

発泡器具の発泡性能、消火性能等の検証

小田 哲也^{*}，持丸 洋平^{*}，山口 敦史^{**}，湯浅 弘章^{*}

概 要

消防隊が使用する発泡器具の発泡性能、消火性能に関する統一的な性能評価方法の確立を目的とし、当庁が保有する発泡器具について、考案した発泡性能試験及び消火性能試験を実施した。

検証の結果、発泡性能試験に関しては発泡倍率に大きな差が見られなかったものの、発泡器具の設計放出圧力の違いから、25%還元時間に顕著な差が見られた。また、消火性能試験に関しては、泡の安定性が大きく影響していることが確認できる結果を得た。還元時間の長い泡は、流動性は劣るが安定性（耐火性）が高く、火炎に曝されても油面からのベーパーを確実に遮断し、消火することが確認された。一方で、還元時間の短い泡は、流動性は優れているが安定性（耐火性）が悪く、火炎に曝されると消泡しやすいため、ベーパーを抑えにくく、消火に時間がかかることが確認された。また、発泡性能試験及び消火性能試験の結果から、発泡器具の特徴を裏付ける評価モデルを作成した。

1 はじめに

泡消火薬剤は、消防法第 21 条の 2 に基づき「検定対象機械器具等」として検定をすることが定められており、「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。）に基づく検定基準により諸元性能が定められている。

しかし、消防隊が使用する発泡器具に関する発泡倍率の測定方法や燃焼物に対する消火データ等が存在せず、明確な基準が定められていない。

今後、発泡器具の仕様変更時や新規ノズル導入時に、各発泡器具の性能を比較し、最適な発泡器具を当庁に導入するため、本検証では現有する各発泡器具の発泡性能、消火性能等の検証を行い、その結果から発泡器具の統一的な性能評価方法を確立することを目的とする。

2 検証対象とした各発泡器具

(1) 各発泡器具

ア A社低発泡器(写真1)

イ B社低発泡器(写真2)

ウ C社低発泡器(写真3)

エ D社低発泡器(写真4)

オ 中発泡器(写真5)

カ 高発泡器(写真6)



写真1 A社低発泡器



写真2 B社低発泡器



写真3 C社低発泡器



写真4 D社低発泡器



写真5 中発泡器



写真6 高発泡器

* 装備安全課 ** 消防技術課

(2) 各発泡器具の諸元・性能

各発泡器具の諸元・性能を表1に示す。

表1 各発泡器具の諸元・性能

発泡器	諸元・性能			
	圧力 [MPa]	放射量 [ℓ/分]	射程 [m]	発泡 倍率
A社 低発泡器	0.35	550	22~30	6~18
B社 低発泡器	0.35	400	18~20	6~8
C社 低発泡器	0.35	400	18~20	6~8
D社 低発泡器	0.5	500	約20	6~
中発泡器	0.5	500	8~	20~60
高発泡器	0.5	500	—	250~

3 試験方法の考察と提案

発泡器具の性能は、発泡性能及び消火性能の2通りに分類することができる。

発泡性能の評価には、発泡倍率、安定性（25%還元時間）及び射程距離の3項目のデータが主に重要と推察される。特に、低発泡器（発泡倍率が20倍以下のものをいう。以下同じ。）は、泡の安定性も中発泡器や高発泡器と比べて低いため、3項目すべてのデータを測定し、評価するものとした。中発泡器は泡の安定性を十分有しているため、発泡倍率と射程距離の2項目、高発泡器はその特徴から発泡倍率の高さが重要になるため、発泡倍率のみの1項目、それぞれを測定し、中発泡器及び高発泡器を評価することとした。発泡性能の試験方法はこうしたことを踏まえると、まず単純に規格省令に基づく検定基準を準用する方法（規格省令第19条関係）（以下「コレクター採取」という。）、次に流出油火災や屋外タンク火災の消防活動を考慮した方法（以下「活動基準を考慮した方法」という。）の2通りが考えられる。活動基準を考慮した方法とは、燃焼物体に直接泡をかけるのではなく、周囲の物体に当てて、間接的に泡を燃焼物体にかける活動を考慮し、不燃性の物体に発泡器具から発生した泡を当て、そこから流れ落ちてきた泡を採取し、測定する方法である。低発泡器については、どちらの方法でも発泡性能は測定可能だと推察される。中発泡器及び高発泡器に関しては、その発泡量や泡の流動性を考慮すると、低発泡器の方法では測定できない可能性がある。発泡量を考慮した測定方法として、大容量のバケツに直接的または間接的に泡を採取する方法（以下「バケツ採取」という。）及び大規模な区画を作成し、その区画で泡を採取する方法（以下「区画採取」という。）が考えられる。中発泡器については、高発泡器ほど発泡倍率がないため、区

画採取は不向きである。高発泡器については、バケツ採取及び区画採取のどちらでも発泡性能を測定することができるかと推察される。

以上のことから、低発泡器の発泡性能は、発泡倍率、安定性及び射程距離の3項目をコレクター採取及び活動基準を考慮した方法により測定することとする。中発泡器の発泡性能は、発泡倍率及び射程距離の2項目をバケツ採取により測定することとする。高発泡器の発泡性能は、発泡倍率のみをバケツ採取及び区画採取により測定することとする。

次に、消火性能について考える。まず、消火性能試験の対象は現有する全ての発泡器であるべきだが、施設の構造上の制約から、消火性能試験で使用する火皿は1㎡程度が現実的である。しかし、1㎡程度の火皿では中発泡器、高発泡器の泡を用いると直ちに消火されてしまい、有意な検証結果が得られないことが推察される。したがって、本検証の消火性能試験の対象は、低発泡器とした。消火性能の評価には、燃焼物の消火時間、泡の耐火性及び流動性の3項目のデータが主に重要と推察される。発泡性能と同様、消火時間及び泡の耐火性は規格省令に基づく検定方法を準用し、測定できると推察される。また、参考文献¹⁾から、消火性能試験で放射熱流束計を活用して、放射熱流束の時間変化を測定することで、耐火性・耐油性と流動性のバランスを推察できると考えた。試験装置の構成については、発泡性能試験における活動基準を考慮した方法を念頭に置き、直接火皿に泡を投入するのではなく、間接的に火皿に泡を投入するようなものとした。

以上のことから、消火性能は、低発泡器で、1㎡程度の火皿の火炎に対して間接的消火方法を適用させ、消火時間、耐火性及び放射熱流束の主な3項目を測定することとした。

4 検証方法

前2(1)に掲げる各発泡器具について、前3を踏まえ、発泡性能試験または消火性能試験もしくはその両方を行う。また、発泡性能試験及び消火性能試験に使用する泡消火薬剤は当庁に納入されている泡消火薬剤を使用する。

(1) 発泡性能試験

ア 実験設定

発泡性能試験の設定状況を図1に示す。各発泡器具の根元圧力を表1に示す圧力に設定して、泡をメーカー推奨値の仰角30°で放射し、その際の射程、発泡倍率、25%還元時間を測定した。

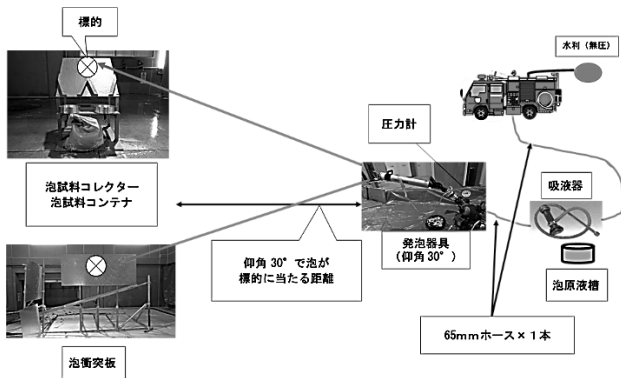


図 1 発泡性能試験設定図

イ 実験方法

(ア) 射程

射程は、各発泡器の先端を基準として、そこから放射された泡のうち、泡のまとまりの中心部分が地面に到達した位置までの水平距離を射程とした（写真 7、写真 8 参照）。



写真 7 射程測定その 1



写真 8 射程測定その 2

(イ) 泡の採取方法

低発泡器の泡の採取方法は前 3 の提案を踏まえて、コレクター採取（写真 9 参照）もしくは活動基準を考慮した方法として作成した泡衝突板（写真 10 参照）に、発泡器具から放射された泡を当てて、流れてきた泡を泡試料コンテナで採取する方法（以下「泡衝突板採取」という。）を採用した。中発泡器の泡の採取方法は、バケツ採取を採用した（写真 11 参照）。高発泡器の泡の採取方法は、バケツ採取及び区画採取を採用した（写真 12 参照）。

発泡性能試験で使用した測定機器、検証状況等を写真 13～写真 18 に示す。



写真 9 コレクター等



写真 10 泡衝突板



写真 11 大容量バケツ



写真 12 金網区画

(ウ) 発泡倍率

発泡倍率は、次に示す式により算出した。

$$\text{発泡倍率} = V/m \quad \text{または} \quad 9/V'$$

V：泡試料コンテナまたはバケツの容量

m：泡の質量（泡水溶液量）

V'：区画採取時の泡水溶液の体積（泡水溶液量）

※泡水溶液の比重は 1 とする

V' は区画が泡で満たされるまでの時間と定格流量から算出する。区画採取の発泡倍率は、区画面積（9 m²）を V' で除した値とした。

(エ) 25%還元時間

25%還元時間は、コレクター採取及び泡衝突板採取時に測定するものとし、次により測定した値とした。

なお、泡試料コンテナに直接泡が投入されないように、泡試料コレクターの一部に遮蔽板を設けた（写真 13 参照）。

- ① 泡試料コンテナ（質量既知）2 個に泡試料コレクター等で収集した泡を投入する（写真 13、14 参照）。
- ② 泡試料コンテナが泡で満たされたと同時に、時間の測定を開始する。
- ③ 速やかに収集した泡の面を平らにすり切り、泡試料コンテナの外側に付着した泡を布等でふき取る。
- ④ 泡試料コンテナの総質量を 1 g 単位で測定し、泡試料コンテナ自体の質量との差から泡水溶液の量を算出し、その 25% 量を求める。
- ⑤ 泡試料コンテナを測定架台にのせ、メスシリンダーを用いて、泡から還元した泡水溶液の量が前④で求めた量になったときまでの時間を 25%還元時間として測定する。ただし、メスシリンダーを用いて測定開始した時点で、前④で求めた量をすでに超えている場合、測定不能として記録する（写真 15 参照）。



写真 13 コレクター採取



写真 14 泡衝突板採取



写真 15 25%還元時間

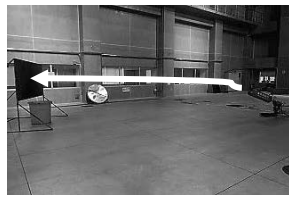


写真 16 バケツ採取



写真 17 バケツ採取
(中発泡器)



写真 18 区画採取
(高発泡器)

(2) 各発泡器具を用いた消火性能試験

ア 実験設定

消火性能試験の設定状況を図 2 に示す。

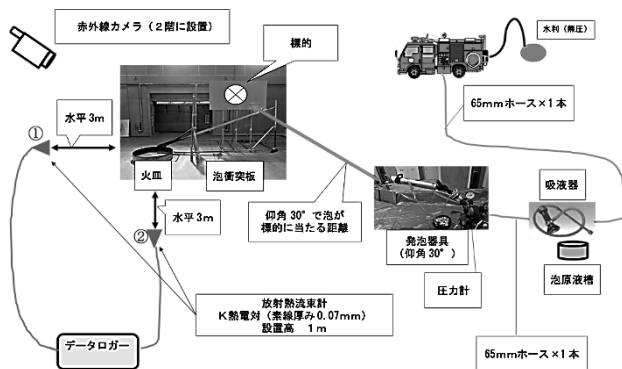


図 2 消火性能試験設定図

イ 実験方法

消火性能試験は、前 3 を踏まえて次により行う。泡消火薬剤はフッ素たん白泡消火薬剤を使用する。消火性能試験の状況を写真 19 から写真 22 に示す。

(ア) 直径 1.2m の円形火皿に、敷き水を 30 L、ノルマルヘプタンを 6.8 L 投入し、点火棒を用いて着火する（予燃焼は点火から 1 分間）。

(イ) 着火から 35 秒後に発泡器具の放水を開始し、泡消火薬剤の混合を開始する。

(ウ) (イ)の直後、発泡器具の角度を調整し、発泡器具から放射された泡が泡衝突板に当たるようにする。その際、泡衝突板から火皿に延びるレールの途中をアルミ板で予燃焼が完了するまで遮り、火皿に泡が流入するのを防ぐ（写真 19 参照）。

(エ) 予燃焼の完了と同時に前(ウ)のアルミ板を除去し、火皿に泡を投入する。このときに、時間の測定を開始する（以下「消火試験」という。）（写真 20 参照）。

(オ) 火皿の火が消火されたと同時に、ストップウォッチ

を止め、消火時間を測定する。その後、消火直後から 15 分経過するまでに 3 回、点火棒を火皿の表面をなぞるように移動させ、再着火試験を行う。再着火試験は 5 分程度間隔をあけて行う（写真 21 参照）。

(カ) 再着火試験終了後、火皿の中心部分の泡を 15cm 角に取り除き、その部分の露出したヘプタンに点火棒等を用いて着火する。

(キ) 着火後、5 分間燃焼させた直後、泡が崩れないよう静かに消火し、ヘプタンの露出面積を測定する（以下「耐火試験」という。）（写真 22 参照）。

なお、(ア)から(オ)の間、火勢の変化を比較するため、放射熱流束、火皿周囲の雰囲気温度を測定する。測定機器は、火皿の中心から水平距離 3 m の地点、高さ 1 m の位置で、互いに直行する向きに設置する。

また、得られた放射熱流束値から次の値を定義する。

ノックダウン時間¹⁾: 火皿への泡の投入開始から放射熱

が急激に減少し始めるまでの時間（以下「 T_{KD} 」という。）

90%コントロール時間¹⁾: 火皿への泡の投入開始から放射熱

が最盛期の放射熱の 10%になるまでの時間（以下「90%CT」という。）（点火時の放射熱を 0 とする）



写真 19 泡衝突板設定



写真 20 消火試験状況



写真 21 再着火試験



写真 22 耐火試験

5 検証結果及び考察

(1) 各発泡器具を用いた発泡性能試験

ア 低発泡器について

低発泡器の発泡性能試験結果を表 2 に示す。なお、表 2 中の網掛けなしは、夏場環境（界面活性剤泡：気温 29℃、湿度 49%、水温 23℃、原液温 21℃）（フッ素たん白泡：気温 25℃、湿度 61%、水温 24℃、原液温 23℃）でのデータを示す。網掛けありは、冬場環境（界面活性剤泡：気温 15℃、湿度 23%、水温 14℃、原液温 12℃）（フッ素たん白泡：気温 6.0℃、湿度：46%、水温 9.0℃、原液温 9.0℃）でのデータを示す。

また、A 社低発泡器は資器材の借用の都合上、夏場のデータのみである。

表2 発泡性能試験結果表（低発泡器）（平均値）

発泡器	薬剤	発泡倍率	25%還元時間	射程 [m]
A社	フッ素たん白	5.6	測定不能	約 28
	界面活性剤	10.6	1分 13秒	
B社	フッ素たん白	6.1	測定不能	約 25
		6.1	測定不能	
	界面活性剤	10.6	44秒	
		11.2	測定不能	
C社	フッ素たん白	5.5	測定不能	約 22
		4.5	測定不能	
	界面活性剤	11.1	2分 57秒	
		10.7	2分 17秒	
D社	フッ素たん白	6.5	4分 04秒	約 27
		6.3	2分 42秒	
	界面活性剤	10.5	6分 27秒	
		10.0	6分 34秒	

得られたデータから圧力、発泡倍率、25%還元時間の相関を泡消火薬剤別に計算した結果が次の表3及び表4である。

表3 相関係数（フッ素たん白）

	圧力 - 倍率	圧力 - 25%還元時間	倍率 - 25%還元時間
相関係数	0.52	0.84	0.11

表4 相関係数（界面活性剤）

	圧力 - 倍率	圧力 - 25%還元時間	倍率 - 25%還元時間
相関係数	-0.62	0.95	-0.50

(ア) フッ素たん白泡、界面活性剤泡それぞれにおいて、各発泡器の夏場環境と冬場環境の発泡倍率に大きな差は認められなかった。

(イ) 25%還元時間に関しては、フッ素たん白泡、界面活性剤泡ともにD社が最も長くなることが分かった。

(ウ) 射程は、A社が最も長く、C社が最も短かった。

(エ) 25%還元時間で欠損値が多く散見された。このことから、25%還元時間での各発泡器を定量的に評価することが困難である。今後は欠損値を減らすため、25%還元時間と50%還元時間の両方を測定することを提案する。なお、本来規格省令に基づく検定方法により、泡消火薬剤自体は25%還元時間が1分以上あるはずであるが、発泡器の違いにより検定基準を容易に下回ることが分かった。

(オ) 測定方法により発泡倍率及び25%還元時間に大きな差は見られなかった。したがって、発泡性能のみを測定する場合はコレクター採取を、消火性能を合わせて測

定する場合は泡衝突板採取をそれぞれ測定方法とすることが便宜上望ましいと考えられる。

(カ) 表3、表4からフッ素たん白泡の発泡倍率と25%還元時間の相関は、他のものと比較するとほぼない。これは、25%還元時間の欠損値の多さが影響していると考えられる。また、表4から界面活性剤での圧力の影響を除いた発泡倍率 - 25%還元時間の偏相関係数を求めると、0.363となる。これは、圧力の影響を除いた発泡倍率と25%還元時間の相関は、やや正の関係があることを意味する。

(キ) 前(カ)から、圧力の上昇に伴う発泡倍率は、フッ素たん白泡は大きくなり、界面活性剤泡は小さくなる傾向にあった。これは、発泡器の混合室の体積に対して一定圧力下における発泡倍率の限界値が存在するためと推察される。フッ素たん白泡の発泡倍率は、各低発泡器の混合室の体積に対する発泡倍率の限界値より低い倍率であったため、圧力の上昇により泡が空気を取り込み、発泡倍率が上がる傾向にあったと考えられる。一方で、界面活性剤泡の発泡倍率は、各低発泡器の体積に対する発泡倍率の限界値とほぼ同じまたはそれを超えていたため、圧力の上昇により、泡が攪拌されすぎて密な泡が形成され、発泡倍率が下がる傾向にあったと考えられる。

また、どちらの泡消火薬剤についても、発泡器具の根元圧力の上昇に伴い、25%還元時間は長くなる傾向にある。これは、流体（泡水溶液）の圧力（流量）の増加とともに泡膜の粘弾性が上がることが知られており、これにより泡膜の排液速度が下がり、25%還元時間が長くなったと推察される。

イ 中発泡器具及び高発泡器具について

中発泡器具及び高発泡器具のバケツ採取、区画採取について、発泡性能試験の検証結果を表5、表6に示す。なお、表5、表6中の網掛けなしは夏場環境でのデータ、網掛けありは冬場環境でのデータを示す。

表5 発泡性能試験結果（中発泡器）（平均値）

発泡器	泡消火薬剤	測定方法	発泡倍率	射程 [m]
中発泡器	フッ素たん白	バケツ採取	37	約 9
			34	
	界面活性剤		61	約 9
			54	

表6 発泡性能試験結果（高発泡器）

発泡器	泡消火薬剤	測定方法	発泡倍率 (平均値)
高発泡器	界面活性剤	バケツ採取	260
			233
		区画採取	60

(ア) 高発泡器に関して、区画採取よりバケツ採取の方が発泡倍率は高く出た。これは、バケツ採取、区画採取それぞれの測定方法において、放出された泡がバケツや金網に次々と泡が流入することで、泡の圧縮または消泡が生じ、実際の発泡倍率よりも低くなったと推察され、区画採取よりバケツ採取の方が、その泡の圧縮または消泡の影響が少なかったためと考えられる。したがって、測定容器が泡で満たされると同時に泡の流入を防ぐ等、発泡倍率が下がらないように測定する必要がある。

(イ) 区画採取は、泡が満たされる時間が1秒違うだけで、数十倍も発泡倍率が変わるため、誤差が生じやすい。

(ウ) 前(ア)、(イ)より測定方法は、定量的に測定しやすいバケツ採取が良いが、泡の圧縮による発泡倍率の低下を考慮する必要がある。

(2) 低発泡器具を用いた消火性能試験

低発泡器具を用いた消火性能試験での消火時間、密封性能、油面変化量の結果を表7に示す。なお、表7中の網掛けなしは、夏場環境でのデータ、網掛けありは、冬場環境でのデータを示す。

表7 消火性能試験結果 (平均値)

発泡器	消火時間 [秒]	油面面積[cm ²]			再 着 火
		耐火 試験前	耐火 試験後	変化量	
A社	16	225	379	△154	無
B社	24	225	386	△161	無
	37	225	1103	△878	
C社	17	225	260	△35	無
	17	225	438	△213	
D社	20	225	225	0	無
	15	225	225	0	

※A社低発泡器は施設や資器材の借用の都合上、冬場の実験データはなし

ア 消火時間は、夏場はA社、冬場はD社がそれぞれ最も早く、夏場・冬場環境を総合的に見ると、消火時間に関してはC社が優れていると考えられる。これは、泡の質や流動性が関係していると推察される。

良い泡は、泡の耐火性、安定性、耐油汚染性に優れており、適度な流動性を有している。そのため泡が火炎や油汚染の影響を受けにくく、確実に油面からのベーパーを抑えながら油面上に展開し、還元された泡水溶液により油面温度を下げると推察できる。

一方で、悪い泡は、流動性は優れているものの、火炎により消泡しやすく、油汚染により油面の火炎や火皿側壁の熱等の影響を受け、再燃しやすいと推察できる。このことを踏まえると、夏場のA社やC社は、泡の質(耐火性・耐油汚染性・安定性等)が悪くとも、泡の流動性によりD社より早く消火に至っていたが、油面面積の変化量が大きい。また、冬場のB社やC社は極端に泡の質

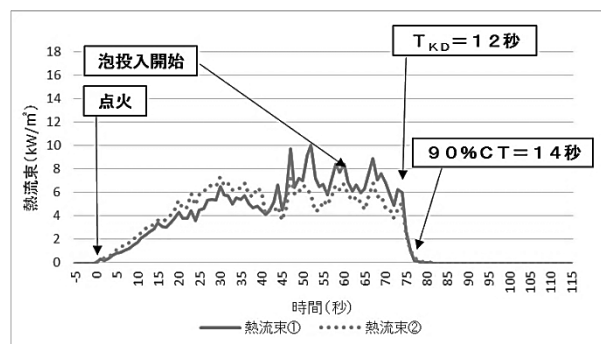
が悪く、その影響で泡が油面を覆うのに時間がかかった一方、D社の泡は質が良く、泡の流動性も良かったため、結果としてD社が最も早く消火に至ったと考えられる。イ いずれの発泡器も夏場・冬場環境問わず、再着火は起きなかった。

ウ 油面面積の変化量は、夏場・冬場環境ともにB社が最も大きく、D社は油面変化が起きなかった。

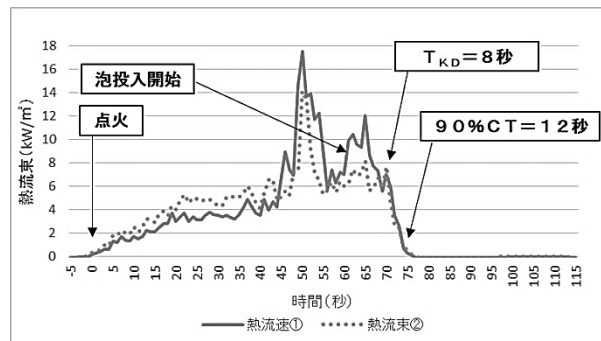
エ D社は夏場環境の耐火試験において、自然鎮火した場合もあった。

(3) T_{KD} 及び90%CTを用いた考察

放射熱流束の変化の例として図3、 T_{KD} ・90%CTの平均値を表8に示す。なお、表8中の網掛けなしは夏場環境でのデータ、網掛けありは冬場環境でのデータを示す。



D社 1回目 (夏)



D社 2回目 (夏)

図3 D社の放射熱流束の変化量

※①、②は互いに直行する熱流束計の値を示す。

ア 表8より、夏場環境はD社が、冬場環境はC社が、それぞれ他社に比べて90%CTと T_{KD} の差が小さいことが分かった。また、夏場環境と冬場環境を総合的に見ると、D社の90%CTと T_{KD} の差が最も小さいことが分かった。

イ T_{KD} が短くても、90%CTが短くなるとは限らないことが分かった。

ウ 前ア、イより、 T_{KD} が短い時間であっても、90%CTが短くなるとは限らない。反対に T_{KD} が長い時間であっても、90%CTが長くなるとも限らない。このことは、消火時間の考察と同様、泡の質や流動性に依存するものと考えられる。

D社は他社と比較すると流動性は劣るものの、泡の質が良いため、 T_{KD} から90%CTまでの時間が短くなる（放射熱の収束が早い）と推察できる。

一方で、A～C社はD社に比べ流動性は勝るものの、泡の質が悪いため、火炎や油による泡の消泡及び油汚染が生じやすく、油面温度を下げることができても、抑えられないベーパーや油汚染を受けた泡などが油面の火炎や火皿側壁の熱により再燃し、結果として90%CTが長くなる（放射熱の収束が遅い）と推察できる。

このことから、 T_{KD} と90%CTは泡の耐火性・耐油性と流動性のバランスを間接的に示す指標として活用が見込めるため、非常に有用であると考えられる。

表8 低発泡器の T_{KD} 、90%CT（平均値）

発泡器	T_{KD}	90%CT	90%CT - T_{KD}
A社	6秒	13秒	7秒
	8.5秒	16秒	7.5秒
B社	7.5秒	13秒	5.5秒
	7秒	14.5秒	7.5秒
C社	11秒	15.5秒	4.5秒
	10秒	13秒	3秒
D社	7秒	13秒	6秒

(4) 前(1)、(2)、(3)を踏まえた発泡器具の評価方法について

ア 発泡性能の評価方法について

次に示す値を発泡器具の発泡性能の評価モデルとして考えた。

発泡性能指数_低 ≡ (a, b, c) : 低発泡器

発泡性能指数_中 ≡ (a, b) : 中発泡器

発泡性能指数_高 ≡ (発泡倍率) : 高発泡器

a : 射程指数 ≡ $10 \log_{10} (CV \text{ (射程)})$

b : 発泡倍率指数 ≡ $10 \log_{10} (CV \text{ (発泡倍率)})$

c : 還元時間指数 ≡ $10 \log_{10} (CV \text{ (還元時間)})$

$CV \text{ (射程)} = \sigma_1 / x_1$ $CV \text{ (発泡倍率)} = \sigma_2 / x_2$

$CV \text{ (還元時間)} = \sigma_3 / x_3$

σ_1 : 射程距離の標準偏差 x_1 : 射程距離の平均値

σ_2 : 発泡倍率の標準偏差 x_2 : 発泡倍率の平均値

σ_3 : 還元時間の標準偏差 x_3 : 還元時間の平均値

※低発泡器の発泡性能評価において、射程が20m未満のものは評価しないものとする。

※25%還元時間が測定不能または1分未満の場合、還元時間指数を0とする。

CVは上記の式から平均に対するばらつきの大きさを示す無次元の指標（変動係数）として知られている。変動係数の物理的な解釈は、発泡器の各性能が高く、安定している（ばらつきが少ない）ほど、変動係数は小さくなるということである。また、この後に示す消火性能指数とスケールを合わせるため常用対数を用いた。さらに、グラフ化した時の利便性を考慮し、常用対数に-1をかけてある。この式から、泡消火薬剤別に夏場環境と冬場環境を統合したデータで各発泡性能指数を算出したものを表9、表10、表11に示す。

また、表9をグラフ化したものを図4に示す。

表9 発泡性能指数（低発泡器）

発泡器	薬剤	射程指数	発泡倍率指数	還元時間指数
A社	フッ素たん白	1.78	1.80	0.0
	界面活性剤	1.78	1.38	1.26
B社	フッ素たん白	1.74	1.26	0.0
	界面活性剤	1.74	1.30	1.29
C社	フッ素たん白	1.72	0.82	0.0
	界面活性剤	1.72	1.53	1.18
D社	フッ素たん白	1.73	1.47	0.64
	界面活性剤	1.73	1.41	1.65

表10 発泡性能指数（中発泡器）

発泡器	薬剤	発泡倍率指数	射程指数
中発泡器	フッ素たん白	1.11	1.77
	界面活性剤	1.15	1.77

表11 発泡性能指数（高発泡器）

発泡器	泡消火薬剤	発泡性能指数
高発泡器	界面活性剤	247

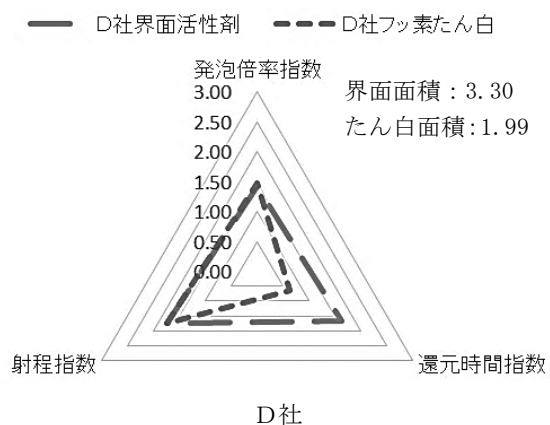
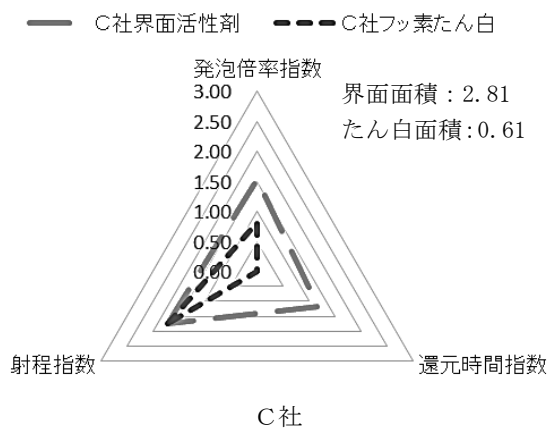
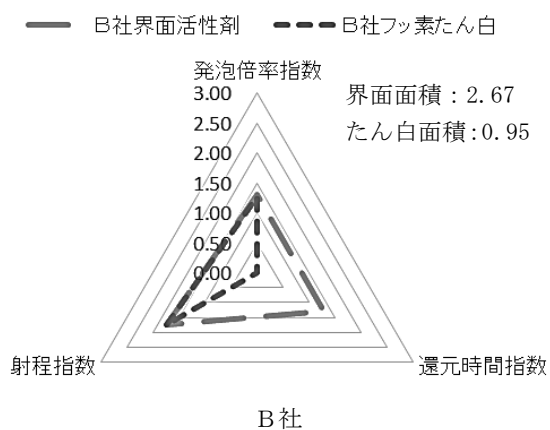
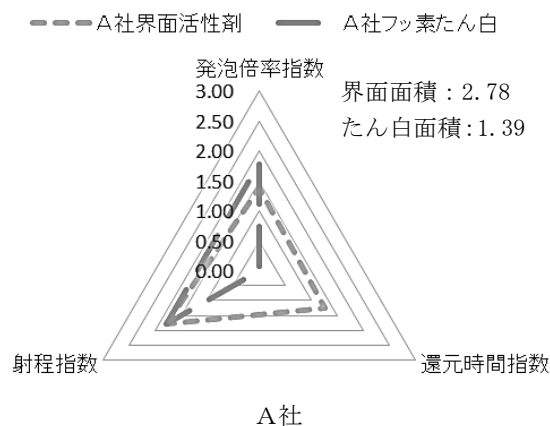


図4 発泡性能指数（グラフ）（低発泡）

(ア) 表9から表11及び図4により各発泡器の発泡性能指数を視覚的に、項目別に評価でき、発泡特性を把握しやすい。

(イ) 各発泡器の発泡性能指数を用いて算出したグラフの面積を総合的評価として活用することができる。図4を例とすると、フッ素たん白泡、界面活性剤泡ともに発泡性能はD社が優れていると評価することができる。

(ウ) フッ素たん白の25%還元時間に欠損値が多く散見されたことから、表12の還元時間指数で各発泡器の特徴を評価しにくくなっている。したがって、25%還元時間と50%還元時間の両方を測定し、還元時間指数を算出することで、欠損値を減らして、各発泡器の還元時間の特徴を評価できると推察する。

イ 消火性能の評価方法について

次に示す値を発泡器具の消火性能の評価モデルとして考えた。

消火性能指数 $\equiv (i, j, k)$

i ：消火時間指数 $\equiv (CV_{(消火時間)})^{-1}$

j ：放射熱抑制指数 $\equiv (CV_{(90\%CT-T_{KD})})^{-1}$

k ：耐火指数 $\equiv (CV_{(油面積変化量)})^{-1}$

$CV_{(消火時間)} = \sigma_4 / x_4$

$CV_{(90\%CT-T_{KD})} = \sigma_5 / x_5$

$CV_{(油面積変化量)} = \sigma_6 / x_6$

σ_4 ：消火時間の標準偏差

x_4 ：消火時間の平均値

σ_5 ：90%CT-T_{KD}の標準偏差

x_5 ：90%CT-T_{KD}の平均値

σ_6 ：油面積変化量の標準偏差

x_6 ：油面積変化量の平均値

変動係数の解釈は、前の発泡性能の評価モデルと同じである。この式から、発泡器別に消火性能指数を算出したものを表12に示す。また、表12をグラフ化したものを図5に示す。なお、指数が発散した場合、グラフのスケールの最大値をとるものとした。

表12 消火性能指数

発泡器	消火時間指数	放射熱抑制指数	耐火指数
A社	5.83	1.97	1.96
B社	3.27	2.52	1.11
C社	8.58	3.03	0.82
D社	5.37	1.65	10

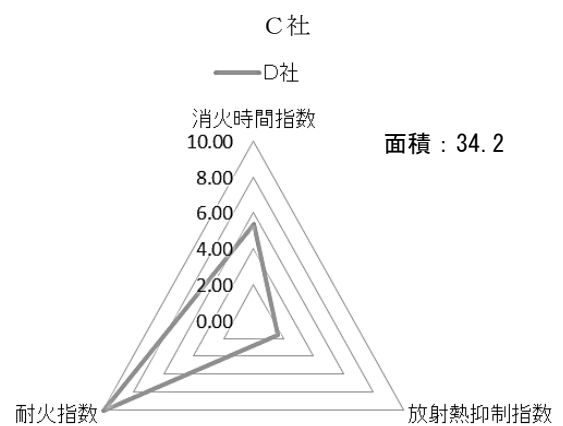
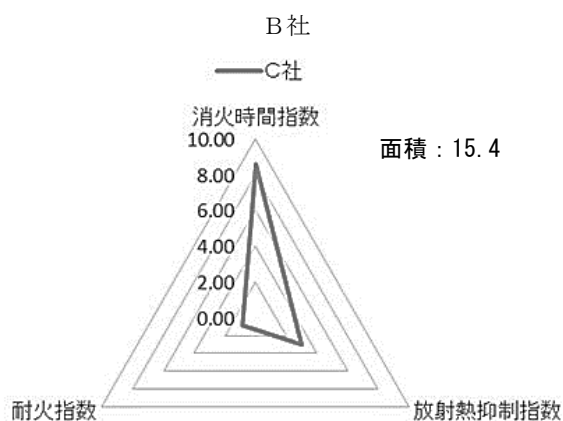
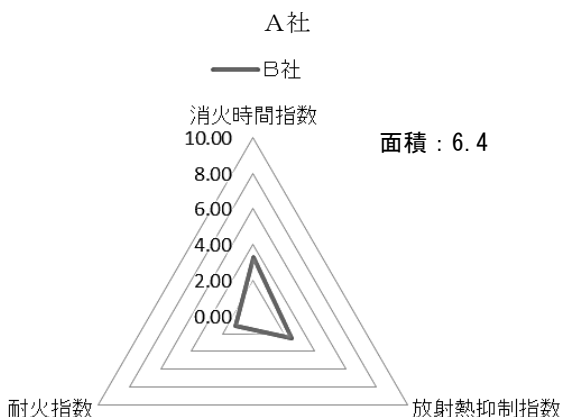
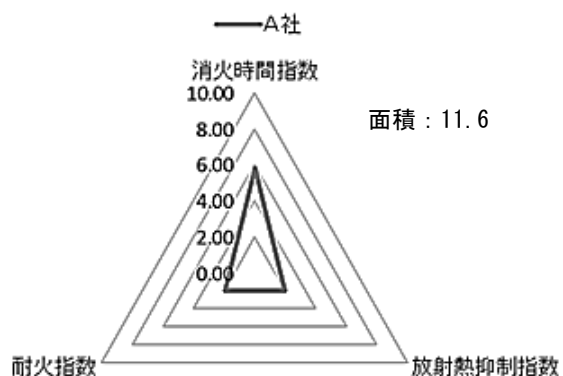


図5 消火性能指数（グラフ）

(ア) 表 12 及び図 5 により各発泡器の消火性能を視覚的に、項目別に評価することができ、消火特性を把握しやすい。また、各発泡器の消火性能指数を用いて算出したグラフの面積を総合的評価として活用することができる。図 5 を例とすると、1 年を通じて、消火性能は D 社が優れていると評価することができる。

(イ) 仮定した評価モデルの式から、変動係数が小さくなるほど優れた発泡器と考えられる。

6 まとめ

前 5 より、前 4 で提案した手法で発泡器具の発泡性能、消火性能の検証を行い、その試験方法及び評価方法の妥当性について確認した。その結果、各発泡器具の評価は、今までの経験を基にした発泡器具の評価と照らし合せ、概ね妥当であると判断した。

(1) 発泡性能試験方法

発泡性能試験は、発泡器の射程、発泡倍率、25%還元時間及び 50%還元時間を測定する。その際に、気温、湿度、水温、原液温を試験前に観測する。発泡性能試験の測定条件及び各測定項目については、次の通りとする。

ア 測定条件

(ア) ポンプ車とラインプロポーションナー間のホース本数の制限はないものとする。

(イ) ラインプロポーションナーと発泡器具間のホースの本数は、最大 2 本までとする。

(ウ) 発泡開始時、発泡器具の根元圧力がメーカー設定値となるようにポンプ車のポンプ圧力を調整する。

(エ) 発泡器具の放射角度は 30 度とする。

(オ) 泡消火薬剤は、当庁に納入されているフッ素たん白泡消火薬剤及び界面活性剤泡消火薬剤を使用する。

イ 測定項目

(ア) 射程は、各発泡器の先端を基準として、そこから放射された泡のうち、泡のまとまりの中心部分が地面に到達した位置までの距離を射程とする。なお、射程を測定する発泡器具は低発泡器及び中発泡器とする。

(イ) 泡の採取方法は、低発泡器についてはコレクター採取または泡衝突板採取、中発泡器及び高発泡器についてはバケツ採取により泡を採取するものとする。

(ウ) 発泡倍率は、次に示す式により算出する。

$$\text{発泡倍率} = V/m$$

V：泡試料コンテナまたはバケツの容量

m：泡の質量（泡水溶液量）

※泡水溶液の比重は 1 とする

(エ) 25%還元時間または 50%還元時間を測定する発泡器具は低発泡器のみとし、次により測定する。

① 泡試料コンテナ（質量既知）2 個に泡試料コレクター等で収集した泡を投入する。

② 泡試料コンテナが泡で満たされたと同時に時間の測定を開始する。

③ 速やかに収集した泡の面を平らにすり切り、泡試料

コンテナの外側に付着した泡を布等でふき取る。

④ 泡試料コンテナの総質量を1g単位で測定し、泡試料コンテナ自体の質量との差から泡水溶液の量を算出し、その25%量及び50%量を求める。

⑤ 泡試料コンテナを測定架台にのせ、メスシリンダーを用いて、泡から還元した泡水溶液の量が前④で求めた量になったときまでの時間をそれぞれ25%還元時間、50%還元時間として測定する。ただし、メスシリンダーを用いて測定開始した時点で、前④で求めた50%量をすでに超えている場合、50%還元時間測定不能として記録する。

(2) 発泡性能試験の評価方法

発泡性能試験で得られた各発泡器具の射程、発泡倍率、25%還元時間または50%還元時間の各平均値、標準偏差をもとに、次に示す式により発泡性能指数を算出し、各発泡性能試験値と併せて発泡器具を比較・評価する。

なお、低発泡器については、発泡性能指数の算出と同時に、得られた発泡性能指数を表計算ソフト等でレーダーチャートを用いてグラフ化して、そのグラフの面積を発泡性能の総合評価として用いることとする。

発泡性能指数_低 ≡ (a, b, c) : 低発泡器

発泡性能指数_中 ≡ (a, b) : 中発泡器

発泡性能指数_高 ≡ (発泡倍率) : 高発泡器

a : 射程指数 ≡ $-\log_{10}(\text{CV}(\text{射程}))$

b : 発泡倍率指数 ≡ $-\log_{10}(\text{CV}(\text{発泡倍率}))$

c : 還元時間指数 ≡ $-\log_{10}(\text{CV}(\text{還元時間}))$

$\text{CV}(\text{射程}) = \sigma_1 / x_1$

$\text{CV}(\text{発泡倍率}) = \sigma_2 / x_2$

$\text{CV}(\text{還元時間}) = \sigma_3 / x_3$

σ_1 : 射程距離の標準偏差

x_1 : 射程距離の平均値

σ_2 : 発泡倍率の標準偏差

x_2 : 発泡倍率の平均値

σ_3 : 還元時間の標準偏差

x_3 : 還元時間の平均値

※低発泡器の発泡性能評価において、射程が20m未満のものは評価しないものとする。

※50%還元時間が測定不能または1分未満の場合、還元時間指数を0とする。

(3) 消火性能試験方法

消火性能試験は、消火時間、 T_{KD} 、90%CT、再着火の有無、油面変化量を測定する。なお、消火性能試験は低発泡器についてのみ行う。発泡性能試験と同様に、消火性能試験前に気温、湿度、水温、原液温を測定する。測定項目は、消火時間、放射熱流束、雰囲気温度、再着火の有無、油面変化量とする。試験方法は次の通りとし、測定条件は発泡性能試験と同じとする。

ア 直径1.2mの円形火皿に、敷き水を30L、ノルマルヘプタンを6.8L投入し、点火棒を用いて着火する（予燃焼は点火から1分間）。

イ 着火から35秒後に発泡器具の放水開始し、泡消火薬剤の混合を開始する。

ウ イの直後、発泡器具の角度を調整し、発泡器具から放射された泡が泡採取板中央に当たるようにする。その際、泡採取板から火皿に伸びるレールの途中をアルミ板で予燃焼が完了するまで火皿に泡が投入されないように遮り、火皿に泡が流入するのを防ぐ。

エ 予燃焼の完了と同時に前ウのアルミ板を除去し、火皿に泡を投入する。このときに消火時間の測定を開始する。

オ 火皿の火が消火されたと同時にストップウォッチを止め、消火時間を測定する。その後、消火直後から15分経過するまでに3回、点火棒を火皿の表面をなぞるように移動させ、再着火試験を行う。再着火試験は5分程度間隔をあけて行う。

カ 再着火試験終了後、火皿の中心部分の泡を15cm角に取り除き、その部分の露出したヘプタンに点火棒等を用いて着火する。

キ 着火後、5分間燃焼させた直後、泡が崩れないよう静かに消火し、ヘプタンの露出面積を測定する。

なお、消火時間測定の間、火勢の変化を比較するため、放射熱流束、火皿周囲の雰囲気温度を測定する。測定機器は、火皿の中心から3mの地点、高さ1mの位置で互いに直行する向きに設置する。

(4) 消火性能試験の評価方法

消火性能試験で得られた消火時間、 T_{KD} 、90%CT、油面積変化量の平均値及び標準偏差をもとに、次に示す式により消火性能指数を算出し、各消火性能試験値と合わせて、発泡器具を比較・評価する。

なお、得られた消火性能指数を表計算ソフト等でレーダーチャートを用いてグラフ化して、そのグラフの面積を算出し、消火性能の総合評価として用いることとする。

消火性能指数 ≡ (i, j, k)

i : 消火時間指数 ≡ $(\text{CV}_{(\text{消火時間})})^{-1}$

j : 放射熱抑制指数 ≡ $(\text{CV}_{(90\%CT-T_{KD})})^{-1}$

k : 耐火指数 ≡ $(\text{CV}_{(\text{油面積変化量})})^{-1}$

$\text{CV}_{(\text{消火時間})} = \sigma_4 / x_4$

$\text{CV}_{(90\%CT-T_{KD})} = \sigma_5 / x_5$

$\text{CV}_{(\text{油面積変化量})} = \sigma_6 / x_6$

σ_4 : 消火時間の標準偏差

x_4 : 消火時間の平均値

σ_5 : 90%CT- T_{KD} の標準偏差

x_5 : 90%CT- T_{KD} の平均値

σ_6 : 油面積変化量の標準偏差

x_6 : 油面積変化量の平均値

※指数が発散した場合、グラフのスケールの最大値をとるものとする。

泡衝突板の図面を図6から図10に示す。

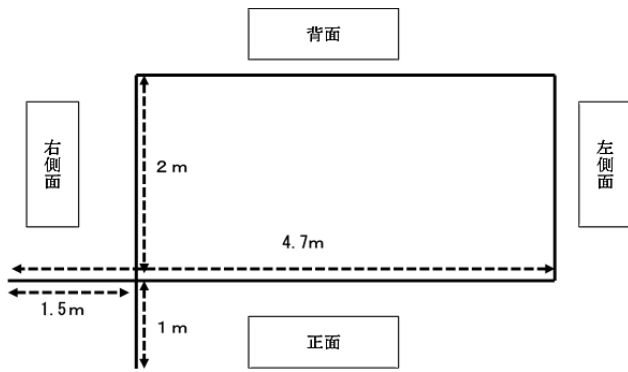


図6 平面図

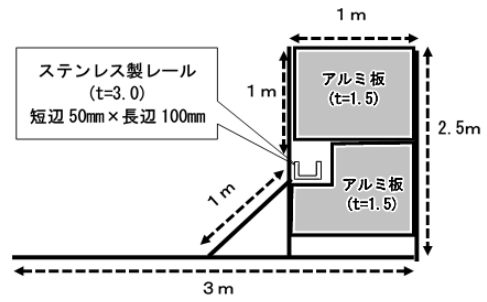


図10 立面図（右側面）

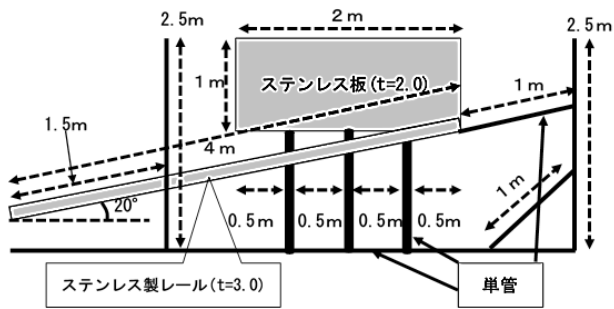


図7 立面図（正面）

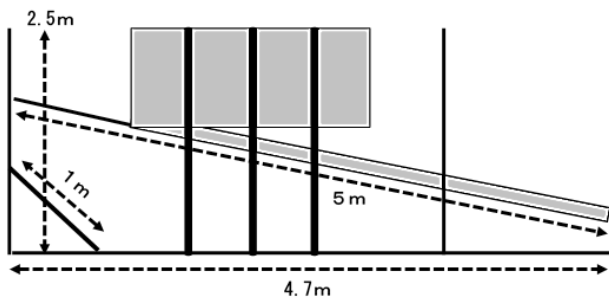


図8 立面図（背面）

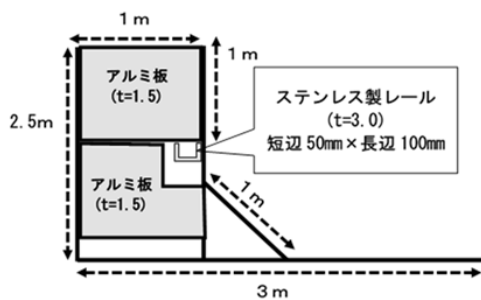


図9 立面図（左側面）

7 おわりに

今後、より優れた測定方法や評価方法が考案され、それが妥当だと裏付けられた場合、最新のものに更新する必要がある。

8 謝辞

本検証に伴い、国立大学法人横浜国立大学大学院の大谷英雄教授より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 総務省消防庁危険物保安室: 泡消火設備の基準に関する検討報告書、p.7、平成23年8月

Study on the Foaming Performance, Fire Extinguishing Performance, etc. of Foaming Equipment

Tetsuya ODA*, Youhei MOCHIMARU*, Atsushi YAMAGUCHI**, Hiroaki YUASA*

Abstract

We devised and conducted a foaming performance test and a fire extinguishing performance test utilizing foaming equipment owned by the Tokyo Fire Department in order to establish a unified performance evaluation method for the foaming performance and fire extinguishing performance of the foaming equipment used by fire units.

As a result of the foaming performance test, we discovered a significant reduction time difference of 25% between different pieces of foaming equipment. This reduction was due to a design difference in the release pressure of each piece of foaming equipment. We did not find a significant difference in the foaming ratio. The result of the fire extinguishing performance test also showed that the stability of foam had a significant effect on its performance. We confirmed that foam, with a long reduction time, has a poor flow rate but a highly stable performance (fire resistance) and that it reliably blocks vapor from the surface of oil and extinguishes fire even when the foam is exposed to flames. Foam, with a short reduction time, has an excellent flow rate but inferior performance in stability (fire resistance). It easily defoams when exposed to flames making it difficult to suppress vapor and taking longer to extinguish fire. Based on the results of the foaming performance test and the fire extinguishing performance test, we were able to create an evaluation model to endorse the characteristics of foaming equipment.