

令和 6 年 4 月 19 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02398

研究課題名（和文）気象の不確実さによる荒天航海・係留問題の危機管理を実現するOPE最適運航システム

研究課題名（英文）OPE Optimal Routing System to Enable Risk Management of Rough Sea Voyage and Mooring Problem Due to the Uncertainty of Weather

研究代表者

笹 健児（Sasa, Kenji）

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：10360330

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では外洋に面した海域における船舶の航海中および係留中の安全性を連続して評価が可能となるOPE最適運航システムの構築を試みた。実船実験に関しては、コロナ禍が研究期間中に重なったこともあり、1年間ほど事業を延長する形となった。実船実験については、当初予定していた船会社より協力が得られず、2022年度より計画を変更し、アジアから北米西岸を往復する航路におけるコンテナ船で実験開始となった。この結果、航海中における太平洋上の遭遇波浪の特性について、うねり特性を含めた知見が得ることができた。太平洋上で低気圧より発達した風波がうねりとなり、北米大陸に伝播すること、係留中の局面との連結モデルを継続する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶が外洋を航行し、港湾に係留するに至る過程での最適運航を連続的に実現することはこれまで議論されてこなかった。これは研究されている分野が異なることも影響していると思われるが、ここでは外洋を航行する実船を対象に連続的なデータ計測を実施し、両局面の関係を明らかとする。当初、想定した石炭船での実験はコロナ禍であった事情や企業側の事情で叶わなかったが、船会社と対象船を変更し、実船実験を遅れながら開始・実施中である。この中で外洋での波浪伝播に関する特性を数値計算等をもとに明らかとすることができた。その他の項目についても、今後、鋭意、実施していく。

研究成果の概要（英文）：The OPE optimal ship routing model has been constructed by the onboard measurement of ships in actual seas. However, the research schedule is delayed so much because of the global epidemic of COVID-19. The target ship is also changed from coal carrier to container ship between Asia and North America. The onboard data is being measured from 2023, and the characteristics of wave propagation is analyzed in detail. The numerical model, WaveWATCH III, is used to reproduce the wave spectrum across the Pacific Ocean. It is known that swells remarkably exist in the western region of the Pacific Ocean, wind waves are in the east region. The relation with ship performance in the ocean is analyzed here, detailed relations are summarized in the auto spectrums between pitch motion and engine parameters. The onboard measurement and data analysis will be continued after the project, the study results are reported too.

研究分野：船舶海洋工学 海岸工学

キーワード：最適運航 実海域性能 係留 波浪特性 荒天航海 数値計算 船速低下

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

船舶運航を考えると、航海している局面がクローズアップされるが、港内で停泊・荷役している局面、港外で停泊（錨泊）している期間も長く、波浪、風、流れによる影響もそれなりに発生している。例えば、周期が1~2分、波高が0.1~0.4m程度の長周期波により、大振幅の長周期運動が生じる、強風や変動漂流力にて大きな振り回り運動が生じるなど、航海中とは別の問題が生じる。船舶運航を最適化する研究（最適運航）は1950年代より実施され、21世紀に入ると安全性の確保に加え、GHG削減を目的関数に研究が続けられている。しかし、係留（停泊）中の局面については最適運航の対象外であり、船舶の運航を全体的に考えるとこれらも含めた安全性、経済性、環境面の評価を行なっていく必要があると考えていた。2020年から全世界に拡大したコロナ禍の影響にて、コンテナ船の運賃が高騰し、北米西岸をはじめ、中国、欧州の港湾においても作業員不足による沖での長期間における待機を余儀なくされるなど、係留中の局面における安全性は重要度を増している。以上の背景から、最適運航の考え方として航海中とその他の局面を連続的に評価した事例もなく、新しい概念を打ち出す必要性が取り立てられていた。

2. 研究の目的

ここでは実海域における計測データをもとに、港外における錨泊時の状況を数例ほど整理し、安全性の評価手順をデータ分析、数値シミュレーションにて分析、再現する。港外の場合、走錨のリスク、座礁のリスク、他船との衝突リスクがそれぞれ存在する。これらについて、定量的な評価手法を確立する。一方、港内におけるデータは石炭船を対象に実船実験にてデータ収集を行う計画としており、係留船舶の長周期動揺に関するデータの計測を計画していた。しかし、想定していた船会社との交渉過程にて、コロナ禍の状況となり実施延期の状態が続いた。当初の計画通りに進行しなかったため、船会社および対象船型を変更し、アジア~北米航路のコンテナ船にて2023年度より実験を開始している。このため、目的に掲げていたデータは本プロジェクト終了後に分析することとなるが、継続して実施する計画である。これらのデータを総合し、洋上~港外~港内を連続させたOPEウェザールーティングを構築する。

3. 研究の方法

以下の手順に従って研究を展開する。

- (1)過去に計測した28,000DWTばら積み貨物船にて計測した実海域データを分析し、港外錨泊時に大きな振り回り運動が発生した3ケースを抽出した。この時の動揺特性について、データ整理を行なった。
- (2)錨泊船の水平方向への振り回りと鉛直運動を再現するモデルについては、研究代表者・笹が過去に開発したものを基本的に使用する。航海学分野での研究では振り回り運動は風のみで発生し、波浪は影響しないとあるが、この仮説に対し、不規則波中で卓越する変動漂流力においても水平方向さらに鉛直方向にも運動が大きく増幅することを証明している。外力については、線形の波浪強制力、風圧力、さらには非線形な波力である変動漂流力を考慮し、船体運動は流体力のインパルス応答であるメモリー影響関数を考慮した運動方程式にて解析する。
- (3)数値シミュレーション結果より、走錨による座礁リスク、他船との衝突リスクについて評価関数を定義の上、検証した。他船データについては、当時の海域を対象にAISデータを購入の上、整理・分析を行なった。
- (4)2023年度より実施中のコンテナ船での実験結果を随時、分析し、海上での全局面を対象としたウェザールーティングモデルを開発する。この作業については、実施中の実験データがある程度、蓄積した段階で実施する予定である。

4. 研究成果

(1)2010~2016年に実施した28,000DWTばら積み貨物船のデータをもとに、航海中、港外錨泊時、港内係留中の状態にある時間をそれぞれ積算した。この結果を図-1に示す。

航海中であったのは58%、港内係留中は25%、港外錨泊中は17%であった。航海中でない状況にある時間が全体4割程度を占めており、当該局面に対する安全性評価を船舶運航に組み込む妥当性が裏付けられる。

(2)図-2にケース1（モロッコ）およびケース2（中国）における有義波高、波向、風向の空間分布に関する変化をそれぞれ示す。図より、ケース1は対象海域にて低気圧が卓越している様子が明確に表れており、ケース2は日本から中国にかけて梅雨前線が伸びた状況にて波高が前線付近でやや高くなっているほか、北緯10°付近に台風が発生している状態が窺える。

ただし、船舶位置（北緯30°付近）で台風の影響が出るとは考えにくく、梅雨前線の影響のみ

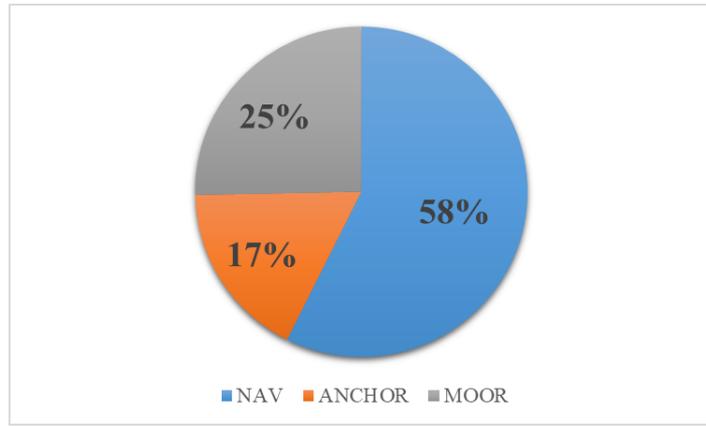


図-1 航海中、港外錨泊中、港内係留中の状態にある時間比率 (28,000DWT ばら積み貨物船)

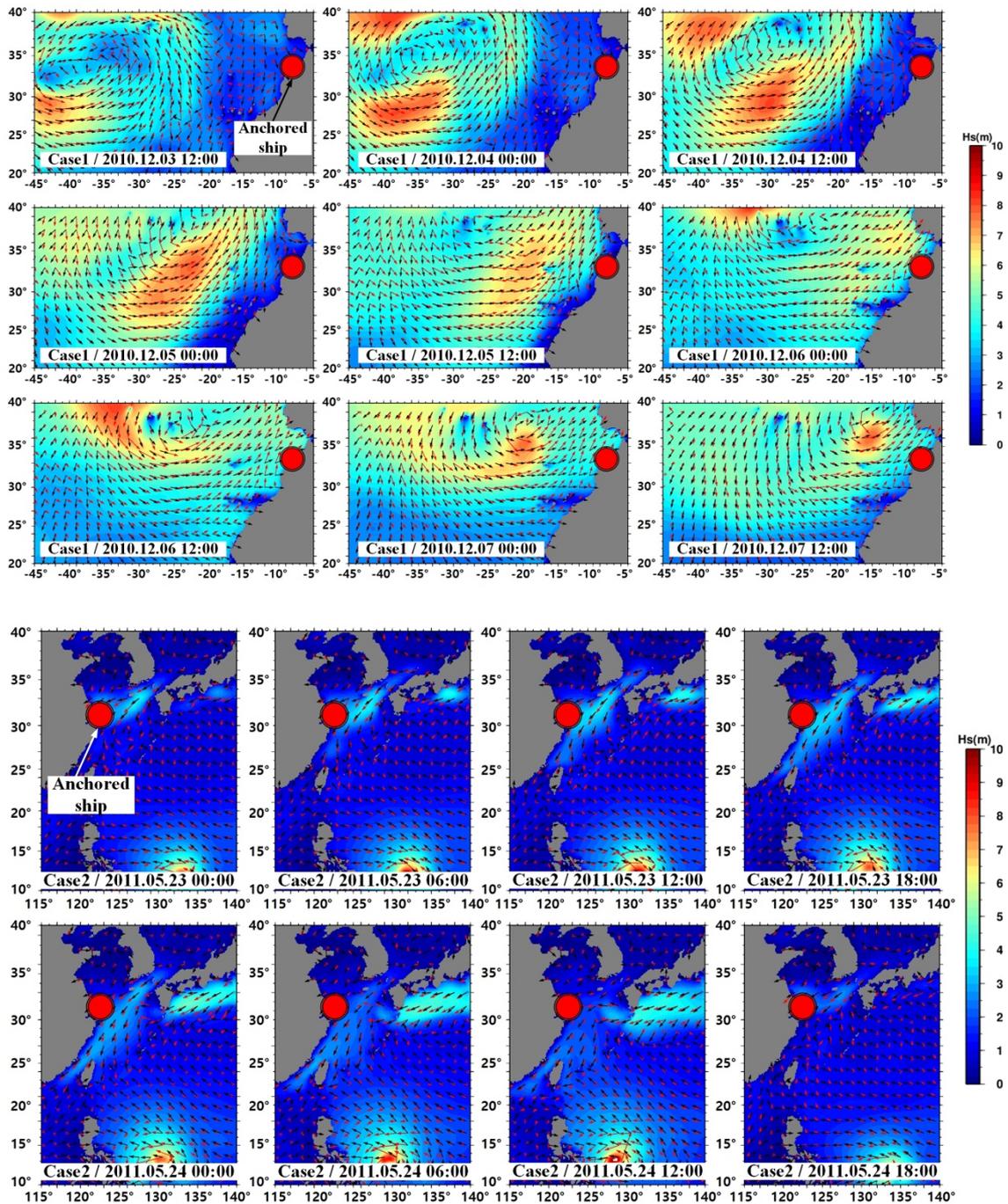


図-2 ケース 1 およびケース 2 における有義波高、波向、風向の空間分布の時間変動

を考慮すればよいと思われる。図-3 にケース 1～ケース 3 (豪州) における船体運動の計測およびシミュレーション結果、走錨距離の推定結果をそれぞれ示す。

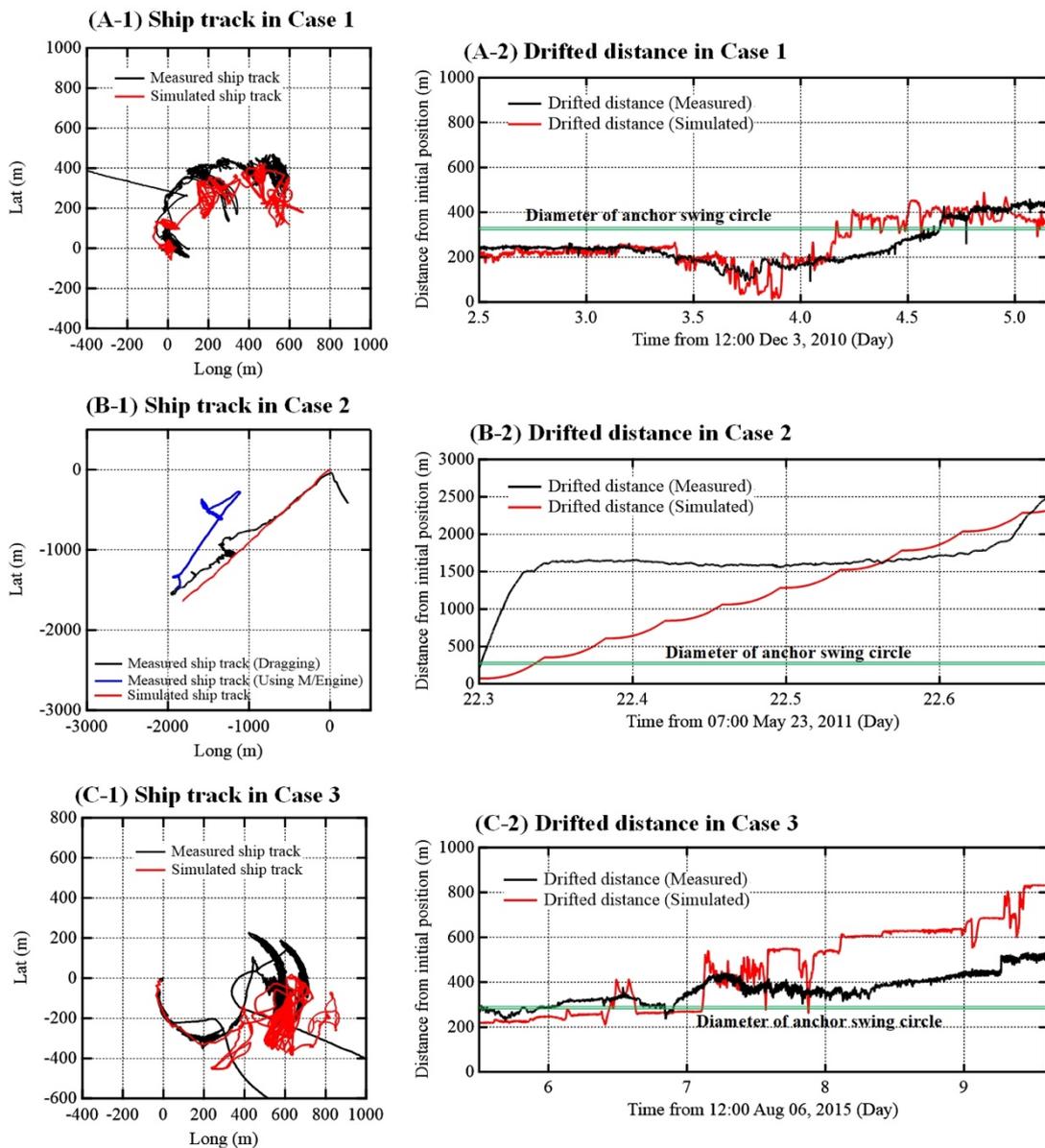


図-3 各ケースにおける船体運動および走錨距離の計測および推定結果の比較

これより、いずれのケースも概ね実用的な精度にて計測値と推定値は一致しており、本研究で使用した手法の妥当性が検証されたといえる。図-4 はケース 1～ケース 3 における実際の波高に対し、波浪予報が過小評価であった場合を想定した条件として、波高が 2 倍 (U-2)、3 倍 (U-3) とした場合におけるシミュレーション結果の比較を図-4 に示す。

これより走錨距離や振り回り範囲が非線形な関係にて大きくなることが明らかとなった。

(3) ケース 3 における錨泊時の他船との衝突危険度 (PCR および CRI) についても同様に比較した結果を図-5 に示す。

図より波高が 2 倍となった条件 (U-2) が最も衝突危険度が高く、必ずしも波高が最も高い場合に危険となるものではないことも明らかとなった。この点は導入した方法にて適切に数値シミュレーションを活用した検証が必要である。

(4) 2023 年度より実施中のコンテナ船での実験結果を随時、分析し、海上での全局面を対象としたウェザールーティングモデルを開発する。この作業については、実施中の実験データがある程度、蓄積した段階で実施する予定である。

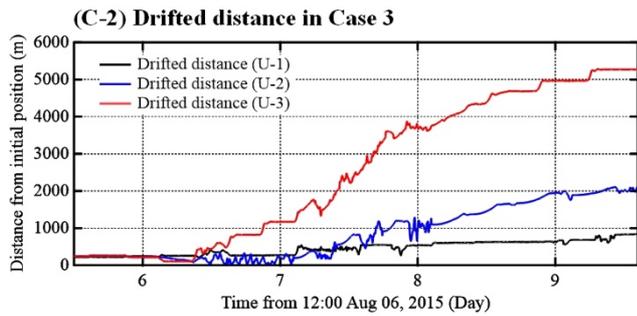
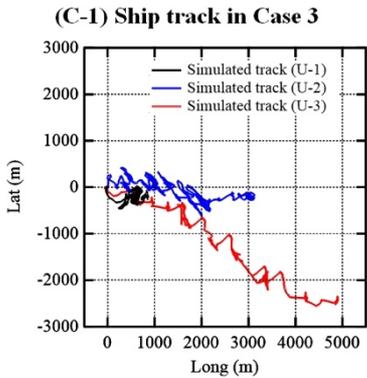
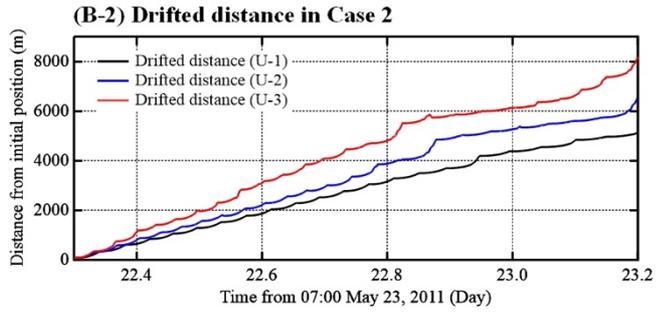
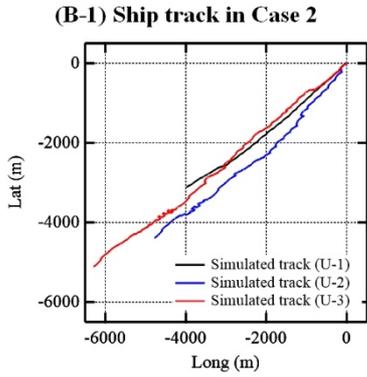
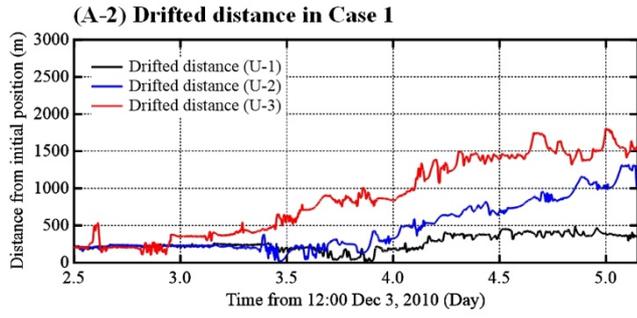
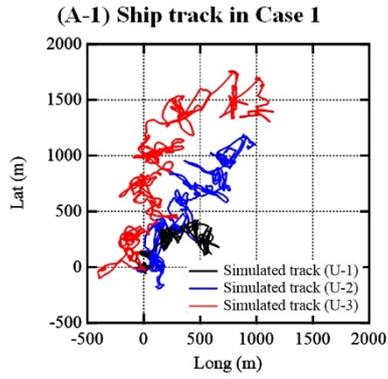


図-4 波高が2倍、3倍となった場合の各ケースにおける船体運動および走錨距離の比較

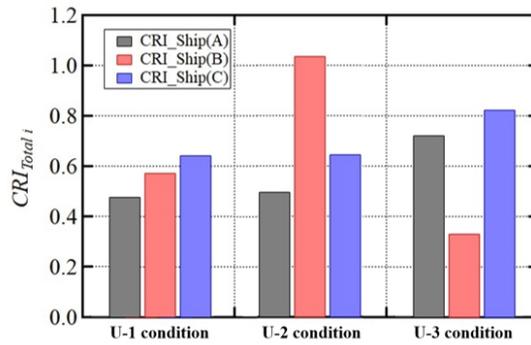
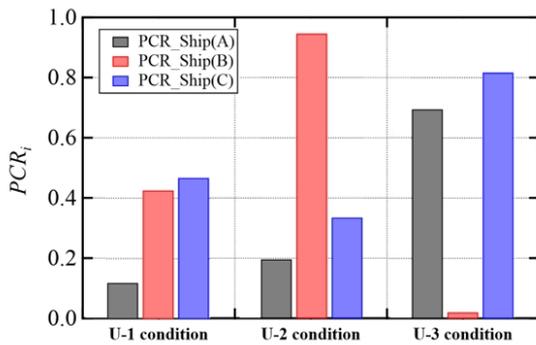


図-5 波高が2倍、3倍となった場合の各ケースにおけるPCRおよびCRIの比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Maki Atsuo, Dostal Leo, Maruyama Yuuki, Sasa Kenji, Sakai Masahiro, Sugimoto Kei, Fukumoto Yusuke, Umeda Naoya	4. 巻 27
2. 論文標題 Theoretical estimation of joint probability density function of roll angle and angular acceleration in beam seas using PDF line integral method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 814 ~ 822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00773-022-00873-x	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 Yuen Ping Chi, Sasa Kenji, Kawahara Hideo, Chen Chen	4. 巻 75
2. 論文標題 Statistical estimation of container condensation in marine transportation between Far East Asia and Europe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Navigation	6. 最初と最後の頁 176 ~ 199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0373463321000746	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 Lee Sang-Won, Sasa Kenji, Aoki Shin-ich, Yamamoto Kazusei, Chen Chen	4. 巻 13
2. 論文標題 New evaluation of ship mooring with friction effects on mooring rope and cost-benefit estimation to improve port safety	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 306 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijnaoe.2021.04.002	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 Chen Chen, Sasa Kenji, Prpic-Orsic Jasna, Mizojiri Takaaki	4. 巻 229
2. 論文標題 Statistical analysis of waves' effects on ship navigation using high-resolution numerical wave simulation and shipboard measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 108757 ~ 108757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2021.108757	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 Sasa Kenji, Chen Chen, Fujimatsu Takuya, Shoji Ruri, Maki Atsuo	4. 巻 228
2. 論文標題 Speed loss analysis and rough wave avoidance algorithms for optimal ship routing simulation of 28,000-DWT bulk carrier	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 108800 ~ 108800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2021.108800	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 TERADA Daisuke, KOSAO Makoto, ODA Hiroyuki, SASA Kenji, TANAKA Yoshikazu	4. 巻 145
2. 論文標題 Estimation of Characteristics of Waves Encountered with a Ship by Using a Set of Data Obtained from Draft Measurement System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Japan Institute of Navigation	6. 最初と最後の頁 47 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9749/jin.145.47	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 田中穰一朗, 笹 健児, 陳 辰,	4. 巻 32
2. 論文標題 実船データとの比較による南半球海域を対象とした最適 運航モデルについて,	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 121-124
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 島田遼太郎, 笹 健児	4. 巻 32
2. 論文標題 荒天航海における大型フェリーの車両貨物挙動シミュレーション	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 117-120
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 Jing Qianfeng, Sasa Kenji, Chen Chen, Yin Yong, Yasukawa Hironori, Terada Daisuke	4. 巻 221
2. 論文標題 Analysis of ship maneuvering difficulties under severe weather based on onboard measurements and realistic simulation of ocean environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 108524 ~ 108524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2020.108524	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 Chen Chen, Sasa Kenji, Ohsawa Teruo, Kashiwagi Masashi, Prpi?-Or?i? Jasna, Mizojiri Takaaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Comparative assessment of NCEP and ECMWF global datasets and numerical approaches on rough sea ship navigation based on numerical simulation and shipboard measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Ocean Research	6. 最初と最後の頁 102219 ~ 102219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apor.2020.102219	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 Prpic-Orsic Jasna, Sasa Kenji, Valcic Marko, Faltinsen Odd Magnus	4. 巻 142
2. 論文標題 Uncertainties of Ship Speed Loss Evaluation Under Real Weather Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 0311061-0311065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4045790	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 Chen Chen, Sasa Kenji, Ohsawa Teruo, Prpi?-Or?i? Jasna	4. 巻 207
2. 論文標題 Comparative study on WRF model simulations from the viewpoint of optimum ship routing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 107379 ~ 107379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2020.107379	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 Yuen, P.C., Sasa, K., Kawahara, H., and Chen, C.	4. 巻 31
2. 論文標題 Analysis of the Onboard Weather Conditions Governing Container Condensation in Voyage between Asia and Europe	5. 発行年 2020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 315-320
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9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Sasa, K.
2. 発表標題 Development of Optimal Ship Routing and Evaluation of Maneuvering Difficulty with Onboard Measuring
3. 学会等名 14th Baska GNSS Conference (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sang-Won Lee, 笹健児, 陳辰
2. 発表標題 Risk Assessment of Anchoring Ship Motions as a Part of Optimal Ship Routing Offshore Harbor under Rough Sea Conditions
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 第20回推進・運動性能研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kurniawan Teguh Waskito, 笹健児, 陳辰
2. 発表標題 Evaluation of Time Series Ship Motions in Actual Seas in Global Sea Areas
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 第20回推進・運動性能研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧 敦生, 丸山湧生, Leo Dostal, 酒井政宏, 澤田涼平, 笹 健児, 梅田直哉
2. 発表標題 実船の遭遇風 速・風向の時系列データのシミュレーション環境下での再現法についての研究
3. 学会等名 日本船舶海洋 工学会 第20回推進・運動性能研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田遼太郎, 笹 健児
2. 発表標題 車両貨物から見た荒天航海時における大型フェリーの安全性評価
3. 学会等名 日本船舶海洋 工学会 第20回推進・運動性能研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹 健児
2. 発表標題 日本近海を航行する内航コンテナ船の実海域性能から見た燃費特性について
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会関西支部 KFR・KSSG 共催シンポジウム 実船モニタリングの最前線(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹 健児, 折原秀夫
2. 発表標題 実海域性能モニタリング
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会推進運動性 能研究会 20 周年記念シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤松拓也, 笹 健児, 陳 辰, 庄司るり
2. 発表標題 気象海象中における船速低下の高度化を考慮した最適運航シミュレーションの構築と実船データによる再現検証
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会第 16 回推進運動性能研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 景 乾峰, 笹 健児, 陳 辰, 安川宏紀
2. 発表標題 Numerical Simulation and Validation of Maneuvering Difficulty in Rough Sea Voyage in the Southern Hemisphere for 28,000DWT Bulk Carrier
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会第16回推進運動性能研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 川北千春, 川島英幹, 新郷将司, 寺田大介, 上野道雄, 毛利隆之, 白石耕一郎, 木村校優, 松田識史, 笹健児, 折原秀夫, 日野孝則, 大橋訓英, 一ノ瀬康雄, 金井 健, 佐藤 圭, 犬飼泰彦, 蓮池伸宏, 平田宏一, 金丸 崇, 日夏宗彦	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本船舶海洋工学会	5. 総ページ数 -
3. 書名 GHG排出量ゼロに向けた船舶流体 力学の現状と展望(日本船舶海洋工学会)	

〔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
研究分担者	牧 敦生 (Maki Atsuo) (50556496)	大阪大学・大学院工学研究科・准教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	大澤 輝夫 (Ohsawa Teruo) (80324284)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	青木 伸一 (Aoki Shinichi) (60159283)	大阪大学・大学院工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	陳 辰 (Chen Chen) (40793815)	神戸大学・海事科学研究科・客員准教授 (14501)	

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