

## 新規研磨性船底塗料の防汚効果について

東 政能\*, 善福 忍\*, 佐藤忠明\*

### Prevention Effect of Fouling by the New Self-polishing anti-fouling Paint

Masataka Higashi\*, Shinobu Zenfuku\*  
and Tadaaki Sato\*

*Keywords* : Bottom Paint, Log-book, Propulsive Efficiency,  
Anti-fouling Paint

#### Abstract

In March of 1991, Training Ship Keiten Maru changed the paint of ship bottom to the new self-polishing anti-fouling paint. This paint, not contained the organic tin (Tri-phenol tin) caused the environment destruction, was developed for the next period. In this paper, analyzed the cruise data of scientific surveys from 1989 to 1991 in the deck log-book and engine log-book, and study the effectiveness of this paint as compared with the old one in the open sea in regard to propulsive efficiency.

The results are as follows:

- 1) According to fuel consumption coefficient, a new bottom paint has prove superior to the old one.
- 2) According to slip ratio, a new bottom paint has prove inferior to the old one.
- 3) The relation between effective horsepower and sea speed, a new bottom paint is constant as compared with the old one, and has the superior propulsive efficiency.

But these make no appreciable difference to numerical values. As a result, a new bottom paint is as effective as the old one with regard to prevention of bottom fouling, and has the superior operating efficiency.

---

\* 鹿児島大学水産学部練習船敬天丸 (Training ship Keiten Maru, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

従来から使用されていた自己研磨性船底防汚塗料はフジツボ、のり類その他の船底付着物を、有機錫化合物で付着しにくくするとともに、航走しながら表面についた船底付着物を塗膜ごと溶出して防汚効果を高める塗料であり、その用途は定置網用漁具、養殖用生簀、水中構造物等に巾広く用いられ、船舶においてもその防汚効果の為、ドックインターバルが一年以上と長期間の使用に耐えるとともに、ドック費用の軽減・省力化に画期的に貢献した。しかし、この自己研磨性船底塗料は有機錫を含み、防汚効果は大きいが海水中に有機化合物を拡散させ環境汚染の原因となり最近になってその使用が禁止されるに至った。この自己研磨性防汚塗料に変わって新規研磨性防汚塗料が開発され有機錫を含まない無公害型の船底塗料として登場した。敬天丸も1991年3月のドックで水線以下の船底部を旧塗料から新塗料に塗り換えを行った。本論文では船底塗料塗り換えによる船体抵抗への影響について3年間の航海資料から解析を試みた。

### 実験方法および資料

練習船敬天丸の要目は次の通りである。

|       |            |
|-------|------------|
| 総トン数  | 860.25トン   |
| 全長    | 61.90メートル  |
| 型幅    | 11.00メートル  |
| 型深    | 4.00メートル   |
| 機関種類  | ディーゼル機関    |
| 主機関馬力 | 2000 ps    |
| 製造年月日 | 昭和49年6月25日 |

敬天丸は毎年3月に入渠し4月の沿岸航海に始まり遠洋航海、研究航海等を毎年平均して航海回数で10～13次前後、航海日数で190日程度の航海を行っている。今回解析した資料は1991年3月に新規研磨性船底防汚塗料に塗り換えを行った前後でドックからのインターバルが殆ど同じ時期で航海海域も同じ海域であった11月から12月に行われた特定研究航海(南太平洋海域研究センター主催のパプア・ニューギニア調査航海)の3航海、3年分を用いた。船底塗料塗り換えの前後で推進性能がどのように変化したかを調べるため、4時間毎に航海日誌及び機関日誌より気象、海象、位置(GPS航法システム Trimble社製 Navigation Loran-GPS 10X)、速力(電磁ログ 横河北辰電機株製 EML-12型)、機関の回転数、馬力、燃料消費量等を抽出し、1989年90個、1990年85個、1991年81個のデータについて解析を行った。なお出入港前後、海洋観測、荒天による機関出力の減少等を含むデータは避け単位時間当たり通常の航海速力で航行しているものに限り解析を試みた。推進性能を論ずるに当たり、乾ら<sup>1)</sup>はドックインターバルが規則正しく、例年の航海開始が船底清掃後20日～50日程度である練習船の航海撮要日誌のデータからモデルによる予測と実測値との比較を行っている。広田ら<sup>2,3,4)</sup>は、航海撮要日誌から海流、風浪、汚損などの影響を抽出し実験式の精密化を行っている。佐藤ら<sup>5)</sup>は、実船実験による自己研磨性船底塗料の船底汚損防止効果を表面粗度、燃料消費量の面から調査している。本論文ではドックからのインターバルが長く船体汚損要因は無視できないが、ドックからのインターバルが過去3年とも殆ど同じで

その間の航海日数も変わらないので, 広田ら<sup>2)</sup>と同様に同一条件とみなして考察を試みた。

### 結果および考察

Table 1 に船底塗料仕様を示す。水線以下の船底をサンドブラストをかけ, Table 1 の仕様で塗装を施した。但しキール部盤木あとは塗装不可能なので次回ドック (1992 年 3 月) で同じ仕様で塗料の塗り換えを行った。Fig. 1 に航海概要を示す。図中, 1989 年復航の北緯 10 度前後で蛇行しているが, これは台風が接近した為航海の安全上避航動作をとったものである。過去 3 年とも大体似たような航路を採っている。航海日程は Table 2 の通りである。なお出渠はそれぞれ 1989 年で 3 月 3 日, 1990 年で 3 月 8 日, 1991 年で 3 月 10 日であった。Fig. 2 に燃料消費係数と航海日数との関係を示す。船底塗料の塗り換えによる推進性能

**Table 1** Painting schemes of the new Self-polishing Anti-fouling Paint of the Keiten Maru

| Paints  | No. of Coat |
|---|-------------|
| Epicon Zinc Rich Primer B-QL-2                              | 1           |
| A/C Biscon AC QL  | 2           |
| A/C Silvax SQ   | 1           |
| A/F Marine Star 20 H Dark                                   | 1           |
| A/F Marine Star 20 H Light<br>(Chugoku Marine Paints, LTD.) | 1           |

A/C : Anti-corrosive Paint

A/F : Anti-fouling Paint

\*\*\* Put the ship's bottom sand-blast before coating \*\*\*

**Table 2** Voyage itineraries and details of the Keiten Maru

| Port of Call                      | Date of Arrival | Date of Departure | Remarks  |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--|
| Kagoshima, Japan                  |                 | 10th Nov., 1989   | 11/10~11/15 Oceanographic Observation, Biomass Investigation<br>12/12~12/16 Taking Current Meters, Biomass Investigation |
| Lae, Papua New Guinea             | 21st Nov., 1989 | 27th Nov., 1989   |  |
| Port Moresby,<br>Papua New Guinea | 30th Nov., 1989 | 6th Dec., 1989    |  |
| Kagoshima, Japan                  | 20th Dec., 1989 |                   |  |
| Kagoshima, Japan                  |                 | 5th Nov., 1990    | 11/7~11/13 Oceanographic Observation   |
| Port Moresby,<br>Papua New Guinea | 20th Nov., 1990 | 26th Nov., 1990   |  |
| Lae, Papua New Guinea             | 30th Nov., 1990 | 7th Dec., 1990    |  |
| Kagoshima, Japan                  | 17th Dec., 1990 |                   |  |
| Kagoshima, Japan                  |                 | 1st Nov., 1991    | 11/2~11/9 Oceanographic Observation, Biomass Investigation   |
| Lae, Papua New Guinea             | 11th Nov., 1991 | 19th Nov., 1991   |  |
| Wewak,<br>Papua New Guinea        | 21st Nov., 1991 | 27th Nov., 1991   |  |
| Kagoshima, Japan                  | 6th Dec., 1991  |                   |  |

の影響を見るのに、次に示す燃料消費係数Cを用いた。

$$C = (\Delta^{2/3} \times V^3) / Fc \quad (1)$$

$\Delta$  : 排水量 (トン)

$V$  : 対水速力 (ノット)

$Fc$  : 1日の燃料消費量 (キログラム/日)

燃料消費係数Cはその値が大きいほど燃料消費量は減少し推進効率が良いことを表している。往航と復航に分けて出港日から起算して船底塗料塗り換えを行った前後3年間、3航海分の1日平均の燃料消費係数を比較したものである。Cはそれぞれ40~50の値ではらつきが大きい、1991年度航海が1989、1990年度に比べてCの値が大きくなっている(往航の後半及び復航の1日目、7日目でCの値は逆になっているが、その他は旧塗料仕様である1989、1990年度と新型塗料仕様である1991年度と比較してCの値が大きい)。また特徴として1991年度往航の6日目で、1989、1990年度往航では8日目からCの値が3航海分とも急激に増加しており以後、1991年度では少しずつ減少しているが、他の2年度ではその値はあまり変化はない。また復航では3航海分とも航海日数が増える程、漸次Cの値が大きくなっており、寄港地で付着した船底付着物に対する塗料の研摩効果が表れている。

Fig. 3にスリップ比と航海日数との関係を示す。船が航行中に受ける波浪や風圧力の増加に伴う自然減速量を次のスリップ比で表す。

$$SL = \frac{n \times P - V}{n \times P} \times 100 \quad (2)$$

SL : スリップ比

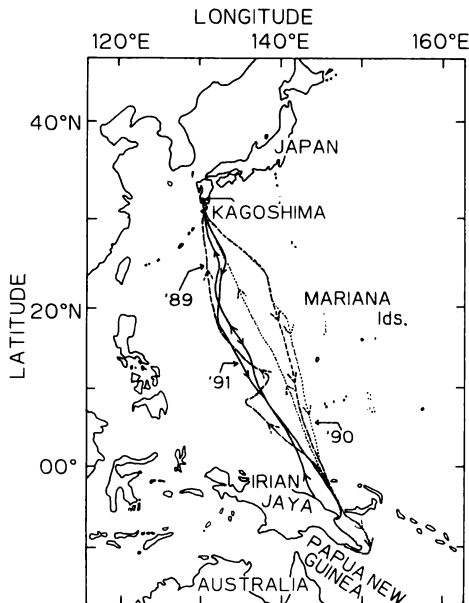
$n$  : プロペラ回転数

$P$  : プロペラピッチ

$V$  : 対水速力

航行中における外的要因が同じであるなら、船底塗料の塗り換えによる減速量を表すのにSLが適当であると考えFig. 2と同じく往航と復航に分けて比較した。燃料消費係数Cと反対で、SLの値は小さいほど減速量が小さいことを表している。3航海分とも大きな違いは見られないが、往航の後半、及び復航は全体を通して、1991年度分のSLが大きい傾向が見られた。また特徴として1991年度の復航を見る限りSLは安定しており、航走しながらの研摩性防汚塗料の防汚効果は、十二分にその効果を發揮している。

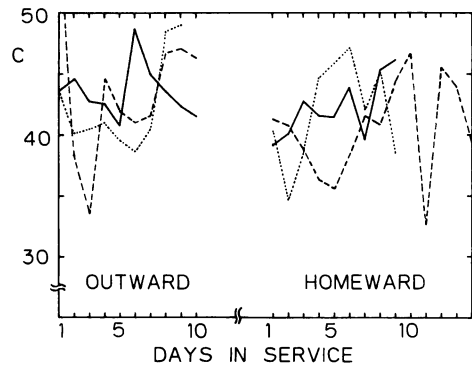
ここで減速量に関係する外的要因として海流、汚損、風向、風力、波浪等の影響について解析したデータに相違がないか検討してみた。外的要因が大きいかと新規船底塗料の効果を評価できないからである。前述の広田ら<sup>4)</sup>はアプログのデータから主に海流と汚損の影響に焦点を絞り実験式の精密化を行っており、笠原ら<sup>6)</sup>、長谷川ら<sup>7)</sup>は風浪による船速の減少について航海日誌からデータの解析を行っている。上記方法で減速量を割り出し、しかるのち船底塗料の効果をみるのが適当であるが、風浪による波高の算定等、資料数の不足により困難であるので、今回は簡便法として対地速力と対水速力の差を比較してみた。3航海分の傾向が極端に異なるようだと他の外的要因に左右されてしまうからである。Fig. 4に(対



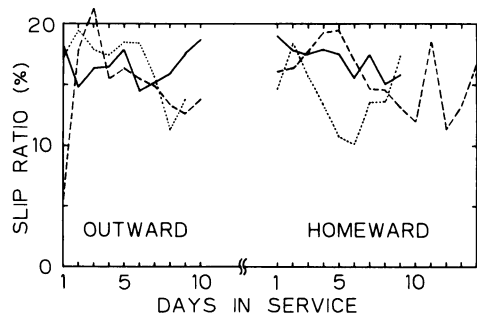
**Fig. 1** Map showing the cruising course  
 - - - : Voyage of 1989  
 ..... : Voyage of 1990  
 ——— : Voyage of 1991

地速力(対水速力)と航海日数の関係を示す。Fig. 4 を見る限り3航海分とも局地的な外的要因によると思われる大きな差異は認められない(+1ノット~-1ノットの範囲で大きくバラツキが見られるが、気象、海象データとも合わせ比較検討した結果、全航海を通じて大きな違いはない)。しかし全航海を通してマイナス側に片寄っているのは対地速力(GPSの精度+0.1マイル以内 山中ら<sup>8)</sup>)、対水速力(電磁ログの精度+0.15マイル以内)からすると電磁ログにマイナスの調整不足を含んでいると考えられる。又、往航の後半で増加傾向が見られるのは海流の影響と推察される。

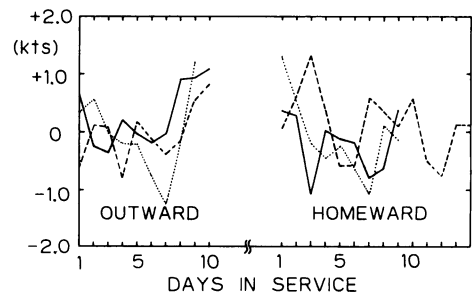
Fig. 5 に馬力と対水速力の関係を示す。Fig. 5 (a) は1989年度, Fig. 5 (b) は1990年度, Fig. 5 (c) は1991年度分の全データである。図中の曲線は1988年の海上公試運転のデータを記入している。Fig. 2, Fig. 3 同



**Fig. 2** Change of fuel consumption coefficient "C" throughout the voyage  
 - - - : Voyage of 1989  
 ..... : Voyage of 1990  
 ——— : Voyage of 1991

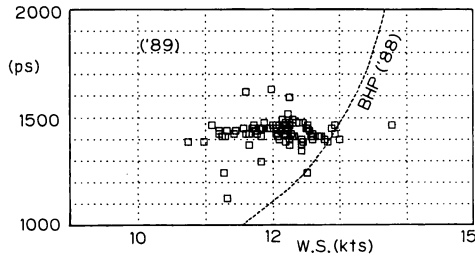


**Fig. 3** Change of Slip Ratio "SL" throughout the voyage  
 - - - : Voyage of 1989  
 ..... : Voyage of 1990  
 ——— : Voyage of 1991

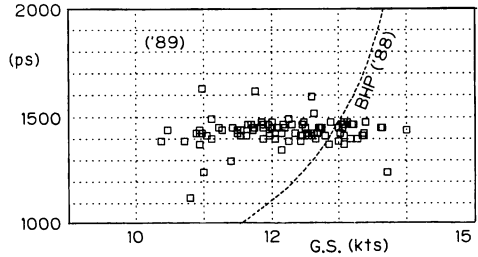


**Fig. 4** Change of the difference between ship's speed over ground to ship's speed through water  
 - - - : Voyage of 1989  
 ..... : Voyage of 1990  
 ——— : Voyage of 1991

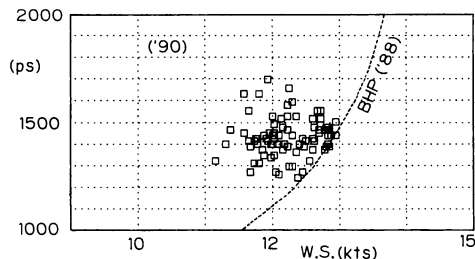
様ばらつきは大きい、1991年度航海分がバラツキが小さく、旧型塗料仕様の1989、1990年度航海より比較的安定しているのがわかる。しかし、同じ塗料仕様の1989、1990年度航海でもそのバラツキに差が見られ、年度によってまた外的要因の変動によって完全に同一条件とはいかないようである。1400馬力線上で分散を見てみると1991年度航海で11.6~13.3ノット、1989、1990年度航海分で見ると10.8~13.0ノットの範囲であった。参考までに



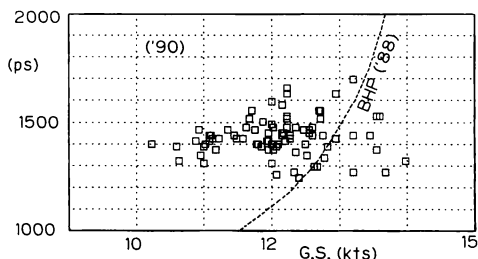
**Fig. 5 (a)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed through water in 1989  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988



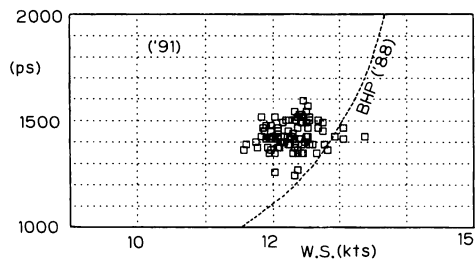
**Fig. 6 (a)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed over ground in 1989  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988



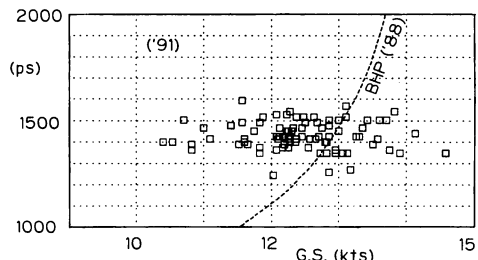
**Fig. 5 (b)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed through water in 1990  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988



**Fig. 6 (b)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed over ground in 1990  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988



**Fig. 5 (c)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed through water in 1991  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988



**Fig. 6 (c)** Comparison between BHP (ps) and ship's speed over ground in 1991  
 ----- : The curve of Official Trial Results in 1988

Fig. 6 (a), (b), (c) に対地速力に対する馬力の関係を示す。Fig. 6 からは殆ど差異は認められず、これは新旧塗料の防汚効果より外的要因（船体汚損要因も含めて）による減速量が大きく影響した結果によるものであり、Fig. 4, Fig. 6 とも関連して3航海分のデータとも局所的な偏りは見られず、同一条件であったと推察される。

新規研摩性船底塗料に塗り換え後の推進性能への影響について航海日誌、機関日誌より解析を試みた。速力試験を出渠後、平穏な海面で実施し正確なデータを得る事も必要なことであるが、ドック期間の短縮等による時間的制約があり、なかなか困難である。実際の大洋航海中のデータからその違いを検討することができればより実際に近い推進効率を能率的に求められると考え検討を加えてみた。しかし不確定な外的要因が多く正確な実測値まで求められなかったことは今後の課題として、これからも資料数を増やしていき汚損状態の比較を行うとともに運航上の役に立てていきたい。

## 要 約

1991年3月敬天丸は新規研摩性船底防汚塗料に塗り換えを行った。この船底塗料は環境汚染の原因となる有機錫を含まず、従来型と同じ防汚効果を発揮するように開発された。有機錫を含まない新規の塗料として登場した船底塗料の効果を従来型と比較して、推進性能の面から検討するため、塗り換え前後3年分の特定研究航海から、その資料を航海日誌、機関日誌より抽出し、解析を試みた。その結果、次のことがわかった。

- 1) 燃料消費係数を比較すると新規研摩性船底塗料が優れていた。
- 2) スリップ比を比較すると旧型の方が優れていた。
- 3) 馬力と対水速力の関係をみると、新規型がバラツキは小さく安定した推進性能を発揮していた。しかし、これらの値には大きな差異はなく、新規研摩性船底塗料は従来型に比べて劣らない防汚効果が発揮され十分な推進性能を維持していることがわかった。

## 謝 辞

最後に、この論文を取りまとめるにあたり、御指導いただいた漁船運用学講座 上田耕平助教授に深謝の意を表すものである。

## 参 考 文 献

- 1) 乾 真・大津皓平・井関俊夫・石塚正則 (1991): 航海撮要日誌の統計解析に関する一考察. 日本航海学会論文集, 85, 41-50.
- 2) 広田 実・永野重隆 (1984): 速力制御による燃料節約. 日本航海学会論文集, 70, 167-174.
- 3) 広田 実・永野重隆 (1984): 速力制御による燃料節約 III. 日本航海学会論文集, 70, 175-185.
- 4) 広田 実・永野重隆 (1984): 速力制御による燃料節約 IV. 日本航海学会論文集, 71, 167-176.
- 5) 佐藤 要・井上 清・武田誠一・秋沢速夫・峰 雄二・小池義夫・宮崎芳夫 (1987): 漁船の省エネルギーに関する船底及びプロペラ汚損防止の実験的研究. 東京水産大学紀要, 74 (2), 115-144.

- 
- 6) 笠原包道・伊達源一 (1968) : 風浪による船速の減少について. 日本航海学会誌, **39**, 77-84.
  - 7) 長谷川健二・笠原包道・福地 章・堺 忠彦 (1969) : 風浪による船速の減少について (II). 海技  
大学校研報, **12**, 1-7.
  - 8) 山中有一・松野保久 (1990) : 航海中におけるGPS測位精度. 鹿大水紀要, **39**, 13-19.