

## 船体および推進器の汚損が推進性能に与える影響

松山 晃, 西矢 豊就, 荒木 猛, 今田 忠志

### Studies on Propulsive Performance by Marine Fouling of Ship-hull and Propeller

Akira MATSUYAMA, Toyonari NISHIYA, Takeshi ARAKI and Tadashi IMADA

While the oil resources have become 60% among the overall cost, the propulsive energy which is used to rotate the propeller have been consumed as the about 32% against total shaft horse power which is made in the marine main engine. We consider that the using fuel oil must be the saving of the energy converting from the thermal calorific fuel oil energy to the rotating energy of propeller.

So, here we quantitatively clarified for saving energy of main engine of T/V Kakuyo—Maru during 1990 to 1998. Due to advancing of the marine fouling animals of the hull bottom and the propeller blades, the propulsive coefficient have been deteriorated.

In this study, it is recognized that fuel consumption value increases up until 22.24% and SM increases large up until 9.4 ~ 16.4% for the second half-year of each year.

**Key words:** 機関軸馬力 shaft horse power of main engine 燃料消費率 specific fuel oil consumption  
船体速度 ship speed アドミラルティ係数 admiralty coefficient

#### 1. はじめに

日本は中東の石油資源への依存度があまりにも高いので、中東の政情が逼迫した1970年代に、二度の石油ショックを経験した。今後10年以内に再び石油危機が起こる可能性はかなり高いと言われる。他方、エネルギー問題は地球温暖化問題に密接にかかわるので、エネルギーの効率的な利用や無駄を省くなど、省エネ・需要抑制に重点を置いた明確な戦略が要求される。

97年12月、気候変動枠組み条約第3回締約国会議(COP3)が開催された。そこで日本は二酸化炭素(以下CO<sub>2</sub>とする)排出量を2010年までに6%削減することになった。政府はエネルギー使用のより一層の合理化を目指し、省エネルギー法の改正を実施したところである。大気汚染物質の内、船舶から排出されるCO<sub>2</sub>についてみると、3421(万吨/年)で、日本国内全体の排出量の3%になる。<sup>1)</sup>この数値は日本沿岸200海里以内を航行する船舶のことであって、地球規模では看過できない排出量になる。

長崎大学水産学部練習船鶴洋丸は、75年の竣工以来90年度まで、年間4月と9月との2回入渠して、主機関を含む推進装置の保守整備および船体、プロペラの清浄と再塗装を実施してきた。しかしながら、年々塗料が改良されて塗膜寿命も延び、かつ運行費節約の一環として91年度以後は9月の入渠を取り止めた。その結果推進系にかかわる運転諸元の値は変化してきている。特に燃焼系の運転諸元の値の変化に伴って、大気汚染物質の内CO<sub>2</sub>排出量がどのように変化してきたかは新たに認識すべき事項である。

90年度以前の機関特性および推進性能については前報<sup>2)</sup>に

述べた。91年度以降の各年度前半、すなわち4~9月期間(以下 期とする)の運転諸元値は前報<sup>2)</sup>で報告した範囲内にはほぼ納まっている。一方、各年度後半、すなわち10~翌年3月期間(以下 期とする)は、船体とプロペラとの汚損に基づいた推進性能の低下から、推進動力は明らかに増加した。ディーゼル機関が利点としてきた低燃費、高熱効率などが額面通り生かされているだろうか、必ずしもそうとは言えない状況がある。

本船の主機関は平均寿命を超えた。そこで今回、推進系運転諸元の変動を調査してみた。9月の入渠を実施していた90年度と中止した96~98年度との4年間に互る 期の推進系諸元の値を比較し、それらの関係々を解析したのでその結果を報告する。

#### 2. 資料

本報告に用いた本船の主たる諸元は前報<sup>3)</sup>に報告した。

船舶の機関操縦日誌(エンジンログブック)は、主機関および推進装置の運転諸元の値を、4時間単位で計測、計算し記録したものである。したがって、多くの変数を有する推進装置の就航時系列性能を的確に把握するためには、最も有効な情報源と言える。本船は毎年同じような航路および日程で航行している。本報告の資料はエンジンログブックの記録の中から、各年度の ~ 期について、それぞれ約40点を抽出した。また、資料からは系統誤差を極力排除した。そのため、船体および主機関の運転状態が安定し、しかも通常の航海速度の12.5kt前後の範囲にあるデータの抽出に努めた。そして、プロペラピッチ角度 $\theta_p$ ( $^{\circ}$ ), プロペラ回転数 $N_p$ (rpm), プ

ロペラ回転比 $R_p$  { =  $(N_p / N_{po})^3 \times 100$ ,  $N_{po}$ はプロペラの定格回転数で265.5rpm } (%), 船体速力 $V$  (kt), 燃料消費量 $G$  (kg/h), 軸馬力 $N_e$  (ps), 馬力当たりの燃料消費率 $be$  (g/ps · h), 見かけのスリップ率 $S$  (%), 排水量 (ton), およびトルク比 $R_t$  (%) について, それぞれ単位当たりの換算と平均化した値を資料とした。その方法は前報<sup>2)</sup>に述べた。その他下記(1) ~ (5)の項目を換算および平均化し資料とした。  
 (1) 海里当たりの燃料消費率 $G_{nm}$  (kg/nm) (以下 $G_{nm}$ とする) 一海里を航走するのに要する燃料の消費率で, その時の燃料消費量と船体速力とに基づいた換算値によつ

た。  
 (2) アドミラルティ係数 $C_{adm}$ <sup>4)</sup> (以下 $C_{adm}$ とする) 一般に $C_{adm}$ は次式のように表される。  
 $C_{adm} = (2^3 V^3) / N_e$  (1)  
 式(1)に基づいた換算値によつた。  
 (3) 燃料消費係数 $V^3/G$  (以下 $V^3/G$ とする) 船体速力と燃料消費量に基づいた換算値によつた。  
 (4) 燃料低位発熱量 $H_u$  (kcal/kg) (以下 $H_u$ とする) 燃料の比重と温度とに基づいた換算値によつた。  
 (5) 正味熱効率 $\eta_e$  (%) <sup>5)</sup> (以下 $\eta_e$ とする)

Table1-1. Mean and range of sampling data of Engine Log-Book from 1990 to 1998

		$\theta_p$	$N_p$	$V$	$N_e$	$S$	$\Delta$	$G$
		(°)	(rpm)	(kt)	(ps)	(%)	(ton)	(kg/h)
1990	mean	16.60	255.88	12.633	1582.17	18.3853	1631.4763	270.0533
	① range	15.2	250.00	12.00	1124	0.34	1465.64	196.8
		~17.2	~259.00	~13.24	~1880	~20.89	~1783.18	~317.2
	mean	16.71	256.36	12.8295	1388.63	17.8763	1675.1253	239.6526
② range	15.1	249.93	11.64	1093	14.31	1584.79	191.9	
	~17.0	~260.00	~13.25	~1536	~20.91	~1779.52	~263.3	
1996	mean	15.90	254.72	13.2338	1593.10	10.1065	1691.3430	272.3950
	① range	14.8	250.00	11.88	1278	3.66	1552.70	221.5
		~16.6	~259.74	~14.02	~1808	~14.08	~1791.16	~305.5
	mean	15.87	254.33	12.7321	1751.50	13.1804	1697.7315	296.7196
② range	14.7	244.90	11.85	1333	7.06	1467.56	230.8	
	~16.6	~260.87	~13.86	~2013	~18.91	~1821.65	~338.2	
1997	mean	15.52	254.72	13.1212	1539.34	8.5929	1679.04	263.0951
	① range	14.6	248.96	12.10	1202	4.07	1451.49	248.7
		~16.6	~259.74	~14.07	~1865	~11.88	~1825.44	~316.9
	mean	15.43	252.38	12.6637	1627.09	10.4821	1701.29	277.4605
② range	15.0	247.93	11.49	1445	6.09	1495.18	248.7	
	~16.3	~256.41	~13.56	~1880	~16.18	~1827.16	~316.9	
1998	mean	15.26	253.32	13.0431	1590.53	7.0489	1655.7564	271.7156
	① range	14.7	245.90	12.45	1378	0.5	1549.60	238.0
		~16.1	~258.62	~13.91	~1730	~10.6	~1800.50	~293.8
	mean	15.30	253.62	12.6531	1664.65	10.2	1644.8416	283.0667
② range	14.9	248.96	11.90	1476	7.51	1462.65	252.3	
	~16.2	~259.74	~13.41	~1892	~13.91	~1821.65	~318.7	

Remarks: Throughout the table 1, ① are for the first half of year; 4~9 month and ② are for the second half of year; 10 ~3 month of next year.

$\theta_p$  : Propeller pitch angle (deg.)       $N_p$  : Revolution of propeller (rpm)  
 $V$  : Ship speed (kt)       $N_e$  : Shaft horse power (ps)  
 $S$  : Propeller slip (%)       $\Delta$  : Displacement (ton)  
 $G$  : Fuel oil consumption (kg/h)

一般に $\eta_e$ は次式のように表される。

$$\eta_e = (632 \times 10^3) / (Hu \text{ be}) \quad (2)$$

式(2)に基づいた換算値によった。

### 3. 結果および考察

運転諸元の資料の平均値とそれらの変動範囲とをTable1-1およびTable1-2に、また、それらの経時変化をFig.1に示した。Fig.1の横軸は主機関の運転日数を示す。

運転諸元の $N_p$ ,  $V$ ,  $N_e$ ,  $S$ ,  $R_t$ ,  $C_{adm}$ ,  $V^3/G$ および $\eta_e$ の相互間の関

係をFig.2~7にそれぞれ示した。

#### 3.1 運転概況

Table1-1, Table1-2およびFig.1から、 $\theta_r$ の ~ 期の平均値は90年度より96~98年度が約1°小さい。また、 $N_p$ の平均値の 期は90年度より96~98年度が約3rpm小さい。その結果、96~98年度の $V$ の平均値は 期より 期が約0.5kt低速になる。

$S$ の90年度の平均値は ~ 期に亘り約18%で変動幅は小さい。また96~98年度の 期が 期より31.51%大きくなる。

Table1-2. Mean and range of sampling data of Engine Log-Book from 1990 to 1998

		be	$R_t$	$C_{na}$	$C_{adm}$	$V^3/G$	$\eta_e$
		(kg/ps-h)	(%)	(kg/nm)			(%)
1990	mean	170.8074	63.04	21.3727	178.31	7.5190	36.25
	① range	168.673	47.08	16.40	147.81	6.60	35.37
		~175.140	~72.65	~23.29	~223.80	~8.89	~36.71
②	mean	172.6397	55.05	18.6734	214.94	8.8325	35.92
	range	171.361	47.94	16.49	180.70	7.58	35.30
		~175.615	~60.90	~20.91	~231.15	~9.72	~36.18
1996	mean	170.7208	64.40	20.5740	207.6208	8.5509	36.28
	① range	168.977	52.87	17.59	158.77	6.64	35.71
		~173.245	~71.71	~23.07	~235.76	~9.77	~36.61
②	mean	169.6352	71.09	23.3072	168.5521	6.9916	36.51
	range	167.770	60.66	19.04	134.80	5.71	35.82
		~173.099	~79.87	~26.94	~199.92	~8.31	~36.90
1997	mean	171.0935	62.14	20.0172	208.7515	8.6472	36.18
	① range	168.630	48.27	16.28	173.68	7.07	35.56
		~174.126	~73.23	~23.44	~250.27	~10.16	~36.70
②	mean	170.5628	67.63	21.9121	178.2846	7.3410	36.32
	range	168.617	60.28	19.66	145.69	5.19	36.03
		~172.058	~76.46	~25.41	~193.09	~8.14	~36.72
1998	mean	170.8838	65.41	20.8592	199.0879	8.2164	36.27
	① range	169.712	56.77	17.75	158.88	6.58	35.91
		~172.636	~71.06	~23.60	~259.96	~10.53	~36.50
②	mean	170.1046	68.03	22.2915	172.5280	7.1841	36.39
	range	168.254	61.57	18.23	132.66	5.95	36.07
		~171.701	~75.19	~24.68	~199.34	~8.08	~36.73

b<sub>e</sub> : Specific fuel oil consumption (g/ps/h)

$R_t$  : Torque ratio (%)

$C_{na}$  : Fuel oil consumption in nautical mile (kg/nm)

$C_{adm}$  : Admiralty coefficient

$V^3/G$  : Fuel oil consumption coefficient

$\eta_e$  : Net thermal efficiency (%)

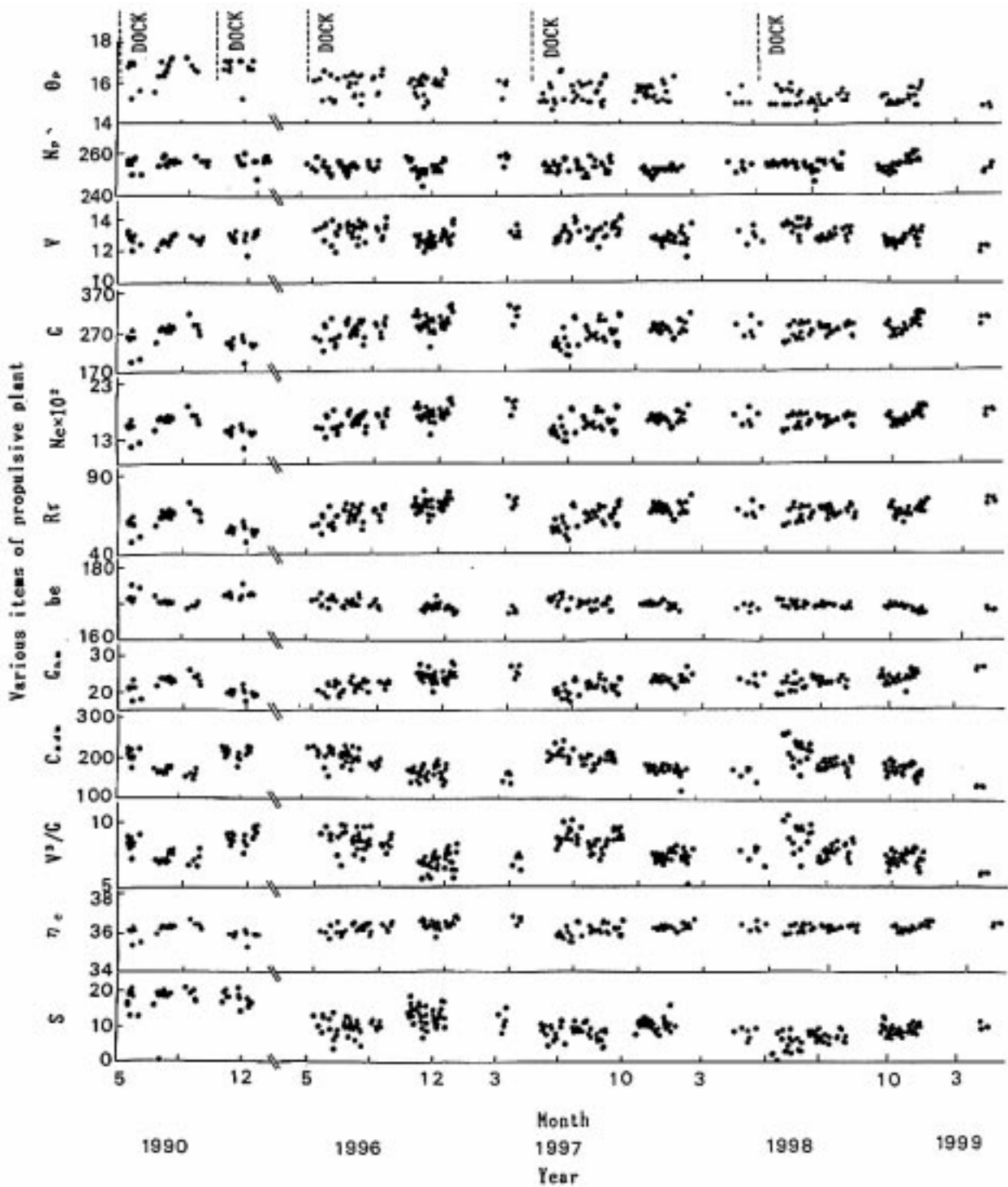


Fig. 1 Fluctuations of various items of propulsive plant, i. e.,  $\theta_p$ ,  $N_p$ ,  $V$ ,  $G$ ,  $Ne$ ,  $R_r$ ,  $be$ ,  $G_{adm}$ ,  $C_{adm}$ ,  $V^3/G$ ,  $\eta_e$ ,  $S$ , and runnig hours of main engine in T/V Kakuyo-Maruru from 1990 to 1998.

Note : Unit and symbols in this Fig.1 are same in Table 1-1, 2.

90年度の $G$ ,  $Ne$ および $R_r$ 等の平均値は 期が 期より大きい。しかしながら96~98年度では, 反対に全年度に亘って 期が 期より大きくなる。その結果, 90年度の $C_{adm}$ および $V^3/G$ の平均値は 期が 期より大きい。また, 96~98年度では各年度共 期が 期より大きくなる。一方, 90年度の 期の $C_{adm}$ 初期値は, 期の初期値まで回帰するが, 96~98年度

のそれらは回帰していない。船体およびプロペラの汚損に基づく推進係数<sup>6)</sup>(以下 $\eta_{pc}$ とする)の低下によるものである。

$be$ および $\eta_e$ は各年度の ~ 期に亘って変動幅は小さい。すなわち $\eta_{pc}$ が $be$ および $\eta_e$ に与える影響は小さく, 線函係数および機械効率が良かったと言える。<sup>7)</sup>

3.2 軸馬力

一般に $N_e$ と $N_p$ との間の関係は $N_e \propto N_p^3$ である。<sup>8)</sup>また、前述したように $R_p \propto N_p^3$ である。したがって、今回の調査で、各年度の $N_e$ と $R_p$ との間の回帰式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} N_e &= (3.7786R_p - 2.0275) \times 10^3 && 90 \\ N_e &= (2.4542R_p - 0.4194) \times 10^3 && 96 \\ N_e &= (2.5434R_p - 0.5884) \times 10^3 && 97 \\ N_e &= (2.5291R_p - 0.5748) \times 10^3 && 98 \end{aligned} \right\} (3)$$

横軸に $R_p$ をとり $N_e$ との関係式(3)をFig.2に示した。主機関の負荷作動線、すなわち $R_p$ に対する $N_e$ の傾きは、90年度が96~98年度より大きい。他方、全年度の期における $N_p$ の平均値254.17rpmにおいて、 $N_e$ は90年度が1287.70psであるのに対し、96~98年度の平均値は1673.70psとなる。すなわち狭義のシーマージン(以下SMとする)は90年度に対し96~98年度が29.98%増加する。

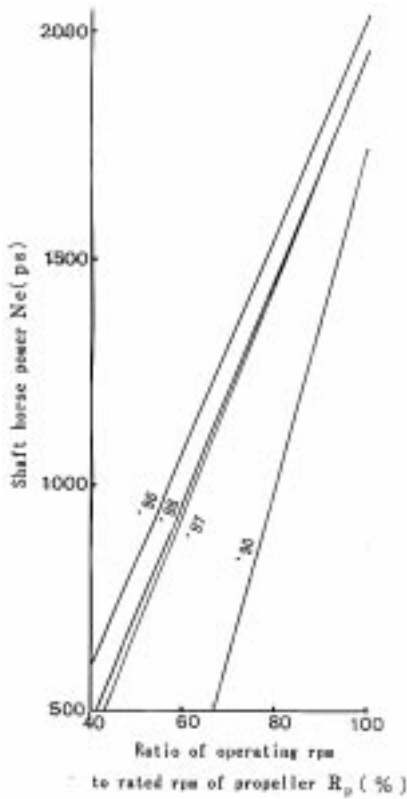


Fig. 2 Interrelation between ratio of operating rpm to rated rpm of propeller  $R_p$  (%) and shaft horse power  $N_e$  (ps) from 1990 to 1998.

その結果、主機関の運転位置は90年度より96~98年度が大きくトルクリッチゾーンに寄る。このことは船体およびプロペラの汚損に伴って $N_e$ が増加したことを如実に示している。

一方、 $V$ と $N_p$ との間には $V \propto N_p$ の関係があり $N_e \propto V^3$ が成り立つ。<sup>8)</sup>各年度の $N_e$ と $V$ との間の回帰式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} N_e &= 0.7263V^3 && 90 \\ N_e &= 0.8469V^3 && 96 \\ N_e &= 0.7906V^3 && 97 \\ N_e &= 0.7984V^3 && 98 \end{aligned} \right\} (4)$$

$N_e$ と $V$ との間の関係式(4)を、横軸に $V$ をとりFig.3に示

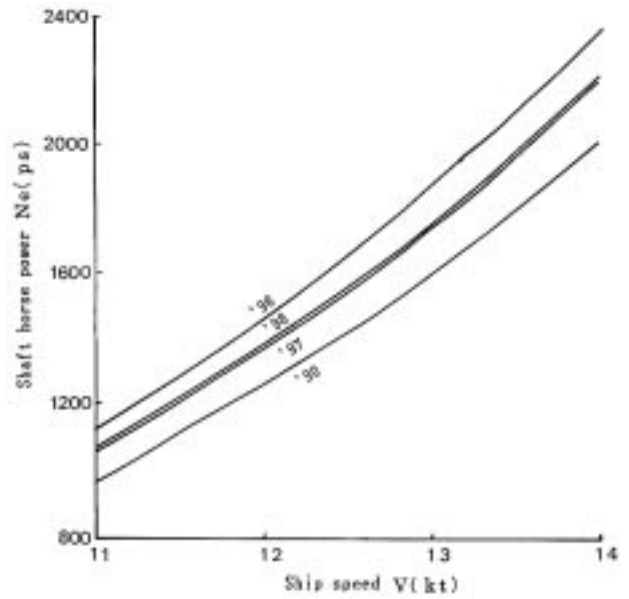


Fig. 3 Interrelation between ship speed  $V$  (kt) and shaft horse power  $N_e$  (ps) from 1990 to 1998.

した。通常の航海速度12.5ktにおいてFig.3の90年度の $N_e$ に対する96年度および97~98年度のSMはそれぞれ16.6および9.4%増加する。通常SMは2~3%の増加<sup>9)</sup>であるが、これは船体およびプロペラの汚損に伴って $N_e$ が大幅に増加したことを示す。

3.3 燃料消費量

主機関の $G$ および $N_e$ と $V$ との関係は、理論的に $G \propto N_e V^3$ である。<sup>8)</sup>今回の調査で、各年度の $G$ と $V$ との間の回帰式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} G &= 4.5998V^{1.5487} && 90 \\ G &= 29.1859V^{0.9107} && 96 \\ G &= 31.0861V^{0.8616} && 97 \\ G &= 29.3742V^{0.8921} && 98 \end{aligned} \right\} (5)$$

一般に $V$ のべき指数は3であるのに対し、式(5)はいずれも小さい。これは主機関の運転範囲が低負荷域にあり、 $b_e$ の対負荷変動が低負荷率の運転範囲で非常に大きく、その結果、 $V$ のべき指数が小さくなるためである。<sup>10)</sup>

$G$ と $V$ との間の関係式(5)を、横軸に $V$ をとってFig.4に示した。 $G$ はFig.3の $V$ に対応した $N_e$ と同一の変動をしている。通常航海速度12.5ktにおいて、 $G$ の平均値は90年度に対し96~98年度が22.48%増加する。3.2で述べたように、船体およびプロペラの汚損に伴って $G$ が確実に大きく増加することを示している。また、その結果推進装置の運転モードにしたがい主機関の運転位置が燃料消費量を増加させる方向に移動すれば、大気汚染物質の内、 $CO_2$ 、窒素酸化物( $NO_x$ )などの排出量は比例的に増加する。

一般にディーゼル機関の $N_e$  (ps) は次式<sup>11)</sup>で表される。

$$N_e = P_e \cdot n \quad (6)$$

ここに $P_e$ : 正味平均有効圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$n$ : 回転数 (rpm)

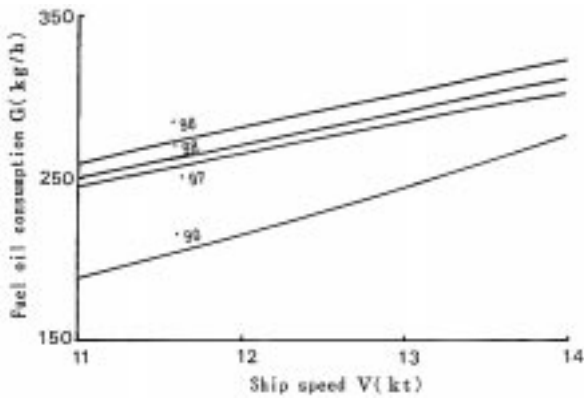


Fig. 4 Interrelation between ship speed V (kt) and fuel oil consumption G (kg/h) from 1990 to 1998.

である。

前述の $N_e$ ,  $G$ および $n$ ,  $N_p$ ,  $V$ の関係から $V$ が一定の場合, 燃焼量 $G$ の増加に比例して $Pe$ は増加する。すなわち, ディーゼルサイクルの熱負荷は高くなる。しかしながら, その一方で $\eta_c$ は上昇していく。<sup>11)</sup>

各年度の $be$ と $N_e$ との間の回帰式は次のようになる。

$$\begin{aligned} be &= 2.9071 \times 10^2 N_e^{-0.0720} & 90 \\ be &= 2.9056 \times 10^2 N_e^{-0.0721} & 96 \\ be &= 3.0032 \times 10^2 N_e^{-0.0765} & 97 \\ be &= 3.0860 \times 10^2 N_e^{-0.0803} & 98 \end{aligned}$$

$be$ と $N_e$ との間の関係式(7)を, 横軸に $N_e$ をとってFig.5に示した。

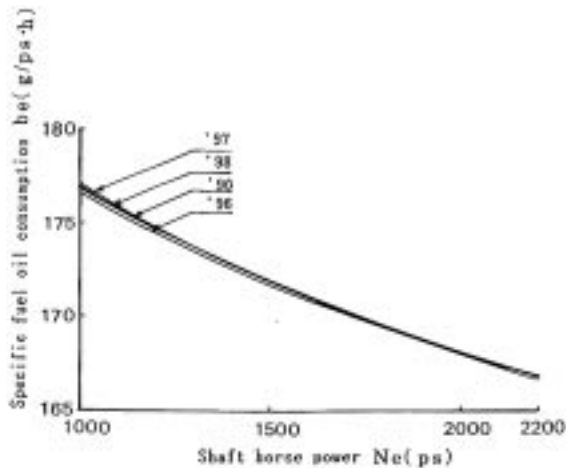


Fig. 5 Interrelation between shaft horse power  $N_e$  (ps) and specific fuel oil consumption  $be$  (g/ps-h) from 1990 to 1998.

96~98年度の期における $N_e$ の平均値1681.08psは90年度の $N_e$ のそれに対し21.06%増加している。その結果, 96~98年度の期の $be$ の平均値170.10g/ps・hは90年度の $be$ のそれに対し1.49%低下する。一方, Fig.5に示すように各年度の $be$ の値の差は非常に小さい。 $N_e$ と $be$ とはトレードオフの関係にあり,  $N_e$ を増減する運転要素が働くと,  $be$ はその方向と反対に低下ないしは上昇する。Fig.5において, 船体およびプロペラの汚損に伴う $be$ の変化はない。

また, 各年度の $\eta_c$ と $N_e$ との間の回帰式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \eta_c &= 1.9664 \times 10^{-5} N_e + 0.3319 & 90 \\ \eta_c &= 1.3870 \times 10^{-5} N_e + 0.3408 & 96 \\ \eta_c &= 1.5598 \times 10^{-5} N_e + 0.3378 & 97 \\ \eta_c &= 1.5800 \times 10^{-5} N_e + 0.3376 & 98 \end{aligned}$$

$N_e$ と $\eta_c$ との間の関係式(8)を, 横軸に $N_e$ をとってFig.6に示した。

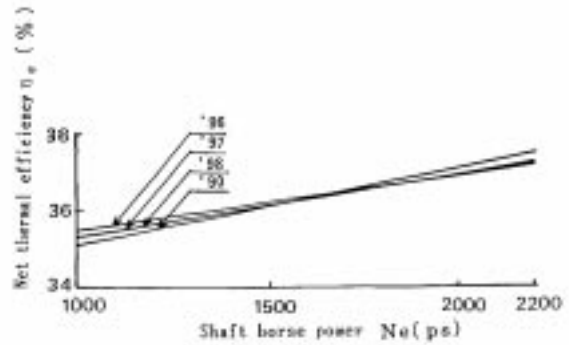


Fig. 6 Interrelation between shaft horse power  $N_e$  (ps) and net thermal efficiency  $\eta_c$  (%) from 1990 to 1998.

今回調査の燃料の比重変動幅は0.8400~0.8605と小さい。したがって, 式(2)の $H_u$ はほぼ一定とみなせる。一般に,  $N_e$ が減少すると $be$ は大きくなる。したがって,  $\eta_c$ は $N_e$ の減少と共に小さくなる。すなわち, ディーゼル機関の熱効率は悪化していく。各年度の期における $N_e$ の平均値1607.971psに対する $\eta_c$ は, 式(8)から, それぞれ, 36.35, 36.31, 36.29および36.30%となる。すなわち高い効率を維持している。<sup>12)</sup> 前述したように, これは全年度期の $be$ の値の差が非常に小さくなっているためと言える。

### 3.4 アドミラルティ係数

一般に船舶は推進し易さを計るパラメータの一つに $C_{adm}$ を利用する。 $C_{adm}$ は船体およびプロペラの汚損に伴う抵抗の増加と共に低下していくからである。

また, 90年度期における $C_{adm}$ の平均値214.94に対し96~98年度のそれらは19.46%低下している。すなわち, 96~98年度の期になると $\eta_{pc}$ が悪化したと言える。

Table1-1およびTable1-2から今回調査したは全年度を通じ変動が小さい。式(1)の項を一定としたアドミラルティ係数相当の $V^3/G$ の平均値は90年度期の8.8325に対し96~98年度のそれらは18.80%低下する。また, Fig.1によると,  $V^3/G$ は $C_{adm}$ の経時変化と非常によく合致した変化をする。したがって,  $V^3/G$ は簡便な $C_{adm}$ となり, その使用例もある。<sup>13)</sup>

### 3.5 船体速力

$V$ と $N_p$ との関係については既に述べた。<sup>8)</sup> 今回の調査でこれらが比例する範囲なら, 各年度の間の回帰式は次のようになる。

$$\begin{aligned} V &= 12.32 \times 10^{-2} N_p - 18.75 & 90 \\ V &= 6.02 \times 10^{-2} N_p - 2.58 & 96 \\ V &= 9.46 \times 10^{-2} N_p - 11.21 & 97 \\ V &= 8.36 \times 10^{-2} N_p - 8.56 & 98 \end{aligned}$$

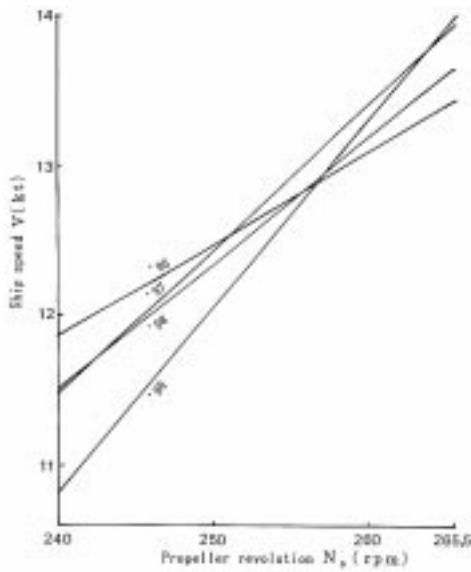


Fig. 7 Interrelation between propeller revolution  $N_p$  (rpm) and ship speed  $V$  (kt) from 1990 to 1998.

$V$ と $N_p$ との関係式(9)を、横軸に $N_p$ をとりFig.7に示した。

式(9)から通常航海速度12.5ktにおける各年度の $N_p$ は、それぞれ、253.68, 250.47, 250.65および251.79rpmになる。90年度は96~98年度のいずれよりも大きい。また、3.1で述べたように、 $\theta_p$ の平均値は90年度が96~98年度より $1^\circ$ 大きい。したがって、90年度のプロペラの単独効率は低下する<sup>14)</sup>ので $\eta_{pc}$ も低下する筈である。しかしながら、全年度の期の $N_p$ の平均値に対応する $V$ のそれらは90年度に対し

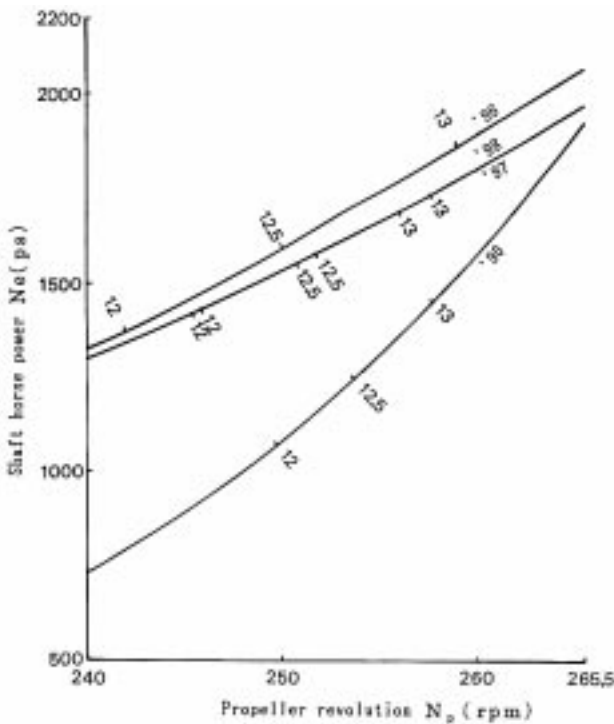


Fig. 8 Interrelation between propeller revolution  $N_p$  (rpm) and shaft horse power  $N_e$  (ps) from 1990 to 1998.

96~98年度が1.14%低下する。すなわち前報<sup>8)</sup>で述べたように $\eta_{pc}$ に与える影響は $N_p$ より $\theta_p$ の方が大であると言える。

各年度の期の $N_e$ と $N_p$ との間を、横軸に $N_p$ をとりFig.8に示した。そして、 $V$ が通常航海速度を含む12.0, 12.5および13.0ktに相当する運転点を、式(9)から換算して同図にプロットした。90年度の $V$ は96~98年度のそれらに対し、大きくトルクアップゾーンに寄っている。船体およびプロペラの汚損が後者に大きく影響したことを示している。また、前報<sup>6)</sup>に示した系統的な $V-N_p$ 特性曲線は得られない。すなわち、 $V$ および $N_p$ の変動に対する外乱因子は多かったと言える。

### 3.6 見掛けのスリッパ率

今回調査の $S$ と $N_p$ とが比例する範囲なら、これらの間の回帰式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} S &= 16.66 \times 10^{-2} N_p - 24.8297 & 90 \\ S &= 17.78 \times 10^{-2} N_p - 32.0306 & 96 \\ S &= 2.10 \times 10^{-2} N_p + 4.8623 & 97 \\ S &= 8.74 \times 10^{-2} N_p - 11.9776 & 98 \end{aligned} \right\} (10)$$

$S$ と $N_p$ との関係式(10)を、横軸に $N_p$ をとりFig.9に示した。 $S$ は、 $\theta_p$ ないしは $N_p$ が大きくなり $V$ が低下すると増加する。また、 $\theta_p$ ,  $V$ および $N_p$ の $S$ への寄与率はそれぞれ1/3程になり、とりわけ $\theta_p$ の影響が大きい。<sup>8)</sup> $S$ と $C_{adm}$ とはトレードオフの関係にあり、<sup>15)</sup>Fig.1によると90年度の期の $C_{adm}$ の平均値は96~98年度の期のそれらより大きいにもかかわらず $S$ は大きい。96~98年度に対する90年度の $\theta_p$ および $N_p$ は、それぞれ7.60および1.15%大きくなっている。その結果、96~98年度の $S$ は90年度のそれより58.37%増加したと思う。

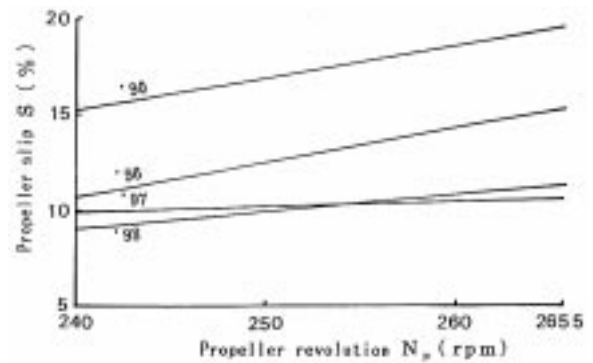


Fig. 9 Interrelation between propeller revolution  $N_p$  (rpm) and propeller slip  $S$  (%) from 1990 to 1998.

### 要 約

船体とプロペラとの汚損に基づいた $\eta_{pc}$ の低下から、主機関および推進装置の運転諸元の期の値は次のように変化したと言える。

1. 90年度に対し96~98年度の $\theta_p$ および $N_p$ は、それぞれ、 $1^\circ$ および3rpmだけ小さくなる。その結果90年度に対し96~98年度の $V$ は0.5kt低下する。
2. 90年度および96~98年度について、12.5ktに対応する $G$



の平均値は96~98年度が90年度より22.48%増加する。その結果 $N_p$ の平均値に対応する各年度の $N_e$ の平均値は29.98%増加する。また12.5ktに対応する $N_e$ のSMは全年度を通じて9.4~16.6%大きくなる。一方, $N_e$ が増加したため $b_e$ の平均値は,96~98年度が90年度より1.49%改善される。 $C_{adm}$ および $V^3/G$ の平均値は96~98年度が90年度より,それぞれ,19.46および18.80%低下する。また, $V^3/G$ の経時変化は $C_{adm}$ のそれと非常によく合致するので, $\eta_{pc}$ は $V^3/G$ により推定可能である。

3.  $V$ は $\theta_p$ および $N_p$ をパラメーターとする函数である。したがって, $\eta_{pc}$ の低下する期は大気汚染物質の排出量を抑制するため,SMの低減につながるオペレーションモードの選択が肝要になる。

おわりに本研究にご協力頂いた鶴洋丸機関部の諸氏に深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 平田 賢: 日本船用機関学会誌, 35 - 1, 13 (2000).
- 2) 西矢豊就外5名: 本誌, 68, 71 - 80 (1990).
- 3) 西矢豊就外2名: 本誌, 56, 34 - 42 (1984).
- 4) 大串雅信: 理論船舶工学 (下巻), 海文堂, 東京, 1981, 138.
- 5) 長尾不二夫: 内燃機関講義 (上巻), 養賢堂, 東京, 1961, 16.
- 6) 大串雅信: 理論船舶工学 (下巻), 海文堂, 東京, 1981, 175 - 179.
- 7) 永井 将・鈴木 暁: 日本船用機関学会誌, 17 - 12, 71 - 81 (1982).
- 8) 日笠純扶・西矢豊就: 水産大研報, 23 - 1, 31 - 46 (1974).
- 9) 松井利幸: マリンエンジニア, 444, 34 (1984).
- 10) 広田 実・永野重隆: 日本航海学会論文集, 70, 178 (1961).
- 11) 長尾不二夫: 内燃機関講義 (上巻), 養賢堂, 東京, 1961, 60 - 68.
- 12) 今井 清: 日本船用機関学会誌, 15 - 2, 11 (1980).
- 13) 松崎義一: 日本船用機関学会誌, 15 - 2, 80 - 83 (1980).
- 14) 関西造船協会: 造船設計便覧, 海文堂, 東京, 1976, 379 - 382.
- 15) 金子 仁: マリンエンジニア, 444, 37 - 47 (1984).