タービンプラントの信頼性の現状と対策(第二報)* —補機器及び自動化機器について ディーゼルプラントとの比較—

城戸 八郎** 橋本 武***
武市 久仁彦***

Reliability of Steam Turbine Plant and Improvement Method (part 2)

By Hachiro Kido, Takeshi Hashimoto, Kunihiro Takeichi

According to analyzed the turbine and diesel plant reliability, we were able to pick up some problems to make large amount of Failure Rate or Manning Index.

1) Mainly trouble of auxiliary equipment caused by low grade fuel. The most affected equipment is the fuel purifier and also following equipment affected too,

Diesel Plant : LO purifier, Auxiliary boiler, D/G, M/E, FO filter LO filter, Incinerator. Turbine Plant : Main boiler burning equip.

2) Automatic equipment failures occurred 18 days each and need 8.5 MH. MI and FR are occupied approximately 1/3 of whole plant. These are judged ghost & unknown reason that is about 50 to 70%.

3) Turbine plant are needed much recovery time to maintenance for cooling down the steam line, move the big mass of heavy weight and valve operate for complex construction. Mainly cause are aging, defective fitting and poor materials.

So, we should make some counter plan to reduce the Failure Rate and Mannind Index as follows.

a) To be developed fully automatic treatment system of fuel and waist oil (FWTS) to reduce a failure ratio of fuel and LO purifier, auxiliary boiler, etc.

b) To be developed Total Distributed Control System (TDCS) with back up controller to increasing continuous running of control equipment and quickly recovering.

c) To be set the central fresh water cooling system (CCFW) to reduced a pipe corrosion and Maintenance man hours.

1. はじめに

第一報においてタービンプラントにおけるMI(配員指数)の状況とディーゼルプラントの全体比較と機器別故障発生割合のうち、1)主機タービン(M/T)及び主機ディーゼル(M/D)、2)主ボイラ(M/B)、3)自動化機器全般及び主機タービン系自動化機器、主ボイラ系自動化機器の項目について

調査解析を行った。第二報では引き続いて機器別調査を行い、自動化機器及び補機器を中心に新たに多変量解析手法の内、重回帰分析及び主成分分析を利用し解析を行った。また第一報を含め、全体的なまとめと、改善対策について検討を行った。

2. 用語の定義、収集DATAの概要・収集期間

これらについては第一報に記したのでここでは表1に概略を記すにとどめる。

MOタービンプラント

1981年1月—1991年12月：信頼性調査委員会資料、

* 原稿受付 平成10年3月18日

第59回学術講演会(平成9年10月22日)

** 正会員 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5-1-1)

1986年3月－1993年3月：各船整備故障記録資料

MOディーゼルプラント：

1982年3月－1991年3月：信頼性調査委員会資料

表1 収集DATAの概略

	M O TURBINE 船	M O DIESEL 船
総運航時間	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
故障率	7.7 件 / 1000Hr	11.6 件 / 1000Hr
M T B F	130.2 時間 / 件	86.0 時間 / 件
故障処理工数	50.7 M*H / 月 9.1 M*H / 件 (2.33MAN, 3.9Hrs)	40.25 M*H / 月 4.8 M*H / 件 (1.91MAN, 2.5Hrs)
MANNING INDEX	70.1 M*H/1000Hr	55.7 M*H/1000Hr

なお、MOタービンプラント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プラント固有の機器のみ抽出して統計処理した。従って運航時間は各機器毎で異なる為、調査集計表に運航時間を記述し統計処理した。

3. 機器別故障発生割合（続き）

1) 自動化機器全般（ λ ：2.0 2.9MH/件 MI：5.8）

タービンプラント構成機器別のMIの分布状況を図1に記す。図1よりMIに占める自動化機器の割合は、27.5%でいちばん高い。また、各自動化機器の故障率分布を図2に記す。図2より、自動化機

図1 Turbine Plant Manning Index
MH/1000hrs & percent

図2 Turbine Plant Control System Failure
Rate Cases/1000hrs %

器の中では主ボイラ系の自動化システムで故障の発生率が高く37%を占め、次いで補機系自動化機器の λ が33%を占めている。データロガー、CPUは17%を占め、これら3システムで自動化機器全体の87%を占める。これに対しディーゼルプラント自動化機器の λ は機器全体の23.8%で、機室補機に次いで多い。また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。ディーゼルプラント補機系自動化機器では、補機制御保護装置での故障率が高く、主に、清浄機、自動逆洗FO/FOフィルタ、廃油焼却炉に発生している。これらは機器本体の低質油、廃油に対する信頼性の低さと主に、制御システムもまだ安定した信頼性を確保していないことを示している。

a. 補機系自動化機器 λ ：0.6528 MI：1.733

タービンプラント補機系自動化機器の全体的なMIは28%とボイラ系に次いで高い分布を示すものの、個々の補機系機器でみると、特に目だつものではなく、制御ユニット数が多い為に、総数的に故障発生件数が多くなっている。その中では熱交換器系が10%、諸管弁系が15%を占めている点が目だっている。故障モードは2/3が航海中に発生し、諸管弁系では油圧系統、熱交換器系では検出機構、ポンプ系では発停機構、タンク系ではセンサー部の故障比率が高い。要因別では取り付け不良24%、経年劣化11%、その他47%などである。原因は特に目だつものは無いが、亀裂折損11%、脱落10%、漏洩8%、固着15%、ゴースト30%である。ディーゼルプラントに於ける補機系監視装置の故障の主なものは、廃油焼却炉運転装置、造水器塩分監視装置、ビルジ濃度監視装置、FO/LO清浄機監視

図3 Data Logger Monitor, ETC.
Failure Rate Cases/1000Hrs

装置の故障である。この中でも、FO、廃油ビルジ系監視装置が多い。

b. データロガー、CPU系自動化機器

タービンプラント搭載のデータロガー、CPU機器の λ は0.3436、工数で1.45MH/件を要しているが、1990年代以降のタービン船ではプリント基盤のワンボード化が進んだため、予備ボードへの取り替え復旧の短縮化が進み、所要工数が減ってきている。故障モードは航海中に、80%が故障し、経年劣化によるものが24%、取扱不良10%、その他54%等でありその要因は断線14%、短絡9%、ゴースト70%となっている。ゴーストとは、異常が発生直後に瞬時正常復帰してしまう事故例をさし、再現性が無いため、原因不明となるケースが多い。また、LNG船のみで調査するとデータロガー系故障の内容別では、図3に記す様に電子制御ユニットボード系の故障が39%を占めている。データロガー本体及び入出力インターフェイス部の電源ユニットのコンデンサ劣化、プリント基板とソケット部の接続不良、プリント基板上のほこりやゴミによる異常、ノイズ等によるゴーストアラームがある。その他の故障としてはランプやブザーで27%、表示器19%、センサー8%の割合で発生している。ディーゼルプラント搭載のデータロガー、CPU機器の λ は0.6309、工数で2.29MH/件である。タービンプラントと比較してMTBFで1325HRS短く、工数で約1MH多い。故障箇所もタービンプラントとよく似ている。タービンプラントでは、モニタリング点数や機器の複雑さの面で劣る反面、振動や周辺環境面で優れている等の影響があるものと推察される。

c. その他の自動化機器

その他の自動化機器における故障発生状況では、D/G自動化機器はその原動機運転時間が少ないこともあって、参考にはならない。ディーゼルプラントのD/G自動化機器では λ は0.158、工数2.5MH/件であるT/G自動化機器の λ は0.014で、原動機の信頼性とならび、非常に信頼性が高い。故障状況は取り付け不良による亀裂折損例が報告されたのみである。同様に軸系監視機器の信頼性が高い。火災探知装置では、タービン及びディーゼル夫々のプラントの λ は0.0458及び0.1207で種類、型式は同じであり、タービンプラントでは装備数が多い割に、 λ はディーゼルプラントの約1/3となっている。この理由としては、ディーゼルプラントの方が振動が多い他に、機関室内の油煙や、排ガスの影響によってイオン式火災センサの劣化が進むと推測される。

2) 発電原動機

タービンプラントに搭載されたディーゼル発電機は出入港S/B'時若しくは、停泊、荷役時に運転され、航海中は殆ど運転されることはない。調査期間中に報告された故障発生件数は4件で、付属機器に発生しているが、実運転時間が不明確であるので解析対象から外した。ターボ発電原動機(T/G)では λ は0.0821となっている。1件当り工数は13.11MH/件で、故障率としては低い。故障が発生すると復旧に要する工数は大きいことを示している。故障力所ではT/G付属装置が80%を占め、付属の蒸気系弁、コックの漏洩が多い。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、保全工数が大きな値となっている。ディーゼルプラントに搭載されている排ガスTGプラントでは故障率0.038であり、いずれも高い信頼度を保っている。

3) 電気機器 λ : 0.8394 MH : 7.25/件 MI : 6.08

タービンプラントに搭載された電気機器故障の主なものを表2に示す。故障要因は短絡によるもの60%、断線16%、その他ゴースト19%で、電路系や接地系の異常が主である。モータ故障はボールベアリングの劣化による焼き付きなどで、経年劣化、取り付け不良が要因となり、その取り替えに工数を要している。ディーゼルプラント電気機器と比較すると、およそ故障率で2倍、1件あたり所

表2

発電機	λ : 1 %	12 MH/件
モータ	14 %	20 MH/件
配電盤, 付属装置	15 %	4.7 MH/件
TRANS, 電線その他	70 %	5.1 MH/件

要工数では4倍となっている。特異なのは電線その他の故障が20%以上多いことで、フィールドデータと警報発生状況より、接地検知器の故障が主であった。故障要因として設計不良と判断し報告されたデータが多い。復旧のための保全工数が多い理由はガス爆発防止の目的で接地された接地検知器自身の誤動作であっても、船内では真偽を確認する為に多くの時間を必要としていることに起因する。

4) 機室補機・熱交換器

図4、図5に機室補機の配員指数及び故障率の分布を記す。図より、タービンプラント構成機器別にみた全体的なMIに占める機室補機及び熱交換器の割合は、25.8%で自動化機器に次いで高く、 λ 割合でも、18.4%を占めている。これは平均して1カ月に1回故障が発生し、12.8MHが必要であることを意味している。主な補機故障は、潤滑油清浄機（ λ : 0.2917）及び制御用空気圧縮機（ λ : 0.0855）、冷却海水ポンプ（ λ : 0.073）である。その他のポンプ系故障は特に目立った傾向はみられない。ディーゼルプラントに於ける機室補機は故障率全体の25%と、一番多く、2週間に1回の割合で故障が発生し、1件に5MHの工数を要している。

図4 Turbine Plant AUXIALY EQUIPMENT
Manning M * H/1000Hrs

図5 Turbine Plant Aux. Equipment Failure
Rate cases/1000hrs & %

λ の内訳を調べた結果、68%が清浄機故障であり、清浄機だけで3週間に1回故障し、6.29MH/月、4.5MH/件を要している。FO清浄機の λ は1.1188で全機器の中でも一番信頼性は低い。

a) 熱交換器の状況

タービンプラント熱交換器のみで比較をすれば図6に記すように、造水器及び主復水器で故障の発生率が高いが λ は夫々0.095及び0.042と少ない。熱交換器故障は主にチューブで故障が発生している。故障要因別分布では、亀裂折損1/3、腐食1/6、閉塞1/9、その他1/3となっている。また、LNG船のみで調査するとほぼ130日に一度故障し開放整備に19.3MH/件を要しているが、ディーゼルプラントに比べ3倍故障発生頻度は高い。また、MIの値も高く、一旦故障すると弁操作や本体の温度降下に時間をとられるだけでなく、機器本体サイズが大きく、作業環境の悪さなどが復旧工数を増やす要因となっており、タービンプラント故障の特徴を表している。

図6 Turbine Plant Heat Exchanger Failure
Rate cases/1000hrs & %

b) LO清浄機

LO清浄機はタービンプラント補機故障の内では λ が一番高く、補機全体の20%、約5カ月に一回故障し、1件あたりMHは6.7となっている。ディーゼルプラント用LO清浄機の故障率と比較すると、 λ は約1/3である。構成機器別では図7に記すように半数以上をノズル、シリンダで故障が発生している。ディーゼルプラントのLO清浄機と比較した場合、使用時間や設置環境、容量はほぼ同じであるが、タービンプラントではLO中に水分混入、乳化の不具合はあるものの、ディーゼルプラントにおける、燃料混入や、HD油のCa分、燃焼残渣分、残留炭素、硫黄分などは無く、被清浄媒体の成分差が大きいことが、 λ の差に現れていることは明らかである。なおタービンプラントにはFO清浄機搭載例は少なく、D/G用A油清浄機はあるが、運転時間が極端に少ないため、 λ 算出の参考にはならなかった。

図7 Turbine Plant LO PURIFIER FAILURE RATE %

c) 造水装置

LNG船のみで調査するとタービンプラント用造水装置の λ は0.19で、15.2MH/件を要している。全タービンプラントでは造水器の λ が0.1で工数は2.83MH/件であることから汚損、塩析によるスケール付着等の造水能力低下がLNG船では多いと考えられる。タービンプラントではフラッシュ型造水器が多く使用されているが、ディーゼルプラントではサブマージド型造水器が多く使用されており、その λ は0.11であったので、フラッシュ型造水器はサブマージド型造水器に比べ、およそ1.7倍故障が多くなっている。

d) ポンプ

ポンプ類の故障では特定のポンプ故障は起きておらず、5000HRSを越すと経年劣化による漏洩が

原因の半分を占めている。1件あたりMHでは、海水冷却系や蒸留水系ポンプの工数が燃油、ビルジ系ポンプの3～4倍多いが、これらの重量、サイズの違いによる工数増加と考えられる。

e) 空気圧縮機

ほとんどが制御用空気圧縮機で故障が発生している。約16カ月に一回と発生頻度は少ないが1件あたりMHは7.71である。図8に部品別故障分布を記す。制御用にはオイルレス式が用いられており、図8より、吸吐出弁や玉軸受けの故障が多い。ディーゼルプラントでは雑用空気圧縮機の方が λ が高いが、タービンプラントでは制御用空気圧縮機の方が5倍 λ が高い。これは運転時間が雑用に比べ、8～10倍長いことと関係がある。吸吐出弁以外の故障では軸受け焼損、空気連絡管の振動による亀裂事故などがあり、保全に10MH以上の工数を要したことが報告されている。

図8 Turbine Plant CONTROL AIR COMPRESSOR FAILURE RATE %

f) 給水ポンプ駆動用タービン及び軸系機器

λ 、MHともに小さく故障としては軽度である。要因割合では、工作不良32%、経年劣化42%、その他26%で故障内容では、脱落故障20%、漏洩10%、固着20%、焼き付き10%、その他40%が発生している。軸系機器はT/Gと並び故障が最も少ない機器の1つである。ディーゼルプラントの軸系と比較して λ は1/7で、信頼性の高さをうかがわせる。

5) 諸管弁

タービンプラントにおける諸管弁全体の λ は0.95で1件当りMHは5.26である。LNG船のみで集計した場合は λ が1.47で1件当りMHは8.44であった。また、ディーゼルプラントでは λ は1.56で、1件当りMHは3.9なので、比較すると λ ではあまり変わりはないが、工数でタービンプラントは高い

図9 Turbine Plant STEAM & EXH PIPING & VALVES FAILURE RATE %

ことが判る。タービンプラントにおける故障の理由では経年劣化26%設計不良15%等があげられ、主な故障内容では漏洩56%、亀裂23%となっている。諸管弁のうち55%が蒸気排気系故障で、15%が給復水系故障、7%がビルジ系故障である。図9より、弁コック類漏洩と、パイプの亀裂で故障の2/3を占めており蒸気・排気系配管に多く発生している。蒸気系では溶接継ぎ手が増えているのでフ

	平均値	標準偏差	分散	最大値	最小値	範囲
工数：Man/件	2.33	1.32	1.75	10.0	1.0	9.0
工数：Hr/件	2.26	2.88	8.28	27.5	0.1	27.4
故障率：λ：件/1000Hrs	0.021	0.03	0.001	0.23	0.001	0.229
MI：Man*Hour/1000Hrs	0.121	0.33	0.11	3.8	0.0001	3.799

ランジ漏洩は減っているが蒸気・排気系配管、復水・給水配管ではフランジからの漏洩は多い。蒸気、給水系漏洩故障では、保全に先立ち、ライン切り替えや降圧作業に工数を必要とするため、ディーゼルプラントより2倍工数が掛かっている。パイプ漏洩は蒸気・排気系や復水・給水配管に多いが、特に海水系配管で発生例が多い。海水系配管では管の経年劣化が認められる。ストレナ故障は、ディーゼルプラントに比べ1/10になっているが低質重油や灰残査、LO劣化傾向などの影響が少ないためと考えられる。

6) 甲板補機

LNG船タービンプラントの甲板補機では冷房、冷凍用圧縮機の故障が46%でλは0.575、工数は6.81MH/件であった。ディーゼルプラントにおいても使用環境、条件が似ている為、ほぼ同じ値を示している。ラインの弛緩や亀裂によるガス漏洩による能力低下が主な故障内容である。その他イ

ナートガス系故障が10%起こっている。

7) タンク

タンク故障は本体故障は少なく、ゲージ部の漏洩、亀裂、取り出し弁部の閉塞が主な故障で特定のタンクでの故障は見あたらない。λは0.228、工数は8.7MH/件であった。

4. MIとλ、保全工数との関係（タービンプラントについてのみ）

全体的なMIに対するλや保全工数の影響割合を調べるためMIを目的変数とする重回帰分析を調べた結果、次の結果を得た。

$$MI = 0.05257 * (\text{工数 Hr/件}) + 0.0494 * (\text{工数 man/件}) + 4.5536 * \lambda - 0.2$$

重相関係数は約0.7で、λと工数man/件の間の相関係数が0.04以外は0.4～0.52であった。また、故障発生時に保全時間が0の記録をのぞいた基本統計量は次の通りである。

重相関係数及び基本統計量から、タービンプラント全体で見た場合のMIに影響を与えるものに大きな差はなく、工数：Man/件、工数：Hr/件、λのそれぞれほぼ同程度の影響をMIに与えている。さらに上記の項目を対象変数として主成分分析を行った結果、第一主成分では工数：Hr/件の固有値が0.9658で寄与率87.5%となった。主な因子は主ボイラチューブ、缶肌弁、循環水ポンプの軸受け、LO清浄機軸受け、焼却炉、甲板機械ウインドラス本体故障で、主成分分析結果より、少人数の船舶ではこれらの故障は修復に多大の時間がかかることで運航に与える影響が大きいことが判った。

5. 調査結果のまとめ

これまでの調査結果より、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。

1) 補機器の主な故障の要因は低質燃料油にある

最も影響を受ける機器は燃料油清浄機であるが次の機器もまた影響を受けている。

ディーゼルプラント：LO清浄機，補助ボイラ，D/G，M/E，FOフィルタ，LOフィルタ，焼却炉
タービンプラント：主ボイラ燃焼装置

ディーゼルプラントでは機室補機の λ は機器全体の24.9%と，一番多く，2週間に1回の割合で故障が発生し，5MHの工数を要している。機室補機の内，68%が清浄機故障であり，清浄機だけで3週間に1回故障し，4.5MH/件の工数を要している。これらの数値は事後保全の値であり，正常状態への復帰のための工数である。従って予防保全を行うためには，清浄機警報発生率以内で保全を行う，つまり20日以内に一度3MHをかけた予防保全を必要とすることを意味する。これは省力化に大きな障害となっており，信頼性回復の為の努力が必要である。清浄機システムの改良に当たっては，故障を誘発する原因となっている燃油の低質化対策，燃油混入や添加剤混入によるLOの劣化対策，並びに燃油の前処理の強化を進めなければならない。特に燃油中のスラジ分は，前処理段階で除去することを第一とすべきであり，FO清浄機の保全間隔を延ばすためや，燃焼を改善するためにスラジ粉碎を行う方法は，最終的に排ガスエコノマイザでの灰残渣の堆積，閉塞等を誘発するので好ましくない。

2) 故障のおよそ半分にあたる推定原因にゴースト，原因不明がある

ゴースト，その他による異常はデータロガー，コンピュータ及び各REMOTE CONTROL機器で他の内容を抜いて第1位を占めている。故障率では補機系自動化機器，主ボイラ自動化機器，データロガー，CPUで自動化機器全体の約90%を占めている。MANNING INDEXの分布も故障率分布とほぼ同じである。

理由不明は空気圧縮機，造水器，諸管弁，電気機器，データロガーコンピュータで第1位に，ポンプ，LO清浄機で第2位に挙げられている。この内電気機器，データロガーでは瞬時ノイズによる故障など，再現性がない為に理由不明となっている場合が多い。

3) タービンプラントでは復旧保全に多くの工数を要している。

蒸気系のクールダウンに時間を要したり，大型機器では容積，重量などの移動に人出が必要であったり，さらに構成の複雑化などが影響しているが，故障発生要因では経年劣化，取り付け不良，材質不良があがっている。

経年劣化は，タービンプラントではポンプ，LO清浄機，空気圧縮機，諸管弁で第1位に，造水器，電気機器，データロガーコンピュータで第2位に位置づけられている。この内，電気機器，データロガーなどで今後経年劣化が進むと，予備部品の在庫がなく，コントロール，モニタリング系の機能停止を引き起こす可能性がある。

その他，取り付け不良と判断されているものに，主機タービン，主ボイラ，ポンプ，LO清浄機，諸管弁，電気機器などの機械系が多く，この内，主ボイラ，ポンプ，諸管弁，電気機器では設計不良とも判断されている。また主ボイラ，ポンプ，LO清浄機，諸管弁，電気機器では5%前後を材質不良と判断している。

6. λ ，MI低減のための対策

上記6の各項目に従って λ ，MI低減のための対策を考えてみると次の様になる。

1) 燃料油及び廃油に対する全自動処理システムの開発

第1には可能な限り不純物を除去された燃料油を使うか，低質油を使わないことであるが，現実的な対策とはいえない。要点は不純物の除去にあたって，処理の流れを停滞させないことと，可能な限りそれを自動化することである。第2に行うことは清浄機やデカンタ，フィルタなどの清浄システム機器のセルフクリーニングシステムの導入である。第3には第1，第2で発生したスラッジを乾燥させ，生物環境に対し無害化を考慮した小型固形化や粉末処理化もしくは焼却化によって完結させることである。

2) バックアップ制御装置を付属した小規模集中分散型制御監視システムの導入

制御系の連続運転維持はLNG船タービンプラントなど，システムが複雑になれば特に必要とされる。また異常発生順位を知ることが，要因分析に不可欠であるが，現行の制御監視システムでは困難である。従ってこれらの改善対策には次の様な事柄

が必要である。

a. プリント基盤の集積化

ICの高集積化と共に、配線のプリント基盤化によってワンボード上の集積率を上げることが必要であろう。

部品配備数の増加は信頼度低減につながるが、調査結果よりみても、 λ よりは復旧保全に多くの工数をとっていることから、簡易なボード取り替えによる復旧対策が、MIの低減化につながると考えられる。

b. 小規模集中分散型制御監視システムの導入

独立制御が可能な小型分散型制御監視システムとこれを集中管理するLANの導入によって、制御系の異常が地域限定型故障で収まれば、運航維持の観点から効果があると考えられる。LANにはデータ送受信用のLANと状態監視用の光LANを設ける。前者は通常のイーサネットなどによる電送ラインで、後者は個々の分散型制御機器の状態監視を行う。これによって、最初にどのユニットから異常が発生したのかを見つけ、該当する制御系の代行を行う機能を設ける。もし論理データの異常が見つければ、該当機器のプログラムとデータを瞬時に切り替え、代行ユニットでシステムの運転を続行することによって、ゴーストアラームの解消と連続運転維持が可能となる。

3) 中央清水冷却システム (CCFS) の導入

CCFSは欧州船で多く採用されているが、日本では少ない。海水に起因する腐食を軽減し、経年劣化傾向を弱めることで、保全工数を減らすことを目的としている。CCFSは従来型のポリエチレンライニングやゴムライニング、垂鉛メッキなどによる対海水防食法より初期投資は高くなるが、今後の船内保全能力を考慮すれば採用が望ましい。さらに熱交換器材などでも高価格ではあるがチタン製チューブやプレートの採用は、保全期間の延長と信頼性の増加につながる。特に大型機器では保全工数がかかることから、効果は大きい。

4) その他の対策

a. 廃油の処理法として補助ボイラでの焼却中止

この処理を行うことによって、火炉や焚き口部の廃油残渣処理に多くの工数を必要とすると共に、異常燃焼、噴霧不良、局部過熱などの不具合発生要因となる。また調査データよりロータリータイプのバーナは補助缶での燃焼継続を比較すると、

従来型ノズルチップより優れている。

b. 周囲環境の改善

IC基盤の配置されている個所では、特にオイルダストや繊維くずの浮遊を避けるための、フィルタの設置、制御用空気圧縮機の機室最下層設置とエアフィルタによるクリーンエアの確保、艤装時の防塵対策を行うことで、ゴーストアラーム低減効果があると考えられる。

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 systems during the past 30 years is Japan', ICMES93 paper 25
3. H. Kido, 'Out Line of Diesel Engine Plant and Automation System Reliability' ICMES90 Kobe, paper F4-13
4. 城戸・橋本' 船用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,' 自動化船の警報状況について', MESJ誌VOL29-1994-4 p 319-330

~~~~~メッセージ~~~~~

船舶の信頼性データの重要性は、むしろ米国や英国、北欧諸国の方が認識が高いようだ。これらの国々では船舶管理のありかたについて、信頼性データを利用することで、数値的に船舶の湛航性や運航効率、最適な管理コストや保全時期、要員などを抽出し、品質の高い、商品力のある船舶を荷主に提供することを計画し、実行している。日本ではどうであろうか。タービン船では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い。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。せっかく集められた信頼性データも船舶の品質管理の視野に立った利用がなされていないのが現状ではないだろうか。今後ISMコードに基づいた船舶管理が進む中で、船舶保全に数量的な管理が行われることを期待したい。

質 疑 応 答

質問者 ナカシマプロペラ 大内一之

〔質問〕

今回の発表は機器別の分類によるものですが、機器要素（軸受け、ピストン、バーナ等）別の分類による故障率の研究もメーカーにとって非常に興味のあるところですが、上記観点からについても研究していただければうれしく思います。要望

〔回答〕

今回の発表では機器別を主に分類し、故障要因分析などにおいて機器要素まで調査の上発表しています。ディーゼル、タービン両プラントともに全て機器要素までデータを分類しています。データの集計に当たってはDiesel Plant及びTurbine Plant全ての機器を4つに大別し、大分類（ITEM-1）として10項目に、中分類（ITEM-2）として48項目に小分類（ITEM-3）として217項目に分類しています。さらにITEM-3を部品レベルに分類し、ITEM-4として延べ1081項目に分類しています。

質問者 新潟工科大学 玉木恕乎

〔質問〕

1. 蒸気タービンプラントを構成する部品数はディーゼルプラントに比べると多いか、少ないか、特に主機械につき構成部品数を調査されていればご教示願いたい。
2. 蒸気タービン船は一般にディーゼル船より信頼性が高いことは知られている。運航に影響を与える頻度と原因となった機器名が判れば教えて欲しい。

〔回答〕

1. 40000KWクラスにおける同出力レベルの主機関の場合、ディーゼル機関で41000点タービン機関で50000点とされています。

〔回答〕

2. 重故障レベルでみたプラント比較

Diesel PlantとTurbine Plantにおいて運航障害時間が120分以上の重故障レベルで故障率、影響時間、配員指数について比較した結果を次頁に示す。比較は大分類レベルとした。これによると重故障発生割合ではDiesel主機はTurbine主機に比べ約6倍多い。ボイラではTurbine Plant主ボイラの方が1.5倍多いが、補助ボイラを停泊期間のみの運転と見なせば逆に補助ボイラの方

が2倍多くなる。他の機器では発生件数そのものが少ないので比較は難しいが、Turbine Plantの方が約2倍は高くなっている。全体ではDiesel Plantの方がTurbine Plantより2倍重故障の発生率は高いことが判った。影響時間について比較すると図より、Diesel主機では平均5時間、Turbine主機では平均4時間の運航障害を生じている。ボイラ系統ではDiesel Plantでは7時間以内、Turbine Plantでは8時間を要している。この時間は修復時間とみなすことが出来る。保全要員数に差は余りないため、機器全体の複雑さや規模、熱容量差が影響していることが判る。コンピュータ関連機器の重故障発生率はTurbine Plantで0.002で非常に低いけれども影響時間はDiesel Plantに比べ約2倍多い7.5時間である。Turbine Plantではコンピュータ関連機器が荷役や主機遠隔操縦装置など直接運航に関わる箇所に使用されていることを示している。また全体では影響時間はDiesel Plantでは平均して5時間、Turbine Plantでは平均して6時間でTurbine Plantの方が1時間余計にかかることが判った。次に配員指数で比較すると図より、Diesel主機は、Turbine主機に比べ約5倍MIが多い。重故障発生割合ではDiesel主機はTurbine主機に比べ約6倍多いのでMIはほぼ、 λ の影響を受けている。 λ とMIの関係は $MI = \lambda \times MH$ ($MH/1000HRS$)であるから、この場合保全要員数がほぼ同数とすれば（約6名）Diesel Plantの修復時間はTurbine Plantより20%少ない。修復時間は構成機器の複雑さやシステム運用手順の多少、高温熱容量の違い等の影響を受ける。保全時間の予測にあたってはこれらの因子を組み込んだ分析を行う必要がある。次にボイラ系統ではTurbine Plant主ボイラの方が2.3倍多いが、補助ボイラを停泊期間のみの運転と見なせば逆に補助ボイラの方が1.2倍多くなる。他の機器では特に熱交換器において、Turbine Plantの方が約3倍MIは高くなっている。主復水器や給水過熱器の λ は0.005と少ないが、一旦故障が発生するとシステムダウンにつながり、運航障害を発生する。この場合も構成機器の複雑さやシステム運用手順の多少、高温熱容量の違い等がMIに影響を与えている。全体ではDiesel Plantの方がTurbine Plantより若干（30%）MIは高く、重故障による運航への影響が大きいことが判った。

タービンプラントの信頼性の現状と対策（第二報）