

# コンテナホールド(船倉部)向け固定式泡 消火装置に関する研究開発

株式会社 カシワテック

一般財団法人 日本海事協会

2020年7月31日

## 研究内容

第1章	はじめに .....	1
第1節	研究背景.....	1
第2節	研究目的.....	1
第2章	コンテナ運搬船の火災・爆発事故.....	2
第1節	火災・爆発事故の統計.....	2
第2節	貨物区域における火災・爆発事故のリスク .....	4
第3章	カシワテック 固定式泡消火装置の概要.....	9
第1節	固定式泡消火装置(機関室、燃料ポンプ室、PCTC カーホールド向け) .....	9
第2節	コンテナホールド向け固定式泡消火装置.....	15
第4章	研究手法 .....	20
第1節	SOLAS 条約の制限.....	20
第2節	同等性評価の方法論.....	20
第5章	同等性評価の実施.....	31
第1節	リスクアセスメントの結果.....	31
第2節	安全対策の実施.....	32
第6章	研究結果 .....	50
添付資料	.....	51

## 第1章 はじめに

本報告書は、株式会社カシワテック(以下、カシワテック)と一般財団法人日本海事協会(以下、NK)が共同研究として行った、コンテナ運搬船の船倉部分(以下、コンテナホールド)に搭載される固定式炭酸ガス消火装置(以下、CO<sub>2</sub> 消火装置)に代えた固定式泡消火装置(以下、泡消火装置)の搭載に関して、その研究結果を報告するものである。

### 第1節 研究背景

これまで海上人命安全条約(以下、SOLAS 条約)においては、コンテナホールド向けの固定式消火装置として CO<sub>2</sub> 消火装置の搭載が要求されてきた。

一方、ハッチカバー隙間部等からの消火剤の漏洩による影響の大きさや消火剤の放出回数少なさの点から、同区画に対する泡消火装置の開発を複数の船主から製造者であるカシワテックに望まれている。本装置の開発が進み、実船搭載に向けて旗国主管庁の承認を得る際には、NK は SOLAS 条約で規定される CO<sub>2</sub> 消火装置との同等性についての確認が必要となる。

同区画に対して従来一択であった CO<sub>2</sub> 消火装置に加え、新たなオプションとしての泡消火装置搭載の実現に向け、同装置の搭載に係るステークホルダーとなる船主や造船所に加えて、国土交通省、危険物運送専門家、船舶火災安全専門家の方々にもリスクアセスメントへの参加という形で協力を頂きながら、カシワテックは装置の開発、NK は船級協会・条約検査代行機関(RO)の立場として研究初期段階からカシワテックに条約規則等の規制の観点からアドバイスを行うことで、共同研究を実施した。

### 第2節 研究目的

コンテナホールドにおいて発生した火災を効果的に消火・抑制することができ、且つ、積荷に汚染・損傷を生じず乗組員に対しても安全な消火装置を開発する。

## 第2章 コンテナ運搬船の火災・爆発事故

### 第1節 火災・爆発事故の統計

本研究を開始するにあたり、第4章以降でリスクアセスメントを実施する際の参考資料とするため、まずはコンテナ運搬船の火災・爆発事故の実態について調査した。

本章に記載される統計データは、2016年12月に株式会社ClassNKコンサルティングサービスの依頼により海上技術安全研究所がとりまとめた『リスク評価資料等に関する業務依頼項目8 関係 船舶の海難事故発生頻度及び被害度の推定に関する調査研究(コンテナ船編)』[添付1]および『リスク評価資料等に関する業務 依頼項目10 関係 船舶の火災・爆発事故の発生頻度及び被害度の推定に関する調査研究』[添付2]に基づくものである。

調査の条件を表 2.1.1、表 2.1.2、表 2.1.3 の通り設定した。

表 2.1.1 調査対象船種及び設定条件

調査対象船種	①コンテナ船すべて (Containership) ※船種は IHS 社 Fairplay 船舶データベースでの船種区分に準拠。
期間・間隔条件	期間：1978年～2012年 (35年間)、指定間隔：5年毎
大きさ区分条件	10,000 DWT 毎
その他条件	船齢 : 特になし 建造年 : 特になし
備考	1978年以降に存在するすべての船舶 (新造船・既存船)

表 2.1.2 IHS Fairplay 海難事故データベースの海難種類の区分

Collision	衝突	War Loss	戦争被害等
Contact	接触	Missing	消失・行方不明
Foundered	沈没	Wrecked/Stranded	座礁・漂流
Fire/Explosion	火災・爆発	Miscellaneous	その他
Hull/Machinery damage	船体・機関損傷	Loading/Unloading	荷役中の火災・爆発

表 2.1.3 算定項目の定義

(a) 対象期間内の存在船舶数	: 表中の Shipyears に該当
(b) 海難種類別の事故発生件数	: 表中の Casualty Number に該当
(c) 海難種類別の死亡者数	: 表中の Lives loss Number に該当
(d) 海難種類別の事故発生頻度	: 表中の Casualty Frequency に該当
(e) 海難種類別の死亡者発生頻度	: 表中の Lives loss Frequency に該当

表 2.1.3 中、(a)～(e) の詳細は以下の通りである。

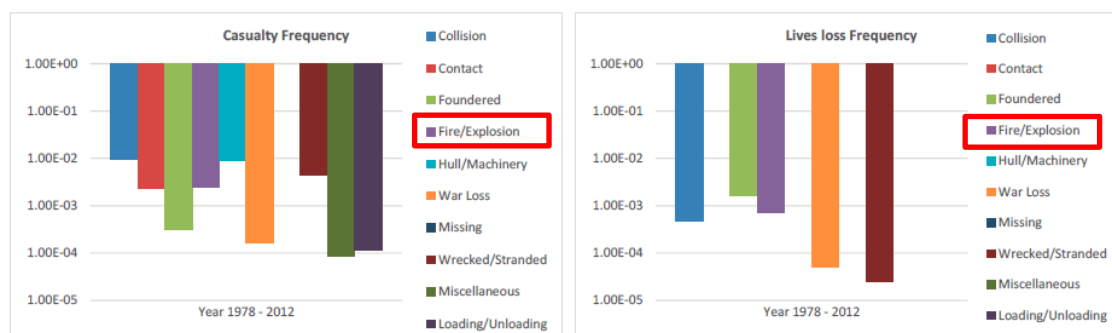
- (a) 存在船舶数 (年毎の船舶数の期間内の総和・[隻年・shipyears])
- (b) 海難種類別の事故発生件数 (年毎の事故発生件数の期間内の総和・[件・Number of Casualties])
- (c) 海難種類別の死亡者数 (年毎の死亡者数の期間内の総和・[人・Number of Fatalities])
- (d) 海難種類別の事故発生頻度 ((b)÷(a)・[件/隻年])
- (e) 海難種類別の死亡者発生頻度 ((c)÷(a)・[件/隻年])

上記の調査結果として、表 2.1.4 及び図 2.1.1 の結果を得た。

表 2.1.4 期間内の各値の算定結果

Year	1978 - 2012			
Size	DWT			
	>=0	<1000000		
Shipyears			79280	
Casualty Number	Collision	742	Lives loss Number Collision	37
	Contact	181	Contact	0
	Foundered	25	Foundered	128
	Fire/Explosion	198	Fire/Explosion	56
	Hull/Machinery	717	Hull/Machinery	0
	War Loss	13	War Loss	4
	Missing	0	Missing	0
	Wrecked/Stranded	358	Wrecked/Stranded	2
	Miscellaneous	7	Miscellaneous	0
Loading/Unloading	9	Loading/Unloading	0	
Casualty Frequency	Collision	9.36.E-03	Lives loss Frequency Collision	4.67.E-04
	Contact	2.28.E-03	Contact	0.00.E+00
	Foundered	3.15.E-04	Foundered	1.61.E-03
	Fire/Explosion	2.50.E-03	Fire/Explosion	7.06.E-04
	Hull/Machinery	9.04.E-03	Hull/Machinery	0.00.E+00
	War Loss	1.64.E-04	War Loss	5.05.E-05
	Missing	0.00.E+00	Missing	0.00.E+00
	Wrecked/Stranded	4.52.E-03	Wrecked/Stranded	2.52.E-05
	Miscellaneous	8.83.E-05	Miscellaneous	0.00.E+00
Loading/Unloading	1.14.E-04	Loading/Unloading	0.00.E+00	

図 2.1.1 期間内の各値の算定結果



海難種類別の事故発生件数(b)においては、火災・爆発事故件数は 198 件となり、衝突 742 件、船体・機関損傷 717 件、座礁・漂流 358 件に次いで、事故発生頻度(d)が高い海難事故であった。

海難種類別の事故発生件数(c)においては、火災・爆発による死亡者は 56 名となり、沈没 128 名に次いで、死亡者発生頻度(e)が高い海難事故であった。

## 第2節 貨物区域における火災・爆発事故のリスク

第1節で算出したコンテナ運搬船における火災・爆発事故とは、本検討に関連する貨物区域だけでなく、機関室等、全ての船上火災を含んでいる。以降においては、火災・爆発の情報を発生場所毎に整理し、貨物区域で発生した火災・爆発事故を調査した。

調査の条件を表 2.2.1、表 2.2.2 の通り設定した。

表2.2.1 算定項目の定義

(a) 対象期間内の存在船舶数	: 表中の Shipyears に該当
(b)-1 火災・爆発事故の総発生件数	: 表中の Casualty Number by place の次に該当 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fire/Explosion</li> <li>• Loading/Unloading</li> </ul>
(b)-2 火災・爆発事故の発生場所別の発生件数 (Fire/Explosion に限る)	: 表中の Casualty Number by place の次に該当 <ul style="list-style-type: none"> <li>• FX_Cargo Area</li> <li>• FX_Engine room</li> <li>• FX_Pump room</li> <li>• FX_Deck house</li> <li>• FX_Deck space</li> <li>• FX_Others</li> <li>• FX_Unknown</li> </ul>
(c)-1 火災・爆発事故の総死亡者数	: 表中の Lives loss Number by place の次に該当 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fire/Explosion (火災・爆発)</li> <li>• Loading/Unloading に該当</li> </ul>
(c)-2 火災・爆発事故の発生場所別の死亡者数 (Fire/Explosion に限る)	: 表中の Lives loss Number by place に該当 ※詳細区分は(b)-2 と同じ
(d) 火災・爆発事故発生件数の発生場所別の比率 (Fire/Explosion に限る)	: 表中の Casualty Ratio by place に該当 ※詳細区分は(b)-2 と同じ
(e) 火災・爆発事故の死亡者数の発生場所別の比率 (Fire/Explosion に限る)	: 表中の Lives loss Number by place に該当 ※詳細区分は(b)-2 と同じ

表2.2.2 火災・爆発事故の発生場所の区分

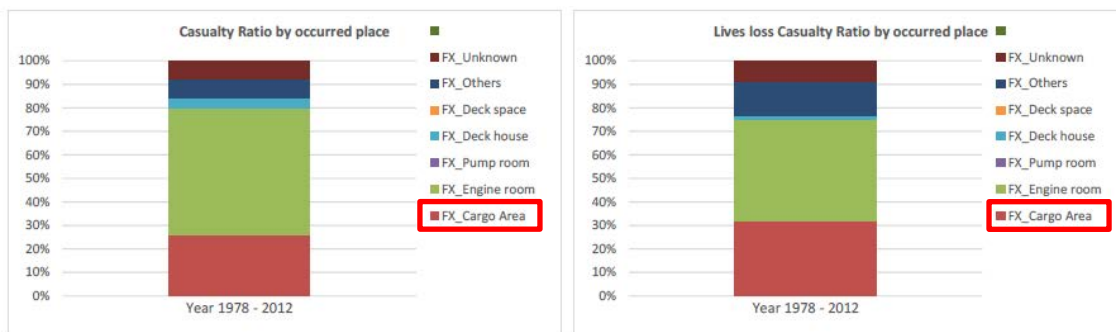
Cargo area	貨物タンク内
Engine room (including boiler space)	機関室 (ボイラ室含む)
Pump/compressor room	ポンプ/コンプレッサー室
Deck house (including accommodation)	甲板室 (居住区含む)
Deck space	甲板上
Others	その他
Unknown	不明

上記の調査結果として、表 2.2.3 及び図 2.2.1 の結果を得た。

表2.2.3 期間内の各値の算定結果

Year	1978 - 2012		Lives loss		
Size	DWT		Number		
	>=0	<1000000			
Shipyears	79280		by place		
Casualty	Fire/Explosion	198	Fire/Explosion	56	
Number	FX_Cargo Area	52	FX_Cargo Area	18	
by place	FX_Engine room	106	FX_Engine room	24	
	FX_Pump room	0	FX_Pump room	0	
	FX_Deck house	9	FX_Deck house	1	
	FX_Deck space	0	FX_Deck space	0	
	FX_Others	16	FX_Others	8	
	FX_Unknown	15	FX_Unknown	5	
	Loading/Unloading	9	Loading/Unloading	0	
Casualty	Fire/Explosion	100%	Fire/Explosion	100%	
Ratio	FX_Cargo Area	26%	FX_Cargo Area	32%	
by place	FX_Engine room	54%	FX_Engine room	43%	
	FX_Pump room	0%	FX_Pump room	0%	
	FX_Deck house	5%	FX_Deck house	2%	
	FX_Deck space	0%	FX_Deck space	0%	
	FX_Others	8%	FX_Others	14%	
	FX_Unknown	8%	FX_Unknown	9%	
	Loading/Unloading	100%	Loading/Unloading	#DIV/0!	

図2.2.1 期間内の火災・爆発事故の発生件数及び死亡者数の発生場所別の比率  
(左：事故発生件数、右：死亡者数)



コンテナ運搬船における発生場所別火災・爆発事故の発生件数では、火災爆発総件数が198件のうち、貨物区域で発生した火災・爆発は52件(全体の26%)となり、106件の火災・爆発があった機関室(全体の54%)に次いで高い割合となった。

また、発生場所別火災・爆発事故の総死亡者数においては、海難による総死亡者数が56名のうち、貨物区域で発生した火災・爆発によるものは18名(全体の32%)となり、24名の死亡者数の原因となった機関室火災(全体の43%)に次いで高い結果となった。



次に、リスクを検討する際の指標として、IMO においてルール作成の際に参照されるガイドライン”The Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC-MEPC.2/Circ.12)”を参照する。同ガイドライン Appendix4 及び Appendix5 は、発生頻度、被害度、リスクマトリクス及び個人リスクの許容範囲をそれぞれ表 2.2.4, 表 2.2.5, 表 2.2.6, 表 2.2.7 の通り示している。

表 2.2.4 発生頻度

Frequency index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1,000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	10 <sup>-3</sup>
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5,000 ships	10 <sup>-5</sup>

表 2.2.5 被害度

Severity index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

表 2.2.6 リスクマトリクス

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6	Reasonably probable	7	8	9	10
5		6	7	8	9
4	Remote	5	6	7	8
3		4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

表 2.2.7 個人リスクの許容範囲(HSE ALARP 領域)

Decision Parameter		Acceptance Criteria	
		Lower bound for ALARP region	Upper bound for ALARP region
		Negligible (broadly acceptable) fatality risk per year	Maximum tolerable fatality risk per year
Individual Risk	to crew member	$10^{-5}$	$10^{-3}$
	to passenger	$10^{-5}$	$10^{-4}$
	to third parties, member of public ashore	$10^{-5}$	$10^{-4}$
	target values for new ships <sup>1)</sup>	$10^{-5}$	Above values to be reduced by one order of magnitude
Societal Risk	to groups of above persons	To be derived by using economic parameters as per MSC 72/16	

コンテナ運搬船の火災・爆発事故の事故発生頻度(d)は  $2.5 \times 10^{-3}$  であり、その貨物区域で発生する割合は 26%であったことから、コンテナ運搬船の貨物区域の火災発生頻度は  $6.5 \times 10^{-4}$  (per ship year)となった。

表 2.2.8 コンテナ貨物区域の火災・爆発発生頻度によるリスク範囲

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY (per ship year)	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent(10)	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable(0.1)	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote ( $10^{-3}$ )	4	5	6	7
2	<b>火災発生頻度 (<math>6.5 \times 10^{-4}</math>)</b>	3	4	5	6
1	Extremely remote( $10^{-5}$ )	2	3	4	5

コンテナ運搬船の最大搭載人員を 20 人～35 人とする場合、コンテナ貨物区域における火災・爆発のリスクは、表 2.2.8 の黄色部 As Low As Reasonably Practicable(以下、ALARP) 領域以下に収まっていることが確認された。

### 第3章 カシワテック 固定式泡消火装置の概要

#### 第1節 固定式泡消火装置(機関室、燃料ポンプ室、PCTC カーホールド向け)

##### 1. 固定式泡消火装置の概要

固定式泡消火装置は SOLAS 条約の火災安全設備のための国際コード(FSS Code)第 6 章 固定式泡消火装置において機関区域、貨物区域、貨物ポンプ室、車両積載区域、特殊分類区域およびロールオン・ロールオフ区域の保護のための固定式泡消火装置として規定されている。昨今では主に機関室の全域火災に対する消火装置であり、初期火災消火手段としての消火器等を用いた乗員による人力消火や、ウォーターミスト局所消火装置では抑制が困難な大規模な火災用として装備されるものである。この装置を作動させると、消火対象区画全域に消火用の高膨張泡が放出され、燃焼物を覆いつくして消火する。この消火用高膨張泡は、非常に少ない海水(又は清水)と極微量の消火液(合成界面活性剤)で作られる火に強い泡である。この泡は、水消火と窒息性ガス消火の双方の特性を持っており、優れた冷却効果と窒息効果を持っている。万一、火災が発生した場合、乗員が放出した泡の中に取り残されると泡の中には燃焼ガスが含まれる可能性がある為、呼吸障害を起こすなどの危険がある。又、泡の中ではホワイトアウト状態になり視覚を失い方向を見失う危険もある為、関連規則では泡放出に先立ち、警報の発令と対象区画から乗員の退避を要求している。

固定式泡消火装置にはインサイドエアー方式とアウトサイドエアー方式の二種類が存在する。インサイドエアー方式は主に機関区域や貨物ポンプ室などの比較的小さな容積に適用され、アウトサイドエアー方式は自動車運搬船のロールオン・ロールオフ区域に適用されている。これは、コスト的な問題だけではなく、インサイドエアー方式の発泡器がスプレーノズルからの泡溶液の噴射に伴う随伴空気が発泡するのに対して、アウトサイドエアー方式の発泡器は送風機を用いて保護区域外の空気を強制的に供給して発泡することが出来、インサイドエアー方式に比べて多量の泡を放出することができるので、自動車運搬船のロールオン・ロールオフ区域のように特に大きい空間に適していること等を理由としている。なお、アウトサイドエアー方式の発泡器には、発泡器を保護区画内に配置して保護区画内で消火泡を放出するものと発泡器を保護区画外に設置して管路を通じて保護区画内に消火泡を供給する方式の二種類が存在している。カシワテックが採用している方式は前者である。

##### 2. 消火用高膨張泡とは

高膨張泡は、直径が 10mm 程度のシャボン玉状の消火用泡の集合体である。泡を構成する水膜は、高性能な高膨張泡用消火液(合成界面活性剤系の泡原液)と海水(又は清水)の混合液で作られ、耐火性と安定性に優れた消火用の泡を作る。高膨張泡は、原料の泡水溶液から容積比で 700~900 倍の泡を発生する為、少量の水と消火液で大量の泡を短時間で作る事が出来る。高膨張泡は、流動性が高いので狭い空間にも自由に流動拡散し、燃焼物を覆って消火することが出来る。放出された高膨張泡は、下層部から積層して保護区画内を充満

する。高膨張泡で燃焼物を覆うことにより燃焼空気の供給を遮断して、窒息消火を達成する。また、高膨張泡は、含まれる水分によって燃焼物の表面を冷却して消火を促進し、再着火を防ぎ、更に周囲を冷却して熱による損傷を防止する効果も期待できる。さらに、高膨張泡は、熱と煙を遮断して、火災場所からの拡散を防止する。高膨張泡の消火プロセスを図 3.1.1 と図 3.1.2 に示す。

図 3.1.1 自動車火災の高膨張泡による消火  
(アウトサイドエア方式発泡器)





図 3.1.2 ディーゼルエンジン火災の高膨張泡による消火  
(インサイドエア方式発泡器)





### 3. 固定式泡消火装置の構成

固定式泡消火装置は海水(又は清水)を送る消火ポンプ、水に混合して耐火性のある泡を作る為の合成界面活性剤を主成分とする消火液、それを貯蔵する消火液タンク、消火液を水に混合する為に圧送する消火液ポンプ、水と消火液を混合する為のエダクター、混合比を自動的に一定に保つダイヤフラム・コントロール弁、自動制御の為の各種自動弁、泡混合液を発泡器まで送る配管網、発泡器(泡発生器)、操舵機室及び火災制御室等に設置された遠隔操作制御盤及び警報器等々で構成される。

### 4. 各機器の説明

#### 4.1 消火ポンプ(水)

機関室用消火装置に使用する消火ポンプ(水)は、関連規則で機関室外の安全区域に設置された非常用消火ポンプである事が義務付けられ、ポンプは通常、非常用発電機を使用した電動ポンプが採用されている。自動車運搬船の貨物倉などの場合には、雑用水ポンプなどの使用も認められている。

#### 4.2 消火液タンク

消火液は、化学製品であり、腐食性があるために専用のタンクに貯蔵する必要がある。通常、タンクは鋼製容器で内面は防食対策としてピュアエポキシコーティングを施工してある。昨今ではFRP製タンクも採用されている。なお、タンクには消火液中の溶剤の揮発を防止する為と、ポンプによる送出時の負圧を防止する為にプレッシャー・バキューム・リリーフ弁が設置される。

#### 4.3 消火液ポンプ及び安全弁

消火液を混合装置のエダクター(プロポーショナー)部分で、消火用水に圧入して混合するために、消火液ポンプを装備している。また、本ポンプライン又はポンプ本体には過加圧を防止する為に安全弁が設けられ、通常吐出圧が1MPaを超える場合に作動し、消火液をタンクに循環させる。

#### 4.4 ダイアフラム・コントロール弁

このバルブは、エダクター前の海水(又は清水)圧力とエダクター前消火液圧力を、常に同圧に保つ機能を持った自動圧力比例制御弁で、エダクターと組み合わせて消火液混合比を出口混合液圧力の変化に対して、常に一定の混合比に制御するものである。

#### 4.5 発泡器(泡発生器)

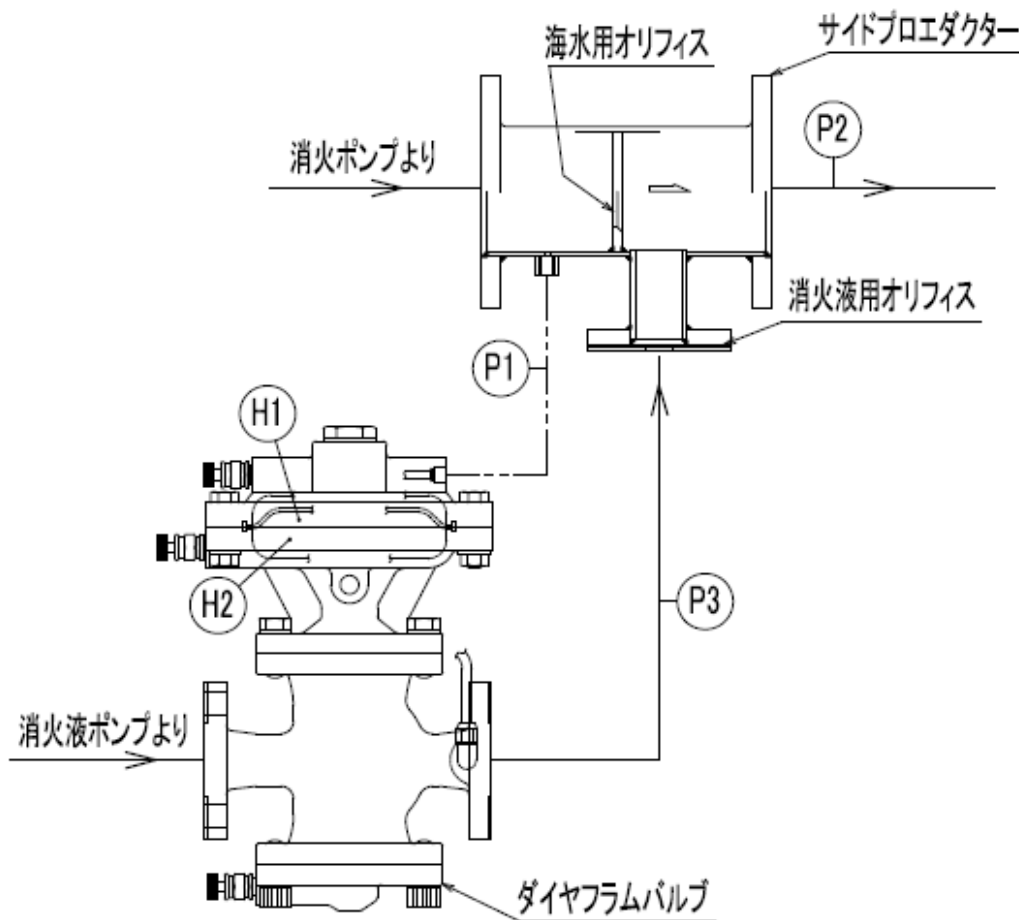
混合液を噴射するスプレーノズル、泡を生成する発泡ネット及びケーシングからなる泡発生器で、噴射した混合液によって周囲の空気を吸引して発泡するタイプのインサイドエア方式発泡器とダクトを通じて保護区画外の空気を送風機で強制的に供給するアウトサイドエア方式発泡器の二種類が存在する。

#### 4.6 消火液混合装置

(サイドプロポーショニング・ダイレクト方式)

サイドプロポーショニング・ダイレクト方式の作動原理としては図 3.1.3 に示すとおり、エダクター内部に海水(又は清水)と消火液の流量比を決定する為にオリフィスが設けられており、この両オリフィスの流量を支配する差圧を常に一定に保つ為、ダイアフラムバルブは設けられている。ダイアフラムバルブはダイアフラムの上室(H1)に海水側オリフィスの一次側、下室(H2)に消火液側オリフィスの一次側圧力が加わる構造となっており、海水入口圧力(P1)、混合液圧力(P2)、消火液入口圧力(P3)とした場合、海水流量の変動により  $P1 > P3$  になった時、上室(H1)に海水圧力は加わり弁が開放される事により  $P3$  は上昇し  $P1 = P3$  となる。この様に  $P1$  の圧力変動に伴い  $P3$  の圧力は常に  $P1$  に追従して同圧となり混合比を常に一定に保つものになる。

図 3.1.3 サイドプロポーショニング・ダイレクト方式

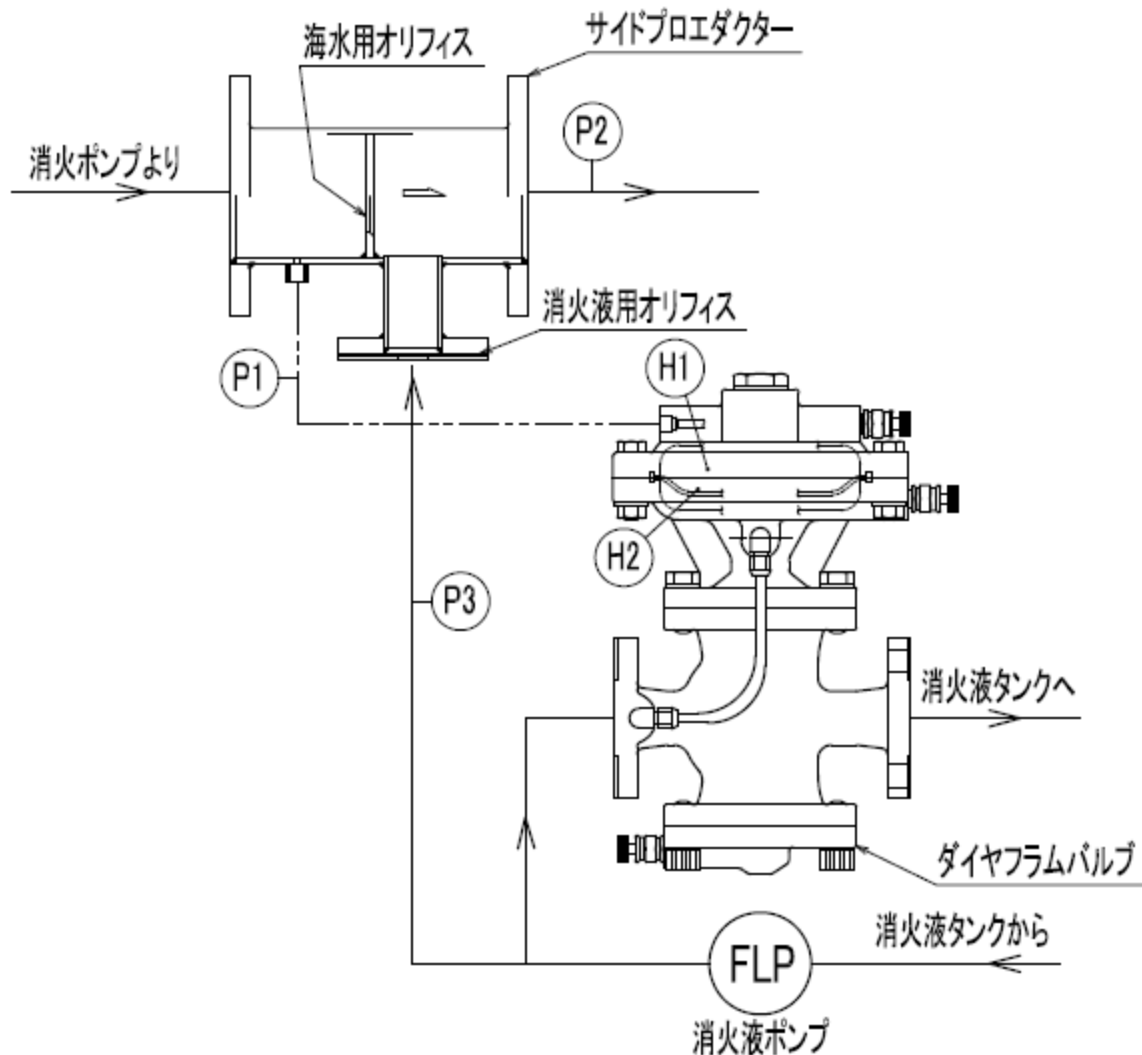


(サイドプロポーショニング・リリーフ方式)

サイドプロポーショニング・リリーフ方式の作動原理としては図 3.1.4 に示すとおり、エダクター内部に海水(又は清水)と消火液の流量比を決定する為にオリフィスが設けられており、この両オリフィスの流量を支配する差圧を常に一定に保つ為、ダイヤフラムバルブを設けてある。ダイヤフラムバルブはダイヤフラムの上室(H1)に海水側オリフィスの一次側、下室(H2)に消火液側オリフィスの一次側圧力が加わる構造となっており、海水入口圧力(P1)、混合液圧力(P2)、消火液入口圧力(P3)とした場合、海水流量の変動により  $P1 > P3$  になった時、上室(H1)に海水圧力が加わり弁が絞られる事により  $P3$  は上昇し  $P1 = P3$  となる。この様に  $P1$  の圧力変動に伴い  $P3$  の圧力は常に  $P1$  に追従して同圧となり混合比を常に一定に保つものになる。



図 3.1.4 サイドプロポーショニング・リリース方式



#### 4.7 遠隔操作制御盤

制御盤は操舵機室及び火災制御室等に設置され、本装置の起動、停止、各弁の開閉監視、警報の発生、圧力監視を行うものである。

##### 第2節 コンテナホールド向け固定式泡消火装置

###### 1. コンテナホールド向け固定式泡消火装置の開発背景

コンテナ運搬船のコンテナホールドにおいて発生した火災に対して、既存消火装置である CO<sub>2</sub> 消火装置は消火・鎮火の失敗の懸念があると言われており、複数の船主より新たな消火装置の開発が望まれていた。CO<sub>2</sub> 消火装置で消火困難である理由としては、ハッチカバー周辺の間隙部分等からの炭酸ガスの漏えいによる濃度の低下が挙げられていた。

一方、船倉内の空間を高膨張泡で埋めることによっても燃焼空気の供給を遮断すること

はでき、これにより火災を鎮火出来ることが期待される。

## 2. コンテナホールド向け固定式泡消火装置のシステムの概要

コンテナホールド向け固定式泡消火装置のシステムについて、今回の研究で考えられた仕様を以下に記す。図 3.2.1 にコンテナ船に固定式泡消火装置を適用する場合の系統図を示す。ホールドの隔壁部分にはホールド内の換気用に送風機とダクトが配備されており、このダクトの先端にアウトサイドエアー方式の発泡器を取り付けるものとする。ダクトの形状には丸型のもので矩形のものがあり、いずれの形状であっても発泡器は取り付け可能である。発泡器の外観を図 3.2.2 に示す。また、それぞれの形状のダクトに発泡器を取り付ける場合のイメージを図 3.2.3 と図 3.2.4 に示す。通常時はダクトの先端に取り付けられた発泡器の発泡ネットを通じてホールド内の換気は行われるが、消火装置を作動した場合には、発泡器からホールド内に高膨張泡が放出される。送風機で供給される空気を用いて発泡するアウトサイドエアー方式であるため、発泡器の外側が泡に埋もれたとしても発泡することが出来、ホールド内を泡で満たすことができる。

なお、今回の研究では詳細な検証は行っていないが、発泡器については保護区画内の空気を吸入して発泡するインサイドエアー方式による発泡器とすることで、換気風量を増やすことなく、ホールドに発泡の供給量を増やせる可能性がある。また、発泡器をアウトサイドエアー方式とインサイドエアー方式のコンビネーションでホールドに固定式泡消火装置を設置することもできる。発泡器が泡に埋もれると発泡空気を吸入できなくなるため、発泡器はホールドの最上部に設置する等の更に検証する必要があるが、このような発展性も高膨張泡消火装置にはある。

消火原液と混合装置は舵機室などに設置され、混合装置で調合した泡溶液(海水 98%+泡原液 2%)は配管で各ホールドまで送られる。泡溶液配管はホールド毎に分岐させ、分配弁で仕切ることにより火災の発生している区画のみに泡を放出することが出来るシステムである。

図 3.2.1 コンテナ船 固定式泡消火装置の系統図

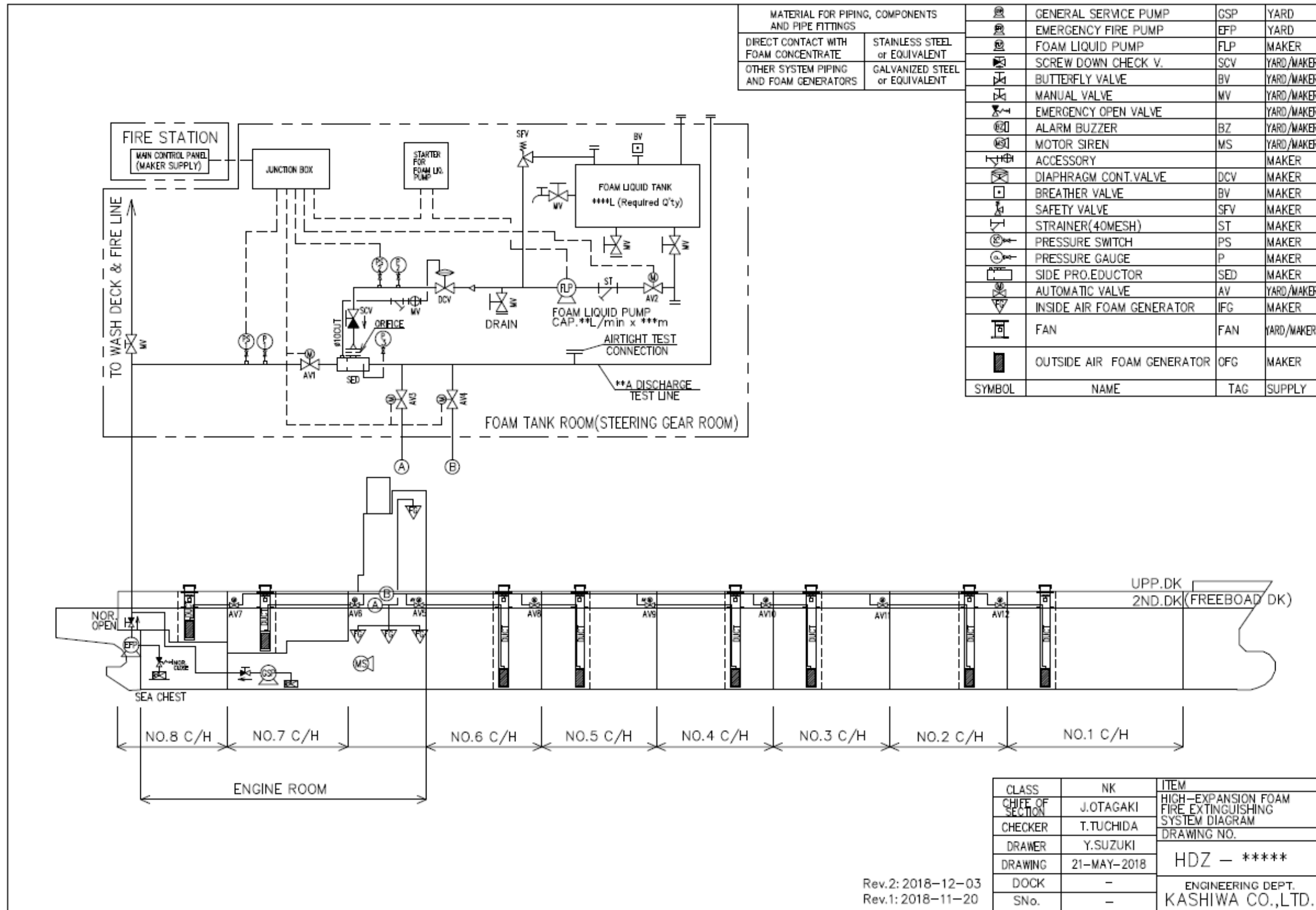
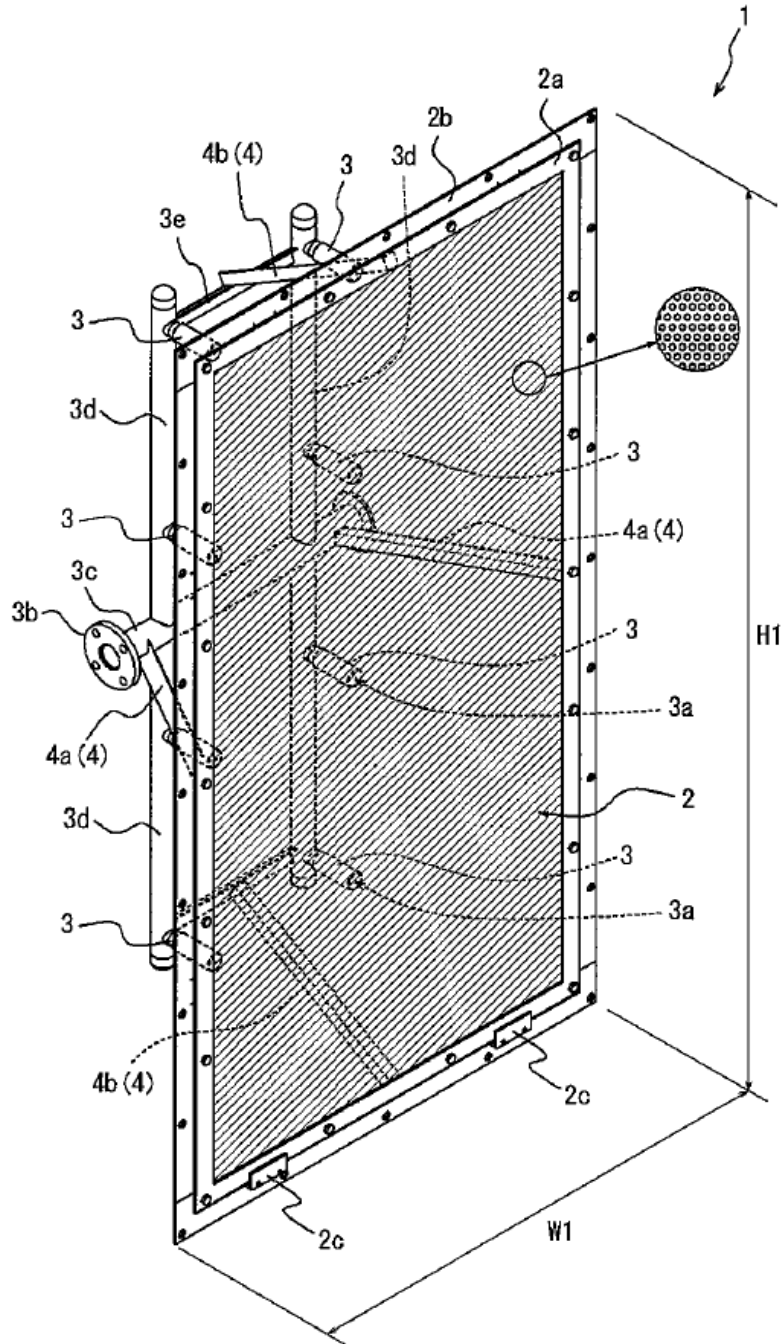


図 3.2.2 アウトサイドエア方式発泡器(パネル型、ダクト組込式)の外観



【符号の説明】

1 : 発泡器、 2 : 発泡ネット(SUSパンチングメタル)、 2a : 第1フレーム(発泡ネット固定)、 2b : 第2フレーム(発泡器本体)、 2c : 支持金具(発泡ネット取外し時補助用)、 3 : 放射ノズル、 3a : 放射口、 3b : 配管フランジ、 3c : 横方向配管、 3d : 縦方向配管、 3e : 補強部材、 4 : 連結部、 4a : 左右の連結ロッド、 4b : 上下の連結ロッド、 4c : 左右の連結ロッド、 4d : 前後の連結ロッド

図 3.2.3 丸ダクトへの発泡器の設置例(発泡ネット取付け前)



図 3.2.4 矩形ダクトへの発泡器の設置例(左:発泡ネット取付け前、右:発泡ネットあり)



## 第4章 研究手法

### 第1節 SOLAS 条約の制限

コンテナホールドに設置される固定式消火装置は、SOLAS 条約において CO2 消火装置又はこれと同等の保護を与える消火装置とすることが、以下の通り規定される。

#### **SOLAS II-2 / Reg.10-7.1.3 一般貨物に対する固定式消火装置**

“ロールオン・ロールオフ区域及び車両積載区域を除くほか、総トン数 2000 トン以上の貨物船の貨物区域は、火災安全設備コードの規定に適用する固定式炭酸ガス又は不活性ガス消火装置、又はこれと同等の保護を与える消火装置によって保護する。”

#### **SOLAS II-2 / Reg.10-7.2 危険物に対する固定式ガス消火装置**

“甲板上又は貨物区域内に危険物を積載し当該運送に従事する船舶には、火災安全設備コードの規定に適合する固定式炭酸ガス又は不活性ガス消火装置、又は運送する貨物についてこれと同等の保護を与えると主管庁が認める消火装置を備える。”

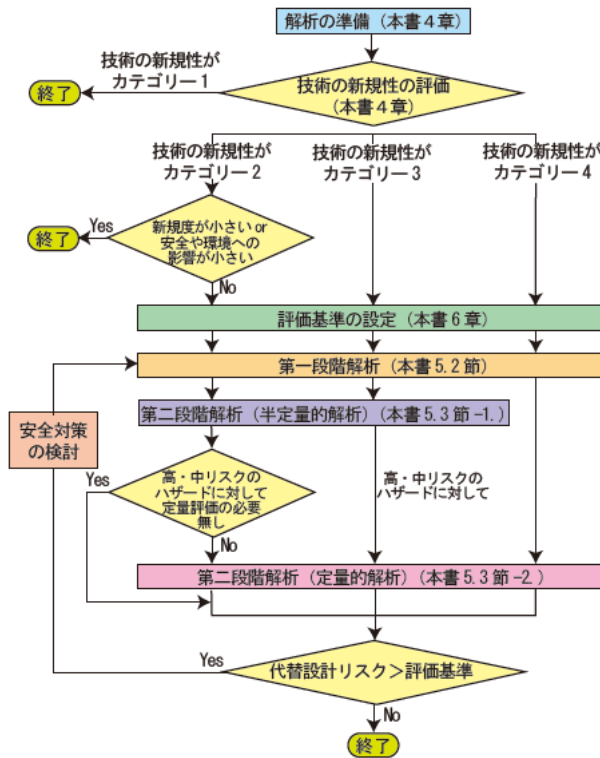
コンテナ貨物倉向け固定消火装置として、CO2 消火装置に代えて FSS Code 第 6 章の規定を満足する固定式泡消火装置を用いる場合は、その同等性を認める手順が必要となる。

### 第2節 同等性評価の方法論

同等性評価の手順として、「ClassNK リスク評価ガイドライン附属書 3 代替設計及び配置の認証のためのリスクアセスメントガイドライン（以下、ガイドライン）」を参照する。

ガイドライン 1.1-3 より、当該消火装置は SOLAS II-2 における消火装置であるため、SOLAS II-2 / Reg.17 で定める「火災安全のための代替設計及び配置を検証する手法」で参照される IMO MSC サーキュラー MSC/Circ.1002、または IMO 規則全ての代替設計に適用される MSC.1/Circ.1455 のどちらかに従う手順となる。本研究においては、MSC.1/Circ.1455 に基づき、ガイドライン 3.1-3 より、リスクアセスメントの実施手順を図 4.2.1 とする

図 4.2.1 代替認証のためのリスクアセスメント実施手順



「技術の新規性の評価」

ガイドライン 5.1-1. (MSC.1/Circ.1455 para4.6.4) において代替設計の新規性のカテゴリが示される。

表 4.2.1 技術の新規性の評価

		新規性		
		よく適用されている	限られた分野で適用例がある	全く新しい、もしくは適用例が無い
適用される分野	知られている	1	2	3
	全く新しい	2	3	4

本研究の対象である泡消火装置は、すでに機関室や車両積載区域での使用が条約上認められており実績があるため、新規性においては「限られた分野で適用例がある」に該当する。適用される分野においてはコンテナホールドと限定されていることから「知られている」に該当する。そのため、表 4.2.1 の赤枠の範囲で新規性は「2」となる。

「評価基準の設定」

ガイドライン 6.1 (MSC/Circ.1002 para6.3.) より、CO2 消火装置の設計に適用される FSS Code 第 5 章の規定要件から、コンテナホールドの泡消火装置に対して求められる

る火災安全の目的(FSOs: Fire Safety Objectives)を導き、さらに火災安全の目的(FSOs)を満たす機能要件(FRs: Functional Requirements)を導くことで、表 4.2.2 を評価基準として設定する。また火災安全の目的(FSOs)は、下記の通り、大別して整理している。

- ・”EC”: Extinguishing Capability / 消火能力
- ・”ES”: Extinguishing Speed / 消火スピード
- ・”SR”: System Reliability / システム信頼性
- ・”SRP”: Secondary Risk Prevention / 二次リスク抑制（人名、環境、及び船への悪影響）



表 4.2.2 コンテナ運搬船の貨物倉向け泡消火装置に求められる機能要件

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
1	Application	This chapter details the specifications for fixed gas fire-extinguishing systems as required by chapter II-2 of the Convention.	NA	NA
2.1.1.1	Fire-extinguishing medium	Where the quantity of the fire-extinguishing medium is required to protect more than one space, the quantity of medium available need not be more than the largest quantity required for any one space so protected. The system shall be fitted with normally closed control valves arranged to direct the agent into the appropriate space. Adjacent spaces with independent ventilation systems not separated by at least A-0 class divisions should be considered as the same space.	EC	sufficient quantity of medium  appropriate discharge into protected space
2.1.1.3		Means shall be provided for the crew to safely check the quantity of the fire-extinguishing medium in the containers. It shall not be necessary to move the containers completely from their fixing position for this purpose. For carbon dioxide systems, hanging bars for a weighing device above each bottle row, or other means shall be provided. For other types of extinguishing media, suitable surface indicators may be used.	SR	readiness of quantity check of remained medium
2.1.1.4		Containers for the storage of fire-extinguishing medium, piping and	SR	safe storage of

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
		associated pressure components shall be designed to pressure codes of practice to the satisfaction of the Administration having regard to their locations and maximum ambient temperatures expected in service.		medium (considering highest room temp.)
2.1.2.1	Installation requirements	The piping for the distribution of fire-extinguishing medium shall be arranged and discharge nozzles so positioned that a uniform distribution of the medium is obtained. System flow calculations shall be performed using a calculation technique acceptable to the Administration.	EC	uniform discharge
2.1.2.2		Except as otherwise permitted by the Administration, pressure containers required for the storage of fire-extinguishing medium, other than steam, shall be located outside the protected spaces in accordance with regulation <u>II-2/10.4.3</u> of the Convention.	SR	storage position of medium (outside protected space, behind forward collision bulkhead, entrance from preferably open deck, fire protection as fire control station)
2.1.2.3.		Spare parts for the system shall be stored on board and be to the satisfaction of the Administration.	SR	spare parts for onboard maintenance

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
2.1.2.4		In piping sections where valve arrangements introduce sections of closed piping, such sections shall be fitted with a pressure relief valve and the outlet of the valve shall be led to open deck.	SR	avoidance of overpressure in pipe and safe relief
			SRP	avoidance of overpressure in pipe and safe relief
2.1.2.5		All discharge piping, fittings and nozzles in the protected spaces shall be constructed of materials having a melting temperature which exceeds 925 °C. The piping and associated equipment shall be adequately supported.	SR	925 °C fire-resistance of components in protected space  robustness of piping and accessories with adequate support
2.1.2.6		A fitting shall be installed in the discharge piping to permit the air testing as required by paragraph 2.2.3.1.	SR	readiness of maintenance test
2.1.3.1		System control requirements	The necessary pipes for conveying fire-extinguishing medium into the protected spaces shall be provided with control valves so marked as to indicate clearly the spaces to which the pipes are led. Suitable provisions	ES

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
		shall be made to prevent inadvertent release of the medium into the space. Where a cargo space fitted with a gas fire-extinguishing system is used as a passenger space, the gas connection shall be blanked during such use. The pipes may pass through accommodations providing that they are of substantial thickness and that their tightness is verified with a pressure test, after their installation, at a pressure head not less than 5 N/mm <sup>2</sup> . In addition, pipes passing through accommodation areas shall be joined only by welding and shall not be fitted with drains or other openings within such spaces. The pipes shall not pass through refrigerated spaces.		avoidance of leakage into accommodation avoidance of damage by refrigerated space
			SRP	avoidance of inadvertent discharge avoidance of leakage into accommodation avoidance of damage by refrigerated space
2.1.3.2		Means shall be provided for automatically giving audible and visual warning of the release of fire-extinguishing medium into any ro-ro spaces and other spaces in which personnel normally work or to which they have access. The audible alarms shall be located so as to be audible throughout the protected space with all machinery operating, and the alarms should be distinguished from other audible alarms by adjustment of sound pressure or	SRP	escape of crews with audible and visual warning of release escape of crews with 20s-delayed release

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
		sound patterns. The pre-discharge alarm shall be automatically activated (e.g., by opening of the release cabinet door). The alarm shall operate for the length of time needed to evacuate the space, but in no case less than 20 s before the medium is released. Conventional cargo spaces and small spaces (such as compressor rooms, paint lockers, etc.) with only a local release need not be provided with such an alarm.		
2.1.3.3		The means of control of any fixed gas fire-extinguishing system shall be readily accessible, simple to operate and shall be grouped together in as few locations as possible at positions not likely to be cut off by a fire in a protected space. At each location there shall be clear instructions relating to the operation of the system having regard to the safety of personnel.	SR	control system (accessibility, readiness of operation, safe position from fire in protected space, united arrangement, operation manual at each control position)
			ES	control system (accessibility, readiness of operation, safe

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
				position from fire in protected space, united arrangement, operation manual at each control position)
2.1.3.4		Automatic release of fire-extinguishing medium shall not be permitted, except as permitted by the Administration.	SRP	Prohibition of automatic release
2.2.1.1	Quantity of fire extinguishing medium	For cargo spaces, the quantity of carbon dioxide available shall, unless otherwise provided, be sufficient to give a minimum volume of free gas equal to 30% of the gross volume of the largest cargo space to be protected in the ship.	EC	sufficient quantity of medium
2.2.1.4		The percentages specified in paragraph 2.2.1.3 above may be reduced to 35% and 30%, respectively, for cargo ships of less than 2,000 gross tonnage where two or more machinery spaces, which are not entirely separate, are considered as forming one space.	EC	sufficient quantity of medium
2.2.1.5		For the purpose of this paragraph the volume of free carbon dioxide shall be calculated at 0.56 m <sup>3</sup> /kg.	EC	sufficient quantity of medium

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
2.2.1.7		For container and general cargo spaces (primarily intended to carry a variety of cargoes separately secured or packed) the fixed piping system shall be such that at least two thirds of the gas can be discharged into the space within 10 min. For solid bulk cargo spaces the fixed piping system shall be such that at least two thirds of the gas can be discharged into the space within 20 min. The system controls shall be arranged to allow one third, two thirds or the entire quantity of gas to be discharged based on the loading condition of the hold.	EC	discharging speed of less than 10 minutes stepwise-discharging function
			ES	discharging speed of less than 10 minutes stepwise-discharging function
2.2.2	Controls	Carbon dioxide systems for the protection of ro-ro spaces, container holds equipped with integral reefer containers, spaces accessible by doors or hatches, and other spaces in which personnel normally work or to which they have access shall comply with the following requirements:  1. two separate controls shall be provided for releasing carbon dioxide into a protected space and to ensure the activation of the alarm. One control shall be used for opening the valve of the piping which conveys the gas into the protected space and a second control shall be used to discharge the gas from its storage containers. Positive means shall be provided so they can	SRP	avoidance of inadvertent discharge  necessity of positive means for operation in order

CO <sub>2</sub> 消火装置			泡消火装置に対する追加検討	
Reg. No.	Subject	FRs	FSOs	FRs
		<p>only be operated in that order; and</p> <p>2. the two controls shall be located inside a release box clearly identified for the particular space. If the box containing the controls is to be locked, a key to the box shall be in a break-glass-type enclosure conspicuously located adjacent to the box.</p>		
2.2.3	Testing of the installation	<p>When the system has been installed, pressure-tested and inspected, the following shall be carried out:</p> <p>1. a test of the free air flow in all pipes and nozzles; and</p> <p>2. a functional test of the alarm equipment.</p>	SR	necessity of operation test for installation



### 「第一段階解析」

ガイドライン 5.2 より、本手法に精通した会議進行役の下、対象システムの設計者や使用者等から成る専門家チームによる会議（以下、HAZID 会議）を実施し、ハザード及びそれらに関する事故シナリオを同定する。（詳細を第 5 章に示す。）

### 「第二段階解析（半定量的解析）」と「安全対策の検討」

ガイドライン 5.3.1 より、第一段階で設定した事故シナリオの発生頻度とその被害度（死亡者数）から、リスクレベルを定量化する。しかし、第 1 章の表 2.2.8 より、コンテナ運搬船の貨物区域における火災・爆発の発生頻度がすでに ALARP 領域以下にあるため、リスクが高いとされる事故シナリオにおいても、安全対策を実施することが必ずしも要求されなくなる。そのため、本研究の目的を鑑みて、CO<sub>2</sub> 消火装置に対する機能要件との同等性を相対的に 2 段階で評価し、リスクが高いと判断されたものについては、HAZID 会議で合意された安全対策を実施する。（詳細を第 5 章に示す。）

なお、車両積載船の貨物倉は、SOLAS 条約上、既に CO<sub>2</sub> 消火装置の適用だけでなく、泡消火装置の適用も認められており、対象貨物の違いにおける泡消火装置に対する機能要件の相対評価も考えられる。しかし、本研究では、機関室や車両積載区域に適用される泡消火装置が、技術開発等を経て、CO<sub>2</sub> 消火装置と同等と判断し制定された規則開発の背景を踏襲し、既存のコンテナ運搬船に適用される CO<sub>2</sub> 消火装置に対する機能要件との同等性を相対的に評価する。

## 第5章 同等性評価の実施

### 第1節 リスクアセスメントの結果

カシワテックからの申し込みにより、NK コンサルティングサービスは、2019 年 6 月 19 日及び 20 日の計 2 日間にわたり日本海事協会において HAZID 会議を開催した。なお、HAZID 会議に先立ち、カシワテック及び NK が Pre-HAZID 会議を実施しハザードとその安全対策を予め洗い出した上で、HAZID 会議が実施された。HAZID 会議の結果は、HAZID 報告書(参照番号：19C104755、作成日：2019 年 10 月 31 日)[添付 3]に示される通りである。

HAZID 会議において特定されたハザードは 2 種類あり、Pre-HAZID 会議時に予め洗い出された安全対策（既存の防御手段）のみでリスクが低いと判断されたハザード、そして HAZID 会議時にそれだけではまだリスクが高いと判断され、さらに追加の安全対策を講ずることでリスクが低くなると判断されたハザードがある。

## 第2節 安全対策の実施

HAZID 会議においてリスクが高いと判断されたハザードについては、最終的に合意された安全対策（既存の防御手段及び追加の安全対策）を実施する必要がある。この安全対策実施の確認は、以下 3 つに分類される。

### 「検証によって確認される安全対策」

泡の積み上がりシミュレーションや火災試験など、カシワテックが検証を実施し、NK が妥当性を確認する。安全対策及びその検証結果は表 5.2.1 に示すとおりである。

### 「承認図面で確認される安全対策」

個船毎に提出される承認図面において、カシワテックは安全対策を織り込み、NK が確認する。安全対策は表 5.2.2 に示すとおりである。

### 「オペレーションマニュアルで確認される安全対策」

個船毎に提出されるオペレーションマニュアル（承認図面と合冊可）において、カシワテックは安全対策を織り込み、NK が確認する。安全対策は表 5.2.3 に示すとおりである。

なお、表 5.2.1 から表 5.2.3 に示される ID には、泡消火装置の構成要素と運航及び消火活動を組み合わせたノード番号(例：A1)が組み込まれているが、詳細については[添付 3]の表 3.2-1.及び表 3.2-2.を参照されたい。

表 5.2.1 検証によって確認される安全対策

ID	ハザード	原因	結果	安全対策	検証結果	添付資料
WS_A1/2	消火装置起動のために、停止して逆転させる（給気方向に切り替える）ことによるタイムラグ	機械通風ファンが、排気方向で運転している	消火装置起動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 機械通風ファンの逆転に要する時間を検証</li> <li>✓ その時間が火災の拡大および消火性能に及ぼす影響を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 排気方向で運転していた機械通風装置を給気方向で始動するまで、機種によって異なるものの、おおむね 90 秒の遊転期間が必要であることが確認された。</li> <li>✓ 装置を起動させてから消火剤を貨物倉全体へ充填するまでに要する時間について両装置を同等の条件下で比較したところ、高膨張泡消火装置は 730 秒である一方で、固定式炭酸ガス消火装置は、735 秒であった。これらより、消火装置起動から消火剤が貨物倉に充填されるまでの時間に差はないことが確認された。</li> </ul>	<b>【添付 4】</b>
WS_A1/4	消火装置起動の遅れ	泡溶液が配管内を満たし、対象区画に到達するまでに時間を要する	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 泡溶液が対象区画に到達するまでに要する時間を検証</li> <li>✓ その時間が火災の拡大および消火性能に及ぼす影響を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ FSS Code, Chap.6, Reg.3.1.1 により、1 分以内に泡の放出を開始することが規定されていることから、泡溶液が対象区画へ到達するまでの時間を 1 分以内となるよう設計されることが確認された。詳細な検討は本船の仕様によるため、個船毎の承認図面に含めて確認する。</li> </ul>	

ID	ハザード	原因	結果	安全対策	検証結果	添付資料
WS_A1/5	(排給気用の) 機械通風ファンのダンパーを開放するための手動操作に時間を要する	機械通風ファンのダンパーが閉まっている	消火装置起動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 排給気ダンパーが閉の状態から装置起動までの時間を検証</li> <li>✓ その時間が火災の拡大および消火性能に及ぼす影響を検討</li> </ul>	<p>✓ 一般的に常時換気状態であるとされるコンテナホールドにおいて、排気状態においては、双方の消火装置において大きな差がないことが WS_A1/2 で確認され、給気状態においては泡消火装置の起動が早いことが確認された。また、換気停止状態（ファンのダンパーが閉まっている状態）においては、泡消火装置の起動が遅いことが確認されたため、起動までの時間を短縮するために、表 5.2.2 の WS_A1/5 に示す機械的な対策を講じ、図面で確認する。</p>	<b>【添付 4】</b>
WS_A2/1	泡が積みあがらない	泡の積み上がり能力の不確実性	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CFD シミュレーションによる泡の積み上がり能力の確認</li> </ul>	<p>✓ 空のコンテナホールドを 10 分以内に埋められるだけの泡放出速度（毎時 6 回換気に必要な風量で発泡したときの泡放出速度）で発泡する場合、コンテナホールドが満載の状態であっても、10 分以内に泡で埋まることが CFD シミュレーションによって確認された。</p>	<b>【添付 5】</b>
WS_A2/4	泡による火災包み込みが困難	不適切な泡発生器の配置	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ (代表的な) CFD シミュレーションによって配置を検討する</li> </ul>		
WS_A2/18	貨物倉底部の泡が潰れるスピードが増す	貨物倉は高さがあるため、貨物倉上部に積み上げられる泡の重さ（泡の自重）が増す	泡の積み上がり阻害	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 泡の自重を考慮した CFD シミュレーションの実施</li> </ul>		

ID	ハザード	原因	結果	安全対策	検証結果	添付資料
WS_A2/1	泡が積みあがらない	泡の積み上がり能力の不確実性	火災の拡大	✓ 陸上における積み上がり試験の実施	バルクヘッド構造を模擬した 16m 高さ泡流動試験路に高膨張泡を発泡し、泡が積みあがるかについて試験が実施された。	【添付 6】
WS_A2/18	貨物倉底部の泡が潰れるスピードが増す	貨物倉は高さがあるため、貨物倉上部に積み上げられる泡の重さ（泡の自重）が増す	泡の積み上がり阻害	✓ 泡を高く積み上げる試験の実施	その結果、泡積み上がり時に自重による一定の抵抗が生じるものの、軸流送風機の静圧と比べて、その抵抗は小さく、泡が高く積み上がることを確認された。	
WS_A2/3	泡で満たしても鎮火されない	消火装置の消火能力が低い可能性	火災の拡大	✓ 消火試験による消火能力の検証	火災シナリオ以外については IMO にて策定された高膨張泡消火装置の試験及び承認のガイドラインである MSC.1/Circ.1384 に準拠する形で、消火試験が実施された。	【添付 7】
WS_A2/4	泡による火災包み込みが困難	不適切な泡発生器の配置	火災の拡大	✓ 要素試験による検証	20ft コンテナを 2 列×2 段の計 4 個を設置し、コンテナ間の隙間より軽油を高圧噴霧燃焼させて消火試験を行った結果、試験開始から 460 秒後に鎮火され、再発火及び延焼が無いことが確認された。	

ID	ハザード	原因	結果	安全対策	検証結果	添付資料
WS_A2/13	泡の積み上がり阻害	冷凍コンテナの壁が火災で崩壊し、内部の冷気が放出	火災の拡大	✓ 冷凍コンテナの冷気環境下での泡放出試験の実施	冷凍コンテナ内部が-21℃の環境下で高膨張泡を発泡する試験を実施した。その結果、低温物に触れた部分から気泡の形状を保ったまま徐々に凍結するものの、その内部からは粘性のある泡が現れ、泡沫中心部分の泡が凍結するには時間を要すること、そして、泡の積み上がりを阻害するほどの泡の損失が無いことが確認された。	<b>【添付 8】</b>
WS_A2/25	泡およびもしくは泡還元水と一般貨物・危険物の接触による化学反応	発泡された泡の投入	爆発性ガス・可燃性ガスの発生や発熱反応による貨物の温度上昇及び自己着火	✓ コンテナ内部に泡が浸入しないことの検証	コンテナを 18 時間にわたって 11m 高さまで積み上げた発泡倍率 400 倍の泡の中に埋める試験を実施した。その結果、コンテナ内部への泡の侵入は生じないことが確認された。	<b>【添付 9】</b>

ID	ハザード	原因	結果	安全対策	検証結果	添付資料
WS_A2/25	泡およびもしくは泡還元水と一般貨物・危険物の接触による化学反応	発泡された泡の投入	爆発性ガス・可燃性ガスの発生や発熱反応による貨物の温度上昇及び自己着火	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 危険物が水及び泡に触れた時を考慮して、DSC(16-18)を調査の上、積み付けの制限を再検討する。(水・泡原液)</li> <li>✓ 要すれば、危険物証書に制限を記載する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 発泡された泡と反応する可能性がある危険物を調査した。その結果、現 IMDG Code において 208 品目あることが確認された。</li> <li>✓ 危険物運搬船適合書に”Except cargoes categorized as Water-Reactive Substances.”及び”Except cargoes for which High-expansion foam is not effective.”旨の積み付け制限を付すことで対応する。</li> </ul>	[添付 10]

表 5.2.2 承認図面で確認される安全対策

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A1/1	泡溶液配管はCO2配管より径が大きいため、火災検知管（試料抽出管）の内容積が増大	泡溶液配管を火災検知管（試料抽出管）に併用する	火災検知能力の低下	✓ 火災検知管（試料抽出管）とは併用せず、別途設ける設計
WS_A1/2	消火装置起動のために、停止して逆転させる（給気方向に切り替える）ことによるタイムラグ	機械通風ファンが、排気方向で運転している	消火装置起動の遅れ	✓ シーケンスによる自動化<排気方向の運転から、ファンの停止及び給気方向の運転までの自動化>

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A1/3	消火装置起動のために、機械通風ファンを再始動させるまでのタイムラグ	給気方向で運転していた機械通風ファンが、火災検知とともに自動停止する	消火装置起動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 機械式通風ファンの電源が自動で遮断されない設計</li> </ul>
WS_A1/5	(排給気用の) 機械通風ファンのダンパーを開放するための手動操作に時間を要する	機械通風ファンのダンパーが閉まっている	消火装置起動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 排給気ダンパーが遠隔により操作される場合、ダンパーの開閉状態が制御場所で見えるようにする</li> <li>✓ マッシュルーム&lt;排給気ダンパー&gt;の開閉状態が&lt;手動操作場所&gt;で見えるようにする</li> <li>✓ &lt;操作&gt;パネル上で排給気ダンパーの開放の指示&lt;インストラクション&gt;and 開閉状態の表示を設ける</li> </ul>
WS_A1/5'	排給気ダンパーの開放を忘れてしまう	オペレーションミス	消火装置が起動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ マッシュルームダンパー&lt;排給気ダンパー&gt;の開閉が見えるようにする。</li> <li>✓ オペレーションミスが起こりえないシステム的な手段を講じる (Ex.確認ボタンの設置)</li> </ul>
WS_A1/6	発泡されない	火災・爆発により、泡発生器の損傷	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 泡発生器は最低 2 台以上を分散して配置 (発泡に係る機器のためシステム 2 重化)</li> <li>✓ 925℃以上の耐火性を持つ泡発生器を採用</li> </ul>



ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A1/7	泡溶液が泡溶液配管から漏れ供給されない	火災・爆発により、泡溶液配管の損傷	発泡されない (注：CO2の場合は、破損された箇所からCO2が放出されるので、それなりの効果が得られる。)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 火災や爆発からの遮蔽手段を講じる。 (Ex.システムの2重化・既存の構造部材裏への配置。 EX.泡溶液配管を排給気ダクト内(又は同等の場所)に設置。)</li> <li>✓ 泡溶液配管は、それぞれ独立して最低2系統以上を分散して配置(発泡に係る機器のため保護区画内のシステム2重化)</li> <li>✓ 925℃以上の耐火性を持つ泡ラインを採用</li> </ul>
WS_A1/8	排給気ダクト損傷部から風が漏れ、風量低下	火災・爆発により、排給気ダクトの損傷・破孔	発泡能力が低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 925℃以上の耐火性を持つ排給気ダクトを採用(排給気ダクトの現仕様の耐性を検討し、材質・板厚確保)</li> <li>✓ 排給気ダクトは、それぞれ独立して最低2台以上を分散して配置(発泡に係る機器のためシステム2重化)</li> </ul>
WS_A1/9	機械通風ファンからの風が供給停止	火災・爆発により、機械通風ファンの故障	発泡されない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 機械通風ファンは、それぞれ独立して最低2台以上を分散して配置(発泡に係る機器のためシステム2重化)</li> <li>✓ 暴露甲板上にファンを設置する場合は、保護される区域からファンまでの距離を450mm離す。</li> <li>✓ 保護区域内にファンがある場合は、更なる検討を行う。</li> <li>✓ 横壁からの距離&lt;保護区域からの水平距離&gt;が450mm以上取れない場合は、別途調査検討する。</li> </ul>
WS_A1/10	貨物倉からの退避行動がとられない	泡の投入を伝える警報システムがない	人命損失(貨物倉内に船員が残っている場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 船員脱出のための防爆タイプの可視可聴警報装置の設置</li> </ul>
WS_A2/4	泡による火災包み込みが困難	不適切な泡発生器の配置	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 造船所の配置設計に依存するものではないことを確認</li> </ul>

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A2/5	泡の消火効果が低減	消火装置と互換性 (compatibility)のない 泡原液の搭載	火災の拡大	✓ 泡原液の指定
WS_A2/6	泡による火災包み込み が困難	不十分な泡の投入量・速 度	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 空の貨物倉容積を 10 分以内に充填でき、設計充填率以上の充填率を確保できる泡の投入速度で設計[FSS Code Chapter 6 の通り]</li> <li>✓ CFD シミュレーションと消火試験から必要な消火泡の投入速度を検討</li> <li>✓ 換気ダクト型の発泡器だけでは投入速度が不足する場合、追加の発泡器を設置</li> </ul>
WS_A2/15	雨や海水の貨物倉内へ の侵入による泡の潰れ	ハッチカバーが開放され ている（ハッチカバーレ ス船への採用含む）	火災の拡大	✓ ハッチカバーレス船には採用しない受注手順
WS_A2/16	泡の積み上がり阻害	船の動揺	火災の拡大	✓ 船体動揺による影響を受けにくい泡の特性
WS_A2/17	泡の積み上がり阻害 (泡の潰れ)	泡原液を使い切ったあ と、海水のみ貨物倉へ投 入される可能性	火災の拡大	✓ 泡原液が無くなると、泡放出装置を停止する。（泡溶液配管内圧力を圧カスイッチで検知する等の方法による）
WS_A2/17	泡の積み上がり阻害 (泡の潰れ)	泡原液を使い切ったあ と、海水のみ貨物倉へ投 入される可能性	火災の拡大	✓ 船上で各機器の効力確認ができる手段を講じる。
WS_A2/19	船へのダメージ（強度）	貨物倉内に泡が蓄積	船舶損傷	✓ 各貨物倉が浸水時の強度検討済であることの確認
WS_A2/21	貨物倉内への自由流動 水（泡還元水）の滞留	ビルジポンプ・エダクタ の能力不足	スタビリティへの悪影 響	✓ 装置搭載検討時に、個船毎の還元水量とビルジポンプ・エダクタ性能を確認する。必要に応じて、排水能力を増加する。

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A2/22	危険物用ビルジ排出の難化	ビルジポンプ・エダクタの能力不足	貨物倉内に危険物用ビルジの残留	✓ 装置搭載検討時に、個船毎の還元水量とビルジポンプ・エダクタ性能を確認する。必要に応じて、排水能力を増加する。
WS_A2/23	試料抽出システムの能力低下	火災検知管（試料抽出管）への泡の侵入	他の貨物倉内での火災探知の阻害	✓ 各貨物倉からセンサーまで独立の吸引管を設置 [FSS Chapt.10.2.3.1.5]
WS_A2/24	鎮火状況確認の難化	泡の蓄積	適切な消火活動の阻害	✓ 隣接ホールドの BHD 温度計測（持ち運び式赤外線温度計等搭載）
WS_A2/26	泡およびもしくは泡還元水と貨物倉内の電気機器（hold light, water ingress alarm, refer container 用電気ソケット等）の接触によるショート	発泡された泡の投入	火花スパークの発生	✓ 泡およびもしくは泡還元水が貨物倉内の電気機器に及ぼす影響を調査
WS_A3/1	倉内の泡が時間の経過とともに減る（泡の潰れ）	消火活動終了により、消火装置の停止	外部空気の流入による再発火	✓ 段階的に複数回泡放出可能な設計
WS_A3/2	外部空気の流入	泡放出後、貨物倉内で泡が維持される時間が CO2 と比べて短い可能性	再発火	✓ 最大貨物倉容積(空荷)を 5 回埋められる分の泡原液の搭載
WS_A3/3	損傷部から泡が船外へ流出	火災により、船体に破孔が開く	環境への影響（生態系、海水汚染）	✓ 泡原液の化学成分調査を実施し、海洋汚染に大きく寄与しないことを確認

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A4/1	消火装置の構成機器の損傷	コンテナ貨物と消火装置の構成機器が接触	消火装置が良好に作動しない	✓ セルガイドの設置
WS_A4/5	消火装置の構成機器の損傷	部品交換のためのスペアパーツ未搭載	消火装置が良好に作動しない	✓ スペアパーツの搭載
WS_A4/6	消火装置の構成機器の損傷	船の揺れ等で構成機器の固縛の緩み	消火装置が良好に作動しない	✓ 適切なサポート部材で補強
WS_A4/8	船員のミスオペにより、泡が貨物倉内に放出	泡の誤放出（ヒューマンエラー）が発生しやすいシステム	貨物倉内にいる人への悪影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自動放出されない設計</li> <li>✓ 積極的起動装置(放出のための手動釦等の操作者の意図を反映できる措置)の設置</li> <li>✓ 船員脱出のための防爆タイプの可視可聴警報装置の設置</li> </ul>
WS_A4/8	船員のミスオペにより、泡が貨物倉内に放出	泡の誤放出（ヒューマンエラー）が発生しやすいシステム	貨物倉内にいる人への悪影響	✓ 人体への有害度が低いことの検証
WS_A4/9	船員の負傷	船員がインサイドエア発泡器先端に接触（インサイドエアを設置する場合）	人命損失	✓ インサイドエア発泡器は船員の立ち入らない場所もしくは接触しないように設置
WS_B1/1	熱伝達により、アンダーデッキパッセージにある遠隔及び手動制御の分配弁にアクセスできない	隣接貨物倉での火災	消火装置が良好に作動しない	✓ 分配弁を対象区画の手前に配置

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_B1/1'	分配弁が分散化されていることによる、消火装置起動の遅れ	分配弁が遠隔で起動できないこと	消火活動が遅れ、火災の被害が拡大する	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各分配弁の開閉表示(制御盤への表示)</li> <li>✓ 火災の影響を受けずに分配弁へアクセスし、作動できること。(前後方向&lt;長手方向艙側&gt;に離隔距離 450mm 以上)</li> <li>✓ 両舷それぞれに分配弁を配置</li> </ul>
WS_B2/1	熱伝達により、消火装置の構成機器の故障	隣接貨物倉での火災	<p>消火装置が良好に作動しない</p> <p>通風ファンの配線の焼損</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 泡溶液配管を右舷及び左舷に分散配置（発泡に係る機器のためシステム 2 重化）</li> <li>✓ 分配弁を保護する機構の検討（誤作動防止含む）</li> <li>✓ 火災の影響を受けないような配線を検討する。</li> </ul>
WS_B4/4	消火装置の構成機器の損傷	冷凍・冷蔵エリア(本船の食糧庫等)を泡溶液配管が通過	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 冷凍・冷蔵エリアに構成機器を配置しない設計</li> </ul>
WS_C2/1	海水ポンプが作動しない可能性	船内ブラックアウト(貨物倉での電線焼損→電線同士の接触→短絡による)	消火活動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 短絡を起こした故障回路を部分的に遮断する設計 [IEC60092-202]</li> </ul>
WS_C2/3	不十分な海水供給量	海水ポンプの兼用（泡消火装置用、2条/4条射水用、水噴霧噴霧ランス・モニター用）	泡消火装置が良好に作動しない、または他の水系消火装置の作動を阻害する	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 装置搭載検討時に、泡消火装置、2条/4条射水,排水用エダクター(水噴霧ランス・モニターを除く)を考慮し、海水ポンプの容量を確認する。必要に応じて、ポンプ容量を増加、または専用ポンプを追設する設計</li> <li>✓ 他の保護区画に同時発泡されないインターロックの設置</li> </ul>

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_D1/1	消火活動の遅れ	システム起動の困難さ (起動装置・関連バルブ開放までのアクセスの悪さ、操作の難しさ、保護区域からの熱影響、制御システムの点在配置、船員の操作順序理解不足)	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 二つの起動方法を採用</li> <li>1. 泡原液タンク設置区画内から制御パネル操作 (機側)</li> <li>2. 船橋又は火災制御室 (居住区) から制御パネル操作 (遠隔)</li> <li>✓ 容易な操作が可能な設計</li> <li>✓ 火災制御場所として防熱設置</li> <li>✓ 分配弁は保護対象区画の手前など、火災発生場所から離れた場所から確認・機側手動及び遠隔操作できる設計</li> </ul>
WS_D1/3	消火装置の構成機器の損傷	泡原液および泡溶液の凍結、配管内水の凍結	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドレン抜き設置</li> </ul>
WS_D1/4	消火装置の構成機器の損傷	閉鎖された弁による配管内圧の急増	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 過圧とならない設計 (保護装置の設置等)</li> </ul>
WS_D2/2	不十分な泡溶液の供給	泡原液タンク内の泡原液の量が足りていない	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 最大貨物倉容積(空荷)を 5 回埋められる分の泡原液の搭載</li> </ul>
WS_D2/6	消火装置の構成機器の損傷	泡原液の全量消費後に運転を継続することによるポンプメカシール焼き付き	消火能力が低下し、火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 保護システムの搭載</li> </ul>
WS_D3/1	配管内の腐食	配管の水抜き不良	消火装置の構成機器の損傷	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドレン抜き設置</li> <li>✓ 耐腐食性を有する配管を使用</li> </ul>
WS_D4/2	泡原液の効果低減・損失	不適切な FOAM TANK の設置により泡原液が凍結	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 航行区域 (想定気温) に応じて要すればヒーターの設置</li> <li>✓ 凍結しない対策(メーカー及び造船所所掌)</li> </ul>

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_D4/3	泡原液の効果低減・損失	泡原液の不適切な保管 (室内高温による)	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 高温とならない区画に保管</li> <li>✓ 熱影響を受けにくい保管タンクの設置</li> <li>✓ 区画の通気</li> </ul>
WS_D4/4	泡原液の効果低減・損失	泡原液の不適切な保管 (衝突時のダメージを受けやすい配置による、アクセス困難な配置による、十分な防熱がないための熱影響による)	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SOLAS II-2 10.4.3 に従う泡原液の配置 (保護区画の外、衝突隔壁の後方、可能な限り暴露甲板からの直接アクセス可能、火災制御場所として防熱)</li> </ul>
WS_D4/5	配管内残留水が凍結して配管が閉塞	装置使用後のメンテナンス不良	消火装置が良好に作動しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドレン抜き設置</li> </ul>
WS_D4/8	泡原液不足	泡原液の残量確認ができない	十分な泡原液が火災が発生している貨物倉に供給されず、火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 残量確認ができる設計</li> </ul>
WS_D4/11	泡の誤放出・漏洩	誘導電流による誤作動	貨物倉内の機器や人への悪影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 完工前に調整工事の実施 (誘導電流による誤作動は調整工事時に明らかとなり解消される。)</li> <li>✓ 誘導電流の影響が発生しないような配線</li> </ul>

表 5.2.3 オペレーションマニュアルで確認される安全対策

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A1/5	(排給気用の) 機械通風ファンのダンパーを開放するための手動操作に時間を要する	機械通風ファンのダンパーが閉まっている	消火装置起動の遅れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ &lt;操作&gt;マニュアルによる開放手順の周知・徹底</li> <li>✓ 機械通風のファンは、ダンパーが開放されてから起動すること</li> </ul>
WS_A2/11	泡の積み上がり阻害 (泡の潰れ)	消火ホースからの射水 (二条・四条)	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 消火操作手順における操作制限 (泡消火装置使用中に射水は禁止)</li> </ul>
WS_A2/12	泡の積み上がり阻害 (泡の潰れ)	危険物(DG Class 1 火薬類) 用散水装置からの散水	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 消火操作手順における操作制限 (泡消火装置使用中に散水は禁止)</li> </ul>
WS_A2/14	泡放出に伴い、貨物倉内の空気の圧力が増す	貨物倉が完全に密閉されている (空気の逃げ場がない)	良好に発泡されない	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 装置搭載検討時に、実船のハッチコーミングとハッチカバーのあたりを確認する。必要に応じて、泡消火装置の使用マニュアルに自然通風を開放する旨明記。</li> </ul>
WS_A2/15	雨や海水の貨物倉内への侵入による泡の潰れ	ハッチカバーが開放されている (ハッチカバーレス船への採用含む)	火災の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 消火手順にてハッチカバーを閉めることを規定</li> </ul>
WS_A2/21	貨物倉内への自由流動水 (泡還元水) の滞留	ビルジポンプ・エダクタの能力不足	スタビリティへの悪影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 還元水をビルジ排水しながら消火装置を作動させる設計</li> </ul>
WS_A2/21	貨物倉内への自由流動水 (泡還元水) の滞留	ビルジポンプ・エダクタの能力不足	スタビリティへの悪影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 固定消火の手順を、消火ホース射水との併用禁止する旨明確化</li> </ul>



ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A2/24	鎮火状況確認の難化	泡の蓄積	適切な消火活動の阻害	✓ 鎮火状況の確認方法をユーザーマニュアルや指示盤等関連文書に明記
WS_A2/25	泡およびもしくは泡還元水と一般貨物・危険物の接触による化学反応	発泡された泡の投入	爆発性ガス・可燃性ガスの発生や発熱反応による貨物の温度上昇及び自己着火	✓ 荷主からの情報やIMDG Code等適用される指針に基づき、貨物に適した容器に梱包及びコンテナ内に格納して搭載（2重のパッキング）
WS_A3/2	外部空気の流入	泡放出後、貨物倉内で泡が維持される時間がCO2と比べて短い可能性	再発火	✓ 適切な発停のタイミングはマニュアルにて指示する。
WS_A3/6	貨物倉内に泡が残る	泡の投入	倉内の汚損	✓ 貨物倉内の水洗を実施
WS_A4/1	消火装置の構成機器の損傷	コンテナ貨物と消火装置の構成機器が接触	消火装置が良好に作動しない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_A4/2	消火装置の構成機器の損傷	消火装置のメンテナンスの困難性	消火装置が良好に作動しない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_A4/2	消火装置の構成機器の損傷	消火装置のメンテナンスの困難性	消火装置が良好に作動しない	✓ メンテナンス（メンテナンステストも含む）が容易な設計
WS_A4/3	発泡能力の低下	泡発生器の発泡ネットの腐食・目詰まり	火災の拡大	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_A4/4	消火能力の低下	ダクト、泡溶液配管、泡発生器、機械式通風ファンが損傷	火災の拡大	✓ 点検・修理・検査の実施

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_A4/6	消火装置の構成機器の損傷	船の揺れ等で構成機器の固縛の緩み	消火装置が良好に作動しない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_A4/7	泡が火災検知管（試料抽出管）に侵入	船上訓練で泡の放出を実施	火災検知システム（試料抽出検知システム）の故障	✓ 訓練等で当該泡消火装置を使用した後は、火災検知システム（試料抽出検知システム）の効力試験を実施する旨、使用マニュアルに明記
WS_A4/10	通風ダクトの換気量の低下	泡発生器の発泡ネットの閉塞	危険雰囲気形成（可燃性ガスや有毒ガス等危険ガスの充満）	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_B3/1	泡溶液配管の閉塞	泡溶液配管内部の腐食	泡溶液が適切に供給されない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_B3/2	分配弁の遠隔操作ができない	分配弁遠隔操作のための電気配線の焼損	泡消火装置が機能せず、火災の拡大	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_B3/3	分配弁の遠隔操作ができない	分配弁遠隔操作のための油圧配管の損傷（油圧操作を採用する場合）	泡消火装置が機能せず、火災の拡大	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_C4/1	消火装置の構成機器の損傷	消火装置のメンテナンスの困難性	消火装置が良好に作動しない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_C4/2	消火装置の構成機器の損傷	部品交換のためのスペアパーツ未搭載	消火装置が良好に作動しない	✓ 点検・修理・検査の実施

ID	ハザード	原因	結果	安全対策
WS_D1/1	消火活動の遅れ	システム起動の困難さ (起動装置・関連バルブ 開放までのアクセスの悪 さ、操作の難しさ、保護 区域からの熱影響、制御 システムの点在配置、船 員の操作順序理解不足)	火災の拡大	✓ 操作マニュアルの設置
WS_D1/3	消火装置の構成機器の 損傷	泡原液および泡溶液の凍 結、配管内水の凍結	消火装置が良好に作動し ない	✓ 点検・修理・検査の実施 ✓ 航行区域（想定気温）に応じて要すればヒーターの設置
WS_D3/1	配管内の腐食	配管の水抜き不良	消火装置の構成機器の損 傷	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_D3/2	適切な泡原液が搭載さ れない	泡原液を使い切った後、 消火液の再充てんの（入 手性による）困難性	条約違反となり航行不能	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_D4/5	配管内残留水が凍結し て配管が閉塞	装置使用後のメンテナン ス不良	消火装置が良好に作動し ない	✓ 点検・修理・検査の実施
WS_D4/6	退避警報の喪失	制御盤の故障による制御 電源の喪失	保護区画からの人員の退 避が遅れる	✓ 点検・検査・修理の実施
WS_D4/7	泡原液の効果低減・損 失	泡原液の経年劣化	消火装置が良好に作動し ない	✓ 点検・検査・修理の実施

## 第6章 研究結果

固定式泡消火装置に適用される FSS Code 第 6 章の規定に加え、HAZID 会議において同定されたハザードに対して安全対策を講ずることを条件に、コンテナホールド向け泡消火装置のコンセプト設計において CO<sub>2</sub> 消火装置との同等性が確認された。

## 添付資料

1. リスク評価資料等に関する業務 依頼項目 8 関係 船舶の海難事故発生頻度及び被害度の推定に関する調査研究(コンテナ船編)
2. リスク評価資料等に関する業務 依頼項目 10 関係 船舶の火災・爆発事故の発生頻度及び被害度の推定に関する調査研究
3. HAZID 報告書
4. コンテナホールド向け固定式泡消火装置の作動時間
5. 泡生成容量とコンテナホールドの泡充填時間の関係について
6. 実規模泡流動試験
7. 消火試験方案及び試験記録
8. 氷点下環境中における高膨張泡の挙動について
9. コンテナ内部への泡の侵入性について
10. 水反応可燃性物質の輸送実情についての調査