

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02358

研究課題名(和文) 省エネルギー付加物を装備した船舶の波浪中推進性能に関する研究

研究課題名(英文) Propulsive performance of ships with energy saving devices in waves

研究代表者

戸田 保幸 (Toda, Yasuyuki)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：20172166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：船舶運航からの二酸化炭素排出削減への要求から、推進性能を改善するため、多くの省エネルギー付加物が提案され、実際の新造船にも数多く取り付けられている。その波浪中での性能を推定できる手法を開発することを目的とし、現象を知るための詳細流れ場計測とプロペラモデルを組み込んだCFD計算によりその流れ場を推定する手法を開発した。それをもとにこれまで平水中で調査されてきた省エネルギー付加物の波浪中で十分に性能向上が見込めることを示した。また詳細な流れ場計測と計算を基に改良したラダーバルブフィンを提案した。船体のプロペラよりかなり上流に取り付けるフィンについても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで試運転での成績を念頭に、主に平水中での性能を改善するように多くの省エネルギー付加物が提案されてきた。しかしそれらの波浪中での性能についてはほとんど研究されてこなかった。本研究では波浪中における付加物の性能向上効果について研究し、様々な波の条件について検討した結果、平水中ほど効果は大きくはないが、波浪中においても性能向上効果があることを示した。これから今後実海域性能を主な設計条件とするようになって、波浪中の性能を推定できる手法を示した。また他のCFDコードで同様の計算をする場合の検証データを数多く与えたので今後のこの分野の研究に寄与するところが大きい。

研究成果の概要(英文)：From the demand on Green House Gas reduction, many energy saving devices are proposed and applied to many ships. The effectiveness of those devices in waves has been studied in calm water, but has not been studied in waves for many years. In this study, the detailed flow field measurement around propeller and energy saving devices were measured and computed by CFD with simple propeller model proposed by Osaka University. From those studies, the performance gain can be obtained in waves if the device is designed in calm water and large effect was observed. Based on those, new rudder-bulb-fin system was proposed and investigated using same methods. Other type energy saving device such as the fin attached far upstream of the propeller.

研究分野：船舶海洋流体力学

キーワード：省エネルギー付加物 波浪中性能 ステレオPIV CFD ラダーバルブフィン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初には、波浪中での省エネルギー付加物の性能について調査されたものはなかった。また波浪中でプロペラ作動時の位相平均流れ(入射波の山の位置と例えば模型船の船首位置が同じところでの平均流れ)を計測する手法についてもほとんどなく、ステレオ Particle Image Velocimetry(SPIV)装置を使って、付加物がない場合についてプロペラが作動しない時や、プロペラ作動時の付加物がない場合について、研究代表者らが計測したものがあただけであった。これらの流場の計測結果と波浪中抵抗自航試験の結果について、大阪大学プロペラモデルを導入したCFD計算と比較してCFDはかなり良好な推定が可能であることを示していた。また平水中で、標準的なフィン付きバルブ舵を装備した船について抵抗自航試験だけではなく、付加物周りのプロペラ作動時のSPIV計測を行い、これについてもプロペラモデルを導入したCFDがかなり良好な推定結果を示すことを示していた。これらの2つの研究と、省エネルギー効果を考えるときの原理が、波浪中ではそのまま働くとは考えにくい面もあるので基礎的な実験的調査とその結果で検証されたCFD計算により波浪中での性能改善効果について調査する必要があると考えられた。これが本研究を開始しようとした背景である。

2. 研究の目的

推進性能を改善するため、多くの省エネルギー付加物が提案され、実際の新造船にも数多く取り付けられている。しかしそれらの多くは平水中での推進性能を改良するために模型実験により決定されている。これらが波浪中でも付加物がない場合よりも性能を向上させているのかどうかを調査した研究はほとんどないのが現状であった。これまでの研究により、プロペラへの流入速度が、波との出会い周期1周期の間に大きく変動することが示されており、このような粘性流場の中で作動するプロペラと省エネルギー付加物の相互干渉が大きく変化する可能性があることから、波浪中で付加物を装備した模型船の性能を調査することを目的とした。手法はプロペラ作動時の付加物周りの流れ場をSPIV装置により詳細に計測するとともにこれまで開発してきたCFD計算を行い比較することにより、波浪中で十分に性能向上が見込める省エネルギー付加物を見出しうる計算法の開発を行う。また検証用のデータを示すことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、平水中で性能改善が示されている省エネルギー付加物を調査し、それらの知見により作成した省エネルギー付加物が平水中で十分改善効果が示されることをまず確認する。その中でもまず省エネルギー装置の中でVLCC船型のバルブ付き舵に取り付けられた左右で異なる迎え角を持つ水平フィンとバルクキャリア船型プロペラ直前に取り付けられたダクトによる性能改善は研究代表者らのこれまでの研究により確認されているので、まずこれらについて平水中の再試験を行う。初年度には、上に示した舵に取り付けられた水平フィンに着目し平水中の再試験及び波浪中での抵抗・自航試験を行い、波浪中での性能向上が見られるかどうか確認する試験を行う。また多くの計測を行ってきたSPIV装置を用いて、波浪中で自航状態(模型が完全に自航する状態と摩擦修正分曳航力が残っている状態の両方)の位相平均流れ(例えば入射波の山の位置に船首がいる状態での流れ場、この位相を変えて計測する)を予備計測する。この時の位相同期には入射波の信号を用い、1周期に指定した点数のレーザー射出信号が出る回路を製作し、2年目の試験までに改良を行う。またこれまで開発してきた手法そのまま付加物付の波浪中計算を行い予備実験の結果と比較する。計算に関しては、付加物周りに多くの格子数が必要なためコア数を確保して計算時間の短縮をはかる。

さらに平水中で船体、プロペラ、舵の干渉流場を考慮することにより改良したバルブフィン舵についても波浪中の性能を確認する試験を行う。CFD計算による流れ場により改善につながる現象を考察する。CFD計算に不備がある場合にはその部分を改良する。また平水中においてプロペラよりかなり上流の船尾ビルジ付近に取り付ける小型フィンの影響を自航試験と船尾流れのステレオPIV装置による計測によりその性能改善のメカニズムを考察する。上流船体表面に取り付ける小型フィンによる性能改善についても引き続き研究を行うが、波浪中の試験は流れ計測は行わず、自航試験のみとする。

4. 研究成果

船舶運航からの二酸化炭素排出削減への要求から、推進性能改善のため、多くの省エネルギー付加物が提案され、実際の新造船にも数多く取り付けられている。しかしそれらの多くは平水中での推進性能を改良するために模型実験により決定され、これらが波浪中でも付加物がない場合よりも性能を向上させているのかどうかを調査した研究はほとんどない。そこで研究代表者らのこれまでの研究により、平水中で性能が良くなる舵につけられる水平フィンについて波浪中の試験を行った。平水中で改良された右舷側のフィンを短くし、迎え角をマイナス方向にとった舵と通常舵も含めて4種類の舵を装備したKVLCC2船型の波浪中自航試験により性能を調査した。これにより、大きな運動をする場合には最適な舵は平水中ほど性能改善効果がないが、通常

舵よりは大きく、通常水平フィン舵より性能が向上する結果が得られた。また推力変動についても調査し少し小さくなることが明らかになった。実験結果を推定する方法として CFD-Ship を用いた計算を行った。波浪中での計算を通常舵を装備した計算で検証した後、すべての舵について計算を行った。大阪大学のプロペラモデルを用いた計算で十分実験結果を説明できることが明らかになった。さらに、その性能変化がなぜ起こるのかを調査するため、プロペラ作動時の付加物周りの流れ場を Stereo PIV 装置を用いて詳細に計測するための予備実験を行った。船尾のプロペラから 2 直径程度上流に取り付けられたフィンの影響について SPIV 計測を行い、付加物によるプロペラ流入速度の変化を説明することができた。

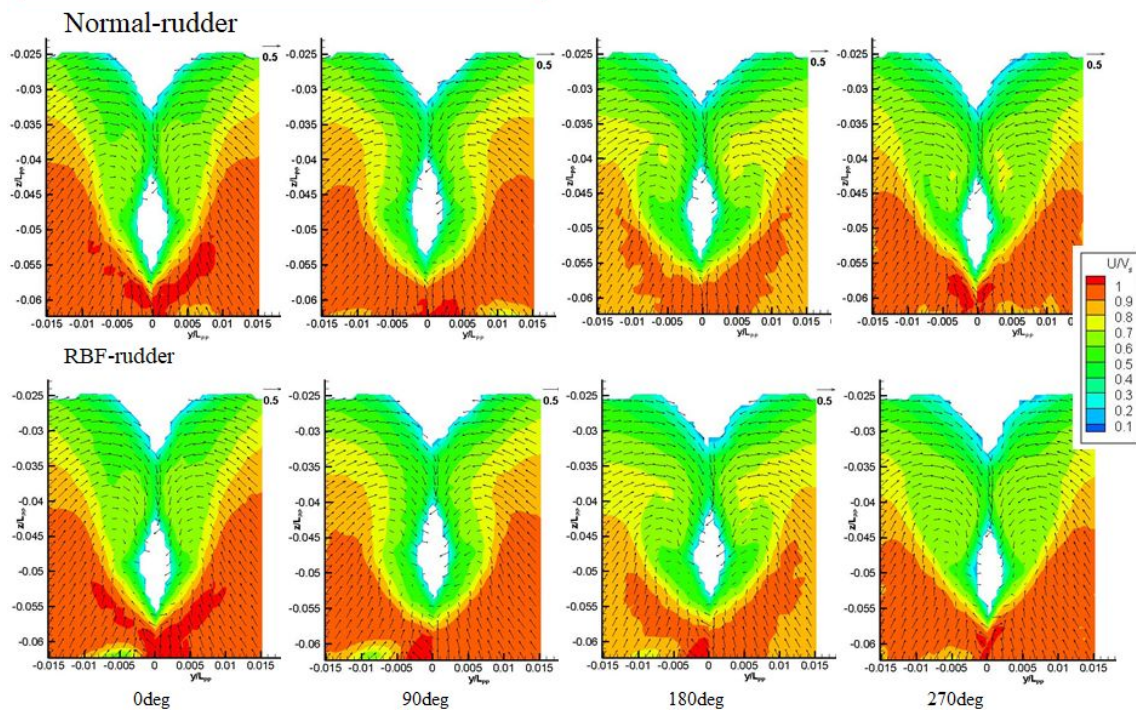
上記に引き続き、平水中で性能改善が示されている省エネルギー付加物の 1 つであるラダーバルブフィンの波浪中推進性能を調査した。この結果でも水平フィンが波浪中で悪い効果を出すことはなく、広い波長船長比の領域で効果が小さくなる場合もあるが性能改善効果があることが確認された。波浪中での性能改善効果を波浪中の自航試験により計測して検討するだけでなく、プロペラの上流と下流において波浪中で運動しながら前進するプロペラ作動時の流速分布を SPIV 計測により 1 周期中の 4 または 6 つの位相において計測した。その結果、通常の水平フィン付きバルブ舵の性能改善が流速分布からも説明できることを示した。上記の計測した状態に対して CFD 計算も可能になるように改良を続け、計算結果を得ることができた。上記計測結果と比較することにより本研究で開発してきた CFD 計算は十分に水槽試験の状況を説明可能であるということが明らかになった。また上流の船体に取り付けた小さなフィンによる流場改善効果についても計測を行った。この結果左舷のみに取り付けられたフィンによりプロペラ流入速度にプロペラ回転と逆回転の流れを誘起し推進性能を改善することが明らかになった。これは平水中での知見であるが、今後波浪中での性能改善効果も計測していく。

これらの結果は後に示す論文にまとめられ、流場計測データも公表した。代表的なものとしてプロペラ作動時のプロペラ前方や、プロペラ舵後方の流れ場を計測した結果を示す。図 1 に示されるように波浪中運動抵抗計測装置に船体をつけ、その後方で流速分布を計測している。図 2 には波長船長比が 0.6 の船体運動が小さい場合と 1.1 の同調点付近の船体運動が大きい場合についてプロペラより少し前の断面の流れ場を示す。RBF と通常舵をつけた場合、プロペラ前方への影響は非常に少なく、荷重が少し異なることに分布の差が見える程度である。図 3 には船体、プロペラ、舵の後方の流れを RBF の場合と通常舵の場合で比較したものを示す。舵直後でプロペラの増速流が左舷側では上に、右舷側では下に行くようになっている。バルブとフィンの影響によりそれがくぼんでいる部分も計測されている。また運動が大きい場合はその形がきれいに見える位相とそうではない位相がある。これらの傾向は CFD 計算ではよく推定されていることを付記する。



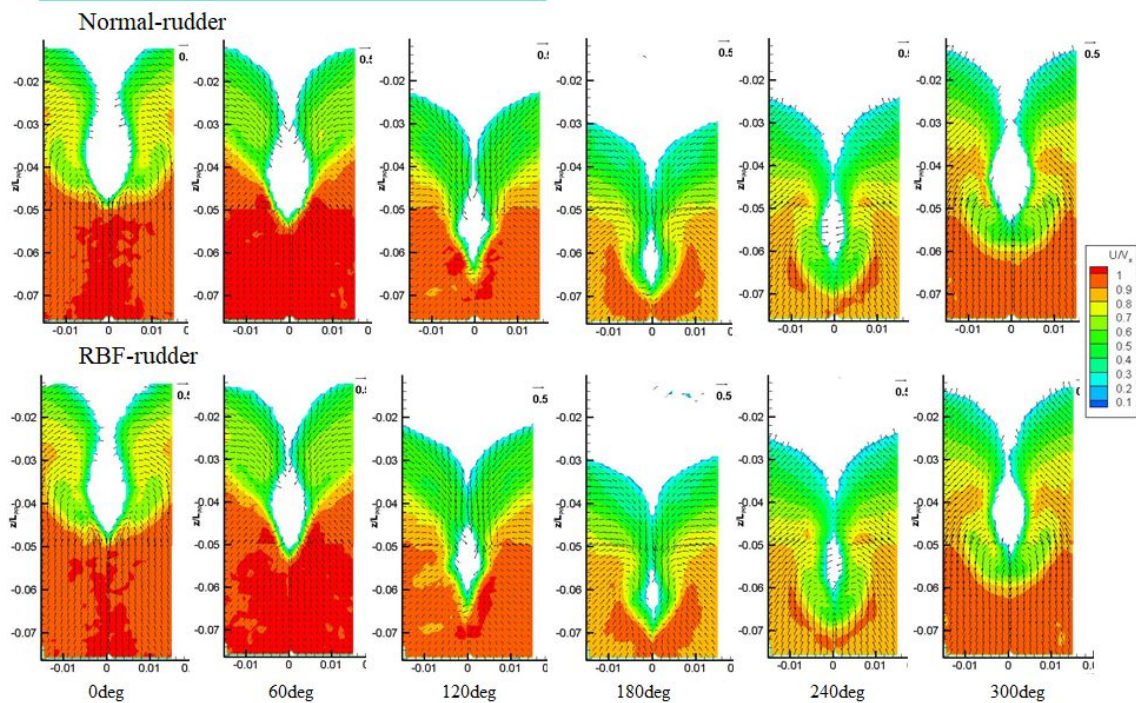
図 1 実験の概要

$\lambda/L=0.6$, 10cm ahead of the AP



(a) プロペラ作動時プロペラ直前の波浪中位相平均流場($\lambda/L=0.6$ 、上通常舵、下 RBF)

$\lambda/L=1.1$, 10cm ahead of the AP

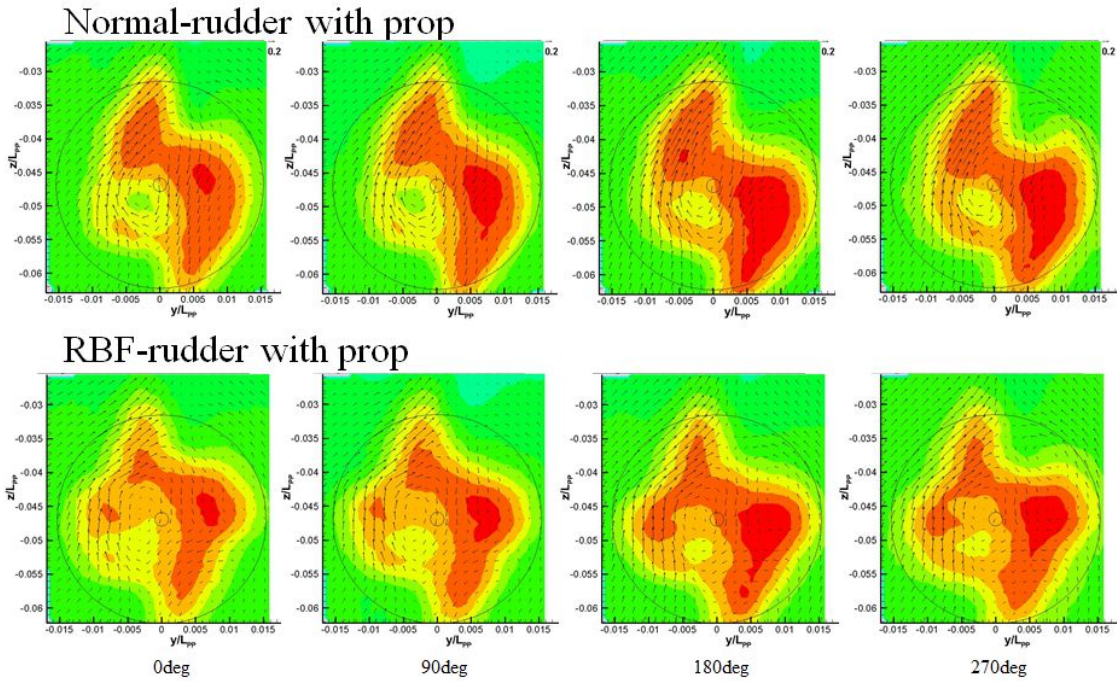


(b) プロペラ作動時プロペラ直前の波浪中位相平均流場 ($\lambda/L=1.1$ 、上通常舵、下 RBF)

図2 自航時のプロペラ前方の位相平均流場

SPIV Measurement Results

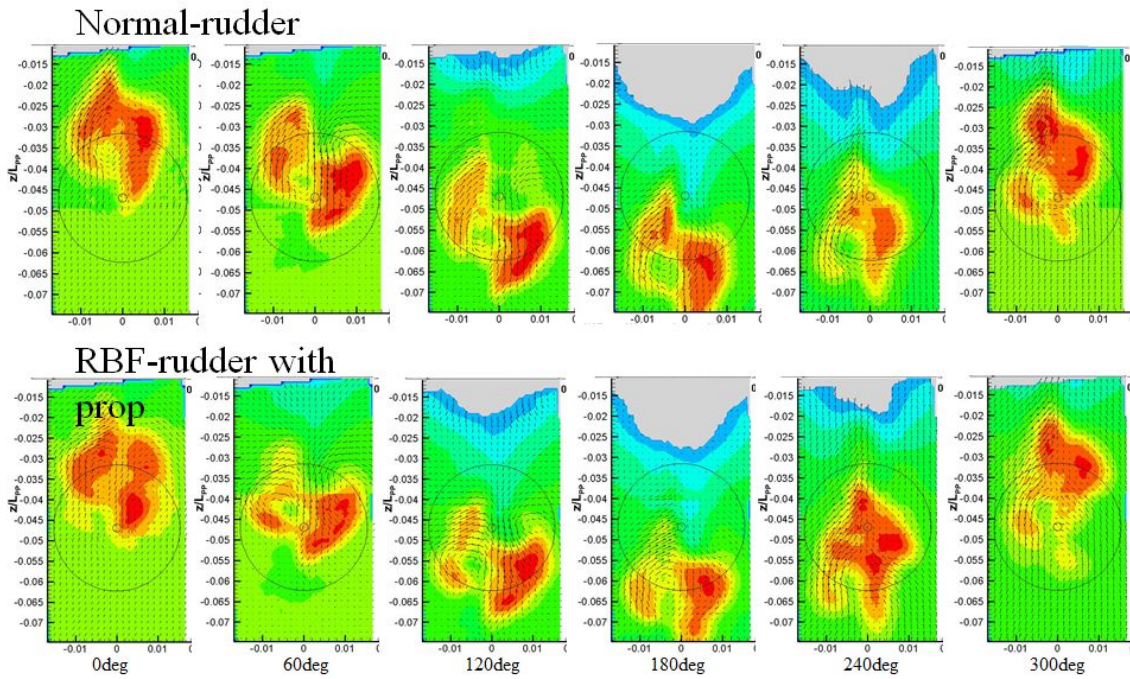
$\lambda/L=0.6$, 8cm behind the AP



(a) プロペラ作動時プロペラ・舵後方の波浪中位相平均流場($\lambda/L=0.6$ 、上通常舵、下 RBF)

SPIV Measurement Results

$\lambda/L=1.1$, 8cm behind the AP



(b) プロペラ作動時プロペラ・舵後方の波浪中位相平均流場($\lambda/L=1.1$ 、上通常舵、下 RBF)

図3 自航時のプロペラ・舵後方の位相平均流場

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ping-Chen Wu, Md. Alfaz, Hossain, Naoki Kawakami, Kento Tamaki, Htike Aung Kyaw, Ayaka Matsumoto, Yasuyuki Toda	4. 巻 64
2. 論文標題 EFD and CFD Study of Forces, Ship Motions, and Flow Field for KRISO Container Ship Model in Waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Ship Research	6. 最初と最後の頁 61-80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5957/jsr.2020.64.1.61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Rikizo Yamashita, Jun Ando, Hina Matsuura, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 Computation and Measurement of Wake Field of Fin Installed in Boundary Layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2704-2710
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Seemontini RoyChoudhury, Ping-Chen Wu, Yugo Sanada, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 Computational Fluid Dynamics study on KRISO Container Ship Maneuvering in Calm Water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2898-2903
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Tho-Quang Truong, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 The CFD Study of Rudder-Bulb-Fin System in Changing Cambered Foil and AOA Applied to KVLCC2 Tanker	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics	6. 最初と最後の頁 No.32 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Benson Oyunge, Mwangi, Haruki Nango, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 SPIV Measurement for a Self-propelled Ship in Regular Head Waves with Different Amplitudes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics	6. 最初と最後の頁 No.41, 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Win Naing Htay, Tho Quang Truong, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 A CFD based Comparison Study of Conventional Rudder and Rudder with Bulb-Fins System of KVLCC2 in Waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 3377-3384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seemontini RoyChoudhury, Kodai Kawamoto, Ping-Chen Wu, Yugo Sanada, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 Course-Keeping of KRISO Container Ship in Calm Water and Head Waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 33rd Symposium on Naval Hydrodynamics	6. 最初と最後の頁 No.20, 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Win Naing Htay, Benson Oyunge Mwangi, Hina Matsuura, Yasuyuki Toda	4. 巻 33
2. 論文標題 Effectiveness of Bulbous Rudder with Horizontal Fins on the Propulsion Performance of Ship in Waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 501-508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Win Naing Htay, Ayumi Magari, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study on the Performance of Rudder Bulb Fins System of KVLCC2 in Regular Head Waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2643-2650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Benson Oyunge Mwangi, Hina Matsuura, Yasuyuki Toda	4. 巻 -
2. 論文標題 The Effect of Energy Saving Devices (ESDs) on the Flow Field around the Stern of KVLCC2 Model Tanker	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 2651-2658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Win Naing Htay, Benson Oyunge Mwangi, Hina Matsuura, Yasuyuki Toda	4. 巻 34
2. 論文標題 Effectiveness of Bulbous rudder with Horizontal Fins on the Propulsion Performance of Ship in Waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 29-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2534/jjasnaoe.34.29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Win Naing Htay, Yuji Tsuda, Seemontini RoyChoudhury, Yasuyuki Toda	4. 巻 34
2. 論文標題 Energy-Saving Effect of Bulbous Rudder with Fins Having Different Configurations in Waves	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Win Naing Htay
2. 発表標題 Energy-Saving Effect of Bulbous Rudder with Fins Having Different Configurations in Waves
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会2022年春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Benson Oyunge
2. 発表標題 The Effect of Energy Saving Devices (ESDs) on the Flow Field around the Stern of KVLCC2 Model Tanker
3. 学会等名 ISOPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Win Naing Htay
2. 発表標題 A Study on the Performance of Rudder Bulb Fins System of KVLCC2 in Regular Head Waves
3. 学会等名 ISOPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Win Naing Htay
2. 発表標題 Effectiveness of Bulbous Rudder with Horizontal Fins on the Propulsion Performance of Ship in Waves
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seemontini RoyChoudhury
2. 発表標題 Course-Keeping of KRISO Container Ship in Calm Water and Head Waves
3. 学会等名 33rd Symposium on Naval Hydrodynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Win Naing Htay
2. 発表標題 A CFD based Comparison Study of Conventional Rudder and Rudder with Bulb-Fins System of KVLCC2 in Waves
3. 学会等名 ISOPE2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tho-Quang Truong
2. 発表標題 The CFD Study of Rudder-Bulb-Fin System in Changing Cambered Foil and AOA Applied to KVLCC2 Tanker
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruki Nango
2. 発表標題 SPIV Measurement for a Self-propelled Ship in Regular Head Waves with Different Amplitudes
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikizo Yamashita
2. 発表標題 Computation and Measurement of Wake Field of Fin Installed in Boundary Layer
3. 学会等名 ISOPE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seemontini RoyChoudhury
2. 発表標題 Computational Fluid Dynamics study on KRISO Container Ship Maneuvering in Calm Water
3. 学会等名 ISOPE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
	University of Iowa	IHR Hydroscience and Engineering	Iowa City, IA 52242	
米国				
その他の国・地域 台湾	National Cheng Kung University	Systems & Naval Mechatronic Engineering	Tainan, TAIWAN	