

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420871

研究課題名(和文)プロペラ前方の旋回流を考慮したプロペラの流体力学的最適化に関する研究

研究課題名(英文)Study on hydrodynamic optimization of marine propeller considering pre-swirl inflow

研究代表者

安東 潤 (ANDO, JUN)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60211710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：プロペラ前方のフィンによるプロペラの回転方向と逆向きの旋回流により伝達馬力が減少、すなわち推進性能が向上することは古くから知られている。本研究においては、旋回流が推進性能に及ぼす影響を基礎的な実験により明らかにするとともに、フィンによる自航時の抵抗増加と適切なプロペラ回転数を考慮した旋回流中のプロペラ翼形状最適化手法を開発した。旋回流中の改良プロペラの性能試験より本手法の有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：It has been well known since long ago that opposite direction pre-swirl inflow to propeller rotation due to fins in front of propeller decreases delivered horse power, namely increases propulsive performance. In this study, the effect of pre-swirl inflow on propulsive performance was elucidated by fundamental experiment and optimization method for propeller blades considering increment of hull resistance due to fins in self-propelled condition and appropriate propeller rotational speed was developed. The usefulness of the present optimization method was confirmed by the performance test of the improved propeller in pre-swirl inflow.

研究分野：船舶流体力学

キーワード：船舶工学 プロペラ 省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、船舶の省エネルギー（以下、省エネと称す）化への要求がかつてないほど高まっている。その理由として、CO₂等の温室効果ガスの増加による地球温暖化という地球環境問題がある。

船舶から排出される CO₂を削減するため、2011年7月に海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）付属書VIの改正案が採択され、2013年以降に建造される船舶に対し、EEDI（Energy Efficiency Design Index：エネルギー効率設計指標）認証の取得が義務付けられている。EEDIは、1トンの貨物を1マイル運ぶ際のCO₂排出量(g)を意味する。2013年以降に新造船の契約が結ばれる船舶には、船種ごとにEEDI規制値が設定される。EEDI対象船は、模型による水槽試験および海上公試運転における速力試験により、EEDI規制値を満足していることを確認し、認証機関（船級協会）から認証を受ける必要がある。もし、EEDI規制値を満足できない場合は、その船舶は運航できない。また、EEDI削減率は2015年から2025年までの間、5年ごとに10%ずつ厳しくなる。2025年には現在より30%削減するよう定められており、さらなる船舶の省エネ化が必要となる。

(2) 船舶の省エネ化とは、少ない燃料で効率良く航行することであり、これは船舶の推進性能向上に他ならない。現在、船舶の推進性能向上のためにさまざまな技術開発が進められている。本研究においては、船尾部のプロペラ前方にプロペラの回転方向と逆向きの旋回流を発生させる複数のフィンを放射状に取り付けるタイプの省エネ付加物（以下、プレスワールフィンと称す）に着目する。プレスワールフィンを装備することにより伝達馬力が減少、すなわち推進性能が向上することは古くから知られている。しかしながら、プロペラ前方の旋回流が推進性能に及ぼす影響のメカニズムの解明は十分ではなく、また旋回流を考慮したプロペラ設計法は未だ見受けられない。

2. 研究の目的

本研究は、プレスワールフィンによる旋回流が推進性能に及ぼす影響を基礎的な実験により明らかにするとともに、旋回流中のプロペラ設計の一手法として実数値遺伝的アルゴリズムを用いてプロペラ翼形状の最適化を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究において実施した実験および数値計算の概要を以下に示す。なお、実験はすべて九州大学の高速回流水槽を用いて実施した。

(1) 供試模型

本研究においては、翼の輪郭を数式で表し

たスキューおよびレーキを有さない単純形状プロペラを使用した。模型プロペラの主要目を表1に、写真を図1に示す。

表1 模型プロペラの主要目

Diameter (mm)	250
Number of Blade	4
Pitch Ratio at 0.7R	0.68
Expanded Area Ratio	0.50
Hub Ratio	0.18
Skew Angle (deg.)	0.0
Rake Angle (deg.)	0.0
Blade Section	NACA



図1 模型プロペラ

旋回流発生装置のフィンの主要目を表2に、写真を図2に示す。旋回流発生装置とは、フィンによってプロペラの回転方向と逆向きの旋回流を発生させる装置であり、円筒にアスペクト比の大きな8枚のフィンを周方向に45度間隔で放射状に取り付けたものである。フィンと軸方向の角度は15度である。

表2 フィンの主要目

Diameter (mm)	290
Number of Blade	8
Hub Ratio	0.1379
Blade Section	NACA0014
Chord of Blade (mm)	32

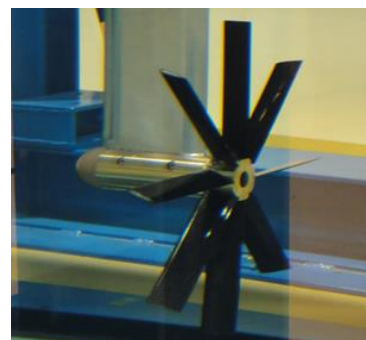


図2 フィン

(2) フィン後方の流場（伴流）計測
球型 5 孔ピトー管を用いて一様流速を $V = 1.0\text{m/s}$ と設定したときのフィン後縁より 50mm 後方の断面の流場計測を行った。

(3) プロペラ翼形状最適化

実数値遺伝的アルゴリズムを用いて旋回流中の翼形状最適化を行った。最適化におけるプロペラ性能の評価には、伴流分布の計測値の周方向平均値を入力し、九州大学独自開発のパネル法 SQCM に基づく定常プロペラ性能計算法を用いた。これとは別に、不均一な伴流分布を入力データとする、より実際的な問題に適した非定常プロペラ性能計算法も開発したが、計算時間が長大となるため、本研究においては最適化には使用しなかった。

プロペラ回転数を 10rps とし、自航時のフィンの抵抗増加を考慮したプロペラ推力を与え、伝達馬力が最小となるように、プロペラの半径方向のピッチおよび最大キャンバ一分布を最適化した。

(4) プロペラ単独性能試験

原型および改良プロペラの単独性能試験を、プロペラ回転数 n を 10rps に設定し、前進係数 $J = 0.1 \sim 0.7$ の範囲で一様流を変化させて実施した。

(5) 旋回流中プロペラ性能試験

プロペラ代表面より 50mm 前方にフィン後縁が位置するように旋回流発生装置を配置した。一様流速を $V = 1.0\text{m/s}$ に設定し、後述する目標推力を含む範囲で原型および改良プロペラの回転数を変化させ、推力、トルクを計測した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

「3. 研究の方法」で述べた実験および数値計算の結果を以下に示す。

① フィン後方の流場

流場計測の結果を図 3 に示す。主流方向成分 V_x は図中右側の表に対応した等高線で、面内方向速度成分はベクトル図で示している。

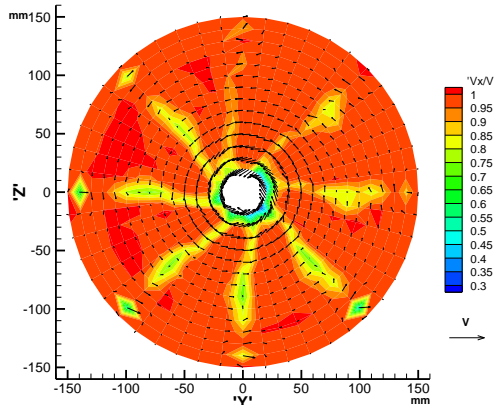


図 3 フィン後方の流場

表 3 に軸方向流速 V_x 、周方向流速 V_θ および半径方向流速 V_R の断面平均値をフィン前方の一様流速 V で無次元化した値を示す。周方向は反時計回りを正、半径方向は外向きを正とする。

表 3 平均流速

$\overline{V_x}/V$	$\overline{V_\theta}/V$	$\overline{V_R}/V$
0.964	0.133	-0.023

フィン後方の流速のそれぞれの方向の計測値を周方向に単純平均し、それらの半径分布の分布を図 4 に示す。フィンによって軸方向の流速がわずかに減少、周方向にプロペラの回転方向と逆向きの旋回流が発生していることがわかる。

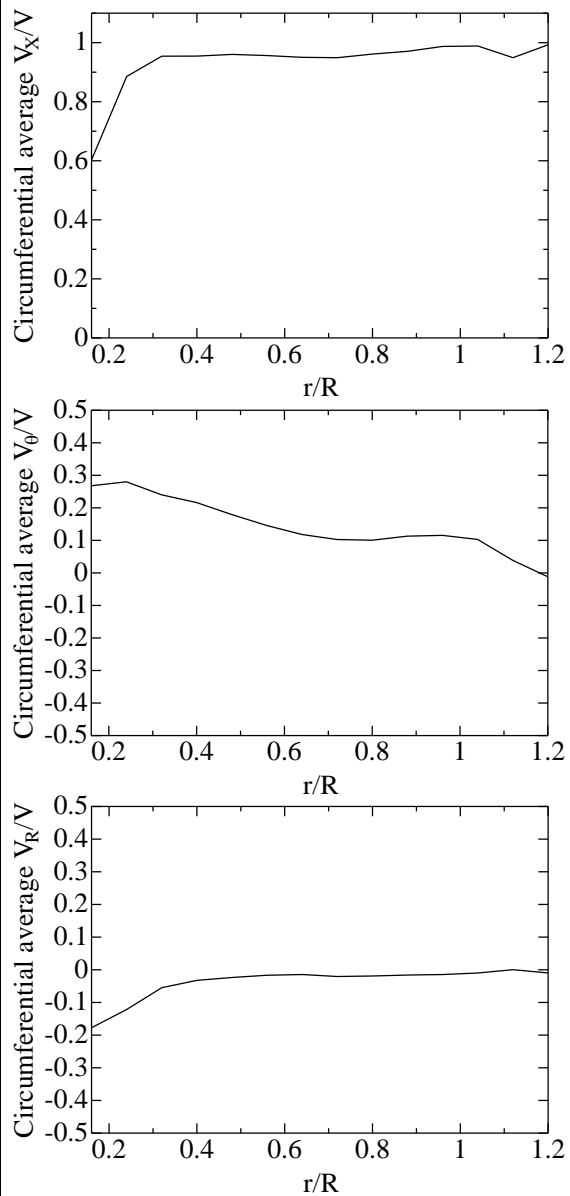


図 4 周方向平均速度分布

② プロペラ翼形状最適化の結果

図5に改良プロペラのピッチおよび最大キャンバー分布を原型プロペラと比較して示す。改良プロペラのピッチ分布は翼根では原型プロペラより大きく、0.5Rから0.9Rまでは逆に原型プロペラより小さく、翼端部では原型プロペラよりやや大きくなっている。最大キャンバーは原型プロペラに比べ全体的に小さい。原型プロペラの最大キャンバーは翼根から翼端に向かうに従い減少しているのに対し、改良プロペラはその逆である。改良プロペラの最大キャンバーは、0.8R以上の翼端部では原型プロペラよりやや大きくなっている。

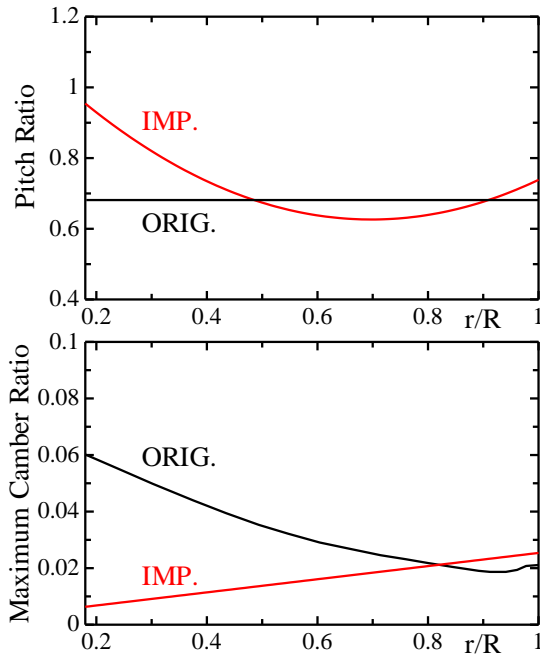


図5 改良プロペラのピッチおよび最大キャンバー分布

③ プロペラ単独性能

図6および7に原型および改良プロペラの単独性能を示す。それぞれの図において、推力係数 K_T 、トルク係数 K_Q およびプロペラ効率 η_0 のセンターシンボル (○印) は計測値を表しており、実線はそれらを最小2乗法により3次式で近似したものである。プロペラ効率を表す実線は、3次式で近似した推力係数、トルク係数より計算した値を示す。

後述する旋回流中の自航要素は、これらの図の実線で示された近似曲線を用いて解析した。

④ 旋回流中プロペラ性能

原型プロペラの単独性能試験において、設計条件である一様流速 $V = 1.0\text{m/s}$ 、プロペラ回転数 $n = 10\text{rps}$ 、前進係数 $J = 0.4$ における推力は $T_1 = 63.758\text{N}$ 、伝達馬力は $\text{DHP}^\circ = 116.04\text{W}$ であった。フィンが装備されていない状態での推力減少率を $t = 0.2$ と仮定し、フィンが装備されている状態での推力減少率の増加率を 15% と仮定すると、目標

推力は $T_2 = T_1 \times 1.039 = 66.245\text{N}$ となる。

原型プロペラについては目標推力 T_1 および T_2 の2状態において、改良プロペラについては目標推力 T_2 の1状態において旋回流中プロペラ性能試験を行った結果を図8に示す。図中のセンターシンボル (○印および●印) は計測値を示しており、目標推力となるプロペラ回転数は計測値を最小2乗法により1次曲線で近似して求めた。伝達馬力も計測値を1次式で近似し、その1次式を用いて目標推力となるプロペラ回転数における伝達馬力を求めた。

自航時のフィンの抵抗増加を考慮しない目標推力 T_1 における旋回流中の原型プロペラの伝達馬力は、一様流中に比べ約9.6%低下し、旋回流により伝達馬力が減少することが確認された。それと同時に、プロペラの回転数は約7.2%低下した。

自航時のフィンの抵抗増加を考慮した目標推力 T_2 の場合、原型および改良プロペラともに伝達馬力の減少率は約5.1%であった。プロペラ回転数は、原型プロペラは約5.9%減少した。改良プロペラについては回転数が減少しないように翼形状の最適化を行ったが、回転数は約1.2%減少した。原型プロペラと比較して回転数の減少は小幅に止めることができ、本最適化手法の有用性が確認できた。

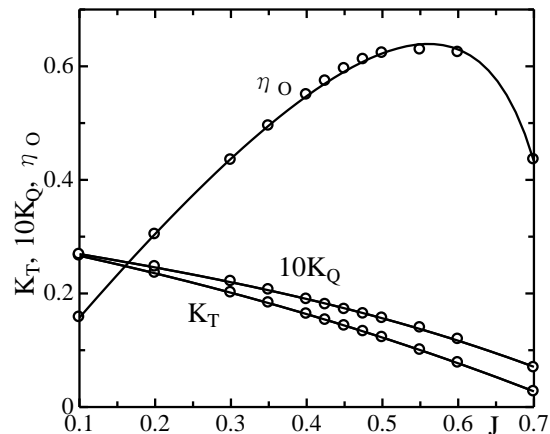


図6 原型プロペラの単独性能曲線図

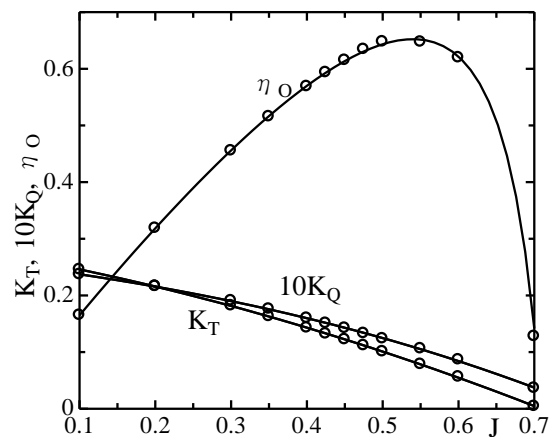


図7 改良プロペラの単独性能曲線図

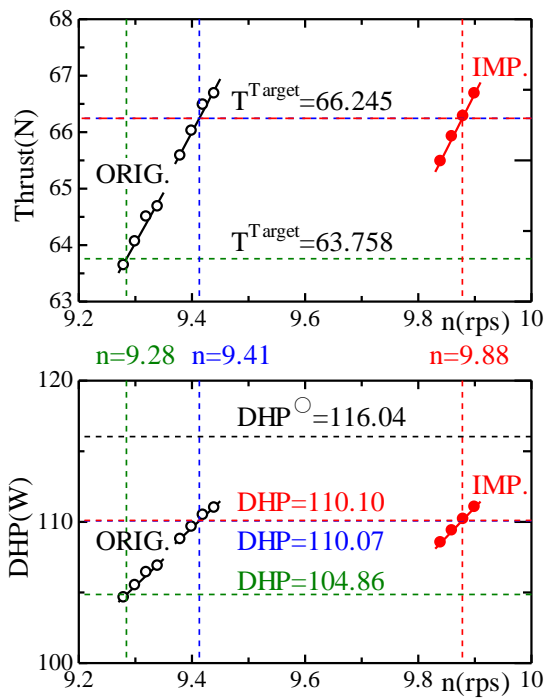


図8 旋回流中におけるプロペラの推力および伝達馬力

⑤ 自航要素

表4に原型および改良プロペラの単独性能試験結果を用いて推力一致法により解析した自航要素を示す。

前述したように、フィン後方の軸方向の平均流速は一様流の0.964であり、これを伴流率に換算すると0.036である。それに対し、いずれのプロペラおよび目標推力においても有効伴流率は0.2を超えており、これはフィンによる軸方向の伴流率だけでは説明できない。有効伴流率には周方向成分、すなわち旋回流が大きく影響していると考えられる。

表4 自航要素

	ORIG.	ORIG.	IMP.
T^{Target} (N)	63.758	66.245	66.245
n (rps)	9.28	9.41	9.88
Q (N·m)	1.797	1.861	1.774
K_T	0.190	0.192	0.174
J	0.331	0.325	0.319
$10K_Q$	0.211	0.213	0.185
Q° (N·m)	1.771	1.834	1.753
V_A (m/sec)	0.768	0.766	0.788
w_e	0.232	0.234	0.212
η_O	0.474	0.468	0.480
η_R	0.985	0.985	0.988
DHP (W)	104.86	110.07	110.10
DHP/DHP $^\circ$	0.9036	0.9485	0.9488

(2) まとめ

本研究の成果をまとめると以下のようになる。

① プロペラ前方にプロペラの回転方向と逆向きの旋回流を発生させるフィンを配置した旋回流中プロペラ性能試験を実施し、プロペラの回転方向と逆向きの旋回流が所定の推力を発生させるための伝達馬力を減少させることを確認した。伝達馬力の減少は主にプロペラ回転数の低下によるものであった。

② フィンによる自航時の抵抗増加と適切なプロペラ回転数を考慮した旋回流中のプロペラ翼形状最適化手法を開発した。

③ 改良プロペラについて旋回流中プロペラ性能試験を実施し、自航時のフィンによる抵抗増加を考慮してもプロペラの回転数が大幅に低下することなく伝達馬力が減少することを確認した。

(3) 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

① 非定常プロペラ性能計算法を用いたプロペラ翼形状最適化

② 自航時のフィンによる抵抗増加量の推定および実験による確認

③ フィンまで含めた最適化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

① 新川大治郎、金丸 崇、安東 潤、実数値遺伝的アルゴリズムを用いたプロペラ翼形状最適化への応答曲面法の適用、日本船舶海洋工学会平成26年秋季講演会、2014年11月21日、長崎ブリックホール (長崎市)

② 新川大治郎、吉武 朗、金丸 崇、安東 潤、推進性能に及ぼす船用プロペラ前方の旋回流の影響、日本船舶海洋工学会平成27年春季講演会、2015年5月26日、神戸国際会議場 (神戸市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安東 潤 (ANDO, Jun)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：60211710