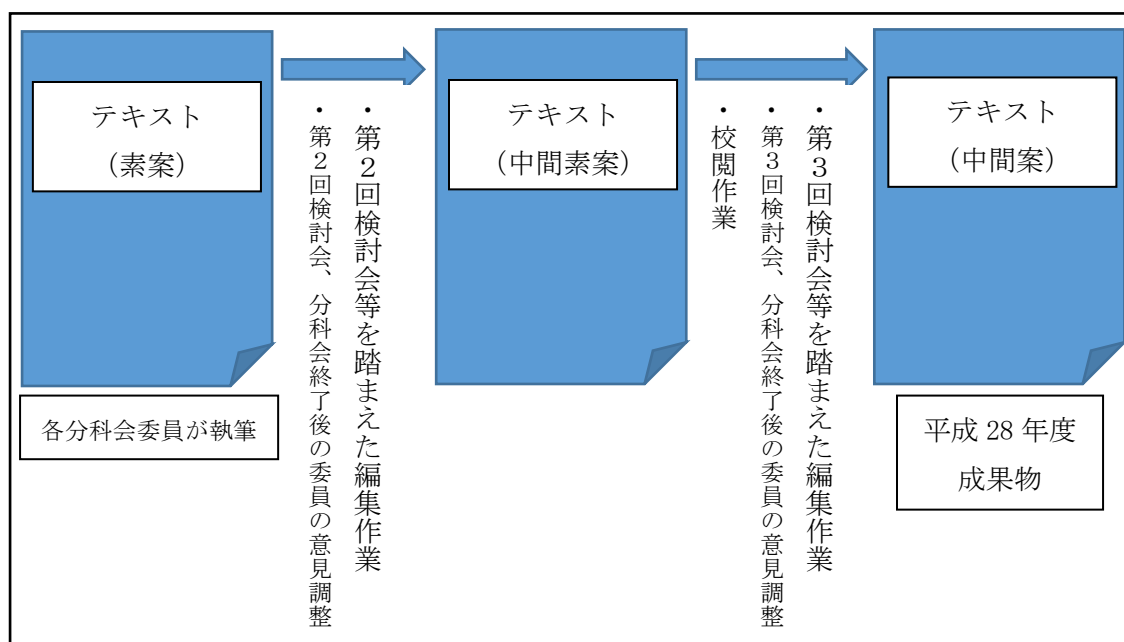
自衛防災組織等の標準的な教育テキスト（以下「テキスト」という。）の素案の執筆については、平成 28 年度の第 1 回分科会で、章・節ごとに複数の分科会委員で構成されるチームにそれぞれ割り振る案が事務局から提示され、了承された。

事務局は、第 2 回分科会、第 2 回検討会で出た意見及び「標準的な教育テキストに係る編集方針・執筆要領」に基づき、テキスト素案の編集作業並びに第 2 回検討会、第 2 回分科会終了後の委員の意見調整を実施し、テキスト中間素案をとりまとめた。

その後、第 3 回分科会、第 3 回検討会で出た意見及び「標準的な教育テキストに係る編集方針・執筆要領」に基づき、テキスト中間素案の編集作業並びに第 3 回検討会、第 3 回分科会終了後の委員の意見調整を再度実施し、テキスト中間案を制作した。

また、事務局ではテキスト中間素案及び中間案の校閲作業を併せて実施し、更なる検討が必要と考えられる部分については、論点として抽出し、消防研究センター等の関係機関と調整を行いながら考察を行い、その結果をテキスト中間案に反映させた。（反映させた内容については委員に承認をとり、消防庁のHPに掲載した。）

なお、著作権等については、テキストを執筆した各委員に対して調査を行い、問題ないことを確認した。



テキスト案の執筆及び編集等に係るイメージ

また、平成 28 年度の第 3 回検討会で次年度に検討を繰り越しとしたテキストの記載内容のうち「ボイルオーバー」、「泡消火薬剤」についての調査結果をそれぞれ別紙 1, 2 に示す。

軽油タンク火災でのボイルオーバー発生報告事案に係る文献等調査報告

第 1 調査の目的等

第三回検討会(平成 28 年 1 月 27 日)の中間案審議において、ボイルオーバーを発生しうる油種に関して軽油の事象事例の照会があり、以下の文献等を調査し、軽油を削除しました。

- 1) ”直径 20m 未満のタンクに係る BS (英国規格) 2654-1973 weakroof-to-shell attachment の修正案(Amendment)” (1975 : 文献の公開年。以下同じ。)
- 2) ”Frangible Roof Tanks” E. E. Morgeneegg (1978)
- 3) “石油タンクのボイルオーバーで百数十人死亡”(佐藤公雄) KHK だより第一号 (1984)
- 4) ”Large Storage Area Fire” : Loss Prevention Bulletin 094 (1990)
- 5) ”ボイルオーバー”(古積 博) 火災便覧第 3 版 第 7 章 7.3.2. (2) (1997)
- 6) ”シェル石油リヨン油槽所火災事故”(塩路保夫) 火災爆発事象事例集 安全工学協会 (2002)
- 7) ”boil over” : Merriam-Webster’s Collegiate Dictionary 11th Edition (2004)
- 8) ”boilover” : ” Fire Protection Handbook 20th Edition “ NFPA (2008)
- 9) ”Boil-Over” : ”NFPA30 Flammable and Combustible Liquids Code” (2012)
- 10) ”石油コンビナートの防災アセスメント指針” 消防庁特殊災害室長通知別添 (2013・3)
- 11) ”ボイルオーバーとは” 自衛防災組織等の防災活動の手引き 本文 参考資料 1 (2014・2)
- 12) ”ボイルオーバー現象” : 警防活動時等における安全管理マニュアル(改訂版) (2014・3)
- 13) “ボイルオーバーの事例と最近の研究”(古積博他) 消防研究所報告 117 号 (2014・9)

本稿は上記の 13 文献等の調査結果とボイルオーバーの危険性を整理したものです。

なお、邦文文献の一部転記部分と英文文献を和訳した部分を教科書体としました。

第 2 多様なボイルオーバーの定義、説明、表記について

NFPA30⁹⁾は、”Boil-Over”を定義して引火性液体等の貯蔵施設の配置基準を定めています。

又、液体燃料の火災危険及び消火活動に関する研究や広報では、燃料層内に高温層が形成されずに煮えこぼれる現象等をボイルオーバーと表記する例が見られます。

一方、研究社新英和中辞典は”boil over”を[動詞+副詞]で煮えこぼれるとしています。

以下、文献等に記された四様のボイルオーバー等について報告します。

1 NFPA30 Flammable and Combustible Liquids Code で定義する Boil-Over

- (1) NFPA30 Code⁹⁾は、22.4.1.4 で Boil-Over Liquids を貯蔵する屋外タンクの離隔距離の基準を定め、Definition で 3.3.6 Boil-Over と Annex 3.3.6 Boil-Over を定義しています。

Chapter3 Definitions 3.3.6 Boil-Over. An event in the burning of certain oils in an open-top tank when after a long period of quiescent burning, there is a sudden increase in fire intensity associated with expulsion of burning oil from the tank.

- (2) 佐藤公雄室長(消防研究所)は文献³⁾で NFPA の定義に関して以下の解説をしています。

文献³⁾は、1982 年 12 月に Tocoa, Venezuela で起きた発電所用燃料貯蔵タンク火災事故について 1983 年 6 月の”FIRE SERVICE TODAY”(NFPA)に掲載された”Scores Die

in Tank Fire Boilover”を原著報告書として、1984年に全訳し解説を加えたものです。

ボイルオーバーとは“浮き屋根の沈んだ屋根式タンク及び屋根の吹き飛んだコーンルーフ式タンクを含む屋根のないタンク”で石油が長い間、静かに燃え続けた後に、突然、タンクの中から燃えている油が噴出し、火勢が急激に強まる現象を指す。

タンク火災中、液面付近では蒸発せずに残った高沸点成分の割合が高くなり、その下部にある未燃油より比重が高くなり、液面付近の油が降下し、高温層を形成する。この高温層の降下速度が液面降下速度より大きいとボイルオーバーを発生する。「ヒートウェーブ」と呼ばれるこの高温層が降下し、タンク底部の水又は水と油のエマルジョン層まで到達すると、水は沸点以上に加熱され、ほとんど爆発的に沸騰し、タンクからあふれ出る。ボイルオーバーを起こす石油類は、軽質分と粘度の高い残渣成分を含んだ沸点範囲の広い成分からなっている。これらの性質はほとんどの原油が持っており、人工的に混合することによっても作り出せる。

この定義では、ボイルオーバーが起こる要素として、次の三つの条件を挙げている。①屋根のないタンク火災であること、②タンク中に水の層があること、③タンクの中でヒートウェーブが発達すること。これは、タンク中の油の種類によって決まる。

原油のように沸点範囲の広い石油類を貯蔵した屋根のないタンクで火災が起こると、沸点の高い成分は下降し、比重の高い高温層を作る。この高温層はその下にある低温の油に熱を伝達する。そこで、低沸点成分は上昇する。この中の軽質分が火災を継続させ、その火災の熱がタンク内の油にフィードバックされる。ヒートウェーブは、タンク底部方向に進むにつれて、その大きさも比重も大きくなり、温度も約150℃～315℃になる。

この下降するヒートウェーブは、下部側の油から低沸点成分を蒸溜し続ける。ヒートウェーブが水の層あるいは水と油のエマルジョンの層に到達すると、水は沸点以上に加熱され、水蒸気爆発を起こす。水は100℃以上になると沸騰し水蒸気になり、その体積は2000倍以上となる。水蒸気爆発により燃えている油と蒸気はほぼタンク直径の10倍の高さまで吹き飛ばされる。1962年に起きたある原油タンクの火災の写真を見ると、直径330mの火災が1800mの高さまで達したことがわかる。

2 NFPA30 Code で定義する Boil-Over 以外のボイルオーバー

(1) NFPA30 Code⁹⁾は、Definitions の用語のほか Merriam-Webster's Collegiate Dictionary の用語を使用します。同辞書 11 版⁷⁾(2004)で“boil over”は、Vi [自動詞]1 :to overflow while boiling or during boiling (以下略)で、n[名詞]は“boil-over”です。

(2) Fire Protection Handbook 20th Edition⁸⁾ (NFPA)は“boilover”と表記し、以下の解説で原油貯蔵タンク火災時に生じる現象としています。

Boilover. Boilover is a phenomenon that may occur spontaneously during a fire in an open-top tank containing certain types of crude oils. (以下略)

(3) 火災便覧第3版⁵⁾で、ボイルオーバーの説明はNFPA30 Annex.3.3.6に準じたものです。

3 “警防活動時等における安全管理マニュアル”のボイルオーバー現象

“警防活動時等における安全管理マニュアル(改訂版)”¹²⁾は、タンク火災の消火活動の留意事項で次の説明をしています。熱波がタンク底部に近づくと、ボイルオーバー現象^(※2)により火面が一挙に拡大する恐れがあるので注意する。 ※2 ボイルオーバー現象：注水によりタンクの下部に貯まった水が、その後の燃焼で温度が上がり沸騰しタンクから水蒸気とともに燃焼している危険物が急激に噴き出す現象をいう。

4 薄層ボイルオーバー(Thin layer boilover)

消防研究所報告 117号¹³⁾で Thin layer boilover を軽油のように長時間燃焼を続けても燃料層内に高温層が形成されないが、燃焼末期に水が激しく沸騰する現象としています。

第3 ボイルオーバーの危険性について

- 1 NFPA30⁹⁾ Table 22.4.1.4 では、Boil-Over Liquids を貯蔵する屋外タンクの、一般道路、重要な建物、敷地境界線[property line]からの離隔距離について、①最低 1.5m 以上とするほか、②タンク形式を浮き屋根式と固定屋根式に分けて、延焼防止措置[Protection for Exposures]と固定屋根式の場合に泡や不活性ガスによる防護措置の有無に応じたタンク直径の倍数で算定され、③浮き屋根式にあっては1/6～1倍とし、④固定屋根式にあっては1/3～4倍とするほか、最大 105m としています。
- 2”石油コンビナートの防災アセスメント指針”¹⁰⁾で、危険物の液面火災に係る2次災害の危険性としてタンク火災では、内容物が原油の場合には、ボイルオーバーの危険性がある。
- 3 消防研究所報告 117号¹³⁾で、薄層ボイルオーバーは、軽油のように長時間燃焼を続けても燃料層内に高温層が形成されないが、燃焼末期に水が激しく沸騰する現象で、一種のボイルオーバーのような現象が起こるが、ボイルオーバーに比べて穏やかな現象である。
- 4 消防研究センターの軽油の燃焼実験(燃焼容器直径 1m、軽油 16L、燃料の厚さ 20mm)で、ボイルオーバー時の放射熱(最大値)は、燃焼容器中心から 5m の測定地点で 4.3～7.6 kW/m²であり、定常燃焼時(1.5～1.8 kW/m²)の 2.9～5.1 倍の放射熱を計測しました。

第4 まとめ

NFPA30 で定義する Boil-Over は、重質油のタンク火災が長時間継続すると液面で蒸留が起こるため、揮発成分が燃焼し、高沸点の油の層(約 400℃の高温層)が形成されて下降して、底部の水を急激に沸騰させて、生じた水蒸気が高温層を形成する重質油を急激に押し上げて、タンクからあふれ出た重質油の油滴は空気中で爆発的に燃焼します。1964 年新潟地震の後に原油及び重油を貯蔵する複数のタンクで起きました。

大容量泡放射システムは、Boil-Over の発生メカニズムと時間経過に基づき配備されます。

次に、薄層 boilover について、軽油のように長時間燃焼を続けても燃料層内に高温層が形成されないが、燃焼末期に水が激しく沸騰する現象で、一種のボイルオーバーのような現象が起こるが、ボイルオーバーに比べて穏やかな現象であると報告されています。

この他、辞書で boil over の説明は、煮こぼれる、沸騰してあふれ出る等があります。

文献⁶⁾が 1987 年のリヨン油槽所火災事故で軽油タンクのボイルオーバー発生とした事象は、原著報告書⁴⁾に当該記載は無く、文献¹³⁾は” Not BO, but Called BO ”としています。

第 7 章 防災資機材 第 10 節 泡消火薬剤 (案)

1 防災資機材の泡消火薬剤について

防災資機材の泡消火薬剤は、政令で以下の泡消火薬剤量の算定方法を定めています。

- ア 備える化学消防自動車と同時に 120 分継続して泡水溶液を放水する場合に必要な量
 - イ 送泡設備付きタンクに継続して泡水溶液を送水する場合に必要な量
 - ウ 配備した大容量泡放水砲が 120 分継続して泡水溶液を放水する場合に必要な量
- 消防法に基づき設置する消火器や泡消火設備は、石災法の防災資機材ではありません。

2 泡消火薬剤の性能を確保するための規格と検定について

泡消火薬剤は、一定の性能等を有しないときは火災の消火に重大な支障を生じる恐れがあるため、泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令(以下、本節で「規格省令」という。)に基づき型式適合検定が行われ、薬剤の容器には合格した旨の表示があります。

規格省令は、総則、泡消火薬剤、大容量泡放水砲用泡消火薬剤及び雑則の四章で構成され、定義、泡消火薬剤の性状、消火性能等の技術上の規格等を定めています。

(1) 定義

泡消火薬剤を、基剤に泡安定剤その他の薬剤を添加した液状のもので、水(海水を含む。)と一定の濃度に混合し、空気又は不活性気体を機械的に混入し、泡を発生させ、消火に使用する薬剤をいう。と定義し、更に、基剤の種類に応じた定義をしています。

- ア たん白泡消火薬剤 たん白質を加水分解したものを基剤とする泡消火薬剤をいう。
- イ 合成界面活性剤泡消火薬剤 合成界面活性剤を基剤とする泡消火薬剤(水成膜泡消火薬剤を除く。)をいう。
- ウ 水成膜泡消火薬剤 合成界面活性剤を基剤とする泡消火薬剤で、油面上に水成膜を生成するものをいう。

例えばふっ化たん白泡消火薬剤は、たん白泡消火薬剤として型式適合検定を行います。

次に、大容量泡放水砲用泡消火薬剤は、石災法施行令第 14 条第 5 項に規定する大容量泡放水砲用泡消火薬剤である泡消火薬剤をいう。と定義し、基剤の種類は問いませんが、現状は、水成膜泡消火薬剤の製品だけが型式適合検定に合格した旨の表示があります。

又、水溶性液体用泡消火薬剤は、特殊な用途のため規格省令の対象から除いています。

(2) 泡消火薬剤の性状

性状は、①均質、②変質防止のための有効な措置が講じられている、③発生した泡は、石油類その他の可燃性液体の表面を流動展開し、かつ、木材その他の固体の表面に付着するもの、④著しい毒性又は損傷性を有しない。に適合するものとしています。

泡消火薬剤の変質については、変質試験(65℃に 216 時間保った後に室温に戻し、かつ、-18℃に 24 時間保った後に室温に戻す試験)の後に性能試験を行います。

合成界面活性剤泡消火薬剤は、木材その他の固体の表面に付着する性状確認のため、消火器の A 火災の消火能力測定に使用する第 2 模型を用いた消火性能試験も行います。

3 泡消火薬剤の技術上の規格

比重、粘度、発泡性能、消火性能、表示などの 12 項目について規格を定めています。

泡消火薬剤が混合すると、性状や規格で定める事柄が変化して、必要な発泡性能、消火性能が確保できないほか、消火設備の容器、配管等の機能を損なう場合があります。

性能の喪失及び設備の機能の損傷が生じないことを事前に確認した場合を除き、泡消火薬剤の混合及び混合の恐れがある防災資機材の運用は絶対に行ってはなりません。

容器に表示する取扱い上の注意事項は、①貯蔵の際には、プレミックスしないこと。②使用温度範囲以内に保ち、貯蔵すること。③使用に際しては、他の薬剤と混用しないこと。です。この「プレミックス」の意義はあらかじめ泡水溶液の状態にすることです。

4 泡消火薬剤の危険物の火災に対する消火性能の規格

消火性能の規格は、大容量泡放水砲用泡消火薬剤（以下「大容量泡。」）、たん白泡消火薬剤（以下「たん白泡。」）、合成界面活性剤泡消火薬剤（以下、「合成海面泡。」）に分けて、①試験に用いる火災模型と発泡時間、②消火に要する時間、③再燃しないことを判定する方法、④発泡を終了した後の泡の耐火性能の判定方法、について定めています。

(1) 消火性能の試験に用いる火災模型と発泡時間

泡消火薬剤は、防災資機材の他、消防法の泡消火設備、消防署の化学消防自動車に使われ、多様な消火活動に応じた薬剤の性能特性が有り、火災模型を使い分けています。

ア 大容量泡は、内径 2257mm、深さ 30cm の円盤に 200L のノルマルヘプタンを入れた火災模型に点火し、点火 1 分後に当該模型の燃焼面中央付近に 3 分間連続して泡水溶液を発泡させます。

イ たん白泡は、一辺 2m、深さ 30cm の角盤に 320L の水と 200L のガソリンを入れた火災模型に点火し、点火 1 分後に 5 分間連続して泡水溶液を発泡させます。

ウ 合成界面泡は、前イの角盤の火災模型に点火し、点火 1 分後に 8 分間連続して泡水溶液を発泡させます。また、泡の膨張率が 500 倍以上の状態の試験として、内径 1430mm、深さ 30cm の円盤に 128L の水と 80L のガソリンを入れた火災模型（高発泡用）に点火し、点火 30 秒後に 2 分 30 秒連続して泡水溶液を発泡させます。

(2) 火災模型の消火に要する時間の判定

ア 大容量泡は、4 分以内。

イ たん白泡は、5 分以内。

ウ 合成界面泡は、角盤の試験は 5 分以内（高発泡用の円盤の試験は 3 分以内）。

(3) 発泡終了後、点火器を用いた炎を泡面に近づけて再燃しないことの判定

ア 大容量泡は、20 分後に再燃しない。

イ たん白泡は、15 分間再燃しない。

ウ 合成界面泡は、12 分間再燃しない。

(4) 発泡終了後の泡の耐火性能の判定

ア 大容量泡は、15 分後に 1L のノルマルヘプタンを入れた内径 18cm、深さ 6cm の耐

火性試験用ポットを、その上縁が泡面と同じ高さになるように泡面の中央部に置いて点火し、5分間燃焼させた場合に再燃しないこと。

イ たん白泡は、15分後に泡面の中央部に一辺15cmの正方形の油面を露出させ、点火し、5分間燃焼させた場合において、油面の燃焼面積は900cm²以下であること。

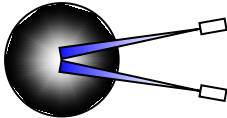
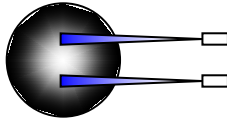
ウ 合成界面泡は、12分後に泡面の中央部に一辺15cmの正方形の油面を露出させ、点火し、5分間燃焼させた場合において、油面の燃焼面積は900cm²以下であること。

5 複数の泡を危険物の火災に同時に流動展開する際の禁止事項

大容量泡放水砲による泡を流動展開する油面には、消火設備の泡や化学消防自動車による泡が流動展開している場合がありますが、この場合に、一部の泡は他の泡を消泡する性質があり、油面を泡で覆い窒息消火する泡消火の効果を毀損してしまいます。

消防研究センターは『石油タンク火災の安全確保に関する研究報告書－石油タンク火災に使用される泡消火薬剤の消火特性－』の中で、異種泡の同時使用について「異種の泡を同時放射した場合、それぞれの優れた面が打ち消されるように作用するので、異種泡の同時使用は避けるべき」(表7-10-1参照)また、「合成界面活性剤泡と他の泡消火薬剤との同時放射では、消火が困難であるから合成界面活性剤泡との併用は、合成界面活性剤泡の単独使用と同様に避けるべきである。すなわち、合成界面活性剤泡は、タンク火災に使用できる泡消火薬剤ではないことを、ここでも再認識すべきである。」と報告しています。

表7-10-1 同位置落下放射及び平行放射における消火実験結果

泡消火薬剤の組合せ	同位置落下放射 	平行放射 
FP FP	<ul style="list-style-type: none"> 断続的にポット周囲から壁方向に向けて、フリッカー炎が発生した。 フレアアップは発生しなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> 断続的にポット周囲から壁方向に向けて、フリッカー炎が発生した。 フレアアップは発生しなかった。
FP AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、全面燃焼に拡大した。 燃焼はいったん収束するものの、ポット周囲で油面が露出して、再び燃焼が拡大した。 	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、FP放射側を壁方向に移動して、さらに壁付近でAFFF放射側に移動し、AFFF放射側の壁付近からフレアアップが発生した。 フレアアップした炎は、FP放射側へ徐々に移動したが、燃焼は収束して、全面燃焼には至らなかった。 ポット点火から5分後、ポット周囲で油面が露出して、継続燃焼している。

		た。
FP AR-AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、FP放射側からフレアアップが発生して、全面燃焼に拡大した。 燃焼はいったん収束するものの、ポット周囲で油面が露出して、再び燃焼が拡大した。 	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、FP放射側のノズル設置側の壁付近で、フレアアップが発生した。 徐々に、ほぼ全周へ拡大したものの全面燃焼には至らず、その後、消炎した。 ポット点火から 5 分後、ポット周囲で油面が露出して、継続燃焼していた。油温計測部も燃焼していた。
AR-AFFF AR-AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、全面燃焼に拡大した。 燃焼はいったん収束するものの、ポット周囲及びノズル設置側の壁面付近で油面が露出して、再び燃焼が拡大した。 	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、フレアアップが発生したが、全面燃焼には至らなかった。 ポット点火から 5 分後、ポット周囲、ノズル設置側及び反対側の壁面付近で油面が露出して、継続燃焼していた。
AR-AFFF AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、ノズル設置側からフレアアップが発生して、全面燃焼に拡大した。 燃焼はいったん収束するものの、ポット周囲及びノズル設置側の壁付近で油面が露出して、再び燃焼が拡大した。 	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、AFFF放射側のノズル設置側の壁付近でフレアアップが発生した。 徐々に、半面燃焼(AFFF放射側)へ拡大したが、全面燃焼には至らなかった。 泡面の燃焼は収束しつつ AR-AFFF放射側の壁付近に移動して、継続燃焼した。 その後、消炎して、ポット点火から 5 分後、油面の露出及び泡面での燃焼は見られなかった。
AFFF AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、全面燃焼に拡大した。 燃焼はいったん収束するものの、ポットと壁面の間中央付近で油面が露出して、再び燃焼が拡大した。 	<ul style="list-style-type: none"> ポットの炎から泡面に着火し、全面燃焼に拡大した。 全面燃焼収束後、ポット周囲から壁方向に向けて小炎が断続的に発生した。 ポット点火から 5 分後、ポット周囲で油面が露出して、継続燃焼してい

		た。
--	--	----

(消防研究センター「石油タンク火災の安全確保に関する研究報告書－石油タンク火災に使用される泡消火薬剤の消火特性－」抜粋)

(注) FP：フッ素たん白泡 AFFF：水成膜泡 AR-AFFF：耐アルコール水成膜泡

6 まとめ

特定事業者が保有する泡消火薬剤の量は2時間分とされ、災害の規模等により消防活動が長時間継続する場合には、泡消火薬剤の補給が行われます。

この場合に、泡消火薬剤の危険物火災の消火性能の違い及び同一の油面に展開する泡の組み合わせの制約、更には、補給する際に泡消火薬剤を誤って混合してしまい、性状や規格で定める事柄が変化して消火性能の喪失及び機能の損傷が生じないことに配慮する必要があります。