タービンプラントの信頼性の 現状と対策（第一報）*

城戸 八郎** 橋本 武***

Reliability of Steam Turbine Plant and Improvement Method (part-1)

By Hachiro Kido, Takeshi Hashimoto

Reliability of turbine plants has not been investigated since 1980's because turbine plants have not been installed due to more fuel consumption than those of diesel plants. However steam turbine ships are gradually increasing since the LNG vessels began to be constructed. This report investigates alarm and failure situations of turbine ships based on data gathered by "Committee on Ship Reliability Investigation (CSRI)" and actual field data of LNG turbine ships compared with reliability data of diesel ships on same period. Also this report refers to future design of turbine plant for reliability improvement. Among analysis results of the turbine and diesel plant reliability, authors picked up some problems which increase Failure Rate or Manning Index.

- 1) Major trouble of auxiliary equipment were caused by low grade fuel. The equipment which is most affected is the fuel purifier.
- 2) Automatic equipment failures occurred every 18 days and needed 8.5 MH. MI and FR of those failures occupied approximately 1 / 3 of whole plant. About 50 to 70% of reasons are judged to be ghost or the unknown.
- 3) Maintenance works of turbine plant required much time for preparation works like cooling down of steam line, transfer of big mass or valve operation of complex piping system.

1. はじめに

タービン主機関を中心とした船舶の推進プラントは、昭和50年代にはディーゼルプラントに比較して燃費性能の悪さから、採用されることは殆どなくなっていたが、1986年以降国内船として液化天然ガス船（LNG船）が建造されはじめて以来、タービン船は漸増傾向にある。しかしながら、タービンプラントに対する信頼性や保全性の状況は、前述した如くタービン船の急激な減少によって調査データが集まらず把握されていない。本文では、運輸省海上

技術安全局の指導のもとに船舶信頼性調査委員会によって集計された〔M0船故障及び警報発生状況報告〕データを基礎に、外航M0タービン船のフィールドデータを分析し、警報発生率、故障発生率の状況より、警報、故障の形態と傾向について分析を行い、さらに同時期のデータについて調査したディーゼル主機関との比較を行った。第一報ではタービンプラントとディーゼルプラントの全体的な信頼度比較調査と、主機関及びボイラ、これに関連する自動化機器の信頼性調査結果を報告する。第2報では機関プラント構成各機器の信頼度調査結果とまとめ、及び改善対策について報告する。

*原稿受付 平成8年11月18日

**正会員 海技大学校助教授（芦屋市西蔵町12-24）

***正会員 神戸商船大学教授（神戸市東灘区深江）

2. 用語の定義

以下に述べる代表的な信頼性用語について次のように定義する.

- 1) 警報発生率=総警報発生件数 $\times 30 \times 24$ /運転時間(Hr) 単位は件/月
- 2) 故障発生率=総故障発生件数 $\times 1000$ /運転時間(Hr) 単位は件/1000Hr, ここでは λ で表す.
- 3) 保全工数=人員 $\times$ 保全時間MAN $\times$ HOUR又は $M \times H$ で表す.
- 4) MTBA=運転時間(Hr)/総警報発生件数 単位はHr/件 MEAN TIME BETWEEN ALARM
- 5) MTBF=運転時間(Hr)/総故障発生件数 単位はHr/件 MEAN TIME BETWEEN FAILURE
- 6) 運転時間(Hr)=航海時間+停泊時間
- 7) 配員指数(Manning Index)=故障率と所要工数とを掛け合わせた値で

$MI = \lambda \times MAN \times HOUR / 件 = 1000Hr$ 当り工数 警報発生率を1カ月単位とした理由はM0船としての資格要件に主機停止をのぞく警報発生割合が1カ月30件以内とした目安があるためであり, λ を1000時間当りとしたのは一般的な外航M0船の1航海当りの運転時間に近く, 従って1航海当りの故障発生件数とし判断しやすい為である.

3. 収集データの概要

1) 故障データ要目

収集期間

M0 蒸気タービン船

1981年1月-1991年12月: 信頼性調査委員会資料

1986年3月-1993年3月: 各船整備記録故障記録資料

M0 ディーゼル船

1982年3月-1991年3月: 信頼性調査委員会資料

なお, M0タービン船における信頼性調査委員会資料については, 調査期間中のデータからタービン船固有の機器のみ抽出して統計処理した. 従って運転時間は各機器毎で異なる為, 夫々については調査集計表に運転時間を記述した.

2) 集計データ

ほぼ同時期の調査期間における調査DATAを集計比較したものを表1に記す.

表1 調査DATA集計比較表

M0タービン船		M0ディーゼル船	
総運転時間	109600 時間	1168200 時間	
総航海時間	95120 時間	880800 時間	
総停泊時間	14480 時間	287400 時間	
総故障件数	842 件	13582 件	
故障発生率	7.7 件/1000Hr	11.6 件/1000Hr	
MTBF	130.2 時間/件	86.0 時間/件	
故障処理工数	50.7 M $\times$ H/月	40.25 M $\times$ H/月	
	9.1 M $\times$ H/件	4.8 M $\times$ H/件	
	(2.33MAN, 3.9Hrs)	(1.91MAN, 2.5Hrs)	
配員指数	70.1 M $\times$ H/1000Hr	55.7 M $\times$ H/1000Hr	

4. タービンプラントにおけるMIの状況とディーゼルプラントとの全体比較

MIは λ にMH/caseを乗じた値で, 単位はMH/1000Hrsとなるが, 機関の運転効率に与える影響を2次元的尺度で評価できる. MIは又, システムに配員する保全要員の決定要素ともなる. 表2に1981/1から1991/12までの10年間におけるタービンプラントの構成要素別(アイテム-4小分類別)のMIランク表, λ ランク表, 1件あたりMHランク表をそれぞれ示す. 表よりタービン船においてはMIの高位に, 主ボイラ系機器や蒸気・排気管系が多く, 20位以内にそれぞれ4件を含んでいる. 主ボイラ系では肌付き弁やチューブの他, ボイラABC(Automatic Boiler Control)システムでMIが高い. ボイラ本体では復旧に要する保全工数の影響が大きく, ボイラ制御系では λ の影響が大きい. しかしMIの第一位であるボイラABCシステムの電気・電子部品は λ , 1件当り所要工数共に上位をしめ, 運転に与える影響が大きい. 蒸気・排気管系では, 弁, フランジ, パイプ, パッキング等全ての構成部品でMIが高い. これらの故障では λ の影響が大きいパイプについては λ , 工数共に大きい. 更に, 主復水器や大気圧復水器等の熱交換器, ウィンドラス, イナートガスシステム等の甲板機器が上位を占めているが, λ は小さく, 故障発生時の保全工数の影響が大きい. また1993年3月までの最近5カ年における, 主にLNGタービン船のMI調査では次の表3となった. 表2と比較するとデータロガーや造水器, 電気機器でMIが上がっていることが判る. ランク20位以内の10年平均値と最近の5年平均値を比較すると表4のようになる. 表4より λ が3倍増加し, 所要工数は半分に減少しMIの値が最近5年間では

表2 上位20位内のRank of MI表

収集期間: 1981/1-1991/12		総運航時間	109600 時間				
RANK TABLE OF MANNING INDEX		総航海時間	95120 時間				
		総停泊時間	14480 時間				

RANK	ITEM-3	ITEM-4	λ	MAINTENANCE	MAINTENANCE	MAINTENANCE	MANNING INDEX
			case/1000Hrs	Man/case	Hour/case	MH/case	M*H/1000HR
1	BOILER ABC SYSTEM	ELECTRIC DEVICE	0.11453	4.90	4.20	20.58	2.35706
2	WINDLASS	BODY	0.01240	6.00	18.42	110.52	1.37084
3	STEAM & EXH LINE	PIPE	0.09163	5.86	2.54	14.88	1.36379
4	LO.PURIFIER	BALL	0.02012	6.00	8.00	48.00	0.96558
5	BOILER BODY	MOUNT VV	0.02280	4.44	9.00	39.96	0.91096
6	STEAM & EXH LINE	PACKING	0.09163	4.63	2.12	9.82	0.89936
7	STEAM & EXH LINE	VALVE & COCK	0.22906	2.44	1.54	3.76	0.86073
8	BOILER ABC SYSTEM	PNEUMATIC DEVICE	0.13744	5.00	1.20	6.00	0.82463
9	STEAM & EXH LINE	FLANGE,JOINT	0.09163	3.25	2.24	7.28	0.66703
10	INERT GAS SYSTEM	OTHERS	0.06535	3.20	3.18	10.18	0.66504
11	PIPING CONTROL	HYDRAULIC DEVICE	0.12598	2.20	2.18	4.80	0.60422
12	SW COOLING PUMP	MECHANICAL SEAL	0.04053	3.50	3.70	12.95	0.52491
13	FEED W,COND W LINE	VALVE & COCK	0.04581	5.00	2.24	11.20	0.51310
14	ATOMOS CONDENSOR	TUBE	0.01545	4.66	7.12	33.18	0.51267
15	MAIN CONDENSOR	TUBE	0.03366	3.29	4.48	14.74	0.49612
16	LO.PURIFIER	CYLINDER,NOZZLE	0.16093	2.15	1.42	3.05	0.49132
17	CONTROL AIR DRYER	BODY	0.01006	4.00	12.00	48.00	0.48279
18	CONT.AIR COMP'OR	OTHERS	0.04275	3.40	3.18	10.81	0.46216
19	HEAT EXC.CONTROL	MONITERING DEVICE	0.09163	2.36	2.00	4.72	0.43247
20	BOILER BODY	TUBE	0.00274	5.40	27.48	148.39	0.40594

表3 上位20位内のRank of MI表 1988-3 ~ 1993-3

RANK TABLE OF MANNING INDEX (Steam Turbine)					
調査期間: 1988-3 ~ 1993-3					
Rank	ITEM	λ	MI		
		Cases/1000Hrs	MH/month	MH/case	MH/1000Hrs
1	DATA LOGGER CPU	0.4836	6.25	17.95	8.68
2	M/BLR BOILER	0.2372	5.92	34.65	8.22
3	HEAT EXCHANGER	0.3193	4.44	19.31	6.17
4	CFW,CSW,CIRC PP	0.2007	2.89	20.00	4.01
5	M/BLR A C C	0.2828	2.29	11.25	3.18
6	TRANS, CABLE	0.5839	2.13	5.06	2.96
7	DIST PLANT	0.1916	2.09	15.18	2.91
8	M/BLR CONTROL	0.1369	2.03	20.60	2.82
9	MOTOR	0.1186	1.74	20.35	2.41
10	DECK OTHERS	0.3102	1.54	6.89	2.14
11	TANK	0.2281	1.43	8.68	1.98
12	LO PURIFIER	0.2828	1.37	6.75	1.91
13	REFRIGERATOR	0.2646	1.28	6.72	1.78
14	M/BLR BOILER FITTINGS	0.2737	1.11	5.63	1.54
15	AIR COMPRESSOR	0.1277	1.04	11.29	1.44
16	SW GS,FO,BILGE PP	0.1916	0.99	7.14	1.37
17	T/G TURBINE FITTINGS	0.0821	0.78	13.11	1.08
18	M/T HP,LP TURBINE	0.0821	0.47	7.92	0.65
19	SWITCH BOARD	0.1277	0.43	4.71	0.60
20	T/G MONITORING	0.091	0.30	45.00	0.41

著しく増加し、運航に与える影響が1.6倍増加していることが判る。表3よりMIの第1位にデータロガー、CPUが挙げられる。処理工数を見ると、ほぼ3月毎に約18MHを必要としているが、復旧処理に多大の工数を要している。危険度の高いLNG船

という性格上、異常時には出来るだけ早く確実に復旧する必要が所要工数を上げている要因であろう。考慮すべき点はデータロガーやCPU及びボイラABCシステムは本来運航者を支援するためのもので、異常があったときに早く、正確に異常箇所を運

表4 ランク20位内の10年平均値と最近の5年平均値比較表

	λ Cases/1000Hrs	MH/case	MI MH/1000Hrs
1981/1-1991/12 平均	0.0723	28.14	2.03
1986/3-1991/3 平均	0.2267	14.41	3.27
比	3.13	0.51	1.61

航者を支援するためのもので、異常があったときに早く、正確に異常箇所を運航者に伝達するための機器である。そのような機器自身の故障が最大のMIを示していることは全くおかしい状況であると言える。また表2、3よりボイラABCやデータロガー以外にも、電気・電子系故障が多い事がわかる。ディーゼル船電気・電子系故障は原因不明やゴーストアラームが多いが、振動の影響が大きい。タービン船の場合も同様に原因不明、その他ゴーストが多いが、環境的にディーゼル船と比較すると高温の影響があるのではないかと考えられる。さらには部品点数も比較的多く λ を挙げていると考えられる。また、空気圧縮機もMIが高いが、工数の影響が大きく、表2、表3より見ても最近、 λ が増加している為、MIが増加している。自動化機器の使用が増えるに従い、制御空気の使用量も増加し、実運転時間や繰り返し発停回数の増加が背景にあると考えられる。次にディーゼルプラントとの λ 、MH/case、及びMIについて対比結果を図1に記す。図1より、タービンプラントの平均故障はほぼ5.4日ごとに、1件あたり2.33人、3.9Hrsを必要としている。これに対しディーゼルプラントの平均故障は3.6日ごとに1件あたり1.91人、2.5Hrsが必要であった。これをMIで比較してみると、前者は70.1、後者は55.7で比較的ディーゼルプラントのほうが機関の運転維持に与える影響は低いといえる。ディーゼルプラントでは特に主機、D/G及び火災検知器でタービンプラントのMIより高く、逆にT/G、電気機器、データロガー、CPU熱交換機、諸管弁ではタービンプラントの方がMIは高い傾向にある。調査期間1981/1から1991/12ではLNG船を含むものの、在来型タービン船が多く、主機、D/G及び火災検知器などでは在来型タービン船とLNGタービン船では殆ど使用条件に差がない。LNG船では主機やボイラ、軸系などの主推進系に高い信頼性が要求されるが、その要求を満たしていることが判る。全体的な比較では

図1 タービン／ディーゼル各プラント別 λ 、工数、MI比較

タービンプラントでは特に自動化機器においてMIは最も高く、19.38でタービンプラント全体に占めるMIの割合では27.6%を示している。補機及び諸管弁がほぼ同じ割合で次に続く。 λ とMHで、どちらの影響が大きいかわべてみると、 λ 割合は、自動化機器が30.1%と機器全体の1/3で第一位を占め、ついで諸管弁が19.4%、機室補機が14.5%と続く。自動化機器は λ が2.281と高いが、1件当たりMHは8.5で割合は8.2%と比較的低い。従って自動化機器では λ の影響が大きいことが判る。これは諸管弁、機室補機でも同じく λ の影響が大きかった。反面、

図2 MIに対するλ、所要工数の関係

MIで第4位を占める熱交換機はλが0.3193で割合では4.2%と少ないが、1件当たりMHは19.31で、割合では18.6%で第1位であり、一旦故障が発生すると保全に多大の工数を必要とすることが判る。データログやCPU系でも同じように、λは低いが、故障に要するMHが大きい傾向にある。これらはディーゼルプラントと比較してもMHの影響が大きい。このような場合には信頼性向上は勿論必要だが、保全整備に必要な用具の整備や開放復旧が少人数、短時間で出来る設計などの工夫が必要である。特に、LNG自動化系の復旧保全は安全面からも迅速性を

要求されることため、異常箇所の自己診断とプラントに影響を与えない為の補完システム、簡易部品交換などの対策が必要である。また、熱交換器や諸管弁は蒸気プラントである為、ディーゼル船に比べ装備数、規模共に多いのみならず、蒸気系圧力、温度も高いといった環境条件が厳しいことがλ、所要工数を増加の要因となるが、これらの機器の保全の為には、複雑な蒸気系統の切り替えや停止を余儀なくされることが多い。従って他の機器への影響を及ぼさない為の適切なバイパス配管も検討すべきである。また特に過熱蒸気プラントでは、ボイラやナットの

図3 主機タービン故障発生状況

図4 主機ディーゼル故障発生状況

焼き付きにより開放に際し多大な工数を必要とする例が多く、焼き付き防止対策は工数軽減に効果が大いと思われる。さらに、電気機器のλがディーゼル船に比べ約2倍多いが調査データより接地警報装置の異常が多い。ガспラントであるため、同装置を導入するなど火災防止には特に配慮されているが、誤動作や原因不明が多く、異常がないことを確認する為に多くの工数が必要となっている事がある。検出器自身の信頼性向上にも必要な例であろう。

次にタービンプラントにおけるMIとλ、1件当り所要工数の状況を図2に示す。図2より、MIはほぼ1.3以下、λもほぼ0.15以内、所要工数は20以内、このうち所要人員は6、所要時間はほぼ10時間以内であることが判った。λとMHの関係では、λが0.02以内ではMHの分布は17以内が最も多いものの、50近くまで分散している。しかし、λが0.02以上ではMHはほぼ17以内に収まっている。また、所要人数は所要時間にはほぼ比例して増加している。所

要人数がほぼ6人以内であるのは、外航船機関部人員が6人以下であるためであろうが、所要時間が10時間以内、平均で2.3人、3.9時間という数値は、現行の運航体制では維持可能な保全能力といえる。さらに同一データでMIを横軸に、λ及び所要工数を縦軸にとって、それぞれ対数表示してみると、MIに対し、λ、所要工数ならびに一件当たりによる時間や人数もMIに対し相関性が強く、λ、所要工数のばらつきは2桁の範囲内、MIでは4桁の範囲にあることも判った。以下に各機器別状況と要因について調べてみる。

5. 機器別故障発生割合

1) 主機タービン(M/T)及び主機ディーゼル(M/D)

M/Tの故障分布では高圧、低圧タービン関連で60%発生し、33%がタービン付属装置で故障が発生している。故障内容では、取り付け不良や工作不良

図5 主ボイラλ及びMTBFの状況

表5 主機ディーゼルの主な構成要素別故障分布

	λ	M.H/case	M.H/month	MTBF
主機タービン	0.1369	6.17	0.61	0.840
主機ディーゼル	1.1214	10.86	8.77	9.83
主機ディーゼル 主要構成要素別λ分布				
燃焼室周り	45 %			
動力伝達装置	6.9 %			
ケーシング内部機構	5.8 %			
付属装置	42.3 %			

表6 M/B及びAux/B故障率工数MTBF比較

	主ボイラ	付属装置	補助ボイラ	付属装置
λ	0.2372	0.2737	0.1029 (0.4182)	0.710 (2.8856)
MH/case	34.65	5.63	12.14 (10.0)	3.08 (2.6)
MTBF	8.22	1.54	1.25 (4.18)	2.19 (7.50)

が要因となるものが63%をしめている。M/T故障は73%が警報を発し、その要因はゴーストその他が45%、漏洩27%であった。M/T及びM/Dのλ分布を図3、図4に記す。図3よりM/T系では低圧タービン軸受けのλが高く、その他としてタービン軸振動検出器、パッキング蒸気圧力調節弁の故障が主なものであるが、高圧、低圧タービン動翼損傷や前進ノズル弁の漏洩事故なども発生している。図4のM/Dと比較するとM/Tは、λで1/8、MH/月で1/14、MTBFで約1/12と、非常に信頼性の高い機器であることが判る。表5にM/TとM/Dのλ、MH、及びMTBFの比較値を記す。さらに表5にM/Dの主な構成要素別故障分布を記す。

2) 主ボイラ (M/B)

M/B本体故障とボイラ付属機器のλ割合はほぼ半々である。ボイラ本体の1件あたりMHは34.65を必要としている。ボイラ付属装置では5.63MH/caseであるからM/B本体の事後保全がいかに大変かが判る。データによるとその故障要因の60%を設計不良、25%を材質不良と判断し、他に取り付け不良6%、経年劣化6%と判断している。個々のλ及

びMTBF分布を図5に記す。図5よりおもなM/B本体故障は水面計GLASS漏洩があるが、付属装置の故障は航海中に於いては空気予熱器作動不良、停泊中においては噴燃装置の故障が主なものである。ディーゼル船補助ボイラ (Aux/B) の場合と比較してみると表6のようになる。表6の()内数値は補助ボイラの停泊中のみの故障データによって計算したものである。M/BとAux/Bの比較にあたってはAux/Bは停泊時の運転が殆どであるため、表6の括弧内数値を使って行くと、次のようになる。ボイラ本体におけるλは、M/Bは、Aux/Bの約半分であるが、保全工数ではAux/BはM/Bの約1/3である。これは缶圧や温度、保有水量及び全体重量などがM/Bでは大きく、熱容量が大きいことから事後保全の為に圧力降下や昇圧するのに時間を要するためである。従ってMTBFを比較すると、本体ではM/Bの方がAux/Bより約2倍大きい値を示している。図5に示す個々のλ及びMTBF分布でも缶肌弁のλは0.0228と低いにも関わらずMTBFは0.91と他の危機と比べても非常に高く、一旦故障が発生すると運航に与える影響が非常に大きいことを示して

Turbine Plant Automatic Equipment

Failure Rate cases/1000hrs

図6 タービン、ディーゼル各プラント別自動化機器のλとMI

表7 主な自動化機器のλ MH/case MIの比較状況

	λ	MH / month	MH / case	MI
タービンプラント	2.28	9.96	8.5	19.4
ディーゼルプラント	2.77	5.08	2.55	7.06

タービンプラント	λ	MH / case	MI
補機系自動化機器	1.00	2.85	2.85
主ボイラ自動化機器	0.83	9.58	7.95
ロガー・コンピュータ	0.59	3.41	2.01
主タービン自動化機器	0.24	2.38	0.57

ディーゼルプラント	λ	MH / case	MI
補機系自動化機器	0.89	2.35	2.09
ロガー・コンピュータ	0.63	2.29	1.44
補助缶自動化機器	0.48	1.91	0.92
主機ディーゼル自動化機器	0.44	3.91	1.72

いる。次に付属装置ではM/Bの方が、Aux/Bよりλで1/10以下、MIで1/5以下となっている。工数はM/Bの方が約2倍多い。Aux/Bの故障分

布より、噴燃装置の故障で低質重油や廃油燃焼にバーナが対応出来ていない為と考えられるが、燃油スラッジや廃油をAux/Bで処理するケースが多いことも一因であろう。

3) 自動化機器

前述した如く、タービンプラント構成機器別にみた全体的なMIに占める自動化機器の割合は、27.6%で一番高い、λ割合は機器全体の1/3を占め、平均して18日に1回故障が発生し、1件当たりMHは8.5必要であった。個々のλ及びMI分布をタービンプラントとディーゼルプラント別に比較したものを図6及び表7に記す。図6より、タービンプラントのλは、補機系自動化機器が38%と一番多く、次に主ボイラ系自動化機器が30%、データロガー、CPUが21%を占めている。これらは自動化機器全体のおよそ90%である。これらはMIでも高い値を示していることが図6からも判る。次にディーゼル

図7 ボイラ自動化機器λ及びMIの状況

プラントでは、自動化機器のλは機器全体の23.8%と、機室補機に次いで多く、15日に1回の割合で故障が発生している。図6よりMIの分布もλ分布とほぼ同じ傾向を示すことから運航に与える影響はλに左右されている事が判る。自動化機器全体ではタービンプラントはλでディーゼルプラントより低いが、MHでは3倍強高い値を示している。

a. 主機タービン系自動化機器

主機関同士を比較すると次のようになる。

	λ	MH/case	MI
主機タービン自動化機器	0.24	2.38	0.57
主機ディーゼル自動化機器	0.44	3.91	1.72

主機タービン自動化機器はλで主機ディーゼル自動化機器の約半分、MIでは1/3となり、信頼性が高い機器であるといえる。その内訳は、主機タービン系リモートコントロールシステムはS/B中、停泊中に70%が発生しているが、モニタリングシステムは航海中に、90%が発生している。これらの故障は取り付け不良24%、工作不良20%、経年劣化4%、その他52%によって発生し、要因は断線18%、固着12%、脱落6%以外ではゴースト59%となっている。系統別故障分布では電子制御系が25%、液面センサ10%、圧力温度センサ各10%が故障している。リモートコントロールシステム故障はオートスピニングシステム故障が主なものであり、仮泊中の潮流の影響を受け易い。

b. 主ボイラ系自動化機器（ABC）

主な故障を図7に記す。これらの故障は75%が航海中に、残り25%が停泊中に発生し、取り付け不良12%を除いては考えられる要因は少なく、60%を越

すものが、その他異常と考えられ、断線による故障8%、漏洩8%、亀裂折損12%、などに対し、ゴーストによる故障が約60%と判断されている。この内ACC（Automatic Combustion Control）の故障は主ボイラ系ABC故障の内の最大で42%を占め、5カ月に1回発生し1件当たりMHは11.25を占めている。ディーゼル船に於ける補助ボイラでもACC等の本体のλが高く、燃焼装置の故障とともにシステムの追従性が悪い、要因としては補助缶の項と同様に、廃油中の水分混入、油温の低下、硫黄分による硫酸腐食、廃油中の挟雑物などによる制御不良が挙げられる。ABC故障の内、モニタリングシステム故障は2番目に多く28%であるが、その内訳は、圧力センサ30%、フレームアイ20%、スモークインディケータ47%となっている。

6. 調査結果のまとめ

第一報中間的な報告として、特にλやMIが高い数値を示す機器を中心に、問題点とその対策についてまとめてみると次の様になる。

タービンプラントでは自動化機器、諸管弁、機室補機などでλの影響が大きい。これに対し熱交換機、データログやCPU系では、保全に多大の工数を必要とし、λは低いが、故障に要するMHが大きい傾向にある。このような場合には信頼性向上は勿論必要だが、保全整備に必要な用具の整備や開放復旧が少人数、短時間で出来る設計などの工夫が必要である。また、熱交換機や諸管弁では装備数、規模のみならず、圧力、温度といった環境条件が厳しいこと

が、所要工数を増加の要因となるが、これらの機器の保全の為に、複雑な蒸気系統の切り替えや停止を余儀なくされることが多い。従って他の機器への影響を及ぼさない為の対策も検討すべきである。

今後の対策としては、ボイラや熱交換器、蒸気・排気管系では高温環境下の作業方法の改善やボルト類の焼き付き防止対策が、また造水器では塩析による管板部の硫酸カルシウム付着の防止対策が、電気・電子系機器では初期故障を避けるための十分な慣らし運転と高温対策、第一発生警報の把握が必要と考える。

参 考 文 献

- 1) 運輸省海上技術安全局 船舶信頼性調査委員会報告書 1986年, 1989年, 1990年, 1991年, 1992年
- 2) T. Hashimoto, T Harada and K. Kume, 'Some considerations on developments in reliability, maintainability and manning indices for engine system during the past 30 years in Japan', ICMES93 paper25
- 3) H. Kido, 'Outline of Diesel Engine Plant and Automation System Reliability' ICMES90 Kobe, paper F 4-13
- 4) 城戸・橋本' 船舶機関システムの信頼性安全性評価' 電子情報通信学会安全科学研究専門委員会 技術研究報告 1991-12-20
- 5) 城戸・富田・松本・山口, 船機誌 29-4 (平6-4) 319

~~~~~ メッセージ ~~~~~

タービン船の急激な減少によって信頼性データの収集が難しく、特に1994年以降ではデータ数において不足し、調査対象とすることができなかった。これはディーゼル船でも同様であり、混乗船化が進み、日本船社による直接的な運航管理が崩れてきた現在、今後長期的に統計的なデータ分析は困難な状況にある。さらにデータの解析にあたっては、細かな故障状況や運転時間、保全時間などの把握が必要であるが、これらの情報もまた系統だっでは集められていない。今後ISMコードに基づいた船舶管理が進むことで、船舶保全に数量的な管理が行われることを期待したい。