

危険物施設に設置する高発泡泡消火設備の  
技術基準のあり方に関する検討報告書

平成26年3月

消防庁危険物保安室

## 目 次

はじめに	1
第1章 検討の目的等	2
1. 1 目的	2
1. 2 検討体制	3
1. 3 検討項目	4
1. 4 検討会開催経過	4
第2章 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置について	5
2. 1 高発泡泡消火設備の概要	5
2. 2 危険物施設への設置について検証すべき内容	10
第3章 高発泡泡消火設備の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験	11
3. 1 実験モデルの検討	11
3. 2 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験	15
3. 3 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験	27
第4章 まとめ	38
参考資料1 実験機器等	
参考資料2 実験状況（写真）	

## はじめに

ラック式危険物倉庫等の危険物施設における危険物火災に対し、当該倉庫や区画内を高発泡の泡で埋め尽くすことで効果的に消火することが可能な新しい技術を用いた消火設備が開発されています。このような消火設備を危険物施設に導入することは、危険物施設の安全確保に資するものと考えられることから、実証実験等により消火性能等を検証し、当該消火設備を危険物施設に設置する場合に必要な技術基準策定のための検討会を開催しました。

本報告書をまとめるにあたり、ご多忙中にもかかわらず検討に積極的に参加され、貴重な意見をくださいました各委員に厚くお礼申し上げます。

平成26年 3月

危険物施設に設置する高発泡泡消火設備の技術基準のあり方に関する検討会

座長 須川 修身

## 第1章 検討の目的等

### 1.1 目的

ラック式危険物倉庫等の危険物施設における危険物火災に対し、当該倉庫や区画内を高発泡の泡で埋め尽くすことで効果的に消火することが可能な新しい技術を用いた消火設備（以下「高発泡泡消火設備」という。）が開発されている。

一般的に泡消火設備は、水による消火方法では適さない油火災等について、泡ヘッドから放出された泡による冷却効果と、油膜等を覆うことによる窒息効果により消火することが期待される設備であるが、高発泡泡消火設備は、膨張比 80～1000 程度の泡で、泡放出口から大量の泡を一気に放出し、建築物の区画内や対象設備を泡で埋め尽くすことで窒息効果により消火することが期待されることが特徴である。

高発泡泡消火設備は、消防法第 17 条に規定される設備（防火対象物に設置するもの）については、すでに技術基準が消防法施行規則第 18 条で定められており、航空機格納庫等に設置されているが、危険物施設に設置する高発泡泡消火設備に関する具体的な技術基準は未だ定められておらず、特例等を用いて設置している例が見られている。

このような新しい技術を用いた消火設備を危険物施設に導入することは、危険物施設の安全確保に資すると考えられることから、実証実験等によりラック式危険物倉庫等の危険物施設における危険物火災に対する高発泡泡消火設備の消火性能を検証し、危険物施設における設置のあり方について検討を行う。

## 1. 2 検討体制

本検討を行うために、「危険物施設に設置する高発泡消火設備の技術基準のあり方に関する検討会」を開催して検討を行った。

「危険物施設に設置する高発泡消火設備の技術基準のあり方に関する検討会」  
(敬称略、五十音順)

座長	須川 修身	諏訪東京理科大学システム工学部機械システム工学科 教授
委員	青戸 久明	日本危険物倉庫協会 理事
委員	大谷 英雄	横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授
委員	小川 耕司	一般社団法人日本消火装置工業会
委員	落合 勇	一般財団法人日本消防設備安全センター企画研究部 副部長
委員	熊本 正俊	一般社団法人日本化学工業協会環境安全部 部長
委員	杉山 章	危険物保安技術協会 業務部業務課長
委員	高橋 俊勝	川崎市消防局予防部 危険物課長
委員	内藤 浩由	消防庁消防大学校消防研究センター技術研究部 主任研究官
委員	中村 秀三	日本消防検定協会消火・消防設備部 消火設備課長
委員	中村 良彦	一般社団法人日本産業機械工業会運搬機械部会 流通設備委員会建築分科会 分科会長
委員	橋本 光正	一般社団法人日本塗料工業会 専務理事
委員	山口 克己	東京消防庁予防部 危険物課長
委員	吉田 一史	石油化学工業協会保安専門委員会 消防防災専門委員長
委員	和田 公秀	尼崎市消防局 予防課長
事務局	鈴木 康幸	消防庁危険物保安室長
	三浦 宏	消防庁危険物保安室 課長補佐
	中嶋 仁美	消防庁危険物保安室 危険物施設係長
	各務 博伸	消防庁危険物保安室 事務官

### 1. 3 検討項目

- (1) 高発泡泡の消火性能に関する事項
- (2) 高発泡泡消火設備の効果的な消火方法のあり方に関する事項
- (3) (1) 及び (2) を踏まえた高発泡泡消火設備に係る技術基準の策定等に関する事項

### 1. 4 検討会開催経過

第1回 平成25年7月23日

第2回 平成26年2月26日

第3回 平成26年3月27日

## 第2章 高発泡消火設備の危険物施設への設置について

### 2.1 高発泡消火設備の概要

#### (1) 高発泡消火設備の構成

泡消火設備は、水源、加圧送水装置（消火ポンプ）、泡消火薬剤貯蔵槽、混合器、自動警報装置（流水検知装置、表示装置、警報装置等）、泡放出口、感知ヘッド（閉鎖型スプリンクラーヘッド）、配管・弁類及び非常電源等から構成されている。

高発泡消火設備は、泡放出口に高発泡用泡放出口を用いたものとなる。

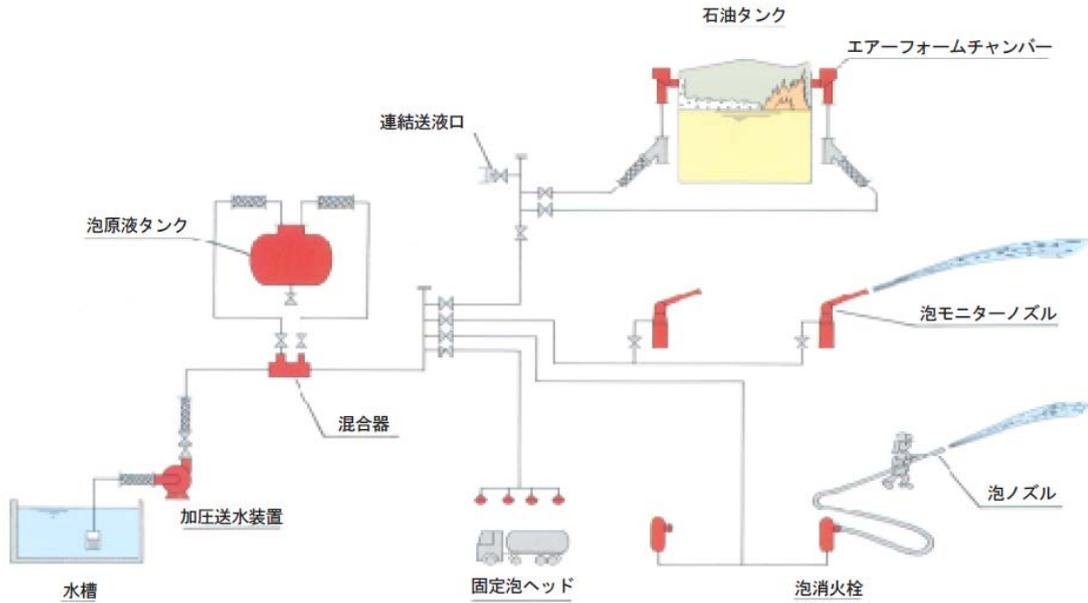


図2-1 泡消火設備の構成（深田工業(株)ホームページより）

#### (2) 高発泡消火設備に関する基準

消防法第17条に規定される設備（防火対象物に設置するもの）に対する高発泡消火設備の技術基準は次のとおり。

消防法施行規則第18条（抄）  
高発泡に係る基準のみ抜粋

#### 1 泡放出口の種類

膨脹比による泡の種別	泡放出口の種別
膨脹比が20以下の泡（低発泡）	泡ヘッド
膨脹比が80以上1,000未満の泡（高発泡）	高発泡用泡放出口

## 2 泡放出口の配置

種類	基準
高発泡用泡放出口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防護区画の床面積 500 平方メートルごとに 1 個以上</li> <li>・防護区画に有効に放出できること</li> <li>・防護対象物の最高位より上部の位置</li> </ul> ただし、泡を押し上げる能力を有するものは、防護対象物に応じた高さ

## 3 放射量

### (1) 全域放出方式

防火対象物又はその部分	泡放出口の膨脹比による種別	毎分 1 立方メートル当たりの泡水溶液放出量 ※ (リットル)
飛行機又は回転翼航空機の格納庫	膨脹比が 80 以上 250 未満のもの (第 1 種)	2.00 以上
	膨脹比が 250 以上 500 未満のもの (第 2 種)	0.50 以上
	膨脹比が 500 以上 1,000 未満のもの (第 3 種)	0.29 以上
自動車の修理若しくは整備の用に供される部分又は駐車のに供される部分	第 1 種	1.11 以上
	第 2 種	0.28 以上
	第 3 種	0.16 以上
ぼろ及び紙くず(動植物油がしみ込んでいる布又は紙及びこれらの製品に限る。)、可燃性固体類又は可燃性液体類を貯蔵し、又は取り扱う防火対象物又はその部分	第 1 種	1.25 以上
	第 2 種	0.31 以上
	第 3 種	0.18 以上
指定可燃物(ぼろ及び紙くず(動植物油がしみ込んでいる布又は紙及びこれらの製品に限る。)、可燃性固体類又は可燃性液体類を除く。)を貯蔵し、又は取り扱う防火対象物又はその部分	第 1 種	1.25 以上

※ 防護区画の冠泡\*1 体積 1 立方メートルにつき  
冠泡体積＝防護対象物の最高位より 0.5 メートル高い位置までの体積

\* 1 冠泡：区画を泡が完全に埋め尽くすことである。

(2) 局所放出方式

防護対象物	防護面積 1 平方メートル当たりの放射量 (リットル毎分)
指定可燃物	3 以上
その他のもの	2 以上

4 水源水量

(1) 全域放出方式

泡放出口の種別	冠泡体積 1 立方メートル当たりの泡水溶液の量 (立方メートル)
第 1 種	0.040 以上
第 2 種	0.013 以上
第 3 種	0.008 以上

+ 配管内を満たすために要する量

(2) 局所放出方式

床面積最大の放出区域 1 平方メートル当たりの放射量 × 20 分間 + 配管内を満たすために要する量
---

5 その他

- (1) 防護対象物のうち床面からの高さが 5 メートルを超える場所に設ける高発泡用泡放出口を用いる泡消火設備は、全域放出方式のものとする。
- (2) 泡の放出を停止するための装置を設けること。
- (3) 泡放出口及び泡消火薬剤混合装置は、消防庁長官の定める基準に適合したものであること。

(3) 泡消火薬剤の種類

泡消火薬剤の種類は表 2-1 のとおり。

現在、高発泡泡消火設備に使用されている泡消火薬剤のほとんどが合成界面活性剤泡消火剤であるが、水成膜泡消火薬剤のものも存在する。

表 2 - 1 泡消火薬剤の種類

たん白泡消火剤	動物性たん白質を加水分解して形成。他の泡消火薬剤（合成界面活性剤、水成膜泡消火薬剤など）に比べ耐火性に優れ、タンクの固定消火設備用に使用される。
ふっ素たん白泡消火剤	
合成界面活性剤泡消火剤	界面活性剤が原料で、長期間保存しても経年変化が少なく、その発泡効果は変わらない。泡の安定性、耐熱性及び耐油汚染性が劣るため、他の泡よりも消火性能が低く定められている。一方、流動性および展開性に優れているので流出油火災、自動車修理、整備工場、駐車場等の消火に使用される。
水成膜泡消火剤	フッ素系の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。安定性が高く長時間にわたって再着火を防止する。

「泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令」(昭和 50 年 12 月 9 日自治省令第 26 号) (以下「規格省令」という。) では、高発泡用の泡消火薬剤についても B 火災 (燃料ガソリン) に対する消火性能の試験が定められているが、「製造所等の泡消火設備の技術上の基準の細目を定める告示」(平成 23 年 12 月 21 日総務省告示第 559 号) (以下「告示」という。) において、合成界面活性剤泡消火薬剤の消火性能を、他の泡よりも低く定めているため、第四類 (非水溶性) 危険物に対して使用することは禁止されている。

泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令 (抄)  
検定に係る基準のみ抜粋

第 12 条第 2 項 温度 20 度の泡水溶液 (合成界面活性剤泡消火薬剤に係るものに限る。以下この項において同じ。) を水圧力 0.1 メガパスカル、放水量 6 リットル毎分、風量 13 立方メートル毎分で別図第 2 【省略】に示す標準発泡装置を用いて発泡させた場合において、泡の膨脹率は 500 倍以上であり、かつ、発泡前の泡水溶液の容量の 25 パーセントの泡水溶液が泡から還元するために要する時間は 3 分以上でなければならない。変質試験後の泡水溶液についても同様とする。

第 13 条第 2 項

第 1 号 128 リットルの水及び 80 リットルのガソリンを入れた別図第 5 【省略】に示す B 火災模型 (高発泡用) に点火し、点火 30 秒後に 2 分 30 秒間連続して発泡させた場合において、消火に要する時間は 3 分以内であること。

(4) 高発泡消火設備の設置状況

危険物製造所等に設置した泡消火設備の設置事例（固定式で、高発泡用泡放出口を設けたもの。）のうち代表的な5事例についてまとめたものは次のとおり。

表2-2 高発泡消火設備の設置状況

基準項目		確認事項	回答	(施設)								
防護対象物		消防法施行規則第18条第1項第3号イの基準に準じた防護区画を設けた全域放出方式か	YES	5								
			NO	0								
泡消火薬剤		貯蔵している危険物の品名は	第四類	5								
			第1～第4石油類のうちいずれか（複数を含む。）	5								
			水溶性のものを含む	1								
			アルコール類	1								
			その他	0								
		泡消火薬剤の種類は	たん白	1								
			合成界面活性剤	3								
			水成膜	1								
機 を 含 む 。	種別	第1種から第3種までのうち、いずれを選択したか	第1種	0								
			第2種	0								
			第3種	3								
			不明	2								
	泡水溶液放出量	毎分1立方メートル当たりの泡水溶液放出量は	0.18リットル	2								
			1.25リットル	1								
			2.0リットル	1								
			不明	1								
	設置個数	消防法施行規則第18条第1項第3号イ（ロ）の基準の準用か ＝防護区画の床面積500平方メートルごとに一個以上	YES	5								
			NO	0								
設置位置	消防法施行規則第18条第1項第3号イ（ハ）の基準の準用か	YES（防護対象物の最高位より上部の位置）	5									
		YES（泡を押し上げる能力を有するものであるため、防護対象物に応じた高さとした）	0									
		NO	0									
水源の水量		消防法施行規則第18条第2項第3号イの基準の準用か	YES	2								
		<table border="1"> <tr> <td>泡放出口の種別</td> <td>冠泡体積1立方メートル当たりの泡水溶液の量(立方メートル)</td> </tr> <tr> <td>第一種</td> <td>0.040</td> </tr> <tr> <td>第二種</td> <td>0.013</td> </tr> <tr> <td>第三種</td> <td>0.008</td> </tr> </table>	泡放出口の種別	冠泡体積1立方メートル当たりの泡水溶液の量(立方メートル)	第一種	0.040	第二種	0.013	第三種	0.008	NO	3
泡放出口の種別	冠泡体積1立方メートル当たりの泡水溶液の量(立方メートル)											
第一種	0.040											
第二種	0.013											
第三種	0.008											

## 2. 2 危険物施設への設置について検証すべき内容

高発泡消火設備の性能については、防火対象物に設置する場合の技術基準や泡消火設備の危険物施設への設置に関する技術基準が告示化されていることから、機器の基本的構成について共通事項として明確になっている部分を参考としつつ、以下の内容について検証する必要がある。

### 【検討事項1】高発泡消火設備の危険物火災に対する消火性能

泡消火設備の特徴として、膨張比が高いものほど泡が軽くなることから熱風に飛ばされやすくなることや、水分量が少なくなることから冷却効果が小さくなるといった特性がある。また、現状として、高発泡消火設備の泡消火薬剤で主流なのは、危険物火災に対する消火性能が低く評価されている合成界面活性剤泡消火剤であり、危険物火災に対して必要な消火性能が得られるのかについて検証する必要がある。

#### 《検討の方向性》

消火性能の確認実験として、小規模発泡マスを用い、泡放出口、泡消火薬剤、燃料を数パターン組み合わせ、消火性能の有無を検証するとともに、積泡速度\*<sup>2</sup>や消火に伴う消泡状況を観測し、スケールアップした際の影響を予測する。

### 【検討事項2】高発泡消火設備の設置方法

高発泡消火設備の消火方法は、大量の泡を一気に放出し建築物の区画内や対象設備を泡で埋め尽くすことで窒息効果により消火することから、対象となる建築物の区画内等の冠泡に係る時間や、火点までの到達時間、ラックやドラム缶等の障害物に対する流動性、消泡状況を検証し、効果的な泡放出口の設置方法、放出量等の基準について検討する必要がある。

#### 《検討の方向性》

実大施設規模検証実験として、ラックやドラム缶等の障害物を設置した発泡マスを用い、具体的な状況を想定したモデル火災で、障害物の設置条件を変えて消火実験を行い、泡の流動及び積泡状態を観察し、積泡速度及び消泡状況を観測し、泡放出口の設置方法を検証する。

#### [留意事項]

危険物倉庫として危険物の規制に関する政令第10条第4項の規程により、原則として6m未満の平屋建てとされているが、第二類又は第四類の危険物のみの貯蔵倉庫で総務省令で定めるものについては、その軒高を20メートル未満とすることができることとされている。

限界積泡高さについては、過去の名古屋市消防局の実験において、高発泡（膨張比500倍）について、高さ25メートルまで積み上がることは確認されている。また、この際に火災時においては積泡速度が落ちることも確認されている。

\* 2 積泡速度：泡が積み上がる際の高さ方向の速度

### 第3章 高発泡消火設備の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験

2. 2で述べた検証すべき内容を踏まえ、高発泡の危険物火災に対する消火性能及び高発泡消火設備の危険物施設への設置条件について、以下のとおり検証実験を実施した。

#### 3. 1 実験モデルの検討

##### (1) 検証対象として想定する危険物施設

高発泡消火設備の建築物の区画内を泡で埋め尽くすことにより消火するという特性に着目し、現状で設置ニーズがあると想定される屋内貯蔵所を対象として検討を進める。

屋内貯蔵所のうち、構造上最も消火が困難となるのは、泡の流動時の障害物が多く、高層で出火した場合、泡が到達するまでに時間がかかるラック式倉庫にドラム缶が隙間なく積み重ねられているものが想定される。

※ 製造所、一般取扱所等にあつては、多様な設備形態があること等から、当面の検討対象とはしないが、倉庫等と同等の形態にとらえるもの（例：付属倉庫）については排除するものではない。

##### (2) 想定する火災シナリオと火源モデル

想定する火災シナリオと火源モデルは次のとおり。

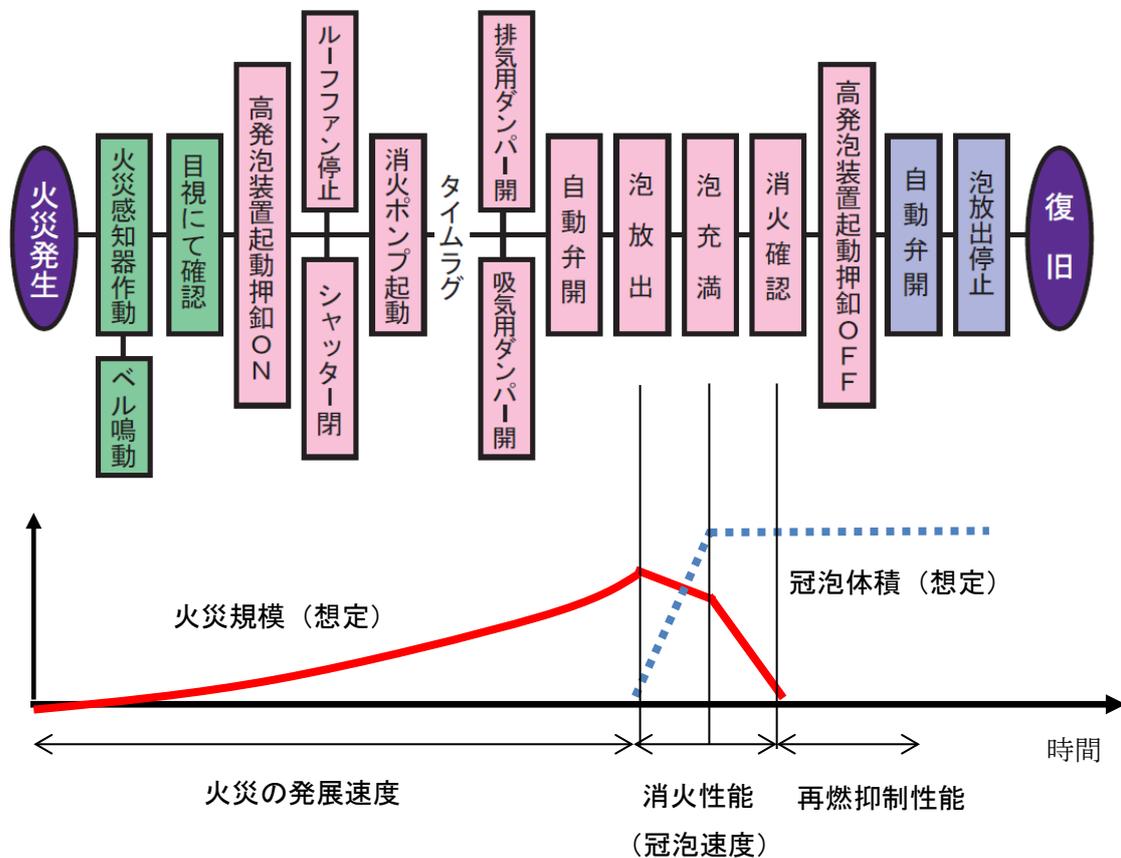


図3-1 火災の発展速度と高発泡消火設備の作動状況の想定

## ① 火災の発生

過去の火災事例及び今後想定される火災から、次の火災発生シナリオが考えられる。

ア 危険物容器内の危険物の化学反応等による出火

イ 地震等による容器転倒に伴う出火

ウ 倉庫スペースにおける少量の容器の詰め替え作業時等の誤操作による出火

ただし、ウについては基本的に少量の取扱いであることから流出量は少ないと考えられ、万が一流出量が多かったとしても、ア、イの火災に対応する性能があれば十分対応可能と考えられるため、想定火源とはしない。

## ② 火災覚知

無人状態で火災が発生した場合には、自動火災報知設備の鳴動により覚知するものと考えられる。この場合、危険物火災については、初期でも相当な熱量の火源となり（ドラム缶直径（約 60cm）程度のプール火源で 0.7MW の熱量）、すみやかに感知することが想定されるが、出火から自動火災報知設備の鳴動までにかかる時間については、文献調査を中心に検証する必要がある。

## ③ 高発泡装置起動スイッチを押すまでの時間

危険物の泡消火設備は通例手動起動であり、自動火災報知設備の作動後に従業員が目視確認して、起動スイッチを押すことから、起動までに数分かかると考えられる。過去の事例では 6 分かかったものがあった。

## ④ 延焼拡大

火災が発生し、泡が建物内を充満するまでの間に延焼拡大する規模については、過去の事例及び文献から次のように考えられる。

ドラム缶の内圧試験の条件は、収納する危険物の 55℃における蒸気圧の 1.5 倍の圧力から 100 キロパスカルを減じた圧力と 100 キロパスカル（危険等級 I の危険物を収納するものにあつては 250 キロパスカル）のいずれか高い方の圧力とされており、ドラム缶が一定以上の温度環境下に置かれると破裂・流出の危険性がある。

過去の実験においては、ガソリンのドラム缶は直接火炎にさらされると 1 分から数分で変形・亀裂を生じ噴炎すること、また、ドラム缶は輻射熱を受けた場合においては、ガソリン 100 リットルの漏洩を想定した火源においては、5m 程度離せば 20℃～68℃程度の温度上昇であるが、1～2m 程度の距離では 300℃～600℃まで温度上昇するとの実験結果が得られている。<sup>\*3</sup>

\*3 和田 弘（1966 年）「鋼製ドラム缶の直火加熱実験」『消防科学研究所報 3 号』東京消防庁

過去の屋内貯蔵所の火災事例を調べると、貯蔵物質の反応熱等による爆発等の火災事故で、近接するドラム缶に延焼した火災が見られている。

表3-1 平成15年～平成24年の屋内貯蔵所の貯蔵スペースにおける主な火災事例

	事故の概要	被災影響範囲及び拡大の状況	施設等の被害状況	原因着火物	消火設備
1	ドラム缶入りの材料が自己重合を起こし、ドラム缶内圧が上昇して爆発したもの。(ラック式倉庫)	爆発により飛散物がパレット上に散乱	ドラム缶2缶を焼損	第四類第3石油類 ジビニルベンゼン	ガス消火設備
2	ドラム缶入りの材料が自己重合を起こし、ドラム缶内圧が上昇して爆発したもの。(ラック式倉庫ではない)	周囲のドラム缶を加熱し、破裂させる等により延焼拡大	定温倉庫全焼(ドラム缶25本中20本程度焼損)	第四類第2石油類ジビニルベンゼン	第1種消火設備、第3種消火設備、装置の緊急停止
3	ドラム缶入りの材料が自然発火したもの。火災の進展途中で爆発あり。(ラック式倉庫ではない)	火災により建屋半焼	当該施設420m <sup>2</sup> の内280m <sup>2</sup> 焼損	第5類ニトロセルロース	屋外消火栓

したがって、ある程度時間が経過した段階では、出火した容器に加え、隣接した容器にも延焼した状態が予想される。ただし、ラック間の延焼には時間を要すると考えられる。また、火源の大きさは流出量、ドラム缶やラックの形状等に大きく影響を受ける。

このことから、想定火源については、消火性能に関する検証実験においてはドラム缶1本からの流出をベースに火源の大きさを想定し、設置条件に関する実験においては、火災が延焼拡大する可能性がある高発泡装置起動スイッチを押すまでに時間を要する火災発生シナリオを想定し、近接するドラム缶に延焼した火災事例を踏まえ、ドラム缶複数本分からの流出火源としてラック1スペース分の容器の流出火災が発生し、ラック間の延焼には時間がかかると考えられるが、比較的早い上下方向の延焼を想定してさらに下方1スペースに延焼した状態として、上下に隣接するラック2スペースにおいて、流出火災がプール火災となって継続している状況を想定する。

なお、危険物への延焼は極めて早く進展することから、一定量の流出火災が定常状態となったものを想定することとし、消火は火災が定常状態となった時点から開始することとする。

### (3) 再燃性への検証

再燃防止のためには、消火に加えて冷却が重要であるが、高発泡においては、冷却効果が弱いことが想定されるため、冷却までに時間がかかることが想定される。この

ことから、一定の冠泡保持時間を求めることを念頭に、実験では火点周辺の温度変化も測定することとする。

#### (4) 泡放出口の位置

泡放出口は区画上部に設置し、泡を下方に放出させる方法とする。(上部以外に設置する場合は泡を押し上げる能力が積泡の特性に大きな影響を与えられ、設備の性能や区画の状況による詳細な検証が追加で必要となると考えられるため、今回の実験では対象としない。)

配置については、泡放出口1台を用いたドラム缶等の障害物に対する流動性等の検証を基本とし、ドラム缶等障害物の隙間に対する流動性を十分に得られない場合、障害物に隙間を設けて、泡が火源の両側から積泡し障害物の周囲から挟み込むような場合の検証も行うこととする。

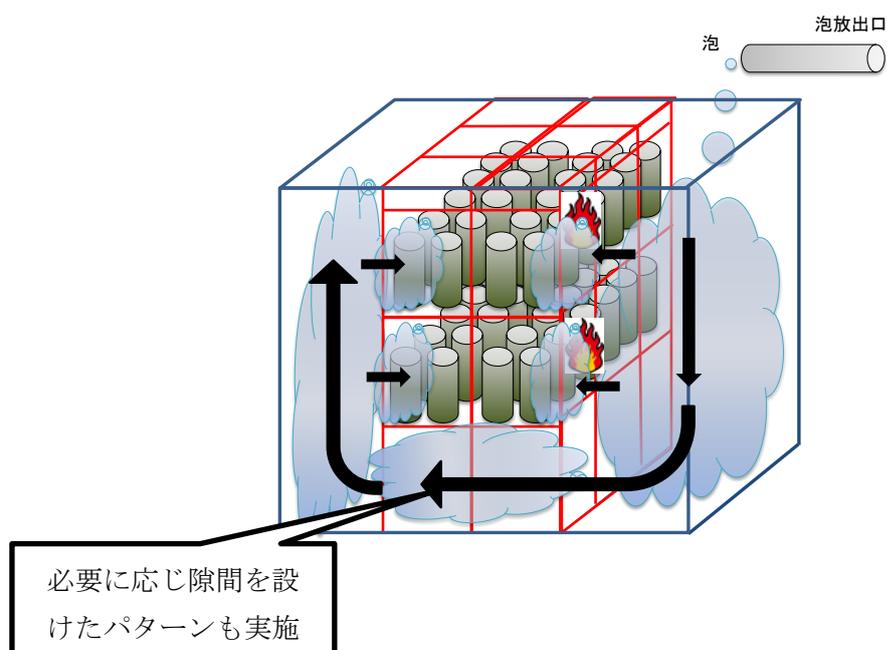


図 3-2 泡流動のイメージ図

### 3. 2 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験

#### (1) 実験目的

高発泡消火設備に用いられる泡消火薬剤の多くは合成界面活性剤泡消火薬剤であるが、告示第 17 条第 1 項において第四類（非水溶性）危険物の火災に合成界面活性剤泡消火薬剤を使用することは認められていない。また、告示第 17 条第 3 項・第 4 項において第四類（水溶性）危険物の火災に用いる泡消火薬剤としては、水溶性液体用泡消火薬剤であって同項に定める消火性能の確認が必要とされている。

一方、高発泡泡の場合、泡が軽く汚染されにくいことや一気に大量に放出して窒息消火するといった特性があり、将来性も含めて幅広く検討を進めるため、高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証を行うこととした。

#### (2) 実験実施期間

平成 26 年 2 月 17 日（月）から 2 月 21 日（金）まで

#### (3) 実験場所

日本消防検定協会 消火試験場

住所 東京都調布市深大寺東町 4 丁目 3 5 番地 1 6

#### (4) 実験機器の概要

実験機器の概要については次のとおり。（詳細な情報については、参考資料 1 参照。）

##### ア 発泡マス

高発泡泡を放出する発泡マスの大きさは、泡放出口から放出された高発泡泡が壁の影響を受けず、直接火皿に入ることを無いために大きさをとした。なお、直接高発泡泡が火皿に入ることを無いために大きさをとした理由としては、高発泡泡は非常に軽いため、危険物火災の熱風で近寄れず消火不能となることが想定されることから、あえて厳しい条件とした。

発泡マス : 縦 2m 横 4m 高さ 2m

壁面金網 SUS 線径 0.65mm、10 メッシュ

##### イ 泡放出口

表 3-2 に実験で使用した泡放出口の性能等を示す。

泡放出口は実際に高発泡消火設備として設置される一般的な膨張比の物で、高発泡泡の膨張比、発泡量及び泡消火薬剤の違いによる消火性能の比較をするため、4 種類の泡放出口を選択した。

表 3 - 2 泡放出口の性能等

泡放出口 No	種別	放水量 (L/min)	膨張比 (-)	発泡量 (m <sup>3</sup> /min)	放水圧力 (MPa)
A	アスピレート型	200	300	60	0.50
B	アスピレート型	64	500	32	0.50
C	ブロー型	6	500	3	0.10
D	アスピレート型	40	650	26	0.49



泡放出口 A



泡放出口 B



泡放出口 C



泡放出口 D

図 3 - 3 実験に用いた泡放出口

#### ウ 泡消火薬剤

実験には、第四類（非水溶性）危険物への消火性能の比較として、合成界面活性剤泡消火薬剤と水成膜泡消火薬剤の2種類（いずれも第四類（水溶性）危険物への適用性が確認されていないもの）を用意した。用いた泡消火薬剤は各泡放出口に適合性を有するもので、かつ規格省令の検定に合格しているものを選択したが、泡放出口 C については検定で用いられている泡放出口であるため、泡放出口 A, B で用いた泡消火薬

剤と同じものを使用した。

合成界面活性剤泡消火薬剤 : 希釈率 3 % 製造会社 A 社

水成膜泡消火薬剤 : 希釈率 5 % 製造会社 B 社

表 3-3 各泡放出口で使用する泡消火薬剤

泡放出口 No	泡消火薬剤
A	合成界面
B	合成界面
C	合成界面
D	水成膜

#### エ 対象とする危険物

泡消火設備が有効とされる全ての危険物を貯蔵する施設が設置対象として想定されるが、検証は泡消火設備の有効性が最も期待される第四類危険物を対象として検討を進めることとした。

実験には、第四類（非水溶性）危険物及び第四類（水溶性）危険物として代表的なものを選択した。

第四類（非水溶性）危険物 : ノルマルヘプタン

敷水 15 リットル、ノルマルヘプタン 35 リットル

第四類（水溶性）危険物 : アセトン

敷水 0 リットル、アセトン 50 リットル

#### オ 燃焼皿

本実験では、高発泡泡の基礎的な消火性能を確認することを目的としているため、実際の火災想定とは異なるが、JIS 規格 (JISZ1601-2006) に適合する 200L サイズのドラム缶の燃焼面積  $0.25\text{m}^2$  (直径  $0.567\text{m}$ ) の安全率 1.5 倍の大きさの  $0.4\text{m}^2$  ( $0.633\text{m} \times 0.3\text{m}$ ) の燃焼皿を用いることとし、燃焼皿の上端が高さ  $1.0\text{m}$  になるように台に載せた。図 3-4 参照。

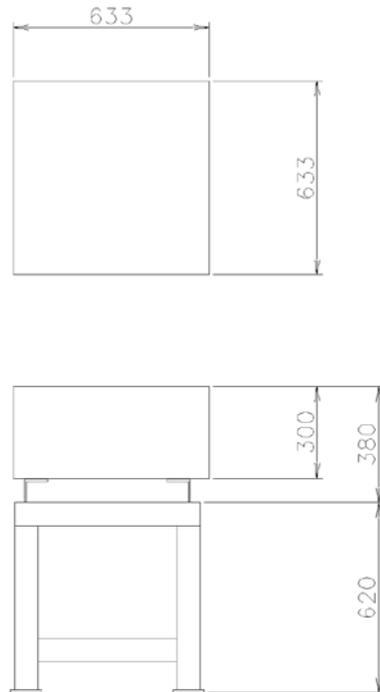


図 3 - 4 火災模型

#### カ 計測機器

自動計測による圧力温度記録（1秒毎）、カメラによる動画記録、積泡高さの目視観察などを行った。

温度計測位置を図 3 - 5、積泡高さの計測位置を図 3 - 6 に示す。計測に用いた機器の仕様、カメラ配置図については参考資料 1 に示す。

流量、放出圧力、水温度	:	各 1 点 1 秒毎
雰囲気温度計測 3 点 1 秒毎	:	発泡マス外面（区画から 5m 床上 0.5m） 発泡マス内最遠部（火皿から遠方 床上 500mm） 燃焼皿上部（皿上端約 100mm、1000mm）
カメラ（4 画面）	:	1 式
発泡マス充满時間、放出時間	:	目視
鎮圧時間、鎮火時間	:	目視
積泡高さ 4 点 30 秒毎	:	目視（発泡マスの 4 角）

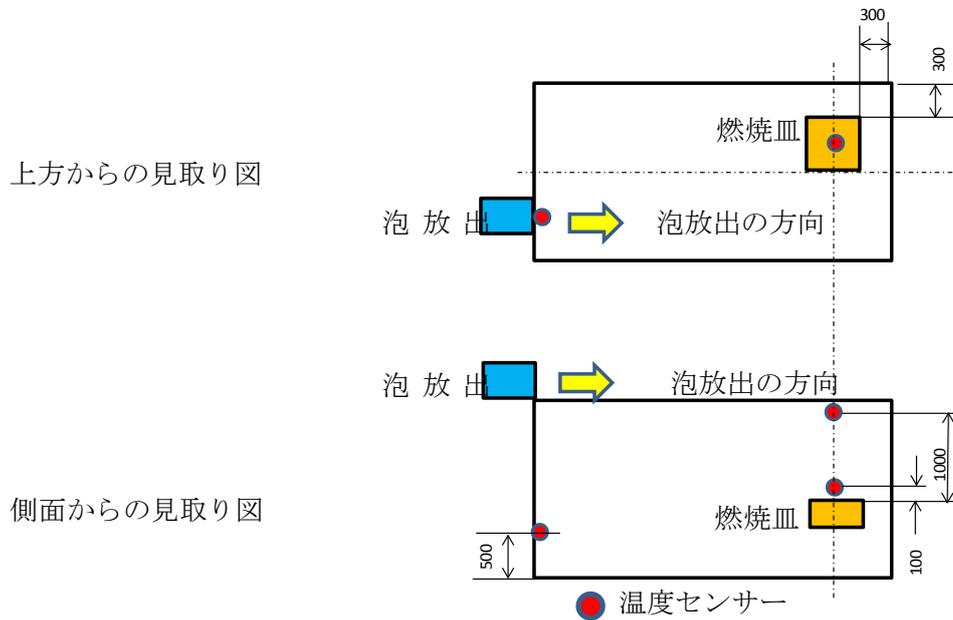


図 3-5 温度計測位置

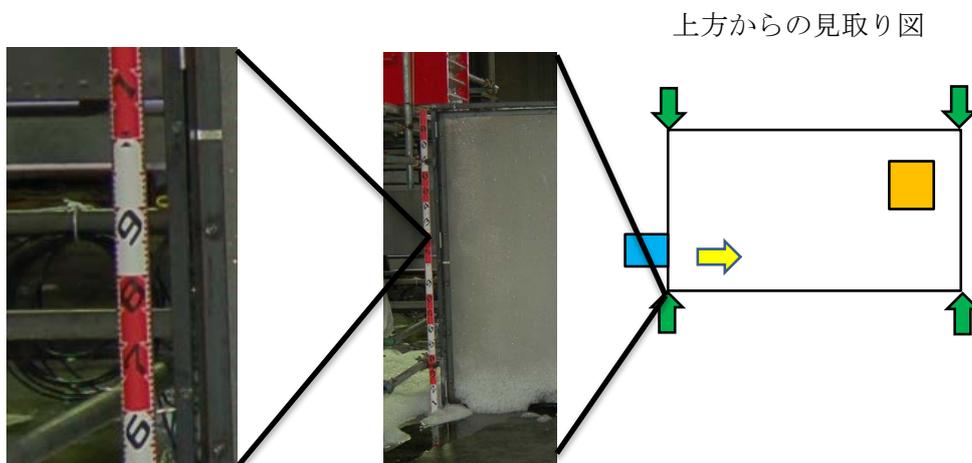


図 3-6 積泡高さの計測位置

キ 高発泡の膨張比及び 25%還元時間の測定

(ア) 膨張比

各泡放出口について (5) に示す積泡実験の際に、発泡マスを埋め尽くすまでに要した時間から算出した。

(イ) 25%還元時間

各泡放出口について (5) に示す積泡実験と同じ条件下で泡放出口から高発泡

を放出したものを採取し、規格省令第 12 条に規定する方法により 25%還元時間を測定した。

(ウ) 高発泡泡の膨張比及び 25%還元時間の測定結果

表 3-4 に各泡放出口から放出された高発泡泡の膨張比を示す。いずれも泡放出口の性能と同等程度の膨張比が得られた。

表 3-4 膨張比の計測結果

泡放出口 No.	泡消火薬剤	泡水溶液温度 (°C)	放出圧力 (MPa)	流量 (L/min)	充満時間 (s)	放出時間 (s)	膨張比 (-)
A	合成界面	20.5	0.47	181.5	15	15	353
B	合成界面	20.6	0.50	65.6	29	29	504
C	合成界面	20.5	0.10	6.1	304	310	519
D	水成膜	15.1	0.50	42.5	34	36	665

表 3-5 に各泡放出口から放出された高発泡泡の 25%還元時間を示す。いずれも規格省令第 12 条に規定する高発泡泡の発泡性能の基準である 3 分以上の 25%還元時間を満たしていた。

表 3-5 25%還元時間計測結果

泡放出口 No.	泡消火薬剤	泡水溶液温度 (°C)	放出圧力 (MPa)	流量 (L/min)	泡質量 (g)		25%還元時間 (分・秒)		平均
A	合成界面	20.1	0.50	195.0	465	383	17' 02''	15' 32''	16' 17''
B	合成界面	20.8	0.49	65.0	354	350	22' 20''	21' 59''	22' 10''
C	合成界面	18.1	0.10	6.1	314	307	22' 16''	23' 02''	22' 39''
D	水成膜	15.2	0.50	41.5	188	231	7' 14''	5' 28''	6' 21''



図 3-7 25%還元時間測定の様子

## (5) 積泡実験

### ア 目的

各泡放出口から放出される高発泡泡の膨張比の確認及び消火実験と積泡特性の比較を行うため、高発泡泡の積泡速度を測定した。

### イ 実験方法

次の手順により実施した。

- (ア) 水槽に加熱した水道水と泡消火薬剤を各泡放出口の仕様に従いプレミックス\*<sup>4</sup>し、液温 20℃程度に調整した。
- (イ) 糖度計を用いてプレミックスした泡消火薬剤の濃度を確認した。
- (ウ) 各計測器の測定を開始した。
- (エ) 高発泡泡を、発泡マス全体が泡で埋め尽くされるまでの間放出させた。
- (オ) 泡放出口から泡が出た瞬間から、放出を停止して 30 分経過するまでの間、30 秒ごとに発泡マス内の高発泡泡の積泡高さを計測した。

## (6) 消火実験

### ア 目的

高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証を行うため、危険物火災が発生している発泡マスに高発泡泡を投入して消火に至るまでの様子を観察した。

### イ 実験方法

次の手順により実施した。

- (ア) 水槽に加熱した水道水と泡消火薬剤を各泡放出口の仕様に従いプレミックスし、液温 20℃程度に調整した。
- (イ) 糖度計を用いてプレミックスした泡消火薬剤の濃度を確認した。
- (ウ) 各計測器の測定を開始した。
- (エ) 燃焼皿に実験条件に従ってノルマルヘプタン又はアセトンを投入し、点火玉を用いて着火した後、1 分間燃焼させた。
- (オ) 高発泡泡を、発泡マス全体が泡で埋め尽くされるまでの間放出させた。
- (カ) 高発泡泡の放出から鎮圧\*<sup>5</sup>、鎮火\*<sup>6</sup>に至るまでの時間を計測した。
- (キ) 泡放出口から泡が出た瞬間から、放出を停止して 30 分経過するまでの間、30 秒ごとに発泡マス内の高発泡泡の積泡高さを計測した。

## (7) 実験結果

実験結果の画像は参考資料 2 に示す。

実験結果は次のとおり。

### ア 積泡実験の結果

表 3-6、図 3-10 に積泡実験の結果を示す。

\* 4 プレミックス：あらかじめ泡消火薬剤と水を混合し調整すること。

\* 5 鎮圧：火勢の拡大の危険がなくなると判断される状況

\* 6 鎮火：再燃のおそれがないと判断される状況

(ア) 積泡速度について

泡放出口から放出された高発泡泡が消泡せずに積泡すると仮定した充満時間を理論充満時間とし、実測値の充満時間と比較すると、全ての泡放出口において差が見られなかった。

(イ) 高発泡泡の保持時間について

高発泡泡の放出を停止させてから30分間積泡高さを観察した結果を表3-6に示す。積泡高さは減少しているものの、30分経過した後においても80%以上の高さを保持していた。

一方、充満直後と30分経過した後の発泡マスの中の様子を撮影したものを図3-8に示す。積泡高さに大きな変化は見られないものの、30分経過した後の方が泡が透き通っており、泡の水分が減少していることが観察できた。

泡放出停止直後



泡放出停止 30 分後

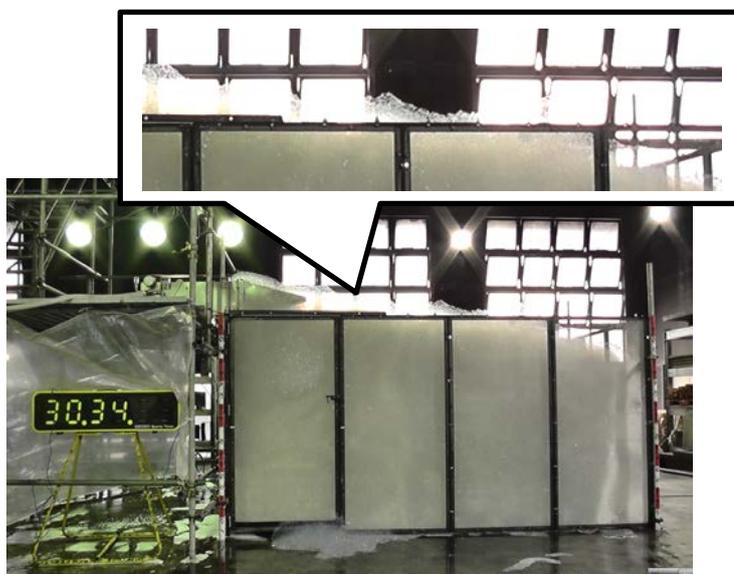


図 3 - 8 高発泡泡の保持状況

## イ 消火実験の結果

表 3-7、図 3-9、10 に消火実験の結果を示す。

### (ア) 積泡速度について

積泡実験で得られた充満時間（積泡実験充満時間）と実測値の充満時間を比較すると、全ての泡放出口において差が見られた。

### (イ) 危険物に対する消火性能について

第四類（非水溶性）危険物のノルマルヘプタン及び第四類（水溶性）危険物のアセトンのいずれの場合も消火した。

一方、鎮圧時間及び鎮火時間を見ると、泡放出口 B、D 共に第四類（非水溶性）危険物のノルマルヘプタンに比べて第四類（水溶性）危険物のアセトンの鎮火に時間がかかった。

アセトンの消火に当たっては、高発泡泡で燃烧皿を覆った後も炎が消火されない状況がしばらく続いた。このため、既に発泡マスを充満したにもかかわらず鎮火までの間追加的に泡を放出し続けた。

泡放出直後



燃烧皿を覆った後



鎮火時



図 3-9 アセトンの消火時の状況

表 3-6 積泡実験の結果

泡放出 口 No.	泡消火薬 剤	膨張比 (-)	25%還元 時間 (s)	泡水溶 液温度 (°C)	放出圧 力 (MPa)	流量 (L/min)	放出時 間 (s)	充滿時と30分後 の積泡高さの比 (-)	充滿 時間 (s)	理論充 満時間 (s)	充滿時間- 理論充滿時間 (s)
A	合成界面	353	16'17"	20.5	0.47	181.5	15	0.92	15	15	0
B	合成界面	504	22'10"	20.6	0.50	65.6	29	0.96	29	29	0
C	合成界面	519	22'39"	20.5	0.10	6.1	310	0.92	304	303	1
D	水成膜	665	6'21"	15.1	0.50	42.5	36	0.85	34	34	0

表 3-7 消火実験の結果

泡放出 口 No.	泡消火 薬剤	燃料	膨張 比 (-)	25%還 元時間 (s)	泡水 溶液 温度 (°C)	放出 圧力 (MPa)	流量 (L/min)	放出 時間 (s)	鎮圧 時間 (s)	鎮火 時間 (s)	充滿時と30 分後の積泡 高さの比 (-)	充滿 時間 (s)	積泡実 験充滿 時間 (s)	充滿時間- 積泡実験充 満時間 (s)
A	合成界面	n-ヘブタン	353	16'17"	19.5	0.49	193.1	18	13	15	0.92	18	15	3
B	合成界面	n-ヘブタン	504	22'10"	20.1	0.51	64.2	30	21	26	0.95	30	29	1
B	合成界面	アセトン	504	22'10"	19.7	0.51	65.3	73	20	58	0.96	36	29	7
C	合成界面	n-ヘブタン	519	22'39"	19.7	0.10	6.1	353	246	264	0.88	353	304	49
D	水成膜	n-ヘブタン	665	6'21"	14.6	0.52	43.2	38	30	34	0.85	38	34	4
D	水成膜	アセトン	665	6'21"	14.7	0.52	43.6	225	28	200	0.87	40	34	6

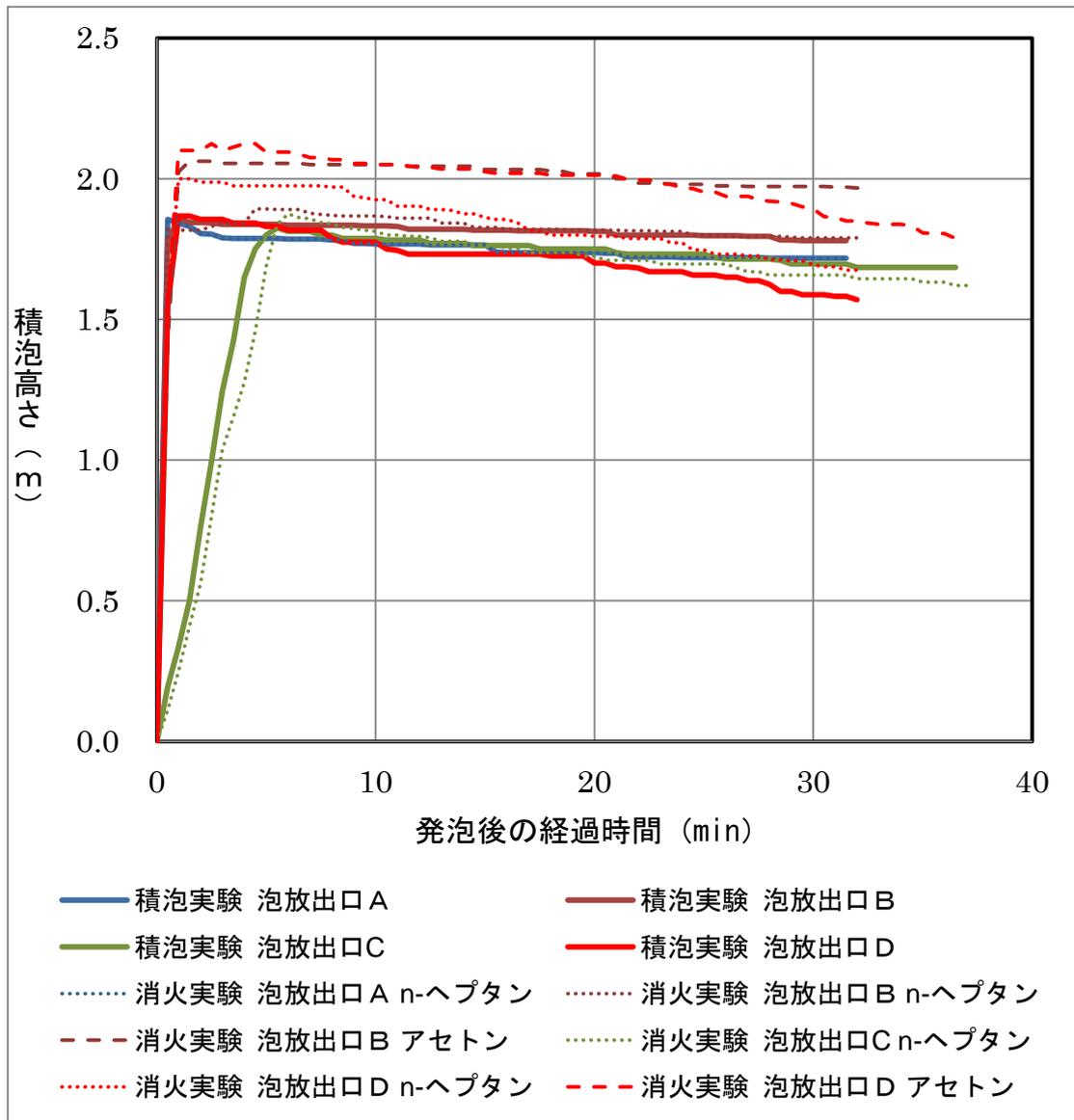


図 3-10 発泡後の積泡高さの変化

## (8) 考察

### ア 第四類（非水溶性）危険物火災に対する合成界面活性剤泡消火薬剤の有効性

第四類（非水溶性）危険物であるノルマルヘプタンの消火実験において、選定した全ての泡放出口で燃焼面積  $0.4\text{m}^2$  の火災を有効に消火することが確認された。

流量が異なるため、単純に比較することはできないが、泡放出口 D を用いて水成膜泡消火薬剤を用いた実験と比較しても、合成界面活性剤泡消火薬剤が水成膜泡消火薬剤に比べて消火性能が大きく劣るといった結果は得られなかった。これは、高発泡泡の消火性能において、膨張比や還元時間の長さも重要な要素であることを裏付けるものと考えられる。膨張比や還元時間の長さは泡放出口と泡消火薬剤の両方によって決まる性能であり、実際の設置に当たって、泡放出口や泡消火薬剤単体の性能により仕様を規定したり、評価したりすることは不適切と考えられ、少なくとも泡放出口と泡消火薬剤の両方で評価することが必要である。

### イ 第四類（水溶性）危険物火災に対する水溶性液体用泡消火薬剤ではない泡消火薬剤の有効性

第四類（水溶性）危険物であるアセトンの消火実験において、選定した全ての泡放出口で燃焼面積  $0.4\text{m}^2$  の火災を消火することが確認されたが、第四類（非水溶性）危険物であるノルマルヘプタンの消火実験に比べ、鎮火に非常に時間を要するものがあつた。

高発泡泡の消火方法の特徴としては窒息消火が挙げられるが、高発泡泡が燃料面を覆う前に高発泡泡が燃料であるアセトンに溶解してしまい有効に酸素の通り道をふさぐことができなかつたためだと考えられる。

また、高発泡泡が発泡マスを充満したにも関わらず、火炎が噴出した様子が見られたことから、高発泡泡が発泡マスを充満したとしても、燃焼面から上の積泡高さが低い場合、炎や熱気が高発泡泡を押しつけて酸素の通り道が形成されてしまい、十分に高発泡泡が覆い被さるまでは燃焼が継続するものと考えられる。

### ウ 積泡速度が消火性能に与える影響

最も少流量である泡放出口 C の充満時間－積泡実験充満時間を見ると、積泡実験と消火実験で 49 秒の差が出ている。これは、燃焼による温度上昇又は炎により、消火に至るまでの間、火源近傍で高発泡泡が消泡していくためと考えられる。燃焼面を高発泡泡が覆いつくすまでに時間がかかると、多くの泡が消泡してしまうこととなるため、火災規模に応じて積泡速度の検証が必要と考えられる。

### エ 再燃性への影響

高発泡泡の保持時間を見ると、本実験の規模においては積泡実験、消火実験共に十分な保持時間を有することが確認されたが、積泡高さだけでなく、長時間経過すると泡の水分が抜けていくことについても留意が必要と考えられる。

### 3. 3 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験

#### (1) 実験目的

本実験では、ラック式の屋内貯蔵所に高発泡泡消火設備を設置する場合を想定して実験を行う。

屋内貯蔵所は、危険物の規制に関する政令第10条の規定により6メートルの高さまでの軒高とすることができるが、貯蔵物が第2類又は第四類の危険物のみの貯蔵倉庫で、総務省令（危険物の規制に関する規則第16条の2）で定めるものにあつては、その軒高を20メートル未満とすることができる。また、ラック式の屋内貯蔵所では、スペースを効率的に活用するため、隙間なく危険物を貯蔵した容器が積み上げられていることが多い。

このことから、本実験では、ラック式の屋内貯蔵所の一部分を切り出し、高発泡泡の狭限な空間への進入性を確認し、防護対象物と泡放出口の位置関係・積泡速度に、どのような制限を設けるべきかについて検討するため、高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験を実施した。

#### (2) 実験実施期間

平成26年2月24日（月）から2月27日（木）まで

#### (3) 実験場所

日本消防検定協会 消火試験場

住所 東京都調布市深大寺東町4丁目35番地16

#### (4) 実験条件

実験機器の概要については次のとおり。(詳細な情報については、参考資料1参照。)

##### ア 実験区画

実験区画は実際のラック式の屋内貯蔵所を想定し、第四類の危険物を貯蔵するのに一般的に用いられている図3-11の寸法のラック2段×3列を発泡マスの中に収容し、1ラックに危険物の貯蔵に多く用いられるJIS規格(JISZ1601-2006)に適合する200Lサイズのドラム缶を4缶収納した。ラック概要図を図3-12に示す。

ラック下部の空間は、据板<sup>\*7</sup>の着脱により、擬似的に作り出したラックの一方面から泡を放出する場合と、2方面から泡を放出する場合の2種類の実験を実施する。

発泡マス : 縦4m横5m高さ4m、壁面金網 SUS 線径0.65mm、10メッシュ

ラック : 縦約1.4m 横4.5m

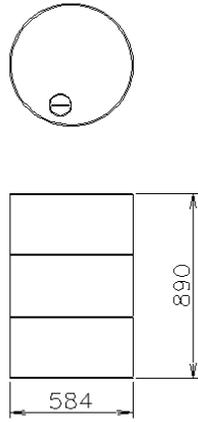
床面からの高さ(上段 1.6m、下段0.575m)

2式

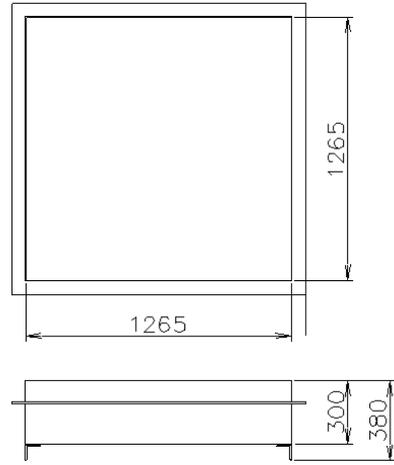
ドラム缶 : 48缶 JIS規格(JISZ1601-2006)に適合する200Lサイズ

\*7 据板：本報告書内では、ラック下部の空間に泡が進入しないよう設置した防止板を指す。

ドラム缶



燃烧皿



ラック

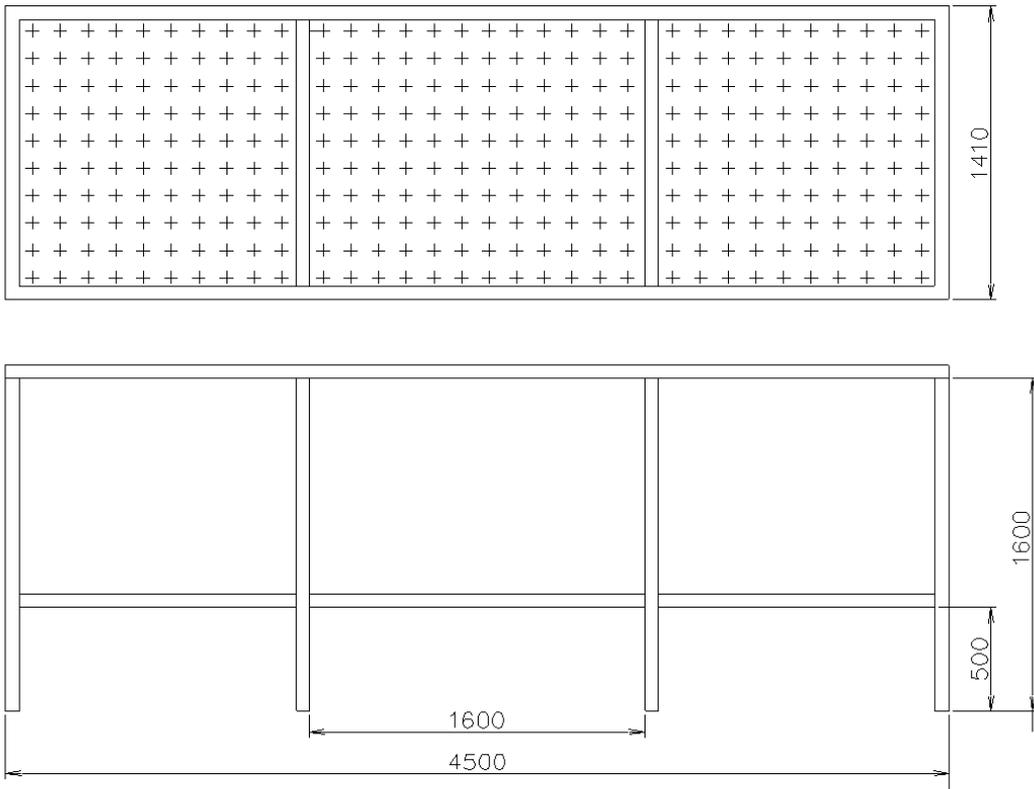


図3-11 ドラム缶、燃烧皿、ラックの寸法

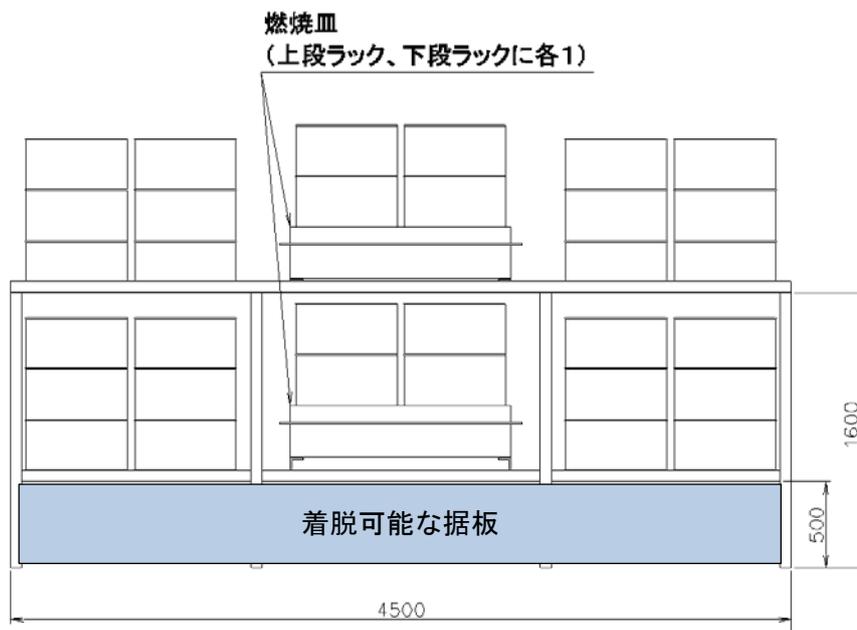
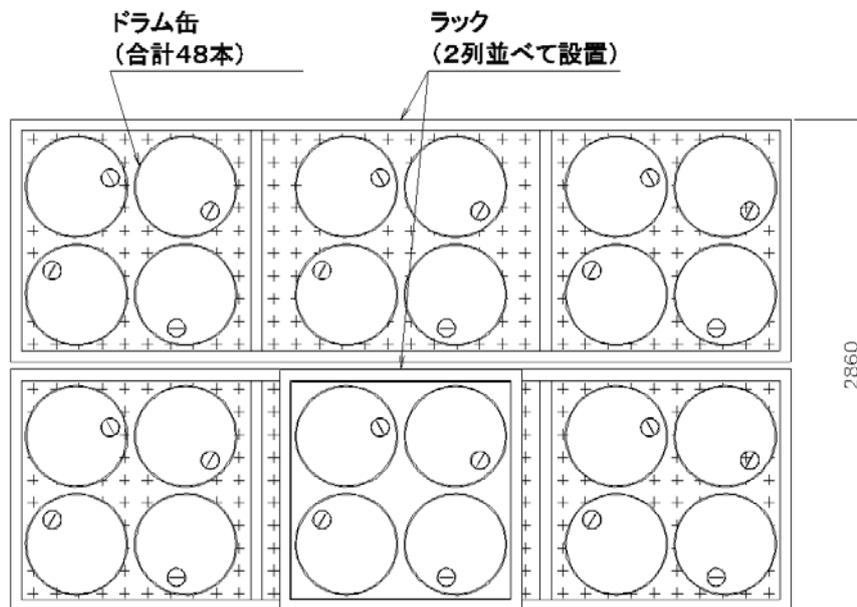


図3-12 ラックの概要図

#### イ 泡放出口

泡放出口は、3.2の実験と同様のものを用いた。ただし、泡放出口Cについては、発泡マスの大きさに対し、流量が少なすぎるため、本実験では使用しなかった。

また、各泡放出口の性能については、表3-8のとおり3.2の実験で測定した値を用いることとした。

表3-8 泡放出口の性能

泡放出口 No	種別	放水量 (L/min)	膨張比 (-)	25%還元時間 (s)	発泡量 (m <sup>3</sup> /min)	放水圧力 (MPa)
A	アスピレート型	200	353	16' 17''	60	0.50
B	アスピレート型	64	504	22' 10''	32	0.50
D	アスピレート型	40	665	6' 21''	26	0.49

#### ウ 泡消火薬剤

泡消火薬剤は、3.2の実験と同じものを用いた。

合成界面活性剤泡消火薬剤 : 希釈率3% 製造会社A社

水成膜泡消火薬剤 : 希釈率5% 製造会社B社

表3-9 泡放出口の泡消火薬剤の種類

泡放出口 No	泡消火薬剤
A	合成界面
B	合成界面
D	水成膜

#### エ 燃料として用いた危険物

本実験では、危険物の種類に対する高発泡泡の消火性能の検証ではなく、実大施設に設置した場合の消火性能を検証することを主眼に置いているため、3.2の実験でも用いた第四類（非水溶性）危険物のノルマルヘプタンを用いて実験を行った。

第四類（非水溶性）危険物 : ノルマルヘプタン

敷水 25 リットル、ノルマルヘプタン上面深さ底面より 125mm

#### オ 燃焼皿

燃焼皿は、参考資料1に示すように中心部片側ラック2段に 1.6 m<sup>2</sup> (□1.265m×0.3mH) の燃焼皿を設置し、ドラム缶4缶を燃焼皿の内部に配置した。ドラム缶4缶を設置したことにより燃焼面積は、約 0.52 m<sup>2</sup>となった。

カ 計測条件

自動計測による圧力温度記録（1秒毎）、カメラによる動画記録、積泡高さの目視観察などを行った。

温度計測位置を図3-13、積泡高さの計測位置を図3-14に示す。計測に用いた機器の仕様、カメラ配置図については参考資料1に示す。

- 流量、放出圧力 : 各1点, 1秒毎 (センサー仕様は表1参照)
- 温度計測 7点 , 1秒毎 : 発泡マス外面 (区画から5m 床上0.5m)
- : 発泡マス内最遠部 (火皿から遠方 床上500mm)
- : 燃焼皿上段下段 (火皿中央の皿上端、ドラム缶上端)
- : 泡水溶液温度 (1m<sup>3</sup>タンク内)
- 監視カメラ (4画面) : 1式
- 発泡マス充満時間、放出時間 : 目視
- 鎮圧時間、鎮火時間 : 目視
- 積泡高さ 4点 30秒毎 : 目視 (発泡マスの4角)

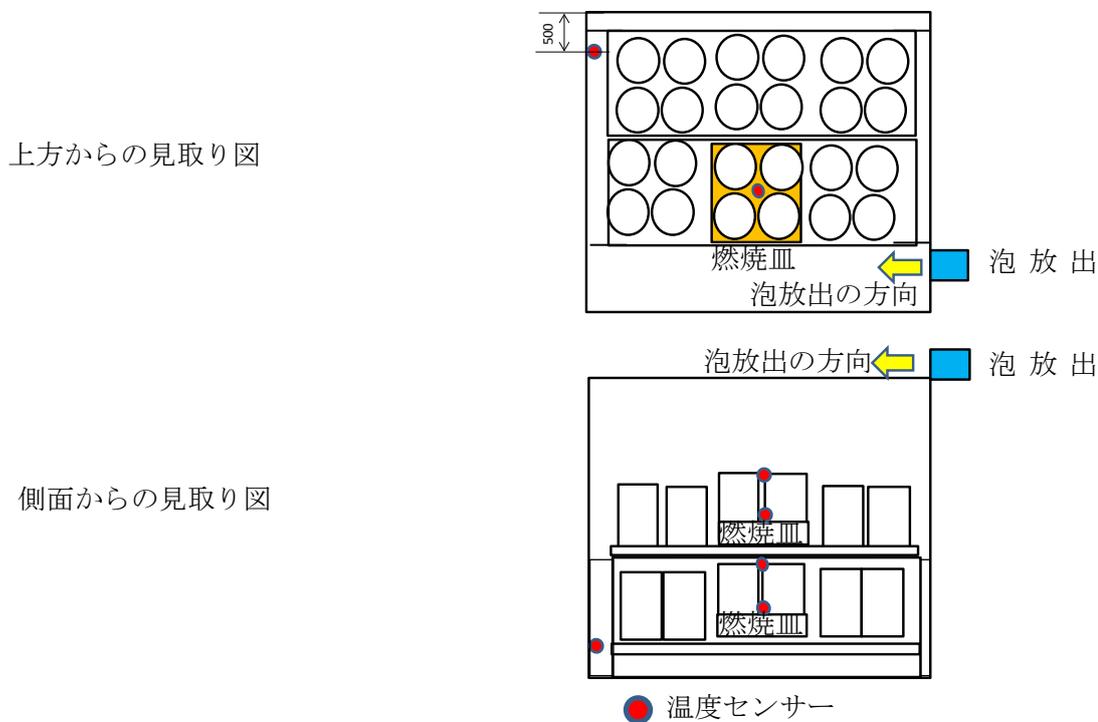


図3-13 温度センサー配置図

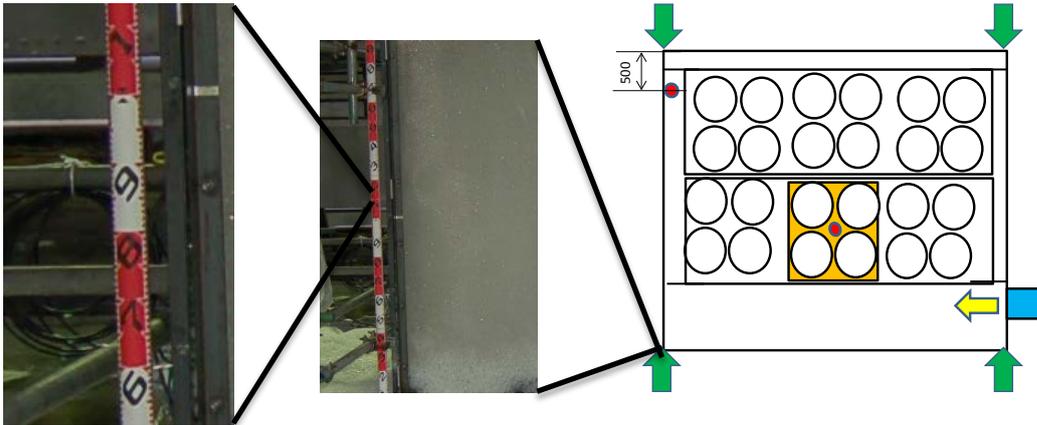


図 3-14 積泡高さの計測位置

#### (5) 積泡実験

##### ア 目的

各泡放出口から放出される高発泡泡がラック式の屋内貯蔵所のような容器が密集した場所においてどのような積泡特性及び流動性を示すのか確認するため、発泡マスの中に投入した高発泡泡が集積したドラム缶の間をどのように通過し、積みあがるのかを観察した。

##### イ 実験方法

次の手順により実施した。

- (ア) 水槽に加熱した水道水と泡消火薬剤を各泡放出口の仕様に従いプレミックスし、液温 20℃程度に調整した。
- (イ) 糖度計を用いてプレミックスした泡消火薬剤の濃度を確認した。
- (ウ) 各計測器の測定を開始した。
- (エ) 高発泡泡を発泡マス全体が泡で埋め尽くされるまでの間、放出させた。
- (オ) 泡放出口から泡が出た瞬間から、放出を停止して 30 分経過するまでの間、30 秒ごとに発泡マス内の高発泡泡の積泡高さを計測した。

#### (6) 消火実験

##### ア 目的

各泡放出口から放出される高発泡泡がラック式の屋内貯蔵所のような容器が密集した場所においてどのような消火性能を示すか検証するため、危険物火災が発生している発泡マスに高発泡泡を投入して消火に至るまでの様子を観察した。

##### イ 実験方法

次の手順により実施した。

- (ア) 水槽に加熱した水道水と泡消火薬剤を各泡放出口の仕様に従いプレミックスし、液温 20℃程度に調整した。
- (イ) 糖度計を用いてプレミックスした泡消火薬剤の濃度を確認した。
- (ウ) 各計測器の測定を開始した。
- (エ) 燃焼皿に実験条件に従ってノルマルヘプタンを投入し、点火玉を用いて着火した後、1 分間燃焼させた。
- (オ) 発泡マスに泡放出口から泡水溶液を発泡マス全体が泡で埋め尽くされるまでの間、高発泡泡を放出させた。
- (カ) 高発泡泡の放出から鎮圧、鎮火に至るまでの時間を計測した。
- (キ) 泡放出口から泡が出た瞬間から、放出を停止して 30 分経過するまでの間、30 秒ごとに発泡マス内の高発泡泡の積泡高さを計測した。

(7) 実験結果

ア 積泡実験

表 3-10 に積泡実験の結果を示す。

(ア) ドラム缶等の障害物の影響について

泡放出口から放出された高発泡泡が消泡せずに積泡すると仮定した充滿時間を理論充滿時間とし、実測値の充滿時間と比較すると、全ての泡放出口において有効な差が見られなかったものの、いずれの結果も実測値の充滿時間の方が長かった。

(イ) 据板の影響について

図 3-15 に据板が有る場合と無い場合の積泡高さの計測結果を示す。

理論充滿時間と充滿時間と比較すると、据板を取り除いた実験の方が 8 秒と大きな差ではないが充滿するまでの時間が短かった。

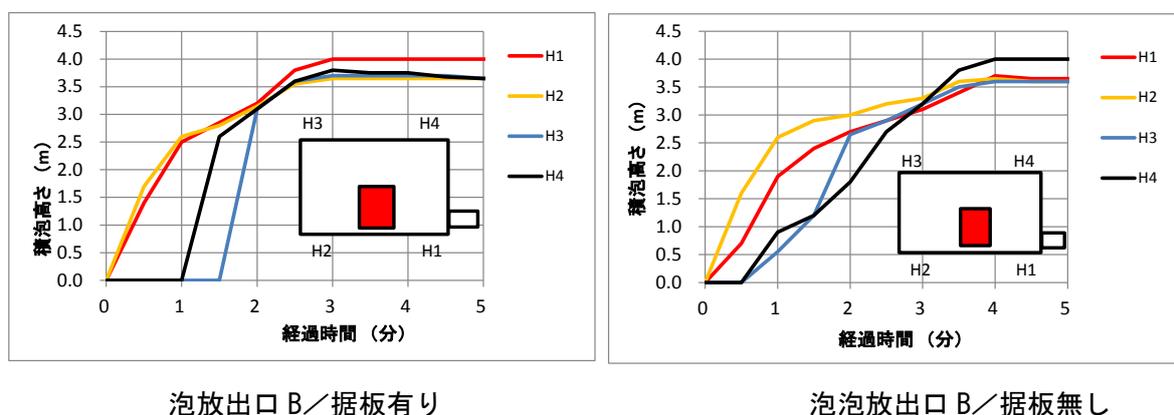


図 3-15 積泡高さの計測結果

(ウ) 高発泡泡の隙間への進入性について

図 3-16 に泡放出口 B と D の据板が有る場合の積泡高さの計測結果を示す。

高発泡泡は低発泡に比べ隙間への進入性は低いですが、今回の実験では高発泡泡がドラム缶の隙間を進入する様子が観察できた。また、実験を実施した中でも障害物の隙間への進入性に差があることが確認できた。

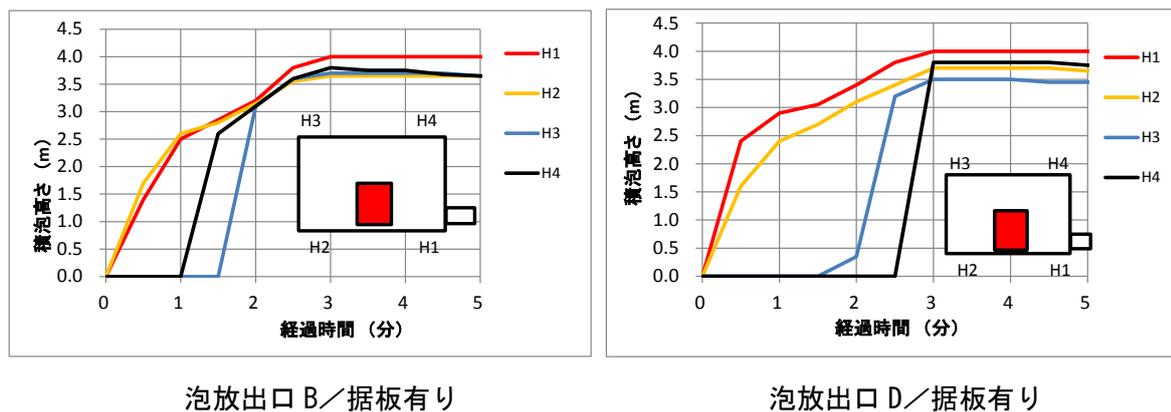


図 3-16 積泡高さの計測結果

イ 消火実験の結果

表 3-11 に消火実験の結果を示す。

積泡実験で得られた充満時間（積泡実験充満時間）と実測値の充満時間を比較すると、全ての泡放出口において差が見られた。特に、泡放出口 B の据板なしの実験では 84 秒と大きな差が見られた。

表3-10 積泡実験の結果

泡放出 口 No.	泡消火薬 剤	膨張比 (-)	25%還元 時間 (分'秒'')	裾板 有無	泡水溶 液温度 (°C)	放出圧力 (MPa)	流量 (L/min)	放出 時間 (s)	充滿 時間 (s)	理論充 滿時間 (s)	充滿時間- 理論充滿時間 (s)
A	合成界面	353	16'17''	有り	20.2	0.52	201.4	67	67	58	9
B	合成界面	504	22'10''	有り	20	0.52	65.5	147	145	125	20
B	合成界面	504	22'10''	無し	19.5	0.50	65	141	139	127	12
D	水成膜	519	6'21''	有り	18.9	0.50	43	173	171	143	28

表3-11 消火実験の結果

泡放出 口	泡消火薬 剤	膨張 比 (-)	25%還 元時間 (分'秒'')	裾板 有無	泡水溶 液温度 (°C)	放出 圧力 (MPa)	流量 (L/min)	鎮圧 時間 (s)	鎮火 時間 (s)	放出 時間 (s)	充滿 時間 (s)	積泡実 験充滿 時間 (s)	充滿時間- 積泡実験充滿 時間 (s)
B	合成界面	504	22'10''	有り	18.5	0.51	65	47	49	155	155	145	10
B	合成界面	504	22'10''	無し	18	0.52	66	55	61	225	223	139	84
D	水成膜	665	6'21''	有り	18	0.52	44	80	85	175	175	171	4

## ウ その他

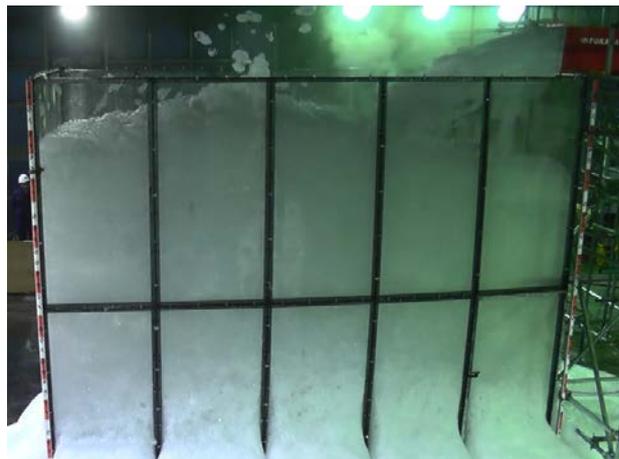
本実験において、泡放出口から通常どおりの膨張比が得られない泡が放出され、泡が適切に積泡されず実験中止としたケースが見られた。

泡放出口から通常どおりの膨張比が得られない泡が放出された場合、泡の積み上がり速度が著しく低下した。

その際の実験実施状況は次のとおり。



通常どおりの膨張比が得られなかった場合  
泡放出口 B（4分経過時）



通常どおりの膨張比が得られた場合  
泡放出口 B（3分経過時）

図 3-17 通常どおりの膨張比が得られなかった実験の実施状況

## (8) 考察

### ア 高発泡泡の隙間への進入性

高発泡泡は低発泡に比べ隙間への進入性は低いですが、今回対象とした障害物等について隙間等を抜けてラック内部に進入する程度の進入性を有していることが確認された。また、実験を実施した中でも高発泡泡の隙間への進入性に差があることが確認できており、実際の危険物施設に設置する際は、容器等の集積状況等の実情も踏まえた検証が必要と考えられる。

### イ 高発泡泡消火設備の泡放出口の配置

高発泡泡の障害物の隙間への進入性は泡放出口により異なるが、十分な進入性を有している場合には、防護対象物と泡放出口の配置によらず十分冠泡させることができることが確認できた。しかしながら、高発泡泡の障害物の隙間への進入性には差異があるため、必要に応じて防護対象物と泡放出口の位置関係については、実際の容器等の集積状況等も踏まえて検証した上で設置することが必要と考えられる。

積泡速度については、3.2の実験の結果から、積泡速度が遅いと火災の熱で消泡する泡の量が多くなることがわかっており、想定する火災規模と防護対象物を冠泡するまでに必要な時間と

の関係で決定するべきであると考えられる。

また、本実験は最高高さ4 mで実施したため、積泡による消泡は確認できなかったが、これより高い軒高となった場合、積泡による消泡は十分影響してくるものと考えられるため、実際に設置する危険物施設の軒高において高発泡泡の積泡速度を測定する必要があると考えられる。

#### ウ 実験時の膨張比低下について

泡放出口Bの裾板無しの実験では放出開始直後に膨張比が低下した状態が一定時間続いたが、この他にも実験時にうまく発泡せずに実験中止となったケースも発生している。

この膨張比の低下について原因は特定できなかったが、考えられる要因としては、①実験機材の初期の汚れ（切削油、離型剤等）②異物等による噴霧ノズルの目詰まり③放出圧力の変動④消火実験における煙・燃焼ガスの影響 等が考えられるが、単一の原因によるものだけではなく複合的な要因も考えられる。

また、膨張比の低下は泡放出口Bに集中しており、この泡放出口は実際に設置される機器よりも比較的流量の小さいテスト用の機器であったことも要因の一つと考えられる。

今回の実験ではこの他にも実験のために通常用いる機器とは異なる機器で構成されることから、今回の膨張比の低下現象が実際に用いられる機器においてどの程度共通する問題であるかは判断できないが、膨張比の低下は高発泡泡消火設備の性能に極めて大きな影響を与えてしまうため、膨張比に影響を与える要因については今後も知見の蓄積が重要である。

## 第4章 まとめ

今回実施された検証実験の結果から、得られた知見及び今後の課題等については以下のとおりである。

### (1) 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する実験により得られた知見等

ア 告示第17条第1項において第四類（非水溶性）に対する泡消火薬剤については合成界面活性剤泡消火薬剤を排除し、また、告示第17条第3項・第4項においては、第四類（水溶性）に対する泡消火薬剤については水溶性液体用泡消火薬剤であって、同項に定める消火性能の確認が必要とされているが、危険物の種類と高発泡泡の性状の組み合わせによっては消火時間に差が見られたことから、一律に泡消火薬剤の種類を指定するのではなく、むしろ実際に用いられる高発泡泡により消火対象となる危険物に対する消火性能を確認する必要がある。

イ 積泡速度に比して対象となる火源が大きい場合や、第四類（水溶性）危険物に対する水成膜泡消火薬剤による実験結果や、積泡速度が遅い場合の実験結果から高発泡泡の膨張比及び還元時間も重要であると考えられることから、積泡速度には一定の下限値を求めるべきである。

### (2) 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験により得られた知見等

ア 今回実験で用いた高発泡泡はラック内部に侵入できて、障害物の隙間への進入性を有していることが確認され、このような場合には防護対象物と泡放出口の位置関係については、防護対象物が十分冠泡する限りにおいては特段の配慮は不要と考えられるが、泡の障害物の隙間への進入性は薬剤の種類や膨張比等により差があることも確認されたことから、設置に当たっては防護対象物となる容器の集積状況等や用いられる高発泡泡の性状等に即して確認することが必要と考えられる。

イ 今回の実験高さ4mでは積泡による消泡は確認されなかったが、より高い軒高になった場合には積泡による消泡は十分影響してくるものと考えられるため、設置に当たっては実際に設置する危険物施設の軒高に応じた積泡速度について確認することが必要と考えられる。なお、海外の文献を見ると、3 fpm（約0.9m/min）以上の積泡速度で高発泡泡を投入することが消火性能において重要と書かれているものもある。<sup>\*8</sup>

### (3) 今後の課題等

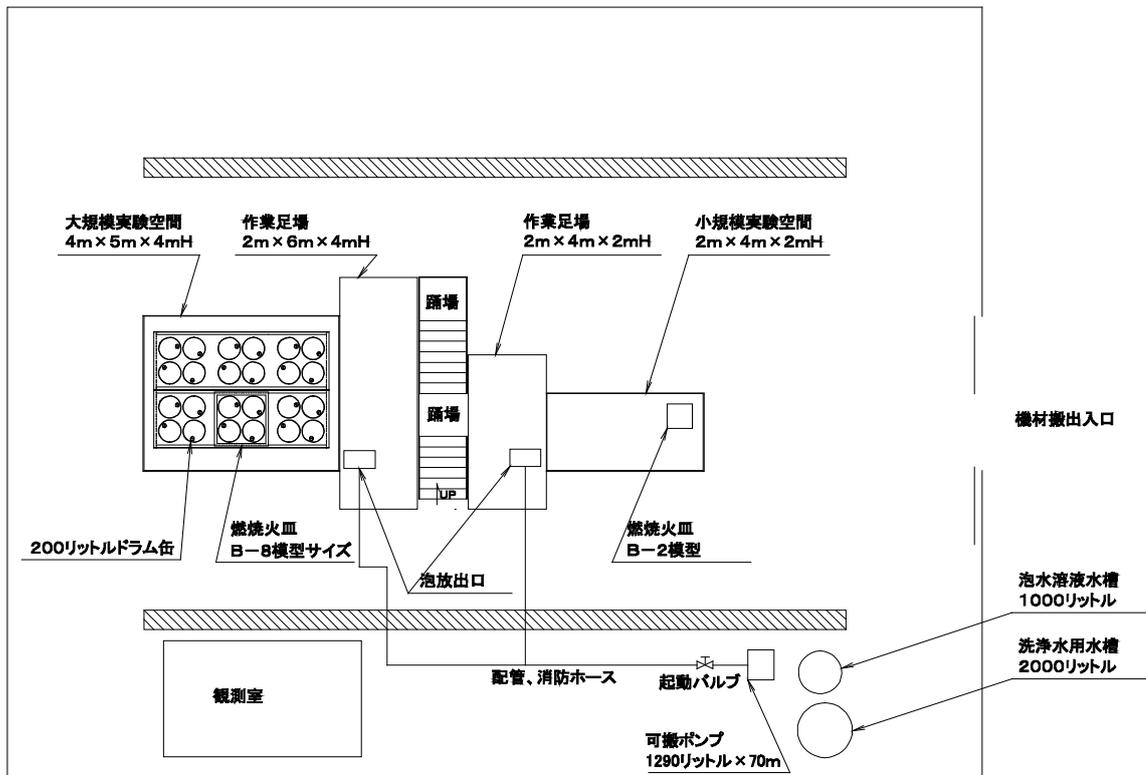
ア 検証実験の結果からは、一定条件下での高発泡泡の危険物火災への有効性は確認することは出来たが、高発泡泡の特性が泡消火薬剤の種類や膨張比により様々であることや、消火性能が消火対象となる危険物の種類や施設の形態等により影響を受けやすいことから、当面の間、設置に当たっては実際に用いられる高発泡泡消火設備の泡消火薬剤の種類、膨張比、泡放出量や消火対象となる危険物の種類、防護対象物の形状等に応じて個々の状況に即した検証を行い、その有効性を確認することが必要である。

\*8 Ira WILDER (1969) 「High Expansion Foam for Shipboard Fire Fighting」『Fire Technology FEBRUARY 1969』NFPA

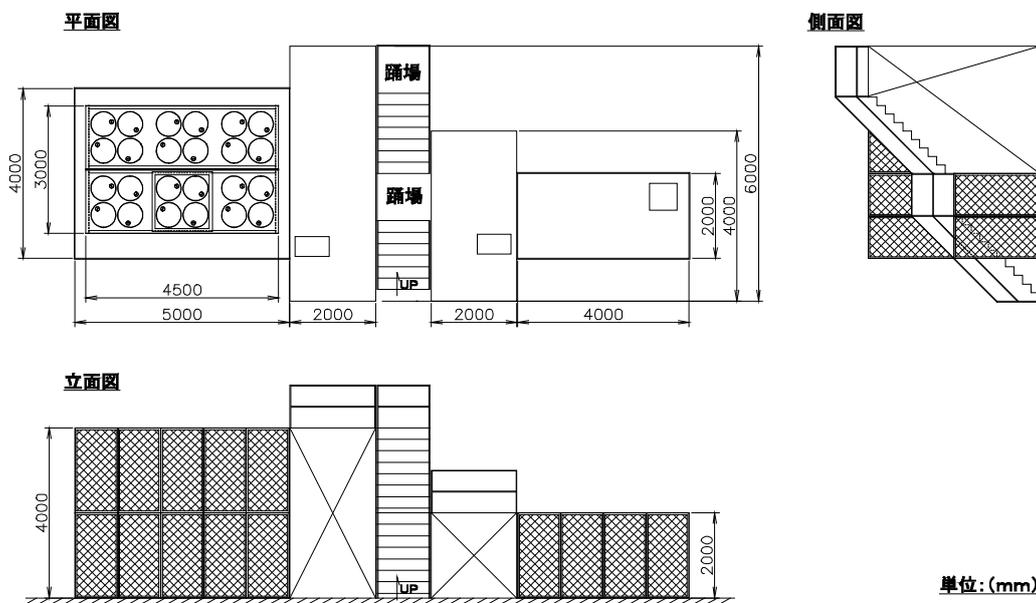
イ 今後も高発泡消火設備の危険物施設への設置に係る技術的知見の蓄積や海外規格等も参考に、引き続き検討を重ねる必要がある。

## 参考資料 1 実験機器等

# 実験施設全体配置



実験施設全体配置図（平面図）



実験施設主要寸法図（3面図）

○ 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験



発泡マス



発泡マス



燃烧皿



燃烧材投入

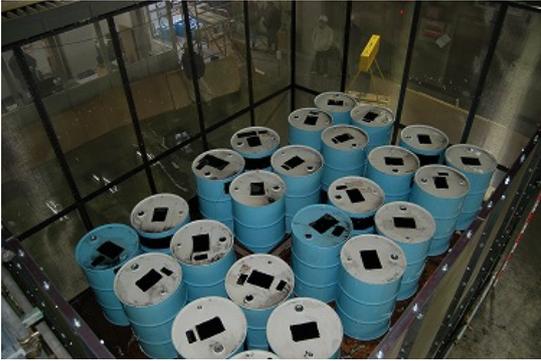
○ 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験



発泡マス



発泡マス



ドラム缶



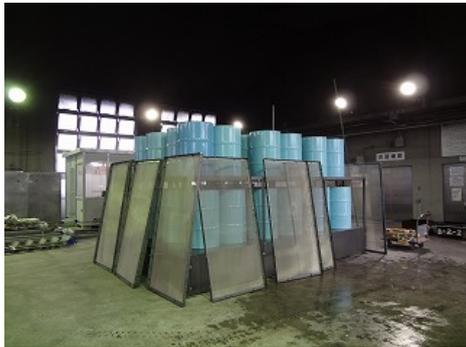
泡放出口から見た様子



燃烧皿（B-8 模型）



ラック（組立中）



ラック及びドラム缶（組立中）



燃烧皿配置（上下2段）

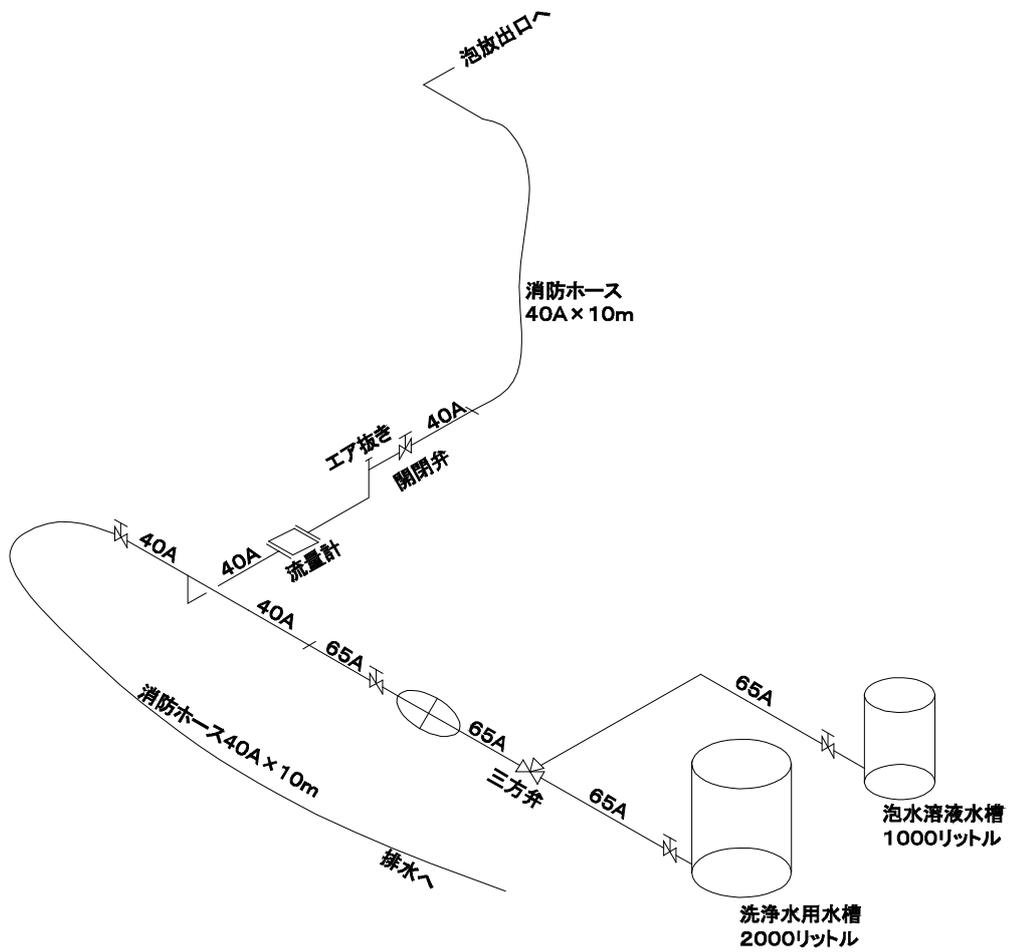


共用階段



泡送水装置一式

配管構成



配管構成の概要図



泡水溶液水槽



液面計



ポンプ一次側配管



泡水溶液-水の切替用三方弁



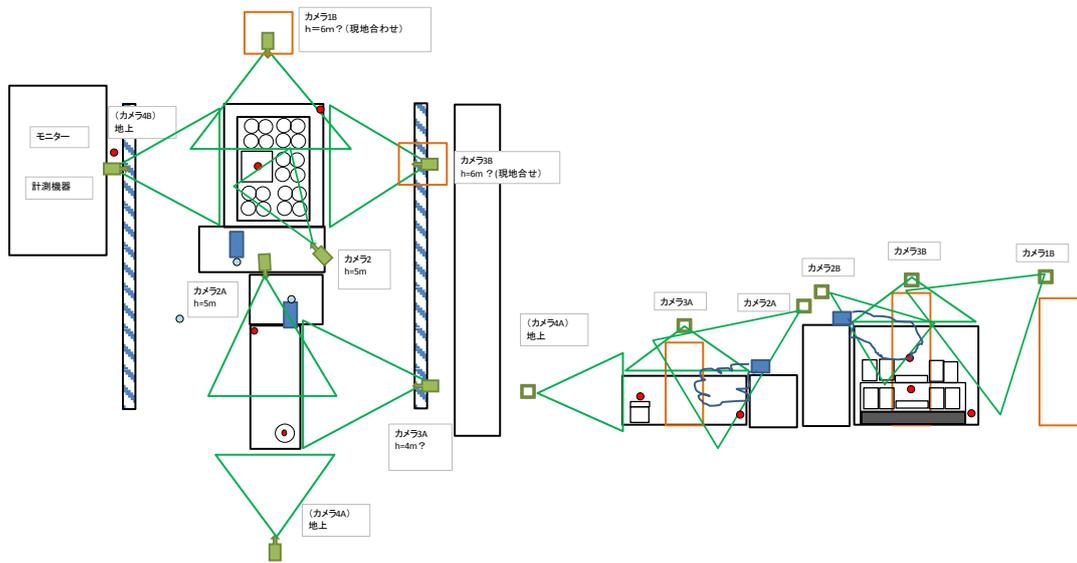
加圧送水用の動力消防ポンプ



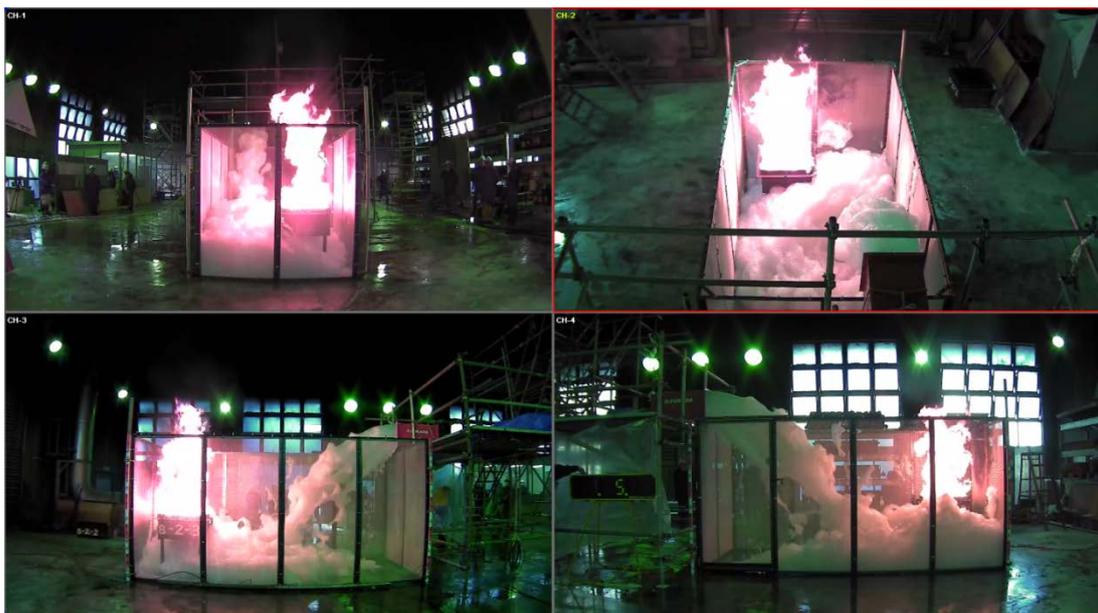
ポンプ圧力調整部

## 計測機器の仕様

名称	型式/仕様	メーカー	数量	目的
熱電対	Type K / シースφ1.6(インコネ ル)×5m	(株)フラスト	8本	温度計測
電磁流量計	HD-UH40G/ 40A /測定範囲 22.62L/min～ 753.98L/min /時定数 5s	キーエンス	1台	流量計測
デジタル圧 力計	GP-M10 / -0.1～1MPa, 4-20mA(0-1MPa) OP-87280 / R3/8 オス OP-75722 / ケーブル 2m (3芯 で 30m延長)	キーエンス	2台	放出口 入口圧力計測
カメラ	カメラ:HDS-9000 / フルHD2M ピクセル レンズ:M13VG288IR / 水平 100.1° ～35.8° 垂直 72.9° ～26.8° 取付金具:WH-31 カメラカバー:VCHO-90S 電源線:30m 信号線:5CFB50m	ELMO	4式	撮影
フルHD対 応 HD-SDIレ コーダー モニター	レコーダー:EDR-HS0420 / 4ch、 1TB 21.5インチモニター:EV-116W-AB K(EIZO)	ELMO	1式	4画面記録
データロガ ー	DAQMASTER MX-100/MX110-UNV-M10	横河	1台	温度/電圧計 測
パソコン	E5530	DELL	1台	計測記録/モニ ター



カメラ配置計画図



カメラ画像の例（高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験）



カメラ画像の例（高発泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験）



温湿度計



糖度計による混合濃度確認



放水圧力計



流量計



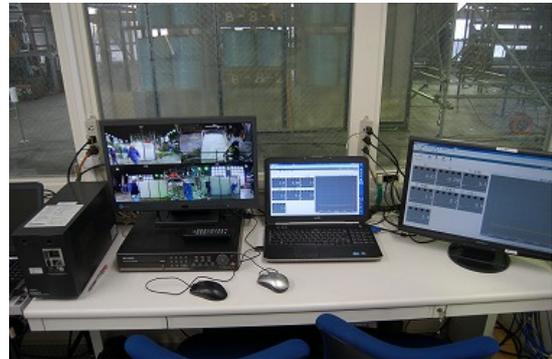
熱電対



泡放出開始後計測用基準時計



固定カメラ（4箇所）



データロガー、動画記録装置

## 参考資料 2 実験状況（写真）

- 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験
- 高発泡泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験

○ 高発泡泡の危険物火災に対する消火性能に関する検証実験

1. 積泡実験

泡放出開始から5秒経過時の状況は次のとおり。

泡放出口 A



泡放出口 B



泡放出口 C



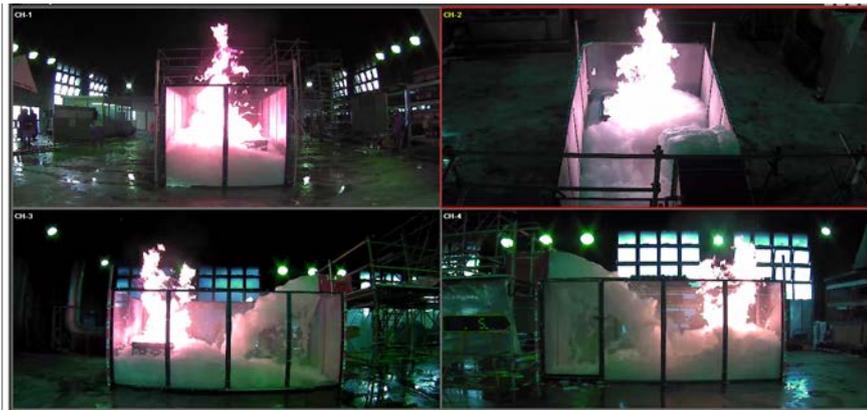
泡放出口 D



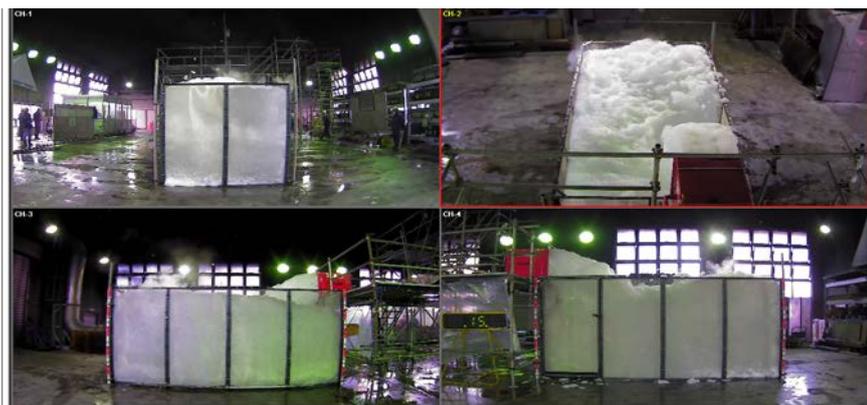
## 2. 消火実験

### (1) 泡放出口 A (燃料：ノルマルヘプタン)

火炎接近時  
(5秒経過時)



鎮火時  
(15秒経過時)



### (2) 泡放出口 B (燃料：ノルマルヘプタン)

火炎接近時  
(10秒経過時)



鎮火時  
(26秒経過時)



(3) 泡放出口 B (燃料 : アセトン)

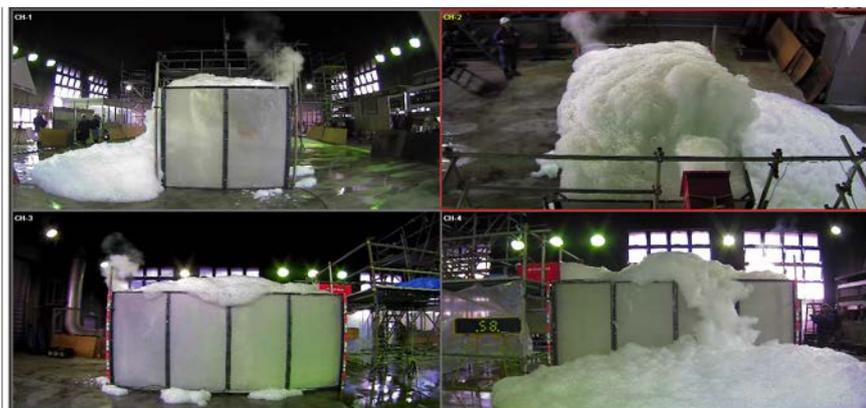
火炎接近時  
(15 秒経過時)



燃焼皿冠泡時  
(22 秒経過時)

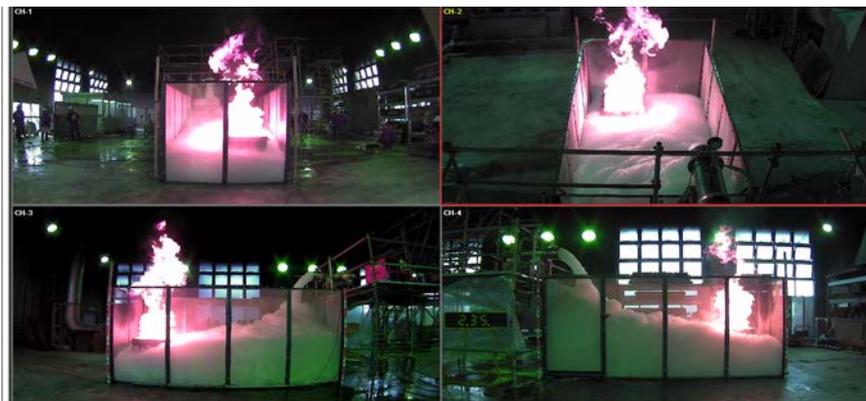


鎮火時  
(58 秒経過時)

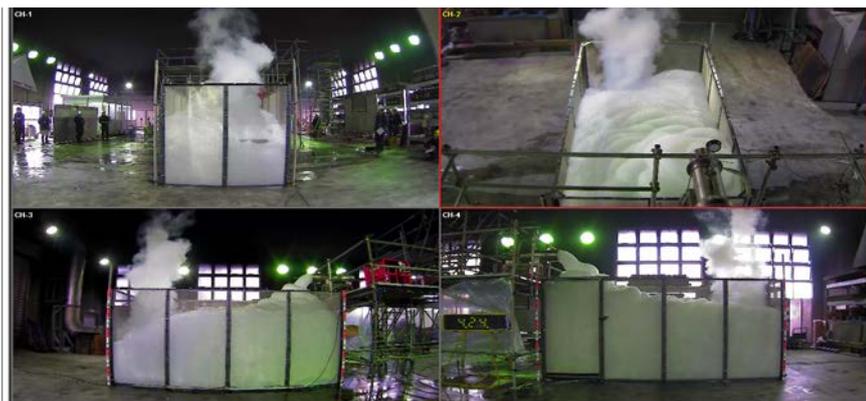


(4) 泡放出口 C (燃料 : ノルマルヘプタン)

火炎接近時  
(155 秒経過時)

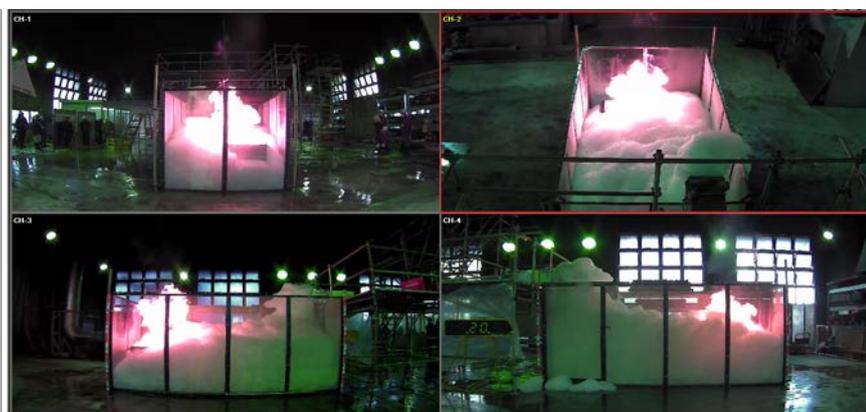


鎮火時  
(264 秒経過時)



(5) 泡放出口 D (燃料 : ノルマルヘプタン)

火炎接近時  
(20 秒経過時)

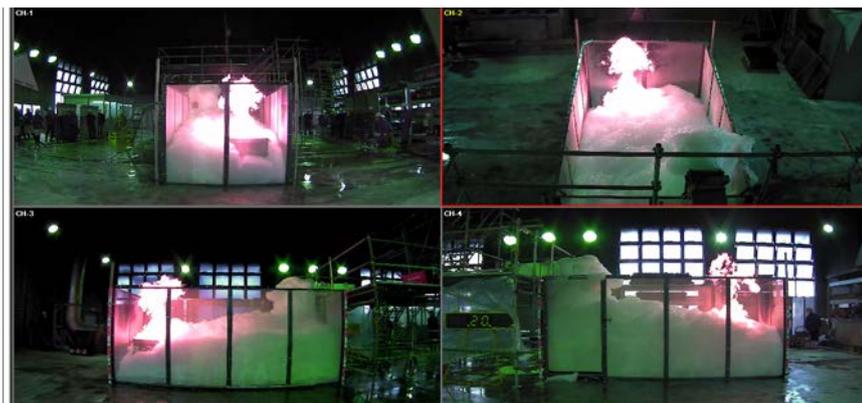


鎮火時  
(34 秒経過時)



(6) 泡放出口 D (燃料 : アセトン)

火炎接近時  
(20 秒経過時)



燃烧皿冠泡時  
(33 秒経過時)



鎮火時  
(200 秒経過時)



○ 高発泡消火設備の危険物施設への設置条件に関する検証実験

1. 積泡実験

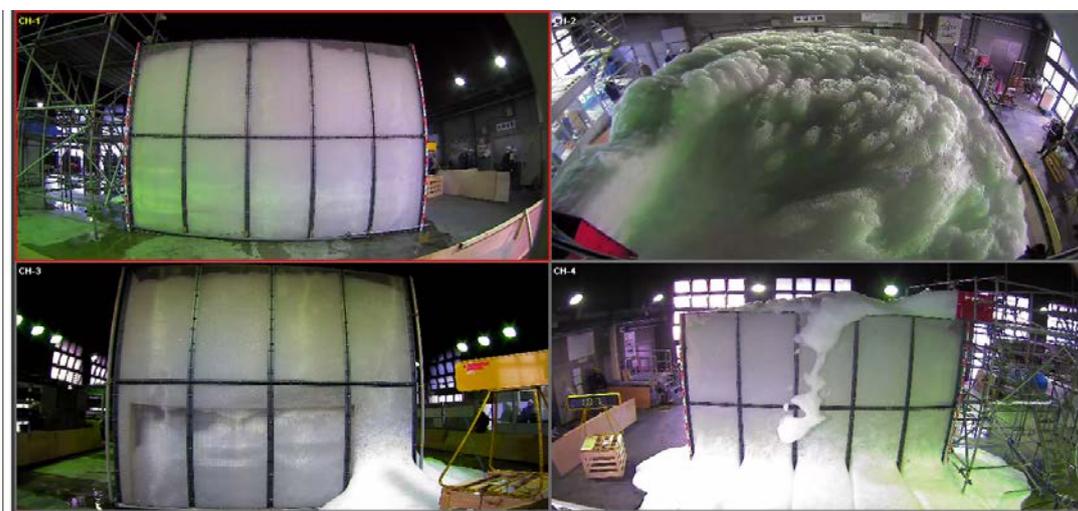
(1) 泡放出口 A (据板有り)



放出直後 (6秒経過時)



放出中 (30秒経過時)



充満時 (67秒経過時)

(2) 泡放出口 B (据板有り)



放出直後 (6 秒経過時)



放出中 (60 秒経過時)



充滿時 (145 秒経過時)

(3) 泡放出口 B (据板無し)



放出直後 (6 秒経過時)



放出中 (60 秒経過時)



充滿時 (139 秒経過時)

(4) 泡放出口 D (据板有り)



放出直後 (7秒経過時)



放出中 (60秒経過時)



充滿時 (171秒経過時)

## 2. 消火実験

### (1) 泡放出口 B (据板有り)



放出直後 (6秒経過時)



放出中 (60秒経過時)



充滿時 (155秒経過時)

(2) 泡放出口 B (据板無し)



放出直後 (7秒経過時)



放出中 (60秒経過時)



充滿時 (139秒経過時)

(3) 泡放出口 D (据板有り)



放出直後 (7秒経過時)



放出中 (60秒経過時)



充滿時 (175秒経過時)

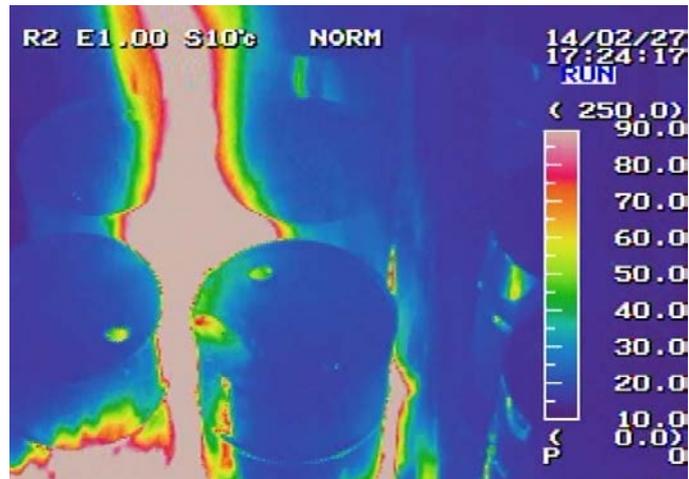
参考 熱画像

本実験では熱画像を参考に撮影した。

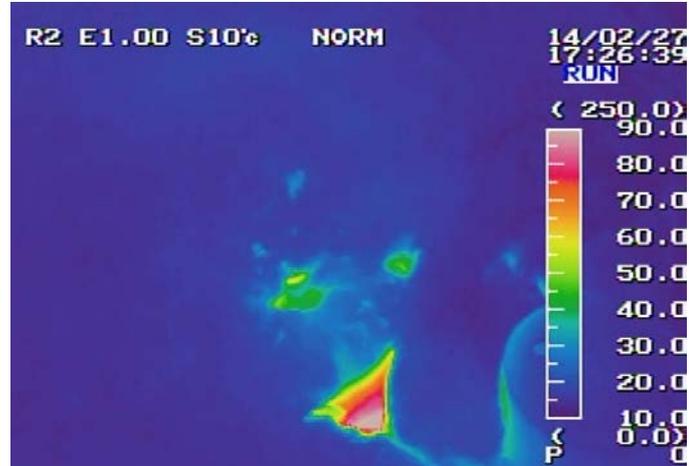
ラック 2 段目の燃焼皿の状況を上方から撮影したものが次のとおり。

高発泡の泡を押しつけて出来たとみられる空気の通り道が確認された。

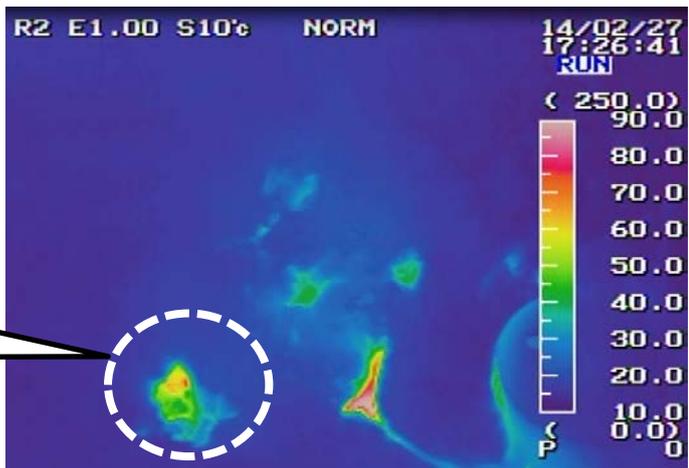
冠泡前



概ね冠泡時



1 秒後



高発泡泡を蒸気が押しつけて出来たとみられる空気の通り道