

アルミ合金船の速力と燃料消費量に関する考察

木下 宰, 兼原 壽生, 下田 真子, 森井 康宏, 高山 久明

Consideration on the Speed and Fuel Consumption of Aluminum Alloy Ship

Tsukasa KINOSHITA, Hisao KANEHARA, Masako SHIMODA, Yasuhiro MORII
and Hisaaki TAKAYAMA

In order to find the effect of aluminum alloy ship's bottom fouling on the speed performance and fuel consumption, the fuel flow was measured when an aluminum alloy ship was navigating at a constant speed. Also the speed test was conducted periodically. The results of the experiment are shown below.

- 1) According to the record when undocking for five years, the rate of ship speed reduction and that of fuel consumption increase to the main engine power output were 0.1 to 1.4% and 0.1 to 3.3% respectively and were nearly unchanged.
- 2) At the time of eleven months after undocking in 2006, the ship speed reduced by 0.6knot (4%) and the fuel consumption increased by 2.7kg/nm (21%) when running at full ahead. At the time of eight months after undocking in 2009, the ship speed reduced by 0.5knot (5%) at half ahead and reduced by 0.7knot (5%) at full ahead. Meanwhile, the fuel consumption increased by 1.5kg/nm (25%) at half ahead and increased by 2.7kg/nm (21%) at full ahead.
- 3) Due to docking, the ship speed increased by 1.0knot (9%) at half ahead and increased by 0.9knot (6%) at full ahead, and also the fuel consumption reduced by 1.8kg/nm (24%) at half ahead and reduced by 2.9kg/nm (18%) at full ahead. The simplified bottom cleaning made the ship speed increase by 0.2knot (2%) at half ahead and increase by 0.4knot (3%) at full ahead, and also made the fuel consumption reduce by 1.1kg/nm (15%) at half ahead and reduce by 1.5kg/nm (10%) at full ahead.

Key Words : 速力試験 Speed test, 船速 Ship speed, 燃料消費率 Fuel consumption rate

世界的に原油を含めた化石燃料埋蔵量の危機が叫ばれて久しいが、船舶のほとんどがこの原油を燃料源として運航されているのが現状である。従って、船舶経費の中で大きな割合を占める燃料費に最近の原油価格の高騰が直接影響するため、船舶所有者にとって切実な問題となっており、燃料消費量の改善を図る必要がある。燃料消費に大きく関係するものとしては、主機関の種類と速力および排水量があり¹⁾、排水量の変化の少ない同一船では、速力の影響が最も大きい。船舶は水との摩擦抵抗・剰余抵抗、空気抵抗および風圧抵抗を受けながら航走しているため²⁾、これらの抵抗の大きさが船速及び燃料消費に直接影響を及ぼしている。さらに、これら抵抗の中で最も大きいのは摩擦抵抗であり、船底の汚損に比例して増加する。そのため各船舶は船底に防汚用船底塗料を塗布し汚損を防止している。その船底塗料には用途別にFRP船用、鋼船用およびアルミ船用等の種類があり、含有物質と耐

用期間が各々異なっている。しかしながら、どのような船底塗料を使用したとしても、長期間海上に浮かんでいる船舶の船底が海洋生物の付着や汚損の影響を免れることはなく、出渠してから1年間を経過したとき汚損物の付着量は約5~9 kg/m²程度まで増加するといわれている²⁾。通常目視出来ない船底汚損の程度を早期に把握し、入渠または簡易船底清掃等で船底を良好な状態に保つことは、船舶運航者にとって船舶の安全確保と共に燃料消費量軽減を図る上で重要な事項である。本研究では、アルミ船用船底塗料の防汚作用の減衰状況を把握するため、アルミ合金船である長崎大学水産学部附属練習船「鶴洋丸」(総トン数155トン)を供試船として、速力試験と通常航行における船速および燃料油流量(kg/h)を計測し、出渠後の時間経過と船速および燃料消費率の関係を月別に比較した。さらに、入渠以外でも係留場所です実施出来る簡易船底掃除の効果についても検討した。

供試船および方法

1) 供試船「鶴洋丸」の主要目

アルミ船用船底防汚塗料（特殊アクリルポリマータイプ：錫フリー／自己研磨型／加水分解）を使用した供試船「鶴洋丸」の主要目はTable 1 に示す。

Table 1 Principal particulars of “KAKUYO MARU”

Particulars	Items
Length over all	42.79m
Length register	35.43m
Length between perpendiculars	34.50m
Breadth(molded)	7.00m
Depth(molded)	3.19m
Draft designed(molded)	2.50m
Gross tonnage	155ton
Main engine	1,050kw(1,428ps)×2
Propeller	Fixed 5 blades×2
Area of Rudder	1.28m ² ×2

2) 資料収集

資料収集は、(1)速力試験と(2)通常航行時における主機関出力（F/H：1700rpm）の軸馬力計計測による。

(1) 速力試験

速力試験は2005年12月～2010年10月の間で22回実施し、風や潮流の影響を出来るだけ少なくするため、各試験船速で往復航行を行った。（Table 2）各試験航走中における船速はマイルポストまたはサテライト・コンパスのGPS機能（以下、GPSと称す）を利用し、軸馬力計による主機関馬力（SHP）、主機関回転数（RPM）、燃料油流量（kg/h）等を同時に記録した。

Table 2 Data and engine out put of speed test

Date	Time of trial	Kind of main engine out put
Dec 1,2005	7	575, 750, 950, 1200, 1700, 1800, 2100
March 8,2006	5	1200, 1500, 1700, 1800, 2100
Sept.30,2006	6	1200, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
April 26,2007	4	750, 950, 1200, 1700
July 23,2007	7	575, 750, 950, 1200, 1700, 1800, 2100
Sept.10,2007	7	575, 750, 950, 1200, 1700, 1800, 2100
Jan.22,2008	2	1200, 1700
Feb.28,2008	6	575, 750, 950, 1200, 1700, 2100
Jan.16,2009	4	575, 950, 1200, 1700
Feb.19,2009	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
April 15,2009	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
June 18,2009	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Aug 5, 2009	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Sept. 17, 2009	9	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000
Oct 3, 2009	9	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000
Oct 6, 2009	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Jan 24, 2010	6	575, 750, 950, 1200, 1700, 2000
Feb 17, 2010	6	575, 950, 1200, 1700, 1900, 2100
May 30, 2010	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
June 24, 2010	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Aug 20, 2010	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Oct 19, 2010	10	575, 750, 950, 1200, 1500, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100

① マイルポストによる速力試験

2005年12月から2008年1月の間に8回実施した。

船速計測：マイルポスト間（1,853.2m）の航走所要時間t（sec）を計測し、船速＝（3600×1853.2）／（1852×t）として、knotで表した。

主機関の計測項目：マイルポスト航走中主機関馬力（SHP）、主機関回転数（RPM）、燃料油流量（kg/h）および燃料油流量（ℓ/h）を5秒間隔で集録した。

主機関の計測条件：極微速（DS/H：575rpm）、微速（S/H：950rpm）、中速（H/H：1200rpm）、常用速力（F/H：1700rpm）および最大速力（M/H：2100rpm）を基本とし、状況により750rpm、1800rpmを解析に用いた。

② GPSによる速力試験

2009年1月～2010年10月の間で14回実施した。

船速計測：定速航走時のGPSの航程積算値を6分間隔で読み取り、船速を求めた。

主機関の計測項目：船速計測時に主機関馬力（SHP）、主機関回転数（RPM）、燃料油流量（kg/h）および燃料油流量（ℓ/h）を5秒間隔で集録すると共に、機側流量計を用いて6分間の流量を計測した。

主機関の計測条件：極微速（DS/H：575rpm）、微速（S/H：950rpm）、中速（H/H：1200rpm）、常用速力（F/H：1700rpm）および最大速力（M/H：2100rpm）に加えて750rpm、1500rpm、1800rpm、1900rpmおよび2000rpmを解析に用いた。

(2) 通常航行（主機関回転数1700rpm）における計測

供試船は、航行中に軸馬力計（SEC Powermeter 湘洋エンジニアリング製）により検出した主機関馬力（SHP）、主機関回転数（RPM）、燃料油流量（kg/h）および燃料油流量（ℓ/h）とGPSによる船速（knot）を軸馬力計データロガーに1時間毎に集録している。その中で、定速航行が最も多い主機関回転数1700rpmを測定条件とした2005年4月～2009年1月における計測項目を抽出し解析に用いた。

解析方法

主機関回転数を計測条件として、各測定で得られたマイルポスト所要時間計測およびGPSによる船速と軸馬力計で計測された主機関馬力、主機関回転数及び燃料油流量（kg/h）を解析に用いた。最初に、船速と燃料油流量（kg/h）から求めた燃料消費率を用いて、出渠後の時間経過と航行性能劣化の関係および入渠と簡易船底掃除の効果について検討した。

1) 主機関馬力、燃料油流量及び船速の補正

主機関回転数が1200rpm以下での燃料油流量（kg/h、ℓ/h）は共に軸馬力計では計測されない。そのため2009年1月以降の速力測定においては機側燃料油流量計の流量（liter）の手動読み取りも併せて実施した。これを軸馬力計で計測された燃料油流量（ℓ/h）と比較した結果、Table 3に示すように誤差は多くて0.5%以下であり、2009年1月以前の軸馬力計計測値は使用上問題ないものと判断

Table 3 Shaft power and revolution, fuel flow rate, ship speed by speed test on May 30, 2010

rpm	SHP (kw)	rpm of propeller	Flow rate of F.O. (kg/h)	Flow rate of F.O. (liter/h)	Speed (knot)	Flow rate of F.O. (manual) (liter/h)	Error of F.O.(%)
575	38.71	165.23	90.16		5.45	16.01	
750	77.77	215.52	59.52		7.01	26.52	
950	150.75	272.99	57.42		8.95	46.78	
1200	293.77	344.83	67.32	83.24	11.35	83.02	-0.27
1500	597.96	431.03	129.87	160.58	13.69	162.54	1.21
1700	935.84	488.51	194.85	240.90	14.69	242.00	0.46
1800	1135.25	517.24	234.86	290.36	15.22	291.12	0.26
1900	1368.21	545.98	280.65	346.99	15.63	347.47	0.14
2000	1621.45	574.71	333.13	411.86	16.06	412.13	0.07
2100	1909.57	603.45	393.61	486.63	16.51	493.32	1.36
Average of error							0.46

した。さらに、軸馬力計で集録される燃料油流量 (kg/h) は、計測された燃料油流量 (ℓ/h) に燃料油温度および密度で計算されたものであるが、その温度と密度が手動入力であり逐次入力出来なかったため、誤差を生じている。従って、燃料油流量 (ℓ/h) において2009年1月以前では軸馬力計計測値、それ以降は手動計測値を用いて各計測値とし、次式で補正した燃料油流量 (kg/h) (以下、燃料油流量と称す) とした。

$$C = \text{流量} (\ell/h) \times \{S - 0.00065 \times (t - 15)\}$$

C: 燃料油流量 (kg/h)

S: 15℃における使用燃料油密度 (kg/m³)

0.00065: 燃料油温度変化1℃に対する密度変化率

t: 燃料油平均温度

主機関馬力および燃料油流量は主機関回転数の3乗に比例し、船速は主機関回転数に比例する³⁾。従って、それぞれに (1700³/計測主機関回転数³) を乗じて補正し、船速は (1700/計測主機関回転数) を乗じて補正した。また、供試船は二機二軸二舵船であるため、主機関馬力と燃料油流量では両舷機の馬力の合計値、主機関回転数では両舷機の平均値をそれぞれの値とした。

2) 通常航行 (主機関出力: F/H) における船速と主機関の計測項目

補正された主機関馬力、燃料油流量及び船速データを月毎に平均して各月の値とした。ここでの値は、風浪や潮流等の外力の影響を含んだものとなっている。

3) 速力試験

試験船速における各主機関出力で得られた主機関馬力、燃料油流量および船速の値を1)の1700rpmと同様に補正した往復の平均値を各回転数におけるそれぞれの値とした。

4) 燃料消費率 (kg/nm)

各計測時の船速に対する燃料消費量を計るために、¹⁾で得た値を用い、燃料消費率 (kg/nm) = 燃料油流量補正值 (kg/h) / 船速補正值 (knot) を算出した。

結果と考察

速力試験時の主機関回転数と主機関馬力、船速および燃料油流量の関係の1例をTable 3とFig. 1に示す。これは2010年5月30日に実施したもので、Fig. 1の横軸は主機関回転数、縦軸は主機関馬力、船速および燃料油流量である。主機関出力が大きくなると主機関馬力、船速および燃料油流量は大きくなり、併せて回帰曲線を示した。各回帰式は、

$$\text{主機関馬力: } Y_{SHP} = 0.001x^2 - 1.4356x + 586.22$$

$$\text{船速: } Y_{Speed} = -3E-06x^2 + 0.0142x - 2.0269$$

$$\text{燃料油流量: } Y_{kg/h} = 0.0002x^2 - 0.291x + 124.34$$

であった。

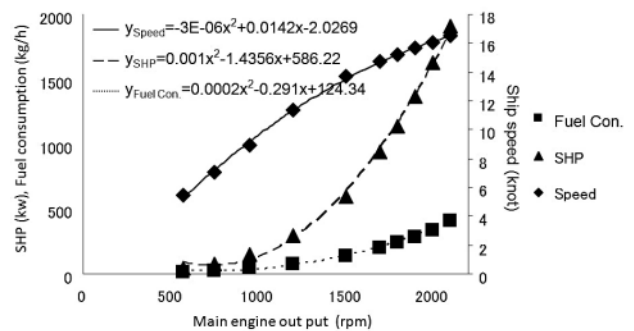


Fig. 1 The relation of main engine out put and shaft horse power, fuel consumption, and ship speed by seed test on May 30, 2010

1) 船速と燃料消費率の経年変化

供試船は2004年12月に竣工し、2005年4月に供用を開始された。初年度は2005年11月に入渠し、12月の出渠時に最初の速力試験を行った。その後は入渠時期を2月に変更したため2008年、2009年および2010年では各2月の出渠時に速力試験を実施した。主機関出力における経過年と船速の関係をFig. 2-1に示す。ここで、横軸は経過年、縦軸は船速を示し、主機関出力はH/H、F/HおよびM/Hの3種類である。Fig. 2-1に示す主機関出力別に求めた回帰曲線は、

$$\text{中速: } Y_{H/H} = -0.016x^2 + 0.0747x + 11.4$$

$$\text{常用速力: } Y_{F/H} = -0.0053x^2 + 0.0198x + 14.834$$

$$\text{最大速力: } Y_{M/H} = -0.0081x^2 + 0.0003x + 16.777$$

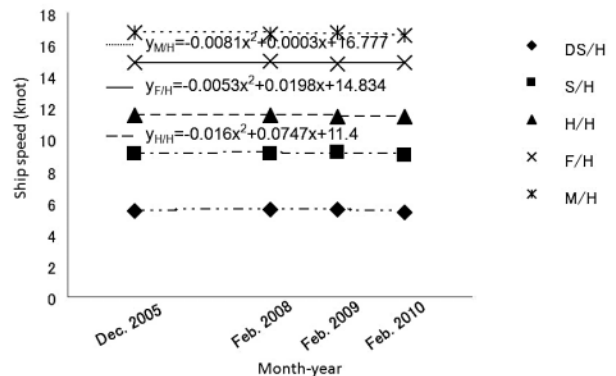


Fig. 2-1 Variations of ship speed by speed test right after docking between 2006 and 2010

であった。また、主機関出力（H/H、F/HおよびM/H）における経過年と燃料消費率の関係をFig.2-2に示す。ここで、横軸は経過年、縦軸は燃料消費率を示し、主機関出力はH/H、F/HおよびM/Hの3種類である。Fig.2-2に示す主機関出力別に求めた回帰曲線は、

中速： $Y_{H/H} = -0.0055x^2 + 0.0289x + 6.0452$
 常用速力： $Y_{F/H} = -0.0378x^2 + 0.1733x + 12.938$
 最大速力： $Y_{M/H} = 0.0723x^2 - 0.4757x + 23.85$

であった。

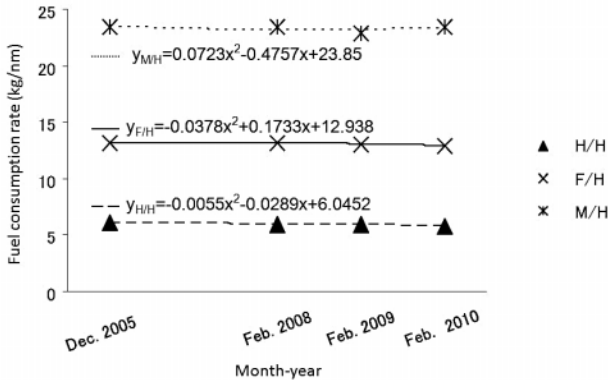


Fig. 2-2 Variations of fuel consumption rate by speed test right after docking (2006-2010)

これらから2005年12月～2010年2月までの4年間のうち2005年12月と2010年2月を比較してみると、船速で0.1～1.4%減少し、燃料消費率でも0.1～3.3%減少している。実船実験の結果は海況等の影響を受け易いが、2005年12月では風速4～7m/sec、波高0.4m、うねり0であったのに対し、2010年2月では風速4～6m/sec、波高0.4m、うねり0.5mであって海況等はほぼ一定で影響は無かったことを考慮すると出渠時における経年変化はみられないと判断出来る。

2) 出渠後の時間経過による船速と燃料消費率の変化

(1) 2009年の速力実験の場合

近年夏場にシラモ等の海洋生物の発生が続き、2007年以降8月～10月に岸壁係留中に潜水夫による簡易船底掃除を余儀なくされている。ここでは、出渠から簡易船底掃除までの期間が最も長かった2009年2月の出渠後から簡易船底掃除を行った10月までの速力実験結果を用い、船速および燃料消費率の時間経過による変化を検討した。出渠から経過2月毎のH/HとF/Hの船速と燃料消費率の変化はTable 4およびFig. 3-1に示すように時間経過が大

Table 4 Ship speed and fuel consumption rate by speed test between February and October in 2009

Month-year	Ship speed (knot)		Fuel consumption rate (kg/nm)	
	H/H	F/H	H/H	F/H
Feb.-09	11.49	14.77	5.79	12.96
Apr.-09	11.41	14.70	5.90	13.09
Jun.-09	11.38	14.62	5.96	13.39
Aug.-09	11.22	14.56	6.29	14.07
Oct.-09	10.96	14.11	7.30	15.67

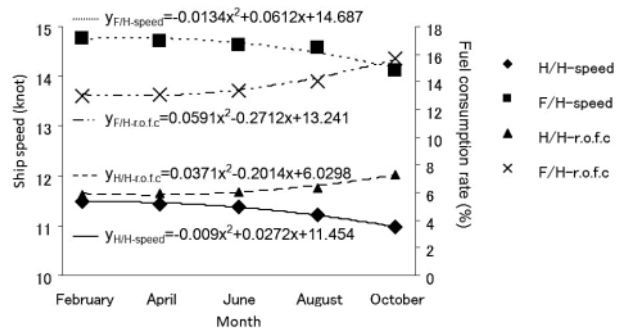


Fig. 3-1 Variations of rate of monthly ship speed and fuel consumption rate (February-October)

きくなると船速は小さくなり、燃料消費率は大きくなった。また、出渠後の増減率は出渠時（2月）の船速および燃料消費率に対する各経過月の値との差を2月の値で除してそれぞれの増減率とすると、Table 4に示すように、経過月数8ヶ月で船速はH/Hで0.5knot（4.6%）、F/Hで0.7knot（4.5%）減少した。一方、燃料消費率はH/Hで1.5kg/nm（25.1%）、F/Hで2.7kg/nm（20.9%）増加した。2009年の主機関出力における経過月と船速の減少率の関係をFig. 3-2に示す。ここで、横軸に経過月、縦軸に船速の減少率を示し、出渠からの時間経過が大きくなると船速の減少率も大きくなる。

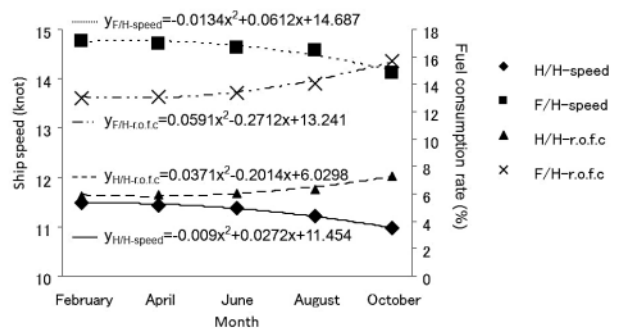


Fig. 3-2 Variations of ship speed for February 2009 by speed test (April 2009-October 2009)

Fig. 3-2に示すその回帰曲線は、

中速： $Y_{H/H} = 0.1274x^2 - 0.6093x + 1.3717$
 常用速力： $Y_{F/H} = 0.1577x^2 - 0.956x + 1.8745$

であった。また、同年の主機関出力における経過月と燃料消費率の増加率の関係をFig. 3-3に示す。ここで、横軸に経過月、縦軸に燃料消費率の増加率を示し、船速の減少率と同様、出渠からの時間経過が大きくなると燃料消費率の増加率も大きくなり、Fig. 3-3に示すその回帰曲線は、

中速： $Y_{H/H} = 0.9834x^2 - 5.8644x + 8.7139$
 最大速力： $Y_{F/H} = 0.6271x^2 - 3.0237x + 4.7804$

であった。

(2) 2005年12月～2006年11月のF/H航走の場合

主機関出力F/Hの船速および燃料消費率の通年での出渠からの時間経過による変化を検討するため、2005年4月から2009年1月を2005年（2005年4月～2005年10月）、2006年（2005年12月～2006年11月）、2007年（2007年4月

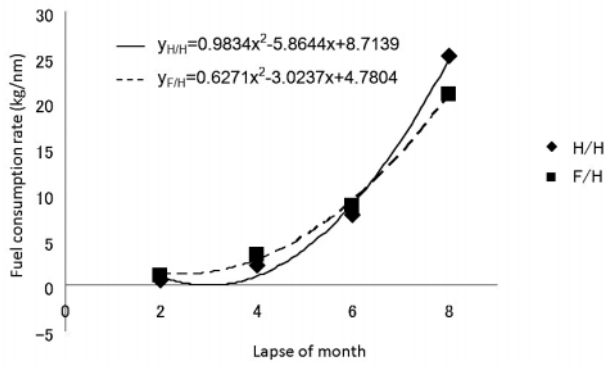


Fig. 3-3 Variations of fuel consumption rate for February 2009 by speed test (April 2009-October 2009)

～2008年1月) および2008年(2008年2月～2009年1月)に分けてそれぞれ各月の平均値をFig. 4-1及びFig. 4-2に示す。Fig. 4-1は各年の出渠からの時間経過と船速

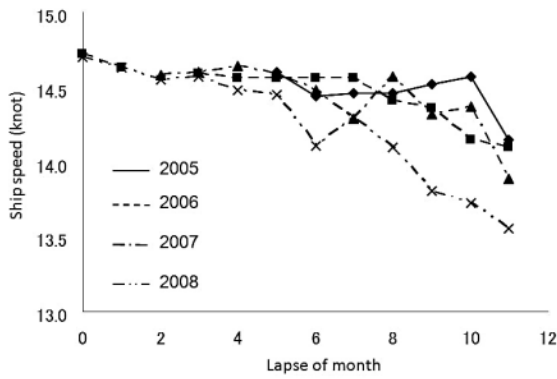


Fig. 4-1 Variations of monthly average ship speed at full speed (April 2005-January 2009)

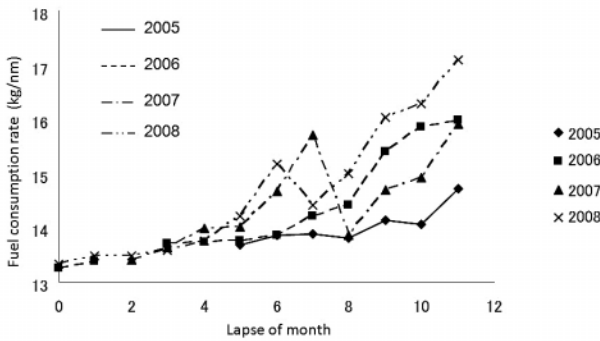


Fig. 4-2 Variations of monthly average fuel consumption rate at full speed (April 2005-January 2009)

の関係で、横軸に経過月数、縦軸に船速を示し、パラメータは年である。また、Fig. 4-2は各年の出渠からの時間経過と燃料消費率の関係で、横軸に経過月数、縦軸に燃料消費率に示し、パラメータは年である。Fig. 4-1, Fig. 4-2における2005年は供用開始時が竣工より4ヶ月経過しており、また2007年は10月、2008年は9月に簡易船底掃除を行ったため、ここでは2005年12月の出渠から2007年1月の入渠まで最も計測期間の長かった2006年を検討資

Table 5 Monthly average of ship speed and fuel consumption rate at full speed between December 2005 and November 2006

Month-year	Ship speed		Fuel consumption rate	
	(knot)	(%)	(kg/nm)	(%)
Dec.-05	14.72		13.26	
Jan.-06	14.63	0.6	13.38	1.0
Feb.-06				
Mar.-06	14.58	0.9	13.71	3.4
Apr.-06	14.55	1.1	13.72	3.5
May-06	14.56	1.1	13.77	3.9
Jun.-06	14.56	1.1	13.86	4.5
Jul.-06	14.56	1.1	14.21	7.2
Aug.-06	14.41	2.1	14.42	8.8
Sep.-06	14.36	2.4	15.40	16.2
Oct.-06	14.15	3.9	15.85	19.5
Nov.-06	14.10	4.2	15.98	20.5

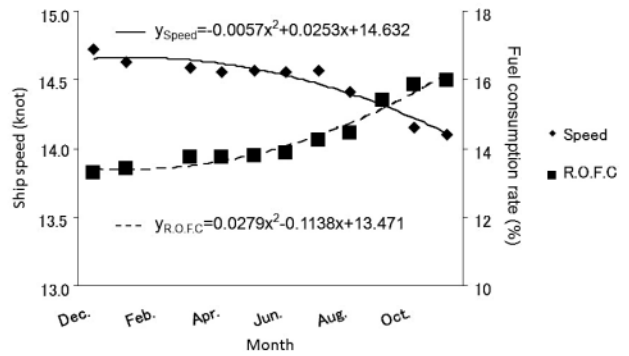


Fig. 5-1 Variations of monthly ship speed and fuel consumption rate at full speed (December 2005-November 2006)

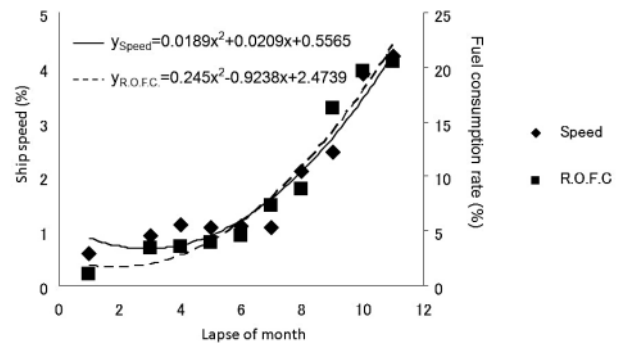


Fig. 5-2 Variations of rate of monthly ship speed and fuel consumption rate for December 2005 at full speed (January 2006-November 2006)

料とした。Table 5に示すように2006年では経月数11ヶ月で船速が0.6knot (4.2%) 減少し、燃料消費率が2.7kg/nm (20.5%) 増加した。2005年12月の出渠から2006年11月の1年間の主機関出力F/Hにおける経過月と船速および燃料消費率の関係を図5-1に示す。ここで、横軸は経過月数、縦軸は船速と燃料消費率である。出渠からの時間経過が大きくなると船速は減少し、燃料消費率は増加し、Fig. 5-1に示す船速と燃料消費率の回帰曲線は、

船速 : $Y_{Speed} = -0.0057x^2 + 0.0253x + 14.632$

燃料消費率 : $Y_{R.O.F.C} = 0.0279x^2 - 0.1138x + 13.471$

であった。さらに、出渠時の主機関出力F/Hの船速および燃料消費率に対する2ヶ月毎の経過月における船速の減少率および燃料消費率の関係をFig.5-2に示す。ここで、横軸は経過月数、縦軸は船速と燃料消費率である。出渠からの時間経過が大きくなると船速の減少率および燃料消費率は増加し、Fig.5-2に示す回帰曲線は、

船速 : $Y_{Speed} = 0.0189x^2 + 0.0209x + 0.5565$

燃料消費率 : $Y_{R.O.F.C} = 0.245x^2 - 0.9238x + 2.4739$

であった。

(1)の2009年および(2)の2005年から2008年では、いずれも出渠後の時間経過が大きくなると船速は減少し、燃料消費率は増加するが、その増加量は(1)では4ヶ月まで緩やかで6ヶ月を過ぎると急に増大し、(2)では6ヶ月まで緩やかで8ヶ月を過ぎると急に増大した。(1)では船速の減少率および燃料消費率の増加率が急に増加し始めるのは出渠時からの6ヶ月目の8月であり、一方(2)では12月に入渠しており、(1)と同様の傾向が現れる8ヶ月目は8月となり(1)と同時期となる。アルミ船用船底塗料には鋼船用船底塗料に含まれる亜酸化銅を含有することが出来ないため防汚効果は半年といわれているが、8月は2月出渠では半年目にあたる。しかもFig.6に示すように、供試船の停泊地では4月では18℃であった水温が7月には25℃に上昇し、8月には30℃近くとなった。これらから出渠後6~8ヶ月目は船底塗料の防汚効果がほぼ期待出来ない時期であり、しかも水温が上昇する夏場にあたるため船底に付着したフジツボやカサネカンザシ等の海洋生物が急成長して船底の摩擦抵抗を増大させることが船速の減少および燃料消費率の増加の大きな要因と判断された。

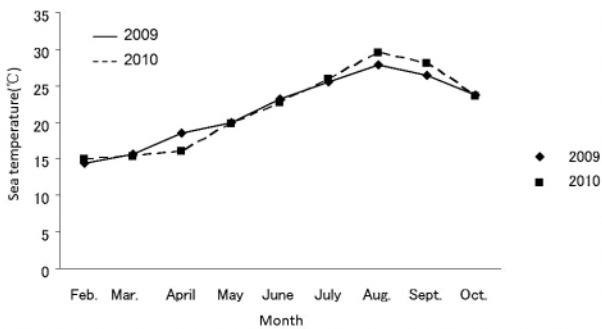


Fig. 6 Variations of sea water temperature of Mie-Shikimi harbor in 2009 and 2010

3) 入渠および簡易船底掃除による船速および燃料消費率の回復

船舶は、前項で述べたように出渠後長時間を経過すると海洋生物の付着等で船底が汚損され船速が減少し、燃料消費率が増加するが、定期検査や中間検査受検による入渠時には、上架して船底清掃・船底塗装を行い、航行能力の向上を図る。また、主機関効率や船速が極度に低下したにもかかわらず入渠出来ない場合は、係留したまま潜水夫による簡易船底清掃を行うことで航行能力の改善を図っている。ここでは、速力試験による船速および燃料消費率を用いて入渠および簡易船

底清掃による回復の割合を検討した。尚、入渠前の2008年1月の試験時は海況に恵まれずH/HとF/Hの速力種類しか実施出来なかったため、いずれもH/HとF/Hの船速及び燃料消費率を用いることとした。

(1) 入渠による回復

2008年、2009年および2010年は1月から2月にかけて入渠し、速力試験はそれぞれ入渠前の1月と入渠後の2月に実施した。入渠前の1月の船速および燃料消費率を基準とし、回復量 = (1月の値 - 2月の値)、回復率 = ((1月の値 - 2月の値) / 1月の値) × 100としてTable 6に示した。Table 6から入渠による船速の回復は、H/Hで7~12% (0.7~1.3knot)、F/Hで6~7% (0.8~0.9knot)となった。また、燃料消費率の回復は、H/Hで21~30% (1.5~2.5kg/nm)、F/Hで16~23% (2.5~3.8kg/nm)となった。

Table 6 Comparison of ship speed and fuel consumption rate before and after docking

Year	Class of speed	Ship speed			Fuel consumption rate			
		Value (knot)	Difference (knot)	(%)	Value (kg/nm)	Difference (kg/nm)	(%)	
2008	H/H	Before	10.64	0.9	8.1	7.47	1.5	20.7
		After	11.50			5.92		
	F/H	Before	14.08	0.8	5.7	15.68	2.5	16.0
		After	14.89			13.17		
2009	H/H	Before	10.15	1.3	12.4	8.34	2.5	30.1
		After	11.41			5.83		
	F/H	Before	13.85	0.9	6.7	16.74	3.8	22.6
		After	14.77			12.96		
2010	H/H	Before	10.65	0.7	6.9	7.25	1.5	20.5
		After	11.38			5.77		
	F/H	Before	13.96	0.9	6.2	15.36	2.5	16.1
		After	14.82			12.89		

(2) 簡易船底掃除による回復

2005年4月~2009年1月のH/Hにおける船速および燃料消費率の変化をFig.4-1およびFig.4-2に示したが、図中の2007年の8ヶ月~9か月と2008年の7ヶ月~8ヶ月でプロット線が大きく変化している。これは2007年10月3日と2008年9月5日に簡易船底掃除を実施したためであり、2007年9月と2008年8月は実施前、2007年10月と2008年9月は実施後である。さらに、2009年には簡易船底掃除による効果の把握を目的として簡易船底掃除(10月5日)の前後(3日と6日)に速力試験を行った。船速と燃料消費率の回復量および回復率は(1)と同式を用い、その結果をTable 7に示す。Table 7から簡易船底掃除による船速の改善は、H/Hで2% (0.2knot)、F/Hで1~4% (0.2~

Table 7 Comparison of ship speed and fuel consumption rate before and after simplified bottom cleaning

Year	Class of speed	Ship speed			Fuel consumption rate			
		Value (knot)	Difference (knot)	(%)	Value (kg/nm)	Difference (kg/nm)	(%)	
2007	F/H	Before	14.29	0.3	2.0	15.71	1.8	11.7
		After	14.57			13.87		
2008	F/H	Before	14.10	0.2	1.3	15.17	0.8	5.0
		After	14.29			14.42		
2009	H/H	Before	10.96	0.2	2.2	7.30	1.1	15.1
		After	11.20			6.20		
	F/H	Before	14.11	0.6	4.1	15.67	2.0	12.7
		After	14.69			13.68		

0.6knot) となった。また、燃料消費率の改善は、H/Hで15% (1kg/nm), F/Hで5~15% (1~2kg/nm) となった。

入渠及び簡易船底掃除は航行能力の回復に効果を示したが、入渠による回復が船速で7~12%, 燃料消費率で16~30%と大きかったのに比し、簡易船底清掃による回復は船速で1~4%, 燃料消費率で5~15%に止まった。これは、入渠では船底全面が塗装されて付着物が皆無であるのに対して、簡易船底掃除では船底塗料の塗膜を剥がさないようにスクレープするため付着物を完全に除去することが出来ないことに起因している。そのため、Fig.4-1及びFig.4-2の2007年および2008年で示したように簡易船底掃除後一時的に回復するが、その後は以前よりも早い速度で悪化する原因にもなっていた。

おわりに

これまで実施した速力試験時および定速航行時の船速および燃料油流量の計測から燃料消費率を算出した結果、出渠からの時間経過が大きくなるにつれて船速は減少し、燃料消費率は増加した。その傾向は6ヶ月を過ぎると顕著となり、供試船では8ヶ月目に船速で0.5~0.7knot (5%)の減少、燃料消費率で1.5~2.7kg/nm (21~25%)の増加となった。このため2007年以降出渠後7~8ヶ月目にプロペラ回転数と軸出力の関係曲線(3乗曲線)を超える「トルクリッチ(過負荷)」状態に陥っている。船底の汚損は船底塗料の性能に大きく左右されるが、供試船の簡易船底掃除時期は常用出力で出渠時より船速の減少が0.5knot, 燃料消費率の増加が20%に達した時期と判断される。簡易船底掃除を行うとF/Hで船速が0.2knot (2%), 燃料消費率が1.5kg/nm (10%)向上した。これは出渠後の4~5ヶ月目までに回復させる効果であり、次期入渠までの「トルクリッチ」の回避に貢献していると判断出来る。さらに、入渠で船底掃除・船底塗装の効果

は大きくF/Hで船速が0.9knot (6%), 燃料消費率で2.9kg/nm (18%)向上し、調査した5年間とも出渠後の船速および燃料消費率の状態は殆ど変化が見られなかった。

アルミ船用船底塗料の耐用期間は6ヶ月といわれており、供試船の結果でも同時期を過ぎるとその防汚作用の効果が薄れていることが判る。一般に、一年に1回ないし2回行う入渠の時期は竣工時期により決まる場合が多いが、海中生物が付着・成長し易い夏場に入渠すれば船底塗料の防汚作用もより長期間持続するものと思われる。また、防汚持続期間は航行海域、常用速力および航泊の割合などによって影響を受けるため、さらに入渠時期を含めた航海計画を検討する必要がある。一般にこれまでのアルミ船は高速船として建造されることが多く、アルミ船用船底塗料も高速船仕様のものが主流である。今後は試験塗装も考慮し船速に見合う船底塗料の選択を検討する必要がある。簡易船底掃除の費用と次回の入渠までの残り航海日数等による燃料費増加分等を検討するなど速力の維持と燃料消費の削減とにより航海効率の一層の向上に貢献したい。

謝 辞

本研究において、主機関データの収集にご協力頂いた長崎大学水産学部附属練習船「鶴洋丸」の乗組員各位に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 広田実・永野重隆：速力制御による燃料節約Ⅳ，日本航海学会論文集，No.71，pp.167-176，1984
- 2) 岩井聰：新訂操船論，海文堂，pp.53-57，1986
- 3) 長谷川静音：船用ディーゼル機関教範，成山堂書店，pp.378-380，1993