

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360368

研究課題名（和文） 省エネ付加物付プロペラの設計支援ツールの開発に関する研究

研究課題名（英文） Study on development of design support tool for propeller with energy saving device

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

研究成果の概要（和文）：プロペラに取り付けられる省エネ付加物とプロペラの相互干渉を考慮して、省エネ付加物付プロペラの流体力学的な最適化を行うツールの開発を行った。省エネ付加物はプロペラの後方にプロペラ翼数と同じ枚数でプロペラ直径の40%程度の翼を取り付けるタイプのものである。最適化問題の解法には実数値遺伝的アルゴリズムを用いている。本ツールを用いて最適化された省エネ付加物付プロペラの性能を模型実験によって計測し、本ツールの有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：A tool to optimize propeller with energy saving device in hydrodynamic aspect has been developed considering interaction between energy-saving device and propeller. The energy-saving device has blades and it is equipped behind propeller. The number of blades is the same as that of propeller and diameter of the blade is about 40% of propeller. Real-coded genetic algorithm is used for optimization procedure. The characteristics of the optimized propeller with energy-saving device were measured in the model tests and the usefulness of the present tool was confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2011年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2012年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：船舶流体力学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：プロペラ、省エネルギー、最適化問題、省エネ付加物

1. 研究開始当初の背景

(1) 船舶から排出されるCO₂等の温室効果ガス削減対策として国際海事機関(IMO)において新造船の燃料消費性能をインデックス化するエネルギー効率設計指標(EEDI)の検討が行われ、これが義務化されることになった。これにより造船会社においては、より燃費性能(推進性能)が優れた船舶の設計が要求されることになる。CO₂排出量は船舶が航行する際の所要馬力と密接な関係があり、馬力低減のためには低抵抗の船型開発、船用プロペラの効率向上、エンジンの効率向上等が

挙げられる。CO₂排出量の削減は、単独の技術で達成されるものではなく、複数の技術による効果の累積によって達成されるものであり、数%の効果の技術であっても決して疎かにされるべきものではない。

(2) プロペラ効率の向上はCO₂排出量の削減に有効であり、プロペラ効率向上の努力が続けられている。しかし、今後はプロペラ自体の効率向上だけでは不十分であり、プロペラに省エネ付加物を取り付け、さらなる効率向上が図られるケースが増えてくるものと

われる。

(3) 省エネ付加物とプロペラの間には流力的な干渉作用が働くため、この作用を考慮しないと効率向上は不十分なものとなる。船舶からのCO₂排出量削減のため、プロペラの効率向上がこれまで以上に要求されると、これからはプロペラに省エネ付加物を取り付けることが標準となり、プロペラの設計の際に両者の流力干渉を考慮しなければならず、高度なプロペラ設計技術が必要となる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、既に実用化されているプロペラ設計支援ツールを省エネ付加物付プロペラの最適化問題に拡張し、設計者に負担をかけることなく高効率プロペラの設計を支援するツールの開発を目的とする。

(2) 本研究においては、プロペラ後方にプロペラ翼数と同じ枚数でプロペラ直径の40%程度の翼を取り付けるタイプの付加物(Turbo-Ringと称する)を対象とする。

3. 研究の方法

(1) まず、本研究で開発した付加物付プロペラ性能計算法の概要を説明し、次にこの計算法の妥当性を確認する方法について述べる。

① 九州大学で開発された簡便なパネル法SQCMに基づく定常プロペラ性能計算法をベースとして、付加物付プロペラ性能計算法を開発した。本計算法において、プロペラと付加物のハブ渦は図1に示すように翼端渦として取り扱う。従って、ハブ渦強さはプロペラと付加物の各モデルによって表されるハブ渦強さの和として表現される。また、プロペラおよび付加物共、後流渦の変形を考慮する。ただし、計算を安定させるため、後流渦格子節点の半径方向位置は固定し、後流渦面のピッチ変形のみ考慮した。後流渦の変形を考慮する範囲は渦放出直後から1/4回転までとし、それより後方は幾何ピッチモデルを用いる。

② 本研究で開発した付加物付プロペラ性能計算法の妥当性を確認するため、模型実験を実施し、実験結果と計算結果を比較した。プロペラは、スキューおよびレーキがなく、翼輪郭が数式で表されるような単純な形状とした。また、原型となる付加物に対し、半径やピッチおよびキャンバー分布を系統的に変化させた付加物を設計し、付加物の違いによるプロペラ性能の差が本計算法によってシミュレートできるかどうかを確かめることにより、本計算法の妥当性を判断することとした。本研究で用いたプロペラおよび付加

物の詳細については、「4. 研究成果」に示す。

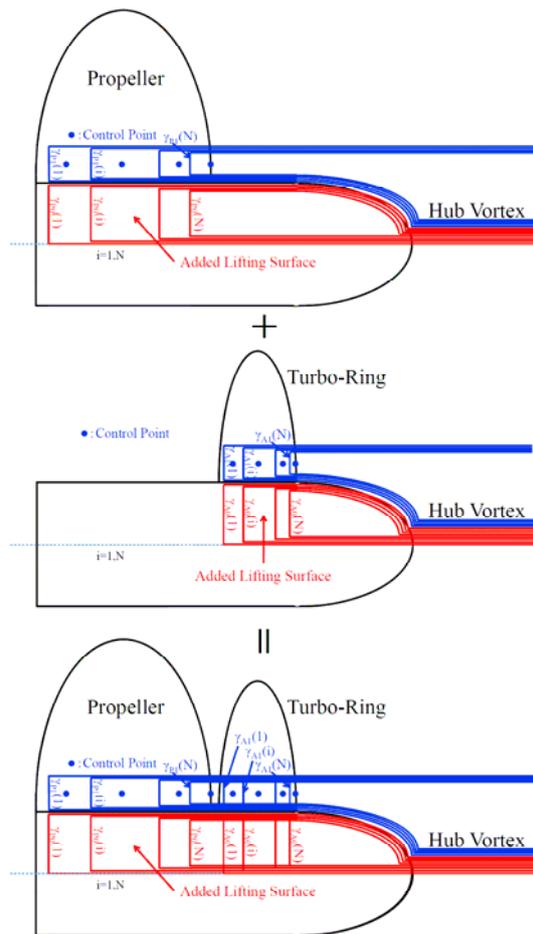


図1 ハブ渦のモデル化

(2) 省エネ付加物付プロペラの設計支援ツールは最適化問題を取り扱うものであるので、まず、最適化問題における設計変数と目的関数を示し、本研究で開発した付加物付プロペラの設計支援ツールの概要を説明した後、本ツールの有効性を確認する方法について述べる。

① 本研究においては、最適化された付加物およびプロペラは原型と半径方向に同じコード、スキュー、レーキ、最大翼厚分布を持つものとする。翼数も原型と同じである。コード方向の翼厚およびキャンバー分布は原型と同じでもよいし、他の分布でもよい。最適化を行う付加物およびプロペラの翼型を基本翼型と呼び、本研究では基本翼型としてNACA66 a=0.8断面を用いる。付加物およびプロペラともに半径方向のピッチ分布および最大キャンバー分布を設計変数とし、これらは2次関数で表されるものとする。付加物付プロペラの効率を最大化する最適化問題を取り扱うこととし、付加物とプロペラを同時

に最適化する場合は、最適化されたプロペラの推力が原型プロペラの推力以上でなければならないという制約条件を課す。

② 付加物およびプロペラの最適化手法は実数値遺伝的アルゴリズムに基づくものである。以下、本最適化手法を幾つかのステップに分け、各ステップの説明を行う、なお、最適化の流れは、MGG と呼ばれる実数値遺伝的アルゴリズムの世代交代モデルに従っている。

ステップ[I] 初期集団の生成

半径方向のピッチおよび最大キャンバーを表す設計変数をランダムに変化させ、付加物とプロペラの幾何形状を得る。付加物付プロペラの性能計算を行い、プロペラの推力に関する制約条件を満足するプロペラを N_P 個生成する。これら個体の集合を初期集団という。

ステップ[II] 複製選択

初期集団からランダムに交叉のための2個の親個体（両親）を選択する。

ステップ[III] 交叉

ステップ[II]で選択された両親に対して UNDX と呼ばれる交叉法を適用すると2個の子個体が生成される。ここで得られた付加物付プロペラの性能を計算し、プロペラの推力に関する制約条件を満足しているかどうかを確認する。制約条件を満足する付加物付プロペラが $2 \times N_C$ 個得られるまで UNDX を繰り返し適用する。なお、制約条件を満足する付加物付プロペラの効率（目的関数）を記憶しておく。

ステップ[IV] 生存選択

ステップ[III]で得られた $2 \times N_C$ 個の付加物付プロペラとステップ[II]で選択された2個の親個体のうち、目的関数の値が最も大きなもの1個およびそれを除いた残りの中からルーレット選択によってさらに1個を選択する。そして、これら2個の個体とステップ[II]で選択した2個の親個体を入れ替える。

ある停止条件が満たされるまでステップ[II]からステップ[IV]までの操作を繰り返す。

③ まず、プロペラは(1)の②に示した単純形状プロペラとし、付加物のみを(2)の②に示した手法で最適化を行った。さらに、付加物とプロペラの干渉を考慮して、これらの同時最適化も行った。最適化した付加物とプロペラの模型を作成し、水槽実験により最適化の

効果を確認することにした。

4. 研究成果

(1) 付加物付プロペラ性能計算法の精度確認のための実験結果と計算結果の比較を示し、本計算法の妥当性について述べる。

① 表1および表2に、原型となる単純形状プロペラおよび原型付加物の主要目を示す。原型と比較するための付加物として、原型と直径が異なるもの2個、翼根でのピッチが異なるもの2個、キャンバーを原型の1.5倍にしたものの計5個を設計した。これら付加物のピッチ角を表3に示す。また、付加物とプロペラの半径方向のピッチ角分布を図2に示す。なお、本研究では後方配置型付加物のことを Turbo-Ring と称しており、図および表中では付加物を TR (Turbo-Ring) と標記することとする。なお、表3中の“TR-ORG”は、原型付加物を表す。付加物付プロペラの性能計算に用いるパネル分割を図3に示す。

表1 原型プロペラの主要目

Diameter	0.25m
Pitch Ratio at 0.7R	0.68
Expanded Area Ratio	0.50
Boss Ratio	0.18
Number of Blade	4
Skew Angle	0.0deg.
Rake Angle	0.0deg.
Blade Section	NACA

表2 原型付加物の主要目

Diameter	0.10m
Pitch Angle (Root)	32.0deg.
Pitch Angle (Tip)	28.0deg.
Expanded Area Ratio	0.25
Boss Ratio	0.45
Number of Blade	4
Blade Section	NACA

表3 付加物のピッチ角

	Diameter	Pitch(Root)	Pitch(Tip)
TR-ORG	0.100m	32.0deg.	28.0deg.
A	0.1125m	32.0deg.	25.5deg.
B	0.125m	32.0deg.	23.0deg.
C	0.100m	22.0deg.	28.0deg.
D	0.100m	42.0deg.	28.0deg.
E	0.100m	32.0deg.	28.0deg.

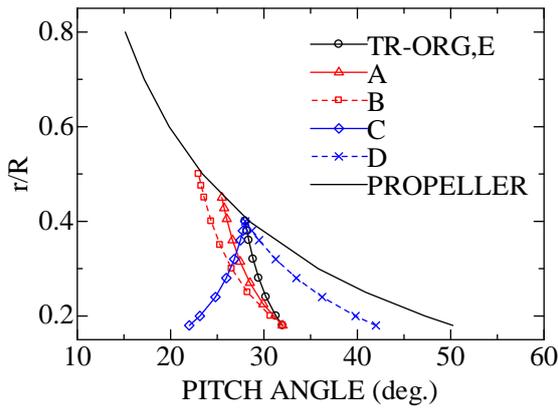


図2 ピッチ角の分布

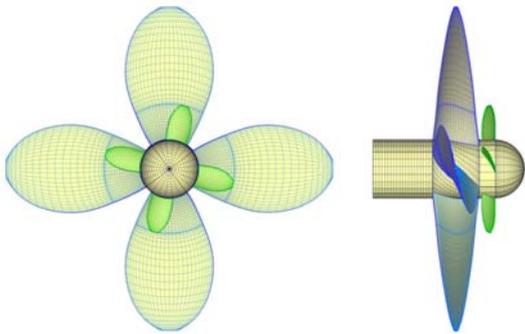


図3 パネル分割

② 図4に原型付加物と原型プロペラを組み合わせた場合の推力・トルク係数の計算結果と実験結果を比較して示す。図中には付加物無し原型プロペラの推力・トルク係数の計算結果と実験結果も示している。プロペラ効率について図5に同様な比較を示す。実験においては、付加物によりトルクが減少し、プロペラ効率が向上している。計算結果も実験結果と同様である。計算においては、付加物によりハブに働く抗力 (K_{T-HUB}) が減少している。これは、付加物によりプロペラのハブ渦と逆向きのハブ渦が発生し、ハブ渦が弱まったためと考えられる。付加物を装備することにより、ハブに働く抗力の減少(推力増加)分と推力の減少分とが相殺され、さらにトルクが減少することによりプロペラ効率が向上している。

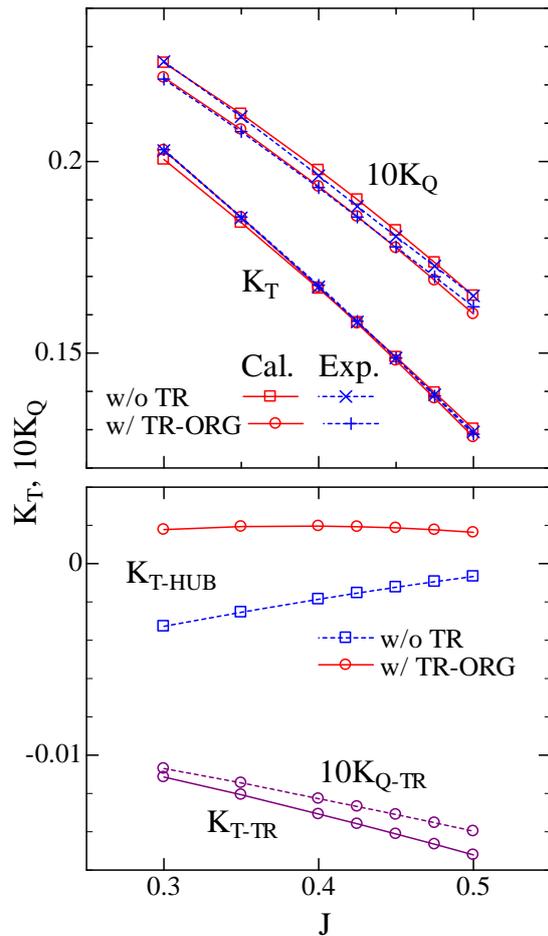


図4 推力・トルク係数の比較

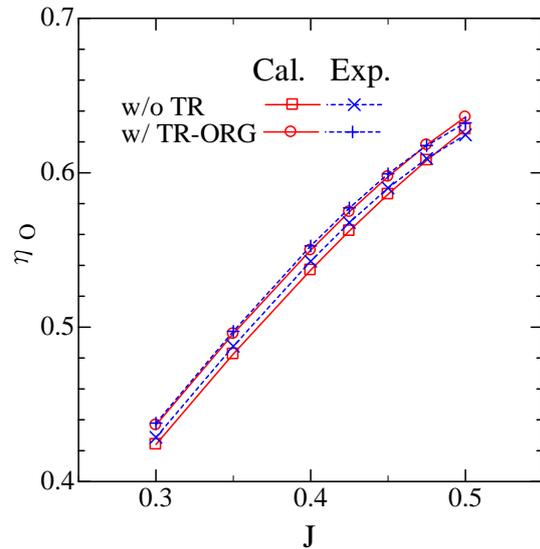


図5 効率の比較

③ 図6に前進係数 $J = 0.4$ における各付加物付プロペラの推力・トルク係数の計算結果と実験結果を比較して示す。図中には付加物無し原型プロペラの推力・トルク係数の計算結果と実験結果も示している。プロペラ効率について図7に同様な比較を示す。実験においては付加物の違いにより推力・トルク係数およびプロペラ効率に差が現れているが、計算によってもこれらの差を精度良くシミュレートできている。このことより、本研究で開発した付加物付プロペラ性能計算法は付加物の違いによるプロペラの性能の差を精度良くシミュレート可能であり、付加物の最適化計算における性能計算法として使用可能と判断できる。

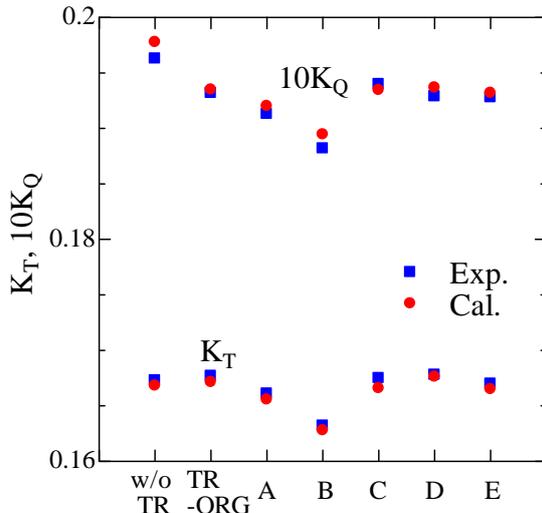


図6 推力・トルク係数の比較

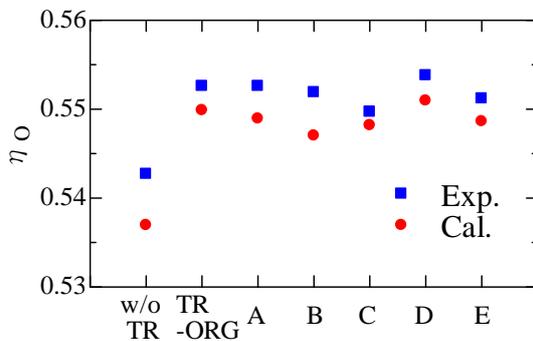


図7 効率の比較

(2) 最適化された付加物およびプロペラの実験を行った結果を示し、最適化の効果について述べる。

① 表4に最適化を行った結果得られた付加物付プロペラの名称を示す。TR(OPT)は、プロペラは原型のままとし、付加物のみを最適化した付加物付プロペラ、P&TR(OPT)は、付加物とプロペラの干渉を考慮して、これらの同時最適化を行って得られた付加物付プロ

ペラを表す。なお、ORGは付加物、プロペラともに原型のままの付加物付プロペラである。後に示す図中の凡例に表れる“w/o TR”は、付加物無しの原型プロペラだけの状態を意味する。図8および9に最適化された付加物とプロペラのピッチおよび最大キャンバー分布を示す。

表4 付加物付プロペラの名称

Name of Prop. with TR	Propeller	Turbo-Ring
ORG	Original	Original
TR(OPT)	Original	Optimized
P&TR(OPT)	Optimized	Optimized

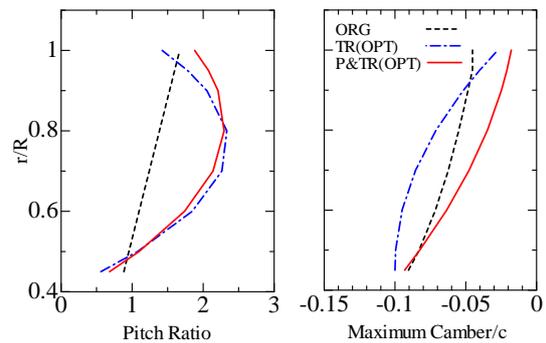


図8 付加物のピッチおよび最大キャンバー分布

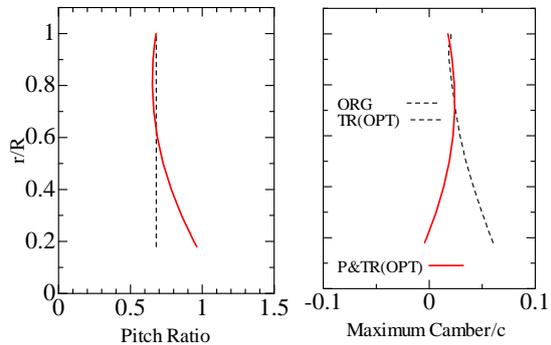


図9 プロペラのピッチおよび最大キャンバー分布

② 図10に付加物付プロペラの効率の計算結果を示す。最適化された付加物付プロペラの効率は、原型付加物プロペラの効率を上回っている。さらに付加物とプロペラを同時に最適化した場合の効率は、付加物だけを最適化した場合より高くなっている。

③ 図11は実験によって得られた付加物付プロペラの効率の比較を示す。計算とは異なり、最適化された付加物付プロペラの効率は、原型付加物プロペラの効率をわずかに上回る程度である。付加物とプロペラを同時に最適化した場合の効率は、計算結果と同様、付加物だけを最適化した場合より高くなっている。

④ 図12に設計点付近のプロペラ効率の計算結果と実験結果を比較して示す。設計点 $K_T/J^2 = 1.058$ において付加物無しの原型プロペラの効率と比較して、最適化された付加物付プロペラの効率は計算で2.7%、実験で1.9%向上している。一方、付加物とプロペラを同時に最適化した場合の効率は、付加物無しのプロペラの効率と比較して、計算で4.3%、実験で2.4%向上している。計算と実験の差の原因については今後さらに検討する必要がある。

⑤ 以上のように、本研究で開発した省エネ付加物付プロペラ的设计支援ツールの有用性を確認することができた。今後は、本ツールを省エネ付加物付実用プロペラ的设计に応用する予定である。

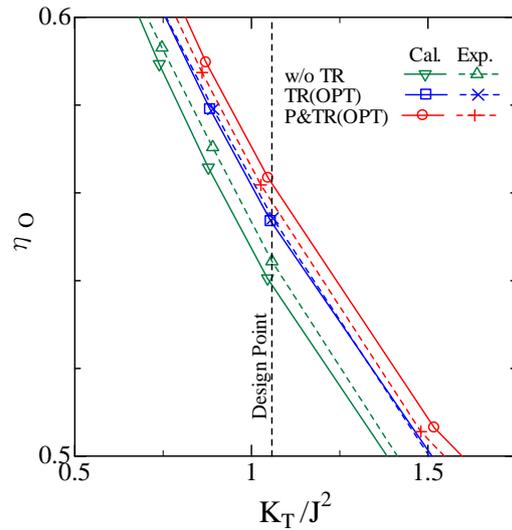


図12 効率の比較

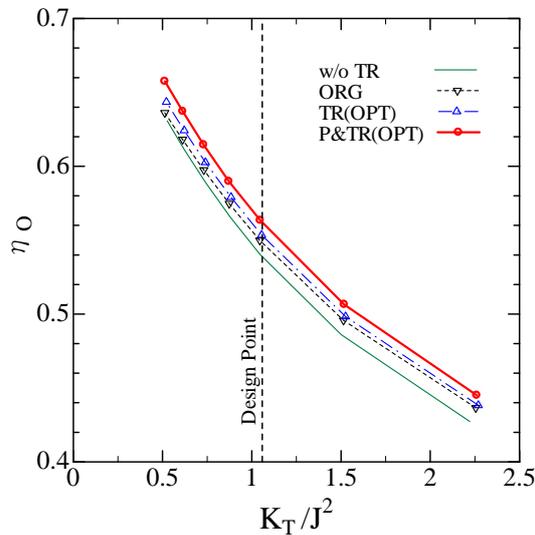


図10 効率の比較 (計算)

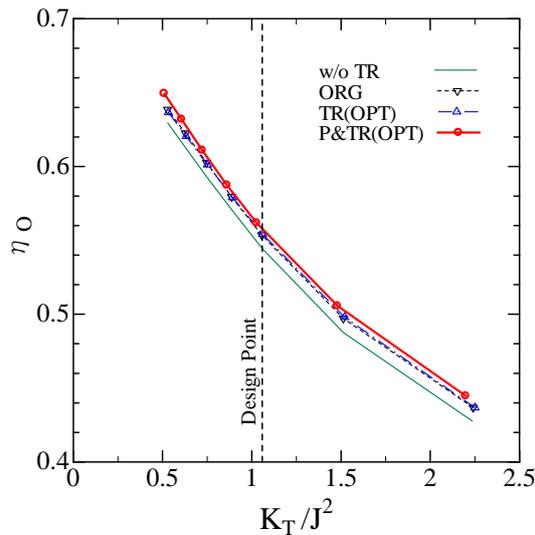


図11 効率の比較 (実験)

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 金丸 崇、吉武 朗、安東 潤、中武一明、パネル法を用いたプロペラ性能解析法におけるハブ渦モデルについて、日本船舶海洋工学会平成24年春季講演会、2012年5月18日、神戸市

② 龍 知宏、金丸 崇、片岡史朗、東濱 清、吉武 朗、新川大治朗、安東 潤、プロペラに装備する新しい省エネ付加物の開発ー付加物付プロペラの性能計算法ー、日本船舶海洋工学会平成24年秋季講演会、2012年11月26日、柏市

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