

## 水面に浮遊する燃焼油の拡散制御と消火に関する小規模基礎実験

藤田 勇 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所  
原 正一 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所  
城田 英之 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

### Basic small-size experiment on diffusion prevention and extinguishing of burning oil on the water surface

Isamu FUJITA National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology, PARI  
E-mail: fujita@pari.go.jp  
Shoichi HARA National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology, NMRI  
E-mail: hara@nmri.go.jp  
Hideyuki SHIROTA National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology, NMRI  
E-mail: shirota@nmri.go.jp

#### Abstract

The Great East Japan Earthquake drove many industrial facilities to spill oil to the sea. Some of them caught fire and caused large-scale fire damages. To respond the so-called “Tsunami fire”, effective counter measures to block and extinguish the burning oil on the sea surface is expected. In this study, we conducted basic experiments to respond to the burning oil on the water surface with a small-size test tank. Our study focused the following targets: (1) Bubble curtain to block the burning floating oil drift or diffusion, and (2) Qualitative evaluation of the surfactant spray application method to extinguish the fire on the water. This method disperses the burning oil into the water column which is quite different from the conventional foam-type extinguishing agent widely used for land-based oil fire with respect to the extinguishing mechanism. Our experiments successfully demonstrated the effectiveness of the bubble curtain to control the burning oil drift as well as the quick extinguishing effect of the surfactant application.

#### 1 はじめに

東日本大震災では多数の津波火災が発生している。こうした水面燃焼油への対応では、拡散防止技術と消火技術の両方が基本技術として求められる。

海上における燃焼油の拡散を制御する技術としては、流出油を現場海域で燃やして処理する現場焼却 (In-situ burning)<sup>[1]</sup>に用いられる耐火オイルブームが知られているが、これらは、非常に高価であり、且つ大掛かりな設備であり、緊急時の即時対応には適していない。

消火技術については、陸上施設における通常の油火災には、泡消火剤による窒息消火が多用されるが、海上においては風の影響を受け易く、効果が限定されるなど、有効な対応手法が存在しない状況にある。

こうした状況に鑑み、本研究では、水面燃焼油に対応するための新たな手法の開発につなげるべく、水面燃焼油の拡散防止と消火技術について小規模一次元水路を用いて基礎的な原理確認実験を実施した。

本研究では、燃焼範囲の拡大防止技術として、バブルカーテンを水面燃焼油に適用した。実用化のイメージの一例を Fig.1 に示す。バブルカーテンによる油の流動制御は既往の研究が多々見られるが<sup>[2]</sup>、著者らも、これまで、通常の流出油に対するバブルカーテンの有効性の見地から、バブルカーテン

による油の排除特性の定量的評価を実験ならびに CFD 計算を用いて実施しており、バブルカーテンによる油の排除幅及びバブルカーテンが誘起する水面水平流速のモデル式提案してきた<sup>[3,4]</sup>。本研究では、対象を、燃焼を伴う流出油に拡大して、バブルカーテンが有効であるかどうかを検証した。

水面燃焼油の消火技術としては、水面燃焼油を下面に存在する多量の水に分散させることで消火する分散消火法について検討した。消火実験では、油を水中に分散させる効果を持つ薬剤として、スルホコハク酸ジエチルヘキシルナトリウム、炭酸水素ナトリウム、市販の油処理剤等を用いた。

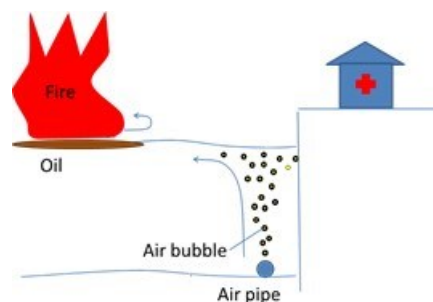


Fig.1 Image of bubble barrier applied to burning oil on the sea surface

## 2 実験

### 2.1 実験装置

本研究で使用した、水面燃焼油の実験水槽を Fig.2 に示す、基本仕様は以下の通りである。

代表寸法：L914×W200×H455

材質：本体：SS400、水槽下面：透明アクリル樹脂 (t8)

空気注入用ソケット：15A 7 箇所

消火蓋：水槽上面ヒンジ開閉式 (SS400)

安全の為、実験水槽は、ケイ酸カルシウム板(t8)を内貼りした耐火ブース(L1,524×W1,524×H2,600)内に設置し、水槽内に所定の水まで水を満たし、水面上に供試油(灯油)を注ぎ入れ、種火を用いて着火させた。実験の観察は、水槽の斜め上方及び、水槽底板(透明アクリル板)下に設置したカメラにより、動画撮影を行うことで実施した。実験時の燃焼の様子を Fig.2 に示す。

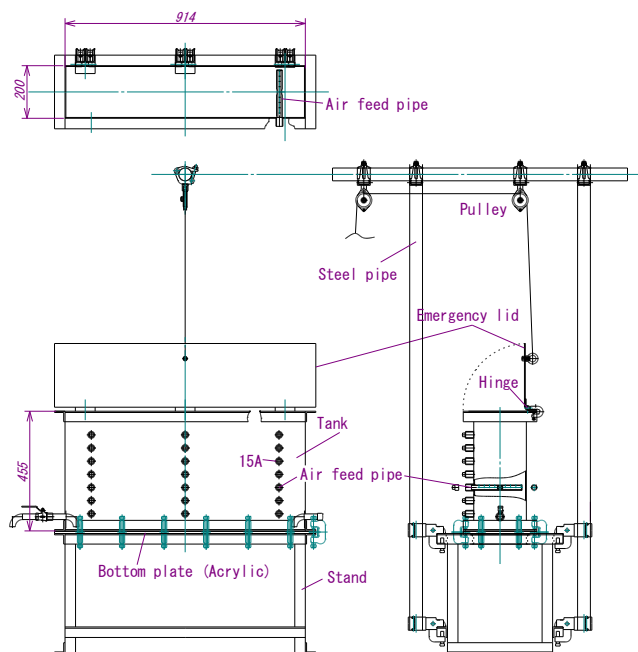


Fig.2 Experimental test tank



Fig.3 Example of burning oil in the test tank

### 2.2 バブルカーテンによる水面燃焼油の流動制御実験

空気散布管は水槽の右側水深 35cm の位置 (Fig.3 において橙色のホースがと取り付けられている位置) に、水槽短尺方向を横断するように設置した。管には 20mm ピッチで  $\phi 1.5$  の穴が 9 箇所設けられており、そこから気泡が放出されるようにした。空気流量を 10~160l/min に変化させ、水面燃焼油の挙動を観察した。

### 2.3 分散剤散布による消火実験

分散剤散布による消火実験では、水槽内で燃焼する油に対して右側からバブルカーテンを適用して、水槽左側に火焰溜まりを形成した上で、火焰溜まりに対して、手で保持したフラットノズル (Fig.4) から分散処理剤を散布し、散布開始から鎮火するまでの時間を計測した。

フラットノズルの噴出特性を Fig.5 に示す。

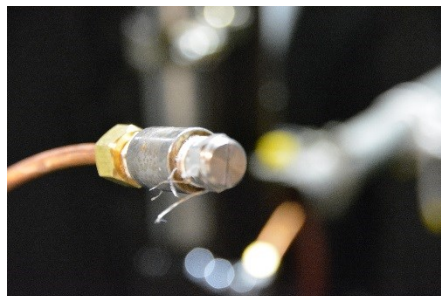


Fig.4 Spray nozzle used for extinguishing experiment

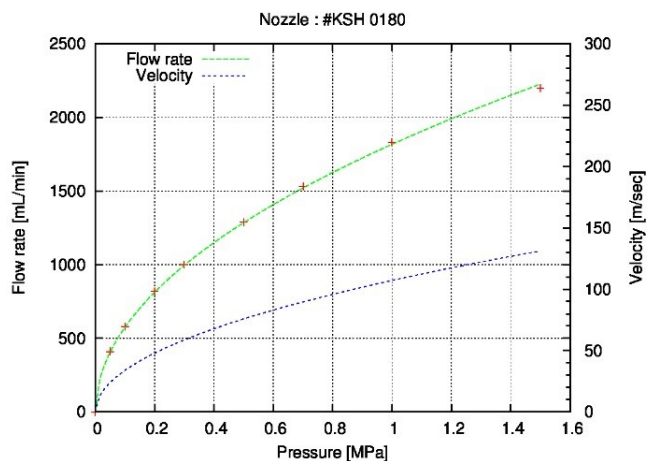


Fig.5 Nozzle performance

分散剤としては、

- ① スルホコハク酸ジエチルヘキシルナトリウム (OTP-75)
- ② モノラウリン酸ポリエチレングリコール (MYL-10)
- ③ 炭酸水素ナトリウム (重曹)
- ④ 油処理剤 (NEOS AB3000)

を使用し、散布流量はダイヤフラム式薬注ポンプにより制御した。

## 4 結果と考察

### 4.1 バブルカーテン

引火した油に対するバブルカーテンの効果に関して、供給空気量が小さい場合(供給空気量=10 l/m)と大きい場合(Q=60 l/min)の二通りの結果を Fig.6 に示す。図の左側が水槽下面からの撮影で、右側は水槽斜め上方からの撮影で、空気の放出開始から2秒おきの連続写真画像である。左右の写真はおおよそ時間的には同期がとれている。燃焼している油はバブルの発生により、左側に寄せられていることがわかる。このことは、油が燃焼していても、燃焼していなくても、バブルにより漂流の制御が可能であることを示すものである。



Fig.6 Demonstration of burning oil exclusion by bubble curtain

### 4.2 分散剤散布による消火

分散剤散布による消火実験の一例を Fig.7 に示す。図はスルホコハク酸ジエチルヘキシルナトリウム (OTP-75) に、工業用アルコールと水を 1:1:3 の割合で混合した散布剤を 2000ml/min の流量で、燃焼している灯油 400ml に散布した場合である。消火時間は 8.47 秒であった。目視観察によると、薬剤散布に伴い水面に多少の泡は発生するものの、その量は左程多くなく、いわゆる泡消火剤における窒息消火とは異なり、油の水中分散による除去消火ならびに冷却消火のメカニズムが支配的に作用していると思われる。

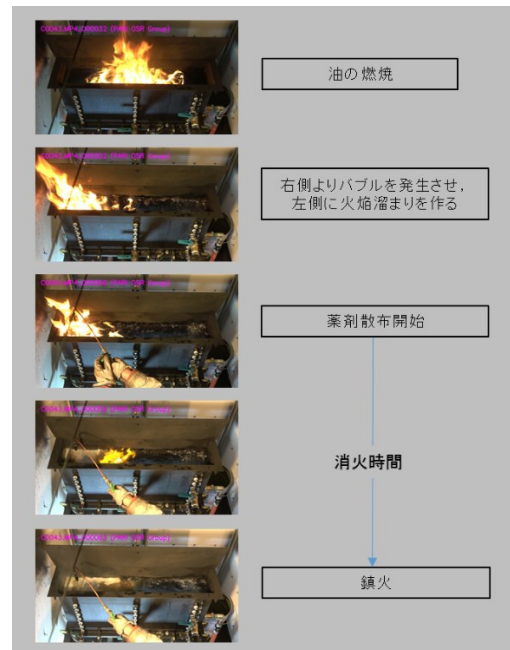


Fig.7 Dispersion extinguishing with OTP-75 solution

Table 1 Comparison of time to extinguishing fire

#	Spray agent	Burning Oil	Time to extinguish [s]
(1)	Water	Kerosene	82.6
(2)	Sodium bicarbonate aq. solution	Kerosene	37.2
(3)	MYL-10 solution	Kerosene	7.4
(4)	OTP-75 solution	Kerosene	8.5
(5)	Oil dispersant (*)	Kerosene	16.6
(6)	Water (**)	Kerosene/ Oil dispersant	10.5

(\*) Diluted to twice with water

(\*\*) Spray oil dispersant gently to the oil before ignition and strong water spray applied to the oil after ignition

その他の分散剤を含めた消火時間の比較を Table 1 に示す。いずれも水面燃焼油(灯油)の量は 400ml であり、散布(1)は、比較用に水のみを 2000ml/m でスプレーした場合で、消火に要する時間は 82.6 秒であった。(2)は重曹水 (pH 8.5) の散布、(3)はモノラウリン酸ポリエチレングリコール溶液(希釈率は



OTP-75と同じ), (4)は前述, (5)は市販の一般型油処理剤を水で二倍に希釈した物である。一般的な油処理剤は, 界面活性剤を有機系の溶媒に溶かしたのとなっており, 油の分散処理に際しては, 原液をそのまま使用し, 希釈してはいけないと言われているが<sup>5)</sup>, 今回の実験では, 原液散布は火焰を増大させ, 危険であることから, 水で二倍に希釈し, 可燃性を下げたものを使用した。ケース(6)はケース(1)~(5)と異なり, 油に対して20vol%の油処理剤を水面上の油に, 攪拌させないように優しく散布したものに点火し, それに対して(1)と同様に水を散布したものである。

これらの結果を比較すると, 界面活性成分を含まない単なる水消火の場合に82.6秒を要していた消火時間が, 界面活性剤を含む消火剤の場合には, 10~16秒と劇的に短縮されていることがわかる。水消火の場合には, 生成される油滴は大きく, さらに, 水中に分散したものは再び会合し, 水面に戻って来て, 再度燃焼するのに対し, 界面活性剤を含む消火剤の場合には, 界面活性剤の効果により, 油水界面の界面エネルギーが小さくなっているので, 生成された油滴は細かく, 且つ安定して水中に留まることから, こうした違いが生まれたものと考えられる。また, ケース(6)は, 流出油が油処理剤で処理されていれば, 火災を発生した場合でも, 洋上であれば, 水により消火が可能である可能性を示している。

ケース(2)は, 油性の汚れの洗浄にアルカリが, 効き目があるといわれることから試したもので, 消火時間で比べると, 水消火よりは効果が認められたが, 一方で界面活性剤程の効果は見いだされなかった。

以上の実験をまとめると, 陸上における油火災の場合には, Fig.8の上を示すように, 泡により燃焼油を覆うことによる窒息消火が主として用いられるが, 海上流出油火災の場合には, 図の下に示すように, 多量の海水が下面に存在するので, この中に燃焼油を分散させることで, 効率的に消火が行える可能性があることがわかった。

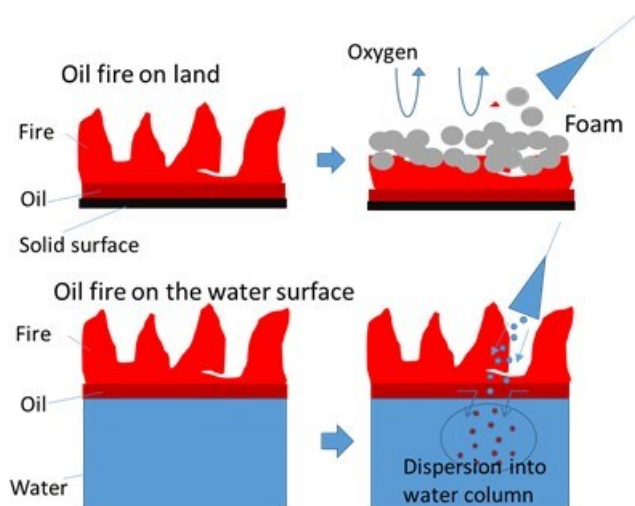


Fig.8 Dispersion extinguishing and comparison to foam extinguishing

## 5 まとめ

火災を伴う海面流出油対応として, 小規模な一次元実験水槽模型において, 実際に燃焼を伴う油に対してバブルカーテンを適用し, 燃焼油に対してもバブルカーテンが有効であることを確認した。

海面流出油火災の新たな消火方法に繋がる技術として, 水中への油の分散促進を行うことで, 燃焼油の迅速な消火が可能であることを実験から明らかにした。

## 謝辞

本研究は国土交通省港湾局からの受託研究として行われた。実験に際しては, (株) エコーにご協力頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

## 参考文献

- 1) M. Fingas, The basics of oil spill cleanup—3<sup>rd</sup> ed. pp.147-161, CRC Press, 2013
- 2) T. McClimans, I. Leifer, S. H. Gjosund, E. Grimaldo, P. Daling, F.Leirvik: Pneumatic oil barriers: The promise of area bubble plumes, J. Engineering for the Maritime Environment, Vol 227, No. 1, pp.22-38. 2012
- 3) S. Hara, M. Ikai, S. Nmaie: Two-dimnsional Plume Induced by the Air Bubbles in Water (Fundamental Study on an Air Bubble Type of Oil Boom), Technical report of NMRI, Vol. 22, No. 3, pp.261-285, in Japanese, 1985
- 4) I. FUJITA: Bubble curtain for blocking spilled oil on water surface, Techno-Ocean, DOI: 10.1109/Techno-Ocean.2016.7890678, 2016
- 5) 例えば, <http://www.umitonagisa.or.jp/pdf/manual/aburashorizai.pdf>