

# 自動車運搬船の高膨張泡消火設備

太田 進\*

## 1. はじめに

ある種の消火設備である種の火災が消えるか否かと聞かれれば、「消えたり消えなかったりする」としか答えようがない。なぜなら、火災とは制御されていない燃焼であるため、その性状は千差万別であり「同じ火災」というものは存在し得ないからである。そのため消火設備の性能は、実際の火災ではなく、再現性を有する「試験火災」を消火できるか否かで評価することになる。一方で、自動車運搬船の貨物区域を想定した試験火災は、国際的には規定されていない。

電気自動車の火災の性状については、本特集の「電気自動車海上安全輸送について—電気自動車の火災の特徴と対応指針について—」で言及されているが、高膨張泡消火設備の有効性という観点では、自動車の火災と電気自動車の火災を分けて論じるほど、詳細は分かっていない。そのため以下では、電気自動車の火災に特化せず、自動車運搬船の貨物区域における火災に対する高膨張泡消火設備の有効性について、現時点で得られている情報を記載する。

近年、高膨張泡消火設備が搭載された自動車運搬船の貨物区域の火災において消火に奏功しなかった例が複数報告されている。出火燃焼物が自動車か否か、高膨張泡消火設備が起動されたのか否かを含め、その詳細は不明であるが、こうした事故を契機として、一般財団法人日本船舶技術研究協会（以下「本会」と呼ぶ。）は、これら事故のうち2019年に発生した二件を踏まえ、国内関係者を構成メンバーとする「自動車運搬船の火災事故再発防止検討会」を設置し、当該事故船の構造・仕様や実際の事故情報等を踏まえた上で安全対策の検討を進め、同様の事故の再発防止のため、具体的な安全対策として「固定式泡消火装置の効果的な使用のための改善策」を2021年3月にとりまとめた。その結果は、国土交通省安全政策課の通達<sup>1)</sup>に反映されている。また、高膨張泡消火設備のメーカーである株式会社カシワテック（以下、「カシワテック」と呼ぶ。）は、日本海事協会等の補助の下、実験的な研究を実施し、設備の有効性を確認しているところである。さらにこ

れらの事故においては、速やかに貨物区域に消火用の泡が供給されていなかった可能性もある。そのため本会は、高膨張泡消火設備の信頼性向上のため「高膨張泡消火設備の作動の信頼性向上に係る検討会」を設置し、保守・点検マニュアルの改善を図った。以下では、これら研究の概要を紹介する。

## 2. 自動車運搬船の貨物区域における高膨張泡消火設備

### 2.1 固定式消火設備と防火構造

近年日本で建造された多くの自動車運搬船（Pure Car and Track Carrier：PCTC）の貨物区域（車両甲板）は高膨張泡消火設備で保護されている。ここでは、自動車運搬船として貨物船のみを想定し、いわゆるRo-Ro旅客船については論じない。また、一般に自動車運搬船は、暴露甲板上には貨物区域を有しないので、以下では、閉囲された貨物区域のみについて論じる。

以前のSOLAS条約附属書第II-2章では、自動車運搬船の貨物区域（貨物船のro-ro貨物区域）には、固定式ガス消火設備が要求されていたが<sup>2)</sup>、2002年7月1日に発効したSOLAS条約附属書第II-2章の全面改正<sup>3)</sup>により、固定式ガス消火設備に代えて高膨張泡消火設備を用いることが認められた<sup>4)</sup>。この条約改正の際には、併せて国際火災安全設備（FSS）コード<sup>5)</sup>が採択され、その後2014年7月1日発効のSOLAS条約附属書改正（第II-2章の改正を含む）<sup>6)</sup>により、自動車運搬船の貨物区域はFSSコードを満足する固定式のガス消火設備、高膨張泡消火設備または水系消火設備で保護すべきことが明記された<sup>7)</sup>。

自動車運搬船の貨物区域で用いられる固定式ガス消火設備は炭酸ガス消火設備であり、炭酸ガスの量としては、保護する最大の区画の45%の体積が要求される。そのため、保護する貨物区域が広大になり過ぎると、備え付けるべき炭酸ガスが現実的な量ではなくなるため、貨物区域を複数の防火区画に区切る必要が生じる。図1は、炭酸ガス消火設備を用いた船の貨物区域の防火構造の例であり、図中のA～Gが防火区画である。この例では、3～4層に1層

\* 一般財団法人日本船舶技術研究協会審議役

の甲板を気密にした上で、船の中央付近に閉鎖できる開口部を有する隔壁が設けられている。甲板を気密にするには、ラッシングホールも気密にする必要がある点に留意されたい。

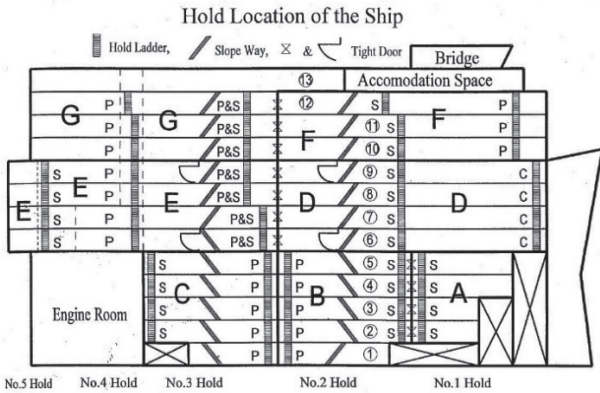


図1 自動車船貨物区域の防火区画化の例

以前はこうした防火区画を構成するための仕切りにはA-0（エーゼロ）級が要求されていた。即ち、鋼構造であれば、特段の防熱措置は要求されていなかった。しかし、前述の2014年発効のSOLAS条約改正により、こうした防火仕切りにはA-30級の防熱が要求されることになった。即ち、鋼構造であっても、水密扉を除いては、断熱材の施工が要求されることになった。そのため今後も、自動車運搬船の貨物区域における固定式消火設備としては、高膨張泡消火設備が多く採用されると考えられる。

2.2 高膨張泡消火設備に要求される性能

SOLAS条約附属書第II-2章が全面改訂された際のFSSコード<sup>5)</sup>には、自動車運搬船の貨物区域の消火設備としてではないが、泡消火設備も規定されている。泡（原液）の性状に係る要件を除けば、主要性能は以下の通りである。

- 泡を積み上げる速さ（積泡速度）は毎分1 m以上
- 最大の区画を5回泡で満たせること

なお、固定式ガス消火設備に代わる設備に関するガイドライン<sup>8)</sup>も脚注引用されていたが、このガイドラインは、高膨張泡消火設備については、特段の言及はなかった。

2014年発効のSOLAS条約改正に先立って、FSSコード第6章（泡消火設備）が改正された<sup>9)</sup>。この改正により、高膨張泡消火設備の性能としては、基本的には保護する最大の区画を10分以内に泡で満たすことが要求されるようになった。また、コードの脚注にあるガイドライン<sup>10)</sup>では、火災試験も規定されており、例えば、発熱率が5.8MW±0.6MWの油噴霧火災と、油を入れた4m<sup>2</sup>と3m<sup>2</sup>の二段のトレ

イの火災を同時に消火する試験が規定されている。

2.3 高膨張泡消火設備の種類

2.3.1 FSSコードに記載されている方式

FSSコード第6章は、発泡方式と発泡器の設置場所の違いにより、表1に示す3種類について規定している<sup>11) 12)</sup>。

表1 高膨張泡消火装置の種類

発泡方式	発泡器設置場所	FSS第6章の 関係する節
インサイドエアー	保護区画内	3.2
アウトサイドエアー	保護区画外	3.3
	保護区画内	3.5

2.3.2 インサイドエアー方式

図2に示す通り、発泡器に水と消火液を混合した泡溶液を供給し、ノズルから発泡ネットに泡溶液を放射することで周辺の空気を同伴し発泡させる設備である。発泡器を保護する区画内に設置し、区画内の空気を使って発泡することからインサイドエアー方式と呼ばれている。船舶においては機関室や貨物燃料油室で用いられている。

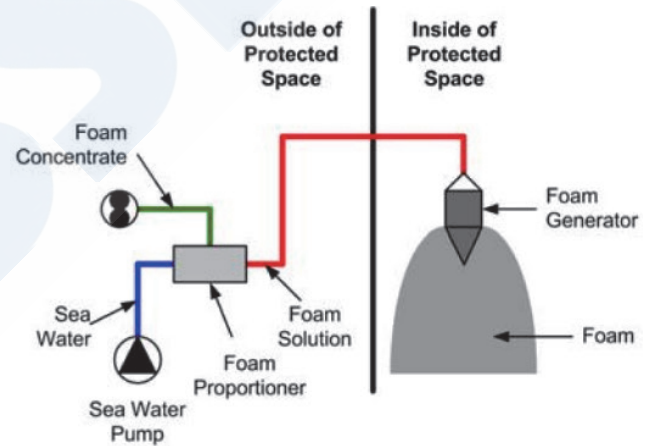


図2 インサイドエアー方式

2.3.3 アウトサイドエアー方式（発泡器：保護区画外）

図3に示す通り、機械送風機を使って消火区画外の空気を発泡器に供給することで発泡するものであって、発泡器を保護する区画の外に設置する設備である。発泡器で生成した泡は、泡移送用の専用ダクトを通じて保護する区画内に供給される。ダクトが長くなると、ダクト内壁との摩擦によって高膨張泡がつぶれてしまうため、ダクトを長くすることができず、昨今の大型化が進んだPCTCでは効率的ではない方式であり採用されていない。

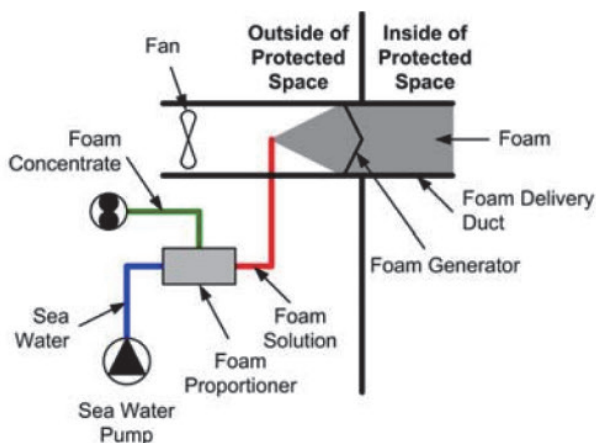


図3 アウトサイドエアー方式（発泡器：区画外）

### 2.3.4 アウトサイドエアー方式（発泡器：保護区画内）

前述の方式と同様に機械送風機で保護する区画外の空気を発泡器に供給して発泡する原理のシステムであるが、図4に示す通り、発泡器を保護する区画内に設置する点が異なっている。一般にPCTCに採用されているのはこの方式である。機械送風機から発泡器までを繋ぐダクトに空気が流れ、発泡器は消火区画内で泡を生成することから、大型の船舶においても泡の損失が少ない。

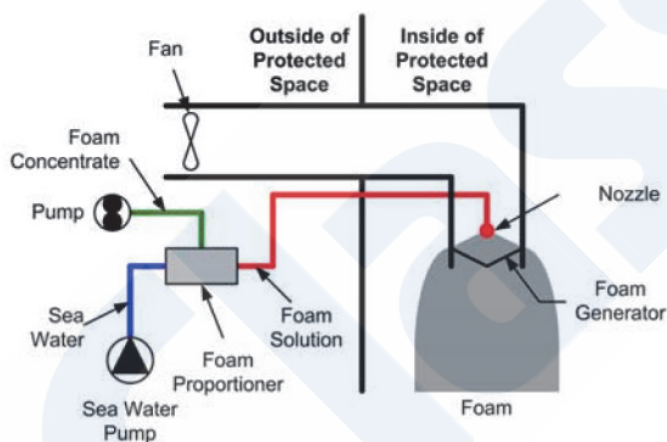


図4 アウトサイドエアー方式（発泡器：区画内）

## 2.4 固定式消火設備と火災時の対応

消火活動の成否は、火災発生から消火開始までの時間にも関係するため、消火設備は、可能な限り素早く起動すべきである。

火災が発生した際の対応の順序はFIREで表されることがある。即ち、まずは発見（Find）し、次に通知を含め周囲に知らせ（Inform）、火災を抑制し（Restrict）、消火に当たる（Extinguish）のが正しい手順であるとされている。このうちRestrictのためには、通風の遮断が行われる。船舶の乗組員も火災の際には通風を停止し、開口部を閉鎖するよ

うに訓練されている。これに対して、自動車運搬船の貨物区域で高膨張泡消火設備を用いるには、所定の通風ダクト（空気抜きを含む）を開ける必要がある。火災の際に一度通風ダクトを閉めて、初期消火が奏功せず、高膨張泡消火設備を使う段階になって、改めて通風ダクトを開けるという手順では、設備を起動させるまでに時間を要する。そのため、高膨張泡消火設備で保護されている区画については、通風遮断の手順を省くことが推奨される。前述の国土交通省安全政策課の通達<sup>1)</sup>の中でも、高膨張泡消火設備の起動までの時間を短縮するため、通風筒の蓋の閉鎖を省略すること（常時開放または自動起動化）が推奨されている。

## 3. 高膨張泡消火設備の作動の信頼性向上に係る検討

既存の高膨張泡消火設備のうち、自動化の程度が高くないものでは、発泡までに以下のうち・で示す手順が必要とされる。

- 船員による火災発生場所と火災規模の確認
- 泡を放出する区画の全ての換気設備の開放を確認
- 「制御盤」（主制御盤または副制御盤）で「システムスタンバイボタン」を押す
  - 自動的に「泡放出警報」が対象区画で鳴り「換気ファン」が停止
- 「制御盤」上で「水圧ランプ」と「泡原液圧力ランプ」の点滅及び主発電機の動作ランプの点灯を確認
- 「泡消火ポンプ」の作動ボタンを押す
- その作動ランプ（緑色）の点灯を確認
- 水圧が上がり「水圧正常」のランプが点灯したことを確認
  - 自動的に「水供給弁」など各種バルブの開放を示すランプも点灯
  - 「泡原液圧力正常」のランプが点灯
  - 「泡放出可能」のランプが点滅
- 泡放出区域に人がいないことの確認
- 「泡放出ボタン」を押す
  - 「泡放出」ランプが点灯
  - 「泡放出弁」が自動的に開放され、「泡放出弁開放」のランプが点灯
- 各甲板の「泡発生装置」付近の「泡ダンパー」の通風側開口が自動閉鎖され、空気が「泡発生装置」に届く道ができて「泡ダンパー開放ランプ」が点灯
  - 自動で「空気供給ファン作動ランプ」が点灯

⇒ ここまでの手順を経て「泡の放出」開始  
 (・ 火災消火の確認後は「停止ボタン」を押す)  
 (・ 泡があふれていることを確認 (トップデッキの開口から泡があふれていることを目視) し泡放出を停止⇒必要があれば再稼働)

こうした複雑な手順は、スイッチ一つでも故障していれば正しく実施することはできない。近年ではもっと自動化の進んだ設備が主流になりつつあるが、自動化が進んだとしても、個々の部品等の不具合があれば、設備が有効に機能しないことはこれまでの装置と同様である。また、船倉の換気と泡の放出を切り替えるための泡ダンパーは、整備が悪いと、固着してうまく作動しないおそれがあり、且つ、整備も容易ではないので、注意が必要と考えられている。なお、近年では、この泡ダンパーを省いた設備もある。高膨張泡消火設備は、設備の作動に起因する貨物へのダメージを防止するため、最初は清水を用いて発泡させ、その後、海水による発泡に切り替えるものが一般的であったが、信頼性の観点から、最初から海水で発泡させることを検討している船会社もある。いずれにせよ整備は重要であり、乗組員に分かり易いマニュアルの整備も必要であることから、本会は2023年度に調査研究を実施し、保守・点検計画を策定するためのガイドライン (近日公開) を策定した。

#### 4. 自動車一台の火災を想定した消火・抑制実験

##### 4.1 電気自動車火災の消火・抑制実験

カシワテックは、日本海事協会及び船会社の協力の下、2022年10月28日に日本自動車研究所において、リチウムイオン電池 (ラミネート型, 24kWh) を搭載した電気自動車 (BEV) を用いて外気式高膨張泡消火設備による消火実験を実施した<sup>12) 13) 14)</sup>。全体のセットアップを図5に示す。BEVは泡を通さない網で覆い、横から泡を供給した (図6参照)。最初に一定程度の火勢になるまでBEVを燃焼させ (図7参照)、その後に発泡倍率900倍の泡を積泡速度が毎分1mになる率で供給した (図8参照)。この条件下においてBEVの燃焼は消し止められた (図9参照)。

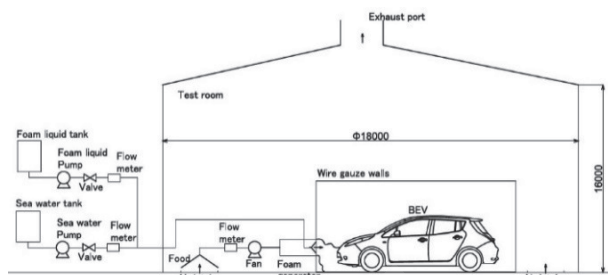


図5 試験のセットアップ (全体)

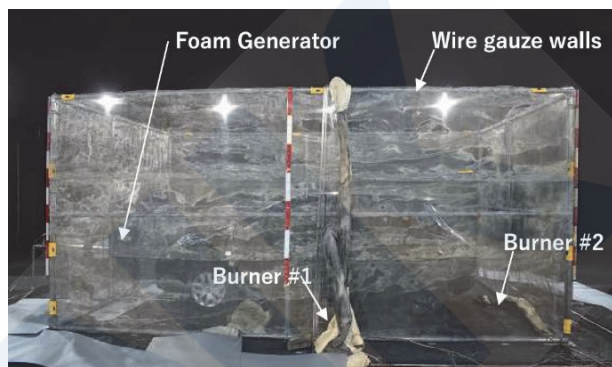


図6 自動車を網で覆った様子

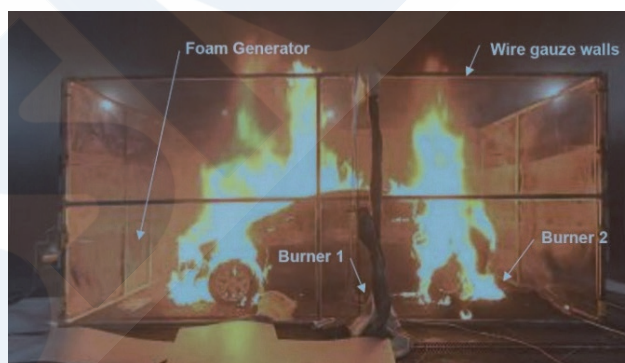


図7 火勢期の様子 (消火設備作動前)



図8 自動車が泡に覆われていく様子



図9 消火後網を取り外したところ

## 4.2 車両を模擬した試験火災による消火・抑制実験

カシワテックはさらに、試験火災（1台）を用いた消火・抑制実験を実施した<sup>15)</sup>。各種消火剤の消火・抑制限界は、木材クリブなどの定型火源では、消火剤の供給速度と消火に要した時間の関係（以下、限界供給曲線）で評価されてきた。これに倣って、この実験では、積泡速度を変えて消火までに要する時間を計測し、限界供給曲線を作成した。

試験火災は、自動車を模擬したモックアップで覆った1～3台のトレイ（1.2m<sup>2</sup>の矩形）にノルマルヘプタンを入れて燃焼させるもので、モックアップは、試験火災としての発熱率を確保するため、空気は通すが消火用の泡は通さないパンチングメタルを用いて製作した（図10参照）。消火を行わずに発熱率を計測したところ、トレイが1台、2台及び3台の場合の平均値は、それぞれ2.7MW、4.5MW及び6.3MWであった。

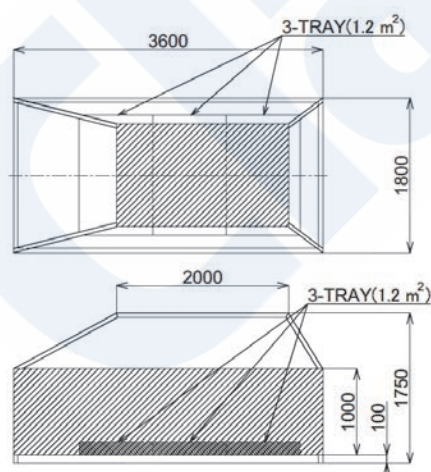


図10 試験火災用車両モックアップ  
（天井は鋼板、側面と床面はパンチングメタル）

実験では、トレイの燃料に着火し1分間予備燃焼させた後に泡の供給を開始した。泡を供給し車両模型の前方に泡が積み上がっていくと、車両模型後方

から前方への燃焼空気の流れが形成され、真上に立ち上がっていた炎はフロントガラスを模した開口部分から噴き出すように変化した。車両模型前方に積み上がった泡はフロントガラス開口高さまで到達するとフロントガラス開口から噴き出す熱流に吹き飛ばされる状態となった。泡の供給速度がこの熱流に勝り車両模型の内部に泡が流れ込んでいくとトレイ油面を泡が覆い消火・抑制が奏功した。泡の供給速度が熱流に負けて車両内部に入り込めない平衡状態が数分間続いた場合は消火できないと判断した。発泡倍率が900倍の泡の限界供給曲線を図11に示す。

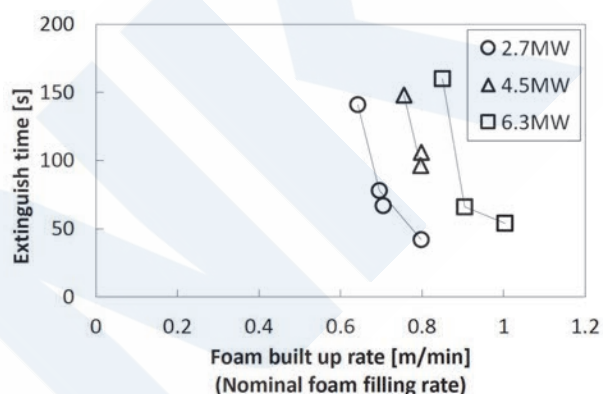


図11 高膨張泡の限界供給曲線

発泡倍率900倍の泡の車両1台規模の火災（4MW）の消火・抑制に必要な積泡速度は図より0.72m/min程度と推定された。実際の船舶の設備は最低1m/minの積泡速度で設計されていることから一定程度の余裕はあるが、この発泡率（積泡速度）で、泡が貨物区域内を流動展伸していく中での消失を補えるか否かの検証は、今後の課題であるとされた。

## 5. 複数台の自動車を想定した試験火災による消火・抑制実験の計画

カシワテックは日本海事協会の協力の下、複数台の試験火災及びモックアップを用いた消火・抑制実験を行う予定である。セットアップの案を図12に示す。この実験により、より実際に近い条件下での高膨張泡消火設備の有効性が評価できると考えている。

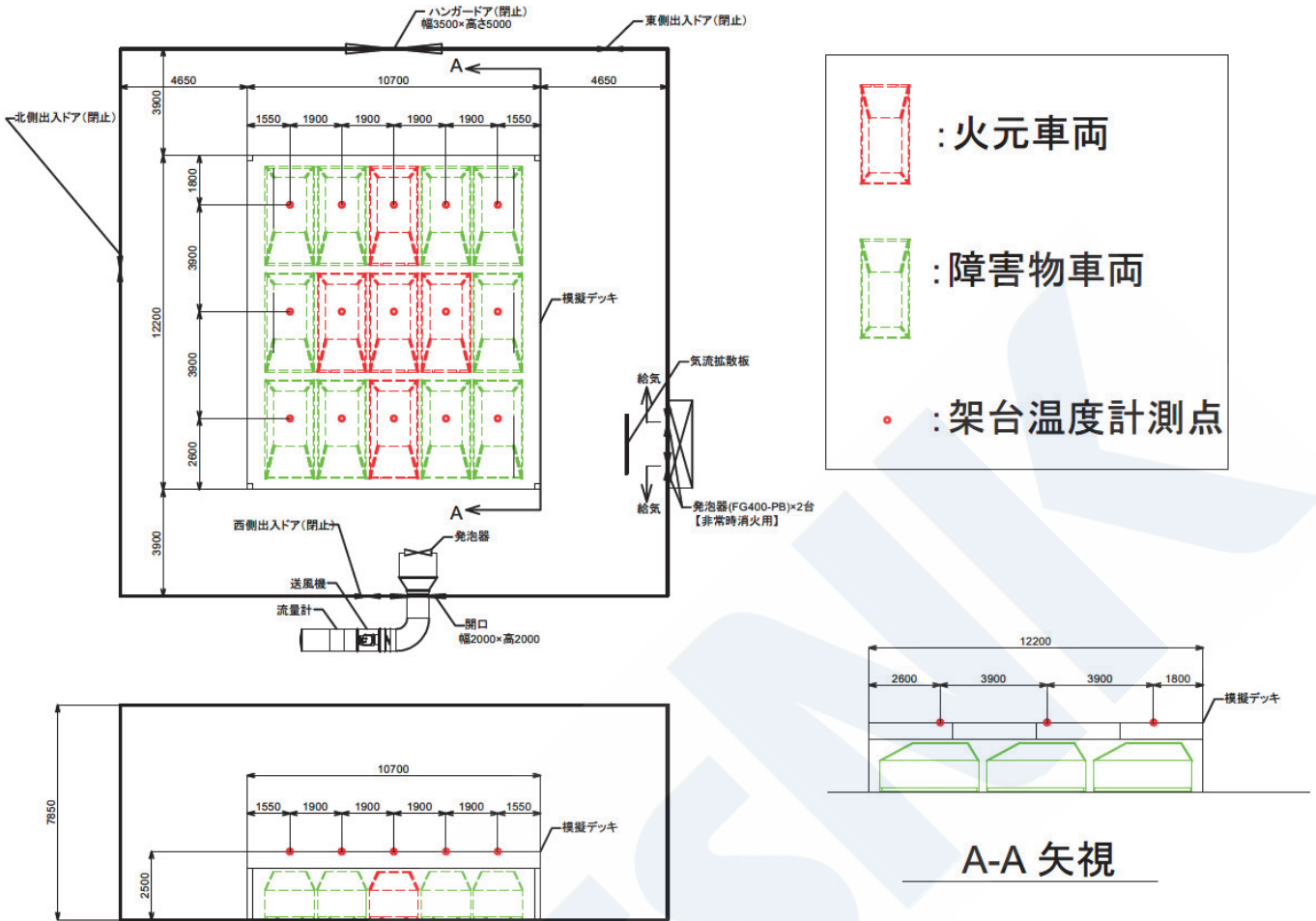


図12 複数台の自動車を想定した試験火災による消火実験のセットアップ案

## 6. おわりに

高膨張泡消火設備による消火・抑制が奏功するかどうかは、火災が発生した貨物区域に発泡するタイミングに依存する。そのため、消火・抑制の成否は、高膨張泡消火設備の単独の性能のみならず、火災探知の能力や、必要な電力の確保（発電機の起動）、通風設備の準備等を含む船舶全体の自動化の程度、さらには運用の適否にもよる。また、高膨張泡消火設備を含む各種安全装置が十分に整備され、素早く運用できる状態が維持されていなければ、消火・抑制は期待すべくもない。今後、ここに示した各種研究成果が活用され、自動車運搬船の火災安全性が向上することを期してやまない。

### 参考文献

1) 国海安第28号（令和3年6月10日）大型自動車運搬船における火災事故発生時の被害低減に向けた改善措置について～固定式泡消火装置の効果的使用に向けて～

- 2) 旧SOLAS条約附属書第II-2章第53規則第2.2.1項
- 3) 決議MSC.99(73) "Adoption of amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended", 採択：2000年12月5日，発効：2002年7月1日
- 4) 決議MSC.99(73)で改正されたSOLAS条約附属書第II-2章第20規則第6.1.1.2項
- 5) 決議MSC.98(73) "Adoption of the International Code for Fire Safety Systems", 採択：2000年12月5日，発効：2002年7月1日
- 6) 決議MSC.338(91) "Adoption of amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended", 採択：2012年11月30日，発効：2014年7月1日
- 7) 決議MSC.338(91)で改正されたSOLAS条約附属書第II-2章第20規則第6.1.1項
- 8) MSC/Circ.914 "Guidelines for the approval of alternative fixed water-based fire-fighting systems for special category spaces", 承認：1999年6月4日

- 9) 決議MSC.327(90) "Adoption of amendments to the International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)", 採択：2012年5月15日, 発効：2014年1月1日
- 10) MSC.1/Circ.1384 "Guidelines for the testing and approval of fixed high-expansion foam systems", 承認：2010年12月10日
- 11) IMO文書FP 54/3/4 by the Republic of Korea "Performance testing and approval standards for fire safety systems, High-expansion foam fire-extinguishing system using outside air with generator installed inside the protected space"
- 12) 鈴木陽介・太田垣二郎「電気自動車火災に対する高膨張泡消火装置の効果について」, 日本火災学会誌「火災」386号 (Vol. 73, No. 5, 2023) 2023年10月
- 13) IMO文書SSE 9/INF.4 by Japan "Any Other Business, Experimental test on lithium-ion-battery-powered vehicle fires with outside air high-expansion foam fire-extinguishing system"
- 14) "Experimental study on the effectiveness of outside air high-expansion foam fire-extinguishing system on fires on battery-electric vehicles powered by lithium-ion-battery", 1 FEB. 2023, Kashiwa Tech Co., Ltd. HEA-00499, URL: <https://www.kashiwa-tech.jp/doc/HEA-00499%20BEV%20Fire%20Test%20Report.pdf>
- 15) 鈴木陽介 (株式会社カシワテック)「乗用車1台の火災に対する高膨張泡消火装置の抑制限界」2024年度日本火災学会研究発表会講演集 (予定)