最近の就航中タービン船における 重大故障について*

西川 栄一**・宮武 忠勝***
佐々木正美****・中原 祐介*****

On the Serious Failures of the Turbine Ships Launched about 1972, 1973

By Eiichi Nishikawa, Tadakatsu Miyatake,
Masami Sasaki, Yusuke Nakahara

For the guide to improve the ship propulsion system reliability, MESJ Boiler Committee collected the failure data occurred in 15 turbine ships launched about 1972, 1973 under the help of those ship's owners. According to the analysis of those data, this report presents the statistical and physical characteristics of serious failures troubled above turbine ships. As for the statistical characteristics, mean failure time is 9.6 hours which is shortened with the comparison of 10.45, 15.6 hours of the ships launched about 1966, 1967. MTBF is 3717 hours, which is longer than 1547 and 1200 hours of those ships launched about 1966, 1967 and about 1969, respectively. Therefore mean availability is fairly improved to 0.9975. The 56% of the total failures has occurred in the boiler systems, being most responsible for the propulsion system reliability. The turbine systems have a minor responsibility for the failure occurrence, but their mean failure time is the longest of 22 hours. As for the physical characteristics, the leakage failure is most important, which occurred in any equipment of the propulsion system. Among the equipments composing the boiler system mechanical failures of GAH and leakage failures of FWC should be paid attention. GAH and FWC failures are apt to break down the total propulsion system. The turbine system were troubled mainly by the failures due to the defects of lubricating equipments and due to the vibration events of components.

1. 緒 言

船舶機関系統の信頼性向上の要請は、自動化の進展、乗組員数削減という動向も関連して、最近ますます強くなってきている。このため、現在各方面で信頼性に関するデータの収集が行われつつある。いうまでもなく、信頼性向上策を講ずるうえで、かかる故障データの堆積はまず取り組むべき作業であるが、現状はまだ十分とはいえない。そこで、日本船用機関学会ボイラ研究委員会で、タービン船を対象に故障データを収集分析することが企画された。本稿はその成果の一部、重大故障（船が減速または停止に至った故障）にかかわる部分についての報告である。この分析の主な目的は次の点にある。一つは故障の統計的性格、すなわち、故障のひん度、規模などを

は握ること、およびそれらを橋本ら^{1)~3)}、山根ら⁴⁾の以前のデータと比較して、新しい船でどのように変化しているかを知ること、二つは、故障内容を調べて不信頼度に責任のある系統や要素を明らかにし、講ずるべき技術的方策の視点を見いだすことである。

2. 調査方法と範囲

調査対象は1977年時点で就航期間4～5年のタービン船とし、船会社へのアンケートで故障データを集める方法をとった。表1はアンケート用紙で、故障1件にこの用紙1枚を使ってもらった。

表2に回答が得られた船の要目を示す。油タンカ13隻、コンテナ船2隻の計15隻である。表によると出力、蒸気条件ともほぼ同様で、昭和47、48（1972、1973）就航の船が中心になっている。回答船会社は4社である。回答された各社の重大故障の系統別発生件数は表3のようである。全部で114件あるが、表にみるようにその内訳は船によってかなり異なっている。ここで問題になるのは記録の精度である。故障記録がないとその船は信頼

* 原稿受付 昭和54年4月18日

** 正会員 神戸商船大学（神戸市東灘区深江南町5-1-1）

*** 正会員 石川島播磨重工業（株）（相生市相生5292）

**** 正会員 日本ボイラ協会（東京都港区芝5-37-8）

***** 正会員 三菱重工業（株）（東京都港区芝5-34-6）

表 1 故障記録用アンケート用紙

故障データ (故障 1 枚につき 1 枚)				
船 名	B-9		引渡年月日	昭和 47 年 9 月 29 日
故 障 箇 所		該当項目を○で囲む。ない場合は () に記入。		
ボイラ系	本 体	ケーシング，過熱器，ドラム，耐火保温，蒸発管，水壁，エコノマイザ，緩熱器，その他 ()		
	配 管 ・ 弁	水面計，安全弁，配管，諸弁，送風路		
	付 着 品	フレームアイ，バーナ，スートブロワ，GAH，SAH，その他 ()		
	自動装置	電気機器，コントローラ，制御弁，その他 ()		
自 動 化 シ ス テ ム	ACC，FWC，STC，バーナ制御，スートブロワシーケンス，その他 ()			
タービン系	本体，減速装置，操縦装置，復水器，復水ポンプ，空気エゼクタ 循環水ポンプ，配管・弁，その他 ()			
推進系	軸，軸受類，船尾管，プロペラ，かじ取装置，その他 ()			
燃料・空気系	燃料タンク，噴燃ポンプ，加熱器，配管・弁，強制送風機，ダクト系，その他 ()			
給水系	ドレンポンプ，給水ポンプ，ディアラータ，配管・弁，その他 ()			
潤滑系	タンク，LO ポンプ，冷却器，清浄器，配管・弁，その他 ()			
電気，自動化系	発電装置，送配電関係，自動化装置，自動化システム，その他 ()			
故障詳細				
発生時期	昭和 50 年 4 月 26 日		船の位置 (○印)	洋上 停泊中
故障内容	No.1 Boiler GAH 駆動モーター振動			
処置内容	ボイルペダリング取替		処置者 (○印)	
			船内	ドック
			乗組	メーカ
故障原因	カレス変質，ボイル固着，歪傷，ボイルペダリング，アリングホルダー部にクリアランス発生，振動を起した。		故障機器のメーカー名	三菱電機
故障規模	修理時間 (人数) × (時間)	消火時間 (缶数) × (時間)	遅延 [減速度 (ノット)] × [時間]	スートブロワ使用不能時間 (注)
	7 × 11	0	5 機停止 2.0 分	時間

注) スートブロワの故障のみ記入。

性のたかい船ということになる訳で，その意味で故障を正確に記録しておくことが重要である．しかし，ここではこうした記録の信頼度を判定することはできないので，船相互の信頼性の比較分析は行わないことにする．

系統別の故障件数の内訳をみるとボイラ系が非常に多く全体の 56% を占め，タービン系がこれにつき，この 2 系統，つまり主機系統で重大故障の 73% を数えており，最も注目すべきサブシステムといえる．アンケートにより以上のデータが得られたので，以下その内容分析を進めることにする．

3. 発生故障の統計的分析

表 1 において，①主ボイラ消火時間，②停止時間，③遅延時間，④減速度などは，必ずしもすべて回答されて

いる訳ではなく，①だけ記入されていて②以下が空白であったり，③が記入されていても④が空白であったりするものが相当数あった．それで次のように処理した．①だけ記入のあるものは重大故障とみなし，消火時間が故障時間に等しいとした．また，④は空白のものが多かったので減速度を求めることは控え，絶対時間でのみ分析することにした．また，なお各種の平均値を求める場合は，その計算が可能な回答だけを利用し，全故障に対する合計数値が必要な場合には，うえの平均値が全体に通用するとみなして求めることにした．

3.1 故障時間 表 4 に平均故障時間をしめす．数値は停止時間，減速時間一緒にしたもので，後者は減速度を考慮していない．ボイラ系本体の故障で，ボイラ水に油分が混入して 40 日間減速したのものがあるが，これ

表 2 故障統計アンケート調査回答船要目表

船 名	就 航 日	調 査 期 間	種 類	DWT	主 機 ボ イ ラ
A-1	47. 3. 10	～52. 4. 30 (5年2月)	コンテナ	30,800	▲40000P×2×135rpm 135 T/H×64kg/cm ² ×515℃
A-2	47. 4. 20	～52. 1. 22 (4年9月)	鉱 油 船	214,400	▲30000×1×85 70×61.5×515
A-3	47. 9	～52. 3 (4年6月)	タンカー	236,800	▲34000×1×90 70×61×515
A-4	48. 9. 28	～52. 5. 23 (3年7月)	タンカー	233,400	IHI 33000×1×80 69×61.2×515
D-5	47. 8. 19	～52. 4. 28 (4年7月)	コンテナ	45,129	45000×1×105 78×62×515
D-6	48. 7. 3	～52. 5. 3 (3年9月)	油 槽 船	296,337	36000×1×90 79×62×513
B-7	47. 4. 14	～52. 3. 3 (4年11月)	タンカー	252,059	IHI 40000×1×84.7 59×61.2×515
B-8	47. 6. 21	～52. 2. 11 (4年7月)	タンカー	237,660	日立 36000×1×90 55×62×515
B-9	47. 9. 29	～52. 1. 11 (3年4月)	タンカー	237,093	▲34000×1×90 53.5×61.5×515
B-10	48. 9. 4	～52. 2. 12 (3年5月)	タンカー	237,307	▲34000×1×90 53.9×61.5×515
B-11	49. 3. 5	～52. 1. 28 (2年10月)	タンカー	233,163	KHI 36000×1×90 56×61.5×515
C-12	48. 7. 3	～52. 7. 3 (3年11月)	タンカー	135,444	IHI 40000×1×83 77×75×515
C-13	48. 9. 6	～52. 6. 20 (3年9月)	タンカー	231,992	KHI 36000×1×90 72×75×515
C-14	48. 4. 26	～52. 8. 10 (4年3月)	タンカー	231,797	KHI 36000×1×90 72×62×515
C-15	49. 1. 31	～52. 6. 19 (3年5月)	タンカー	238,082	日立 36000×1×90 72×62×515

表 3 船別、系統別重大故障件数

	ボ イ ラ 系	タ ー ビ ン 系	推 進 系	燃 料 系	給 水 系	潤 滑 系	電 動 化 系	そ の 他	合 計	
									件数	件 /月
A-1	4			2					6	0.118
A-2	10	2					2(1)		14	0.261
A-3	9	2							11	0.217
A-4	3	1				2			6	0.144
D-5	1								1	0.022
D-6									0	
B-7	4	2		1	2		1		10	0.202
B-8	11	5			1	8			25	0.533
B-9	4	2			2		1		9	0.196
B-10	3	1	1		2				7	0.244
B-11	3	1			1	1			6	0.202
C-12	4		1		2(1)				7	0.156
C-13									0	
C-14		2				1			3	0.062
C-15	8	1							9	0.180
合 計	64	19	2	3	10(1)	12	4(1)	0	114	0.214
計 %	56.1	16.7	1.8	2.6	8.8	10.5	3.5	0	100	

表 4 重大故障の平均故障時間

系統		件数	平均故障時間	
ボイラ系	本体	11	20.03**	64件 9.02
	配管・弁	25	10.64	
	付着品	8	5.26	
	自動化装置	7	0.80	
	自動化システム	13	4.81	
タービン系	配管・弁	7	3.56	19件
	その他	12	33.2 (14.6)*	21.6 (10.1)*
その他	配管・弁	12	5.10	31件
	その他	19	2.65	3.55
合計		114	9.60(7.65)*	

(注) * () は 1 件 218.7 時間というたびぬけて
大きいがあるので、それを除外したもの。
** 油混入で缶水汚染した故障で、減速 40 日
のもの 1 件あるが、これは除外した。

は計算から除いてある。全平均時間は9.6時間である。表をみてタービン系, およびボイラ本体の故障時間の長いのが注目される。タービン系は故障件数では全体の17%程度であるが, 故障時間にすると38%をしめている。また配管・弁類は件数でも44件, 39%と大きな部分になるが, 時間でも全体の32%を占めており, 機関システムの信頼性に対して重要な責任を有しているといえる。

表5は過去の調査との比較である。橋本ら^{1,2)}の調査対象船は1966, 67年就航の船が多いが, それらの平均故障時間10.45, 15.6(11.8)時間と比べると, 今回の1972, 73年就航船のそれはやや小さくなっている。

図1は1件あたりの故障時間の分布をみたものである。大きな故障にひきずられて平均故障時間は上述のような

値になるが, 件数では図のように比較的短時間のものが多い。とくにボイラ系, その他の系はそうであり, 全体として5時間以下の故障が61%を占める。図の曲線は指数分布とみた場合のものであるが, 故障時間分布は大略この分布に従うようで, 橋本ら²⁾と同傾向を示している。

3.2 故障発生頻度 図2に就航期間と故障率との関係を示す。調査期間(就航期間に等しい)はほぼ4年間では, 故障発生率は就航期間とともに低下しているが, この傾向は系統別にみても, 船社別にみても同様である。しかし, 1年を過ぎると低下は小さくなるから, この点を強調すればとくにボイラ系, タービン系では, 就航後1年で偶発故障期に入るとみることが出来る。アベイラビリティの変化でみると図3のようである。図の値は以下の定義によっている。

表5 重大故障に関する諸数値の比較

	調査対象船 就航時期	平均 アベイラビリティ	MTBF 時間	平均故障時間 [MDT*] MDT**	
橋本ら ¹⁾	平均 1967	0.9969	1547	10.45	4.84
" ²⁾	1965~1969 1966 中心	0.9936	1110	15.6 (11.8)****	7.11
山根ら ⁴⁾	1965~1972 平均 1969	0.995	~1200		5.5
今 回	1972~1974 1973 中心	0.9975	3717	9.60 (7.65)***	

(注) *減速率考慮していない
**減速率考慮している
*** () は長時間の故障1件除いた値
**** () は調査期間の長い船(26ヶ月以上)に限った場合

図1 重大故障時間のひんど分析

(注) ——— 1件218.7時間というとびぬけて大きい故障を除外した場合
——— 油混入による缶水汚染のため減速40日という故障(1件)を除外した場合

[アベイラビリティ] = 1
[停止故障時間] + [減速故障時間]
[航海時間]

図2 重大故障率の就航期間による変化

図3 重大故障時間をもとにしたアベイラビリティの変化

したがって、減速率を考慮すればアベイラビリティは図の値よりも大きくなるはずである。なお、航海時間は、調査期間から、入きょ時間と入港時間を差し引いた実航海時間を使用している。

図によるとアベイラビリティは初期故障期の1年をすぎると0.998を越えて格段に上昇し、調査期間4年の間ではその高い水準を保っている。なお、図の就航期間0～12月で破線でしめた部分は、B-8船の潤滑系で同一機器(潤滑油クーラ)に集中している故障(表3参照)を特異とみて除いた場合の値である。これを考慮すればアベイラビリティは全体として上昇していく傾向にあるとみれる。図には橋本ら^{1,2)}(1966, 67就航船)、山根ら⁴⁾(1969ころ就航船)の値も並載してあるが、それらと比べて今回(1972, 73就航船)は、図でみる限りアベイラビリティはかなり改善されているといえる。とくに就航期間による変化をみると山根らの場合と大きく異なっている。山根らの場合就航後2年をすぎるとアベイラビリティは急速に低下し、その主な原因はボイラ系にあった。しかし、今回はボイラ系のアベイラビリティも、調査期間内では就航期間とともに上昇しており、逆の傾向を示している。したがって、一定の改善がなされてきているといえよう。以上3者のアベイラビリティ、MTBFは表5にまとめている。表によるとMTBFは前2者の3倍程度に増大しており、既述のように故障時間も小さくなっていることとあわせて、結果としてアベイラビリティが上昇したということである。

故障発生箇所を比較を表6に示す。調査者によって分類のし方が異なるので共通の比較はできないが^{*}、それで

^{*}調査者によって故障調査の方法や各種定義が異なっていること、系統的なデータの積み重ねが困難である。この報告でもこの点で正確な比較検討が難しかった。この方面の整備が望まれる。

表6 重大故障発生か所の内訳

(a)		
系 統	橋 本 ら ¹⁾	今 回
ボ イ ラ 系	17 (22.4)	39 (34.2)
タービン系	11 (14.5)	11 (9.7)
そ の 他	配管・弁	17 (22.4)
	自動機器	17 (22.4)
	そ の 他	14 (18.3)
計	76 (100)	114 (100)

(b)		
系 統	山 根 ら ⁴⁾	今 回
ボ イ ラ 系	(43.1)	64 (56.1)
タービン系	(19.2)	19 (16.7)
そ の 他	(37.7)	31 (27.2)

(注) * ()は%を示す

** (a)は橋本らの分類に、(b)は山根らの分類による場合

も表で明かなように、全体に対するボイラ系の比率は増大している。表には示さないが、ボイラ系は全故障時間の54%を占めており、全体としてアベイラビリティの改善はみられるものの、相対的には重要性を増しつつある系統である。

4. 修理実態の統計的分析

ここでは修理人数 n_r 、修理時間 t_r 、修理工数 $n_r \cdot t_r$ をみる。それらの分布は図4、平均値は表7のようである。図にみるように t_r 、 $n_r \cdot t_r$ はほぼ指数分布に従うようであるが、 n_r の分布は9, 10人あたりにピークがあり、9人以上の n_r を要した故障が41%を占めている。調査対象船の機関関係乗組員数は9人2隻、10人1隻、11, 12人各1隻、平均10.1人であったから、9人以上という事実上全乗組員が修理にかかる必要があったということであり、注目される。適正乗組員数という場合、こうした修理実態も考慮する必要がある。

平均値をみると故障規模を反映していてやはりタービン系が大きい。全体平均は $\bar{n}_r$ 6.5, $\bar{t}_r$ 5.0, $\overline{n_r \cdot t_r}$ 36.1であるが、橋本ら¹⁾の場合それぞれ8.34, 6.05, 57.1と比較すると、いずれも小さくなっており、修理規模も一定の改善がなされているといえる。

表7 重大故障の修理人数 n_r 、時間 t_r 、工数 $n_r \cdot t_r$ の平均値

	ボイラ系	タービン系	そ の 他	全 体
$\bar{n}_r$ (人)	6.2	8.4	5.7	6.5
$\bar{t}_r$ (時間)	5.0	8.0	3.2	5.0
$\overline{n_r \cdot t_r}$	32.8	73.6	20.0	36.1

図4 重大故障の修理人数 n_r , 時間 t_r , 工数 $n_r \cdot t_r$ の分布

5. 故障内容の分析

5.1 全 般 図5は故障発生箇所別に故障事象(結果)と故障原因がどう分布しているか, その関係がどうなっているかをみたものである. 図の故障事象で, 漏えいとはフランジ, マンホール, 弁グランド部などの漏

えい故障をさし, ドレン管などにクラックが入った故障, あるいは弁体が破損したといった故障は含んでいない. それらはそれぞれ管破孔, 部品破損という事象に分類されている. 図で振動という項目が事象(結果), 原因の両側にあるが, それは次のような意味である. すなわち, たとえば図でボイラ系付着品の事象で振動が1件あるが,

図5 重大故障の事象と原因の内訳とその関係

これはGAH入口ダンパの固定スクリュが脱落してダンパが振動を起こしたという故障であり、したがって、事象は振動、原因は設計・構造不良という項目に分類されているといった次第である。

まず、故障事象についてみよう。漏えいが43件と圧倒的に多く、ついで管破孔、自動化要素作動不良、部品破損がみられ、これら4事象で99件と大部分を占める。管破孔や弁体破損(部品破損)などでもそれによって蒸気が漏れたりしたものであるから、これらも含めると広い意味での漏えいは49件(43%)にのぼる。橋本ら²⁾(1966ころ就航船)の主ボイラ消火故障の事象では、漏えいが71.8%、山根ら⁴⁾(1969ころ就航船)では57.5%となっている。年代を追って減少しており、これがMTBFやアベイラビリティをあげている要因の一つであろうが、しかし、依然として最も重視すべき故障である。管破孔がその他の系統に多いが、これは潤滑油クーラの冷却管が破孔した故障が1船に集中して発生したのが8件あるため、これを考慮すると管破孔という故障は一般的には多くないといえる。発生か所では、配管・弁が44件あって多いが、その大部分は広い意味で漏えいである。自動化関係では大部分要素の作動不良である。自動化システムで漏えいが5件あるが、これらはFWC、STCなどの制御弁に生じている。

一方、故障原因は、パッキン、ガスケットの劣化、不良が多いが、これ以外には材質に関する原因は記録されていない。磨耗腐食が11件あるが、その大部分は上述の潤滑油クーラ故障に対するもので、したがって、一般的には磨耗腐食に起因する故障は、船令が小さいということもあろうが、少ないといえる。振動13件(11%)は橋本ら²⁾の25%よりかなり減っている。13件中7件はタービン系統で生じているから、タービン系は全体19件中7件37%が振動が原因ということであり、この系統では振動への対策を重視すべきである。

最後に事象と原因の関係についてみよう。漏えいのほとんどは当然ながらパッキン、ガスケットの劣化・不良、工作、締め付けが原因とみられている。管破孔16件から潤滑油クーラ故障8件を除いた8件のうち4件は振動が原因である。それらは圧力計取付枝管やドレン管で生じているから、こうした枝管系統の振動への配慮が大切である。自動化要素、部品破損は原因が多様で、目立った特徴は指摘できない。

5.2 漏えい故障 広い意味の漏えい故障49件の発生箇所の詳細は図6のようで、弁20、フランジ22件で大部分を占める。弁では安全弁、暖管弁が目につく。制御弁6件はFWC弁2、STC弁2、ドレン調整弁1、LO流量調節弁1からなっている。フランジではめくら板、ハンドホール管フランジが多い。台座も合わせると安全弁関係は6件にのぼる。

故障原因の詳細を図7に示す。突き合せ面の場合を考えると、合せ面の工作精度、姿勢、パッキン、締め付け程度の4要因の総合されたものとして密封性能は決まっ

図6 漏えい重大故障の発生か所

	パッキン つけ	タ バ ッ キ ン	カ バ ッ キ ン	工 作 不 良	ド レ ン キ ン	ス タ ッ キ ン	落 下 部 品	振 動	不 明	合 計
弁										20
フランジ										17
管破孔										5
不明										2
合 計	25	7	5	1	1	1	4	1	4	49

図7 漏えい重大故障の原因

てくる。現実には漏れが生じた場合このうちのどれが主原因であるか特定することは恐らく困難で、回答を分類すると図のようになるが、図の分類は原因というより、むしろパッキン類を入れかえて締め付け直すことによって漏れが止った、という復旧事実を反映しているとするべきであろう。パッキン類が原因と記録されている故障の発生時期をみると図8のようになる。記録にはパッキン劣化とかかかっているものが多いが、しかし発生時期をみると図のように初期故障的性格が強い。ただし、ハンドホールの発生時期はかなり後へずれており、性格が異なる。ハンドホールはいったん漏れると重大故障になることが当然予想されるから、当初から設計、工作上的信頼度が高いからではないかと思われる。そうだとすれば、ハンドホールの故障原因は記録どおりパッキン劣化が主因とみなせる。ハンドホールの傾向と比較すれば、したがって、管フランジ、弁の漏れの原因として、パッキン類ももちろん重要であるが、他の要因とくに合せ面の姿勢や締め付けなどに注目すべきであろう。

パッキン類以外の要因に対する対策が施され、ハンドホールのように初期故障が一掃されたとしても、就航後

図8 パッキン類を主因とする漏えい故障発生件数の就航期間による変化

2年を過ぎるとハンドホールにも漏れが発生し出している事実には注意しなければならない。このことはパッキン類の寿命がその程度、つまり、図8から判断して3年程度のオーダとみれるからである。以上より、漏えい対策としては、既述4要因の総合的管理を強化することによって初期故障を減らすこと、およびパッキン類の寿命が3年オーダであることを考慮した就航後のメンテナンスを図ることが必要と思われる。

管破孔による漏れが5件あり、うち4件までは溶接部で生じている。しかも、これらは先述のように小径の枝管に生じているので、これら部分の溶接工作への配慮が必要であろう。

漏えい対策はボイラメカの方でも不断的な努力が払われている。たとえば、ハンドホールに関していえば、内輪つきパッキンの採用のほか、1972, 73ころからは、管栓法の工夫によりハンドホール数を減少させること、だ円形から工作精度のよい丸形へのきりかえ、また、最近では溶接形ハンドホール、すり合せジグの考案などの工夫もされつつある。こうした対策が漏えい故障の減少に寄与してきたといえるが、漏えい対策はタービン船の信頼性向上のうえで、依然最も重要な課題の一つである。

5.3 ボイラ系の故障 <故障発生箇所の特徴>

本体の故障11件中6件は漏えいでこれはすでに述べた。残り5件は、スキנקーシング焼損破孔という故障3件（これらは同一船同一ボイラで就航直後に生じている）、ボイラ水への油分混入、緩熱器の荒天による振動各1件で、いずれも現時点では特異な故障とみられ、結局、本体関係ではハンドホールなどの漏えい対策が重要である。付着品では8件中5件がGAHで、これに注目する必要がある。

ある。自動化システムでは13件の故障があるが、ACC、バーナ制御、STC各1件で、残り10件はすべてFWCであり、これに注目しなければならない。自動化装置7件は、スイッチ作動不良5件、リレー不良2件ですべて要素故障である。以上みたとおりボイラ系では漏えい故障を除くと、GAHとFWCの故障対策が重要といえる。

<GAH> 5件の故障はいずれも機械的なものである。内容を見ると軸受、駆動モータに関するものが4件で、これらは故障に至る過程に相異はあるが、結局は過負荷（強度不足）が原因とみれる。船用ボイラに関するシンポジウム⁶⁾でも、GAHに対して「機械的に丈夫なものを」との要望が出されており、構造工作に関して全体的な検討が必要といえる。

<FWC> 故障内容は表8のようである。給水加減弁4件はいずれも漏えいで、かかる重要機器は十分な製作管理が行われているはずであるが、にもかかわらず、これだけの漏えいがみられる事実は注目されてよい。したがって、故障を前提にしたシステム信頼性をあげる検討も必要と思われる。給水加減弁以外では、配管系統への異物混入、パッキンのはみ出しといった工作不良故障3件が目につき、まだ固有信頼性をあげる余地のあることを意味している。FWCはいったん故障すると重大故障になりやすいので、全体的検討を要請されているシステムといえよう。

5.4 タービン系の故障 本体、減速装置の故障は7件あるが、すべて潤滑、軸受にかかわるもので内容はさまざまであるが、工作不良、異物混入、よごれが目立ち、工作上の管理ミスに起因するものが多いようである。振動が原因の故障は、潤滑系統のものも含めると10件にのぼる。そしてその中には、軸振動計センサーリード線断線、圧力計Tピース切断といった端末要素の故障がみられる。タービン系では以上のとおりで、軸受・潤滑関係、振動に起因するもの、および既述の配管、弁の漏えいの三つが特徴といえる。すでにみたようにタービン系故障は規模が大きい。しかし、故障内容はさ細なものが多い。したがって、機能上の重要性とは別に、信頼性への影響度という観点からの対策が必要である。

5.5 自動化要素・回路系統の故障 各系統をみると自動化要素や回路の故障がかなりある。それらをまとめると表9のようである。表によると故障規模は時間でみると平均2.4時間、特に大きい20.11時間のものを除くと1.15時間となり、規模としては大きくない。しかし件数では24件（21%）を占め、無視できない。発生か所をみるとボイラ系が多く、タービン系ではみられない。内訳では、機器要素10件の中ではスイッチ類が5件を占めるが、いずれも品質不良である。また、配管（制御流体回路）の故障5件は、シールエア不足によるフレームアイのよごれ2、制御空気ラインへのLO混入、配管工事ミスによる空気量不足、振動による空気配管切断各1件で、いずれも以前から指摘されている故障といえる。

表 8 FWC故障内容詳細

故 障 内 容	事 象	原 因	故 障 時 間	件 数
給水加減弁ボンネットより給水漏えい	漏 え い	工 作 不 良	16	1
給水加減弁グラウンド漏えい	漏 え い	パ ッ キ ン	1.5, 1.5, 3	3
給水加減器作動不良（パイロット弁内汚れ） （パッキンはみ出し）	作 動 不 良	工 作 不 良	0.17	1
ドラムレベルトランスミッタ作動不良タービントリップ	作 動 不 良	調 整 不 良	1.1, 1.3	2
サーモスタットコントロール弁不良低水位トリップ	作 動 不 良	構 造 不 良	20	1
さびのかみ込みでピストン弁固着	固 着	異 物 混 入	9.3	1
空気ラインにLO混入で作動不良	作 動 不 良	異 物 混 入	2	1
合 計	—	—	平均 5.6	10

表 9 自動化要素・回路系統故障内容詳細

分 類	故 障 件 数												1 件当り 平 均 故障時間	
	使用所		事 象	原 因								合 計 件 数		
	ボイラ系	タービン系		その他	作動不良	部品破損	調整不良	構造(品質)不良	工作不良	よごれ	異物混入			振動不明
要素(スイッチ・リレー・コイルなど)	9		1	8	2	2	8						10	1.10
機器(トランスミッタ・コントロール弁)	3			3		2	1						3	7.43 (1.20)*
自動化回路	1		5	4	2		2	1				3	6	2.78 (1.13)*
配管系(制御流体回路)	3		2	5				1	2	1	1		5	1.25
合 計	16	0	8	20	4	4	11	2	2	1	1	3	24	2.39 (1.15)

(注) * () は故障時間のとくに大きい故障 1 件を除いた平均値

が、まだ克服されていない。したがって、この系統では、使用要素（とくにスイッチ類）の品質管理、制御流体回路の検討などが比較的重視すべき点といえよう。

6. 結 言

1972, 73年の就航船を中心に 4 社 15 隻のタービン船について、就航後平均 4 年間の故障記録を収集し、重大故障（減速または停止を要した故障）の統計的、内容的分析を行った。明らかになった点は以下のとおりである。

①平均故障時間は 9.6 時間で大略指数分布にしたがう。この値は 1966, 67 年ころの就航船のデータ^{1,2)}の 10.45, 15.6 時間と比較してやや小さくなっている。MTBF は 3717 時間で、1966, 67 年ころの就航船のそれ^{1,2)} 1547, 1110 時間、また 1969 年ころの就航船³⁾のそれ 1200 時間と比べてかなり大きくなっている。結果として平均アベイラビリティも 0.9969¹⁾, 0.9936²⁾, 0.995⁴⁾ に対して 0.9975 とかなりよくなっている。

②系統別の発生場所はボイラ系 56 %, タービン系 17 %, その他 27 %, 平均故障時間はそれぞれ 9.0, 22, 3.6 時間である。ボイラ系の比率は過去の二つのいずれのデータよりも大きくなっている。タービン系は 1 件あたりの故障時間が長く、かつ、主機を停止しなければならない故

障が多いので、件数は多くないが重視する必要がある。

③平均修理人数、時間、工数はそれぞれ 6.5 人、5.0 時間、36.1 人・時間で、以前のそれら¹⁾ 8.34, 6.05, 57.1 よりもいずれも減少している。修理時間、工数は大略指数分布するが、人数はそうはならない。9 人以上、つまり事実上機関関係乗組員のすべてを要した故障が 41% もある。

④故障内容についてはつぎのことがいえる。

- i) 故障事象では漏えい故障が最も多く、配管、弁を中心に系統を問わず発生しており、全体の 43% を占める。発生時期から判断すると初期故障的性格のものがかなりあるので、合せ面の姿勢、パッキン、締め付けなどの総合的管理が必要である。また、ハンドホールの故障実態から判断するとパッキン類の寿命は 3 年オーダと考えられ、これを考慮した保守も大切といえる。漏えい故障は以前と比べると次第に減少しつつあるが、依然として最も注目すべき故障である。
- ii) ボイラ系で重視すべきは GAH と FWC である。GAH は機械的欠陥に起因する故障であり、構造工作上の検討が必要である。FWC は漏えい対策と、システム信頼性をあげる工夫が必要である。

- iii) タービン系では軸受, 潤滑関係の工作管理, および振動に起因する故障への対策が重要であろう.
- iv) 自動化要素(とくにスイッチ, リレーなど), 制御流体回路の故障は全体の 21%である. これらの故障の規模は大きくないが, 発生件数としては無視できない.

なお, 今回の分析を行うにあたり, 故障データの記録方法や各種カテゴリーの規格化の必要性が痛感された. 故障データをつみ重ねていくことは今後とも必要と思われるので, 故障調査方法の整備が望まれる.

おわりに, アンケート回答に対して多忙の中を積極的に御協力頂いた各船会社に, また, 故障データの分析に熱心に参加されたボイラ研究委員会委員各位に深甚な謝意を表する次第です.

文 献

- 1) 橋本・石塚, 舶機誌, 6-10 (昭46-10), 715.
- 2) 橋本・ほか2名, 舶機誌, 7-8 (昭47-8), 600.
- 3) 橋本・石塚, 舶機誌, 7-7 (昭47-7), 529.
- 4) 山根・大原, 舶機誌, 10-2 (昭50-2), 170.
- 5) 野口・ほか2名, 舶機誌 23 回前刷, (昭52-10), 151.