

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, 浪越 広¹, 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, Hiroshi NAMIKOSHI,
Toyonari NISHIYA, Takeshi ARAKI and Tadashi IMADA

This paper deals with the analyses of many complex variables, which θ_p (deg.) is propeller pitch angle; N_p (rpm), revolution of propeller; V (kt), ship speed; G (kg/h), fuel oil consumption; N_s (ps), shaft horse power and S (%), propeller slip, based on the service performance of Engine Log-Books of T/V Kakuyo-Marun, Faculty of Fisheries, Nagasaki University, from 1999 to 2001.

Following results were obtained.

1) V^3/G , fuel oil consumption coefficient was expressed by the following experimental formulae, where H (day) is running hour of main engine.

$$1999 : V^3/G = 15.2662H^{0.1692}$$

$$2000 : V^3/G = 11.8225H^{0.0870}$$

2) Due to advancing of the marine fouling animals of the hull bottom and the propeller blades, the propulsive coefficient C_{pc} (%) have been deteriorated, since SM increases large up and the presumptive G increases up until 40 ~ 50% at the end of year. We should select the most economic operation modes corresponding to the reduction of CO₂ emission which is discharged under various operating conditions of the propulsive plant of the vessel.

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

1. はじめに

21世紀を迎え、今後地球規模で課題となる事項の一つは環境問題だと云われている。特に海洋環境の保全は大変に重要である。国連は地球の温暖化が予想以上の速さで進んでいて、今世紀末までに気温が最高で6℃近く上がると警告している。その原因は石油や物を燃やして、大量に排出する二酸化炭素(以下CO₂とする)などの温室効果ガスによるものである。

船舶が海洋環境へ非常に大きな影響を及ぼしていることは明らかである。¹⁾²⁾船舶から排出されるCO₂の量については前報³⁾にも述べた。地球温暖化防止のため、有害排出ガスの大巾な低減が要求される。そのため、CO₂排出量は推進装置の運転モードに左右されるという実態の把握とCO₂低減のための多角的な対策、すなわち、環境に配慮した運転モードへと軸足を移すことが急務であると思われる。本船の省エネ型運転モードについては前報⁴⁾⁵⁾に述べた。

長崎大学水産学部練習船鶴洋丸は、運航総コストミニマムを目指して、1991年度から年度一回4月に入渠して船体、機関等々の受検と保守整備とを施行する体制をとってきた。本船の竣工以来1975~1998年度(以下75~98年度とする)に亘

る推進機関特性および推進性能については、各年度前半、すなわち4~9月期間(以下前期とする)と各年度後半、すなわち10~翌年3月期間(以下後期とする)との相違を、対比に基づいて、それぞれ前報³⁾⁶⁾に述べた。その結果、燃料消費係数(以下 V^3/G とする)は、一般に船舶が推進性能の良否を決定する指標の一つに採用しているアドミラルティ係数(以下 C_{adm} とする)を非常に良くフォローアップすることが分かった。今回は特にこれら C_{adm} および V^3/G の99~00年度~期間での経時変化について若干の考察を行ったので、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⁴⁾に報告した。船舶の機関撮要日誌(エンジンログブック)は、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。本船は毎年同ような航路および日程で航走している。本報告の資料はエンジンログブックの記録の中から99~00年

¹国際エネルギー輸送(株)(〒108-0075 東京都港区港南2-13-31品川INSSビル)

度の ~ 期について, それぞれ, 約40点を抽出したものである。資料には船体および主機関の運転状況が安定し, しかも本船の通常の航海速度, 12.5kt前後の範囲にあるものを抽出し, 資料から系統誤差を極力排除するようにした。

本報告に使用した運転諸元, プロペラピッチ角度 θ_p (°), プロペラ回転数 N_p (rpm), 定格プロペラ回転数 (265.5rpm) に対する回転比 R_p (%), 船体速度 V (kt), 燃料消費量 G (kg/h), 軸馬力 N_e (ps), 見かけのスリップ率 S (%), 排水量 Δ (ton) トルク比 R (%), 軸馬力当たりの燃料消費率 b_e (g/ps·h), 海里当たりの燃料消費率 G_{nm} (kg/nm), C_{adm} , および V^3/G 等につ

いては, 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³⁾⁶⁾に述べた。

3. 結果および考察

運転諸元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。運転諸元の内 $N_p, R_p, V, N_e, C_{adm}, V^3/G$ および S の相互間の関係をFig.2~5にそれぞれ示した。

Table1-1. Mean and range of sampling data of Engine Log-Book from 1999 to 2001

		θ_p (°)	N_p (rpm)	V (kt)	N_e (ps)	S (%)	Δ (ton)	G (kg/h)
1999	mean	15.74	255.77	12.7305	1536.39	12.9914	1667.0170	263.2568
	① range	14.9 ~16.3	250.00 ~260.87	12.09 ~13.32	1129 ~1802	7.46 ~16.87	1524.84 ~1794.20	197.5 ~305.3
	② mean	16.03	254.16	12.2995	1710.61	16.9880	1682.8089	290.8091
2000	① range	15.0 ~16.5	248.96 ~258.62	11.87 ~12.78	1504 ~1940	14.31 ~20.91	1526.48 ~1810.66	255.4 ~314.1
	mean	15.76	254.99	12.5241	1583.68	14.2411	1671.3584	270.1541
	② range	14.8 ~16.7	250.00 ~264.90	11.72 ~13.31	1324 ~1840	10.78 ~17.52	1462.09 ~1821.65	228.8 ~310.6

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.

θ_p : Propeller pitch angle (deg.)

N_p : Revolution of propeller (rpm)

V : Ship speed (kt)

N_e : Shaft horse power (ps)

S : Propeller slip (%)

Δ : Displacement (ton)

G : Fuel oil consumption (kg/h)

3.1 運転概況

一般に船舶は船体外板表面およびプロペラ翼表面の粗度の経年増加によって推進係数(以下 ρ_c とする)が低下する。その結果推進装置の運転諸元値は連鎖的に悪化していく。

99~00年度の ρ_c および N_p には ~ 期を通して大きな変化はない。 V は 期より 期が0.3~0.4kt低下し S は反対に 期が2~3%上昇する。 N_e は 期が105~174ps, G は17~28kg/hそれぞれ増加している。その結果 b_e は0.9~1.4 g/ps·h低下する。

一方, 99~00年度間の ρ_c, N_p, V 等には大きな変化はない。 S は00年度に対し99年度が1~3%上昇している。また, N_e お

よび G は共に99年度が00年度より58~127psおよび10~21kg/h増加している。

3.2 軸馬力

N_e と R_p との関係については前報³⁾に述べた。今回の調査で99~00年度の N_e と R_p との間の回帰式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} N_e &= (3.3143R_p - 1.4278) \times 10^3 \dots 99/ \text{期} \\ N_e &= (2.6590R_p - 0.6227) \times 10^3 \dots 99/ \text{期} \\ N_e &= (2.2992R_p - 0.5512) \times 10^3 \dots 00/ \text{期} \\ N_e &= (1.9197R_p - 0.1178) \times 10^3 \dots 00/ \text{期} \end{aligned} \right\} (1)$$

Table1-2. Mean and range of sampling data of Engine Log-Book from 1999 to 2001

		be	R _r	G _{n.m}	C _{s.d.m}	V ³ /G
		(g/ps/h)	(%)	(kg/nm)		
1999	mean	171.460	61.29	20.6526	190.3461	7.8897
①	range	169.439	44.76	15.8507	148.1661	6.4398
		~174.882	~69.31	~24.3655	~233.6341	~9.7946
	mean	170.048	69.60	23.6415	154.3590	6.4178
②	range	168.516	60.44	20.4932	126.8264	5.5531
		~171.948	~74.96	~26.8033	~182.0608	~7.7101
2000	mean	171.557	59.80	19.7763	198.7104	8.3317
①	range	169.863	52.65	17.8998	173.0990	7.0806
		~173.487	~66.04	~21.7409	~215.5471	~9.3125
	mean	170.667	63.81	21.5560	175.4278	7.3041
②	range	168.815	54.52	19.0826	145.8327	6.2252
		~172.812	~75.32	~24.6704	~203.6924	~8.6530

be :Specific fuel oil consumption (g/ps/h)

R_r :Torque ratio (%)

G_{n.m} :Fuel oil consumption in nautical mile (kg/nm)

C_{s.d.m} :Admiralty coefficient

V³/G :Fuel oil consumption coefficient

横軸にR_pをとり、N_sとの間の関係式(1)をFig.2に示した。

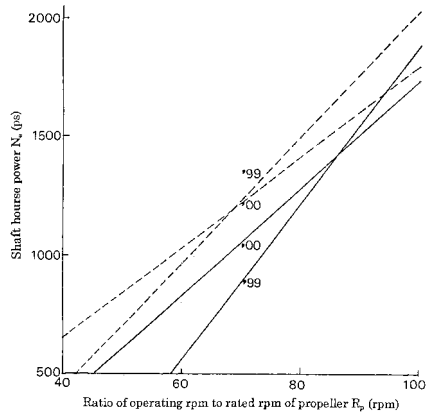


Fig.2. Interrelation between ratio of operating rpm to rated rpm of propeller R_p (%) and shaft horse power N_s(ps) form 1999 to 2001.

主機関の負荷作動線、すなわちR_pに対するN_sの傾きは、
 期共に00年度より99年度の方が大きくなる。これは99年度は00年度より p_cが低下したため、同一のR_pに対し負荷トルクが上昇したことを示している。各年度のN_sの平均値に対するN_sから、狭義のシーマージン(以下SMとする)は99年度および00年度で 期に対し 期が、それぞれ11.37および7.08%増加する。一般に年一回の入渠の場合、SMの増加は年2~3%⁷⁾であるので、 期に対し 期は船体およびプロペラの汚損が確実に進み、 p_cが低下したことを示している。SMが10%近くも増加する各年度の 期については、推進装置の運転モードを修正する必要があると思われる。⁸⁾

一方、99~00年度のN_sの平均値は、 期および 期において、99年度よりも00年度が、それぞれ、3.75および7.42%も小さくなっている。特に 期の減少率は大きい。すなわち00年度は船体およびプロペラの汚損による p_cの経時劣化を軽減できたと云える。その結果、 期のGは99年度に対して00

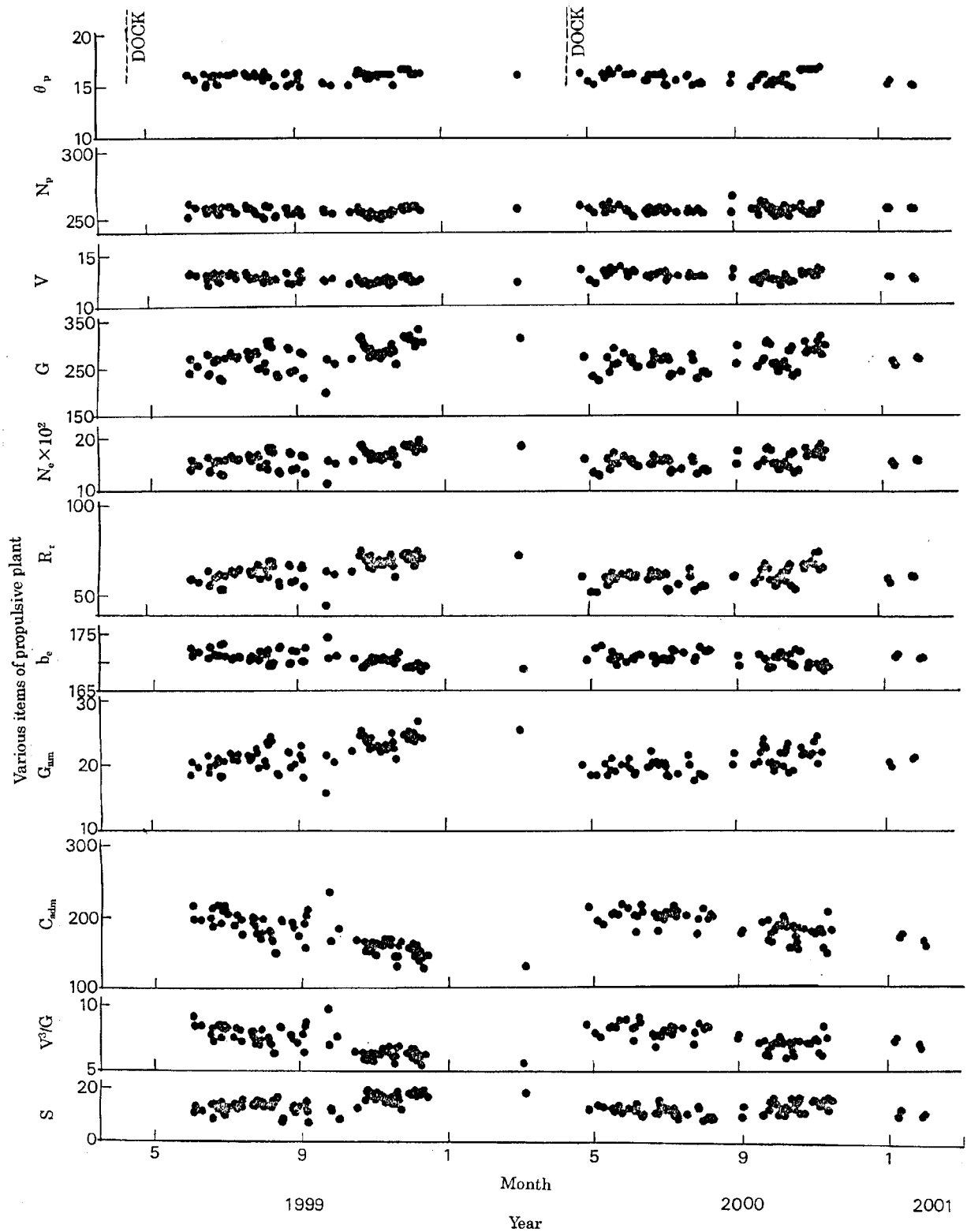


Fig.1. Fluctuations of various items of propulsive plant, i. e. θ_p , N_p , V , G , N_c , R_t , b_c , G_{rm} , C_{adm} , V^3/G , S and running hours of main engine in T/V Kakuyo-Marui from 1999 to 2001.

Note : Unit and symbols in this Fig.1 are same in Table1-1, 2.

年度が7.10%減少する。

3.3 アドミラルティ係数

船舶の 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する。前述したように、船舶においては p_c を推定するパラメータの一つに C_{adm} を利用している。そこで C_{adm} の経時変化量を次式から求めた。

$$C_{adm} = A_0 H^m \dots\dots\dots (2)$$

A_0 : 出渠時の初期値
 H : 出渠以降の経過日数 (day)
 m : 減衰係数

式(2)から99~00年度の C_{adm} と H との間の回帰式を求めた。

$$\left. \begin{aligned} C_{adm} &= 3.9071 \times 10^2 H^{-0.1730} \dots 99 \\ C_{adm} &= 2.8773 \times 10^2 H^{-0.0906} \dots 00 \end{aligned} \right\} (3)$$

式(3)の m 値は99年度に対し00年度は非常に小さい。これは00年度は年間を通じた C_{adm} の減衰率が小さいことを示している。

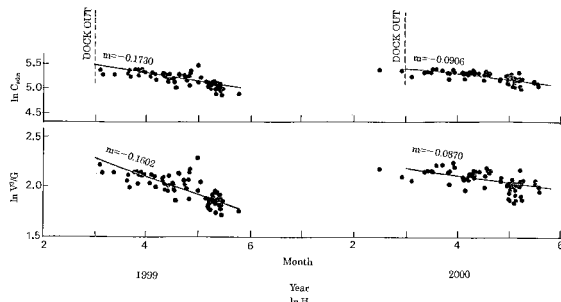


Fig.3. Fluctuations of $\ln C_{adm}$ and $\ln V^3/G$ calculated with running hours, $\ln H$ of main engine from 1999 to 2001.

Note : Calculated reduction coefficient m is defined as the slope of the regression line.

C_{adm} と H との関係式(3)について、横軸に出渠以降の経過日数を取り、それぞれ対数値に換算してFig.3に示した。式(3)の A_0 値は船体およびプロペラの清浄度によって決まる。出渠直後、期の初期5月18日(以下月/日とする)における C_{adm} は99年度および00年度で、それぞれ、237および221となる。00年度の C_{adm} の A_0 値は99年度の A_0 値まで十分回帰しなかったことが窺える。すなわち、00年度の C_{adm} の A_0 値は99年度より6.53%小さく、それだけ出渠直後の p_c が悪い。一方、99~00年度の期の当初、10/24における C_{adm} は99年度および00年度で、それぞれ、160および180となる。すなわち32.67および18.70%小さくなる。一般に5月出渠の場合、船体およびプロペラは出渠後の3~5月にかけて急激に汚損が進行している⁹⁾。この期間の本船は航海日数率が50~60%で、資料¹⁰⁾によると船底汚損程度は70~80%まで達することもあり、期の当初の C_{adm} が低下したものと思う。また、期当初の C_{adm} A_0 値は99年度より00年度が小さいが、期当初には反対に00年度の方が12.68%も大きい。既に述べたように、これは m 値の減衰率が99年度の方が小さいためである。その結果99~00年度の終り、3/31の C_{adm} の収斂値は99年度に対し00年度が18.96%大

きくなる。すなわち、00年度は年度間を通じて p_c が良好であったことが分かる。99年度および00年度の年度間を通じた C_{adm} の減衰率は、それぞれ、39.71および23.26%になる。

前報³⁾で述べたように、の変動が小さい場合 V^3/G は C_{adm} と非常に良く連動する。そこで式(2)から99~00年度の V^3/G と H との間の回帰式を求めた。

$$\left. \begin{aligned} V^3/G &= 15.2662 H^{-0.1602} \dots 99 \\ V^3/G &= 11.8225 H^{-0.0870} \dots 00 \end{aligned} \right\} (4)$$

V^3/G と H との間の関係式(4)を同様にFig.3下欄に示した。

式(4)から出渠直後5/18および期の当初10/24における V^3/G は、それぞれ、99年度は9.61と6.66、00年度は9.19と7.53とになる。すなわち5/18では99年度に対し00年度の方が4.33%小さいのに対し10/24では反対に00年度の方が13.07%大きくなる。その結果、各年度の終り3/31の V^3/G の収斂値は99年度に対し00年度が18.47%増加する。これは式(4)の m 値の差違によるもので、99年度に対し00年度は、一定の G に対する航走仕事が大きかったことを示す。式(4)から12.5ktで航走した場合の G の増加率は各年度末期で、それぞれ、99年度は59.73%および00年度は28.98%で、一般値¹¹⁾より相当大きくなっている。

一方、 V^3/G について99年度および00年度の期に対する期の減衰率は、それぞれ、33.66および18.04%となる。また、年間を通じたこれらの減衰率は、それぞれ37.39および22.47%となる。したがって、 V^3/G は C_{adm} とほぼ同率で減少するので、 C_{adm} は V^3/G を以て客観的に推定できる。

3.4 船体速力

V と N_p との関係については前報¹²⁾に述べた。今回の調査でこれらが比例する範囲なら99~00年度のこれらの間の回帰式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} V &= 7.04 \times 10^{-2} N_p - 5.29 \dots 99/ \text{期} \\ V &= 4.41 \times 10^{-2} N_p + 1.10 \dots 99/ \text{期} \\ V &= 6.74 \times 10^{-2} N_p - 4.36 \dots 00/ \text{期} \\ V &= 5.65 \times 10^{-2} N_p - 1.87 \dots 00/ \text{期} \end{aligned} \right\} (5)$$

V と N_p との間の関係式(5)について、横軸に N_p を取りFig.4に示した。各年度の、期において N_p の平均値に対する V は式(4)から、期が期より99年度および00年度で、それぞれ、3.27および2.14%低下している。この原因は船体およびプロペラの経時汚損による p_c の低下によるものである。

3.5 見かけのスリップ率

今回の調査で99~00年度の 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。

$$\left. \begin{aligned} S &= 0.3862 N_p - 85.7857 \dots 99/ \text{期} \\ S &= 0.2701 N_p - 51.6579 \dots 99/ \text{期} \\ S &= 0.3682 N_p - 81.7418 \dots 00/ \text{期} \\ S &= 0.0704 N_p - 3.7095 \dots 00/ \text{期} \end{aligned} \right\} (6)$$

S と N_p との間の関係式(6)について、横軸に N_p を取りFig.5に示した。

99~00年度の、期において、 N_p の平均値に対する S は式(6)から、期が期より99年度および00年度で、それぞれ、

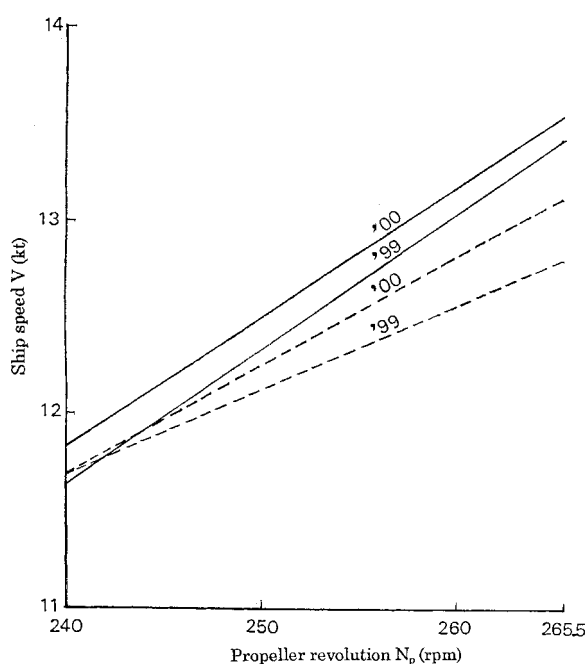


Fig.4. Interrelation between ship speed V (kt) and shaft horse power N_e (ps) from 1999 to 2001

Note :In this figure ,the solid lines are for the first half of year; 4 ~ 9 month and the dotted lines are for the second half of year; 10 ~ 3 month of next year.

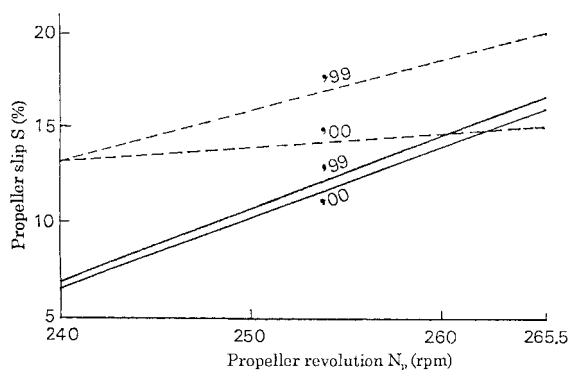


Fig.5. Interrelation between propeller revolution N_p (rpm) and propeller slip S (%) from 1999 to 2001.

Note :In this figure ,the solid lines are for the first half of year; 4 ~ 9 month and the dotted lines are for the second half of year; 10 ~ 3 month of next year.

30.77および18.37%増加する。特に99年度の増加率は大きく、船体およびプロペラの経時汚損が著しかったと云える。

まとめ

本報告を要約すると次のようになる。

1. SMIは年度の 期に入ると99年度および00年度で、それぞれ、11.37および7.08%増加した。
2. C_{adm} および V^3/G の m 値は、99年度は-0.1730および-

0.1602,また、00年度は-0.0906および-0.0870となった。すなわち99年度の C_{adm} の m 値は大きかった。したがって、 C_{adm} は 期に対し 期が32.67%小さくなった。船体およびプロペラの汚損が相当進んだ結果と考えられる。 C_{adm} は V^3/G によってもその傾向を判定できる。

3. 各年度の末期では、通常の航海速力12.5ktで航走した場合、 p_c の低下から G の推定増加率は40~50%になる。 G に比例して増加する CO_2 の排出を抑制するため、推進装置の運転モードは省エネ側へと修正すべきであると考ええる。

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: 地球温暖化対策技術とシステムエネルギー, 日本船用機関学会誌, 33-10, 725-726 (1998).
- 2) 中野英明: 地球温暖化にエンジンシステムで挑戦, 日本船用機関学会誌, 34-2, 67-68 (1999).
- 3) 松山 晃 外3名: 船体及び推進器の汚損が推進性能に与える影響, 本誌, 82, 111-118 (2001).
- 4) 西矢豊就 外2名: 船用機関の省燃費運航に関する研究 - , 本誌, 56, 33-42 (1984).
- 5) 西矢豊就 外2名: 船用機関の省燃費運航に関する研究 - , 本誌, 59, 11-22 (1986).
- 6) 西矢豊就 外5名: 鶴洋丸推進装置の総合運転特性について, 本誌, 68, 71-80 (1990).
- 7) 松井利幸: 新手法によるパワーカーブの近似とディーゼル船の推進性能解析, マリンエンジニアリング, 444, 34 (1984).
- 8) 安藤和昌: 漁船における省エネルギー対策, 日本航海学会誌, 66, 64-72 (1980).
- 9) 大串雅信: 理論船舶工学(下巻), 海文堂, 東京, 1981, 104-106.
- 10) 船用機関研究グループ: 船用機関データ・ブック, 成山堂, 東京, 1980, 588-589.
- 11) 造船テキスト研究会: 商船設計の概要, 成山堂, 東京, 1984, 62.
- 12) 日笠純扶・西矢豊就: 天鷹丸主機関と可変ピッチプロペラとの総合運転特性について - , 水産大研報, 23-131-46 (1974).