船用機関の保全性評価及び その現状について*

—機関部作業報告からみた—

橋本 武**・村山 潔*** 稗島紘一郎***

Aspects and Evaluation of Maintenance on the Marine Equipment
(The Work Report of Engine Department)

By Takeshi Hashimoto, Kiyoshi Murayama, Koichiro Hieshima

The maintenance works for marine engine plants could be classified into inspecting action, preventive-, precautionary-, emergency-maintenances, sweep action and administrating work from the basis of failure reports and maintenance ones. Then the following four indices could be evaluated from about 8300 failure data and 55000 maintenance ones submitted from about 60 diesel ships and turbine ones during about 60×10^4 propelling hours and 11×10^4 ones.

Mean occurring rate of inspecting action, preventive-, precautionary-, and emergency-maintenance were estimated to be in the ratios of 8:60:10:1, mean man-hour per occurrence 1:1:2:7, mean manning index 1:9:3:1, percentage of repair recovery on board 86:89:83:85.

1. はじめに

従来、船舶における整備作業を中心とした保全作業のデータは、各船に保管されていたが、

1. 船内作業の内容分類と質的並びに量的は握
2. 各機器・構成部品別の作業量の把握

等を全船舶に対して行うため、昭和39年に機関部作業帳の様式統一化と一部コード化を図り、そのまとめを各船へフィードバックしてきた。

この間、船舶に対する技術革新の波は、船舶の大形化・専用船化・高速化を促し、しかも、高度な技術を駆使した自動化船やコンピュータをとう載した超自動化船の就航を可能にした。このため、船用機器プラントの複雑化・巨大化を招いた反面、乗組員の定員を大幅に減少させることとなった。しかしながら、技術革新の成果をいかに採り入れ進展させても、船舶運航の自己完結性への要求は、船舶システムへのしかるべき保全量の確保、航行中の事故発生時における乗組員による修復作業を要求し、究極的に高度かつ広範囲な操作・保全技術レベルを持つ人へ依存する環境は、今後とも変化しないといえる。

前述するような環境、すなわち、少数人員と高度の技術革新のもとで、保全性を主として考える時、次のような具体的目標の解決が、船用機器システムに対し望ま

れるものであろう。

- 1) 保全作業の効率的・経済的方法の追求
- 2) 高いアベイラビリティの確保
- 3) 有効な予防保全とローメンテナンスの追求
- 4) 船用プラントの有効なデバッグの探求
- 5) 船舶乗組員と陸上支援体制の有効な関係

今まで、著者らは、船用機関とその周辺機器に関する故障および修理作業についてフィールドデータの集計・解析を行い、その結果を報告^{11,12)}してきたが、これらは重大故障(主機関の停止もしくは減速をとともう)を含む緊急または事後保全が中心であった。

しかし、一般に保全作業には、警戒保全³⁾、予防保全と呼ばれる保全作業が、事後保全の周辺に存在することが知られているが、これらに関するフィールドデータは、ほとんど報告されていなかった。これは、予防保全の緊急度が低いことと、今までは、事後保全に関するフィールドデータが十分でなく、その収集に重点が置かれていたためと考えられる。

一般に予防保全に関する情報は、その性格上、浅く広いものになることから、コンピュータによる処理が不可欠になる。従って、整備作業を主力とする船内作業はできる限り数字コード化する必要がある。昭和46年から以下に述べる新しいシステムによるデータの収集を開始した。

本研究は、事後保全の周辺のフィールドデータを分析した結果をもとに、前述の目的や目標を達成することにある。ここに報告するものは、設定当初からわずか半年間

* 原稿受付 昭和51年12月6日

昭和51年春季学術講演(昭和51年5月14日)

** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南5-1-1)

*** 正会員 日本郵船(株)(東京都港区三田1-4-28)

という短期間に発生した船内作業約 6×10^4 件ではあるが、その集計結果から得た予防保全作業の概略と舶用機器の信頼性・保全性を一応評価し得たこと、さらに、従来の機関部故障報告書と同作業帳との関連をも明確にすることができたことから、まだ、各作業の名称・区別等今後調整すべき問題点も多いが、今回はその記入要領・集計方法等を中心に紹介し、関係各位のご批評を仰ぐ次第である。

2. 機関部作業報告書の様式と記入要領

機関部における船内作業の報告書作成とデータの収集は、直接現場責任者である本船の機関長・機関士に委ねられている。それは各々の保全作業の発生段階で、担当した機関士によって表1(a)機関部作業報告書(以下報告書Aという)の様式に必要事項が記入される。次いで各機関士から機関長へすべてのデータが集められて、ここで記入および論理エラーのチェックを行い、作業人数および作業時間を求め、その結果を表1(b)(以下報告書Bという)に記入され、原則として、報告書Bが、航海ごとにまとめられ本社に送付される。

作業報告書A, Bを記入するにあたっては、機関長・機関士に前以って配布されている記入要領の指示に従い、コーディングされ、報告データの均質化が図られるようになっている。

報告書A, Bにおける船名・航路名・機械名・中分類は、配布されている作業帳用コードブックに従って具体的作業が行われた項目へ記入することになっている。機械名は、報告書Aの下側に示す9種に分類され、この分類は故障報告書と全く同一であるので、両報告書を比較検討することが可能となっている。中分類は、約300に近い部品に細分類されているが各機械名の構成数を100以下になるようにしてあるため中分類は2桁の数字コードで示されている。

保全作業は、表1に示すように5段階に区分されているが、各々の作業の定義は下記のようにしている。

1) 点検作業; 系・機器・部品の劣化現象(摩耗・き裂・弛緩・漏れ・変形・腐食等)の有無や程度を調べるための周期(長期・短期)的作業

2) 整備作業; 系・機器・部品等が規定の機能を失う前に機能回復・予防保全のために行われる作業、その範囲は次の通りである。

- i) 保守整備基準書に則って行われた作業
- ii) 機能回復のために行われた作業
- iii) 給油・注油等の作業
- iv) 調整・取替え等の作業
- v) 取替えられた部品等の機能回復のために行われた作業

3) 修理作業; 故障した系・機器・部品等の機能回復のために行われた作業

4) 掃除作業; 整備・修理作業に伴う掃除を除いた作

業

5) 管理・運用作業; 系・機器の運転に必要な管理作業および諸作業の安全管理・書類作成等のために行われた作業、その内訳は大略次の通りである。

- i) 馬力計測・水質管理等の系の性能維持のための作業および燃料・潤滑油の補油・清浄作業
- ii) 諸作業に対する調査研究・計画立案・指揮監督等の作業
- iii) 報告書類等の作成のための作業
- iv) M0運転に伴うチェックリスト作成作業等

前述したように、作業報告書作成の目的は、機関の技術管理法の策定および各機器の信頼性の向上と両者の関連性の解明にポイントを置いていることから点検・整備・修理の3作業を重点的に解析するようにし、他の掃除・管理運用作業は各作業箇所と項目について作業工数(人数×時間)の量的は握のみに限定されているのに対し、前者の3作業では、作業工数の外に作業対象機器・部品のは握、さらには、整備・修理作業では作業内容(欄外右下にある10種類)と作業個数とが握されるようになっている。

当直作業および運航上特に必要と認め難い作業(たとえば諸道具の作業)等は、作業報告の対象外となっている。また、陸上の手による諸作業については、その作業全体をは握することは困難であるが、可能な範囲で、作業人数と作業時間とを記入し集計に努めている。

以上のほかに主要作業の内容や計測記録等を随意残しておけるよう、報告書Aの下に余白を設けてあり、本船で保管することを考え、機器管理上の記録としても利用出来るようにしてある。

報告書Bの記入に際しては、作業の種類・量が莫大になること、しかも、各機関士の個別データから集計することになっていることから、作業の個数・人数と時間の集計には、細心の注意を払う必要がある。

たとえば、多人数を要した大きな作業において、一機関士からまとめて報告してもよいが、仮に各機関士より従事した作業分担に応じて次のように報告あった場合は、作業時間について修正して記入することとなる。

一等機関士 3(人) 5.5(時間)

二等機関士 2(人) 4.0(時間)

三等機関士 2(人) 2.5(時間)

の合計作業人数は、 $3+2+2=7$ (人)で、延作業工数は、 $(3 \times 5.5) + (2 \times 4.0) + (2 \times 2.5) = 29.5$ [MAN HOUR; 以下MHという]として求められるので、その平均作業時間は、

$29.5 \div 7 = 4.2$ (時間)となる。

作業個数の必要性は、各機器・主要部品の平均整備間隔・平均故障間隔とその発生ひん度分布を知るために必要なことから、次の時は必ず個数記入を行うことにしている。

1) 修理を目的とした作業

日本船用機関学会誌 第 12 卷 第 5 号

機械名は次のものより選ぶコードで記入のこと

1 主機	2 汽缶	3 発電機	4 機室補機	5 諸管弁	6 電機	7 甲板補機	8 タンク計器	9 自動機器
------	------	-------	--------	-------	------	--------	---------	--------

元来、航行、7 補正・ハント三、8 増大・ハットキ、9 補油・注油、0 その他

備考欄 (以下余白)

(53)

点			横			整			構			修			理			掃			除			管理運用																			
機 械 名	中分類	人員	作業時間	機 械 名	中分類	作業 人 員	作業 個 数	内 容	中分類	作業 人 員	作業 個 数	内 容	中分類	作業 人 員	作業時間	簡 所	人員	作業時間	項 目	人員	作業時間																						
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64

2) 定期整備のため使用中の部品を取替えた作業

3) ピストン抽出等のように現装のものをそのまま整備し、引続いて使用する場合の作業

作業がその日のうちに終了しなかったものについては作業個数“0”を記入し、作業の終了した日に初めて個数を記入させており、予備品の整備については、その分布等をは握ることから、作業を施行した時は未完であっても“1”を記入している。

以上、作業帳の考え方と記入要領を述べたが、記入に当たっては、現場での作業発生の現象が画一的でないことから、基準を明確にしておくことが必要であると同時に、現場における判断に多くを委ねなくてはならないことに留意しておく必要がある。

3. 調査対象船の概要

調査期間は、昭和46年10月から翌年3月までのわず

表2 調査対象船の概要

主機 種別	隻数	船令*4 〔年〕	主機関 出力 ×10 ³ 〔PS〕	乗組員数*5 全体/機関部	船 種 ×(隻数)	自動化レベル ×(隻数)
A ₁	7	12.2	12.0	36.6/13.0	貨物船×6 専用船×1	*1 簡易自動化×7
A ₂	1	9.2	17.5	34.0/13.0	専用船×1	*2 自動化×1
A ₃	4	5.9	10.0	33.0/11.0	貨物船×4	自動化×4
A ₄	1	3.4	27.8	26.0/10.0	専用船×1	自動化×1
B ₁	12	11.8	12.4	37.0/12.0	貨物船×12	簡易自動化×12
B ₂	7	7.1	17.4	32.7/11.0	貨物船×5 専用船×2	自動化×7
C ₁	4	6.6	17.2	30.0/11.0	専用船×4	自動化×4
C ₂	3	5.4	9.3	30.3/10.0	貨物船×2 専用船×1	自動化×2 M0 船×1
C ₃	1	2.3	34.2	24.0/8.0	コンテナ船×1	M0 船×1
C ₄	2	1.6	12.0	33.0/11.0	貨物船×2	自動化×2
D ₁	4	3.7	9.2	35.5/11.3	貨物船×4	自動化×4
D ₂	2	0.9	11.6	32.5/9.5	貨物船×2	M0 船×2
*3 小 計	48	8.0	13.6	34.02/11.36	貨物船×36 専用船×11 コンテナ船×1	簡易自動化×19 自動化×25 M0 船×4
*3 T	9	5.15	32.5	31.40/11.02	専用船×8 コンテナ船×1	自動化×6 M0 船×3
合 計	57	7.55	16.6 ×10 ³ 〔PS〕	33.54/11.33	貨物船×36 専用船×19 コンテナ船×2	簡易自動化×19 自動化×31 M0 船×4

*1 就航当時の在来形を、その後自動化船に改造された船

*2 自動化初期のもので、機関室内に制御室を持たないが、機関の集中監視可能な船を含む

*3 ディーゼル船の主機関(ライセンス)形式種別A~D、タービン船T

*4 1971年12月末現在

*5 1972年9月末現在の平均値

か半年間である。その間、調査の対象になった船舶の概要を表2に示す。対象船は総計57隻で内訳は、ディーゼル船48隻、タービン船9隻である。前者は主機関の種別により4形式グループに分類し、後者は1グループとして取扱うこととした。

ディーゼル船の船令は、1.6~12.2〔年〕の広範囲におよび平均船令は8〔年〕となり、タービン船の5〔年〕よりも若干古いといえる。主機出力は、タービン船の構成が、大形で専用船が多いことから平均値32,000馬力とディーゼル船の出力平均値14,000馬力に比して高出力化の傾向が著しい

特徴的なことは、乗組員数が大幅に減少していることで、最も古い簡易自動化船のA₁、B₁の場合、乗組員は、全体の定員/機関部の定員比較でみると、37名/12~13名であったものが、M0船のC₃では24名/8名となっている。従って、約10年間で、乗組員が13名/4~5名減少し、各々3分の2程度の定員となり、この間の省力化および自動化の著しかったことを裏付けているといえる。

4. 運航実績と船内作業分析結果

約60隻近い船舶の半年間における延航進時間は、表3に示すように、約11×10⁴〔HR〕におよび、その間に発生した点検・整備・修理の3作業で約6×10⁴件、更にこれらの作業と掃除および管理運用とを含めた全作業の延工数は、約23×10⁴〔MH〕であった。ここで表3に示す準修理作業は、作業報告での“修理作業”を意味するものであるが、これは既に報告されている故障報告にいう“修理作業”と信頼性数値の比較をするために、次のように定義し用いるものである。

「作業帳にいう修理作業の故障は、故障報告によって報告された故障をも十分包含するものであり、且つ、故障報告に報告されるまでもないマイナーな多くの故障、すなわち、故障報告に報告される故障の周辺に存在する小さな故障をも包含する数値と考えてよい。いま、故障報告に報告されないマイナーの故障の修理作業を準修理作業とする。」とし、これ以降の準修理作業は上記定義に基づいて述べることとする。

表3において、各実測値(上欄)は、半年間のデータであるが、これを1隻1年当りに換算した値が下欄に示す数値である。更に、()内は各合計に対応する各作業の占める割合を示すものである。

この結果、船内作業における各作業の発生割合が、整備・準修理・点検で77, 14,

表3 機関部作業報告書による運航および作業の実績

(1971. 10~1972. 3)

船種 (隻)	航進時間 〔HR〕	作業件数 (乗組員/全体)				船内作業工数〔MH〕						
		点検	整備	準修理	合計	点検	整備	準修理	小計	掃除	管理運用	合計
ディーゼル船 (48)	85,774	(10.6) 4,844	(77.6) 35,583	(11.8) 5,445	(100) 45,872	11,097	97,989	24,868	133,954	25,711	38,789	198,454.0
		4,961	38,718	6,406	50,082	(5.6)	(49.4)	(12.5)	(67.5)	(13.0)	(19.5)	(100)
		(9.9)	(77.3)	(12.8)	(100)	(8.3)	(73.2)	(18.5)	(100)			
タービン船 (9)	22,608	(8.9) 824	(73.6) 6,795	(17.5) 1,611	(100) 9,230	2,646	13,025	8,037	23,708	4,419	6,957	35,084.0
		864	7,632	1,908	10,404	(7.5)	(37.1)	(22.9)	(67.6)	(12.6)	(19.8)	(100)
		(8.3)	(73.4)	(13.3)	(100)	(11.2)	(54.9)	(33.9)	(100)			
合計 (57)	108,382	(10.3) 5,668	(76.9) 42,378	(12.8) 7,056	(100) 55,102	13,743	111,014	32,905	157,662	3,013	45,746	233,538.0
		5,825	46,350	8,314	60,489	(5.9)	(47.5)	(14.1)	(67.5)	(12.9)	(19.6)	(100)
		(9.6)	(76.6)	(13.7)	(100)	(8.7)	(70.4)	(20.9)	(100)			
	3,803 (28.5隻)	198	1,487	248	1,933	482	3,895	1,155	5,532	106	1,605	8,194
		204	1,626	292	2,122							

*1: ()内は合計に対する割合

*2: 上欄は各作業の件数, 作業工数の総計

下欄は1隻1年当りに換算したもの

10〔%〕, また作業工数割合も, 3作業で考えると, 70, 21, 9〔%〕という結果となり, 整備作業が圧倒的に多いことがあげられる。更に全作業についてみると, 点検・整備・準修理の作業工数の小計の割合は, 67.5%, 掃除と管理運用とが各々13, 19.5〔%〕という割合で, この比率は, ディーゼル船・タービン船とも偶然とはいえ一致した結果となった。また, 後者2作業での作業工数割合が意外に多いことがわかる。

しかしながら, ディーゼル船とタービン船における船内作業内容の差異は, 3作業の中での整備・準修理の割合のなかにみられる。すなわち, ディーゼル船では整備作業が全作業工数の50〔%〕を占めているが, タービン船でのそれは40〔%〕弱と少なくなっているのに対し, 準修理作業のそれは, タービン船が逆に大きく35〔%〕弱で, ディーゼル船は20〔%〕弱になっていることである。以上のことから, ディーゼル船では整備作業に多くの労力を要するが, 反面, 準修理作業は軽減されることとなる。また, タービン船では, プラントの性質上, 通常整備作業ではプラントを左右する作業がほとんど出なく, 周辺機器を中心に作業を行うことになるが, いったん, 準修理作業が発生すると機器の取扱い操作の難しさ等もあって多くの労力を費やす傾向にあるといえる。以上述べたことは, あくまでも, ディーゼル船・タービン船という一まとめのグループの対比の中で見た結果であるが, 個々の船舶の場合には表4に示すようになる。この表は, すべて%で表わしてあり発生件数については, 点検・整備・準修理の, 作業工数については3作業に掃除

・管理運用を加えたものの割合である。各小グループの中には, 若干の相異点があるが, これらは, 船種・主機形式・自動化の程度・乗組員数・航路等に影響されるのであろうが, その詳細については別の機会に発表したい。

表3に示されているように点検・整備・準修理作業は, 作業の工数および件数が明らかにされていることから, 各作業について次のような信頼性・保全性評価を行うことができる。

i) 作業発生率: 航進時間1,000時間当りに発生した件数

$$\lambda_i \text{ [件/1,000 HR]}$$

ii) 船内補修率: 乗組員以外により処理された作業を含む全作業件数に対する船内乗組員の作業件数割合

$$\mu_i \text{ [\%]}$$

iii) 平均補修工数: 各作業1件当りに要した平均作業工数

$$mh_i \text{ [MH]}$$

iv) 配員指数⁴⁾: 航進時間1,000時間当りに要した作業工数

$$M.I_i \text{ [MH/1,000 HR]}$$

各評価指数の記号の添字*i*は, 点検・整備・準修理作業を区別するもので, 今後各作業を1, 2, 3とする。表5はタービン船・ディーゼル船に区分して信頼性・保全性を評価した結果を示したものである。

この表から機関部における各作業レベルの信頼性および保全性のは握が可能となる。つまり, 発生率 λ は信頼度を, 船内補修 η , 平均補修工数 mh は保全度を, また配員指数 $M.I$ は, $\lambda \times mh$ に等しいので, 両者を同時に定量的に評価しているといえる。

表4 主機関形式別の機関部各作業の発生件数, 作業工数割合
(1971.10~1972.3)

作業内容 船種(隻)	航進 ^{*1} 時間 (HR)	点検 (%)		整備 (%)		準修理 (%)		掃除 (%)		管理 (%)		合計 (件数), (MH)	
A ₁ (7)	1,209	10.2	4.5	77.6	50.8	12.2	9.3	—	17.4	—	17.9	830	4,225
A ₂ (1)	1,703	8.1	3.8	75.6	46.1	16.3	11.3	—	12.5	—	26.4	729	4,155
A ₃ (4)	1,867	7.7	5.4	85.0	58.9	7.3	6.4	—	12.7	—	16.6	948	3,869
A ₄ (1)	1,544	10.1	5.2	81.2	54.1	8.7	7.2	—	7.4	—	26.1	950	3,257
B ₁ (12)	1,727	10.4	4.6	75.2	47.6	14.6	20.2	—	11.3	—	16.3	1,022	4,993
B ₂ (7)	2,216	13.5	7.5	75.8	53.1	10.6	9.6	—	13.7	—	16.1	1,108	4,100
C ₁ (4)	2,460	12.3	6.6	74.2	43.0	13.6	12.9	—	14.5	—	22.9	1,231	4,267
C ₂ (3)	2,088	11.1	6.0	81.2	49.2	7.7	7.4	—	7.9	—	29.5	873	4,100
C ₃ (1)	1,438	11.6	9.0	87.6	34.0	8.1	9.1	—	9.4	—	38.5	1,229	3,808
C ₄ (2)	2,017	11.7	8.3	78.2	49.1	10.7	8.7	—	17.6	—	16.5	856	3,373
D ₁ (4)	1,294	7.0	6.5	77.7	42.8	15.3	9.3	—	10.3	—	31.2	569	2,626
D ₂ (2)	1,804	5.0	3.8	82.9	56.2	12.1	7.7	—	15.4	—	16.9	854	3,494
小計(48)	1,787	10.6	5.6	77.6	49.4	11.9	12.5	—	13.0	—	19.5	955.7	4,135
T (9)	2,512	9.0	7.5	73.6	37.1	17.5	22.9	—	12.6	—	19.8	1,025	3,899
合計(57)	1,901	10.7	5.9	76.0	47.5	13.3	14.1	—	12.9	—	19.6	931.5	4,097

- *1: 航進時間は1隻当りに換算
- *2: 欄内の左側は発生件数, 右側は作業工数
- *3: 船内作業件数

表5 機関部作業報告書からみた信頼性・保全性評価
(航進時間)ディーゼル船: 85,774 (HR), タービン船 22,608 (HR)

船種	作業名	点検作業	整備作業	準修理作業
	信頼性・保全性評価			
ディーゼル船 48隻	発生件数	4,961	38,718	6,406
	船内作業工数 (MH)	11,097	97,989	24,868
	作業発生率: λ_i (件/1,000 HR)	57.8/56.5	451.4/414.9	74.7/63.5
	船内補修率: η_i (%)	97.6	91.9	85.0
	平均作業工数: mh_i (MH/件)	2.29	2.75	4.57
	配員指数: $M I_i$ (MH/1,000 HR)	129.4	114.2	289.9
タービン船 9隻	発生件数	864	7,632	1,908
	船内作業工数 (MH)	2,646	13,025	8,037
	作業発生率: λ_i (件/1,000 HR)	38.2/36.5	337.6/300.0	84.4/71.3
	船内補修率: η_i (%)	95.4	88.5	84.4
	平均作業工数: mh_i (MH/件)	3.21	1.92	4.99
	配員指数: $M I_i$ (MH/1,000 HR)	117.0	576.1	355.5

発生率 λ_i は, 表3の発生件数割合で述べた通りで, ディーゼル船では, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ は大略 50~60, 400~450, 60~80 (件/1,000 HR), タービン船では, 30~40, 300~400, 70~90 (件/1,000 HR) で, 整備作業は点検作業に対して 8~10 倍, 準修理作業に対しては 4~6 倍の発生をみている。

発生補修率 η_i は, η_1, η_2, η_3 が 95~98, 89~92, 84~85 (%) となり, ディーゼル船・タービン船ともに点検・整備・準修理の作業レベルの高いほど乗組員で処理する割合が低くなっている。タービン船の場合, ディーゼル船に比べ, 1~3 (%) ほど低い数値を示しており, 船

内のみによる処理が難しいことと, 停泊中における陸上体制による作業割合が高いと解釈できる。

保全性を評価する重要指数として平均補修工数 mh_i がある。ディーゼル船の場合 mh_1, mh_2, mh_3 が 2.3, 2.8, 4.6 (MH/件) で, 作業レベルの高いものほど多くの工数を必要とし, 船内補修率の割合の順序と一致しているが, タービン船では, 3.2, 1.9, 5.0 (MH/件) となり整備と点検が入れ替わっていることが目立ち, タービン船の作業性あるいは保全性に関する特徴が現われていると考えてよい。

更に, 信頼性と保全性を同時に評価する配員指数 $M I_i$ についてみると, $M I_1, M I_2, M I_3$ が, 120~130, 600~1,200, 290~360 (MH/1,000 HR) となり, ディーゼル船・

タービン船ともにその順位は同じであるが, 整備作業の占める割合が最も高く, 最も低い点検のそれに比べ 5~10 倍になっていることがわかる。

この配員指数 $M I$ は manning index の略称で, 保全要員の必要数を計算するために用いられる指数である。

表3の数値をもとに掃除と管理運用の配員指数を求めると,

ディーゼル船 299.8, 455.2
タービン船 195.5, 307.7

となっている。作業量から考えると点検作業より多く案内手間がかかっている。特に, 管理運用にあっては, 他

表6 船種(主機関)別の機関部の信頼性・保全性評価

作業内容 船種 (隻)	航進 時間 (Hr)	点検作業	整備作業	準修理作業	計
A ₁ (7)	1,209	95.6, 71.1 221, 157.2	85.8, 53.1 333, 1,773	79.6, 84.4 385, 325	85.9, 68.65 329, 2,255.2
A ₂ (1)	1,703	100, 34.6 264, 91.6	80.9, 32.3 348, 1,126	58.6, 69.9 393, 275	77.3, 42.75 347, 1,492.6
A ₃ (4)	1,867	100, 39.1 286, 111.9	97.1, 43.3 282, 1,221	89.6, 36.9 358, 132.3	96.7, 50.9 288, 1,465.2
A ₄ (1)	1,544	100, 62.2 172, 106.9	77.4, 49.9 228, 1,141	78.1, 53.8 282, 152.2	79.3, 61.5 228, 1,400.1
B ₁ (12)	1,727	98.2, 61.4 215, 132	96.5, 44.4 310, 1,377	88.2, 86.3 678, 584.8	95.3, 59.17 353, 2,093.8
B ₂ (7)	2,216	99.4, 67.7 205, 138.5	97.9, 37.9 259, 98.2	88.7, 53.2 334, 177.8	97.0, 49.99 260, 1,298.3
C ₁ (4)	2,460	96.8, 61.4 187, 115	76.5, 37.1 200, 74.6	74.5, 67.9 330, 224	78.2, 50.03 217, 1,085
C ₂ (3)	2,088	100, 46.5 253, 117.3	98.6, 34.0 284, 96.6	94.6, 33.1 438, 145.1	98.4, 41.96 293, 1,228.4
C ₃ (1)	1,438	100, 98.7 242, 239.2	97.8, 74.9 120, 899.9	77.5, 69.5 348, 242	96.1, 91.72 152, 1,381.1
C ₄ (2)	2,017	85.6, 47.1 296, 139.3	96.8, 33.2 248, 82.1	99.8, 46.5 320, 146	95.7, 42.57 260, 1,106.3
D ₁ (4)	1,294	97.6, 28.0 428, 119.7	89.8, 34.2 254, 867.9	91.8, 71.1 265, 188.6	90.5, 44.11 267, 1,176.2
D ₂ (2)	1,804	97.5, 23.8 312, 74.3	90.8, 39.3 277, 1,088	90.9, 58.2 262, 149.6	90.9, 47.5 276, 1,311.9
小計 (48)	1,787 (85,774)	97.6, 56.5 229, 129.4	91.9, 41.9 275, 1,142	85.0, 63.5 457, 289.9	91.7, 53.47 292, 1,561.7
T (9)	2,512 (22,608)	95.4, 36.5 321, 117.0	88.5, 30.0 192, 576.1	84.4, 71.3 499, 355.5	88.1, 40.79 257, 1,048.9
合計 (57)	1,902 (108,382)	97.2, 52.3 242, 126.8	91.5, 39.08 262, 1,024.3	84.9, 65.1 466, 303.6	90.9, 50.82 286, 1,454.7

*1: 延航進時間, 他は1
隻当りの航進時間

*欄内

船内補修率(%)	発生率(件/1,000 HR)
平均補修工数	配員指数
(MH/件)	(MH/1,000 HR)

作業に比しても高い率を占めており、ディーゼル船では整備について高い数値を示している。

以上、ディーゼル船、タービン船を各々1グループとしてまとめたが、表6には、ディーゼル船の主機形式ごとのグループについてまとめた評価指数を示した。

傾向としては、船令の古いものほど発生率 λ 、平均補修工数 mh 、配員指数 MI は高くなっている。その各々の年率に対するパーセント値は、4.5、4.3、8.2程度であることは既に明らかにしてある⁹⁾。

5. 考 察

機関部作業報告に関し予防保全を主に含むとみられるフィールドデータについてその信頼度、保全度を評価した。ここでは、著者らが既に明らかにした^{1,2)} 機関部故障報告に関した緊急度の高い事後保全の評価と比較検討するとともに、若干の考察を行ってみる。

本作業報告の調査期間の半年間を含む2年間(1970年10月~1972年9月)においてほぼ同じ調査対象船64隻から故障報告4,778件を得ている。

その間の延べ航進時間は約 58×10^4 [HR]であり、こ

の報告書からディーゼル船・タービン船について、前述の λ 、 η 、 mh 、 MI を各々求めた結果を表7の最右欄に示す。その結果は、全体で各々16.6[件/1,000 HR]、84.4(%)、6.93[MH/件]、115(MH/1,000 HR)という値になり、準修理作業を初めとする3作業の値と比べて、作業レベルの高さを証明していると考えられている。

表の左側は、点検・整備・準修理各作業の $(\eta_i, \lambda_i, mh_i, MI_i)_{i=1 \sim 3} / \eta_4, \lambda_4, mh_4, MI_4$ の比を求めたものである。調査対象船全体でこれらの対比を検討すると、作業の発生は、 $\lambda_4=1$ とすれば、 $\lambda_3, \lambda_2, \lambda_1$ の比は9.4、56.4、7.6という数値から、事後保全である修理作業1件に対し、点検・準修理作業の場合、大略10倍、整備作業は60倍の作業を行っている。また、平均作業工数 mh_4 に対する比は、 mh_3, mh_2, mh_1 が各々0.28、0.16、0.15で、4~7分の1と非常に低くなる。この結果、配員指数の比では、点検作業の指数とは大差ないが、準修理・整備作業とでは、各々2.6、8.9倍と両作業が高くなっている。

これら評価指数の修理作業との比がどのような値になるかをディーゼル主機形式別、タービン船の各グループごとにまとめたのが表7に示した数値である。その詳細は別の機会に発表する予定であるが、ここでは、故障報告の修理作業(事後保全)と作業報告の準修理作業並びに整備作業(警戒保全並びに予防保全)との比較が明らかにされたことを強調したい。

ここで、上記作業を既に知られている保全の分類定義にあてはめると次のようになると考えられる。

信頼性用語 JIS Z 8115⁹⁾の定義では、予防保全(preventive maintenance)「決まった手順により、計画的に検査、試験、再調整を行い、使用中での故障を未然に防止するために行う保全」、事後保全(corrective maintenance)「系・機器または部品に故障が発生したのちに行う保全」となっており、両保全の特質を考えると、点検・整備作業は前者の計画的・定期的な内容を持ち、修理作業は後者の偶発的な内容を持つことから、それぞれ予防及び事後保全という特質を持つ作業とみなせるが、準修理作業は、前述したような定義をしているが、その性質を考えると、マイナーに至る前の小さな故障の修理作業や機能回復のための整理的作業の一部も含まれることなどから、事後保全と予防保全の中間的性質を持つものと考えられる。つまり、文献(3)の precautionary maintenance(警戒保全)「製品の定期的な調整操作、但し、これは特定

表7 機関部故障報告と同作業報告の保全作業内容比較

(船内補修率, 発生率, 平均補修工数, 配員指数)

作業内容 船種(隻)	航進*1 時間 (Hr)	作業報告*1				故障報告*1	
		点検作業*3	整備作業*3	準修理作業*3	修理作業*2		
A ₁ (7/9)	1,209 8,644	121, 133 0.103, 137	109, 991 0.156, 154	107, 157 0.180, 283	78.8, 536 21.4, 114.9		
A ₂ (1)	1,703 9,072	109, 387 0.200, 078	0.88, 362 0.264, 957	0.64, 782 0.298, 234	92.1, 893 13.2, 117.6		
A ₃ (4)	1,867 9,123	1.18, 806 0.236, 191	1.44, 893 0.233, 208	1.05, 7.61 0.296, 2.25	85.1, 485 12.1, 58.7		
A ₄ (1)	1,544 7,576	1.47, 139 0.09, 1.28	1.14, 111.1 0.123, 136	1.17, 120 0.152, 1.82	68.0, 449 18.6, 83.6		
B ₁ (12/13)	1,727 8,480	1.09, 835 0.097, 0.81	1.08, 60.4 0.140, 8.46	0.98, 11.7 0.306, 3.57	89.6, 7.35 22.1, 162.7		
B ₂ (7)	2,216 9,347	1.11, 108 0.105, 1.13	1.10, 60.6 0.132, 8.00	0.99, 8.51 0.170, 1.45	89.3, 6.25 19.6, 122.8		
C ₁ (4)	2,460 11,739	1.22, 11.2 0.115, 1.30	0.96, 67.6 0.123, 8.41	0.94, 12.4 0.203, 2.53	79.3, 5.49 16.2, 88.7		
C ₂ (3)	2,088 9,808	1.11, 9.91 0.196, 1.94	1.09, 72.5 0.220, 16.0	1.05, 7.06 0.340, 2.40	90.2, 4.69 12.9, 60.5		
C ₃ (1)	1,438 9,109	1.80, 11.5 0.185, 2.13	1.15, 87.5 0.092, 8.0	0.91, 8.12 0.266, 2.15	84.8, 8.56 13.1, 112.5		
C ₄ (2)	2,017 10,228	0.93, 11.6 0.274, 3.18	1.05, 81.8 0.230, 18.7	1.08, 11.5 0.296, 3.33	92.3, 4.06 10.8, 43.8		
D ₁ (4)	1,294 7,175	1.08, 3.57 0.332, 1.18	0.99, 43.6 0.197, 8.58	1.01, 9.83 0.205, 1.86	90.6, 7.84 12.9, 101.2		
D ₂ (2)	1,804 9,286	1.01, 8.85 0.189, 1.67	0.95, 146.1 0.168, 24.4	0.95, 21.6 0.159, 3.36	96.1, 2.69 16.5, 44.5		
小計 (48/51)	1,787 9,022 (85,774) (460,144)	1.13, 9.42 0.125, 1.18	1.06, 69.2 0.150, 10.4	0.98, 10.6 0.250, 2.64	86.3, 6.00 18.3, 110.0		
T (9/13)	2,512 9,409 22,608 (122,318)	1.19, 3.52 0.246, 0.86	1.10, 28.8 0.148, 4.25	1.03, 6.86 0.384, 2.62	80.6, 10.4 13.0, 135.5		
合計 (57/64)	1,901 9,101 (108,382) (582,457)	1.15, 7.55 0.146, 1.10	1.08, 56.4 0.158, 8.91	1.01, 9.39 0.281, 2.64	84.4, 6.93 16.6, 114.9		

- *1: 上段; 作業報告(調査期間 1971.10~1972.3) *2: 欄内;
下段; 故障報告(調査期間 1970.10~1972.10)
(); 全船の延航進時間を示す。
*3: 数値は, 故障報告の修理作業の各評価指数(*2)
に対する比を示す。

船内補修率, 発生率
平均補修工数, 配員指数

の仕様もしくは計画に従うことなく, 製品動作中の故障や劣化の確率を防止もしくは減少させる目的で行う」と定義される範ちゅうにも含まれるものと考え。従って, 機関部に発生した作業を正確に作業報告書, 故障報告書に分類して記入するには, 定義を明白にすると同時に, 経験その他をも有しなくてはならないものであろう。

最後に商船の例ではないが, ディーゼル機関の保守整備管理について, 故障に対する修理および整備作業の実態調査をしたデータ⁷⁾と比較してみる。この文献は, 2隻ではあるが極めて長い期間に発生した延べ8,000件近い修理, 整備を多くの資料から総合的にまとめたものである。それには, 1,000〔HR〕当りの修理および整備作業の発生率 λ は, 各々5~12件および30~80件であることが明らかにされている。

この文献における修理作業は, 表7に示す λ_i の平均値および12種類のディーゼル船の範囲とほぼ一致した発

生率であるが整備作業の発生率は, 表6の λ_0 のそれらに近いことから, この文献でいう整備作業は, 警戒保全に近い準修理作業と考えることが出来る。

この事実は, 各々の保守管理グループによって各作業の定義・内容または境界が違っていることを物語っている。ただこの文献では, 各々の作業工数が示されていないので断定しにくい, 乗組員による加修ならびに整備比率(船内補修率 η に相当するものと考えられる)が各々80, 85〔%〕に近い値になることが報告されており, この値が表5に示すように整備作業よりも準修理に近いことから上述のことが裏付けられる。

なお, 今回の作業報告書における準修理作業の警戒保全をシステム, 機器の準故障として信頼度を測るならば, λ_3/λ_4 の比が約10倍である事実は, 著者らが今まで発表してきた信頼度は, 約1桁ほど悪くして再評価する必要があるのではないかと考えられる。

以上, 保全レベルに応じた信頼度・保全性評価を明らかにしたが, ここで修理作業のフィールドデータの作成に当たって重要なことは, 正確な内容を記述することだけでなく, その作業内容が創意工夫に富むかどうかを取上げることではないだろうか。もっと具体的に表現すれば, インストラクションに無い新しい作業方法・過程などをknow-howとして確立させるべきであると考えられる。

故障の低下に繋がるだけでなく, 事後保全→警戒保全→予防保全という作業レベルの向上にも寄与することが期待される。

6. おわりに

以上, 機関部作業報告を中心にその集計方法と結果をマクロ的観点から明らかにしたが, 次のような事項が船用機器の信頼性・保全評価について得られた。

- (1) 船内作業のうち, 整備・準修理作業で作業工数量の約60〔%〕を占め, ディーゼル船では, 整備作業の工数が半分の50〔%〕を占め, タービン船では, それが40〔%〕になり, その割合だけ準修理作業の工数が増加する。
- (2) 点検・掃除・管理運用の各作業工数割合は, 6:13:20〔%〕で, ディーゼル船・タービン船の差異は認められなかった。
- (3) 作業報告と故障報告とを対比させた結果, 故障報

告の緊急度の高い事後保全作業の周辺には、約10倍の準修理・点検作業と約100倍の整備作業の件数が発生している（発生率の比較）。

（4）各作業における単位件数当りの平均補修工数では、整備、準修理、修理の工数は、1:2:10となり、故障時の修理作業が最も大きくなる（平均補修工数の比較）。

（5）しかし、航進時間1,000時間当りの補修工数である配員指数は、修理作業の単位作業工数に対し、同程度の点検・掃除作業、約1.5倍の管理運用作業、約4倍の準修理作業、約10倍の整備作業があるまたは必要であることが明らかになった（配員指数の比較）。

今回の、機関部作業報告についてわずか半年間という短期間の調査結果の概要を報告したが、船内における予防保全について分析し、機関部故障報告の事後保全との関係を明らかにすることができた。しかし、各々の分析結果に対する検討は十分でなく、しかも所期の目的には、ほど遠い状態にある。今後は、更に長期間にわたるフィールドデータの集計から、詳細な解析および反省点が発表できると考える。

最後に、機関部作業報告の記入と作成、整理にあたられた各船機関長・機関士、計算機処理に多大なご尽力をいただいた小西・仁科・安藤諸氏を初めとする情報システム室の方々並びに終始ご指導と助言をいただいた石塚氏（以上、日本郵船）および助教授（大阪大）に謝意を表します。

文 献

- 1) 橋本, 石塚; 日本船用機関学会誌, Vol.6, No.10, 71, 715/735
- 2) 橋本, 石塚, 稗島; 電子通信学会信頼性研究会資料, 資料番号; R 74-10, 08-'74, 9/22
- 3) カラプロ, 高木監修; 信頼性概論, 日科技連, '65
- 4) 坪内, 市田; 信頼性設計, 丸善設計工学シリーズ, 3, 71, p266
- 5) 橋本, 村山, 稗島, 石塚; 第6回日科技連信頼・保全性シンポジウム, Sess, V-3, 6, '76, 339/346
- 6) 日本能率協会, JISハンドブック品質管理, 1971
- 7) 鶴岡 武, 田村彰久; 日本船用機関学会誌, Vol.8, No.1, '73, 26/32