ボイラのトラブルシューティング システム改善のために*

伊 丹 良 治** 西 川 榮 一***

For Improvement of Trouble Shooting Systems of Marine Boilers

By Yoshiharu Itami, Eiichi Nishikawa

It seems to be a worthwhile subject to investigate the troubleshooting systems of marine boilers in order to improve the reliability. For development of more effective troubleshooting systems of auxiliary marine boilers, the boiler study subcommittee of the Marine Engineering Society in Japan (MESJ) has surveyed the troubles experienced in recent several years, and investigated the actual situation of monitoring systems of marine auxiliary boilers.

This paper describes briefly the results of those surveys, and discusses the future monitoring systems of marine auxiliary boilers based on the preventive maintenance concept. Furthermore, a few comments will be given for the improvement of further troubleshooting systems of marine boilers.

1. は じ め に

ボイラトラブルが発生すれば、機器やシステムを停止し、安全な状態にする必要がある。もしシステムを停止できない状況ならば、当然応急運転を行う必要があるが、どちらにせよトラブルの原因を究明しなければならない。トラブルシューティング(事故原因究明)のために最も重要なことは現状保存であり、その保存されたトラブル発生時のデータから可能性のある原因究明を的確に行うことである。その為には必要な情報をモニタリングすることが要求され、モニタリングシステムを検討することはトラブルシューティングの方法改善のために最も重要な1つである。また船舶は国際船舶制度の導入など混乗船時代となり、乗組員の気質、資質が大きく変化するとともに、メーカーは激しい国際価格競争のため、さまざまなコスト削減対策を進めており、ボイラで発生するトラブ

ルやその原因の形態も変わって来ているようである。したがって最近のトラブルについて調査し、その形態を把握し、解決方法を検討することも重要である。

著者等も参加している当学会エネルギーシステム研究委員会ボイラ研究小委員会では、以前から補助ボイラの信頼性向上を目的としたトラブルシューティングシステム改善のために、最近のトラブル事例を調査するとともにモニタリングシステムについて検討してきた。ここでは、それらについて報告するとともに考察する。

2. 最近のトラブル事例とその形態の変化

海運会社2社および日本海事協会(NK)から提出された最近のボイラのトラブル事例を表1に示す。またNKがボイラおよび排ガスエコノマイザに関する10年間(1988～1997)の損傷報告を分析している。その要旨は以下のようなものである。

— ボイラの損傷報告 —

(1) 損傷発生と船齢の関係をみると、全体的に10

* 原稿受付 平成12年5月31日

** 正会員 運輸省海技大学校(芦屋市西蔵町12-24)

*** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

表1 最近のボイラのトラブル事例

トラブル事例	推定原因	対策と要望（＊）
主ボイラおよび補助ボイラにおける取説の問題	現在の取説では、内容が一般的でトラブル発生時に対応できない	＊ 取説へトラブル事例などの記載 ＊ 日本人向けには出来るだけ詳しく、外国人向けには分かり易く記載
主ボイラの炉内底部耐火材の亀裂とケーシング変形	炉内水洗時、乾燥不足による汚水の灰分によって耐火材表面が変質、溶融点の低下により焼損し、耐火材に亀裂発生	耐火材、ケーシング膨張継手など不良個所の修理 ＊ 耐火材の材質改善 ＊ 炉内水洗時の注意事項の取説への明文化
カーキャリアにおける補助ボイラからの発煙の問題	ボイラ点火時の不完全燃焼	検煙計の取付けとスクラバー設置またはバーナ大小2本の採用による連続燃焼の検討 ＊ 発煙しないボイラの開発 ＊ 非常時の点火方法の記載など取説の充実
立型縦水管補助ボイラ火炉部のマンホール入口下部の亀裂	燃焼ガス中の有害な腐食成分の付着による初期欠陥から疲労亀裂が進展	溶接補修
立型縦水管補助ボイラの胴板の損傷	缶水処理の不良によるボイラ胴内部の腐食	溶接補修
立型横煙管補助ボイラ火炉煙道（スートリング及び炉筒のスモールR部）の亀裂	伝熱面上にスケールの固着及び油脂が付着し、過度の熱応力や拘束応力が集中	損傷部の切替え補修
コンポジットボイラの主機排ガス側チューブ破孔、漏洩	過剰水洗および乾燥不足による腐食の進行 スートブロワーのドレンによる腐食	ボイラ新替を検討中 ＊ 構造的なドレン滞留防止策の検討 ＊ 水洗時期など腐食防止に対する取説の充実
排エコ、スートファイヤおよびプレヒータチューブ破孔	経年劣化によるプレヒータの摩耗とスートファイア発生によるショートウォータ	プレヒータの換装または撤去 ＊ スートファイア発生時の対応要領の取説への明文化
<p>その他の事例</p> <p>1. 主ボイラ</p> <p>1) オートダンパーやパワーシリンダの作動不良</p> <p>2) イグナイタの早期劣化</p> <p>3) ノンアスベストパッキン使用による蒸気配管の蒸気漏れ</p> <p>4) 透視式平面ガラス水面形のマイカプレート剥離</p> <p>2. 補助ボイラ</p> <p>1) 不着火、失火などの燃焼関係のトラブルが多い</p> <p>2) 燃焼関係のトラブルで乗組員により手動点火などの必要な処置が行われず、二次的事故に発展</p>		

年目頃をピークとした経年劣化型の損傷形態であるので、適確な保守計画により十分対策が可能である。

- (2) 蒸発管の損傷件数が多い。この主な原因はコンポジットボイラの排ガス部分における水管、煙管の硫酸腐食である。
- (3) 炉筒と胴板をつなぐ煙道の双方の接続部分に亀裂の生じる事故が多い。最近、この管がストレート円管（以前は楕円形曲管で熱応力を分散）となっているため、缶水処理不良によるスケールの蓄積などが原因し、過大熱応力が加わる為と考えられる。
- (4) ボイラ製造時の設計および施行に起因する胴板の損傷は皆無といって良いが、缶水管理の不手際から内面の腐食ピットの発生を誘発する例が稀にある。
- (5) ショートウォータによる炉筒の陥没事故が年間数件あるが、原因は乗組員の不注意から発生している。船員育成の問題と並行して、不注意な運転、保守状態でもショートウォータを防ぐ対策が必要である。

— 排ガスエコノマイザの損傷報告 —

- (1) 損傷発生が初期の船齢でも発生しており、乗組員の不注意によっていつでも発生する可能性がある。
- (2) チューブの腐食、侵食から発生する事故が多く、原因は硫酸腐食であるが、直接の原因は排ガスサイドの水洗いの不手際、スートブローの不良、煙突からの雨水の浸入などである。
- (3) 現在もなお排エコ焼損事故がかなり発生しているが、原因はスートファイアである。

これらボイラのトラブル事例などによれば、特に燃焼関係、缶水管理などの従来から発生していたようなトラブルが現在もまだ解決されておらず、また一方でハード面、ソフト面の進展によって新たなトラブルが発生しているようである。新たなトラブルは事故原因の形態が、①知識不足、不注意などの初歩的な乗組員の取扱いミスが原因となるもの、②コスト削減による構造面の簡素化、新素材、新技術の採用および粗悪燃料油の使用などに起因するもの、に二分されている。そしてオーナーサイドの要望の多くに、「取扱説明書の充実」

ということが記されている事を考慮すれば、取扱い不良による事故の多くは乗組員の知識不足や、海技の伝承がうまく行われていない、という船内の事情とともに、メーカーサイドにおいてもコスト削減などから、混乗化、ハイテク化が進む船舶に対する取扱説明書の対応が成されていない現状が伺える。したがってトラブルシューティングシステム改善のための前段階として、またこれらのトラブルの解決方法として、オーナーサイドで、「乗組員の気質と資質の改善」を、メーカーサイドで、「取扱説明書の整備も含めた充実したアフターケア」に取組む必要がある。

3. 補助ボイラのモニタリングシステムと今後の課題

予防保全を踏まえた将来的なモニタリングシステムを検討するために、現状のモニタリングシステムを調査し、それを基に、将来のモニタリングシステムについて1.6MPaクラスと1.0MPa以下クラスのボイラに分けて、さらにアンケート調査した。そして造船所7社、15件、船会社6社、15件から回答を得た。表2は将来の補助ボイラモニタリングシステム(排ガスエコノマイザも含む)について取りまとめた調査結果である。

アンケート結果によれば、1.6MPaクラスのボイラでは、モニタリングアイテムとして記したほとんどが必要とされ、1.0MPa以下クラスのボイラでは、基本的なアイテムだけが要求された。これは、ボイラの制御装置のレベル差に関係するところが大きい。なお缶水のモニタリングについては、支給される缶水試験器によってアンケート結果に差が生じていたが、ボイラメーカーサイドの標準仕様とユーザーサイドであるオーナー、ヤードの考えはほぼ一致していた。排ガスエコノマイザについても、ターボ発電機用大形と雑用小形で、その重要度の違いによってのみアンケート結果に差が生じていた。また、将来のモニタリングシステムについての要望や意見については以下のものであり、これらすべてはトラブルシューティングシステムを改善するための今後の課題である。

- (1) 補助ボイラ・排エコは従来から重要な機器との位置付けはされておらず、モニタリングも

表2 補助ボイラの将来のモニタリングシステムのアンケート結果

2-1 運転状況の表示

項 目		1.6MPa	1.0MPa
蒸気圧力	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示	●	●
燃油圧力	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示	○	
燃油温度	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示		
	機関制御室への遠隔指示	●	
風箱／炉内圧力	機側指示計(直)		
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示		
噴霧蒸気圧力(蒸気噴霧式) 一次空気圧力(ロータリカップ式)	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示		
	機関制御室への遠隔指示		
給水圧力	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示		
	機関制御室への遠隔指示	○	
缶水位	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示	●	●
排ガス煙濃度	機側指示計(直)		
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示	○	
燃油流量	機側指示計(直)	●	●
	機側制御盤への遠隔指示		
	機関制御室への遠隔指示		
排ガスO ₂ 濃度 (IGS)	機側指示計(直)		
	機側制御盤への遠隔指示	●	
	機関制御室への遠隔指示	●	

2-2 警報・インタロック

(● 殆どが装備を希望
○ 装備希望数件有り)

項目		警報	燃油遮断	モニタリング場所			
				1.6MPa		1.0MPa	
				機側	制御室	機側	制御室
ドラム圧力	低	●		●	●		●
	高	●		●	●		●
ドラム水位	低	●		●	●	●	●
	異常低	●	●	●	●*	●	●*
燃油圧力	低	●		●	●	○	
	異常低	●	●	●	●*	●	●*
燃油温度	高	●		●	●	●	●
	低	●		●	●	●	●
	異常低	●	●	●	●*	○	○*
噴霧蒸気圧力 or 1次空気圧力	低	●		●	●		
	異常低	●	●	●	●*	●	●*
給水圧力	低	●		●	●		
点火	失敗	●	●	●	●*	●	●*
火炎	消失	●	●	●	●*	●	●*
強圧送風機	停止	●	●	●	●*	●	●*
電源	消失	●	●	●	●*		●*
煙濃度	高	●		●	●		
排ガスO ₂ 濃度	高	●		●	●		
制御装置	異常	●		●	●		
燃油危急遮断弁	閉	●	●	●	●*		
手動危急停止		●	●	●	●*	●	●*
バーナモータ (ロータリカップ)	停止	●	●	●	●*	●	●*

* 一括警報

但し、機関制御室 REMOTE CONTROL PANEL が装備される場合は個別表

2-6 排ガスエコノマイザ モニタリングシステム

2-3 表示等関係

項目	1.6MPa クラス		1.0MPa クラス	
	機側	制御室	機側	制御室
燃焼中	●	●	●	●
スタンバイ	●	●	●	●
火炉バージ中	●			
火炉バージ完了	●			
点火条件確立	●			
バーナ燃油入口弁開	●			
バーナ噴霧蒸気入口弁開	●			
バーナ燃油循環弁開	●			

2-4 制御装置の状態表示

項目		1.6MPa クラス		1.0MPa クラス	
		機側	制御室	機側	制御室
蒸気圧力	S.V.	●			
	P.V.	●			
ドラム水位	S.V.	●		● *	
	P.V.	●		● *	
燃油流量(圧力)	S.V.				
	P.V.	●			
空気流量 (バーナドラフトス)	S.V.				
	P.V.	●			
給水制御弁への出力表示		●			
燃油制御弁への出力表示		●			
F.D.Fインレットベンへの出力表示		●		●	

* ローカルコントロールによる

注) S.V.: SETTING VALUE (設定値)

P.V.: PROCESS VALUE (状態値)

2-5 給水／缶水分析

給水

項目	手分析		自動分析	
	1.6MPa	1.0MPa	1.6MPa	1.0MPa
PH	●	●		
電気伝導度	○	○		
硬度	○	○		
溶存酸素量			—	—

1. 運転状態の表示

項目	T/G 駆動用		雑用	
	機側	制御室	機側	制御室
入口ガス温度	●	●	●	
出口ガス温度	●	●	●	●
排ガス差圧	●		●	
過熱器出口蒸気圧力	●	○	—	—
蒸発部出口蒸気圧力	●		●	
過熱器出口蒸気温度	●	●	—	—
予熱器入口給水温度	●		—	—
予熱器出口給水温度	●		—	—
BWCP 入口圧力	●		●	
BWCP 出口圧力	●		●	
スーツブロウ運転中	● *	● *	● *	● *

* 自動スーツブロウ装備の場合

2. 制御装置の状態表示

項目	T/G 駆動用		雑用	
	機側	制御室	機側	制御室
出口ガス温度高		●		●
循環水量低		△		△
スーツブロウ	● *	● *	● *	● *

* 自動スーツブロウ装備の場合

△ 船級NVの場合必要

(LOW FLOW によるSTAND-BY PUMP START & ALARM)

缶水

項目	手分析		自動分析	
	1.6MPa	1.0MPa	1.6MPa	1.0MPa
PH	●	●		
リン酸イオン	●	●	—	—
塩化物イオン	●	●	—	—
電気伝導度	●	○		
硬度	○	○	—	—
残留ヒドラジン	●		—	—
全固形物	○		—	—
M-アルカリ度	●	●	—	—
P-アルカリ度	●	●	—	—

- 軽視されてきたように思われる、主機関とまではいかなくとも、トラブルシューティングのためにデータロガーにできるだけ多くのモニタリングデータが挿入されるよう期待する。
- (2) 現状はCRT, MIMIC PANEL 並びにランプ表示とモニタリング表示が混在しているが、時代の趨勢からCRTでの一括処理が望ましい。
 - (3) 給水・缶水処理は省力化の観点から、現状の手分析・手動投入から自動化することが今後の課題である。
 - (4) 排エコについては、スートファイア防止のため、排ガス高温警報を装備しているが、検出点は1点のみであり、局所的なスートファイアに対し、有効かどうか疑問である。また、汚れ状況を判断するための排ガス差圧計は機側のみに装備されているが、定常的な監視のため機関制御室への遠隔指示も行われるのが望ましい。
 - (5) スートファイア防止のため排エコ循環水のLOW FLOW ALARMを装備するのが好ましい。
 - (6) モニタリングによる予防保全の前にボイラおよび燃焼装置の信頼性を向上させることが第一であり、モニタリングはできる限りシンプルにすることも望まれる。

4. 考 察

トラブルの中でも原因究明が困難なものは、時々しか起こらないような再現性の少ない故障で

ある。このようなトラブルには、ハード面の進歩からくる自動化による電気、電子関係のものが多く、ボイラでは自動燃焼制御システムのトラブル、特に“IGNITION FAIL” “FLAME FAIL”の原因究明が難しくなっている。この問題についても、まず乗組員が自動燃焼制御システムについての基礎知識をもっと充実させること、メーカーサイドにおいては取扱説明書を充実させることが必要である。

トラブルシューティングシステム改善のためには、最初にオーナーサイドは「乗組員の気質と資質の改善」をすること、そしてメーカーサイドは「アフターケアの充実」に取組むことが重要である。またその改善の為の課題は、前記した予防保全を踏まえた将来的なモニタリングシステムのアンケートの回答にみられたオーナーおよびヤードの要望や意見そのものであった。言い換えれば、船用ボイラの関係者すべてがトラブルシューティングシステムの改善を要望しているということである。トラブルシューティングシステムの改善は、ユーザーとメーカーの連携プレーで始めて可能になる。冒頭にも述べたが、トラブルシューティングは何よりも系統的継続的なデータの収集蓄積が大切であり、データロガーにできるだけ多くのモニタリング点を挿入し、既存のデータの蓄積と比較できる体制を両者の協力で構築させることが望まれる。これによって、トラブルの原因究明が成されることが、将来の故障診断システムを完成させていく筋道と考えられる。

最後に、トラブル事例の資料提供やボイラモニタリングシステムのアンケート調査に御協力下さった各社、各位に感謝の意を表します。