

マイクロフォグ（微細噴霧化）
スプリンクラーヘッドの開発

報告書

平成25年3月

社団法人 日本船舶品質管理協会

目 次

第1章 事業の背景及び目的	1
1. 1. 事業の背景	1
1. 2. 事業の目的	1
第2章 事業の目標	2
2. 1. 閉鎖型マイクロ Fogヘッドの開発目標	2
2. 2. 目標仕様	2
第3章 事業内容	3
3. 1. 閉鎖型ヘッドの設計・試作	3
3. 2. 量産試作ヘッドの性能検証	3
3. 3. 実規模消火試験による同等性の検証	3
3. 4. 事業の実施状況	3
第4章 技術開発の実施状況	4
4. 1. 閉鎖型スプリンクラーヘッドの設計・試作	4
第5章 量産試作スプリンクラーヘッドの性能検証	5
第6章 実規模消火試験による同等性の実証	7
第7章 量産スプリンクラーヘッド	12
第8章 まとめ	13

第1章 事業の背景及び目的

1. 1. 事業の背景

船舶におけるスプリンクラー設備は、スプリンクラーヘッドを船内の客室、通路等に設置し、火災時にヘッドが動作することにより自動的にポンプが起動し、放水を継続させ、火災を有効に消火するよう機器構築したシステムです。

客船及びフェリー船等の客室には、通常、火災の感知・消火を同時に行う閉鎖型スプリンクラーヘッドが設置されている。現在、船舶用のスプリンクラーヘッドは、放水量が80L/minの物が一般的ですが、水損による2次被害が多く出るため小水量化の要求があります。同時に小水量化ができれば配管材料、ポンプ、水槽など機材をコンパクトにすることができ、スプリンクラー設備全体のコストが軽減でき、また、重量低減による船舶の燃費向上にも寄与できます。このような要求に応えるため、本技術開発では小水量スプリンクラーヘッドの開発を目指した。

1. 2. 事業の目的

火災に対し小水量で同等な消火性能を実現する手段として、散布水の粒子径を微細な噴霧状態とし冷却効率を向上させたウォーターミスト（以下、マイクロフォグ）とした。一般的なスプリンクラーヘッドは粒子径約1mm程度の水を散布するが、マイクロフォグ粒子径は約200 μ m以下で、一般的なスプリンクラーヘッドに比べ表面積が著しく広がり、水の蒸発潜熱による高い冷却効果が期待できる。

<スプリンクラーヘッドの説明>

火災に対しての消火性能は、スプリンクラーヘッドが持つ水の散水性能で決まる。またスプリンクラーヘッドには閉鎖型と開放型があり、一般的には閉鎖型のものが主流です。閉鎖型スプリンクラーヘッドは、火災発生による温度上昇により、一定の温度に達すると感熱部が分解する。感熱部は散水口の栓の役目もしており、感熱部の分解落下によって放水が開始される。開放型は栓の役割をする感熱部が存在しないもので、火災時に人が手動でポンプを起動し放水する。設備として、自動的に起動させるには、一般に火災感知器を設置しその信号でポンプ起動する構成を取る。

一例として閉鎖型スプリンクラーヘッドの構造及び動作を、写真・断面図（図1-1）と放水動作（図1-2）で説明いたします。

図中の閉鎖型スプリンクラーヘッドは、感熱部にガラス管の内部にアルコールを封入した構成の物（グラスバルブ）を採用、通常は水の放出口の栓を感熱部で閉じているが、火災の熱によりガラス管内のアルコールが膨張し一定温度で感熱部が破裂、放出口の栓が脱落し放出口が開き水が散布される。

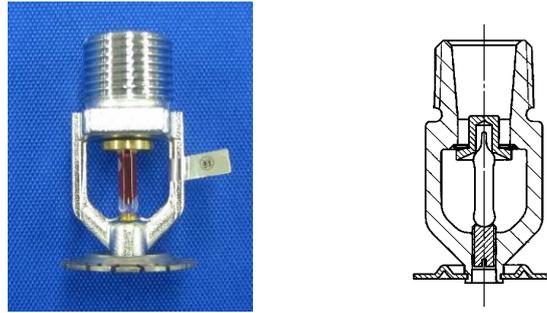


図 1-1 閉鎖型スプリンクラーヘッド (左:写真 右:断面図)

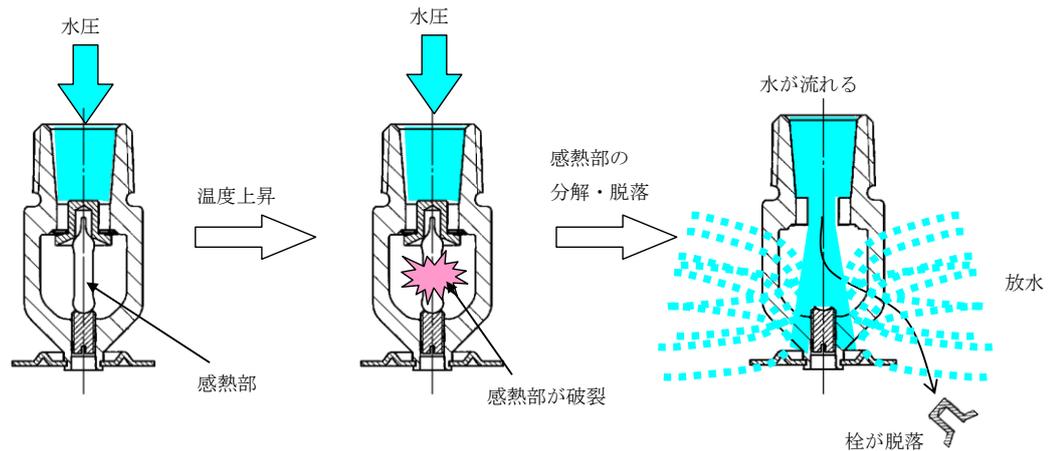


図 1-2 閉鎖型スプリンクラーヘッドの放水の動作

水を微細噴霧で消火する手段は、現状 5MPa 以上の高圧力で行う高圧タイプが実用化されているが、本開発では、一般のスプリンクラー設備で使用する 1MPa 以下の圧力条件で同等な微細噴霧の実現を目指した。また、IMO 規格では閉鎖型機構を持つことが要求されている。

すなわち本技術開発では、従来の一般的なスプリンクラー設備と同等な消火性能を、同等な圧力条件で、消火水量 毎分 80L から 20L 以下に削減することを可能とする閉鎖型マイクロフォグヘッドの開発を行った。また、実際の火災条件での効果及び性能を検証し、製品化を行なうことを目的とした。

第 2 章 事業の目標

2. 1. 閉鎖型マイクロフォグヘッドの開発目標

現在のスプリンクラーヘッド放水量 80L/min と同等消火性能を、圧力 1 MPa 以下の低圧で水粒子を微細化させ、従来と比較し放水量 1/4 の 20L/min で実現することを目標に開発した。

2. 2. 目標仕様

- ①構造 : 閉鎖型 (火災感知温度 68°C)
- ②水量 : 水量 20L/min 以下 (従来品に比較し 1/4 以下の小水量化)
- ③放水圧 : 圧力 1 MPa 以下 (低圧で水粒子径 200 μ m 程度)
- ④適用 : 適用火災区画は、IMO 規格で規定された客室キャビン廊下火災試験基準に適合する。

第3章 事業内容

低圧・小水量で火災感知機能を持つ閉鎖型マイクロ Fogヘッドの開発は、以下の内容で行った。

3. 1. 閉鎖型ヘッドの設計・試作

水を微細噴霧する構造を持ち、感熱部を有するヘッドの設計を行い試作製作を実施。基本性能の評価は、水の微細噴霧化の条件でコンピュータシミュレーションと実放射により検証することで、ヘッドの構造・機構を決定した。

3. 2. 量産試作ヘッドの性能検証

試作ヘッドの条件を基本に量産試作ヘッドを製作、その量産ヘッドに対し、感知性能、作動試験、耐圧、耐熱、放水分布、放水量、振動、衝撃、腐食、劣化、目詰り、性能ばらつき確認試験を行ない、併せ量産時のヘッド生産条件を確立した。

3. 3. 実規模消火試験による同等性の実証

従来のスプリンクラーヘッドと同等な消火性能を持つことを、実物大の区画条件で実規模火災に対し消火試験を実施し、同等な消火性能を実証した。

火災試験の条件は、IMO Resolution A. 800 (19) の Appendix 2 にて規定された試験をベースに行なった。

3. 4. 事業の実施状況

実施内容とスケジュールを下記に記載する。

表 3-1 開発スケジュール

実施項目		平成 24 年度			
		1/4	2/4	3/4	4/4
1	閉鎖型ヘッドの設計・試作				→
2	量産試作ヘッドの性能検証				→
3	実規模消火試験による同等性の実証				→

第4章 技術開発の実施状況

4. 1. 閉鎖型スプリンクラーヘッドの設計・試作

(1) 第一試作

現行の消火用ミストヘッド(ヤマトプロテック(株)製YMH-3SH、以下、現行低圧マイクログ Fog)にそのまま感知部(ガラスバルブ)を組み込んだイメージの形状にて、試作評価を実施。放水確認、衝撃試験、作動試験、放水量測定を実施し、問題ない結果となった。



図 4-1 第一試作

(左：外観 / 右：放水状況)

(2) 第二試作

強度の弱いガラスバルブ部分の保護構造を強化する内容で形状案 4 通りを設計し、試作評価実施。第一試作と同様に、放水確認、衝撃試験、作動試験、放水量測定を実施したが、ミスト化性能、コスト面から第二試作の形状ではメリットが出せないと判断、第一試作の基本形状をベースに量産形状試作を設計することとした。

表 4-1 第二試作 グラスバルブ保護強化設計コンセプト

	形状イメージ	試作品	ガラスバルブ保護強化内容
①		 Supported by THE NIPPON FOUNDATION	感知部をデフレクタよりも下の部分に設け、格子状のカバーで保護。作動時、ガラスバルブがはじけた後、キャップが下に落ちてキャップ上面がデフレクタの役割をはたす。



図 4-2 第二試作① の放水状況

(3) 粒子径シミュレーション

開発中のヘッド構造において生成されるミストの粒子径分布を予測可能なシミュレーションモデルを構築した。このモデルを使用してヘッド形状と生成される粒子径の関係を計算した所、今回の開発において想定される寸法範囲内においては消火におい

て重要な 400 μ m 以下の粒径分布は変わらないことが分かった。

第 5 章 量産試作スプリンクラーヘッドの性能検証

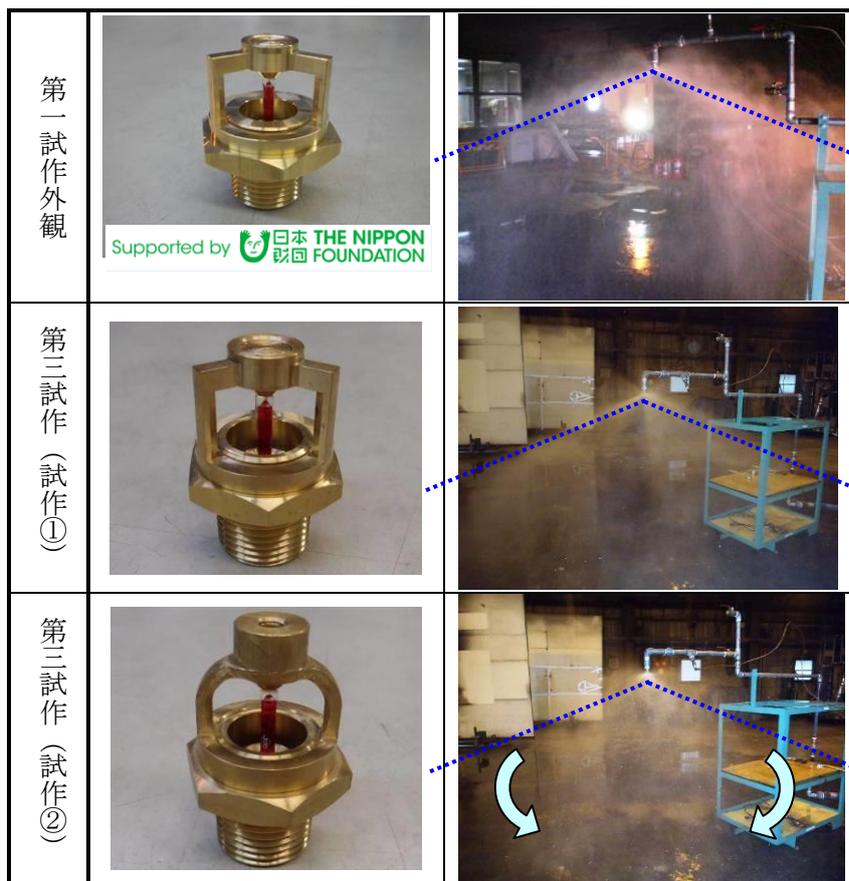
(1) 第三試作

金型製作に進む前に、量産試作形状 2 種類を切削加工にて試作し、基本性能の評価し、ベースとなった第一試作同様問題ない結果。評価内容、コスト、デザイン等を総合的に考慮し、第三試作①の形状をベースに量産時コストダウンのための金型製作に着手する方針とした。

表 5-1 第三試作内容一覧

	第一試作	第三試作①	第三試作②
外観	 Supported by 		
特徴	-	<ul style="list-style-type: none"> ○第一試作をベースに 小型・軽量化 ○デフレクタ支柱三本 ○耐衝撃性において有利 ○意匠面で 際立った特徴をもつ 	<ul style="list-style-type: none"> ○量産コストを考慮し 鍛造形状を模擬 ○デフレクタ支柱二本 ○対称性の高い形状で やや安価だが一般的に 広く用いられている グラスバルブ型の 閉鎖型スプリンクラーに類 似している

表 5-2 第三試作 放水確認結果一覧



(2) 量産形状の基本形に関する評価

量産形状の基本形を評価した結果、第三試作においても基本性能を有し、コンピュータシミュレーションにより、ヘッドの基本構造を変えない限り、衝突面の寸法を変えても、生成されるミストの粒子径は変化しないことが確認できた。

表 5-3 量産形状評価結果一覧

	第三試作①	第三試作②	備考
評価試験結果	○	○	①、②とも結果は良
コスト	△	○	①：デフレクタ支柱三本のためコストアップ ②：デフレクタ支柱二本で対称形状のため、安価に製作可能
デザイン	◎	△	①：耐衝撃性において有利、意匠面で際立った特徴をもつ ②：閉鎖型スプリンクラーに類似している

総合的に考慮し、デザイン性に優れた第三試作①の形状をベースに量産金型の製作に着手する方針とした。

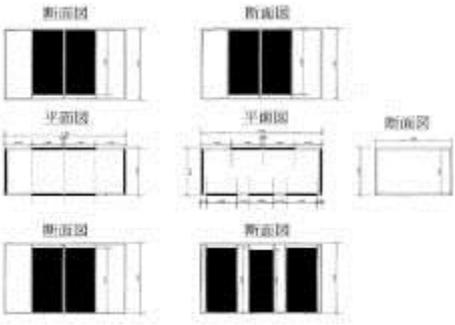
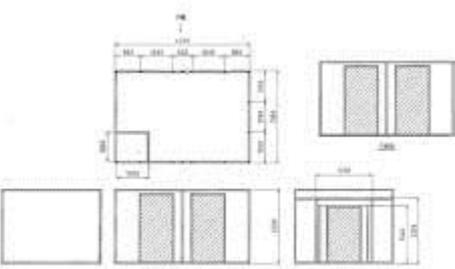
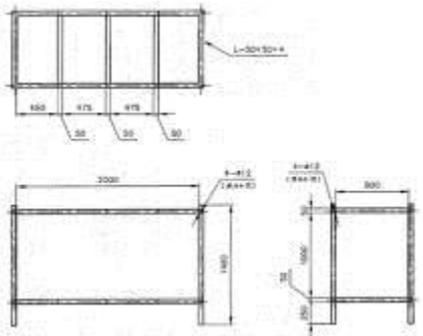
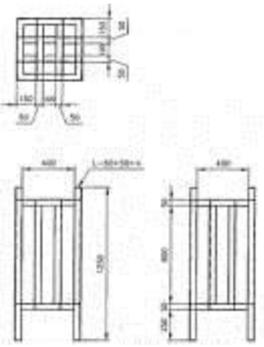
また実規模消火試験でヘッド寸法の最終確認、調整を行い、量産成型形状の試作に進む方針とした。

第6章 実規模消火試験による同等性の実証

(1) 消火試験区画の設計・施工

従来のスプリンクラーヘッドと同等の消火性能を持つことの確認のため、Resolution A. 800 (19) のAppendix2に規定された消火試験模型・区画の設計を行い、区画工事を実施した。

表 6-1 消火試験区画模型 概要

	設計図	完成写真
客室および廊下模型	<p style="text-align: center;">設計図</p> <p style="text-align: center;"><廊下部分></p>  <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p style="text-align: center;"><客室部分></p> 	 <p style="text-align: center;">Supported by </p>
客室模型消火試験用火源模型		 <p style="text-align: center;">Supported by </p>
廊下模型消火試験用火源模型		 <p style="text-align: center;">Supported by </p>

(2) 客室・廊下模型 消火試験

試作ヘッドを用い、ヘッドの最適な仕様、形状・寸法の微調整を行いながら消火試験を実施し、全消火条件の基準適合を確認。ヘッド仕様を決定した。

(イ) 消火試験条件及び消火試験判定基準

製作した消火区画模型にて、IMO Resolution A.800(19) Appendix 2 にて規定された試験方法に準拠し、消火試験を実施。

表 6-2 消火試験条件一覧

	試験名
条件 1	Lower bunk bet test (下段寝台の試験)
条件 2	Upper bunk bed test (上段寝台の試験)
条件 3	Arsonist test (放火の試験)
条件 4	Corridor test (廊下の試験 / 火源配置：ヘッド真下)
条件 5	Corridor test (廊下の試験 / 火源配置：ヘッド中央)
条件 6	Disabled nozzle test (ヘッド不作動の試験)

表 6-3 客室および廊下における消火試験判定基準

		客室天井温度		廊下天井温度	マットレス		その他
		表面[°C]	気温[°C]	表面[°C]	最大許容損傷率[%]		
		30 秒平均の最大値			下段寝台	上段寝台	
客室	下段寝台	360°C	320°C	120°C	40%	10%	廊下ヘッド 作動なし
	上段寝台					40%	
	放火			120°C			
廊下				120°C			廊下ヘッド 作動 2 個以下
ヘッド不作動				400°C			

(ロ) 消火試験結果

第三試作①をベースとして、スプリンクラーヘッドの調整を行いながら、表6-2に示されている消火試験を行い、その結果を表6-3で記載されている消火試験判定基準により評価した結果、(ハ)で示すスプリンクラーヘッドが、下段寝台の試験、上段寝台の試験、放火の試験、廊下の試験(火源配置:スプリンクラーヘッド真下)、廊下の試験(火源配置:スプリンクラーヘッド中央)及びスプリンクラーヘッド不作動の各試験で消火試験判定基準を満足することを確認した。表6-4及び図6-1に最も厳しい試験となった下段寝台の試験の結果及び消火試験状況を示す。

表6-4 消火試験結果(下段寝台)

	試験結果	判定基準
客室天井 最大表面温度	77℃	360℃以下
客室天井 最大気温	163℃	320℃以下
廊下天井 最大表面温度	24℃	120℃以下
下段焼損率	35%	40%以下
上段焼損率	2%	10%以下
廊下ヘッド作動数	0個	0個

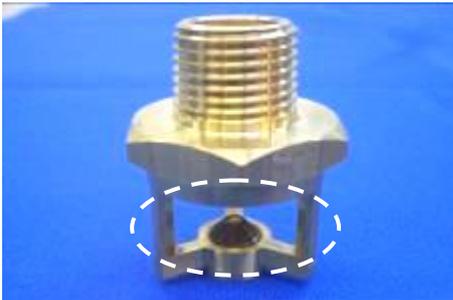
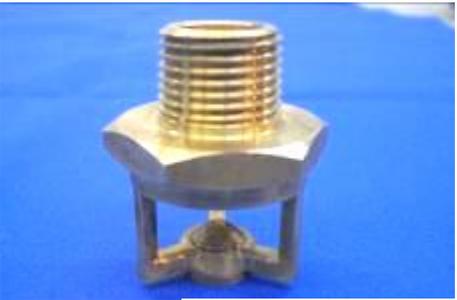


図6-1 消火試験状況(下段寝台)

(ハ) スプリンクラーヘッドの調整

試験を行っていく中で、基準適合の最も厳しかった下段寝台試験を含む全ての試験条件に適合できるよう、これまでの実験およびコンピュータシミュレーションで得られた結果をもとにヘッド形状の微調整(デフレクタ部品の寸法のわずかな変更による噴霧角の調整)を行いながら、設置仕様の試行錯誤(ヘッド取付間隔、など)を実施。調整後のスプリンクラーヘッドを表6-6に示す。

表 6-6 ヘッド調整状況

デフレクタ部品の調整前 (第三試作①)	デフレクタ部品の調整後
 A photograph of a brass sprinkler head with a hexagonal base and a threaded top. A dashed white circle highlights the deflector part at the bottom of the head. The background is blue. Supported by  日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION	 A photograph of the same brass sprinkler head after adjustment. The deflector part has been machined, resulting in a different shape. The background is blue. Supported by  日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION

デフレクタ部分を切削加工

第7章 量産スプリンクラーヘッド

金型成型品は、機械加工品と同形状、同寸法で製作しても、材質の表面仕上げの状態や端面の処理などが微妙に異なり、試作評価を行った品と同等の品が仕上がったことを評価しておく必要がある。

(1) 量産スプリンクラーヘッドの形状

全ての消火試験条件への適合を確認したヘッド形状（デフレクタ部品を調整後の第三試作①）をもとに、量産スプリンクラーヘッドの形状・寸法を決定した。

また、実施工時には天井板に穴を開けてヘッドを取り付ける関係上、ヘッドと天井板の間にできる隙間を隠すための化粧板を取り付けられるよう、消火性能に関わらない部分の形状を変更した。

(2) 量産スプリンクラーヘッドの金型製作及び試作

金型を製作し、量産試作を行った。仕様は設計図面と相違ないことを確認。

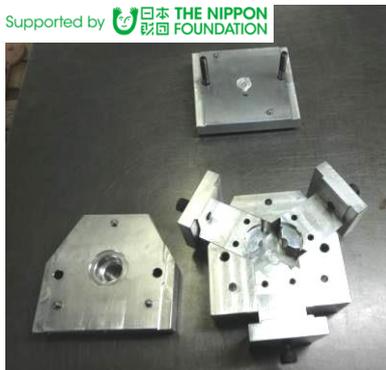


図 7-1 金型写真



図 7-2 量産スプリンクラーヘッド（左：客室用 / 右：廊下用）

(3) 量産スプリンクラーヘッドの性能評価

図 7-2 の量産スプリンクラーヘッドに対して、衝撃試験、作動試験及び放水試験を行った結果、表 6-6 に示すデフレクタ部品の調整後の第三試作①と同等の基本性能を有することが確認できた。

第8章 まとめ

本技術開発は下記の4段階のステップを踏んで実施した。

(1) 閉鎖型スプリンクラーヘッドの設計・試作

現行低圧マイクロ Fogヘッドを基軸に閉鎖型スプリンクラーヘッドを開発するに際し、現行低圧マイクロ Fogヘッドに感熱部(ガラスバルブ)を組み込む構造を取り入れただけの第一試作、および、耐衝撃性の弱いガラスバルブを強固に保護する構造を追加した第二試作(4種類)を製作し、性能評価を実施した。結論として、最も単純な構造の第一試作にて、必要十分な基本性能を有していることが分かり、第二試作に比べ部品点数も少なくコスト面でもメリットが見込まれる第一試作の形状を基に量産形状を設計していくこととした。

また、開発中のヘッド構造において生成されるミストの粒子径分布をコンピュータ計算で予測可能なシミュレーションモデルを構築した。このモデルを使用し、ヘッド形状と生成される粒子径の関係を計算した所、今回の開発において想定される寸法範囲内においては消火において重要な400 μ m以下の粒径分布は変わらないことが分かった。

(2) 量産試作スプリンクラーヘッドの性能検証

量産のための金型製作に進む前に、第一試作をベースとした量産試作形状(2種類)を切削加工にて製作した。第一試作を可能な限り小型・軽量化した第三試作①と、量産時の製造コストを優先的に意識し、デフレクタ支柱を3本から2本に減らしたコンセプトの第三試作②、ともに基本性能に問題ないことを確認。ただし、第三試作②は、やや量産コストが安く見積もられるものの、意匠が凡庸であり、ガラスバルブの露出が多く耐衝撃性でやや不利と考えられ、評価内容、コスト、意匠等を総合的に考慮した結果、特徴的な意匠を持ち、耐衝撃性で有利な第三試作①の形状をベースに量産形状を設計していく方針とした。

ただし、ヘッドの詳細寸法、仕様については、後に行った実規模消火試験による消火性能の実証を以って最終確定することとした。

(3) 実規模消火試験による同等性の実証

第三試作①のヘッドを使用し、IMO Resolution A. 800(19)のAppendix 2にて規定された消火試験を行った。

基準適合の最も厳しかった下段寝台試験を含む全ての試験条件に適合できるよう、これまでの実験およびコンピュータシミュレーションで得られた結果をもとにヘッド形状の微調整(デフレクタ部品の寸法のわずかな変更による噴霧角の調整)を行い、試行錯誤の末、全消火条件の基準に適合できるヘッドの形状寸法、設置仕様を確定させた。

(4) 量産スプリンクラーヘッド

消火性能を実証できた仕様にて、ヘッドの量産形状を確定させ、金型製作に着手した。金型成型により量産型のヘッドを製作し、基本性能において、量産試作ヘッドと同等の性能をもつことを再確認した。

(5) 総括

計画当初は、感熱部であるガラスバルブを製品に組み込むに際し、耐衝撃性能が懸念され、この部品に対する複雑な保護構造が必要になることも想定していたが、評価の結果、比較的シンプルな構造で耐衝撃面をクリアできる形状を設計することができ、金型初期投資費用の削減など、コスト面のメリットにつなげることができた。

今回の開発品においては、船舶の客室、廊下用途のスプリンクラーヘッドとして、型式認証試験で求められる基本要件をクリアできる目処が立ったが、それに留まらず、その他の設置要件への適用を検証しながら応用開発をしていく展望であり、社団法人 日本船舶品質管理協会 製品安全評価センターによる受託試験を受検し、国土交通省および船級の型式認証を取得し、商品化(2014年予定)につなげていく予定。