

(昭和 63 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

## PBCF (Propeller Boss Cap Fins) の研究開発

—プロペラボス後部流れの改善—

正員 大内 一之\* 正員 小倉 理一\*\*  
 正員 河野 嘉雄\*\*\* 正員 折戸 博允\*  
           塩津 高志\* 正員 玉島 正裕\*\*  
 正員 恋塚 初\*\*

## A Research and Development of PBCF (Propeller Boss Cap Fins)

—Improvement of Flow from Propeller Boss—

by Kazuyuki Ouchi, *Member* Michihito Ogura, *Member*  
 Yoshio Kono, *Member* Hironobu Orito, *Member*  
 Takashi Shiotsu, Masahiro Tamashima, *Member*  
 Hajime Koizuka, *Member*

## Summary

It is well known that a screw propeller generates free vortexes called tip vortexes and a hub vortex in its slipstream. In this paper, PBCF (Propeller Boss Cap Fins) which diffuses and weakens a hub vortex by changing the flow near by propeller boss cap is proposed in order to enhance the efficiency of ship's screw propeller.

The research and development of PBCF was carried out through Flow Visualization, Propeller Open Test, Self Propulsion Test and On Ship Test to make the PBCF practical.

As the result of various experiments, gains of 3 to 7% in propeller efficiency, gains of approx. 2% in self-propulsion efficiency of 7 m Model ship and gains of approx. 4% in terms of power output on 44,979 Gross Tonnage PCC "Mercury Ace" were obtained. These data lead us to believe that PBCF can be excellent energy-saving device with its simple structure.

## 1 序

スクリープロペラの後流に発生する自由渦として、チップボルテックスとハブボルテックスがあることは良く知られている<sup>1),2)</sup>。このうち、チップボルテックスによるプロペラ効率の損失については、その軽減について種々の研究や考案・工夫が行われ、プロペラ特性の改善が図られて来た<sup>3)-5)</sup>。一方、ハブボルテックスによるプロペラ効率の損失については、積極的にこれを軽減しようという試みは、現在まではほとんど成されておらず、またプロペラボスおよびボスカップ近傍の流れに関する

研究も少ない。また、プロペラの理論計算においても、ボスを考慮した計算が可能になってきたのがつい最近のこと<sup>6),7)</sup>、今まではボスの影響は無視されていたこともあり、このこともボス近傍の流れやハブボルテックスに関する研究が少なかった原因の一つであると考えられる。

本論文においては、スクリープロペラの後流に発生するハブボルテックスに注目し、これを拡散させ弱める装置として、プロペラボスカップに複数枚の整流フィンを付加した装置である PBCF (Propeller Boss Cap Fins) を考案し提案する。PBCF の概念図を Fig. 1 に示す。

ハブボルテックスを弱めることにより得られる利点としては、

- ① プロペラ効率が改善される。
- ② ハブボルテックス・キャビテーションを減らす。

\* 大阪商船三井船舶 (株), Mitsui O. S. K. Lines, Ltd.

\*\* (株)西日本流体技研, West Japan Fluid Engineering Laboratory Co., Ltd.

\*\*\* ミカドプロペラ (株), Mikado Propeller Co., Ltd.

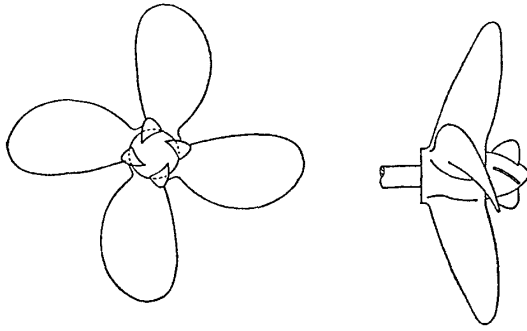


Fig. 1 Concept of PBCF

- ③ プロペラ起振力を弱める。
- ④ プロペラ騒音を弱める。

などのものが考えられるが、本論文では、次章以下主としてプロペラ効率を改善する省エネルギー装置の研究開発という観点から、流れの可視化、プロペラ単独試験、自航試験、実船試験などを通じて PBCF の研究開発を行い、成果を得たので報告する。

## 2 流れの可視化

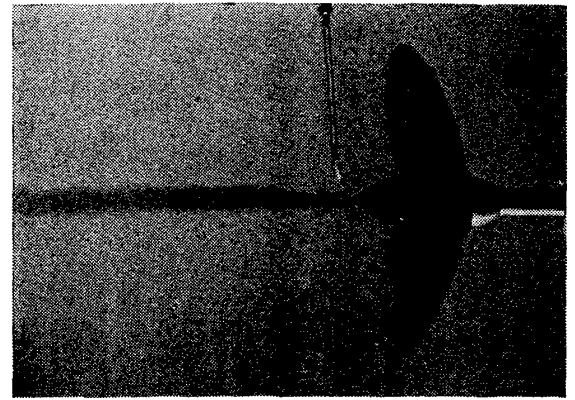
1章で提案した PBCF について、PBCF の有無によりハブボルテックスおよびボスキャップ近傍流れがどのような変化を示しているのか、模型プロペラおよび模型 PBCF により、以下に述べる可視化の手法<sup>9)</sup>を用いて定性的に確認する。

なお、本章以下特に記載のない限り、模型実験には(株)西日本流体技研の No.1 回流水槽を使用している。この水槽は観測部寸法が、長さ 5.5m、幅 2.0m、深さ 1.0m であり、最大流速 2.0m/s、流速均一性は  $\pm 1.5\%$  以内のものである。供試プロペラについては、主要目を Table 1 に示し、形状は Fig. 1 からフィンを除いたものと同様な形状である。また実験でのプロペラ軸没水深度は 300 mm とした。

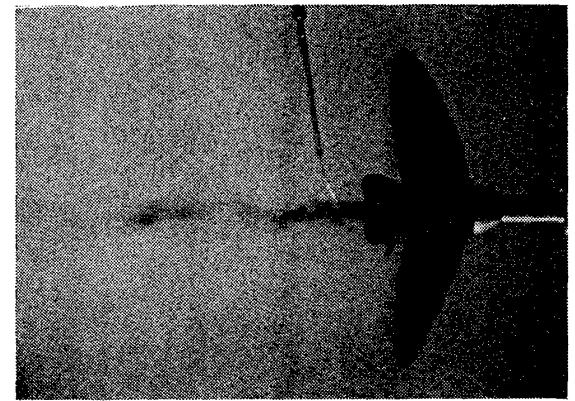
### 2.1 ハブボルテックスの観察

染料注入法による可視化写真を Fig. 2 に示す。この時の模型プロペラは CP 26 (Table 1 参照) を使用し、PBCF は Table 3 の CP 26-1 を使用した。

Fig. 2 から分かるように、PBCF 無しの場合、ボスキャップ後端から発生しているハブボルテックスの中心の圧力の低い部分に染料が集中しており、強い渦の存在を示しているのに対して、PBCF 有の場合は、ハブボル



without PBCF



with PBCF

Fig. 2 Hub vortexes visualized by dye injection method ( $n=3.0$  rps,  $J=0.8$ )

テックスが弱まっているため、染料もぼやけて拡散されているのが分かる。

気泡注入法による可視化写真を Fig. 3 に示す。この時の模型プロペラは CP 25 (Table 1 参照) を使用し、PBCF は Table 3 の CP 25-1 を使用した。

Fig. 3 も PBCF の有無によるハブボルテックスの強弱をよく表わしており、PBCF 無しの場合には相当後方で気泡の列がハブボルテックスの中心に一直線に連なっているのに対し、PBCF 付きの場合はボスキャップ後端に気泡を注入しても、気泡はすぐに拡散浮上してしまいボスキャップ後部に気泡の列は出来なかった。

以上の実験から、適当な取付位置、角度、形状のフィンをもつ PBCF をプロペラの後部に組み合わせることにより、ハブボルテックスを相当弱めることが出来ることが定性的に確認出来た。

### 2.2 プロペラボス近傍流れの観察

PBCF の要目決定に際して、ハブボルテックスが生成されるまでの流れ、つまりプロペラ翼根部からボスキャップ近傍を経てボスキャップ後方へ至る流れの様子につき詳細に観察する必要がある。ここではボスキャップに 6本のタフトを取りつけ、タフト法により、プロペラ回

Table 1 Particulars of Model Propellers

Model Propeller No.	CP24	CP25	CP26
Diameter (mm)	220	220	220
Pitch Ratio	0.8	1.0	1.2
Developed Area Ratio	0.55	0.55	0.55
Boss Ratio	0.18	0.18	0.18
Blade Thick. Ratio	0.05	0.05	0.05
Blade Section	MAU	MAU	MAU
Blade No.	4	4	4

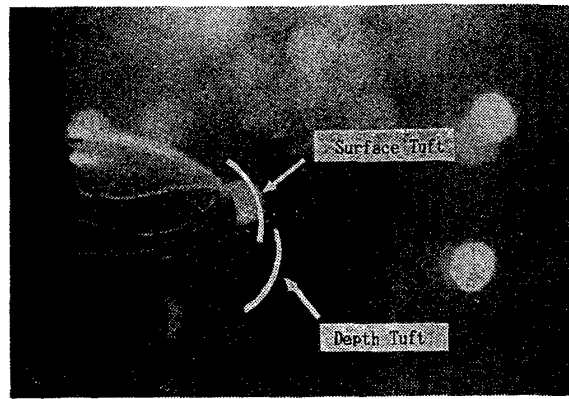


without PBCF

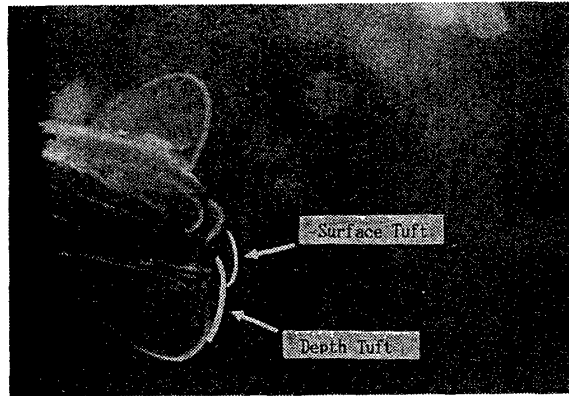


with PBCF

Fig. 3 Hub vortices visualized by air bubble injection method ( $n=7.5$  rps,  $J=0.7$ )



without PBCF



with PBCF

Fig. 4 Flow visualized by tuft method (with/without PBCF) ( $n=7.0$  rps,  $J=0.8$ )

転数とストロボ照明を同期させてボスキャップ近傍の流れを観察した。この時の可視化写真を Fig. 4 に示す。また Fig. 5 にはタフトの取付位置を示す。模型プロペラは Table 1 の CP 26 を使用し、PBCF は Table 3 の CP 26-1 を使用した。

Fig. 4 の PBCF なしの写真から分かるように、ボスキャップの表面流れ (Fig. 4 および Fig. 5 で Surface Tuft と表示されているタフト) は、ボスキャップ表面をプロペラの回転方向に向かって回り込んで流れており、この流れがボスキャップ後端でまとまりハブボルテックスを生成させていると考えられる。一方 PBCF 付の写真を見ると、表面流れ (Surface Tuft) は、フィンによって仕切られているため、フィンに沿ってほぼ真っ直ぐに流れてボスキャップ後方へ抜けており、このような流れからはハブボルテックスはほとんど生成していないと思われる。

ボスキャップ表面より 10 mm 離れた位置の流れ (Fig. 4, 5 で Depth Tuft と表示されているタフト) は、PBCF の有無で、プロペラから流出して来る流れの角度に若干の違いはあるものの、さほど違った流れとはなっておらず、両方ともほぼプロペラピッチ面に近い角度へ真っ直ぐに流れている。

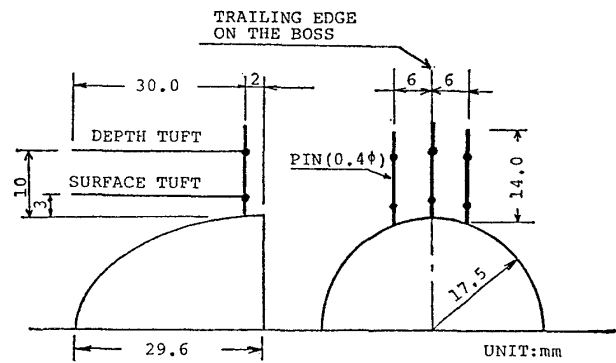


Fig. 5 Tuft arrangement

以上より、PBCF はボスキャップ表面付近の回転方向へ回り込んでいる流れをフィンに沿った流れに整流することにより、ハブボルテックスを弱めていることが認められた。

### 3 プロペラ単独特性の改善

2章で PBCF がボスキャップ近傍の流場に大きな変化をもたらすことが確認されたので、本章ではこの流場の変化が定量的にどの程度の効率改善につながるかを、プロペラ単独効率ベースで明らかにするとともに、プロペラ効率を高めるための PBCF の要目についての探究

を行った。また、実用化のための準備として、PBCF にかかる流体力の測定を行った。

### 3.1 テスト方法

プロペラ単独効率を計測するために現在一般に行われているプロペラオープンテスト (POT) は、トルク、スラスト計、プロペラ回転機構などを内蔵したプロペラオープンテストボートを供試プロペラの downstream に配置し、プロペラには一様流が流れ込むようにアレンジされている。しかし、この方法ではプロペラを回転させるためのシャフトをボスキャップの後端から突っ込んでいるので、2章で観察したハブボルテックスが発生する場所に丁度シャフトが位置してしまい、ハブボルテックスの強弱を問題にするのには、実験方法として適当なものではないと考えられる。

そのため、PBCF の効果を計測するための装置として、テストボートおよび駆動シャフトを供試プロペラの上流に配置し、プロペラボスキャップ後方には実船と同じように何も取りついていないという配置の実験装置を

採用する。この装置では上流にテストボートがあるため、プロペラに流入する流れは弱い伴流となり一様流ではなくなるが、代表流速としてテストボート上流の一様流の流速を利用しても、計測結果を PBCF の有無の比較のために使用するのであれば、この方法の方が適していると考えられる。以下本方法を“逆 POT”と呼ぶ。

Fig. 6 に逆 POT 伴流に関する計測値を示す。Table 2 には、これらの実験に使用したプロペラ単独試験機の諸性能について示す。逆 POT のプロペラ、PBCF および駆動軸の配置は Fig. 7 に示す。また、以下で行った逆 POT は回転数が 6~9 rps、プロペラ軸没水深度は 300 mm として実施した。

### 3.2 プロペラ単独試験

3.1 で述べた逆 POT 装置を使用して、Table 1 および Fig. 1 に示した標準模型プロペラおよびボスキャップについて、PBCF の有無での実験を行い、種々の PBCF によるプロペラ単独効率の変化を計測した。

供試 PBCF の要目を決定するに当り、重要と思われるパラメーター、すなわち

- ① フィンの形状
- ② PBCF 直径のプロペラ直径に対する比 ( $r/R$ )
- ③ フィンの前縁のボスキャップへの取付位置 ( $a, b$ )
- ④ フィンの取付角度 ( $\alpha$ )

をそれぞれ、種々変化させた PBCF を作製し実験を行った。ただし、フィン枚数はプロペラ翼数と同じ 4 枚とし、3.3 で述べるフィン傾斜 ( $r$ ) は  $0^\circ$  とした。またフィンは厚さが 1 mm の塩化ビニール製のものを使用し、エッジはスムーズに丸めた。

Table 3 に CP 24, 25, 26 の各標準プロペラに組合わせて最も効率が向上した PBCF の要目について示し

Table 2 Characteristics of Propeller Open Test Instrument

	Thrust	Torque
Max. Capacity	10 (Kgf)	0.2 (Kg-m)
Zero Balance (@No LOAD)	$\pm 0.002$ (% F.S.)	$\pm 0.05$ (% F.S.)
Linearity	$\pm 0.015$ (% F.S.)	$\pm 0.1$ (% F.S.)
Sensor Type	SM-10 (Strain gauge)	SS-20 (Phase differential)
Maker	Inter face	Ono Sokki

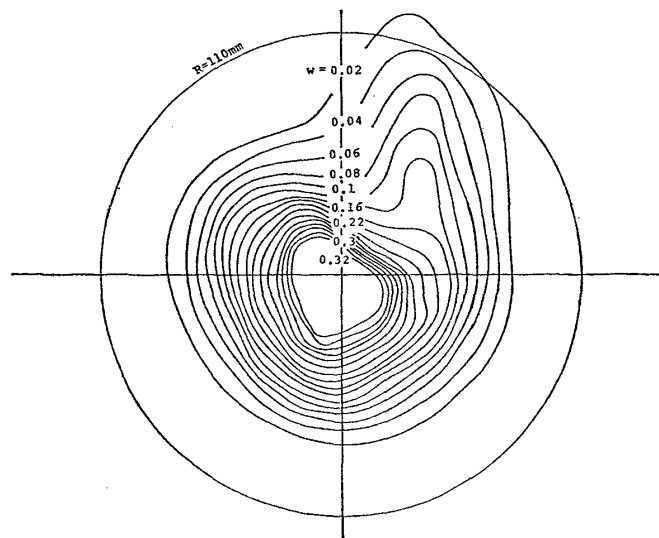


Fig. 6 Wake distribution by Open Test Boat at the propeller position

た。ここで各記号を下記に定義する。

$a$  : プロペラ翼後縁とフィン前縁のボスキャップ前端部における円周方向の周上距離 (Fig. 7 参照)。

$b$  : プロペラ翼後縁とフィン前縁のプロペラ軸方向のボスキャップ表面上の距離 (Fig. 7 参照)。

$\alpha$  : フィンの幾何学的ピッチ角 (Fig. 7 参照)。

$r$  : PBCF の最大半径

$R$  : プロペラの最大半径

形状 : Fig. 8 に各フィンの実形およびプロペラ軸からの相対高さを示す。なお、点線より下の部分はボスキャップに埋込まれた部分を示す。

$\Delta\eta_p$  : 効率向上率 (%)

$$\{\eta_p(\text{PBCF 付})/\eta_p(\text{PBCF 無})-1\} \times 100$$

評価に使用した  $\Delta\eta_p$  は、それぞれのピッチ比のプロペラにおいて、通常のプロペラ設計点付近の前進係数 ( $J$ ) においての  $\Delta\eta_p$  の値とした。

これらのデータのうち最も  $\Delta\eta_p$  が大きい CP 26-1 についてのプロペラ単独効率曲線を Fig. 9 に示す。この実験では、PBCF 有りの場合  $KQ$  が減少し、 $KT$  が増加し、結果として  $\eta_p$  も増加するという形になっている。他のデータを見ても、効率向上の顕著なものは、数値の大小はあるものの、大体同様の傾向を示している。

Table 3 Particulars of PBCF and test results

Test No.	a (mm)	b (mm)	$\alpha$ (deg)	$r/R$	Configuration	$\Delta\eta_p$ (%)	$J$
CP24-1	10	7	63	0.23	C	3.93	0.6
24-2	10	7	57	0.22	C	2.32	0.6
25-1	11	1	55	0.25	C	3.84	0.8
26-1	10	5	66	0.23	C	7.66	0.9

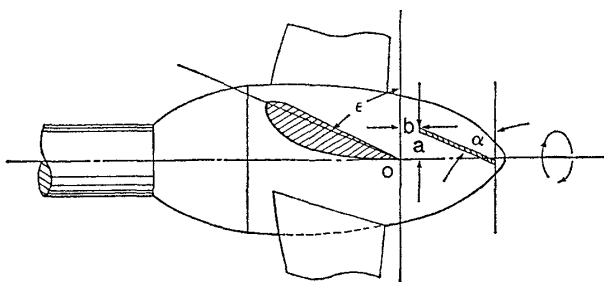


Fig. 7 Installation of fins

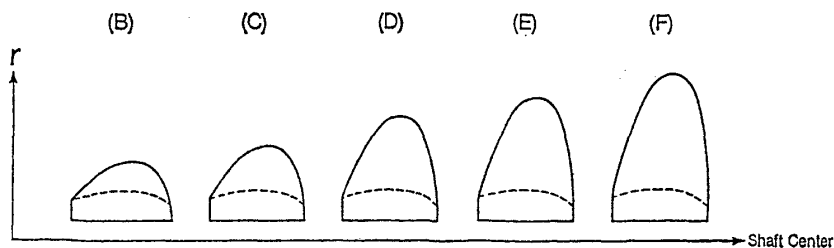


Fig. 8 Configuration of fins

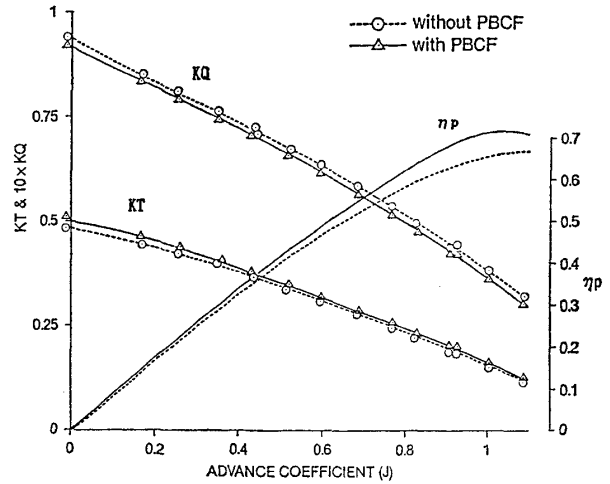


Fig. 9 Change of Propeller Performance by PBCF

Table 3 のデータおよびその他の逆 POT 計測データを整理、分析してみると以下のことがいえる。

1) プロペラピッチ比の高いプロペラで、大きな効率改善が得られる傾向がある。

2)  $r/R$  は 0.20~0.25 程度の方がよい。

3) プロペラ翼根部の幾何学的ピッチ角  $\epsilon$  (Fig. 7 参照) と大体同じようなピッチ角を持つフィン、すなわち  $\alpha - \epsilon$  が 0 付近のものがよい。

4) フィンの前縁の位置は、プロペラの各翼根部のノーズテイルラインを後部に延長した直線間の中点付近にあるものがよい。

5) PBCF は同じ前進係数において、プロペラのトルクを減らし、スラストを増やす効果がある。

### 3.3 PBCF 要目シリーズテスト

3.2 の実験計測により、効率改善率の高い PBCF 要目 (形状,  $r/R, a, b, \alpha$ ) について、大体の傾向値をつかんだが、これらの要目を変化させることにより  $\Delta\eta_p$  がどのような変化を示すか、以下の実験を行った。

1) フィンの大きさ ( $r/R$ ) の影響

Fig. 8 に示す形状 (大きさ) のフィンを使って  $r/R$  シリーズテストを行い、Fig. 10 にその結果を示す。実験に使用したプロペラは CP 26 (Table 1 参照) であり、PBCF は CP 26-1 (Table 3 参照) と同じ要目で、フィ

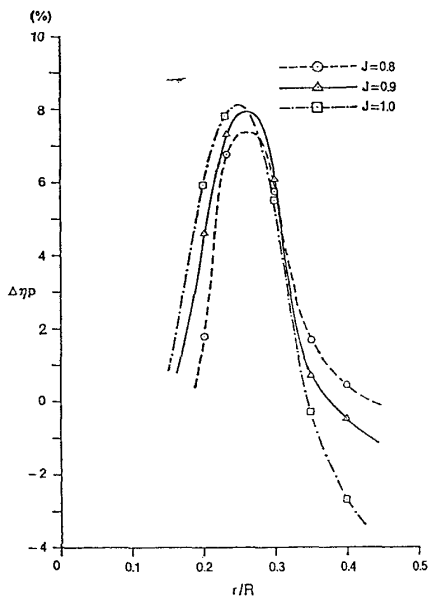


Fig. 10 Relation between  $\Delta\eta_p$  &  $r/R$

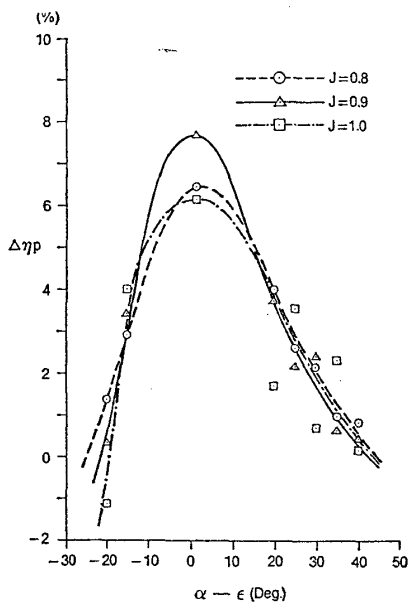


Fig. 11 Relation between  $\Delta\eta_p$  &  $\alpha$

ンの大きさ ( $r/R$ ) のみを変化させた。

この結果から、PBCFの直径は、 $r/R$ で表わすと0.18~0.33(ボス径に対する比で表わすと1.0~1.8倍)の範囲が良いことが認められる。

2) フィン取付角度 ( $\alpha$ ) の影響

CP 26 (Table 1 参照) を使用し、PBCF は CP 26-1 (Table 3 参照) と同じ要目で、 $\alpha$ のみを変化させたときの  $\Delta\eta_p$  の変化を Fig. 11 に示す。

この結果により  $\alpha$  の値は、 $\alpha - \epsilon$  が  $-20 \sim +30^\circ$  の範囲で効率向上効果が認められる。また、CP 24 でもほぼ同様な  $\alpha - \epsilon$  の範囲で効果のあることを確認した。

3) フィン傾斜角 ( $\gamma$ ) の影響

これまでの PBCF は、フィンの図心がボスキャップ

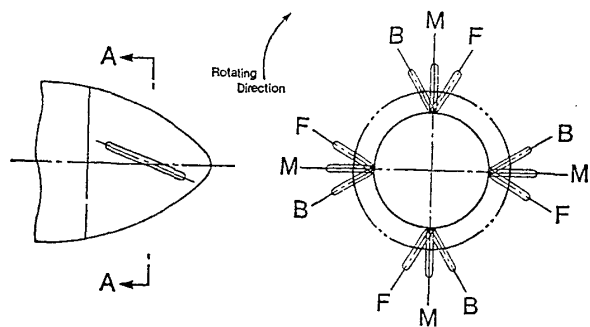


Fig. 12 Inclination of fins

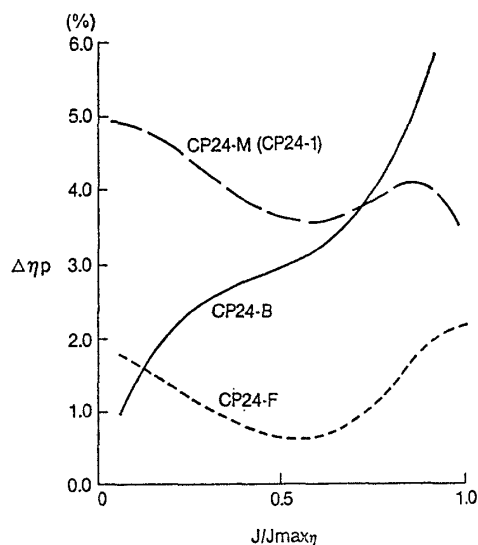


Fig. 13 Effect of  $\gamma$  on  $\Delta\eta_p$

表面の法線を通るものとして PBCF の製作を行っていたが、ここでは Fig. 12 に示すように、フィン前縁と後縁を結ぶ線を軸にして、プロペラ回転方向側に  $\pm 30^\circ$  の傾斜 ( $\gamma$ ) をつけて実験を行った。プロペラは CP 24 (Table 1 参照) を使用し、PBCF は CP 24-1 (Table 3 参照) の要目のものとした。結果を Fig. 13 に示す。

この結果から、フィンの傾斜を回転側と反対側につけることにより、 $J$  の変化による  $\Delta\eta_p$  の特性を変えることが出来、常用作動点での  $\Delta\eta_p$  の改善を計ることが可能である。また、回転側に傾斜をつけると  $\Delta\eta_p$  は減少する傾向があることが認められた。

4) フィン枚数の影響

これまでは、プロペラ翼数とフィン枚数が同じ PBCF で実験を行って来たが、ここでは Fig. 14 に示すようにプロペラ翼数に対して、フィン枚数を種々変化させて実験を行った。使用したプロペラは CP 24 (Table 1 参照)、PBCF は CP 24-2 (Table 3) のものであるが、 $a, b$  の値は、翼数とフィン枚数が違うので、基準点のみでの値である。

Fig. 15 に結果を示すように、4翼のプロペラに対しては4枚の PBCF が、2, 3, 5枚の PBCF に比べ、

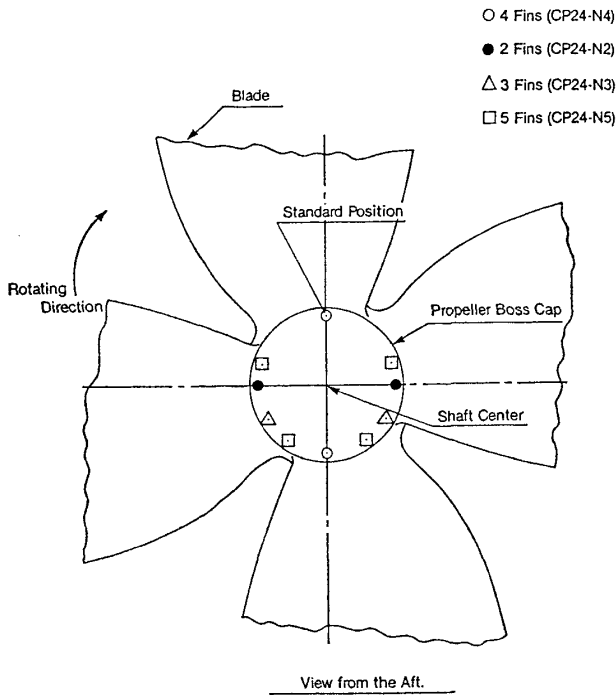


Fig. 14 Fin arrangement

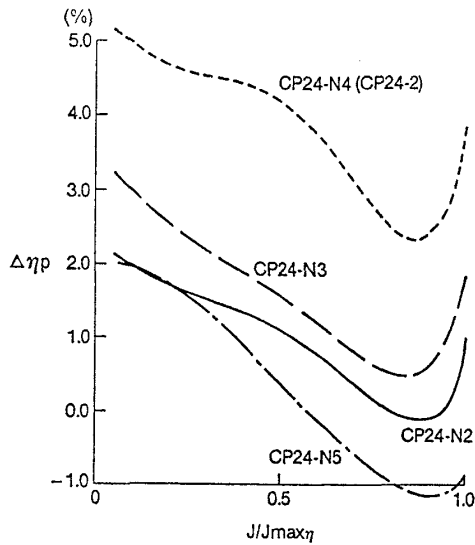


Fig. 15 Effect of fin's number on  $\Delta\eta_p$

$J$  の如何を問わず効率が高いことが分かる。

### 3.4 PBCF に作用する流体力の計測

PBCF を実船に適用するためには、PBCF にかかる力を推定し、実物の強度を決定しなければならない。そのため、模型プロペラの後部に、根元部に歪ゲージを貼り付けたリン青銅板の PBCF を組み合わせて、PBCF の根元にかかる応力の計測を行った。試験装置は逆 POT と同じプロペラオープンテストボートの配置とし、歪ゲージからの信号はテストボートに内蔵されたスリッピングを介して取り出され処理される。供試プロペラおよび PBCF の要目は Table 4 に示し、計測の結果を Fig. 16 に示す。ここで縦軸の Force は歪ゲージで計測され

Table 4 Particulars of Propeller & PBCF for Force measurement

Model Propeller	N.P.	PBCF	NP-1
Diameter (mm)	320	a (mm)	2
Pitch Ratio( $\theta=0.157R$ )	0.716	b (mm)	10
Developed Area Ratio	0.450	$\alpha$ (deg.)	60
Boss Ratio	0.157	r/R	0.17
Blade Thick. Ratio	0.044	Configuration	C
Blade Section	MAU	Fin No.	4
Blade No.	4	$\Delta\eta_p$ ( $\theta=0.5$ )	1.8(%)

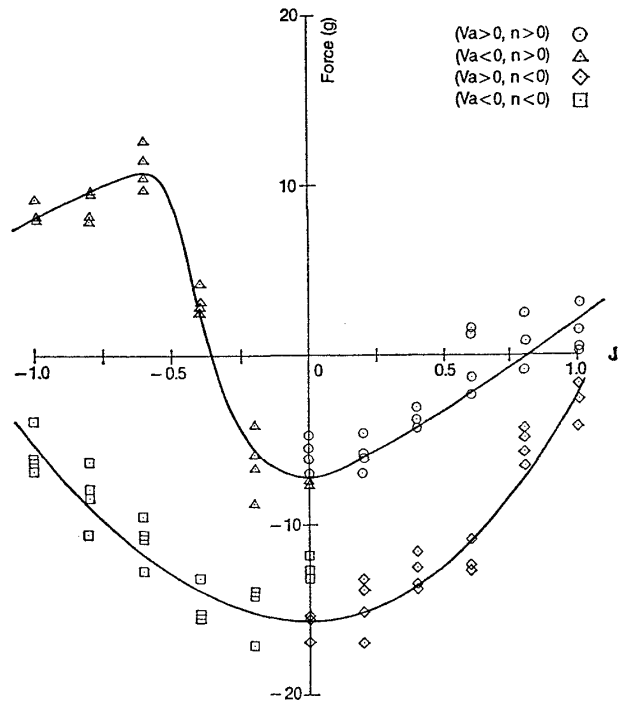


Fig. 16 Relation between Advance Coefficient & Force acting on PBCF

た応力に相当するフィンの先端にかかる集中荷重を表わし、フィンの面に直角な力で、プロペラ回転方向側に作用する力を負とする。

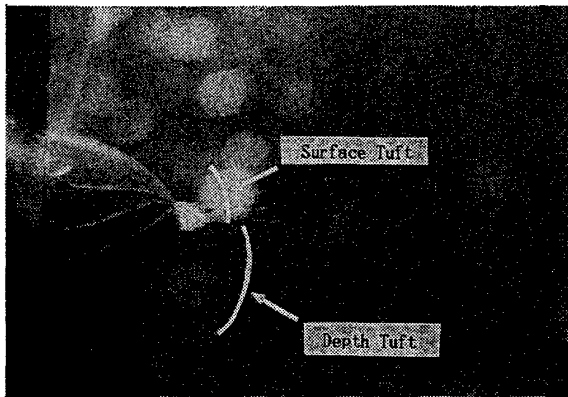
この結果で興味深いのは、第 1 象限 ( $V_a > 0, n > 0$ ) における PBCF に作用する力は、通常のプロペラでは回転方向と逆向きにかかっているものであるが、PBCF に関しては回転方向側に力が働いているという事実である。このことから、プロペラから出た流れが PBCF に当たり回転方向にトルクを与え、PBCF も含めたプロペラ軸に働くトルクを減少させることに寄与していると考えることが出来る。また PBCF それ自体は、前方へのスラストを出していないということが出来る。

## 4 推進性能の改善

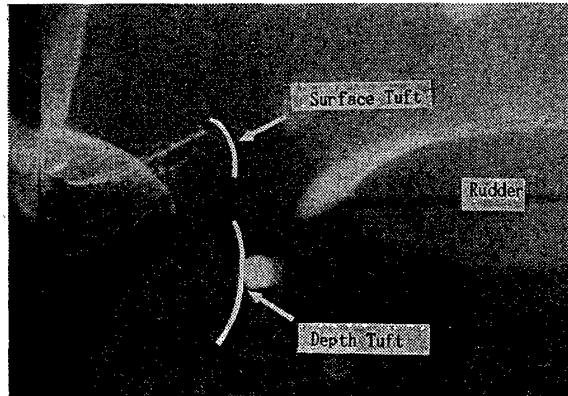
3 章までの研究開発で、どのような要目の PBCF がプロペラ単独効率の改善に効果があるのかが明らかになった。別の言い方をすれば、プロペラと PBCF だけの系での最適な PBCF 要目が明らかになった。しかし実

Table 5 Particulars of Experimental Ships

Ship's Name	Mercury Ace (Pure Car Carrier)		America Maru (Container Carrier)	
	Actual	Model	Actual	Model
Lpp (m)	189.8	7.095	206.0	7.45
B	29.2	1.092	32.2	1.165
D	28.25	-	18.8	-
d	7.74	0.289	11.6	0.42
Gross Ton. (ton)	44,800	-	31,855	-
Deadweight (mt)	16,560	-	32,210	-
Main Engine Output (ps)	12,200	-	35,500	-
Main Engine R.P.M. (r.p.m.)	123	-	97	-
Propeller				
Dia. (mm)	5,350	200.0	7,400	267.6
Pitch Ratio	0.8905	0.8905	1.095	1.095
Developed Area Ratio	0.600	0.600	0.775	0.775
Boss Ratio	0.1888	0.1888	0.1800	0.1800
Blade Thick. Ratio	0.05	0.05	0.04	0.04
Blade Section	NAU	NAU	NAU	NAU
Blade No.	5	5	5	5
Rudder				
Maximum Thickness (mm)	1126	42.1	1146	41.6
Height (mm)	6800	254.2	8700	315.7
Length in fore/aft direction (mm) (at shaft center line)	6080	227.3	5067	183.8
Type	Reaction	Reaction	Normal	Normal



without Rudder



with Rudder

Fig. 17 Flow visualized by tuft method (with/without Rudder) ( $n=7.0$  rps,  $J=0.8$ )

船での適用を考えた場合、船体および舵と PBCF 付プロペラとの相互干渉を考慮した全体の系としての推進性能が問題となる<sup>9),10)</sup>。以上を明らかにするため、Table 5 に示す 2 隻の供試船を選定し、PBCF 付プロペラを舵および船体と組み合わせたトータルな推進性能について、以下の実験を行い供試船に最適な PBCF を決定しその

効果を確認する。

#### 4.1 舵によるプロペラ特性の変化

プロペラボスキャップの直後にある舵は、ハブボルテックスに大きな影響を与え、さらにはボス近傍の流場にも大きな影響を与えることが予想される。Fig. 17 に舵の有無によるタフト法による可視化写真を示す。プロペラおよび舵はあめりか丸の模型を使用している。

Fig. 17 より、舵を取り付けると、ハブボルテックスが弱まり、タフトの巻き込まれ方もかなり弱くなっていることが分かる。このことから舵無しに比べて舵付きの場合はハブボルテックスが弱いため PBCF を付けても舵無しの時に比べて  $\Delta\eta_p$  は小さくなることが予想されるとともに、舵によるボス近傍流場の変化により、最適 PBCF 要目も変化することが考えられる。

以上を踏まえて、2 隻の供試船について舵も含めた形での逆 POT (以後舵付逆 POT と呼ぶ) を行い、形状、 $\alpha, \gamma, a, b$  などについて様々に変化させて最適 PBCF の探究を行った。これらの一連の実験でまあきゆりいえずについては、設計作動点である  $J=0.65$  で  $\Delta\eta_p$  が

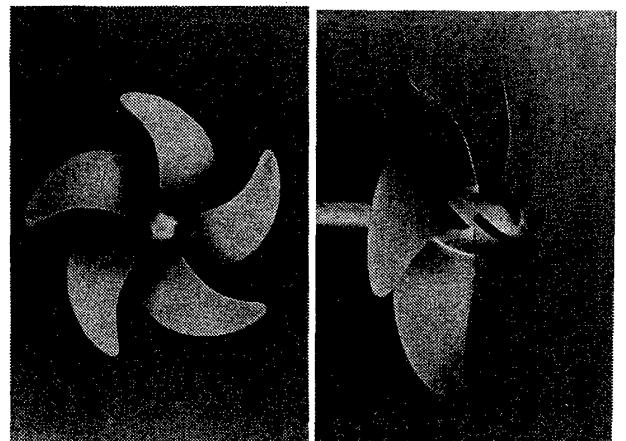


Fig. 18 Model Propeller & PBCF for "Mercury Ace"

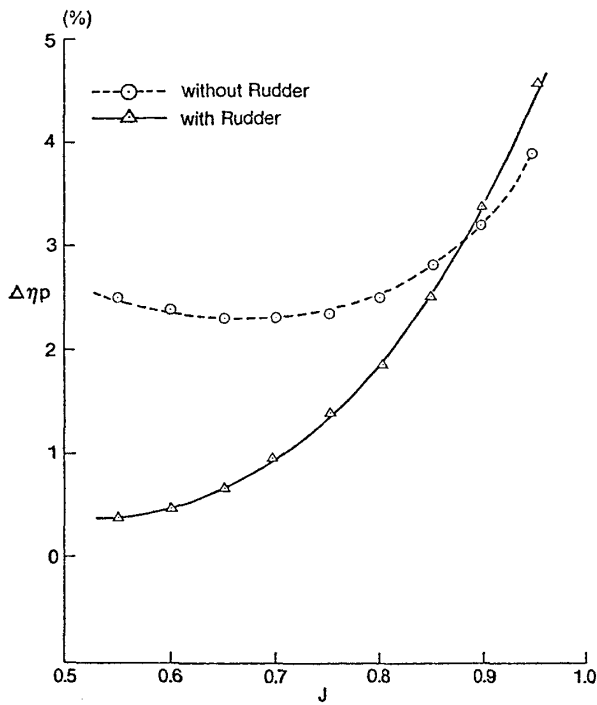


Fig. 19 Change of  $\Delta\eta_p$  by Rudder

2.0~2.5% (数回の再現テストの結果) という結果を、あめりか丸については  $J=0.85$  で  $\Delta\eta_p$  が 2.0~3.0% という結果を得た。Fig. 18 にまあきゆりいえーすの舵付逆 POT で得られた最適 PBCF とプロペラを組み合わせた写真を示す。

上記の舵付逆 POT での最適化結果と、3章で行った舵無し逆 POT の最適化結果を比較すると、舵付の結果の方が  $\Delta\eta_p$  の差で約 1.0~1.5% 程度悪くなっている。

Fig. 19 に舵付逆 POT での最適化した PBCF の  $\Delta\eta_p$  についての計測結果の一例としてあめりか丸のものを示す。また Fig. 19 には舵無し逆 POT での計測結果も合わせ示した。最適化により作動点付近では舵の有無で  $\Delta\eta_p$  はほぼ同じであるが、 $J$  の小さい所では、舵無しの方が良い値を示している。この傾向は、まあきゆりいえーすの計測結果でも確認されている。

#### 4.2 PBCF の有無による舵にかかる流体力の変化

4.1 では舵が PBCF 付プロペラに与える影響につい

Table 6 Change of Force acting on Rudder by PBCF

J	$\Delta R_f$ (g)	$\Delta KR_f$ $=\Delta R_f/\rho n^2 D^4$	$\Delta KR_f/KT$ (%)
0.60	+14	$1.2 \times 10^{-3}$	0.35
0.65	+12	$1.0 \times 10^{-3}$	0.31
0.70	+9	$0.8 \times 10^{-3}$	0.27
0.75	+7	$0.6 \times 10^{-3}$	0.22
0.80	+6	$0.5 \times 10^{-3}$	0.21
0.85	+6	$0.5 \times 10^{-3}$	0.23
0.90	+5	$0.4 \times 10^{-3}$	0.21
0.95	+6	$0.5 \times 10^{-3}$	0.30
1.00	+7	$0.6 \times 10^{-3}$	0.43

て考察したが、ここでは PBCF 付プロペラが舵に与える影響を考えてみることにし、推進性能に最も関係のある舵に働く前後方向の力について、PBCF の有無での計測を行い Table 6 の結果を得た。ここでの  $\Delta R_f$  は舵に働く前後方向の力の差、すなわち  $R_f$  (with PBCF) -  $R_f$  (without PBCF) の値である。ここで  $R_f$  の方向は舵の進行方向と逆の方向を正とする。供試プロペラおよび舵はあめりか丸のものを使用し、PBCF は 4.1 で最適化したものを使用した。

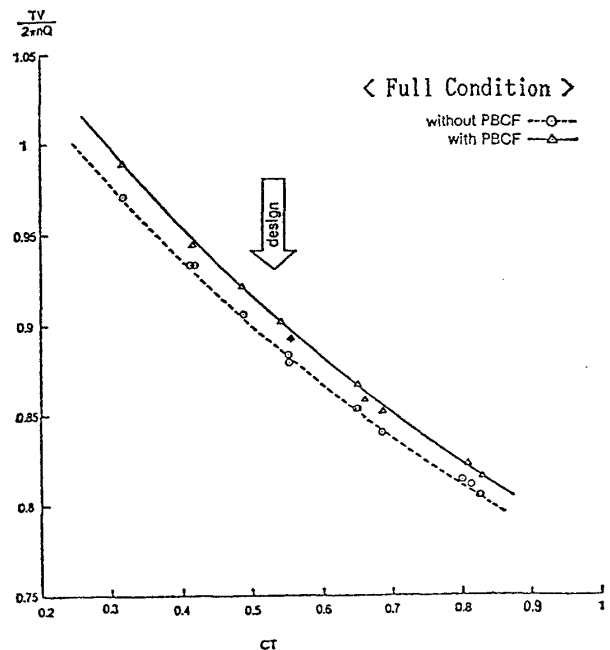
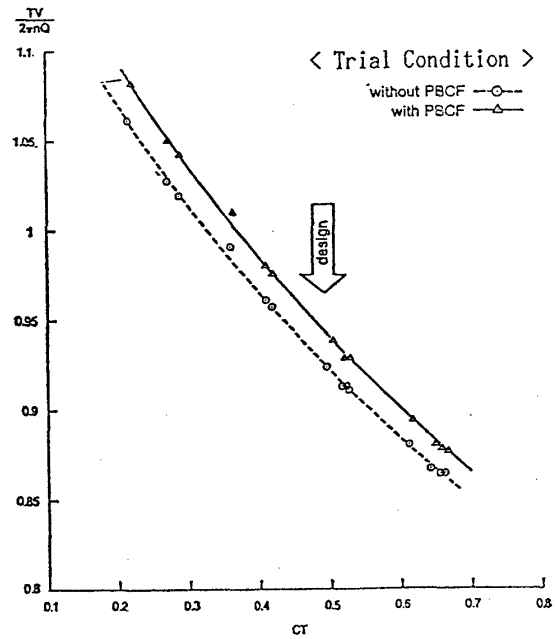


Fig. 20 Change of Self Propulsion Efficiency by PBCF

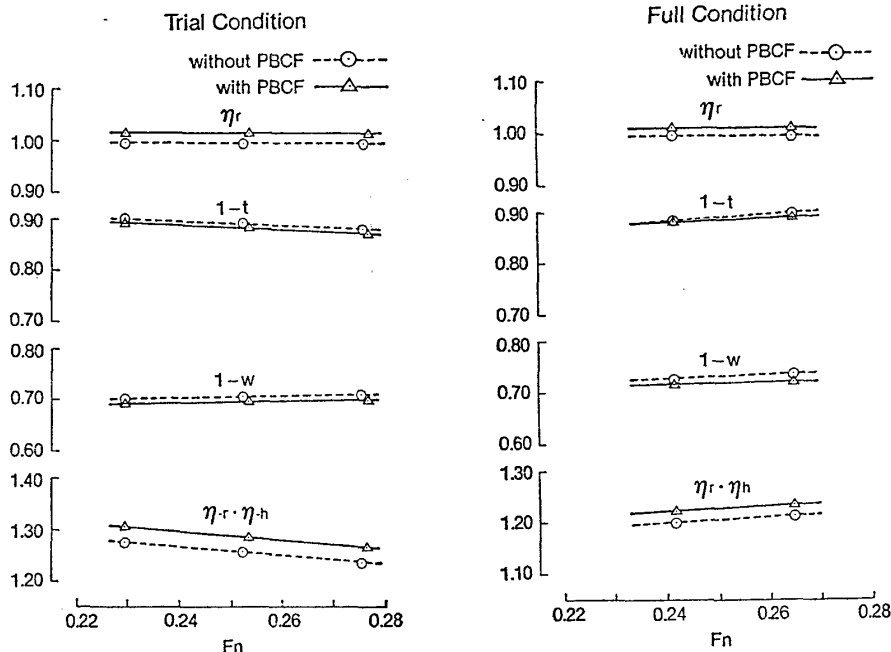


Fig. 21 Change of Self Propulsion Factors by PBCF

PBCF を付けることによる舵にかかる力の増加の程度を知るため  $\Delta R_f$  を無次元化して  $\Delta KR_f$  を求め、 $KT$  との比較をした値を Table 6 に合わせ示した。

この結果から、PBCF を付けることによりプロペララストの約 0.2~0.3% 程度の力が余計に舵にかかるようになったということがいえる。

### 4.3 自航試験

4.1 で得られた最適 PBCF を使用して、2 隻の供試船にて荷重度変更法による自航試験を行った<sup>11)</sup>。2 隻の模型船およびプロペラ要目に関しては Table 5 に示す。

まあきゆりいえーすに関しては、(株)西日本流体技研の大型回流水槽（観測部寸法、長さ 45m、幅 4m、深さ 1.6m）を使用し、あめりか丸に関しては、(財)日本造船技術センターの大型曳航水槽を使用し実験を行った。これらの実験では両船とも設計作動点付近で約 2.0~2.3% 程度の推進効率の改善が得られた。以下、例として、あめりか丸の試験データについて解析評価を行う。

1) 推進効率を評価するための値として  $TV/2\pi nQ$  を用い、横軸にプロペラ荷重度 ( $CT=T/(1/2)\rho V^2 \cdot \pi D^2/4$ ) をとった図を Fig. 20 に示す。試運転状態、満載状態とも設計作動点における PBCF による効率向上として 2.0~2.3% 程度が認められる。

2) スラスト一致法により自航要素を求め、PBCF の自航要素に与える影響を調べる。この解析では、PBCF はプロペラの付加物と考え、プロペラ性能は MAU 標準プロペラ図表からの推定値を、抵抗値は荷重度変更試験からの推定値を、PBCF 有無の両状態に使用した。Fig. 21 に設計作動点付近の荷重度における各自航要素

の PBCF 有無による変化を示した。

Fig. 21 によると、プロペラ効率比 ( $\eta_r$ ) が増加し、伴流係数 ( $1-w$ ) および推力減少係数 ( $1-t$ ) がともにわずかに減少している。ここで  $\eta_r$  が増加しているのは本来の  $\eta_r$  の意味（伴流変化によるプロペラ効率の変化）によるものではなく、この解析では PBCF によるプロペラトルクの減少が  $\eta_r$  を増加させていると考えられる。また  $1-t$  の減少は非常に少なく、しかもオーダー的に 4.2 で計測した舵抵抗の増加分と等しくなっている。

以上の結果より、本解析でも  $\eta_r \cdot \eta_h$  ベースで試運転、満載両状態とも約 2% の効率向上が認められる。（ここで  $\eta_h=1-t/1-w$ ）なお、Fig. 21 で  $1-t$  の値が、通常行われている抵抗自航試験で求められる値よりも高くなっているのは、抵抗値として前に述べた荷重度変更試験からの推定値を用いたためである。

## 5 実船試験

4 章までの水槽実験での研究開発を受け、供試船においての実船実験を行う。本章では、まあきゆりいえーす

Table 7 Conditions of Sea Trial

Ship's name	Neptune Ace (Without PBCF)	Mercury Ace (With PBCF)
Date	Aug. 19 & 20 1987	Sep. 30 & Oct. 1 1987
Place	Harima nada	Harima nada
Weather	Fine	Rain (Sep. 30) Fine (Oct. 1)
Wind (m/s)	South 6	N. East 1.5
Sea condition	Calm sea	Calm sea
Ship condition	abt. 47 %D.V.	abt. 47 %D.V.
Temp. of water (deg.)	28	23
Spec. grav. of w.	1.021	1.022
dF.P. (m)	6.824	6.81
dA.P. (m)	6.746	6.71
Trim (m)	-0.078	-0.10
Disp. weight (at)	20,815	20,789

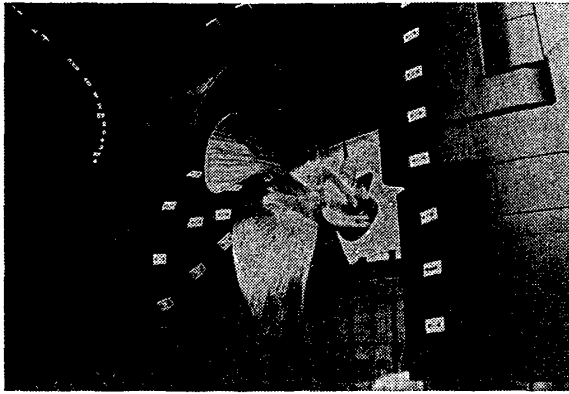


Fig. 22 PBCF installation on "Mercury Ace"

(以下 M. A. と略す) に実物 PBCF を製作・取付けて、PBCF 非装備の完全同型船ほぼ同船令船のねぶちゅーんえーす(以下 N. A. と略す)との性能比較を行った。Fig. 22 に M. A. へ PBCF を装着した様子を示す。Table 7 に、以下に行った各試験時の本船状態および気海象状態等を示す。なお、両船とも船底塗装施工直後の状態で試験を行った。

5.1 速力試験

Table 7 に示す状態で、MCO の 50%、70%、85%、100% の 4 点で 1 マイルの往復航走を行い速力、馬力、回転数の計測を行った。両船とも速力計測には電波式速力計測装置マースメック-2 を使用し、馬力および回転数計測には湘洋エンジニアリング(株)製の軸馬力計(精度 ±0.8%) および同社の回転計を使用した。Fig. 23 に運輸省方式の修正<sup>12)</sup>を行った後の速力/馬力/回転数の曲線を示す。

この結果より実船テストでは馬力ベースで約 4%、85% MCO での速力では約 0.2 ノットの効率改善が認められた。また同一馬力における回転数は 1.0~1.5 rpm 増加した。

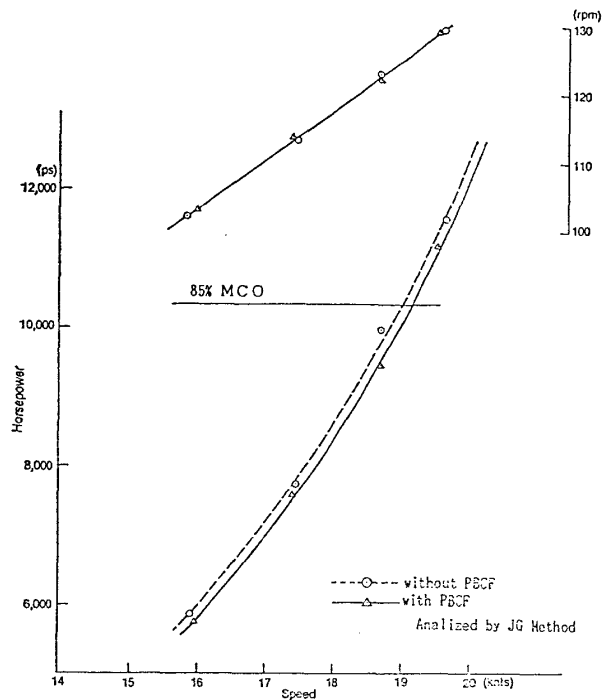


Fig. 23 Speed Trial Result

5.2 操縦性能

Fig. 24 に旋回試験による航跡比較図を示す。この試験は、85% MCO で航走中、0° と標示されている位置で舵を左右とも最大舵角とし、そのまま一周するまでの航跡を示したものであり、船首方位を 30° ごとにプロットしたものである。

Fig. 25 に後進性能比較図を示す。この試験は、85% MCO で航走中、後進全速を指令し、その後の速力などの変化の様子を示したものである。

Fig. 24 および Fig. 25 から、PBCF による旋回、後進性能への影響については、有意な差はないと認められる。

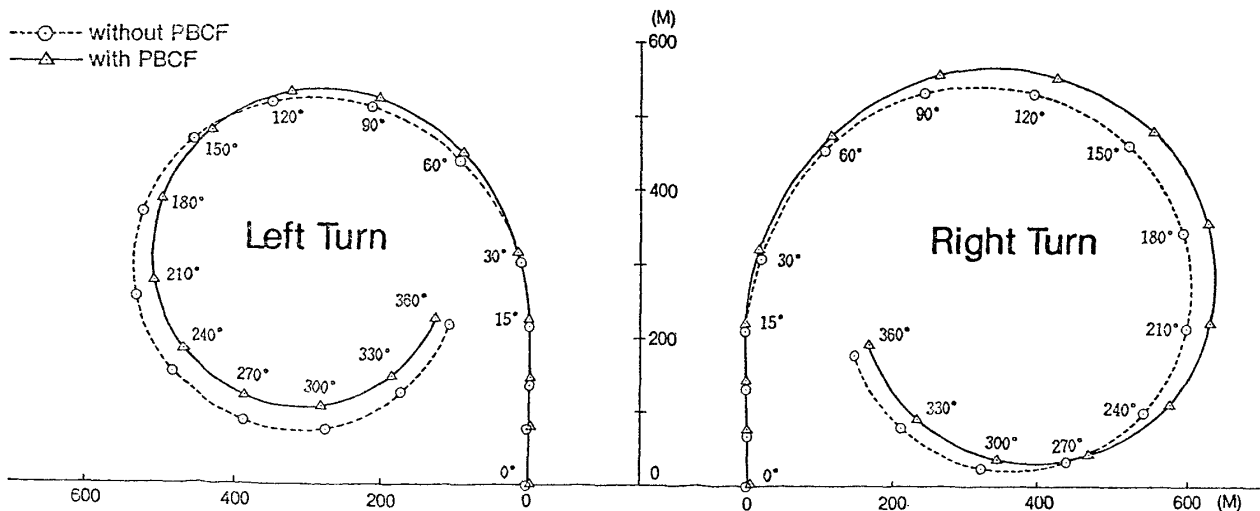


Fig. 24 Turning Circle Test Result

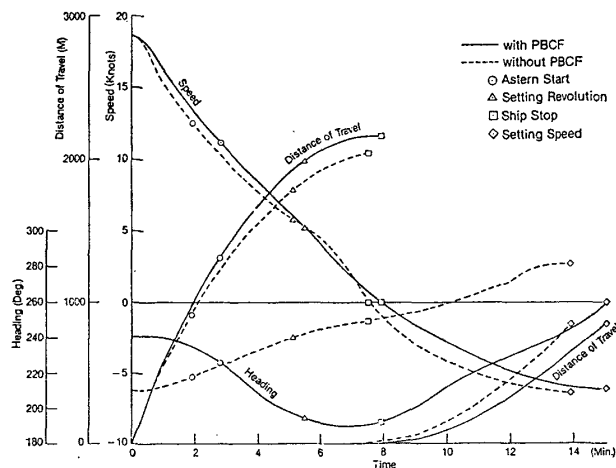


Fig. 25 Crash Astern Test Result

## 6 考 察

### 6.1 模型と実船での効率向上の差異

M. A. における水槽実験では、舵付逆 POT で  $\Delta\eta_p$  が 2.0~2.5%, 自航試験でも約 2% の効率向上であったが、実船では約 4% の効率向上という結果を得た。M. A. の速力テスト時の海気象条件および修正計算の過程から考えて、この 4% という結果が大きな誤差を含んでいるとは考えにくい。模型と実船とで効率向上に無視出来ない差が出た原因として以下のことが考えられる。

1) レイノルズ数の相異 (模型約  $3 \times 10^5$ , 実船約  $5 \times 10^7$ ) による粘性影響<sup>13), 14)</sup>により、模型と実船ではプロペラボス後部の流場に違いがあり、いわゆる尺度影響により実船の方が効率が高くなった。

2) 模型 PBCF の製作精度が各フィンごとに全く同じにならず、鋳物製の実船 PBCF の方が精度的に優れているため、実船の方が効率が高くなった。

3) 模型 PBCF は平板状のもので作製したが、実船 PBCF は抵抗を少しでも減らすため、前縁に  $R$  をつけ、後縁にかけては、フィンの厚みを若干ではあるがテーパードウンしたので、この差が効率向上につながった。

以上の点は、それぞれの多少は別として模型と実船の効率の差異の原因とは思われるが、2), 3) については、それだけでも 2% の効率の差につながるものとは考えられず、やはり 1) の尺度影響によるものが大きいと考えられる。尺度影響の定量的把握には、今後の実船テスト結果の集積と、水槽テストの比較検討が必要である。

### 6.2 PBCF の作用

これまでの実験等を通して、PBCF の作用として以下のことが考えられる。

- 1) プロペラボスキャップ近傍の流れを整流し、ハブボルテックスを弱める——整流作用
- 2) プロペラボスから出て来る流れを、ある迎角を持

って受けることにより揚力および抗力を受けるが、揚力をプロペラ回転方向に受けるのでトルクを減少させる——トルク軽減作用

3) PBCF 自体はスラストを出していないが、PBCF を含めたプロペラとしてはトルクが減りスラストが増加していることから、PBCF がプロペラに何らかの影響を与え、プロペラ特性を改善している——プロペラへの干渉作用

4) 舵付近の流場を変えているため、舵にかかる抵抗がわずかではあるが増加する——舵への干渉作用

5) PBCF による摩擦抵抗の増加——摩擦抵抗作用

これらの作用は互いにかみ合っていて働いており、最終的には、トルクの低下、スラストの増加となってプロペラ効率改善という形で表われて来ている。今後これらの作用が、おのおの定量的にどの程度のものであるか、またどのような相関関係があるのかについて明らかにする必要がある。

### 6.3 PBCF に影響を与える要因

PBCF による効率向上率は、非常に弱い伴流中で計測された舵付逆 POT のものと、船体による強い伴流中で計測された自航テストのものとはほとんど変化を示していない。このことは、PBCF がプロペラに入る前の伴流にはほとんど影響を受けないということであり、言い換えれば、船型の影響をほとんど受けないということが出来る。

しかし逆に、実験で明らかにしたように、プロペラおよび舵からの影響は非常に大きく受け、PBCF を設計するに当たっては、プロペラおよび舵とうまくマッチングをとることが重要である。

## 7 結 論

これまでの研究開発によって明らかになった成果を以下に簡単にまとめる。

- 1) スクリュープロペラに PBCF を組み合わせることにより、ボスキャップ付近の流れを整流し、ハブボルテックスを弱めることに成功した。
- 2) 逆 POT により、PBCF によるプロペラ単独効率向上の計測を行い 3~7% の効率向上を確認した。またこの効率向上は、プロペラピッチ比の高いプロペラほど大きい。
- 3) PBCF によるプロペラ単独効率向上に重要な影響を与える PBCF の要目およびその範囲を明らかにした。
- 4) PBCF 根元部の応力計測を行い、PBCF 自体は回転方向側に流体力を受け、スラストは出していないことが分かった。
- 5) 舵によりハブボルテックスが相当弱められており、舵無しの場合よりも舵付きの場合の方が PBCF に

よる効率向上が小さくなることが分かった。

6) 供試船模型にて舵付逆 POT で2~3%の効率向上がある PBCF を得、この PBCF で自航試験を行い、2~2.3%の効率向上を確認した。

7) 供試船で実船実験を行い、約4%の効率向上を得るとともに、操縦性能に関しても有意な差のないことを確認した。

以上により、PBCF がスクリュープロペラ推進の船舶に、相当な効率向上をもたらすことが確認され、操船性についても問題がなく、そのシンプルな構造とも考え合わせ、非常に経済性の高い省エネ装置としての実用化の目途がたった。

#### 謝 辞

本研究開発および論文作成に関し、東京大学工学部の加藤洋治教授に激励および貴重な助言を頂き、また九州大学工学部の山崎隆介名誉教授および中武一明教授、広島大学工学部の波多野修次名誉教授にも数々の助言を頂いたので、ここに心からの謝意を呈するものである。

また、(株)サノヤスの荻野繁之氏および(財)日本造船技術センターの佐藤和範氏にも、それぞれ実船実験および自航試験に際しお世話になり、合わせて謝意を呈するものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 岡村尚昭：“船用プロペラ近傍流場の実験的解析”，石川島播磨技報，(昭和58年1月)，第23巻，第1号。
- 2) Report of Propeller Committee, Proceedings of the 16th ITTC (1981).
- 3) 伊藤真一郎，田古里哲夫，石井規夫，井手敏治：翼端小翼付きプロペラの研究(第1報)，(第2報)，日本造船学会論文集，第159号(1986)，第

161号(1987)。

- 4) Holten, Th. van: “The application of wing lets to rotors”, Proc. of Congress of the International Council of the Aeronautical Science, 11th (1) (1978), p.361~369.
- 5) “The Tip-Vortex-Free Propeller”, The Motor Ship (1980/9), p.43~44.
- 6) 凌 志浩，佐々木康夫，高橋通雄：境界要素法の直接法によるプロペラまわりの三次元流れ解析，日本造船学会論文集，第157号(1985)。
- 7) Sudeb chattopadhyay, Hiroharu Kato, Hajime Yamaguchi: “A Study on Performance and Cavitation of Propellers for High Speed Crafts Including Effect of Boss”, (1st Report; Analysis in Uniform Flow), Journal of the Society of Naval Architects of Japan Vol.158, (Dec., 1985).
- 8) 例えば，浅沼 強(編)：流れの可視化ハンドブック，朝倉書店，(1977)。
- 9) 中武一明，有村文男，山崎隆介：推進性能に及ぼす舵の影響，西部造船会会報，第55号，(昭和53年3月)。
- 10) 石田駿一：プロペラ後流の回転エネルギーとフィンによる回収について，日本造船学会論文集，第159号，(昭和61年6月)。
- 11) 足達宏之：荷重度変更法の基礎とその応用法について，日本造船学会論文集，第154号，(昭和58年)。
- 12) 例えば，関西造船協会(編)：造船設計便覧，海文堂，他。
- 13) 上田耕平：定常状態のプロペラに及ぼす粘性の影響(I)-(II)，西部造船会会誌，第69号，第70号，(1985)。
- 14) Yamasaki, T.: On Some Tank Test Results with a Large Model Propeller-0.95 m in Diameter, Journal of SNAJ, vol.144, (1978).