

平成 2 5 年度
排熱回収型サイレンサに関する技術開発（実船搭載試験）
成果報告書

平成 2 6 年 3 月

一般社団法人 日本船用工業会

はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成 25 年度に社団法人日本舶用工業会が実施した「排熱回収型サイレンサに関する技術開発（実船搭載試験）」の成果をとりまとめたものである。

貨物船においては、停泊中は発電機関を運転しているが、その排熱は利用されていないため、発電機関用のサイレンサに熱回収機能を付加した新型のサイレンサの開発を平成 22、23 年度の 2 年計画で実施している。この度、船社の協力を得て実船実験の目途が立ったため、実船実験を実施し、既存蒸気系との適合性、搭載方法、省エネ効果等を検証し、商品化と実用化を図るものである。

本開発は、平成 24 年度、25 年度の 2 年計画で、株式会社大晃産業に委託して実施しており、その成果をここにまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 26 年 3 月
(一社) 日本舶用工業会

目 次

第 I 部 平成 24 年度	1
1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	1
2.1 本事業の最終目標	1
2.2 平成 24 年度の目標	2
3. 事業内容	2
3.1 既存蒸気系への結合方法の確立	2
3.2 実船試験用排熱回収型サイレンサの設計・製作	2
3.3 搭載対象船の機器 / 装置の改造	2
3.4 実船搭載試験準備	2
4. 実施内容	2
4.1 既存蒸気系への結合方法の確立	2
4.1.1 実船搭載試験船の選定	2
4.1.2 配管系統の検討及びシリーズ船の訪船確認	4
4.2 実船試験用排熱回収型サイレンサの設計・製作	9
4.3 搭載対象船の機器 / 装置の改造	14
4.3.1 実船配置図	14
4.3.2 計測系の構築	18
4.3.3 装置設計・製作	24
4.3.4 搭載機器船級検査	29
4.4 実船搭載試験準備	42
5. 平成 24 年度の目標の達成状況	43

第Ⅱ部 平成25年度	44
6. 平成25年度の実施内容	44
6.1 排熱回収型サイレンサ及び関連機器の搭載	44
6.1.1 実船搭載機器のユニット化	44
6.1.2 実船搭載機器積込	46
6.1.3 実船搭載工事	47
6.2 実船搭載試験	52
6.2.1 実船試験①	52
6.2.2 実船試験②	57
6.2.3 実船試験③	62
6.2.4 本船での使用状況	65
6.2.5 試験結果総括	66
6.3 実用排熱回収型サイレンサの設計	68
6.3.1 生成蒸気量100kg/hの実用排熱回収型サイレンサ	69
6.3.2 大晃産業標準型サイレンサ寸法ベースの実用排熱回収型サイレンサ	72
6.3.3 生成蒸気量最大型排熱回収型サイレンサ	72
7. 平成25年度の目標の達成状況	74
8. 目標達成度の自己評価	74
9. 排熱回収型サイレンサの今後の取り組み	75

第 I 部 平成 24 年度

1. 事業の目的

運航コスト削減と温暖化対策の観点から、海運分野においても様々な省エネルギー対策が進められている。しかし、停泊時に稼働する主発電機関からの排熱は、350℃程度と高温であるが、未利用となっている。現在、DW5.0 万トン～8.0 万トンバルクキャリアー（BC）には 400～520kW の発電機関 3 基が搭載されており、荷役停泊時にはこの内の 2 基が約 3/4 負荷で運転されているため、排熱の 40%（180～234kW）が回収できれば、0.6MPaG の蒸気が 240～320kg/h 生産できることになる。この蒸気量は、同クラス BC の停泊時デッキサービス等の平均蒸気消費量 200kg/h を十分賄うことができる。

このため、平成 22 年度と 23 年度に渡り、日本財団殿の助成を得て、発電機関からの排熱を回収することが可能なサイレンサを開発する、「排熱回収型サイレンサに関する技術開発」を実施し、目標とした排熱回収量（生成蒸気量）、消音性能、ガス側圧力損失の全てについて、陸上試験では良好な結果を得ることができた。

しかし、本サイレンサのトータルプラントとしての実用化には、実際に船舶に搭載し、容量の大きい既存蒸気系への適合性、狭い空間への搭載方法や実船搭載時の熱損失の評価など、実船搭載試験によらなければ解決できない課題が存在することも判明しており、実施した技術開発の協力者である常石造船(株)殿とともに、搭載可能な船舶を鋭意探したが、新造船の建造時期及び建造条件などから、ふさわしい船舶を確保することができなかつたところ、この度実施した、「排熱回収型サイレンサに関する技術開発」の陸上試験の良好な結果に興味を示していただいた、神原汽船(株)にご協力を頂けることとなり、実船搭載試験の見通しをつけることができた。

こうした状況を踏まえて、平成 24 年度と 25 年度の 2 年計画で「排熱回収型サイレンサ」を実船に搭載し、上記の技術的課題を解決することにより、商品化を加速させると共に、更に高品質でより良い製品の実用化に向けての技術開発を実施し、省エネ効果の向上や、運航コストの削減、GHG 排出削減への貢献を目指すものである。

2. 事業の目標

日本財団殿の助成を得て、実施した「排熱回収型サイレンサに関する技術開発」の成果を活用し、実船試験の対象船に合わせた排熱回収型サイレンサを製作し、船舶に搭載した際の問題点を解決することにより、より高品質な製品の商品化を早急に行う。

2.1 本事業の最終目標

本装置の実船プラントへの搭載において、設備の容量の大きい既存蒸気系への適合性、狭い空間への搭載方法、実船搭載時の熱損失等を実船搭載試験により確認し、下記の最終目標を達成する。

(1) 性能の最終目標

蒸気生成量は発電機関 1 基当たり 100kg/h、消音効果はエコノマイザーとサイレンサ機能により合計減衰量 15dB(A) 以上、圧力損失は 1.5kPa (150mmAq) 以下を性能の最終目標とする。

(2) プロトタイプ排熱回収型サイレンサの設計

実船搭載試験における諸データより、トータルプラントとしての適合性を確認し、関連機器を含め小型コンパクトで容易な艀装となる実用第 1 号機となるプロトタイプ排熱回収型サイレンサの設計を完成させる。

2.2 平成24年度の目標

(1) 既存蒸気系との適合性の確立

既存の機関室プラントを調査し、狭隘な機関室内に、排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載する技術を確立する。

(2) 実船試験用排熱回収型サイレンサ

対象船の発電機関仕様により船内試験に適合した排熱回収型サイレンサを設計・製作する。

(3) 搭載対象船の改造

本装置の実船プラントへの搭載における諸問題を解決するための改造設計及び工場内で改造部の製作を行う。

3. 事業内容

3.1 既存蒸気系への結合方法の確立

常石造船(株)グループにおいて建造する対象船(就航船を含む)に対し、既存蒸気系統及び船内配置を詳細に調査し、3基の内の発電機関1基を選び、それに適した排熱回収型サイレンサの搭載箇所を決定するとともに、容量の大きい既存蒸気系との適合性を確認する。また、必要に応じて、付加的な制御が必要かどうかを判断する。

これにより、狭隘な機関室内に、排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載する技術を確立する。

3.2 実船試験用排熱回収型サイレンサの設計・製作

対象船の発電機関仕様(排ガス量、排ガス温度、設置場所など)を基に、荷役中(約3/4出力)に稼働する2基の発電機関の内の1基に搭載する排熱回収型サイレンサの設計・製作を行う。蒸気生成量は、100kg/h(2基で200kg/h相当)とする。

3.3 搭載対象船の機器 / 装置の改造

既存蒸気系との結合方法に基づき、対象船の改造設計と機器の改造を工場内で行う。その際、汽水分離器(補助ボイラの蒸気ドラム)や給水ポンプなど既存機器を活用するとともに、平成22~23年度購入の機器類を可能な限り再利用(改造を含む)する。

3.4 実船搭載試験準備

実船搭載試験マニュアルを策定するとともに、試験結果の解析装置を購入する。

4. 実施内容

4.1 既存蒸気系への結合方法の確立

4.1.1 実船搭載試験船の選定

排熱回収型サイレンサを実船搭載して試験を実施するための対象船を神原汽船(株)にて入渠時期などを検討した結果、「Fujisuka」にて実船搭載試験を実施することにした。

ところが、「Fujisuka」の入渠時期が急遽変更(2012年10月)となったため、当初の計画スケジュールで、最適な対象船を、神原汽船(株)にて検討した結果、シリーズ船(同型船)の「Casta Diva」にて実施することに変更した。

その後、搭載対象船の入渠時期が変更(1年以上後)になり、再度検討した結果、シリーズ船の「TRIPLE STAR」にて実船搭載試験を実施することとした。

TRIPLE STAR の船級が NK から DNV に転級しており、今まで Casta Diva(NK 船級)にて、船級承認を取得していた図面やポンプ、製作などについて再度 DNV でのルール承認の取得作業を実施した。

表 1 に実船搭載試験船選定経緯を示し、表 2 及び表 3 に搭載試験船である、TRIPLE STAR の要目を示す。

表1 実船搭載試験船選定経緯

船名	Fujisuka	Casta Diva	TRIPLE STAR
船種	52BC	52BC	52BC
船級	DNV	NK	NK →DNV
航路	日本ーオーストラリア 定期運航	不定期船	不定期船
改造工事/試験	中国の造船所	中国の造船所	中国の造船所
入渠時期	2013年1月末 →2012年10月末	2013年2月末 →2013年10月	2013年4月初
備考	入渠時期変更 不採用	入渠時期変更 不採用	搭載試験船に決定

表2 TRIPLE STAR 要目①

項目	単位		備考
船番			S1337
船名			TRIPLE STAR
船主			Chijin Shipping S.A.
船籍			Panama
船級			DNV
船種			52BC
トン数	D/W	MT	52,454
乗組員			21(フィリピン人)
航路			World Wide(不定期船)
定期検査			IS : Docking Due 2013/9/2
入渠			平成 25 年 4 月予定 中国(上海地区)
主機関	メーカー		三井造船
	型式		B&W 6S50MC
	出力	kW	7,800(MCO)
主機排ガスボイラ	容量	kg/h	850(85% at MCO)
給水ポンプ	容量	m ³ /h	2×2 台
	圧力	m	100
	電動機		440V, 60Hz 2.2kW×3600min ⁻¹
循環水ポンプ			非装備

表3 TRIPLE STAR 要目②

項 目	単 位	備 考		
発電機要目 (定格時)	発電機容量	kW	440kW×900min ⁻¹	
	原動機容量	kW	480	
	原動機メーカー		ダイハツ(上海)	
	原動機型式		5DK-20	
	台 数	台	3	
	排ガス量	Nm ³ /h	100%	2550
			80%	2070
			50%	1320
		m ³ /h	100%	6100
			80%	4951
			50%	3254
排ガス温度	°C	100%	380	
		80%	380	
		50%	400	
口 径	A	300		
発電機負荷	航海時	280	計画(1台)	
		abt. 250	実(1台)	
	荷役時	745	計画(2台)	
		abt. 680	実(2台)	
	純停泊時	185	計画(1台)	
		abt. 220	実(1台)	
コンポジットボイラ	蒸気容量	kg/h	1100 at Oil (LYF1.1 / 0.85-0.6)	
			850 (Gas at 85% MCO)	
	圧 力	MPa		0.7(設計値)
				0.6(Oil side), 0.5(Gas side)
蒸気消費量	航海時	kg/h	817	
	荷役時	kg/h	653	
	純停泊時	kg/h	653	
船内蒸気	蒸気圧力 (ゲージ圧力)	MPa	0.6	

4.1.2 配管系統の検討及びシリーズ船の訪船確認

搭載対象船の仕様を基に既存蒸気系統への結合方法を検討した。

図 1に配管系統図を示す。

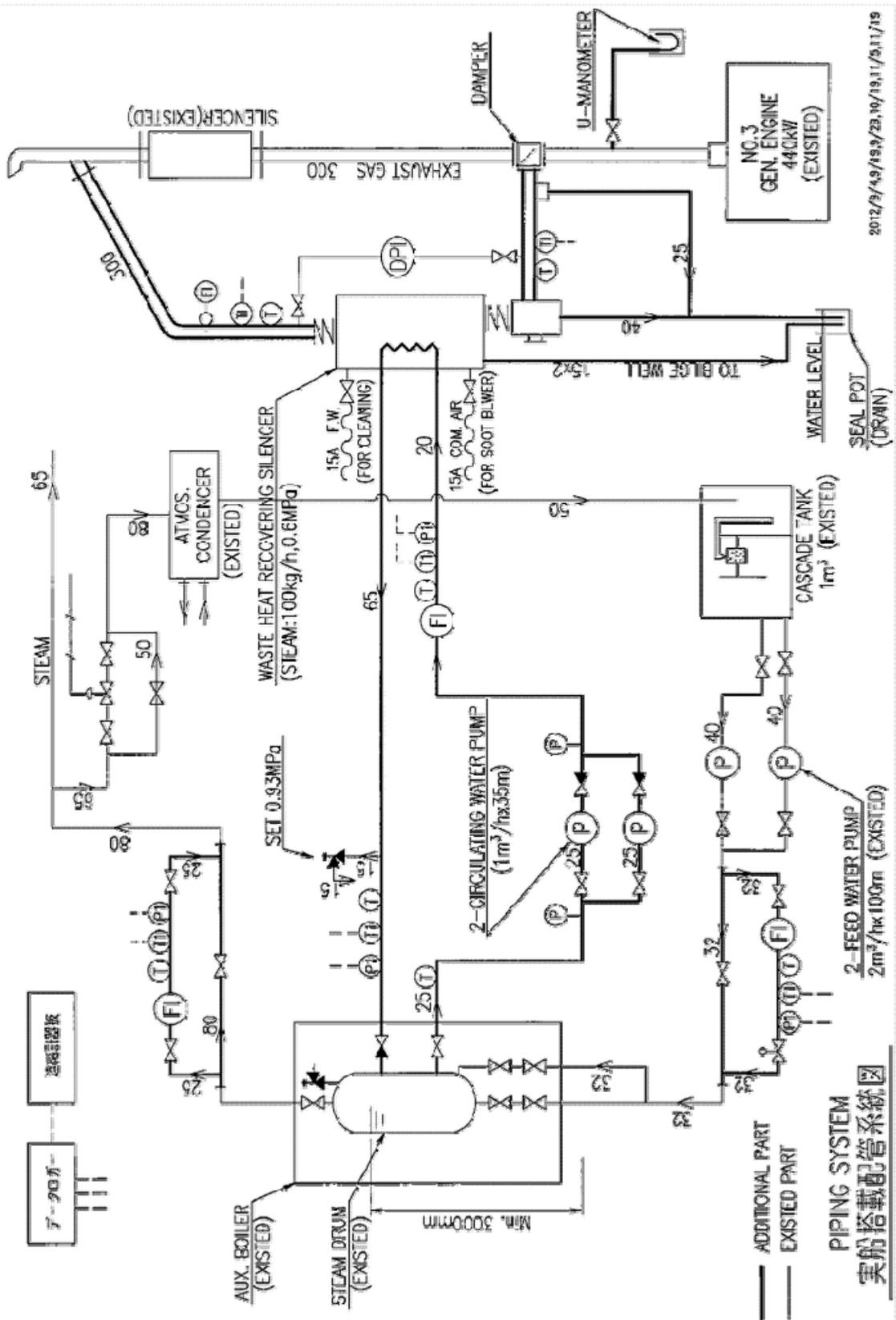


図1 配管系統図

[記号説明] FI : 流量計, P1 : 圧力, P : 圧力(機側), DPI : 差圧, T1 : 温度,
T : 温度(機側)

なお、船内配置を図面にて詳細に検討し、3基の内の発電機関1基(3号機)を選び、それに適した排熱回収型サイレンサの搭載箇所を決定した。

蒸気及び給水管系統は、適合性を検討した結果、既設を流用することにし、循環水系統は、ポンプを含めた配管系統を新設するものとした。新設するポンプは、蒸気生成量に適合した容量(蒸気量の約5倍)を選定した。

次に、加熱チューブの腐食などによる破損/水漏れ対策を考慮し、今後は給水ラインに遮断弁設置及び、水漏れ確認装置の設置をする必要があることを確認し、今回の試験では、給水ラインにバルブを設置し、水漏れ確認装置の代わりに、ドレン溜まり及び、シールポットにて確認できる配管系統及び排ガス管構造を採用した。

そして、排ガス系統中のダンパーの遠隔制御及び、開閉表示等の必要性を確認した。今回の試験では、タンパーは手動制御の開閉表示付にした。

なお、新設機器及び配管は、一体のユニット艙装方法を採用し、機関室上部のスカイライトから一括搭載できるよう計画した。

これにより、狭隘な機関室内に、排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載する技術を確立できた。

また、10月28日に Casta Diva とのシリーズ船(Tenshou Maru)が、山口県徳山市の港に接岸したため、常石造船(株)殿と訪船した。船内を調査・確認し、配管系統の設置・追加及び、排熱回収型サイレンサ等の設置及び、ユニット構造物設置にあたり、必要箇所は寸法計測を実施し、計画通り設置出来ることを確認した。

図2～図6に船内写真を示す。



図2 改造用発電機



図3 ボイラ(循環水ライン追加箇所)



図4 ボイラ(蒸気ライン工事箇所)

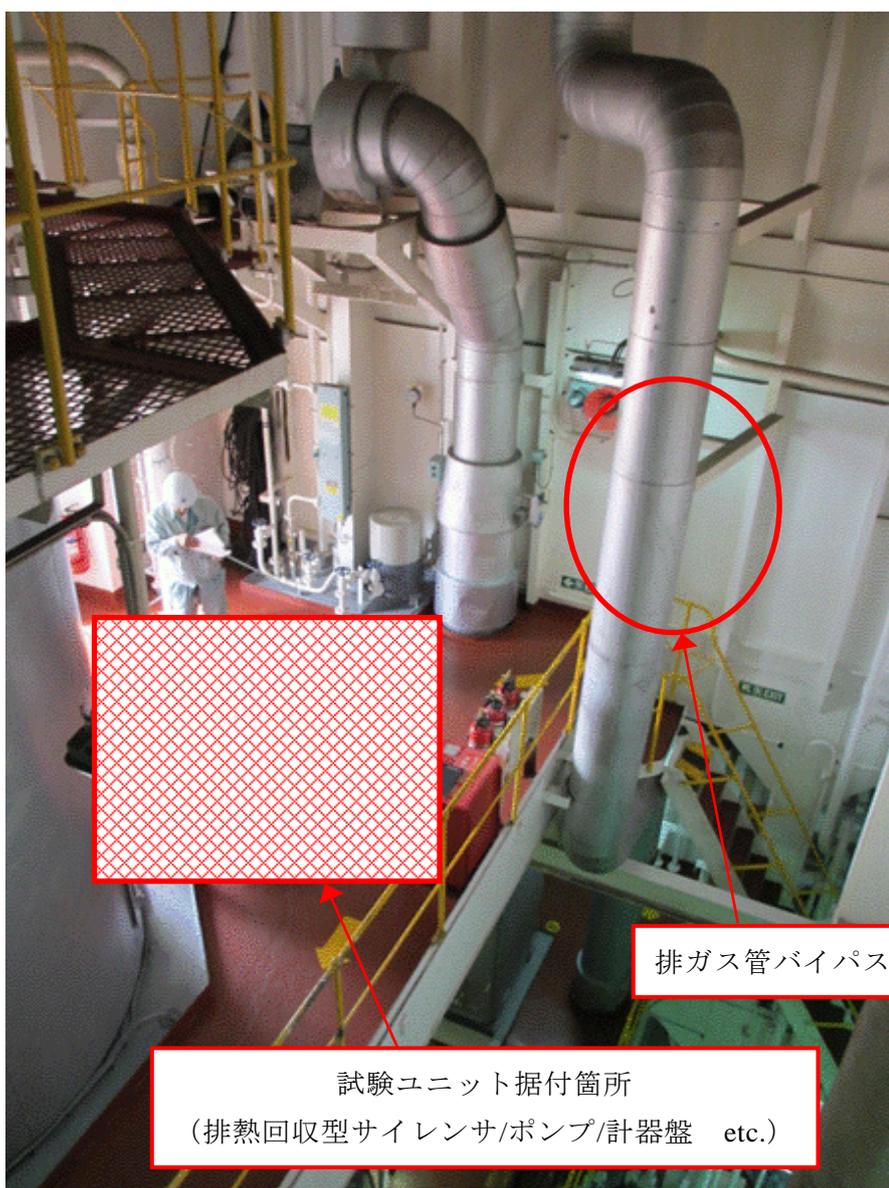


図5 試験装置ユニット据付箇所



図6 煙突(騒音測定箇所)

4.2 実船試験用排熱回収型サイレンサの設計・製作

対象船の発電機関仕様(排ガス量、排ガス温度など)や設置場所を基に、荷役中(約3/4出力)に稼働する2基の発電機関の内の1基に搭載する排熱回収型サイレンサの設計・製作を行った。蒸気生成量は、試験対象船の発電機出力に対応させるため、検討結果本試験では115kg/hにて計画した。

途中、搭載対象船の変更があったが、選択した船舶がシリーズ船であったため、排熱回収型サイレンサの計画ベースの変更はなく、船内据付台との調整をするだけで対応できた。

また、エコノマイザー一部設計時に生成蒸気量検討は、以下の通りである。

- (1) 蒸気生成の効率検討として、平成22年度/23年度に渡り実施した、陸上試験結果から、効率を0.65とした。

表4に、陸上試験結果からの検討を示す。

表4 蒸気生成効率検討

排熱回収型サイレンサ (試験プラント結果ベースの計算)

サイレンサ 種類	負荷	蒸発量 (計測値) Ws kg/h	給水温度 (計測値) Tw °C	蒸発量 (修正値) Wso kg/h	蒸気生成 エンタルピー hs kca/kg	比熱 Cp	排ガス量 Qo Nm3/h	排ガス出入 口温度差 ΔT °C	排ガス 熱量 ΔE	効率 ε
				①	②	③	④	⑤	⑥	①・②/⑥
A _R	1/4	15.30	32.1	15.75	608.6	0.3253	581.1	117.6	22230	0.43
	2/4	35.79	32.8	36.80	608.6	0.3262	613.9	192.4	38529	0.58
	3/4	58.28	32.8	59.93	608.6	0.3271	662.6	264.1	57240	0.64
	4/4	77.45	32.8	79.64	608.6	0.3280	726.0	314.1	74796	0.65
B ₀	1/4	21.38	24.0	22.29	608.6	0.3253	605.4	115.9	22825	0.59
	2/4	40.48	24.0	42.21	608.6	0.3262	624.2	187.6	38198	0.67
	3/4	58.97	25.0	61.39	608.6	0.3271	665.3	247.3	53817	0.69
	4/4	80.35	25.1	83.64	608.6	0.3280	731.3	300.7	72128	0.71
B ₀₂	1/4	17.37	21.4	18.19	608.6	0.3253	608.7	106.1	21009	0.53
	2/4	37.02	21.1	38.78	608.6	0.3262	640.4	176.5	36871	0.64
	3/4	54.21	21.4	56.76	608.6	0.3271	698.9	229.5	52466	0.66
	4/4	76.32	21.8	79.86	608.6	0.3280	756.6	286.8	71174	0.68
B _R	1/4	17.16	14.0	18.18	608.6	0.3253	631.8	99.7	20491	0.54
	2/4	34.21	14.0	36.23	608.6	0.3262	649.4	170.1	36033	0.61
	3/4	52.25	15.0	55.25	608.6	0.3271	709.1	223.9	51933	0.65
	4/4	69.12	15.4	73.05	608.6	0.3280	785.1	260.8	67159	0.66
	平均(全平均)									0.62
	平均(2/4~4/4負荷の平均)									0.65

・蒸発量(修正値)は、計画給水温度(50°C)と計測値の差異に対して修正をした。

(2) 4/4 出力時の排ガスの有効熱量 ΔE (kJ/h) は次式により求められる。

$$\Delta E = C_p \times Q_0 \times \Delta T$$

- ・排ガス比熱 C_p : 1.38 kJ/Nm³K
- ・排ガス量 Q_0 : 2550 Nm³/h
- ・排ガス出入口温度差 $\Delta T = T - T_0$
- ・排ガス入口温度 T : 380°C
- ・排ガス出口温度 T_0 : 165°C (0.6MPaG の飽和温度)

したがって、排ガスの有効熱量 ΔE (kJ/h) は、

$$\Delta E = 756585 \text{ (kJ/h)}$$

(3) 4/4 出力時の生成蒸気量 W_s (kg/h) は次式により求められる。

$$W_s = \Delta E \times \varepsilon / h_s$$

- ・効率 ε : 0.65 (試験プラントより求めた実測値)
- ・蒸気生成エンタルピ $h_s = h'' - h'$
- ・ h'' : 2762.6 kJ/kg (165°C (0.6MPaG の飽和温度) のエンタルピ)
- ・ h' : 209.2 kJ/kg (50°C (計画給水温度) のエンタルピ)

したがって、生成蒸気量 W_s (kg/h) は、

$$W_s = 193 \text{ (kg/h)}$$

(4) 荷役時の出力 (約 67% 出力) 時、実船搭載試験船既存発電機における陸上運転成績書による推定排ガス量及び、平成 22 年度/23 年度実施した陸上試験結果による推定排ガス量について、排ガスの有効熱量 $\Delta E'$ (kJ/h) は、

- 1) 実船搭載試験船既存発電機における陸上運転成績書による推定排ガス量 (Q_0 : 1750 Nm³/h) の有効熱量 $\Delta E'$ (kJ/h) は、

$$\Delta E' = 487830 \text{ (kJ/h)}$$

- ・排ガス入口温度 T : 367°C

したがって、生成蒸気量 W_s' (kg/h) は、

$$W_s' = 124 \text{ (kg/h)}$$

- 2) 陸上試験結果による推定排ガス量 (Q_0 : 1992 Nm³/h) の有効熱量 $\Delta E'$ (kJ/h) は

$$\Delta E' = 434336 \text{ (kJ/h)}$$

- ・排ガス入口温度 T : 323°C

したがって、生成蒸気量 W_s' (kg/h) は、

$$W_s' = 111 \text{ (kg/h)}$$

(5) 実船搭載用排熱回収型サイレンサの生成蒸気量は (4) より、115 (kg/h) として計画した。

(6) 115 (kg/h) の蒸気生成するための交換熱量 Q_s (kJ/h) 及び排ガス出口温度 T_2 (°C) は、それぞれ次式により求められる。

$$Q_s = G_s \times (h'' - h_{hw}) + G_s \times (h_{hw} - h') \times 1.05$$

$$T_2 = T_1 - (Q_s \times \theta) / (G_s \times C_{p, gm})$$

- ・蒸気流量 G_s : 115 kg/h
- ・ h_{hw} : 697.4 kJ/kg (165°C 飽和水のエンタルピ)
- ・排ガス入口温度 T_1 : 323.0°C

- ・熱損効率 η : 1.03
- ・排ガス流量 G_g : 2555 kg/h
- ・平均ガス比熱 C_{pgm} : 1.096kJ/kgK

したがって交換熱量 Q_s (kJ/h) 及び排ガス出口温度 T_2 (°C) は、それぞれ

$$Q_s = 296448 \text{ (kJ/h)}$$

$$T_2 = 214 \text{ (°C)}$$

また、対数平均温度差 Δt_m (°C) は次式により求められる。

$$\Delta t_m = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$$

- ・排ガス入口側管内外温度差 Δt_1 : 158.2°C
- ・排ガス出口側管内外温度差 Δt_2 : 49.2°C

したがって対数平均温度差 Δt_m (°C) は

$$\Delta t_m = 93.3 \text{ (°C)}$$

(7) 必要伝熱面積 A (m²) は、次式により求められる。

$$A = Q_s / (3.6 \times K \times \Delta t_m)$$

- ・熱貫流率 K : 27.2W/m²K

したがって必要伝熱面積 A (m²) は、

$$A = 32.4 \text{ (m}^2\text{)}$$

以上により、排熱回収型サイレンサのエコノマイザ一部フィン付チューブ伝熱面積を 34.7m² (有効長さ 0.75m、列数を 6 列、段数を 16 段) とした。

表 5 に排熱回収型サイレンサのエコノマイザ一部設計値を、図 7 に排熱回収型サイレンサの外形図をそれぞれ示す。

また、強度計算として、「Class NK 鋼船規則 D 編 9 章」に基づき、使用する管について、肉厚を決定した。

(8) 管の最小厚さでボイラに用いられる管の厚さは、外径 30 mm 以上の管では、2.5 mm 以上としなければならないため、

$$t = 2.5$$

(9) 設計圧力から算出される所要厚さ Tr (mm) は、

$$Tr = (Pd / (2f + P)) + 1.5$$

- ・「鋼板規則 D 編 9.4.1」より $f = 88 \text{ N/mm}^2$
- ・設計圧力 $P = 0.98 \text{ (MPa)}$
- ・管の外径 $d = 31.8 \text{ (mm)}$

したがって、設計圧力から算出される所要厚さ Tr (mm) は

$$Tr = 1.68$$

(10) 計算及び制限厚さの大きい方は、(8) (9) より、2.5 mm であり、「鋼板規則 D 編 表 K4.9」より、管厚さを 2.6 mm とした。

「4.1.1 実船搭載試験船の選定」で述べた通り、最終的に、実船搭載試験船の船級が DNV となったため、強度計算を DNV ルールに則り、再計算した結果、管厚さに変更の必要はなかった。

表5 排熱回収型サイレンサのエコノマイザー部設計値

負 荷		67%		
流 体 名		管 外	管 内	
		D/E 排ガス (AorC 重油)	飽和蒸気	
流 量	Nm ³ /h	1992	蒸気	115
	kg/h	(2575)	循環	575
入口温度	℃	323.0	164.8	
出口温度	℃	214.0	164.8	
操作圧力	MPa		0.6	
最高使用圧力	MPa		0.98	
交換熱量	kJ/h	2.96E5		
蒸気発生量	kg/h	115		
対数平均温度	℃	93.3		
管外質量流量	kg/m ² h	1.15E4		
管内質量流量	kg/m ² h	3.45E5		
熱貫流率	W/mK	27.2		
必要伝熱面積	m ²	32.4		
実際伝熱面積	m ²	34.7		
実際圧損	kPa	0.05	11	
許容圧損	kPa	≦1.5	≦50	
流体平均流速	m/s	5.0	5.24	
材 質	チューブ	KSTB35SC : φ31.8×t2.6		
	フィン	SPCC : t1.2×16h×12.7p		

※排熱回収型サイレンサ設計点は、75%負荷状態にて計画しますが、今回の試験機は67%負荷(75×0.9≒67)にて計画しています。

排ガス量及び温度は100%の値より想定しており、10%の誤差を考慮し、安全サイドの値にて計画しています。

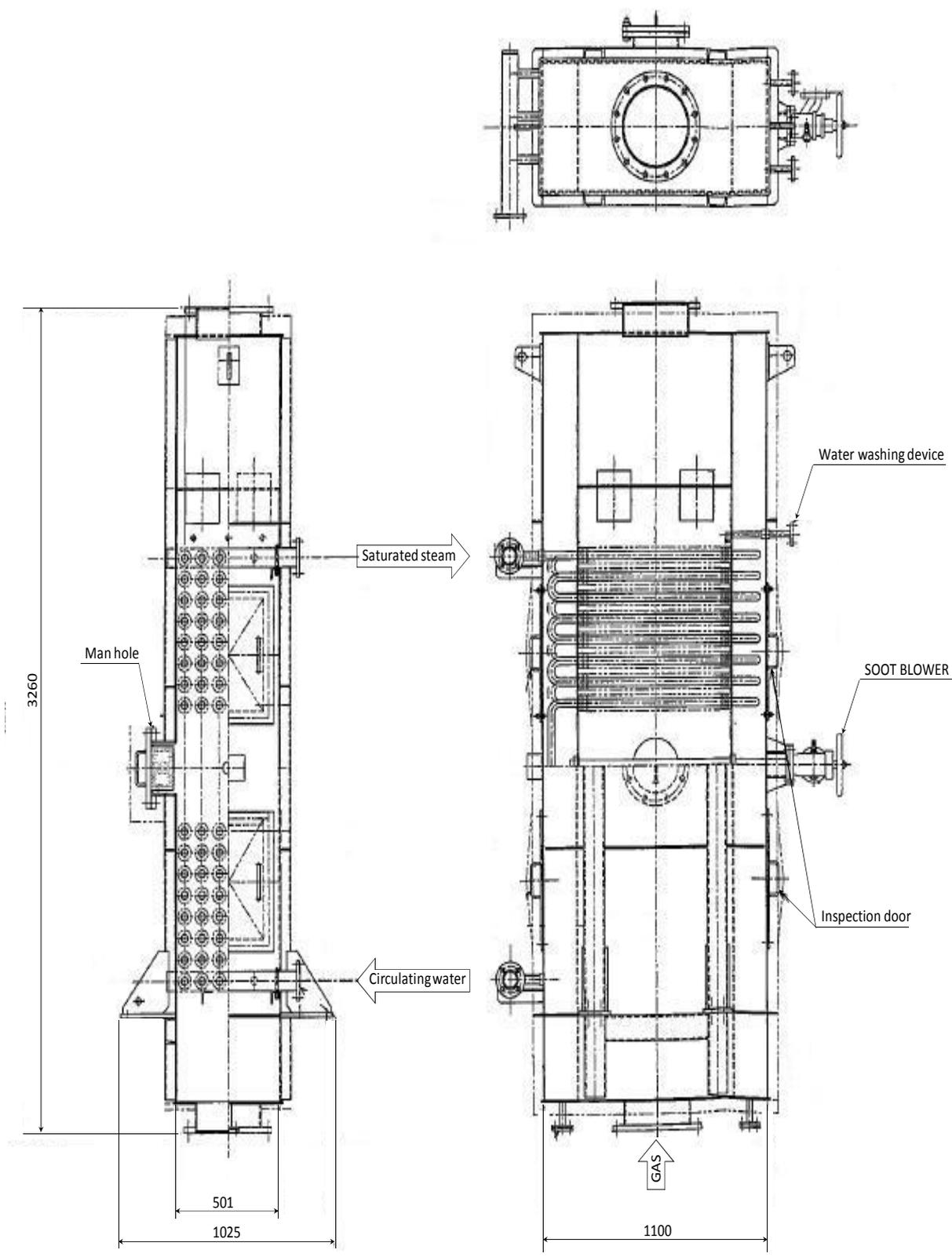


図7 排熱回収型サイレンサ外径

4.3 搭載対象船の機器 / 装置の改造

4.3.1 実船配置図

実船図面を基に、排熱回収型サイレンサ及び、必要機器の実船搭載箇所を検討した。また、「4.1.2 配管系統の検討及びシリーズ船の訪船確認」で述べた通り、訪船し、検討通り実船設置できることを確認した。

図8～図9に排熱回収型サイレンサの実船配置図を、図10に煙突内排ガス管配置図を、図11～図14に配管の配置図、を示す。

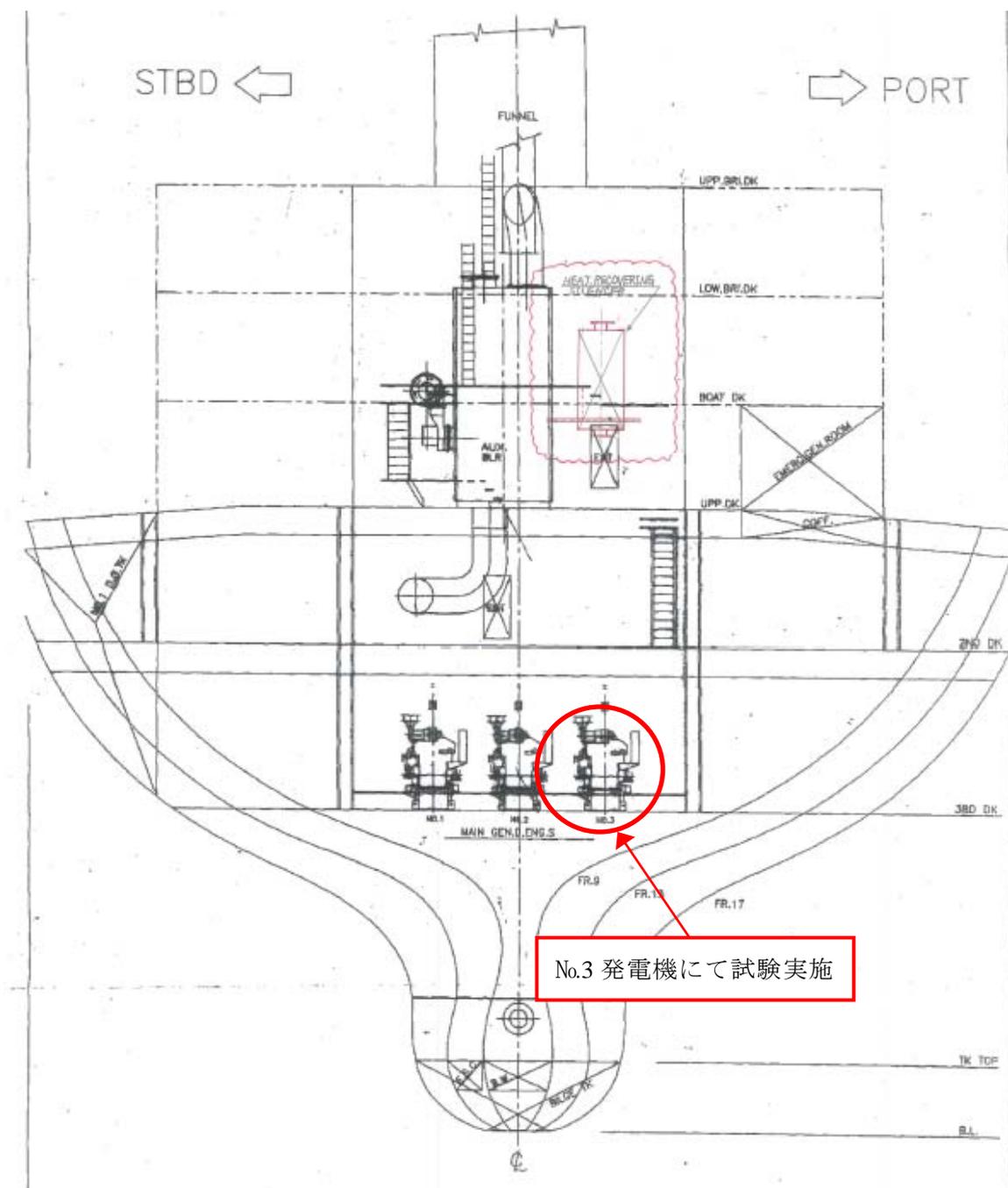


図8 排熱回収型サイレンサ配置図(横断面) ※雲マークは改造箇所

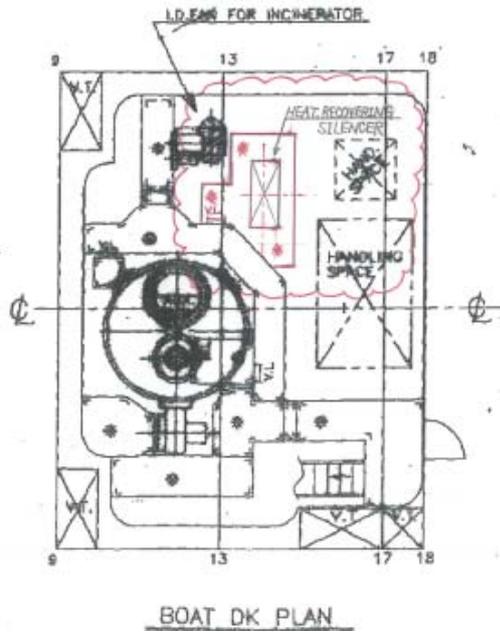


図9 排熱回収型サイレンサ配置図(平面図) ※雲マークは改造箇所

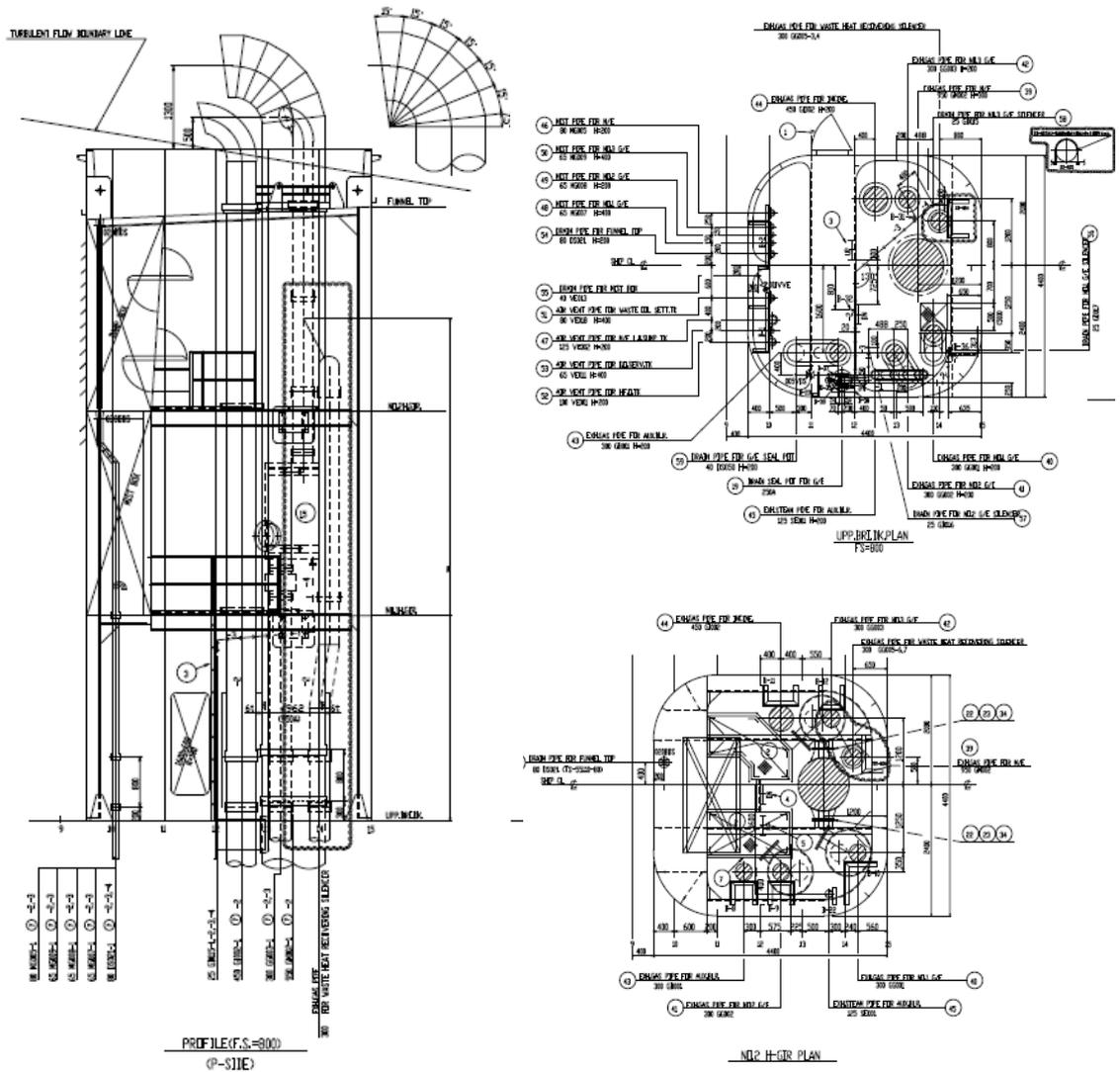


図10 煙突内排ガス管配置図 ※雲マークは改造箇所

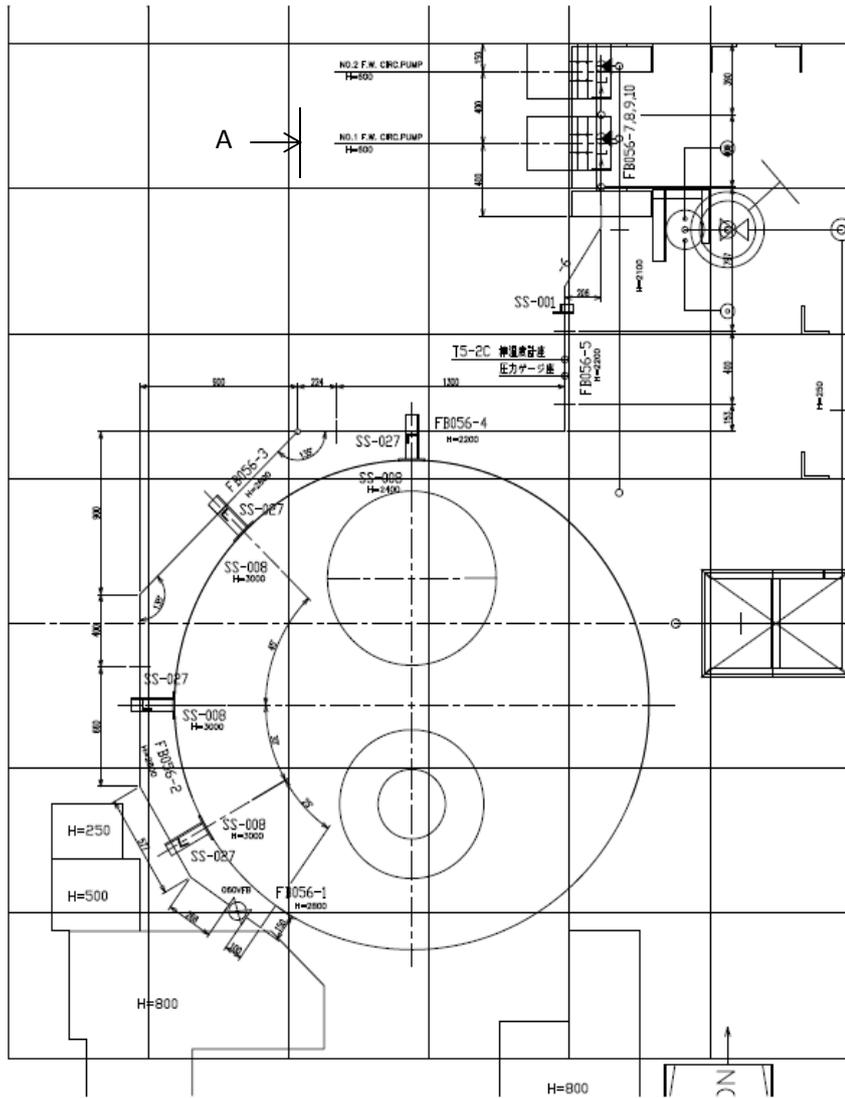


図11 諸管取付図 (UPP. DECK PLAN)

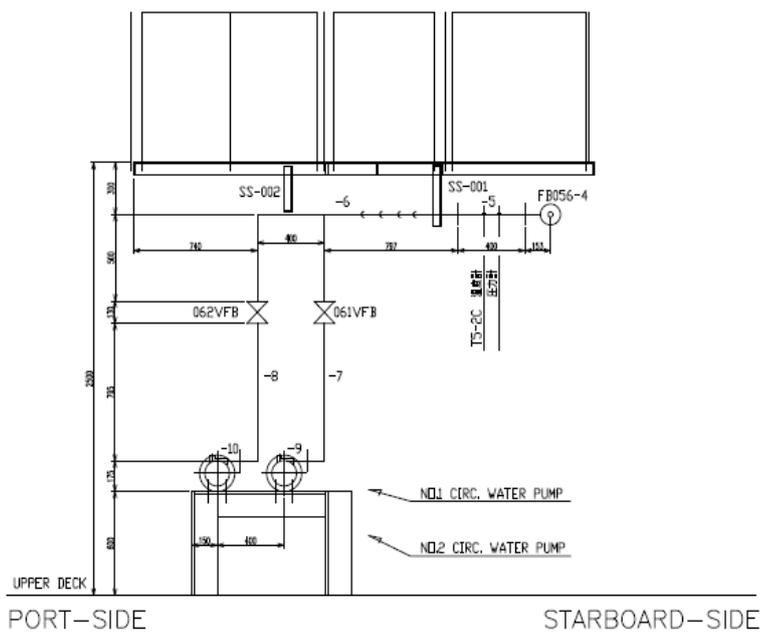


図12 諸管取付図 (図 11の矢視 A)

4.3.2 計測系の構築

排熱回収型サイレンサの実船搭載試験を実施するにあたり、試験データの計測及び、システムの構築のため、既設のボイラ等改造が必要となる。

給水系統、蒸気系統、蒸気ドレン系統、排ガス系統、ドレン系統などの配管系統図の関連個所の改造図面を作成した。改造後の代表例として、給水ライン及び排ガス関連の系統図を図 15及び図 16に示す。

また、試験データの計測で、機側における計測機器一覧を表 6に、デジタルデータとしてデータログに蓄える機器一覧を表 7に示す。

試験データ用の計装品の設置位置は、配管系統図(図 1)に示しているが、その内、デジタルデータとして、データログに蓄えられる計測センサー位置を図 17に示す。図 17に太線で示した個所が、対象船の改造個所である。

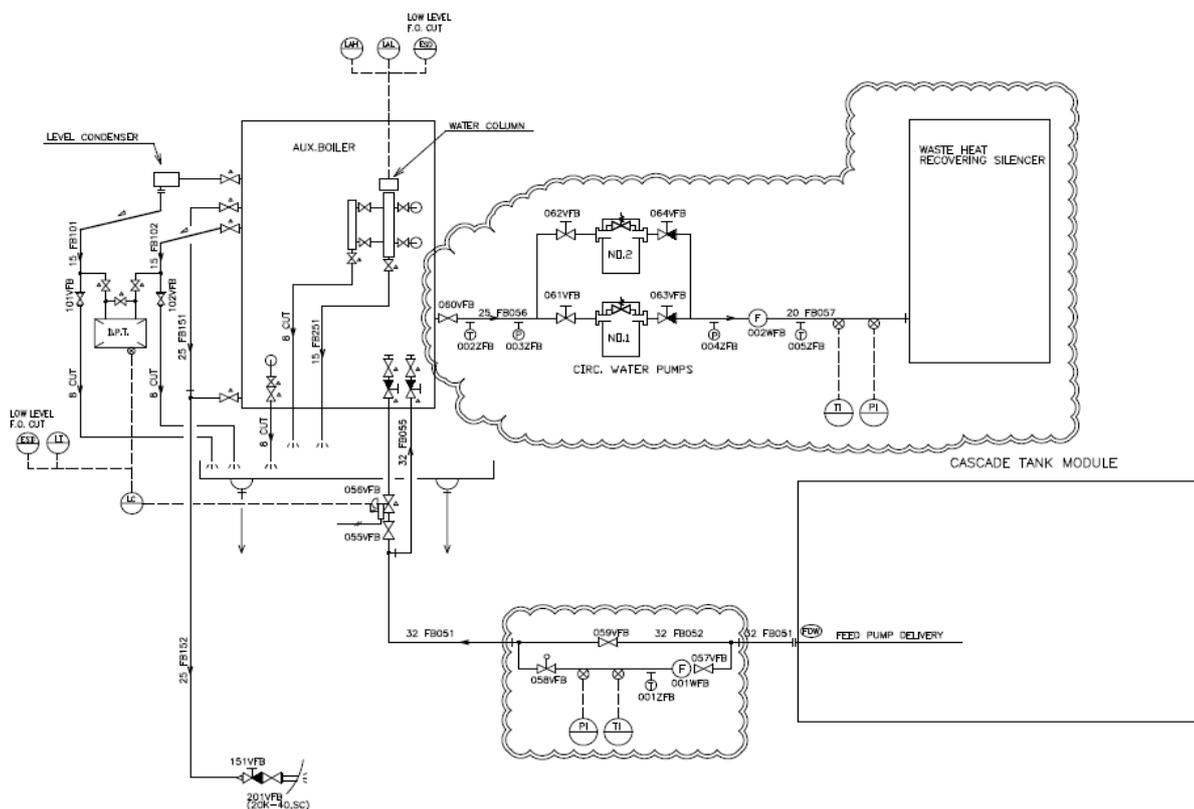


図 15 FEED WATER SYSTEM

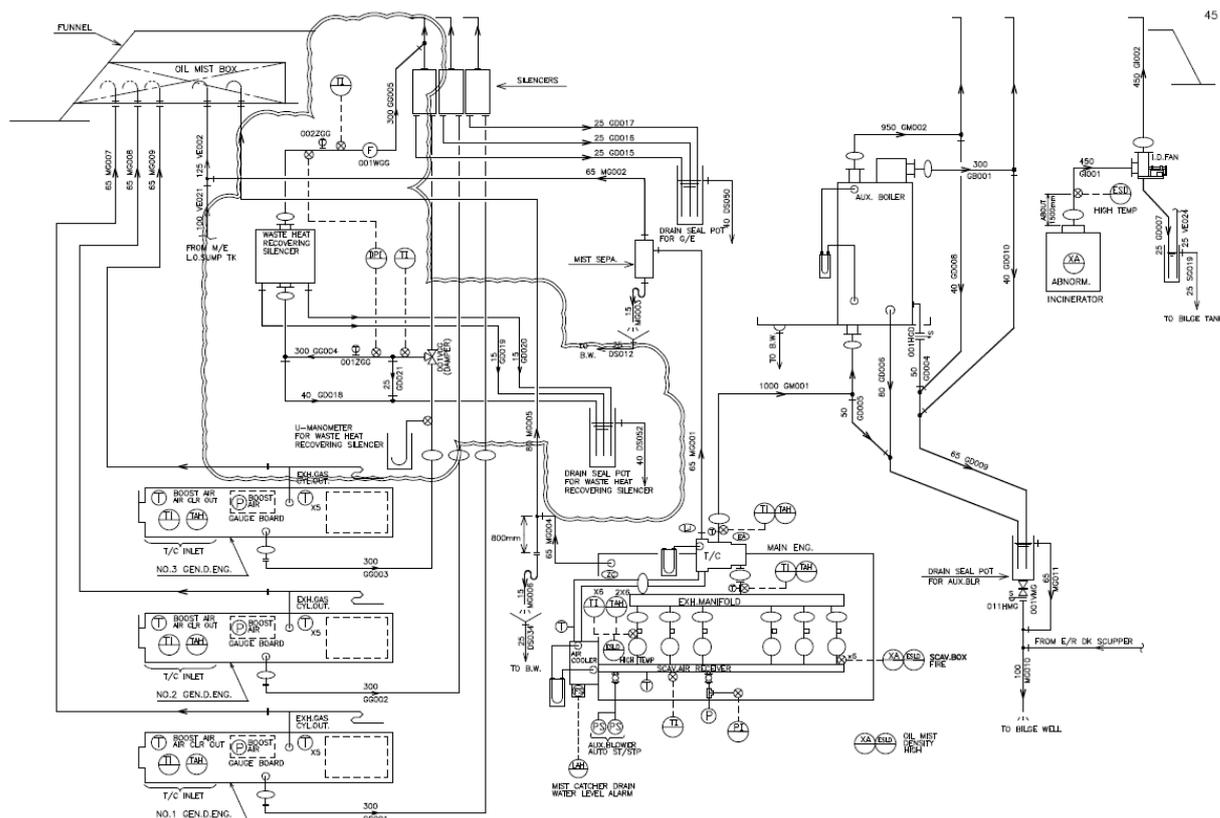


図16 EXH. GAS & MIST SYSTEM

表6 機側計測機器一覧

測定種類	品目	仕様	測定内容	備考
圧力計	圧力計	常温～170℃ 0～1.1MPa	循環水ポンプ入口圧力	購入品
			循環水ポンプ出口圧力	
温度計	バイメタル温度計	0～500℃	排気ガス入口温度 (サイレンサ)	流用品
			排気ガス出口温度 (サイレンサ)	
		0～200℃	循環水温度 (スチームドラム出口)	
			循環水温度 (サイレンサ入口)	
			循環水温度 (サイレンサ出口)	
		0～100℃	給水温度	
0～200℃	蒸気温度			

表7 デジタルデータ計測機器一覧

記号	測定種類	品目	仕様	測定内容	メーカー	備考
	データロガ				グラフテック	流用品
T2-1A	温度測定器	熱電対	常温～450℃ 500mmAq	排ガス入口温度 (サイレンサ)	山里産業	流用品
T2-1B				排ガス出口温度 (サイレンサ)		
T2-2A		測温抵抗体	常温～170℃ 1.1MPa	循環水入口温度 (サイレンサ)		
T2-2B				循環水出口温度 (サイレンサ)		
T2-3			常温～170℃ 0.7MPa	蒸気温度		
T2-4			常温～170℃ 1.0MPa	給水温度		
P3-1A	圧力測定器	圧力変換器	常温～170℃ 0～1.1MPa	循環水入口圧力 (サイレンサ)	共和電業	購入品
P3-1B				循環水出口圧力 (サイレンサ)		
P3-2			常温～170℃ 0～0.7MPa	蒸気圧力 (スチームドラム出口)		
P3-3			常温～170℃ 0～1.0MPa	給水圧力 (給水ポンプ出口)		
F4-1	流量測定器	流量計	2000～8000m ³ /h Max450℃	排気ガス流量	横河電機	流用品
		ピトー管, 差圧発信器				購入品
F4-2		渦流式流量計	0～200kg/h Max170℃	蒸気流量		流用品
F4-3		電磁流量計	0.2～1.0m ³ /h Max170℃	循環水流量		購入品
F4-4	0.01～3.0m ³ /h Max100℃		給水流量	流用品		
DP6-1	差圧計	差圧表示器	0～400mmAq Max450℃	排ガス出入口差圧 (サイレンサ)	横河電機	流用品

注) 流用品：陸上試験時購入品を流用(改造を含む)

購入品：実船搭載試験用に新規購入

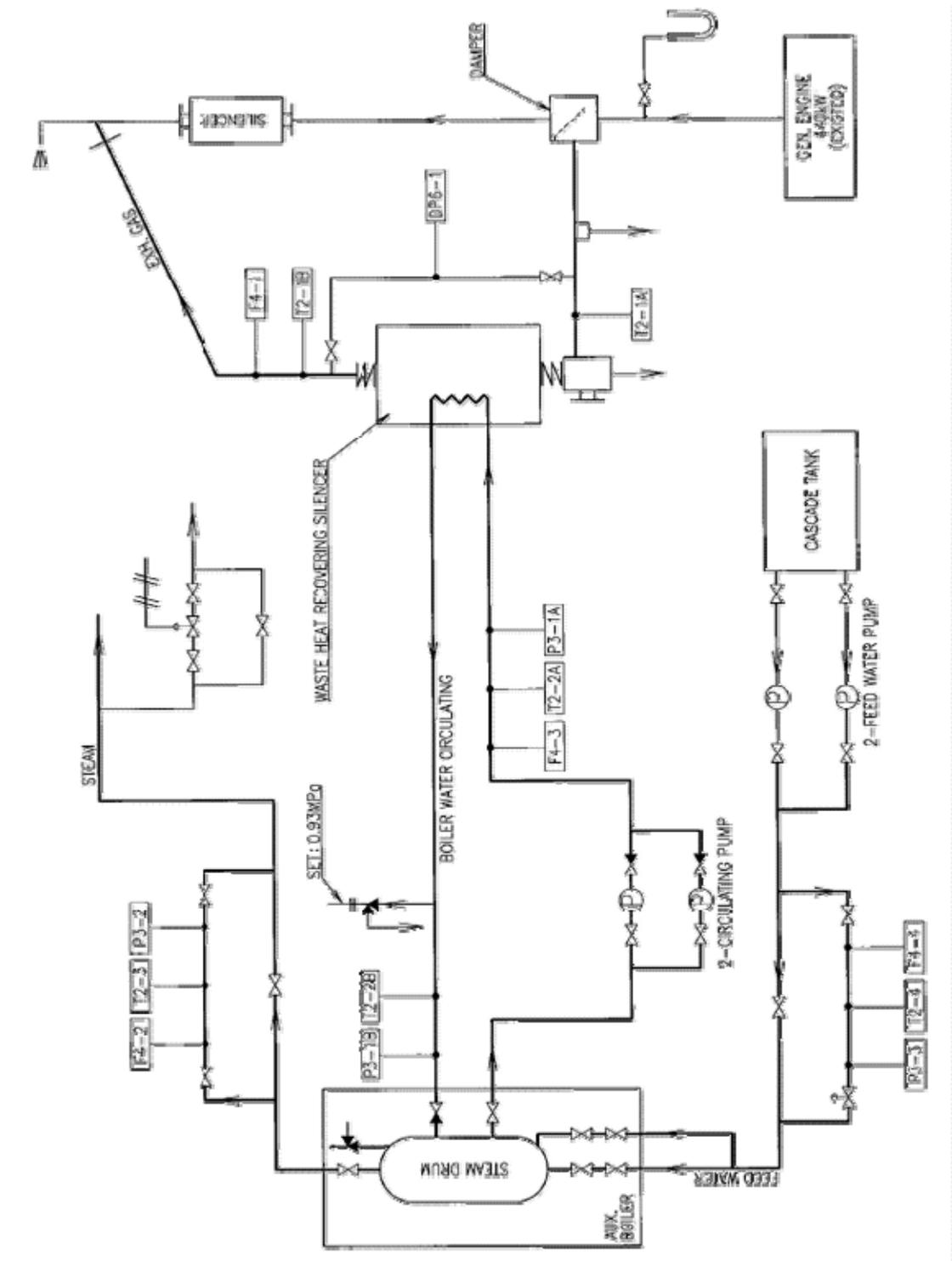


図17 デジタルデータ計測点

(1) 温度計測

排熱回収型サイレンサの性能把握に必要な温度として、排ガスサイレンサ入口温度 (T2-1A)、排ガスサイレンサ出口温度 (T2-1B)、循環水サイレンサ入口温度 (T2-2A)、循環水サイレンサ出口温度 (T2-2B)、蒸気温度 (T2-3)、給水温度 (T2-4) が計測され、デジタルデータとしてデータログに格納される。

また、これらの他、機側データ (図 1中 T で表示) としても、計測できるように計器を設置した。

(2) 圧力計測

圧力変換器により、循環水サイレンサ入口圧力 (P3-1A)、循環水出口圧力 (P3-1B)、蒸気圧力 (P3-2)、給水圧力 (P3-3) が計測され、デジタルデータとしてデータログに格納される。

また、これらの他、機側データ (図 1 中 P で表示) としても、計測できるように計器を設置した。

(3) 差圧計測

圧損は、エンジンに許容される範囲内に収まるかどうか判断するためのデータとなるため、排熱回収型サイレンサ前後の差圧計測 (DP6-1) は重要であり、計測値をデジタルデータとしてデータログに格納される。

また、図 18 に排気ガス差圧計用系統図を示す。

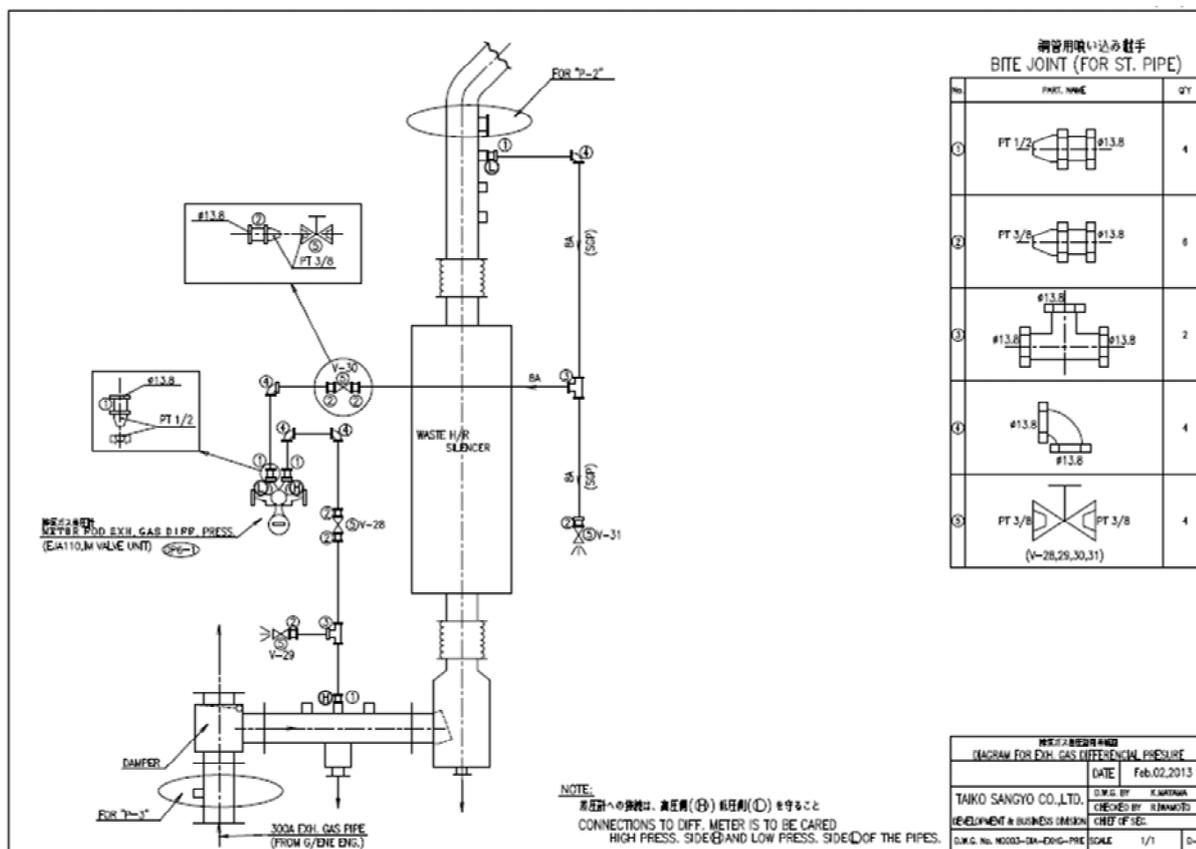


図18 排気ガス差圧計用系統図

(4) 流量計測

熱バランスの評価、蒸気生成量の評価に不可欠な流量計測は、排気ガス流量 (F4-1)、蒸気流量 (F4-2)、循環水流量 (F4-3)、給水流量 (F4-4) が計測され、デジタルデータとしてデータログに格納される。

また、図 19 に排気ガス流量計装置を示す。

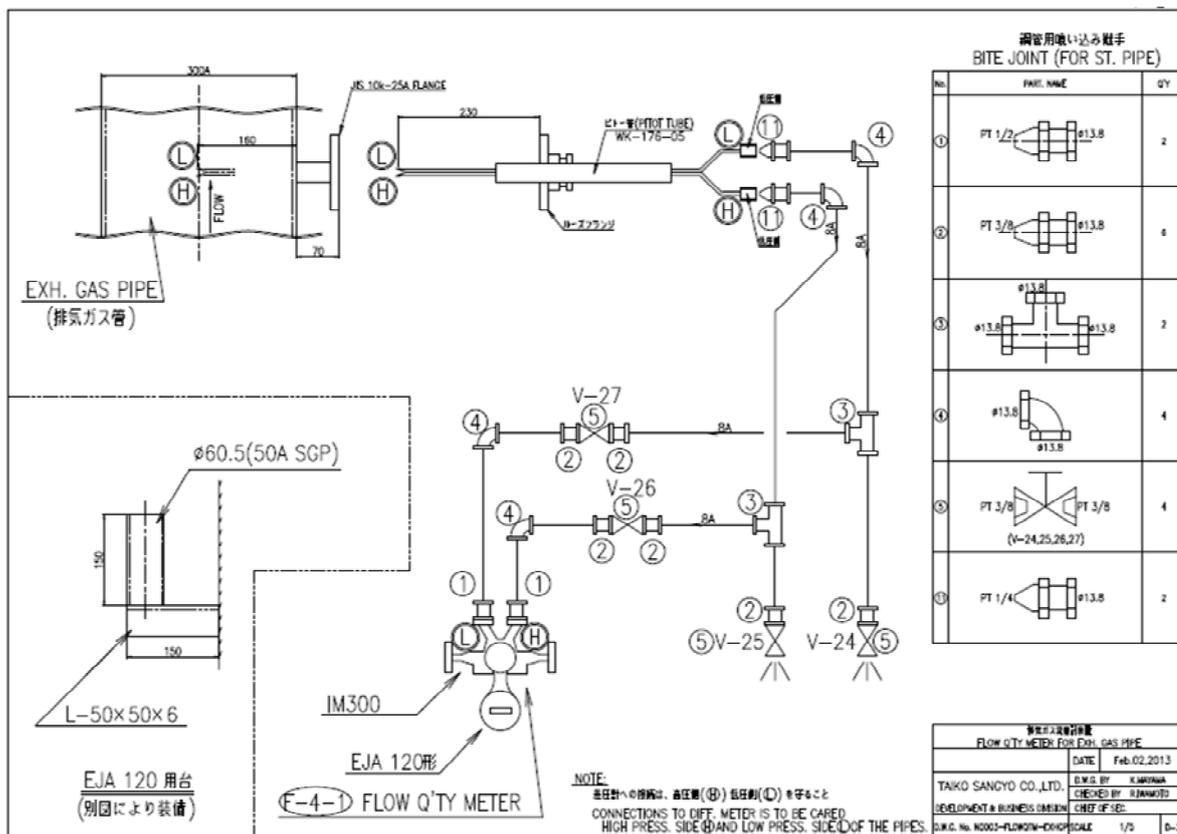


図19 排気ガス流量計装置

(5) 計器盤

図 17で示されるデジタルデータ計測は、データログに格納されるだけでなく、図 20に示す計器盤に表示され、これをモニターすることで、試験状況がわかるようにしている。



図20 計器盤

4.3.3 装置設計・製作

排熱回収型サイレンサを実船搭載するにあたり、既存排ガス系統に排熱回収型サイレンサをバイパスし、「4.3.2 計測系の構築」で述べた計測器取り付け検討図の一部を図 21に、設計したパイプを図 22・図 23に、製作したパイプを図 24に示す。

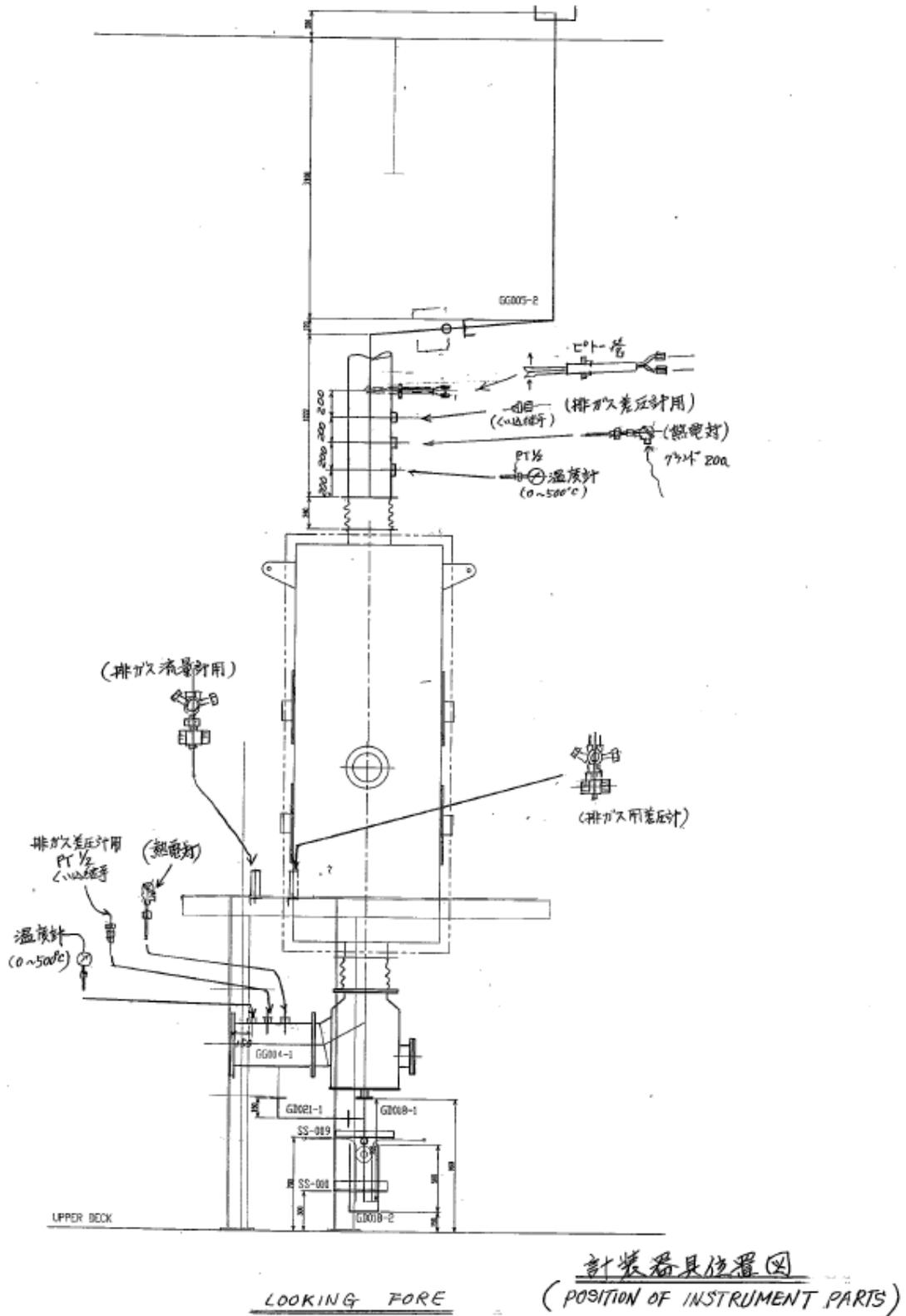


図21 計装器具位置図

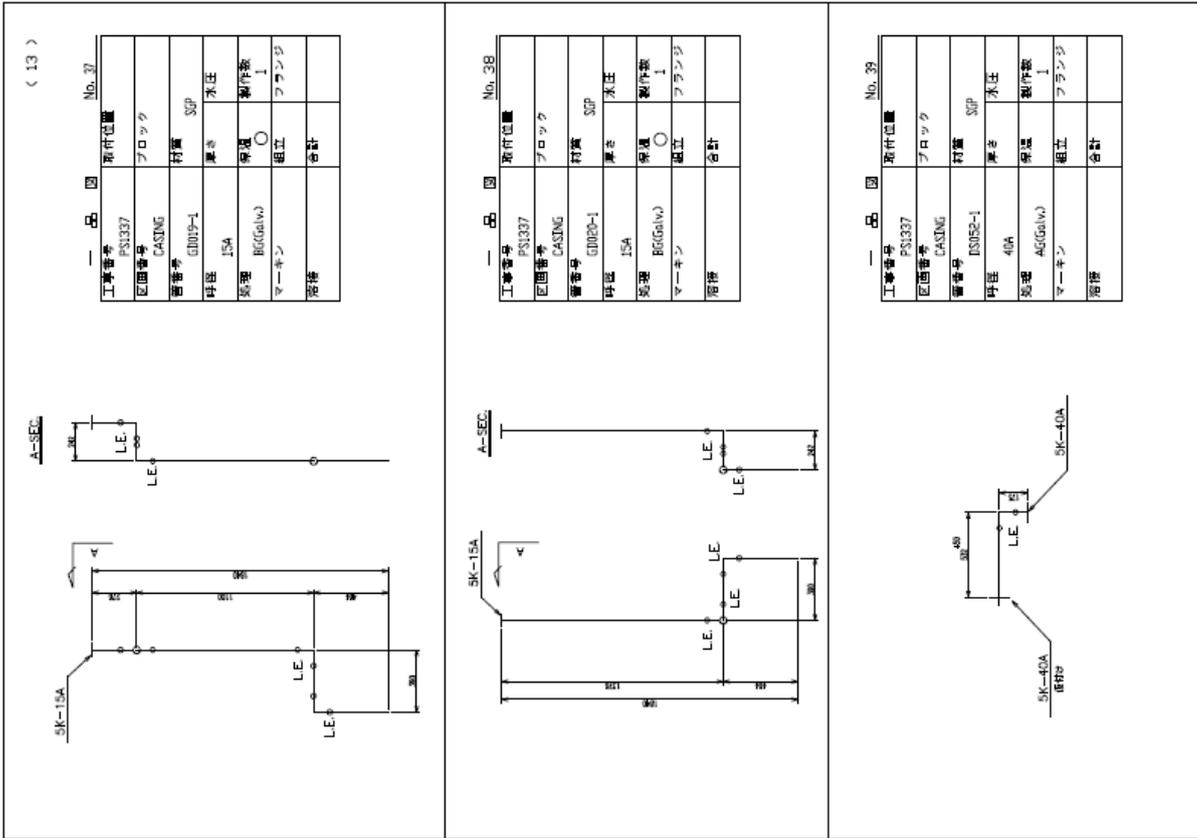


図22 パイプ一品図①

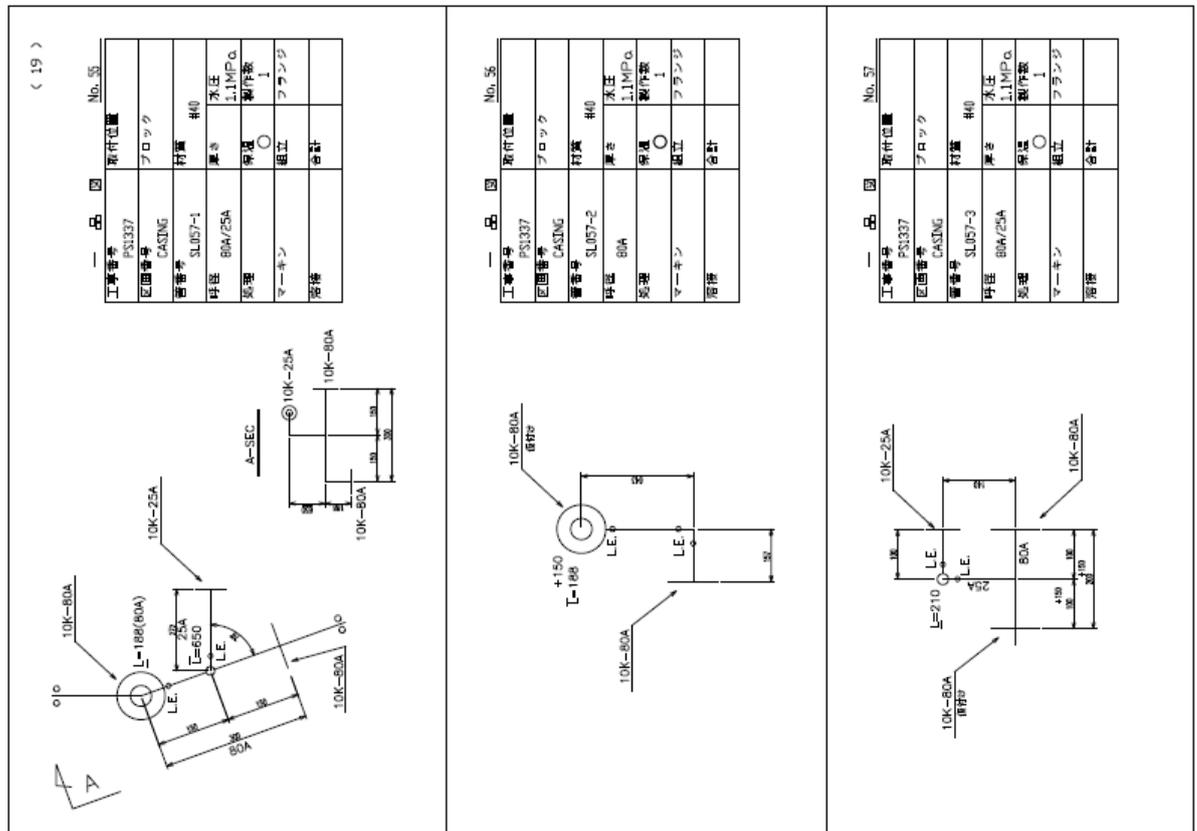


図23 パイプ一品図②



図24 パイプ

排熱回収型サイレンサを実船搭載するにあたり、据付台やハンドレール等、多数の装置を設計・製作した。

図 25に据付台、図 26にハンドレール、図 27にサイレンサ振動止め装置、図 28・図 29にサイレンサ据付台をそれぞれ示す。



図25 据付台



図26 ハンドレール

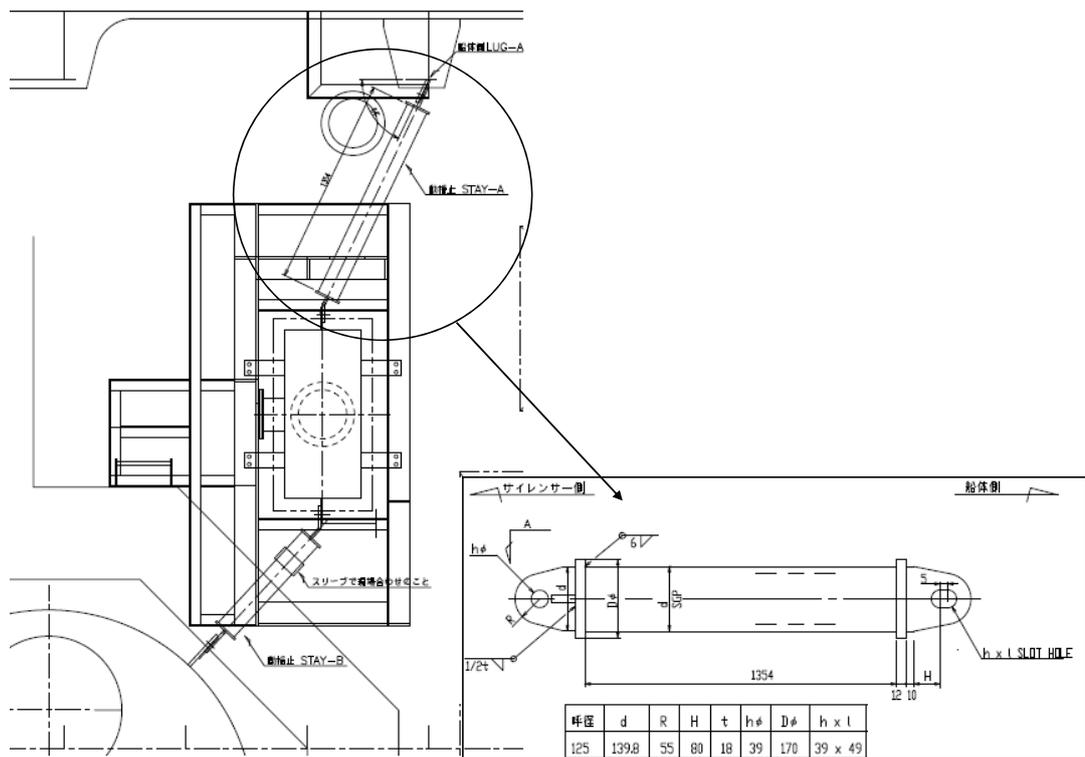


図27 サイレンサ振動止め

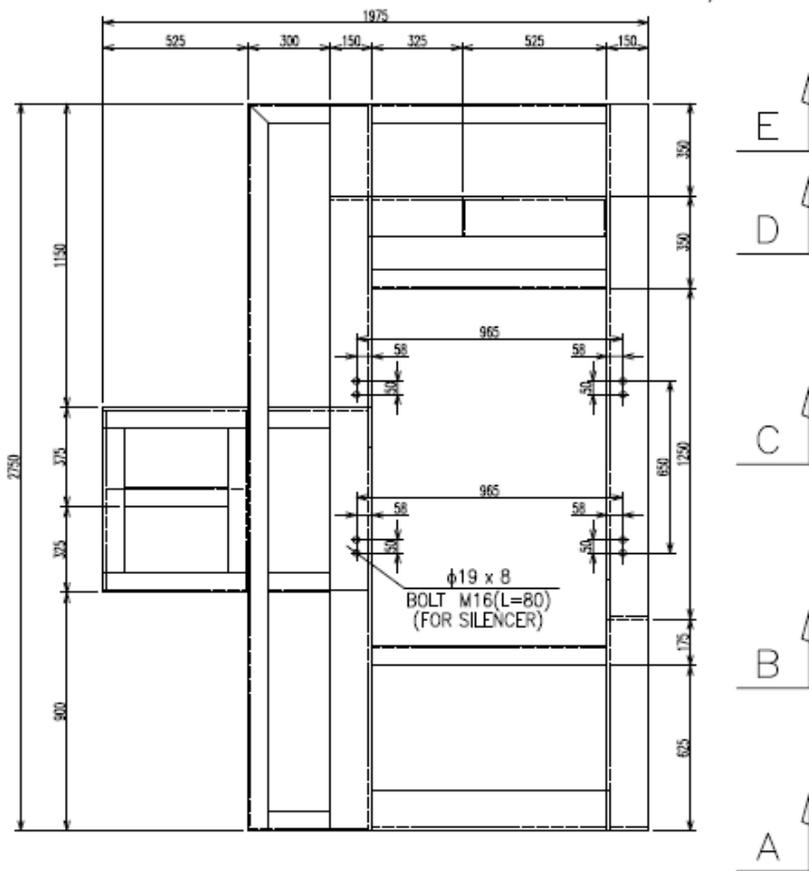


図28 排熱回収型サイレンサ据付台

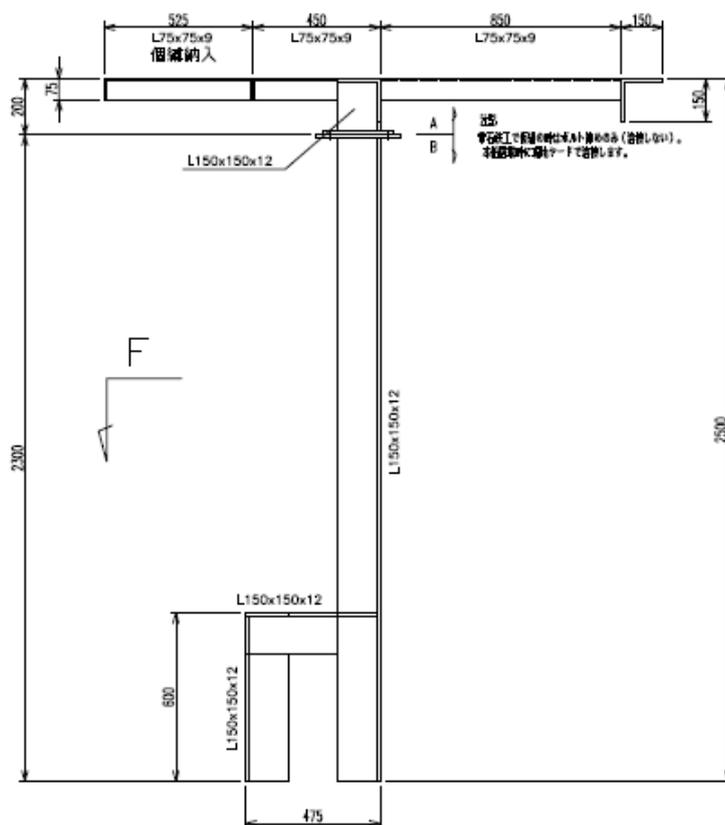


図29 排熱回収型サイレンサ据付台(図28の矢視C)

既存排ガス系統に排熱回収型サイレンサ系統のバイパスが必要で、その切り替えに三方切替ダンパーを設置することとした。

また、排熱回収型サイレンサのフィン付チューブの万一の破損を考慮し、チューブ内の水が漏れてエンジン故障を防止するため、安全サイドから、排熱回収型サイレンサと切替ダンパーの間にドレン溜まりを設置することとした。

図 30に三方切替ダンパーを示す。



図30 三方切替ダンパー

4.3.4 搭載機器船級検査

(1) 排熱回収型サイレンサ

当初搭載予定であった Fujiska の船級が DNV で、ルールを満たすにはどのような申請/承認が必要なのか、材料や製作工場の承認はどこまで必要かなど、DNV へ相談に行き、排熱回収型サイレンサの製作準備を進めた。

ところが製作準備を進める途中で、搭載対象船が変更になった。変更後の搭載対象船 Casta Diva の船級が NK のため、今まで DNV ルールにて製作準備を進めていたが、NK ルールにて製作するよう、製作準備を見直した。

そして使用材料/製法等、NK ルールに則り製作し、図面承認等順調に進めていった。

その後、搭載船が TRIPLE STAR(船級 : DNV)に変更になった。したがって、TRIPLE STAR(DNV)用として再申請し承認を得ることとした。

なお、排熱回収型サイレンサは、結果的にNK及び、DNV 検査官立会のもと、開先検査・水圧検査及び放射線検査を受検した。

NK 立会の検査で、図 31にヘッダー部開先検査、図 32にフィン付チューブの水圧検査、図 33に放射線検査を示し、図 34に DNV 立会いの水圧検査を示す。

図 33に示す、放射線検査について、船級規定では 20%実施でよいが、今回は安全のため 100%実施した。

放射線検査及び、浸透深傷検査として、日本シーレーク株式会社へ依頼し、検査を実施した。

その結果、浸透深傷検査では、表面の割れ・亀裂も無く問題なかった。放射線検査では、スラグ巻き込みがなく、ブローホールの径・個数に対しても規定を満たしており、全数問題無かった。

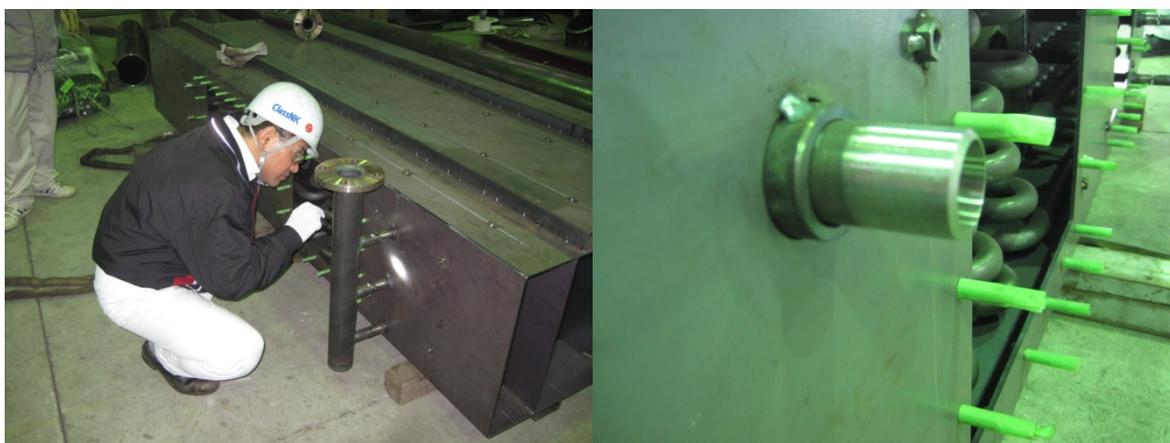


図31 開先検査(NK)



図32 水圧検査(NK)



図33 放射線検査 (NK)

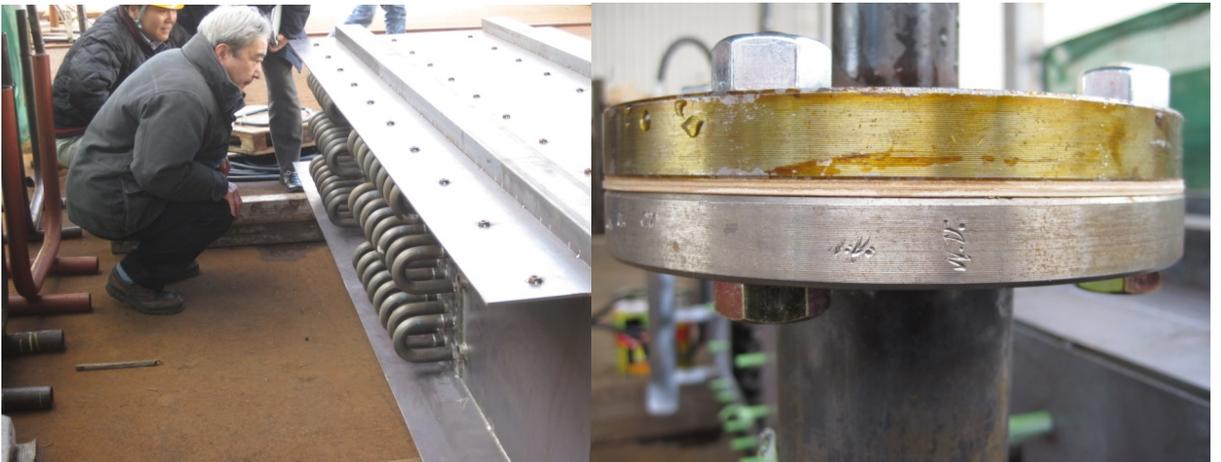


図34 水圧検査 (DNV)

また、排熱回収型サイレンサを製作するにあたり、製作工場が船級協会認定工場であり、溶接作業も船級協会の資格を得ている必要がある。

これら証明書など、検査における船級協会への提出検査記録を作成し、検査時に提出した。

図 35に検査記録の表紙を示す。これには、船級協会 NK 及び DNV の検査官が、承認したサインが記されている。

DH 12 - K- 3604 IR
 平成25年 2月 6日

Messrs. Taiko Sangyo Co., Ltd.

東広島市安芸津町早風3182-2
 中本工業有限公司
 TEL 0846-45-2661

承認	担当



DNV
 2013-02-06

検 査 記 録

M. Kuro
 Class ME
 2013.2.6

注文番号(客先)	—
工事番号(客先)	—
工事名称	EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER
当社工事番号 (EL-5632)	12HT-3604K
品名及び数量	EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER 1基
道 用	

図35 検査記録表紙

排熱回収型サイレンサ製作には、船級協会認定の材料を使用する必要があり、
 図 36 に使用した材料検査成績書一覧表を、図 37 にミルシートを示す。

平成 24 年 11 月 22 日															
中本工業 (有)															
工事名称		EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER			材料検査成績書一覧表			工事番号		12HT3604K		承認		担当	
符号	品名	図面番号	材質	寸法	数量	MILL WORK No.	月日/検査員	結果	備考						
1-1	INLET HEADER	HE-2-121039-01	KSTPG38SC	φ76.3×t7.0×630L	1	DPS91112-00	H ²⁴ 11/22	合格							
1-2	OUTLET HEADER	↑	KSTPG38SC	φ76.3×t7.0×630L	1	DPS91112-00	H ²⁴ 11/22	合格							
1-3	END PLATE		SB410	t16×φ76.3	2	38168	H ²⁴ 11/22	合格							
1-4	FLANGE	↓	SS400	JIS10K-65A SOP.FF	2	203018	H ²⁴ 11/22	合格							
1-5	NOZZLE		HE-2-121039-01	KSTB35SC	φ31.8×t2.6×63L	6	BS40H01	H ²⁴ 11/12	合格						
2-1	FIN TUBE	HE-2-121039-02	KSTB35SC	φ31.8×t2.6×1257L	6	BS40H01	H ²⁴ 11/12	合格							
2-2	FIN TUBE	↑	KSTB35SC	φ31.8×t2.6×2113L	21	BS40H01	H ²⁴ 11/12	合格							
2-3	FIN TUBE		KSTB35SC	φ31.8×t2.6×2113L	21	BS40H01	H ²⁴ 11/12	合格							
2-4	FIN TUBE	HE-2-121039-02	KSTB35SC	φ31.8×t2.6×2278L	3	BS40H01	H ²⁴ 11/12	合格							

図 36 材料検査成績書一覧表

検査証明書															大阪鋼管株式会社					
INSPECTION CERTIFICATE															〒859-3454 佐世保市針尾北町813番地1					
Customer															OSAKA STEEL TUBE CO.,LTD.					
Commodity															813-1 HARIOKITA-MACHI, SASEBO, JAPAN					
Specification															WNH					
NK,KSTB 35-S-C															日付					
															Date: 2012-11-08					
製造番号	外径	内径	厚さ	長さ	数量	重量	注文番号	工事番号												
Work No.	O.D. mm	I.D.	W.T. mm	Length mm	No. of Pcs.	Weight kg	Order No.	Job No.												
BS40H01	31.8		2.6	4500	26	260		12HT3604K												
No. *1	Heat No.	化学成分 Chemical Composition (%)										引張試験 Tensile Test			硬さ Hardness		倍尺取り Multi Cut			
		C	Si	Mn	P	S	引張強さ T.S.	降伏点 Y.P. or Y.S.	伸率 El. (%)	Min.	Max.	本数	長さ							
		最小 Min.	10	30			175	340	26.0											
		最大 Max.	18	60	35	35														
		本数 Pcs. *2	2	2	2	3	3													
		単位 Unit: ① N/mm ² ② ③ *3, *4										試験片形状 Type of Test Piece: Full Section								
01	J 2-80222	28	10	18	46	23	4													
*1 Mother Tube Maker S=SUMITOMO METAL, IND.,LTD. J=JFE STEEL CORP. N=NIPPON STEEL CORP. T=NKK TUBES R=See Remarks															*2 分析 Analysis L=溶鋼 Ladle P=製品 Product		*3 試験片方向 Direction: 縦 Longitude		*4 試験片形状 Type of Test Piece: Full Section	
外観・寸法 Visual & Dimensions		GOOD		渦流探傷試験 Eddy Current Test		GOOD		シャルピー衝撃試験 Charpy Impact Test		単位 Unit:										
へん平試験 Flattening Test		GOOD						試験片寸法 Test Piece Size		温度 Temp.		Spec.Min.		Spec.Ave.						
押し出し試験 Flaring Test		GOOD								℃		1 2 3		Ave.						
備考 Remarks																				
Nippon Kaiji Kyokai																				
本鋼材は、一鋼財団法人 日本海軍協会の規則によって承認された製造方法により製造されたものであり、また、同規則に適合したものであることを証明する。																				
We hereby certify that the material has been made by an approved process and has been satisfactorily tested in accordance with the Rules of Nippon Kaiji Kyokai.																				
K. Iso for 品質保証課長 Manager of Quality Assurance Section																				

図 37 ミルシート

フィン付チューブで溶接継手個所においては、開先をとり、ゲージにて検査を実施し、溶接は、船級認定されている技師にて実施した。

図 38に、開先・溶接継手番号図を、図 39に開先検査記録を、図 40に溶接作業検査記録を示す。

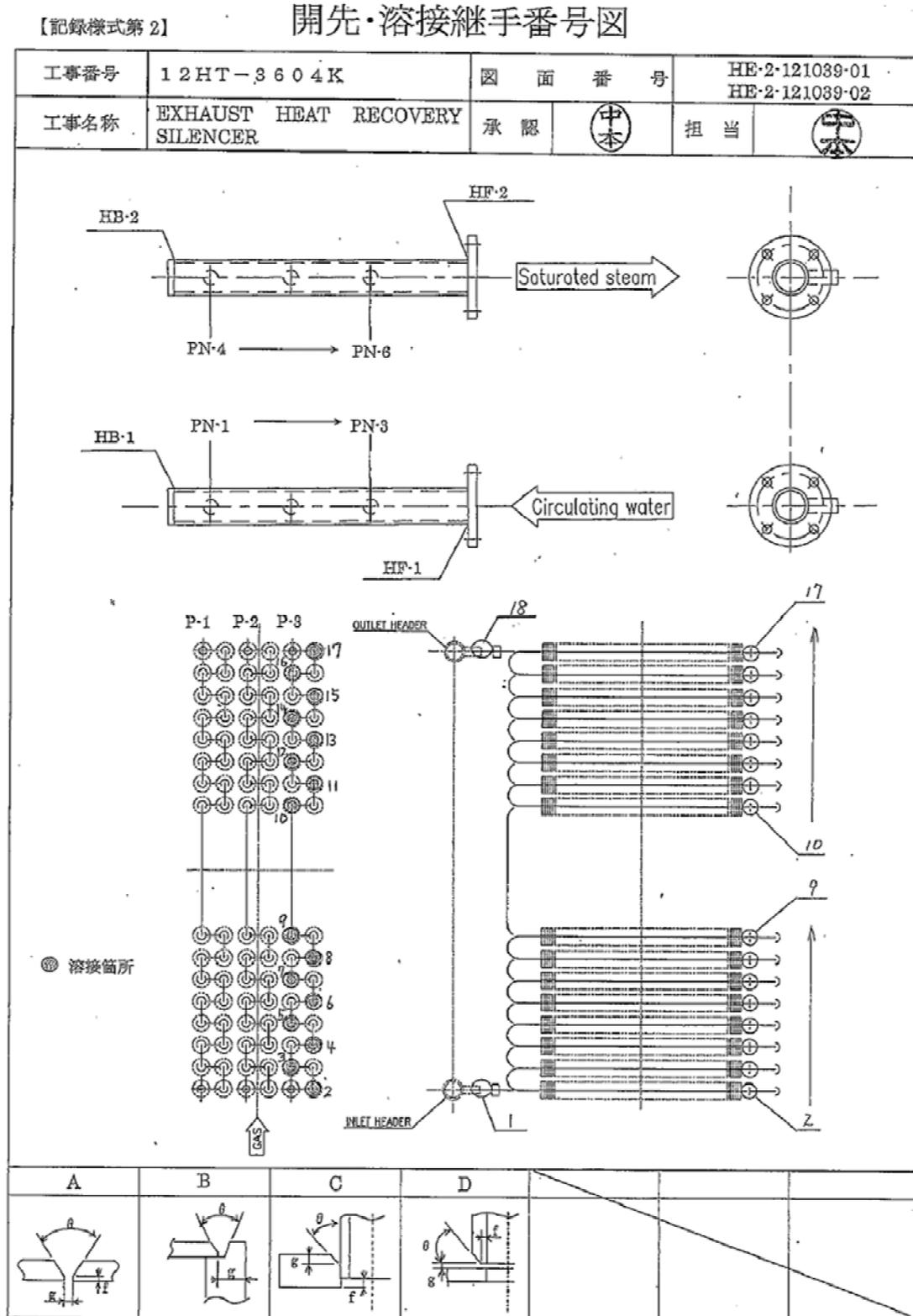


図38 開先・溶接継手番号図

【記録様式第3】

開先検査記録

工事番号		12HT-3604K				図面番号		HE-2-121039-01 HE-2-121039-02			
工事名称		EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER				承認	中本		担当	中本	
継手番号	タイプ	開先検査					材料確認		検査日 検査員	結果	
		開先角度 θ	ノド間隔 g	食違い	ノド面 f	開先面	品番	材質			
HF-1	C	$45^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	7以上	—	7以上	良	1-1	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	良		1-4	SS400	中本		
HF-2	C	$45^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	7以上	—	7以上	良	1-2	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	良		1-4	SS400	中本		
HB-1	B	$45^{\circ} \pm 5^{\circ}$	13以上	—	—	良	1-1	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	—		1-3	SB410	中本		
HB-2	B	$45^{\circ} \pm 5^{\circ}$	13以上	—	—	良	1-2	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	—		1-3	SB410	中本		
PN-1 ~ PN-3	D	$45^{\circ} \begin{smallmatrix} +0^{\circ} \\ -5^{\circ} \end{smallmatrix}$	4 ± 2	—	1 ± 0.5	良	1-1	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	良		1-5	KSTB35SC	中本		
PN-4 ~ PN-6	D	$45^{\circ} \begin{smallmatrix} +0^{\circ} \\ -5^{\circ} \end{smallmatrix}$	4 ± 2	—	1 ± 0.5	良	1-2	KSTPG38SC	H24	合格	
		良	良	—	良		1-5	KSTB35SC	中本		
P-1~P-3 (1)	A	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	3 ± 1.5	1.5以下	1 ± 0.5	良	1-5	KSTB35SC	H25	合格	
		良	良	良	良		2-1	KSTB35SC	中本		
P-1~P-3 (18)	A	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	3 ± 1.5	1.5以下	1 ± 0.5	良	1-5	KSTB35SC	H25	合格	
		良	良	良	良		2-1	KSTB35SC	中本		
P-1 (2~17)	A	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	3 ± 1.5	1.5以下	1 ± 0.5	良	2-1	KSTB35SC	H24	合格	
		良	良	良	良		2-4	KSTB35SC	中本		
P-2 (2~17)	A	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	3 ± 1.5	1.5以下	1 ± 0.5	良	2-1	KSTB35SC	H24	合格	
		良	良	良	良		2-4	KSTB35SC	中本		
P-3 (2~17)	A	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	3 ± 1.5	1.5以下	1 ± 0.5	良	2-1	KSTB35SC	H24	合格	
		良	良	良	良		2-4	KSTB35SC	中本		

図39 開先検査記録

溶接作業検査記録

工事番号		12HT-3604K			図面番号			HE-2-121039-01 HE-2-121039-02			
工事名称		EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER			承認	⊙ 中本		担当	⊙ 中本		
継手番号	母材の種類	溶接方法	溶接棒等	予熱温度	シールド(裏ガス)	層数	溶接工年月日	溶接寸法	溶接士	検査年月日 検査員	結果
HF-1	P-1 P-1	内T 外M	TG-S50 MG-S50	—	Ar Ar+CO ₂	多	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
HF-2	↑	内T 外M	TG-S50 MG-S50	↑	Ar Ar+CO ₂	↑	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
HB-1	↑	T	TG-S50	↑	Ar	↑	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
HB-2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
PN-1 ~ PN-3	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
PN-4 ~ PN-6	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H24 11/26	良	中本貫太郎	H24 11/26 ⊙ 中本	合格
P-1~ P-3 (1)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H25 2/2	良	中本貫太郎	H25 2/2 ⊙ 中本	合格
P-1~ P-3 (18)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H25 2/2	良	中本貫太郎	H25 2/2 ⊙ 中本	合格
P-1 (2~17)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	H24 11/27	良	中本貫太郎	H24 11/27 ⊙ 中本	合格
P-2 (2~17)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	H24 11/28	良	中本貫太郎	H24 11/28 ⊙ 中本	合格
P-3 (2~17)	P-1 P-1	T	TG-S50	—	Ar	多	H24 11/29	良	中本貫太郎	H24 11/29 ⊙ 中本	合格
以下 余白											

図40 溶接作業検査記録

溶接個所については、溶接後に浸透深傷検査を実施し、その後放射線検査を実施した。

図41に放射線検査記録を、図42に放射線透過写真判定記録を示す。

放射線検査記録

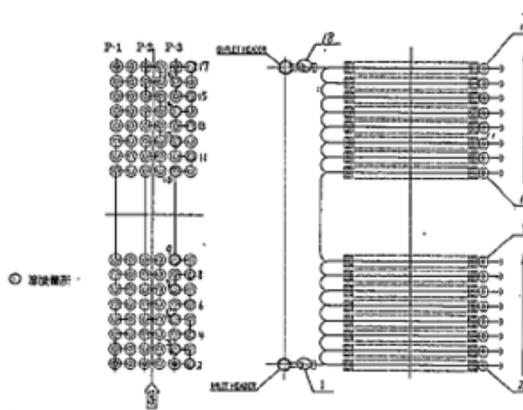
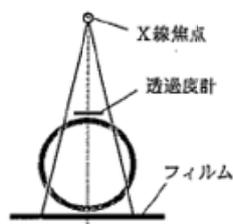
平成 25 年 2 月 4 日

客先名称 Taiko Sangyo Co.,Ltd 殿		 日本シーレーク株式会社 〒731-0168 広島市安佐南区梓西1丁目6番11号 TEL 082-849-5900 FAX 082-849-5912	
製造者 中本工業有限会社			
工事番号 12HT-3604K	工事名称 EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER	検査年月日 平成24年12月17日～平成25年2月3日	
製品名 EXHAUST HEAT RECOVERY SILENCER	検査場所 中本工業有限会社	検査数量 54継手	立会者 殿
図面番号 HE-2-121039 -00,-01,-02	検査適用規格 DNV JIS Z 3104-1995	試験部材質 KSTB35SC	責任者 糸田 恵
		技術者	—

試験条件		撮影条件						
放射線装置名	EX-260GH-3	母材厚さ mm	材厚 mm	管電圧 (核種) KVP	管電流 (線源強度) mA (GBq)	線源/試料間 距離 mm	露出時間	
装置管理No.	—							
焦点(線源)寸法	2.0×2.0mm							
フィルムタイプ及びサイズ	FUJI #100 85×305mm	2.6	7.2	195	5	700	1	0
透過度計	F025							
透過度計管理No.	42680							
階調計	—							
階調計管理No.	—							
増感紙	Pb-0.1							
フィルム現像液	FUJI Hi-RENDOL I							
現像条件	20℃ 5分							

使用した撮影レイアウト

管二重壁両面撮影



判定基準：1種2類，2種2類，4種2類以上

検査結果 合格	検査責任者 糸田 恵	
	資格認定No. N10002038 RT-2	

日本シーレーク株式会社

図41 放射線検査記録



放射線透過写真判定記録

平成 25 年 2 月 4 日

フィルム番号	1種類	2種類	3種類	4種類	混在類	総合類	合否	撮影日	判定者	特記事項
P-1-1-A						1	合格	3. FEB. 13	糸田 恵	
B						1		3. FEB. 13		
P-1-2-A	1					1		26. JAN. 13		B 1.0φ
B						1				
P-1-3-A	1					1				B 0.8φ
B						1				
P-1-4-A	1					1				B 0.8φ
B						1				
P-1-5-A	1					1				B 0.6φ
B						1				
P-1-6-A		1				1				P 1.8φ
B		1				1		26. JAN. 13		P 2.0φ
P-1-7-A						1		17. DEC. 12		
B						1		17. DEC. 12		
P-1-8-A	1					1		26. JAN. 13		B 0.7φ
B	1					1		26. JAN. 13		B 1.0φ
P-1-9-A	1					1		17. DEC. 12		B 0.8φ
B						1		17. DEC. 12		
P-1-10-A	1					1		26. JAN. 13		B 0.8φ
B	1					1				B 1.0φ
P-1-11-A						1				
B						1		26. JAN. 13		
P-1-12-A	1					1		17. DEC. 12		B 1.0φ
B	1					1		17. DEC. 12		B 0.9φ
P-1-13-A	1					1		26. JAN. 13		B 0.8φ
B						1				
P-1-14-A						1				
B						1				
P-1-15-A	1					1				B 0.9φ
B	1					1	合格	26. JAN. 13	糸田 恵	B 0.7φ

特記： B ブローホール P パイプ S スラグ巻き込み T タングステン巻き込み CR 割れ
 LF 融合不良 IP 溶け込み不良 O その他の形状不良

日本シーレック株式会社

図42 放射線透過写真判定記録

これら検査記録と立会検査の結果、排熱回収型サイレンサは船級協会の承認を得た。

船級承認を得た排熱回収型サイレンサは、実船に搭載するため、塗装及び防熱施工をし、完成した。

図 43に塗装後の排熱回収型サイレンサを示す。



図43 排熱回収型サイレンサ

(2) 循環水ポンプ

実船搭載試験において、排熱回収型サイレンサ内フィン付チューブと既設ボイラ間を循環させる循環水ポンプを2台新規設置する必要がある。

循環水ポンプ容量としては、通常蒸発量の5倍以上を選定するので、4/4出力時の蒸発量から、

$$193(\text{kg/h}) \times 5 = 965(\text{kg/h}) \rightarrow 0.965(\text{m}^3/\text{h})$$

したがって、容量1(m³/h)のポンプを選定した。

また、その循環水ポンプ仕様は、試験条件により、高圧・高温使用でなくてはならない。

それら条件を満たす、船級承認を得た循環水ポンプを選定し、購入した。

表8に循環水ポンプ仕様、図44に循環水ポンプを示す。

表8 循環水ポンプ仕様

名 称		排ガスボイラ用 循環水ポンプ
数 量		2 台
形 式		メーカー標準
使用流体		清水(0.6MPa 飽和水)
使用温度(°C)		常温～165
容 量(m ³ /h)		1
全 揚 程(m)		35
吸入揚程(m)		1
出/入口フランジ(JIS B)		メーカー標準
電 源		440V、60Hz、3φ
電 動 機(kW)		メーカー標準
材 質	ケーシング	メーカー標準
	インペラー	メーカー標準
	パッキング	メーカー標準
付属品	出入口圧力計(本体付)	—
	据付ボルトナット付き	—
	モータ端子箱	電動機横に設置
	その他	標準
予備品		標準
使用場所		52BC 船
用 途		機関室



図44 循環水ポンプ

(3) 循環水ポンプスタータ

実船搭載試験において、循環水ポンプを2台新規設置するが、そのポンプのスタータを製作し、船級承認を得た。

図45に循環水ポンプスタータ示す。



図45 循環水ポンプスタータ

PERFORMANCE TEST ②

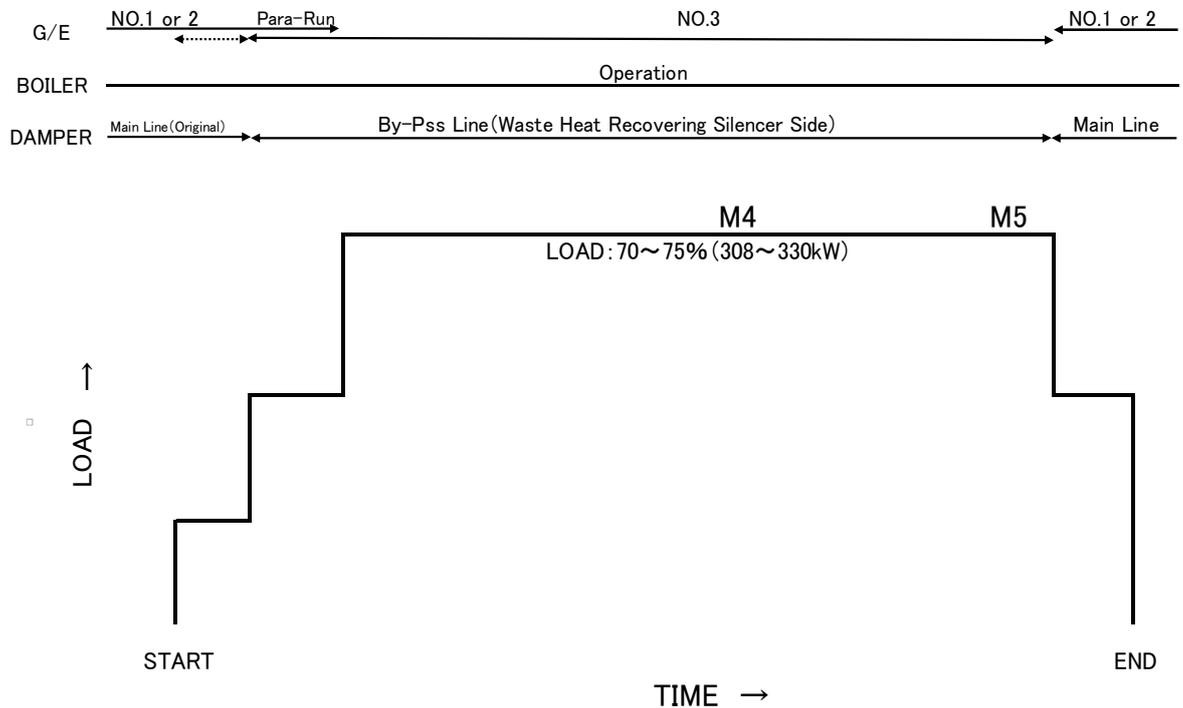


図47 試験計画(追い焚き, M: 計測)

本船の改造及び、試験実施場所は、中国の上海地区(CIC)を予定しており、神原汽船及び、本船の管理会社(Union Marine Management Services)で現地監督に対して説明など実施し、本試験要領について確認した。

5. 平成24年度の目標の達成状況

平成24年度目標からの達成度で自己評価すると、下記に示すように、いずれの項目も100%の達成度となり、次年度の実船搭載試験に向けて計画通り実施できた。

- 1) 実船搭載試験船を検討した結果、TRIPLE STAR (52BC)にて、平成25年度に中国の上海地区造船所(CIC)入港時に、改造工事および諸試験を実施することとした。また、船舶の機関室には、多くの装置、機器及び配管が設置されており非常に狭隘な為、効率的配置が望まれるが、検討結果、ユニット工法の採用により、排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載する技術を確立できた。
- 2) 実船搭載試験船の発電機関に適合した、コンパクトで効率の良い排熱回収型サイレンサを設計・製作した。
- 3) 既存蒸気系(搭載対象船)との配管及び配置的な結合方法を検討/確立し、対象船の改造設計及び工場内で改造を行った。その際既存機器を活用するとともに、平成22~23年度購入の機器類を可能な限り再利用した。
- 4) 平成25年度実施の実船試験の為、試験方法および工程の立案をした。

第Ⅱ部 平成25年度

6. 平成25年度の実施内容

6.1 排熱回収型サイレンサ及び関連機器の搭載

6.1.1 実船搭載機器のユニット化

船内での改造工事期間短縮及び排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載するため、実船搭載機器をユニット化することとした。

機器類はあらかじめ工場内で仮組みし、組立状態を確認した後、船内に搭載しやすい部品・大きさごとに、分解し梱包した。

工場内での仮組み状態を図48に示す。輸送及び積込状態にユニット化した排熱回収型サイレンサ据付台を

図49に、船内にて工事を行なう配管部品はパレットに入れた状態を図50に示す。



図48 仮組状態



図49 排熱回収型サイレンサ据付台



図50 配管部品

6.1.2 実船搭載機器積込

搭載対象船「TRIPLE STAR」の入渠(定検)時期について、当初3～9月を予定していたが、4月初めに上海(中国)の造船所に入渠が決定した。本船が上海に入渠前、日本の橋港(徳島県)に寄港することになったので、機器・計装品などユニット化したものおよび搭載工事に必要なもの等すべて、橋港にて本船のNo.1ホールド内に積み込み、ホールド内に固縛した。排熱回収型サイレンサ、ポンプおよび小物部品は木箱にて輸出梱包している。

本船のホールド内に積み込んだ写真を図51～図52に示す。



図51 ホールド内積込 1



図52 ホールド内積込 2

6.1.3 実船搭載工事

4月初旬に上海のCIC造船所に入渠後、橘港にてホールド内へ積み込んだ排熱回収型サイレンサ及び関連機器等を取り出し、本船の機関室上部のスカイライトより岸壁のクレーンにて機関室内に搬入した。

本船の定期検査/改造/修繕工事との関係で工事時期等限定されたが、造船所の職員により据付・配管・配線・防熱及び測定機器等の設置工事を実施した。

また、既設補助ボイラの改造工事はボイラメーカーに依頼し、2個所の配管の溶接及び船級による圧力試験を実施した。

実船搭載対象船及び搭載工事状況を図53～図62に示す。



図53 実船搭載対象船



図54 既設発電機配電盤
(発電機負荷等試験時計測)



図55 発電機
(写真右側：No. 3 を試験で使用)



図56 スカイライトから搬入



図57 排熱回収型サイレンサ設置



図58 ボイラ改造（溶接工事：循環水取出し配管）



図59 新設のダンパー部



図60 排ガス管上部改造部
(既設管との接続)



図61 試験用計器盤
(既設補助ボイラ横)



図62 騒音計測位置
(煙突上部の排ガス管出口部)

既設補助ボイラの改造工事終了後、船級(DNV)による水圧試験を実施した。
 また、排熱回収型サイレンサの承認図面及び水圧試験等の船級の承認返却及び「CERTIFICATE」を本船就航後、入手した。
 CERTIFICATE を図 63及び図 64に示す。

	DET NORSKE VERITAS		Certificate No HIR-13-4102
	CERTIFICATE FOR BOILER		
Manufacturer: Nakamoto Kougyou Ltd.			
Manufacturer's order No.: _____			
Purchaser: _____			
Purchaser's order No.: _____			
The product is intended for			
Yard: Tsuneishi Corporation			
Yard No.: 1337			
Name of vessel: "TRIPLE STAR"			
DNV Id. No.: 30982			
THIS IS TO CERTIFY:			
that the product: Waste Heat Recovering Silencer			
Type designation:			
Boiler type: <input type="checkbox"/> Water tube <input type="checkbox"/> Smoke tube			
Design pressure (bar): Primary pressure: 0.98 MPa Secondary pressure:			
Maximum continuous steam capacity (kg/h): 115			
Serial No(s): 12HT-3604K			
Has been built and tested in accordance with the relevant requirements of:			
DNV Rules for Classification: <input checked="" type="checkbox"/> Ships <input type="checkbox"/> HSLC <input type="checkbox"/> Naval <input type="checkbox"/> Offshore			
<input type="checkbox"/> Other standards:			
Remarks (if more than one line, use page 2):			
The product was marked: NV HIR-13-4102		On: Body	
This field is only to be filled in when the certification is based on a Manufacturing Survey Arrangement (MSA). The undersigned manufacturer declares that the product/system has been built and tested in accordance with the specification/standard stated above and the conditions referred to in Manufacturing Survey Arrangement No: Quality System Certificate No:		This Certificate is only valid when signed by a DNV surveyor.	
For Manufacturer: Place: Date:		For Det Norske Veritas AS Place: Akitsu, Japan Date: 2013-02-08	
_____ (name) (title)		 Digitally Signed By: Yasuoka, Akimasa Location: DNV Hiroshima, Japan _____ Akimasa Yasuoka Surveyor	
<small>If any person suffers loss or damage which is proved to have been caused by any negligent act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation to such person for his proved direct loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to ten times the fee charged for the service in question, provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. In this provision "Det Norske Veritas" shall mean the Foundation Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, directors, officers, employees, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.</small>			
DET NORSKE VERITAS AS, Veritasveien 1, NO-1322 Høvik, Norway, Tel.: +47 67 57 99 00, Fax: +47 67 57 99 11, Org.No. NO 945 748 931 MVA www.dnv.com Form No.: 74.00a Issue: November 2010 Page 1 of 2			

☒63 CERTIFICATE : P1

Certificate No
HIR-13-4102

Technical data

Working pressure after superheater (bar):	0.98 MPa	
Temperature at superheater exit (C):	164.8	
Boiler fuel:	Exhaust Gas	
Heating surface (m2)		
Boiler:		
Superheater:		
Total:		
Heating surface of economizer (m2):	34.7	
Hydraulic test pressure (bar)		
Boiler:	Primary side:	Secondary side:
Superheater:		
Economizer:	1.47 MPa	

Remarks:

Non-destructive test for butt joint of heating tubes was carried out and found satisfactory.

Marking and certificate numbers for the different parts:

Drawings with dates of approval and/or type approval certificate number:
Waste Heat Recovering Silencer, DM 1787-2 was approved by DNV on 2013-03-29.

6.2 実船搭載試験

6.2.1 実船試験①

本船改造工事の機器・配管系統及び計測器等の単体での作動を確認した。

その後、本船の発電機関、補助ボイラ等の既設機器を運転し、排熱回収型サイレンサを稼働させ、既存蒸気系への適合性等問題ないことを確認しながら、「3.1.4 実船搭載試験準備」の図 46及び図 47に沿って試験を実施した。

1) 排熱回収型サイレンサの単独試験（試験種類：M1、M2）

補助ボイラを運転し、蒸気圧力を上限値（約 0.5MPa：燃焼バーナ停止）まで上昇させ、排熱回収型サイレンサ単体で蒸気生成試験を開始した。

試験開始後、排ガス出入口温度等が安定してから第 1 回目 (M1) の試験データを計測し、引き続き排ガス出入口温度等が安定しているのを確認し、第 2 回目 (M2) の試験データを計測した。

2) 補助ボイラとの併用運転（追い焚き運転）

補助ボイラの圧力を低下させ、排熱回収型サイレンサとの併用運転を実施した。本船の停泊時蒸気消費量は排熱回収型サイレンサの蒸気生成量より多いため、通常補助ボイラとの併用運転となるので、その確認運転を実施した。

試験データ計測は、M1/M2 試験同様、排ガスで入口温度等が安定してから、2 回計測した。

6.2.1.1 実船試験①の試験結果

上海での実船搭載試験におけるデータログ計測データを表 9に、機側計測データを表 10に、発電機関係計測データを表 11に各々示す。

排ガス及び循環水系統のデータは、データログにて連続的に計測しており、各々図 66、図 67に示す。なお、図 65の計器盤には、各データをデジタル表示している。

発電機、補助ボイラ及び給水系統等のデータは既設計器のデータを計測した。

図 67の蒸気圧力カーブから、蒸気生成開始後も蒸気圧力が若干低下（ゆるい勾配）しているのは、本船が出港準備のため、蒸気使用を STOP できなかったためである。すなわち、排熱回収型サイレンサ単体での生成蒸気量以上に本船での蒸気消費量を意味している。

また、排熱回収型サイレンサ停止（ダンパ切替）後は、蒸気圧力の低下が急勾配になっている。



図65 計器盤

表9 データログ計測データ

試験種類	温度(°C)					
	室温 (ボイラ 設置場所)	排ガス サイレンサ 入口	排ガス サイレンサ 出口	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	蒸気
M1	24.5	332.3	189.8	158.79	158.65	157.83
M2	25.0	331.5	187.2	157.58	157.61	156.81
追い焚き	24.0	335.2	193.0	160.79	160.37	-
追い焚き	24.0	334.8	193.2	159.49	159.01	-
試験種類	圧力(MPa)			差圧	流量(m ³ /h)	
	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	蒸気 (スチームドラム)	排ガス サイレンサ 出入口	排ガス	循環水
M1	0.52	0.49	0.47	38.78	4477.5	1.302
M2	0.50	0.48	0.45	34.08	4040.5	1.295
追い焚き	0.55	0.52	0.23	42.15	4937.0	1.274
追い焚き	0.53	0.50	0.24	42.55	4830.0	1.272

表10 機側計測データ

試験種類	U字管	補助ボイラ		循環水ライン		
	排ガス系統 (mmAq)	水面計 (mm)	圧力 (MPa)	使用 ポンプ	循環水ポンプ圧力	
					入口 (MPa)	出口 (MPa)
M1	66	205	5.06	No. 1	0.54	0.58
M2	66	195	4.95	No. 1	0.52	0.56
追い焚き	82	270	5.33	No. 1	0.56	0.60
追い焚き	80	250	5.10	No. 1	0.54	0.58

表11 発電機関係計測データ

試験種類	制御室				機側		
	周波数 (Hz)	出力 (kW)	電流 (A)	電圧 (V)	室温(発電機設置場所) (°C)	回転数 (min ⁻¹)	掃除空気圧 (MPa)
M1	60.1	300	455	450	22	900	0.100
M2	60.1	270	480	450	22	890	0.085
追い焚き	60.1	332	520	450	25	890	0.115
追い焚き	60.0	343	520	450	25	890	0.120

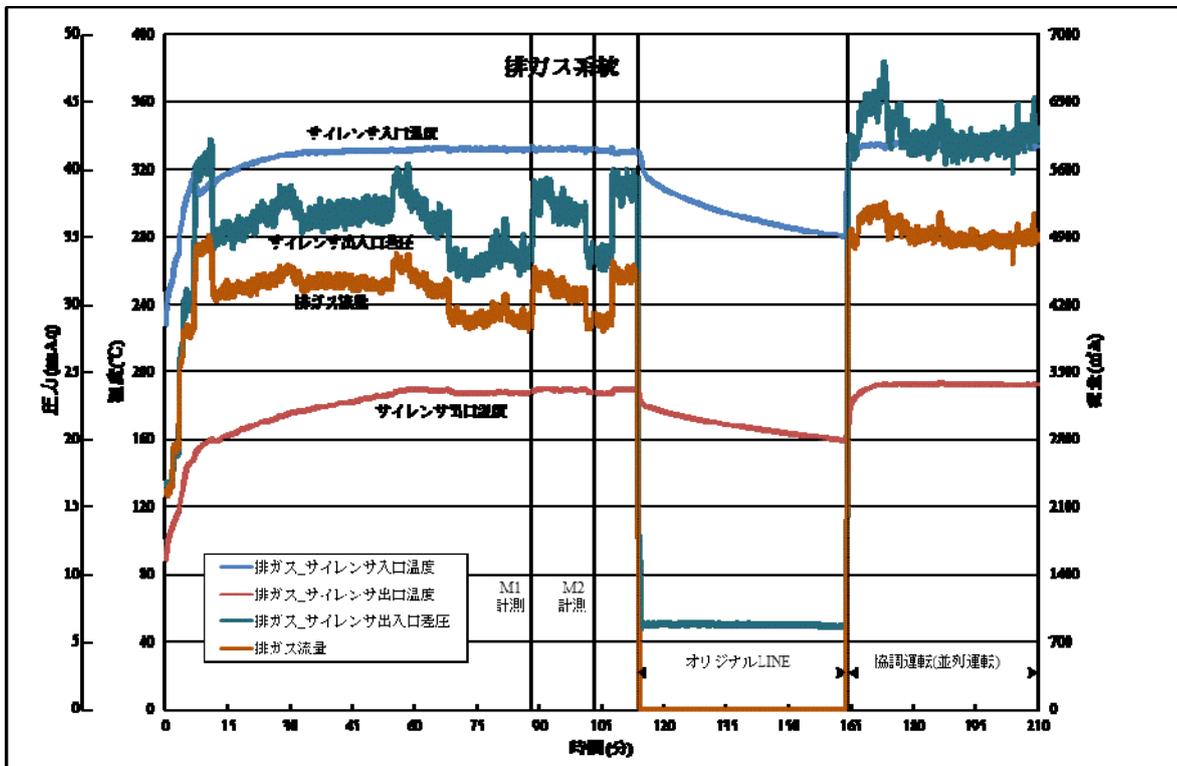


図66 排ガス系統

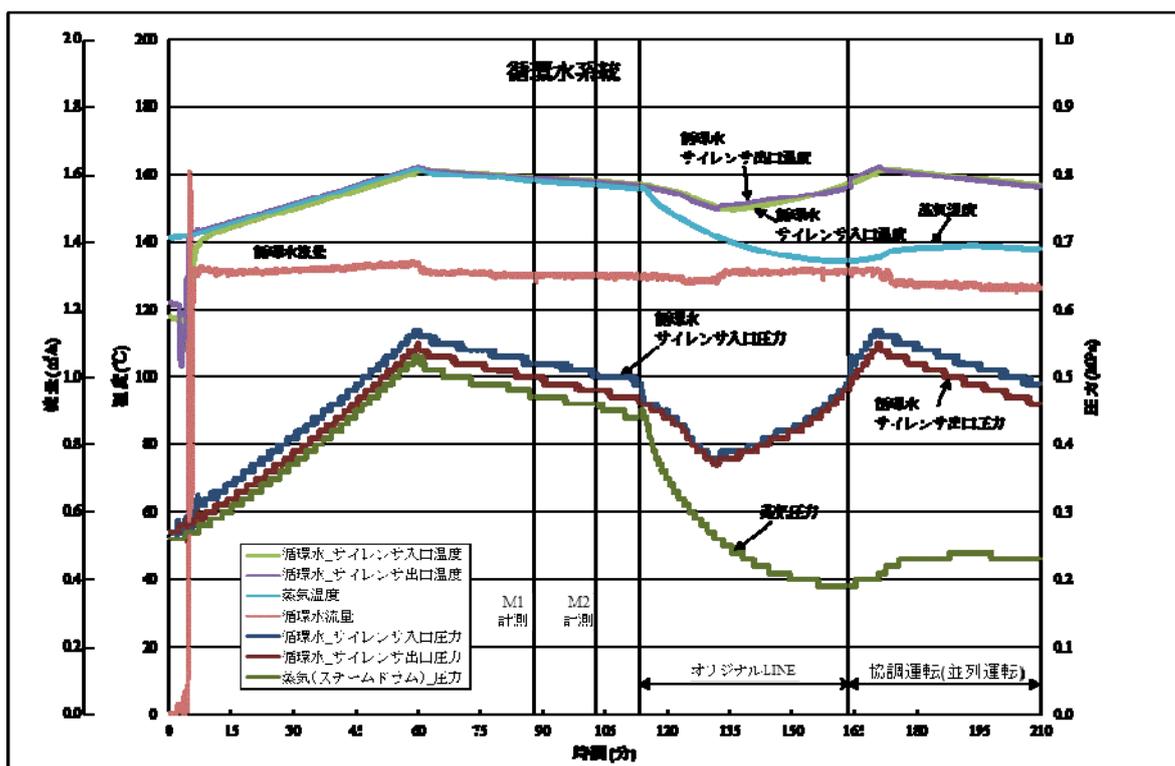


図67 循環水系統

1) 排熱回収型サイレンサの単独試験（試験種類：M1、M2）

排熱回収型サイレンサの生成蒸気量及び圧力損失を表 12に示す。

生成蒸気量計画値は、100(kg/h)であるが、表 12に示すように、かなり多量の蒸気生成量を計測した。

その理由として、生成蒸気量計画値 100(kg/h)に対し、経年劣化(汚れに寄る排熱エネルギー回収量低下等)のマーヅンを含めた計画としており、今回が初めての試験のため、煤の付着など全く汚れていないためと考へている。

次に、生成蒸気量計画時の給水温度(循環水入口温度)は 50℃としていたが、実際には、ボイラ内にて、約 160℃まで加熱されているため、計画値以上の蒸気生成が出来た。

また、圧力損失の試験結果では、0.4kPa 以下と、性能数値目標を十分満たしている。

表12 試験結果による生成蒸気量及び圧力損失

試験種類	負荷 (kW)	W _s (kg/h)	ΔE (kJ/h)	Q ₀ (Nm ³ /h)	ΔT (K)	圧力損失 (kPa)
M1	300	206	519513	2642	142.5	0.38
M2	270	189	477412	2397	144.3	0.33

生成蒸気量： $W_s = \Delta E \times \epsilon / h_s$ ，有効熱量： $\Delta E = C_p \times Q_0 \times \Delta T$

ノルマル排ガス流量： $Q_0 = Q \times 273.15 / (273.15 + T_2)$ ，効率： $\epsilon = 0.83$

排ガス比熱： $C_p = 1.38 \text{ kJ/Nm}^3\text{K}$ ，排ガス出入口温度差：

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

蒸気生成エンタルピ： h_s ，排ガス出口流量： Q ，

排ガス入口温度： T_1 ，排ガス出口温度： T_2

※ h_s 、 Q 、 T_1 、 T_2 は、試験結果による値

次に、騒音データを表 13及び図 68に示す。表 13の騒音データ比較だが、既設発電機 No.3 の原音測定は不可能なため、既設発電機メーカーの同型(5DK-20)発電機の原音データを基に減衰量を求めた。

騒音試験結果では、既設サイレンサおよび排熱回収型サイレンサとも、減衰量は 0. A. で 25dB(A)以上と、性能数値目標を満たしている。

なお、発電機関は、約 70%(計画値：70~75%)の負荷にて試験を実施した

表13 騒音データ

	周波数 (Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	0. A.
原音	72	79	97	98	103	100	100	90	107
既設サイレンサ	66.8	67.2	72.3	74.8	75.8	72.9	67.6	61.4	80.9
M1 試験	69.1	73.2	72.3	73.4	74.7	73.4	70.5	64.8	81.3
M2 試験	69.6	73.2	72.5	73.5	74.8	73.5	72.4	70.0	81.8

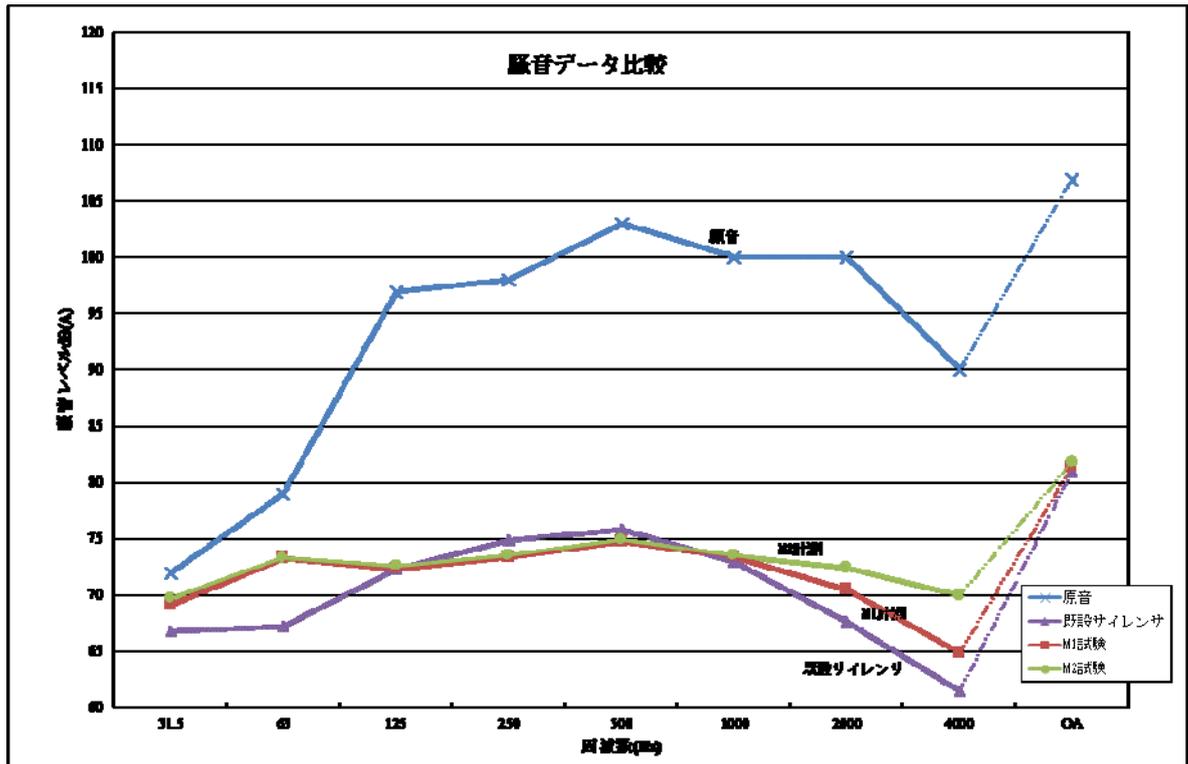


図68 騒音データ比較

2) 補助ボイラとの併用運転

本船の停泊時の蒸気必要消費量から、常時補助ボイラとの併用運転となるが、本試験結果より本船蒸気の消費量に対しての生成蒸気量・蒸気圧力等の適合性は、何ら問題点はなく良好な併用運転が確認できた。

したがって、本船の停泊時及び航海中の主機関の減速運転による蒸気供給量不足に対しても発電機関の排ガスを利用した本装置との併用運転が可能である。

6.2.2 実船試験②

4月初めに実船試験①を実施したが、約3ヵ月後(7/中)、本船が浦項港(韓国)に入港したので、その後の経年変化による性能確認、燃料削減量の確認及び稼働状況を確認するため訪船し、試験を実施した。

訪船時に機関長より排熱回収型サイレンサは、順調に稼働しており、特に問題点はないとの説明を受けた。

さらに、本船のLOG BOOKを調査した結果、就航後3ヶ月で7航海しており、その内5箇所の停泊地にて排熱回収型サイレンサを稼働させている状況であった。稼働時は約4000/dayの燃料削減となっており、C重油の購入価格を約\$700/tとして、排熱回収型サイレンサを1日稼働すると、約3万円の燃料費削減となっている。

調査したLOG BOOKを図69に示す。

試験としては、経年変化による性能を確認するため、約70%の負荷状態にて実施し、生成蒸気量及び圧力損失を計測した。

その後、スートブローを実施し、約 70% 負荷状態にて、生成蒸気量及び圧力損失を計測した。

結果としては、スートブロー前後共、性能数値目標は満足しており、スートブロー後は、生成蒸気量が増加し、スートブローの効果が確認出来た。

そのため、排熱回収型サイレンサ使用の 2~3 日毎にスートブローを実施するよう、本船に指示した。

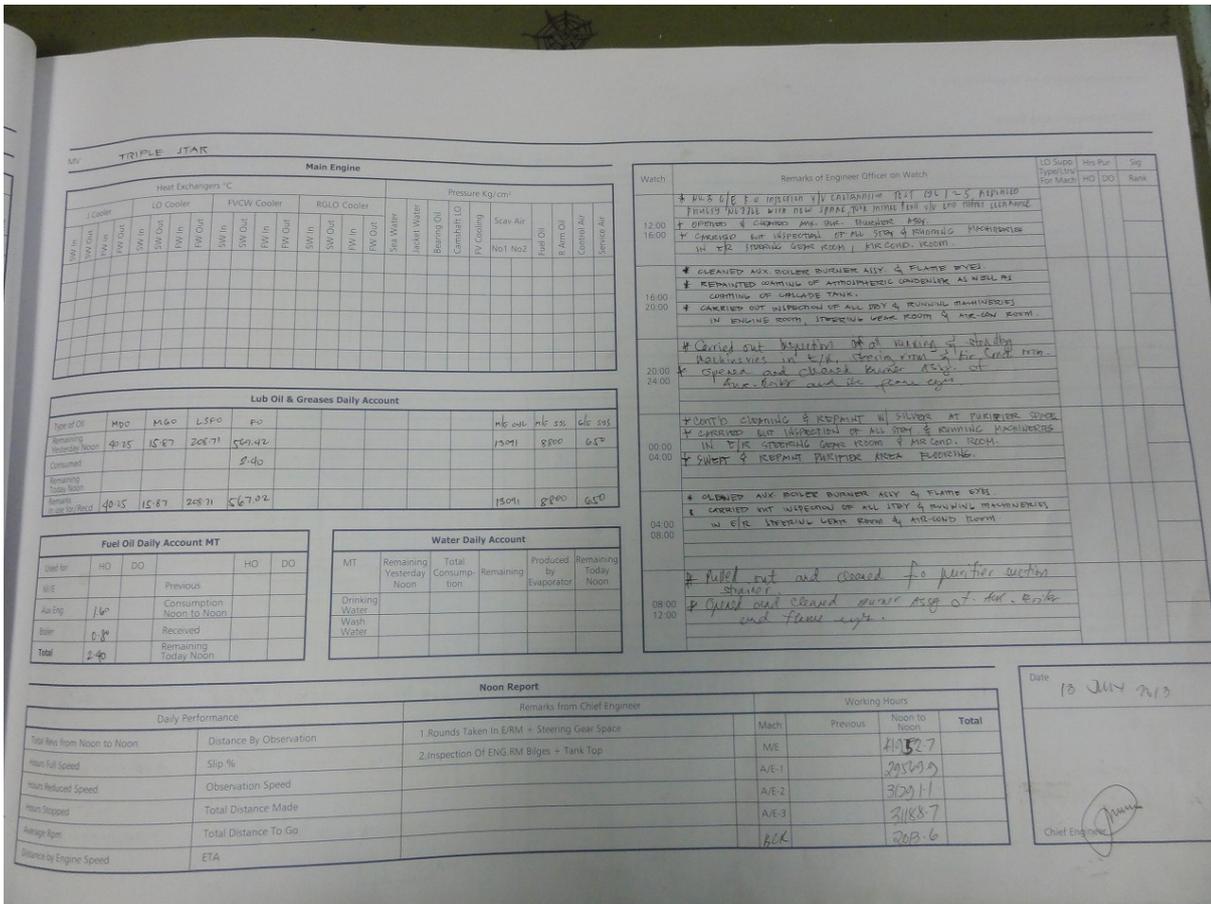


図69 LOG BOOK

6.2.2.1 実船試験②の試験結果

スートブロー実施前の実船搭載試験におけるデータログ計測データを表 14 に、機側計測データを表 15 に、発電機関係計測データを表 16 に各々示す。

また、排ガス系統のデータを図 70 に、循環水系統のデータを図 71 に示す。
(実船試験①と同様に、排ガス出入口温度等安定状態での排熱回収型サイレンサ単独試験における試験データを M1, M, M3... と標記した。)

表14 データログ計測データ

試験種類	温度(°C)					
	室温 (ボイラ 設置場所)	排ガス サイレンサ 入口	排ガス サイレンサ 出口	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	蒸気
M3	40.0	371.6	282.4	156.21	155.54	155.67
M4	40.0	374.6	288.9	155.35	155.00	155.55
M5	40.0	375.9	289.5	161.27	161.10	161.46
M6	40.0	377.9	294.0	160.72	160.61	160.98
試験種類	圧力(MPa)			差圧	流量(m ³ /h)	
	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	蒸気 (スチームドラム)	排ガス サイレンサ 出入口	排ガス	循環水
M3	0.45	0.40	0.42	-	4462.5	1.447
M4	0.45	0.39	0.39	-	5182.0	1.452
M5	0.54	0.48	0.48	-	5193.0	1.461
M6	0.53	0.48	0.48	-	5130.0	1.467

表15 機側計測データ

試験種類	U字管	補助ボイラ		循環水ライン		
	排ガス系統 (mmAq)	水面計 (mm)	圧力 (MPa)	使用 ポンプ	循環水ポンプ圧力	
					入口(MPa)	出口(MPa)
M3	52	230	0.51	No.2	0.52	0.50
M4	60	225	0.50	No.2	0.52	0.50
M5	60	185	0.58	No.2	0.60	0.60
M6	58	300	0.58	No.2	0.60	0.60

表16 発電機関係計測データ

試験種類	制御室				機側		
	周波数 (Hz)	出力 (kW)	電流 (A)	電圧 (V)	室温(発電機設置場所) (°C)	回転数 (min ⁻¹)	掃除空気圧 (MPa)
M3	60.1	251	350	450	40	890	0.070
M4	60.1	330	480	455	39	890	0.120
M5	61.0	320	460	455	39	890	0.110
M6	60.0	390	540	455	38	890	0.100

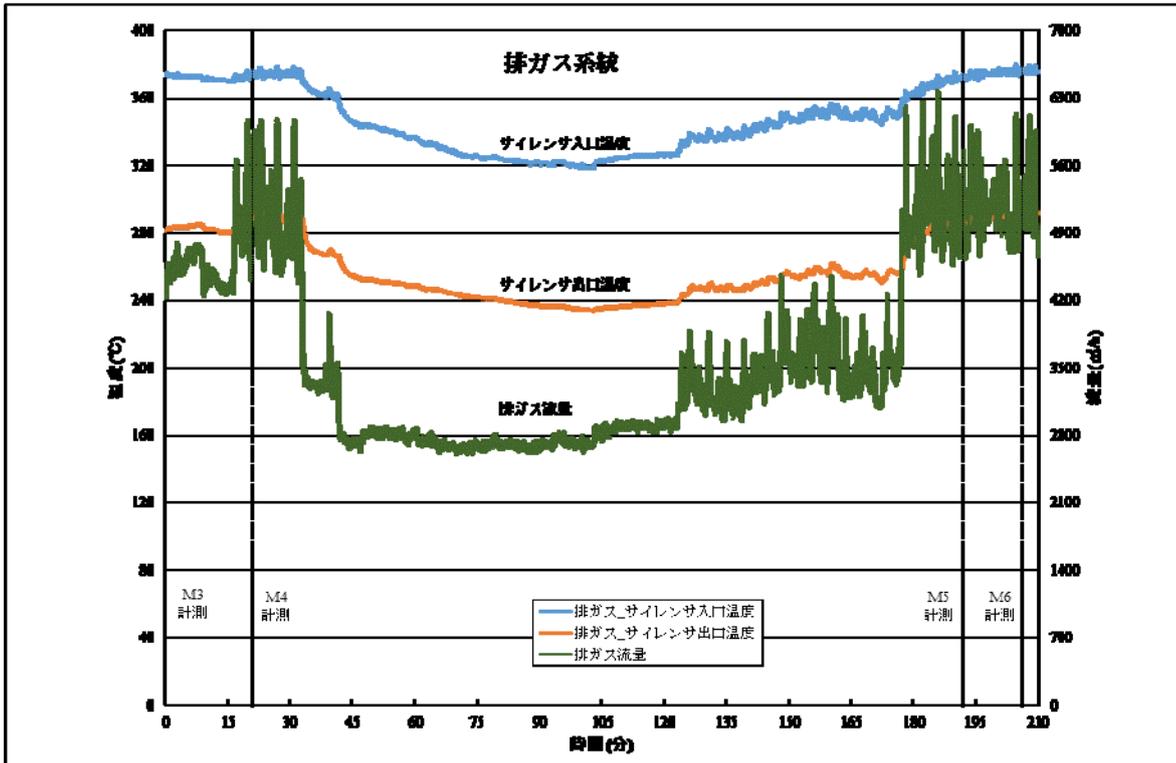


図70 排ガス系統

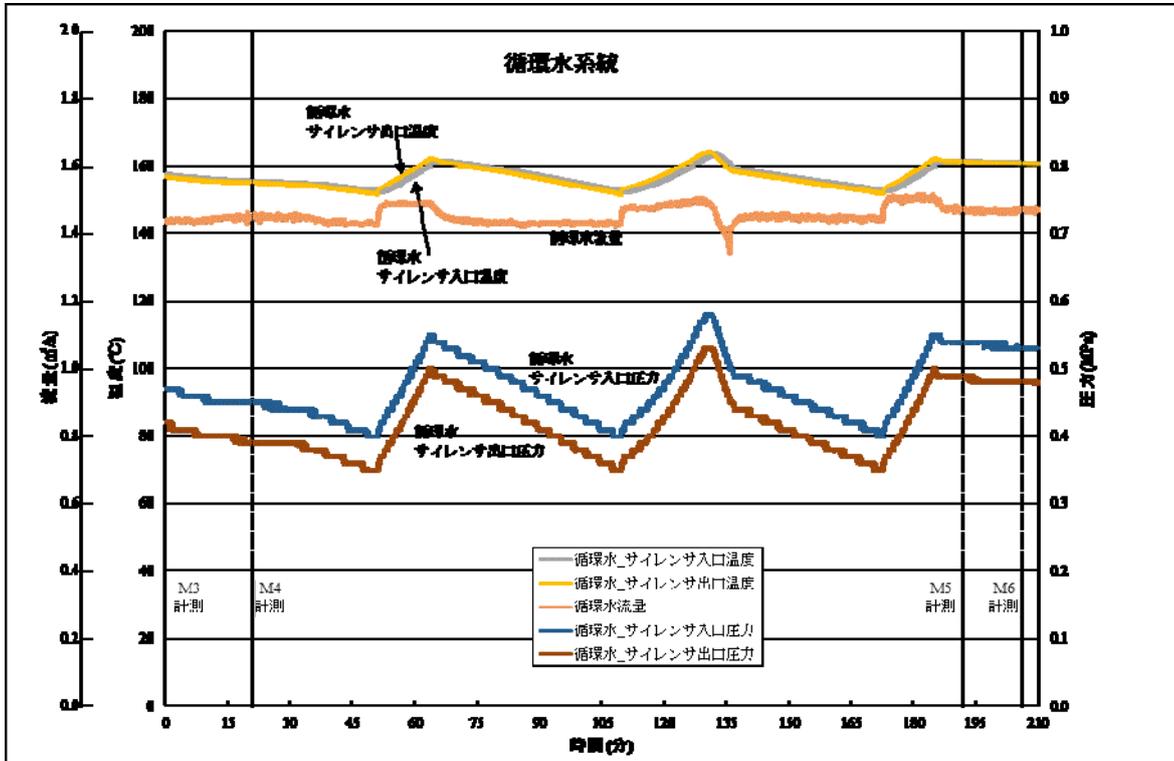


図71 循環水系統

試験は発電機負荷約 70%にて実施したが、本船が荷積み作業中のために本船のクレーンを使用していたため、図 70の排ガス流量から分かるように、試験中の負荷変動が激しかった。しかし、計測はできるだけ負荷変動の少ない、負荷整定時を狙い実施した。

また、図 70で、データログにてデータ記録を開始してから、約 40 分～120 分後は、昼休憩でクレーン停止のため、発電機負荷が低下していた。

次に、生成蒸気量は、性能数値目標は満足しているが、実船試験①での試験と比べ、生成蒸気量が低下していた。

排熱回収型サイレンサを本船搭載後約 3 ヶ月経過しているため、M6 計測後、排熱回収型サイレンサ内部を点検した結果、加熱チューブに相当量の煤が付着していたため、スートブロー要領を本船側に指導しながら、スートブローを実施し、その後試験(M7)を実施したところ、当然ながら生成蒸気量が増加した。

スートブロー前の加熱チューブ写真を 図 72に、スートブロー後の加熱チューブ写真を図 73に、排熱回収型サイレンサの生成蒸気量及び圧力損失を表 17にそれぞれ示す。



図72 スートブロー前



図73 スートブロー後

表17 実船試験②での試験結果による生成蒸気量及び圧力損失

試験種類	負荷 (kW)	W_s (kg/h)	ΔE (kJ/h)	Q_0 (Nm ³ /h)	ΔT (K)	全圧力損失 (kPa)
M3	251	107	270085	2194	89.2	0.50
M4	330	118	297840	2518	85.7	0.59
M5	320	120	300590	2521	86.4	0.59
M6	390	114	286063	2471	83.9	0.57
M7	315	139	349005	2618	96.6	0.49

試験結果としては、表 17の通り、スートブローの効果も確認でき、生成蒸気量の性能数値目標を満たしている。

また、圧力損失としては、全圧力損失での評価となるが、全圧力損失は 0.6kPa を計測しており、実船試験①のデータより想定して、排熱回収型サイレンサ単体の圧力損失のその後の増加はなく、性能数値目標を満足していた。

6.2.3 実船試験③

実船試験②での試験後、さらに約 5 ヶ月後(12/中)に、本船が群山港(韓国)に入港したので、設置後の排熱回収型サイレンサおよび新設の関連機器の状況確認、発電機負荷変動時の蒸気生成量の確認及び LOG BOOK の調査のため訪船し、試験を実施した。

訪船時に新機関長(前回より機関長交代)より排熱回収型サイレンサは、特に問題点は無く順調に稼働しているとの説明を受けた。

また、配管系統についての改良点等のアドバイスを受けた。

そして、実船試験②同様、本船の LOG BOOK を調査した結果、停泊地では基本的に排熱回収型サイレンサを稼働させており、稼働時は実船試験②同様約 4000 /day の燃料削減となっており、燃料費削減に繋がっていた。

試験は、発電機負荷を約 70%、約 50%および負荷変動状態にて実施した。停泊時の発電機負荷は常時変動しているため実情にあった試験が実施できた。

また、実船試験③は、実船試験②同様、スートブローの前後に各負荷状態にて試験を実施した。

結果としては、スートブロー前後共、性能数値目標は満足しており、スートブロー後は、生成蒸気量が増加し、スートブローの効果を再確認した。

また、発電機は主機と異なり、負荷に関係なく回転数一定のため、生成蒸気量は、発電機負荷に対し大きな変化はない。

6.2.3.1 実船試験③の試験結果

データログ計測データを表 18に、機側計測データを表 19に、発電機関係計測データを表 20に各々示す。

また、排ガス系統のデータを図 74に、循環水系統のデータを図 75に示す。

表18 データログ計測データ

試験種類	温度(°C)				圧力(MPa)		流量 (m ³ /h)
	排ガス サイレンサ 入口	排ガス サイレンサ 出口	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	循環水 サイレンサ 入口	循環水 サイレンサ 出口	循環水
M8	339.5	257.5	154.7	155.5	0.55	0.40	1.640
M9	346.9	263.5	155.9	157.5	0.58	0.43	1.715
M10	339.0	255.2	161.2	163.0	0.66	0.52	1.618
M11	345.8	235.5	157.5	158.8	0.59	0.45	1.609
M12	338.7	239.4	162.7	163.8	0.67	0.53	1.704

表19 機側計測データ

試験種類	補助ボイラ		循環水ライン		
	水面計 (mm)	圧力 (MPa)	使用 ポンプ	循環水ポンプ圧力	
				入口 (MPa)	出口 (MPa)
M8	FULL	0.50	No. 1	0.53	0.53
M9	265	0.48	No. 1	0.50	0.50
M10	247	0.58	No. 1	0.60	0.60
M11	FULL	0.52	No. 1	0.55	0.55
M12	237	0.51	No. 1	0.60	0.60

表20 発電機関係計測データ

試験種類	制御室				機側		
	周波数 (Hz)	出力 (kW)	電流 (A)	電圧 (V)	室温(発電機設置場所) (°C)	回転数 (min ⁻¹)	掃除空気圧 (MPa)
M8	60.0	328	490	450	21	900	0.115
M9	60.0	322	490	450	21	900	0.115
M10	60.0	222	340	460	21	900	0.070
M11	60.0	324	490	460	21	900	0.115
M12	60.0	217	330	460	20	900	0.070

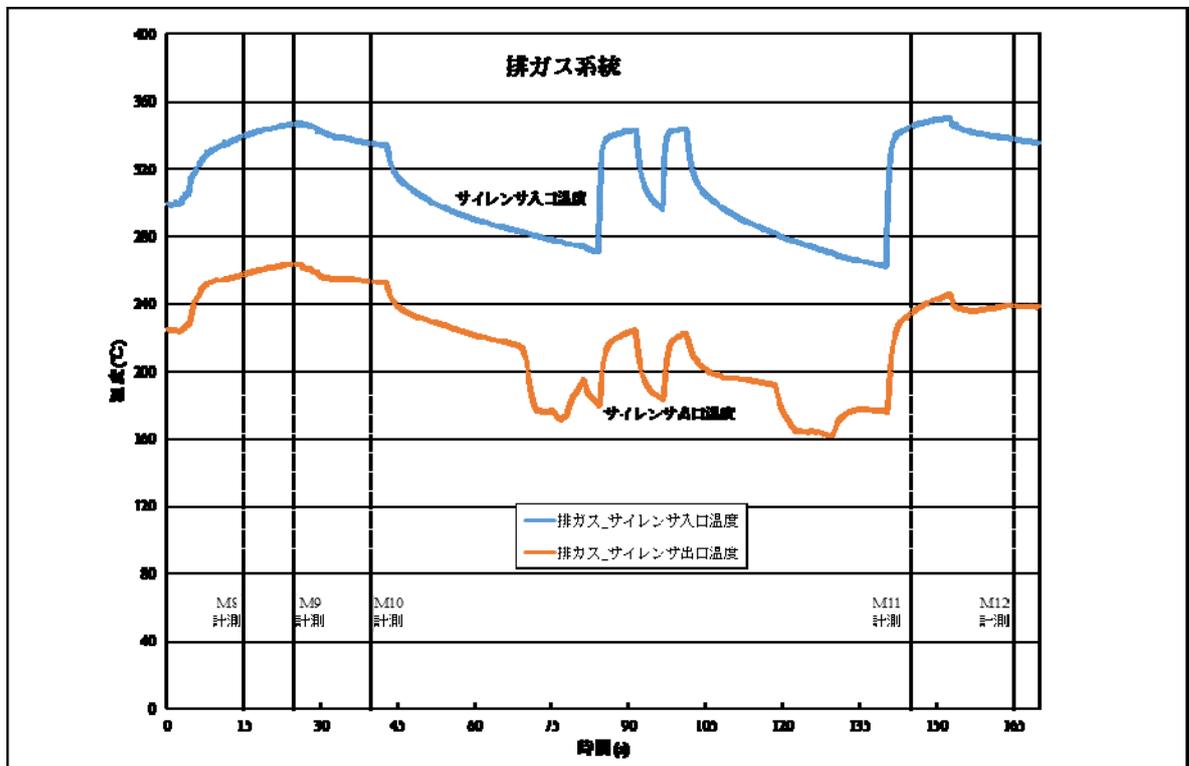


図74 排ガス系統

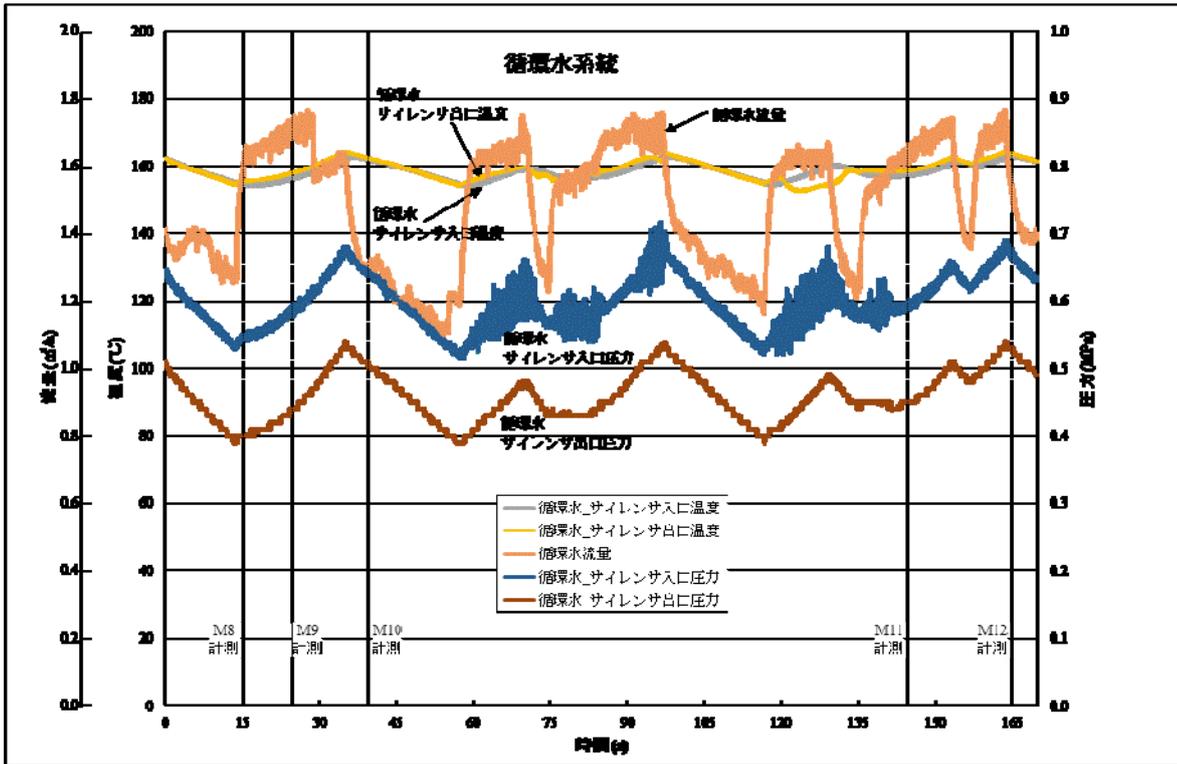


図75 循環水系統

実船試験③は、約 70%の負荷及び約 50%の負荷状態にて実施した。図 74の M8～M9 及び M11 が約 70%負荷で、M10 及び M12 が約 50%負荷状態で、M11～M12 はスートブロー後の試験を示している。

実船試験①および②の試験結果より、生成蒸気量と排ガス出入口温度差との関係を図 76に示している。

生成蒸気量を算出するには、排ガス流量及び排ガス温度差の値が必要であるが、今回は排ガス流量計が故障（原因不明）したため、生成蒸気量は、図 76より推定した。

各発電機負荷に対する試験結果は、表 21に示しているが、スートブローの効果も確認でき、生成蒸気量の性能数値目標をみたしている。

また、発電機負荷変動に対して、生成蒸気量は大きな変化はないことが確認できた。

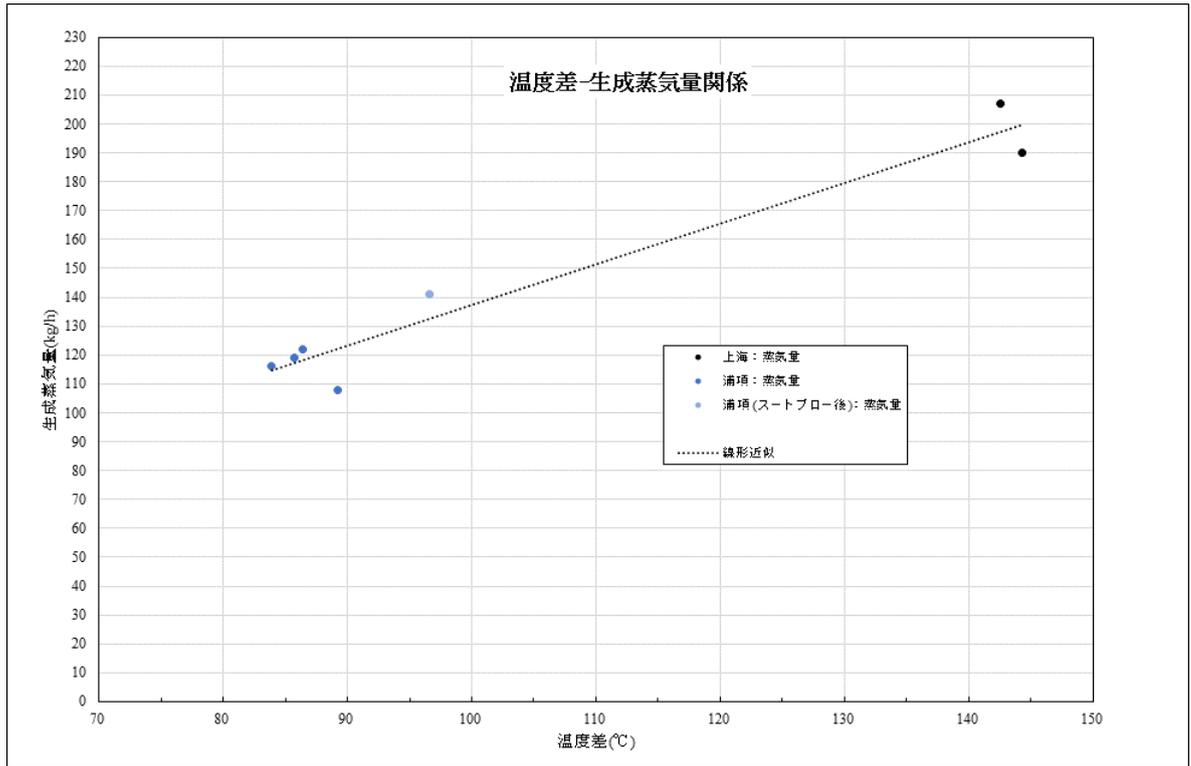


図76 温度差と生成蒸気量の関係

表21 実船試験③での試験結果による生成蒸気量

試験種類	負荷 (kW)	W_s (kg/h)	ΔE (kJ/h)	Q_0 (Nm ³ /h)	ΔT (K)
M8	328	112	284491	2514	82.0
M9	322	114	289080	2512	83.4
M10	222	115	287459	2486	83.8
M11	324	152	384642	2527	110.3
M12	217	137	342539	2500	99.3

6.2.4 本船での使用状況

実船試験②及び実船試験③のために訪船した際、排熱回収型サイレンサの使用状況および、燃料削減量など、LOG BOOKにて調査した。調査結果を表22に示す。

また、本船の動向は、下記の通りである。

南アフリカ(PORT ELIZABETH)→アフリカ(MAURITIUS)→シンガポール→日本(橘港：搭載工事に必要な物をホールド内へ積込)→中国(上海：排熱回収型サイレンサ搭載による改造工事及び実船試験①)→アメリカ(LONG BEACH)→香港→中国→フィリピン→中国→ベトナム→韓国(浦項：実船試験②)→アメリカ(HOUSTON)→アメリカ(TAMPA)→ペルー(BAYOVAR)→オーストラリア(KWINANA)→オーストラリア(PORT HEDLAND)→韓国(群山：実船試験③)

表22 排熱回収型サイレンサ搭載後の燃料消費量

入港国	停泊日	排熱回収型サイレンサ稼働日数	燃料消費量 (kℓ /day)
中国	5/30～6/3	3日間	0.68
フィリピン	6/6～6/8	3日間	0.74
中国	6/13～6/15	3日間	0.75
ベトナム	6/19～6/26	7日間	0.76
韓国	7/15～8/3	20日間	0.76
アメリカ	9/11～9/18	8日間	0.75
アメリカ	9/22～9/26	5日間	0.74

排熱回収型サイレンサ搭載前の燃料消費量は、機関長談及び LOG BOOK の調査結果より、平均 1.20kℓ /day である。停泊時の排熱回収型サイレンサ稼働時の燃料消費量は、表 16 より 0.68～0.76kℓ /day と減少しており、平均 0.46kℓ /day (460ℓ /day) の燃料消費量が削減できている。

本船は、不定期船であるが、本船の排熱回収型サイレンサ稼働日数は 8 ヶ月間で 61 日となっている。なお、本船は停泊時のみ排熱回収型サイレンサを稼働している。上記実績より、本船の年間燃料削減量及び GHG 削減量を想定すると下記となる。

- ・燃料削減量： $61 \times 12/8 \times 0.46 = 42.09ℓ$ (≒40t) …2 台で約 80t
- ・GHG 削減量： $42.09 \times 3.11 = 130.9t$ …2 台で約 261t

なお、本事業は、1 隻に排熱回収型サイレンサを 2 台設置と計画し、下記目標値を定めており、十分満足したデータとなっている。

- ・燃料削減量：43.2t
- ・GHG 削減量：135t

6.2.5 試験結果総括

本装置の実船プラントへの搭載において、設備の容量の大きい既存蒸気系への適合性、狭い空間への搭載方法、実船搭載時の性能数値目標等を実船搭載確認試験により確認した結果は、以下の通り、全てにおいて良好な結果であった。

6.2.5.1 既存蒸気系への適合性確認

既存機器及び既存蒸気系への適合性、また補助ボイラとの併用運転(追い焚き運転)の容易性など問題点はなく、良好な運転が可能である。

6.2.5.2 生成蒸気量：100kg/h

実船搭載後、三度の試験を実施した結果、全てにおいて生成蒸気量の性能数値目標は満たしている。

また、スートブローに関しては、スートファイアー対策だけでなく、生成蒸気量確保のためにも重要である事が再確認でき、スートブローを適度時期(2～3日に1回)に実施することにより、経年変化を少なくする事が確認できた。

6.2.5.3 排ガス騒音減衰量：15dB(A)以上

実船搭載後、実船試験①の結果より、25dB(A)以上の減衰量が確認出来、性能数値目標を十分満たしている。

6.2.5.4 排ガス系統圧力損失：1.5kPa以下

圧力損失に関しては、排熱回収型サイレンサ単体での性能数値目標値に対して、半分以下の圧力損失となっており、十分な結果を得た。

また、排熱回収型サイレンサ単体の圧損が少ないため、今後船舶の排ガス系統に装備されるであろう、SCR等の機器の追加設置に対しても問題はないと考えられる。

6.2.5.5 改良点の抽出

実船搭載試験結果及び乗組員からのアドバイス等より、下記の改造を実施し実用排熱回収型サイレンサに適用する。

- 1) スートブロー作業を容易にするため配管を固定配管(鋼管)とする(現状は、ホースにてその都度取付、取外方式としている)。
- 2) スートブロー用流体を圧縮空気から蒸気に変更する。なお水洗用ノズル等の装置は現状として残す。
- 3) 循環水系統の排熱回収型サイレンサ出口側にバルブ付枝管を新設し、稼動初めのノッキング防止として使用する。
- 4) 長期停止時の水抜きを考慮し、循環水系統の下部(循環水ポンプ入口部)にドレン抜きを新設する。(乗組員要望)

循環水ラインは配管の腐食/劣化を防ぐため、排熱回収型サイレンサを使用しないときも満水の状態となるよう、ドレン抜きは未設置であった。

しかし、乗組員から、排熱回収型サイレンサを長期間使用しないときは、ドレンを抜いておきたいと要望があったため。

- 5) 加熱チューブ点検用マンホールの蓋を容易に開放可能な構造とする。
(本件は、コストとも合わせ、今後の検討項目とする。)
- 6) ガス側の圧力損失は機関の許容値よりかなり余裕があるため、本体口径のサイズダウン等検討する。

6.3 実用排熱回収型サイレンサの設計

前項で検討した改良点を含めた小型でコンパクトな実用排熱回収型サイレンサとし、発電機容量は表 23 の 6 種類にて設計を行った。

なお、各船種等多様なニーズに対応出来るよう、以下の 3 ケースについて設計を行った。

- 1) 生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサ
- 2) 大晃産業標準型サイレンサ寸法ベースの実用排熱回収型サイレンサ
- 3) 生成蒸気量最大型の実用排熱回収型サイレンサ

表23 発電機容量別実用排熱回収型サイレンサ標準

発電機容量 (kW)	400	500	600	1000	1500	2000
口径	300A	300A	350A	400A	500A	600A

また、生成蒸気量 100kg/h での 50BC 向け配管系統図例を図 77 に示す。

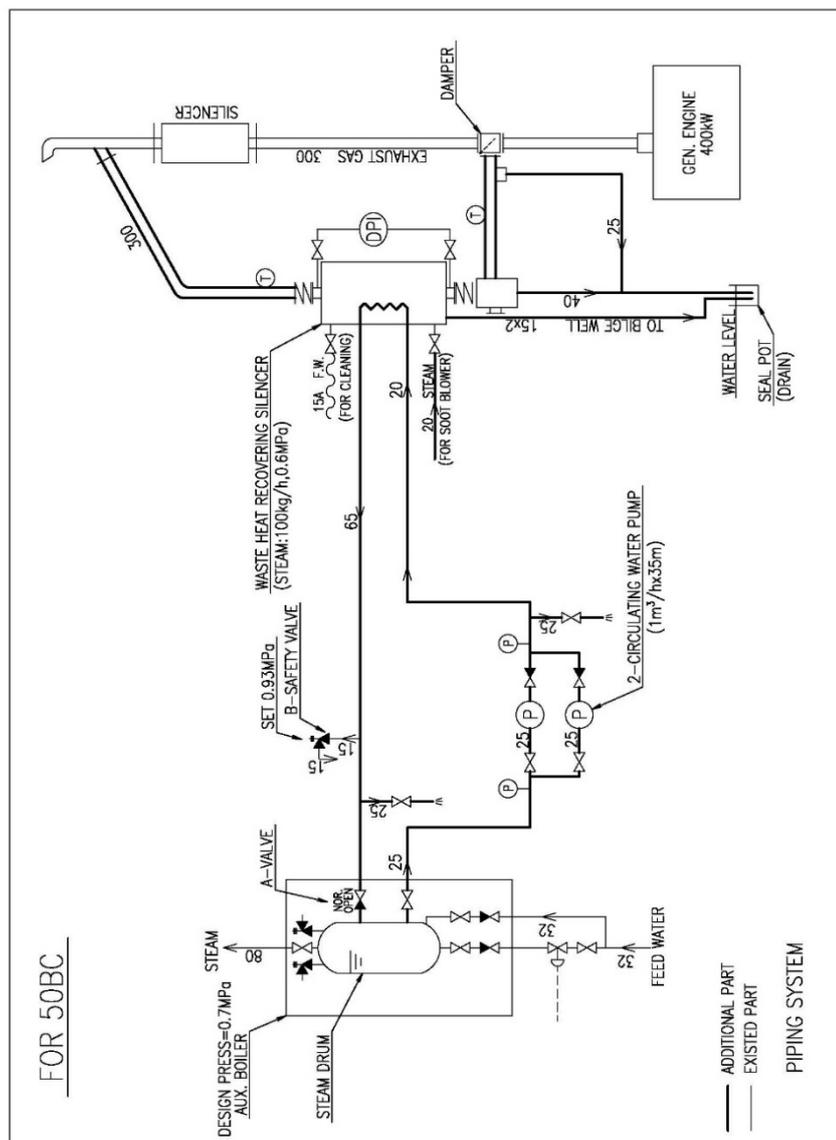


図77 50BC 向け配管系統図例

6.3.1 生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサ

表 23の各発電機容量にて、3/4 出力での生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサの設計をした。

表 24に発電機容量別生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサの発電機容量毎の標準寸法表を、図 78に排熱回収型サイレンサの基本外形図を示す。

表24 発電機容量別生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサ

発電機容量 (kW)	口径	排ガス流量 (Nm ³ /h)	排ガス温度 (°C)	サイズ			生成蒸気量 (kg/h)
				H(mm)	W(mm)	D(mm)	
400	300A	2270	337	2435	680	680	100
500	300A	3146	337	2182	680	680	100
600	350A	3815	337	1730	765	720	100
1000	400A	5847	337	1562	765	900	100
1500	500A	7579	337	1594	1017	1060	100
2000	600A	13869	310	1276	1353	1370	100

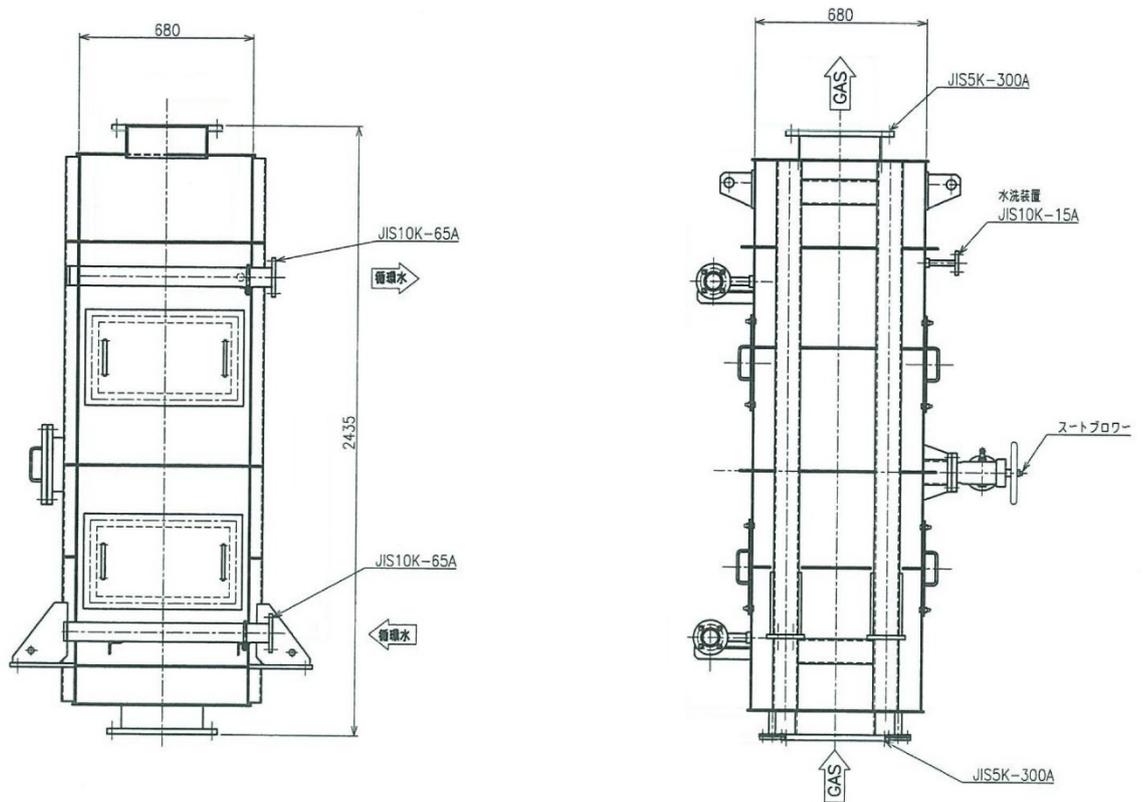


図78 実用排熱回収型サイレンサ基本図

また、発電機容量 400kW で、生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサのエコノマイザ一部フィン付チューブ伝熱面積の検討を以下に示す。

(1) 100 (kg/ h) の蒸気生成するための交換熱量 Q_s (kJ/h) 及び排ガス出口温度 T_2 (°C) は、それぞれ次式により求められる。

$$Q_s = G_s \times (h'' - h_w) + G_g \times (h_w - h') \times 1.05$$

$$T_2 = T_1 - (Q_s \times \phi) / (G_g \times C_{pgm})$$

- ・ 蒸気流量 G_s : 100kg/ h
- ・ h'' : 2762.6 kJ/kg (165°C(0.6MPaG の飽和温度)のエンタルピ)
- ・ h' : 209.2 kJ/kg (50°C(計西給水温度)のエンタルピ)
- ・ h_w : 697.4 kJ/kg (165°C. 凝縮水のエンタルピ)
- ・ 排ガス入口温度 T_1 : 337.0°C
- ・ 熱損効率 ϕ : 1.03
- ・ 排ガス流量 G_g : 2935 kg/ h (2270Nm³/h)
- ・ 平均ガス比熱 C_{pgm} : 1.096 kJ/kgK

したがって交換熱量 Q_s (kJ/h) 及び排ガス出口温度 T_2 (°C) は、それぞれ

$$Q_s = 255340 \text{ (kJ/h)}$$

$$T_2 = 255.2 \text{ (°C)}$$

また、対数平均温度差 Δt_m (°C) は次式により求められる。

$$\Delta t_m = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$$

- ・ 排ガス入口側管内外温度差 Δt_1 : 172.2°C
- ・ 排ガス出口側管内外温度差 Δt_2 : 90.4°C

したがって対数平均温度差 Δt_m (°C) は

$$\Delta t_m = 126.9 \text{ (°C)}$$

(2) 必要伝熱面積 A (m²) は、次式により求められる。

$$A = Q_s / (3.6 \times K \times \Delta t_m)$$

- ・ 熱貫流率 K : 40.2 W/m²K

したがって必要伝熱面積 A (m²) は、

$$A = 13.9 \text{ (m}^2\text{)}$$

以上により、排熱回収型サイレンサのエコノマイザ一部フィン付チューブ伝熱面積を 16.5m² (有効長さ 0.33m、列数を 8 列、段数を 13 段) とした。

表 25 に発電機容量 400kW で、生成蒸気量 100kg/h の実用排熱回収型サイレンサの熱回収部の設計値を示す。

表25 実用排熱回収型サイレンサの熱回収部設計値
 (発電機容量：400kW，生成蒸気量：100kg/h)

負荷		75%	
流体名		管外	管内
		D/E 排ガス (AorC 重油)	飽和蒸気
流量	kg/h	2270 (Nm ³ /h)	蒸気 100
		2935	循環 500
入口温度	℃	337.0	164.8
出口温度	℃	254.4	164.8
操作圧力	MPa	-	0.6
最高使用圧力	MPa	-	0.98
交換熱量	kJ/h	2.55E5	
蒸気発生量	kg/h	100	
対数平均温度	℃	126.9	
管外質量流量	kg/m ² h	2.24E4	
管内質量流量	kg/m ² h	4.50E5	
熱貫流率	W/mK	40.2	
必要伝熱面積	m ²	13.9	
実際伝熱面積	m ²	16.5	
実際圧損	kPa	0.15	17
許容圧損	kPa	< 1.5	≤ 50
流体平均流速	m/s	10.1	6.8
材質	チューブ	KSTB35SC	
	フィン	SPCC	

6.3.2 大晃産業標準型サイレンサ寸法ベースの実用排熱回収型サイレンサ

狭隘な機関室内に設置するため、省スペース型として、従来のサイレンサのスペースに設置可能な実用排熱回収型サイレンサを設計した。就航船に対しても従来のサイレンサを取外し、本装置を設置できるサイズとしている。

すなわち、大晃産業標準サイレンサの寸法と同一なサイズにて排熱回収型サイレンサを設計した。

表 26に発電機容量別標準サイレンサ寸法における実用排熱回収型サイレンサの外形寸法を示す。

表26 発電機容量別実用排熱回収型サイレンサ

発電機容量 (kW)	口径	排ガス流量 (Nm ³ /h)	排ガス温度 (°C)	サイズ			生成蒸気量 (kg/h)
				H(mm)	W(mm)	D(mm)	
400	300A	2270	337	1730	680	680	70
500	300A	3146	337	1730	680	680	86
600	350A	3815	337	2230	765	800	136
1000	400A	5847	337	2350	849	910	231
1500	500A	7579	337	2850	1017	1140	380
2000	600A	13869	310	3250	1353	1370	601

表 26に示すように、標準サイレンサ寸法ベースの場合、発電機容量 400kW 及び 500kW については、生成蒸気量が 100kg/h を下回っている。

そのため、実用排熱回収型サイレンサの標準として、400kW 及び 500kW 用については、標準サイレンサ寸法より高さが高くなるが、生成蒸気量が 100kg/h の表 24を、それ以外は、表 26を実用排熱回収型サイレンサの標準とする。

6.3.3 生成蒸気量最大型排熱回収型サイレンサ

各発電機容量に対する排ガスエネルギーを、すべて回収し、最大限の蒸気を生成出来る排熱回収型サイレンサを設計した。

その際、設計条件として、スートブローは 3 箇所以下及び排ガス出口温度を 185°C までとした。

表 27に発電機容量別生成蒸気量最大型の排熱回収型サイレンサの外形寸法を示す。

表27 発電機容量別生成蒸気量最大型排熱回収型サイレンサ

発電機容量 (kW)	口径	排ガス流量 (Nm ³ /h)	排ガス温度 (°C)	サイズ			生成蒸気量 (kg/h)
				H(mm)	W(mm)	D(mm)	
400	300A	2270	337	4552	680	1150	180
500	300A	3146	337	4552	850	1250	250
600	350A	3815	337	4552	850	1350	300
1000	400A	5847	337	4752	1015	1650	460
1500	500A	7579	337	4752	1015	1850	590
2000	600A	13869	310	4852	1015	2350	860

7. 平成25年度の目標の達成状況

平成25年度目標からの達成度で自己評価すると、下記に示すように、いずれの項目も100%の達成度となり、計画通り実施できたものと考えている。

- 1) 平成24年度に排熱回収型サイレンサをコンパクトに搭載するため検討し、確立したユニット工法により、狭い空間への搭載方法及び就航船での改造工事期間短縮が可能になった。
- 2) 実船搭載試験の実施結果より、当初の性能数値目標であった、1基当たりの蒸気生成量100kg/h以上、減衰量15dB(A)以上、圧力損失1.5kPa以下のすべてにおいて、満足する結果であった。
また、排熱回収型サイレンサを使用することにより、4000/day以上の燃料消費量を削減できた。
- 3) 既存蒸気系への適合性については、性能試験、補助ボイラとの併用運転及び設置後の経年変化確認試験等により良好な稼働状況にて確認できた。
- 4) 乗組員からのアドバイスなど、改良点を抽出した結果、各発電機容量に対応した標準サイレンササイズでの実用排熱回収型サイレンサを設計できた。
また、多様なニーズに対応した仕様の排熱回収型サイレンサを検討できた。

8. 目標達成度の自己評価

2年度に亘る「排熱回収型サイレンサに関する技術開発(実船搭載試験)」の成果を、当初目標からの達成度で自己評価すると、下記に示すように、いずれの項目も100%の達成度となった。

1) 既存蒸気系への結合方法の確立

実船搭載試験船に対し、既存蒸気系統及び船内配置を詳細に調査し、容量の大きい既存蒸気系との適合性を確認した結果、排熱回収型サイレンサの性能が確保できる最良のシステムを確立した。

また、ユニット工法の採用により、コンパクトな搭載/改造技術が確立できた。

2) 実船試験用排熱回収型サイレンサの設計・製作

実船搭載試験船の発電機関に適合し、性能数値目標を満たす、コンパクトで効率の良い排熱回収型サイレンサを設計し、製作した。

3) 搭載対象船の機器/装置の改造

既存蒸気系との結合方法に基づき、対象船の改造設計と機器の改造を行なった。その際、汽水分離器や給水ポンプなど既存機器を活用するとともに、平成 22～23 年度購入の機器類を可能な限り改造などして再利用した。

4) 実船搭載試験準備

実船搭載試験マニュアルを策定し、海外での改造及び試験の準備をした。

5) 排熱回収型サイレンサ及び関連機器の搭載

船内での改造工事期間を短縮するため、搭載前に機器/計装品のユニット化を実施し、据付、配管、防熱及び測定機器等の設置工事を行なった。

また、既設補助ボイラの改造工事はボイラメーカーにて実施した。

6) 実船搭載試験

対象船にて諸試験実施し、排熱回収型サイレンサを稼働させ、既存蒸気系への適合性を詳細に調べ、問題ないことを確認した。

また、生成蒸気量、減衰量及び圧力損失の性能数値目標がすべて達成できている事を確認し、実用排熱回収型サイレンサ設計のための改良点を抽出した。

7) 実用排熱回収型サイレンサの設計

抽出した改良点を考慮し、当初の目標であった生成蒸気量 100kg/h の実用プロトタイプ排熱回収型サイレンサの設計を完成させた。

また、本試験を通じて、船舶に搭載されるサイレンササイズ及び、発電機容量毎の最大生成蒸気量の排熱回収型サイレンサを設計し、標準仕様とした。

9. 排熱回収型サイレンサの今後の取り組み

1) 実船搭載した排熱回収型サイレンサは、今後も本船よりデータを入手し、経年劣化を調査継続して行き、本船が日本に寄港した際は訪船し、試験を実施する。

2) 排熱回収型サイレンサを商品化するにあたり、製品名を『Hi Eco Silencer』とした。

3) 排熱回収型サイレンサを販売するため、現在カタログを作成中である。

4) 販売価格は、イニシャルコストを 3 年程度(船種にもよるが、Max 5 年程度)で回収できるよう考え、現在コストダウンを模索中である。



「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社) 日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話 : 03-3502-2041 FAX: 03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>