

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00284

研究課題名（和文）海洋底探査を加速する自律操船AIの開発と実海域探査での実証

研究課題名（英文）Development of AI for autonomous ship handling to accelerate ocean-bottom exploration, and its demonstration at actual sea

研究代表者

橋本 博公（Hashimoto, Hirotada）

大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授

研究者番号：30397731

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海洋底探査に求められる測線トラッキング、定点保持、避航、離着岸という一連の操船を自動化するための自律操船AIを開発した。自律制御則の獲得には深層強化学習を用いるが、各操船に応じて適切な状態入力、行動出力、報酬設計の提案を行った。開発した自律操船AIについて、模型船または実船による検証実験を行ったが、高い操船能力だけでなく、センサノイズやモデル化誤差、外乱影響に対するロバスト性についても確認することができた。さらに、逆強化学習による熟練者の感覚を反映した報酬の可視化や転移学習の可能性についても示すことができた。これらの成果は、今後の海洋底探査を加速させる基盤技術となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶は慣性が大きく、操船に対する応答性が極めて遅い。また、波や風などの自然外乱を空間的・時間的に把握することは困難である。本研究では、深層強化学習を用いて海洋底探査に求められる高度な判断と緻密な操船を自律操船AIに置き換えることに挑戦した。シミュレーションのみによる研究が数多く報告される中で、実船を用いた実証実験を繰り返し、AIの操船能力に加えてモデル化誤差や外乱影響に対するロバスト性までを実証できたことは学術的に意義がある。また、若年労働者の減少により船員の安定確保が困難となりつつある日本において、無人運航船の早期実現へと繋がる本研究の成果は社会的にも大きな意味がある。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed AI for automating a series of ship maneuvers required for ocean-bottom exploration, such as line tracking, dynamic positioning, collision avoidance, docking and undocking. Deep reinforcement learning is used to acquire the autonomous control laws, so we designed state inputs, action outputs, and reward functions according to each maneuver. Demonstration experiments were conducted for validating the ship maneuvering AI using model ships or actual ships. Then, we have confirmed not only its maneuvering ability, but also its robustness against sensor noises, modeling errors, and external disturbances. In addition, we have succeeded to visualize rewards reflecting the sensation of experts by inverse reinforcement learning, and to incorporate the transfer learning into enhancing the ship maneuvering AI. These achievements can be led to the basic technologies that will accelerate future ocean-bottom exploration.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：自律操船AI 深層強化学習 逆強化学習 測線トラッキング 定点保持 自動避航 自動離着岸 実船実験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海溝型地震や海底火山噴火の予測、熱水活動調査による資源評価など、観測船による海洋底探査の重要性が増している。広大な海洋を精密かつ効果的に探査できる自動操船技術を確立することは、高度な探査研究において極めて重要である。そのためには、自然外乱の影響や不確かさを考慮したうえで、操縦応答性の低い船舶を緻密に操り、指定された測線を正確にトラッキングする、自然外乱中で船体を定点に留めるなどの高度な操船技術が必要となる。探査研究の成果は操船者の経験や能力に大きく依存し、不確定な気象海象にも左右されるため、科学者が求める精度を満たしつつ効率的な探査を実施するためには、海洋底探査における操船制御の高度自動化が不可欠となる。しかしながら、操船者の経験や技能に頼っている現状では探査の更なる発展は難しいのが現実であり、自然外乱の把握が困難な状況下においても、高度な判断と緻密な操船を実現するための研究が求められている。

### 2. 研究の目的

気象海象が複雑に変化する状況において、海洋底探査に課せられた高度ミッションを達成するためには、革新的な船舶制御が求められる。本研究では、既存の制御理論では取り扱いが困難な海洋底探査における操船問題の新たな解として、深層強化学習にもとづく自律操船 AI の開発を行う。膨大な試行によって最適な行動方策を獲得するための学習環境を構築し、ニューラルネットワーク (NN) の構造やパラメータの最適化を行うことで、海洋底探査の高度化と効率化に資する操船制御を実現する。AI が対象とする操船は、(1) 自動測線トラッキング、(2) 自動定点保持に加えて、(3) 自動避航、(4) 自動離着岸の 4 つとする。測線トラッキングと定点保持については実際に海洋調査を行う研究者と、自動避航と自動離着岸については熟練船長と協議し、各操船を自律化するための報酬設計や行動選択肢の検討を行う。

開発した自律操船 AI は、模型船を用いた水槽試験による検証や実船を用いた実海域での検証を実施することにより定量的な評価を行う。これらの研究成果をもとに、今後の海洋底探査を加速させるための基盤的な船舶制御技術として確立することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 自動測線トラッキング

自動測線トラッキング AI の開発には、深層強化学習の中でも連続行動空間の取り扱いが可能な Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG)<sup>1)</sup>を用いる。行動出力は-35度から35度の範囲の舵角である。報酬設計については、測線上を測線と平行に進むことが目的であるとして、測線との距離の偏差と針路と測線の角度の偏差を用いて報酬を算出する。船舶の操縦運動モデルは検証実験の実施を念頭に、水産技術研究所の調査船「たか丸」の MMG モデル<sup>2)</sup>である。目標とする測線は、任意の測線を追跡できるように直線と円弧をランダムに組み合わせて生成する。なお、調査船「たか丸」は通常の船舶と同じく、外部 PC による直接制御ができないため、操舵スタンドの前方に設置したモニター上に AI の指令値を表示し、乗組員がマニュアルで操船するシステムをあわせて開発する。

#### (2) 自動定点保持

定点保持 AI には、操縦性に乏しい船舶の位置と方位を外乱下で保持する制御が求められる。エージェントの行動は、舵角が-35度、0度、35度の3種類、可変ピッチプロペラの翼角がポラード状態を0度として-4度、-2度、0度、2度、4度の5種類、サイドスラストが左、右、中立の3種類という離散行動出力とした。これは調査船「たか丸」のスラストが on/off 制御であり、低速時には舵角が効かないため細かく変化させても意味がないことによる。学習には Deep Q-Network (DQN)<sup>3)</sup>を用いた。報酬は、留まるべき目標位置・方位との偏差および速度・回頭角速度から算出する。船舶の操縦運動モデルは、調査船「たか丸」の MMG モデルである。学習時には外乱としてエピソード毎に風向・風速をランダムに決定して与える。

#### (3) 自動避航

他船が行き交う海域での探査では衝突事故のリスクがあるため、衝突危険判断と避航動作を自律的に行い操船する必要がある。そこで、DQN を用いて衝突回避とウェイポイントへの到達のタスクを達成する AI を開発する。衝突危険領域の算出には Dangerous Area of Collision (DAC)<sup>4)</sup>を用いる。自船周りの安全航過領域を 10 段階に分けることで多段階の衝突危険度を入力とし、避航操船と目的地への到達という異なる 2 つのタスクを、多数の船舶が行き交う輻輳した状況にでも効率的に達成できることを目指す。自船周りの領域をセルに分割し、衝突危険度を表す値を各セルに代入することで入力データを作成する。ウェイポイントに関する情報は距離にもとづき決定し、衝突危険領域に含まれていない格子状のセルに対して数値を与える。

なお、AI による自動操船にも課題がある。例えば経路追従や定点保持では AI の行動に多少の疑念があっても大きな問題とはならないが、相手船との衝突事故に繋がりうる避航操船におい

では行動意図の読めないAI がどこまで信頼できるのかという「ブラックボックス問題」が生じる。そこで、逆強化学習によって熟練者（エキスパート）の感覚を定量化するとともに、熟練者の感覚に即した最適航路計画の策定について検討を行う。報酬を重みパラメータと特徴量ベクトルの線形結合で近似する最大エントロピー逆強化学習<sup>5)</sup>を用いて、エキスパートの避航行動のデータから報酬関数を推定し、定量化が難しい避航操船におけるエキスパートの意図の可視化を図った。

#### (4) 自動離着岸

探査航海においても出航と入港は必須の操船であるため、離着岸操船を自動化するための AI 開発に取り組む。ここで離着岸操船を航路追従制御として問題設定する。複数のアクチュエータの制御パターンはジョイスティック・ダイヤル (JS/D) の代表パターンを用いることで組み合わせの数を大幅に低減し、学習の安定化・効率化と操船者に対する意図の明瞭化を図る。学習には Double deep Q-network (DDQN)<sup>6)</sup>を用いた。DDQN は人間のような強い普遍性と学習能力を有している。離着岸時には風の影響が大きく、岸壁との衝突は重大な事故に繋がらう。そこで、外乱やモデル化誤差に対してロバスト性を確保するため、計画航路に局所的な補正ロジックを導入することで、冗長性のある制御を実現することを目指した。報酬は、目標航路からの船位と方位の乖離度合いに応じて算出する。

### 4. 研究成果

#### (1) 自動測線トラッキング

調査船「たか丸」(図1)を用いてAI 操船を検証したところ、測線を高精度に追従することは確認できたが、指令舵角が微細な高速振動を起こすことや大角度変針時の舵角指令に左右対称性が見られないことに操船者から懸念が示された。そのため、これらの問題を解決すべく測線トラッキングAI の改良を行った。

NN は初期値のランダム性や学習データの偏りから出力の対称性が保証されない。そこで、Actor network, Critic network の構造において対称性を含めることで、左右の対称性の完全な保証が可能となった。同時に対称性を課すことで学習自体も効率的に進むことが確認された。次に、検証実験で見られた指令値が極端に大きく変化するような操船を抑制するため、Actor の学習時に計算している損失に操舵量に応じた損失を加えた。行動に対して適切な制限を加えるために、あらかじめ設定した値を超えると損失が急増する関数を用いた。これにより、95%以上の指令が設定値以下の指令となることが確認された。最後に、ハンチング防止のための行動の平滑化に取り組んだ。NN の平滑化手法として提案されている Conditioning for Action Policy Smoothing (CAPS)<sup>7)</sup>を単純に適用するだけでは、大きく状況が変化した際にも行動を変化させないという問題が生じた。そこで、損失を改めることでこの問題を解決し、直進時や旋回時など状況に応じて適切な指令が得られるような平滑化を実現した。

以上の改良を施したAI を用いて、改めて実船を用いた検証実験を実施したところ、改良を加えたDDPGでは改良前に加えて操舵量が8%程度にまで抑制され、かつ追従精度にも差がみられないことから、高精度な追従と滑らかな操船を両立できることが実証された(図2)。



図1 調査船「たか丸」

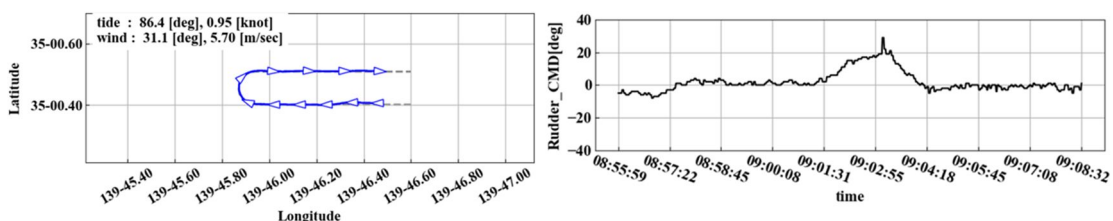


図2 改良DDPGによる測線トラッキングの実船実験の航跡と操舵量

#### (2) 自動定点保持

バウスラストを備えた自走式模型船を用いた水槽実験を行ったが、シミュレーション実験に比べて風外乱に対する定点保持性能が劣る結果となった。このAI を用いて実海域にて実船で検

証したところ、風だけでなく波や潮流が混在することもあり、定点保持性能はさらに悪化する結果となった。学習用に構築した MMG ベースの操縦運動方程式のモデル誤差の影響が大きいためと推察されることから、シミュレーション環境で定点保持操船を学習したモデルを、自走式模型船を用いた定点保持学習の開始点でのモデルとして利用する転移学習を行った。学習済みモデルを元にしたことから、有限サイズの水槽であっても水槽壁に向かうことなく模型船による強化学習が進められることが分かった。1日程度の転移学習の結果、定点保持性能に明らかな改善が見られることを確認した。今後、改めて実船での検証を実施する予定であるが、将来的には実船を用いた転移学習の可能性についても検討したい。

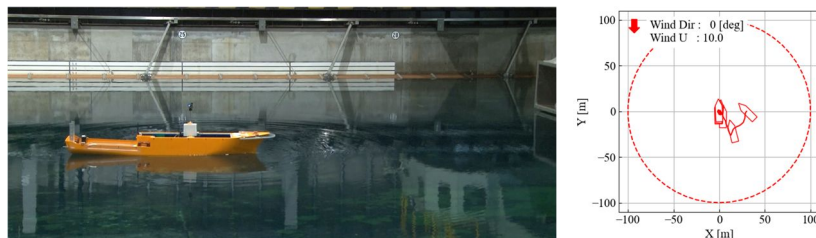


図3 一定風作用下での定点保持模型実験の様子と航跡

### (3) 自動避航

多段階の DAC を入力とする自動避航 AI (図4) について、過去に研究代表者らが大阪湾で行った実船実験で収録した航行船舶の動きを用いて評価を試みた。図4に示すように、初期状態から自船は衝突危険領域に囲まれている状況である。複数の衝突危険度に応じた DAC を用いることで、自船の右前方は衝突危険度が小さいことを理解しており、衝突危険度がゼロとなる縁を進みながら他船との衝突を適切に回避しつつ、最終的に目標のウェイポイントに向かって針路を戻す操船を達成できている。

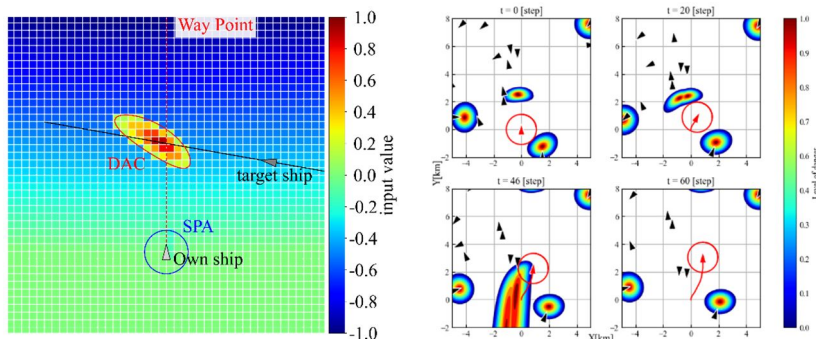


図4 避航操船 AI への入力と避航操船の結果

定量化が難しいエキスパートの避航操船の感覚を明らかにすべく、熟練者の操船データから逆強化学習によって報酬の推定を試みた。その結果、様々な見合いシナリオに対して、熟練船長が考える避航計画の報酬を可視化することに成功した。さらに、価値反復法を用いて報酬の期待値が最大となるような航路を探索することで、海上衝突予防法に準拠しつつ衝突を回避できる航路を得ることも可能となった。今後は得られた結果を強化学習の報酬設計にフィードバックすることが望まれる。

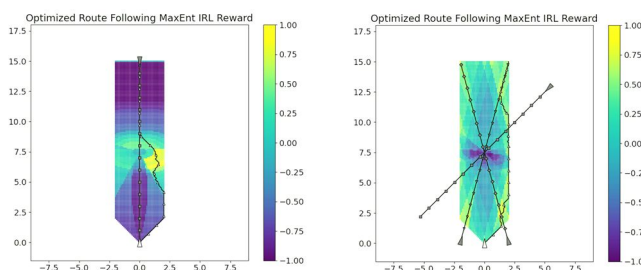


図5 避航操船におけるエキスパートの報酬と最適航路の探索結果

### (4) 自動離着岸

模型船での検証を経て、実船を用いた実証実験を行った。その結果、風外乱が存在する条件下

であっても入出港のいずれにおいても，開発したAIは航路補正ロジックと併用することで外乱影響やモデル化誤差をおおむね吸収し，計画された航路を高精度に追従可能であることを確認した（図6）．モデル誤差を含む低速操縦運動モデルを用いた学習結果であっても，将来の目標との偏差やアクチュエータの過去履歴を入力に用いること，航路補正ロジックを併用することで，離着岸操船の自動化が達成可能であることを実船実験で実証したことは大きな意味がある．また，本実験で確認されたアクチュエータへの指令信号のハンチングに関して，ジョイスティックによる代表パターンではなく，それぞれ独立に，「上げる」，「下げる」，「保持する」の3通りの行動パターンを付与することで，航路追従精度を維持しつつ，ハンチングの低減に大きな効果があることを確認した．

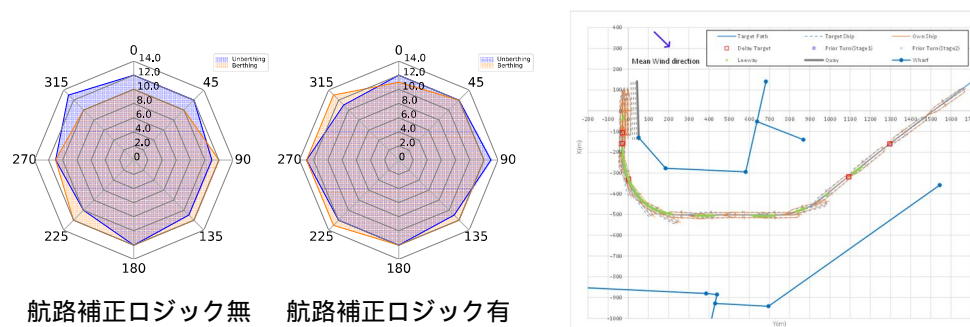


図6 航路補正ロジックの効果とAI操船による自動着岸実船実験の結果

#### <参考文献>

- 1) Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., Silver, D., and Wierstra, D., Continuous control with deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1509.02971, 2015.
- 2) 例えば, Yasukawa, H., Yoshimura, Y. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions. Journal of Marine Science and Technology, Vol.20, 37-52, 2015.
- 3) Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., and Riedmiller, M, Playing atari with deep reinforcement learning, NIPS Deep Learning Workshop, 2013.
- 4) Hakoyama, T., Kato, Y., Maeda, S., Yamaguchi, H. and Yagi, O., Navigation display apparatus for collision avoidance utilizing polygonal safety regions and predicted danger areas, United States Patent, Patent Number:US5515287A, Date of Patent: May 7, 1996.
- 5) Ziebart, B. D., Maas, A. L., Bagnell, J. A., and Dey, A. K., Maximum entropy inverse reinforcement learning, Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol.8, 1433-1438, 2008.
- 6) H. van Hasselt, A. Guez, and D. Silver, Deep Reinforcement Learning with Double Q-Learning, AAAI, Vol.30, No.1, 2016.
- 7) Mysore, S., Mabsout, B., Mancuso, R., and Saenko, K. Regularizing action policies for smooth control with reinforcement learning, 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Higaki Takefumi、Hashimoto Hirotada	4. 巻 -
2. 論文標題 Human-like Route Planning for Automatic Collision Avoidance using Generative Adversarial Imitation Learning	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Ocean Research	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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Seiya、Kawahara Jun、Aoki Takayuki、Sugihara Kenta、Takase Shinsuke、Moriguchi Shuji、Hashimoto Hirotada	4. 巻 17
2. 論文標題 Free-surface flow simulations with floating objects using lattice Boltzmann method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 2211143 ~ 2211143
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/19942060.2023.2211143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Higaki Takefumi、Hashimoto Hirotada、Yoshioka Hitoshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Investigation and Imitation of Human Captains' Maneuver Using Inverse Reinforcement Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers	6. 最初と最後の頁 137 ~ 148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2534/jjasnaoe.36.137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hashimoto Hirotada、Furusho Kazuki	4. 巻 266
2. 論文標題 Influence of sea areas and season in navigation on the ship vulnerability to the parametric rolling failure mode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 112714 ~ 112714
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.oceaneng.2022.112714	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 Hashimoto Hirotada, Makino Hidenari, Yoshioka Hitoshi, Matsuda Akihiko	4. 巻 251
2. 論文標題 Ship-stopping algorithm utilizing Vectwin rudder system for automatic collision prevention	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 111098 ~ 111098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2022.111098	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 Watanabe Seiya, Aoki Takayuki	4. 巻 264
2. 論文標題 Large-scale flow simulations using lattice Boltzmann method with AMR following free-surface on multiple GPUs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Physics Communications	6. 最初と最後の頁 107871 ~ 107871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpc.2021.107871	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 橋本博公、西村遥、西山尚材、樋口譲司	4. 巻 3
2. 論文標題 自動操船AIの開発と実船実験による検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ClassNK 技報	6. 最初と最後の頁 27 ~ 34
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Hirotada, Nishimura Haruka, Nishiyama Hisaki, Higuchi George	4. 巻 3
2. 論文標題 Development of AI-based Automatic Collision Avoidance System and Evaluation by Actual Ship Experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ClassNK Technical Journal	6. 最初と最後の頁 41 ~ 50
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 橋本博公	4. 巻 100
2. 論文標題 深層強化学習による避航操船の獲得と実証実験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会誌	6. 最初と最後の頁 30 ~ 34
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 島伸和	4. 巻 101
2. 論文標題 調査船による海底火山研究 - 鬼界海底カルデラプロジェクトを例として -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会誌	6. 最初と最後の頁 22-27
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 Watanabe Seiya, Aoki Takayuki	4. 巻 264
2. 論文標題 Large-scale flow simulations using lattice Boltzmann method with AMR following free-surface on multiple GPUs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Physics Communications	6. 最初と最後の頁 107871 ~ 107871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpc.2021.107871	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 Seama Nobukazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Kikai Submarine Caldera Project - Investigations on Mechanism of Super-eruption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 139 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.56.139	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19件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Takefumi Higaki, Hirotada Hashimoto, Hitoshi Yoshioka
2. 発表標題 Apprentice Route Planner for Automatic Collision Avoidance
3. 学会等名 4th International Conference on Smart & Green Technology for Shipping and Offshore Decommissioning (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野邊大貴、檜垣岳史、橋本博公
2. 発表標題 敵対的生成模倣学習を用いた着岸航路計画の策定
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和5年春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉岡舜、橋本博公、松田秋彦
2. 発表標題 海洋底探査を加速する自操船AIの開発－実用的な測線追従制御－
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和5年春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 檜垣岳史、橋本博公、吉岡舜
2. 発表標題 任意の避航航跡を模倣可能な航路プランナーの開発
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和5年春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉岡舜、橋本博公、牧野秀成
2. 発表標題 船舶の衝突危険度分布の算出方法
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和5年春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hitoshi Yoshioka, Hirotada Hashimoto
2. 発表標題 AI-based Collision Avoidance for Automatic Ship Navigation
3. 学会等名 The 18th International Ship Stability Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takefumi Higaki, Hirotada Hashimoto
2. 発表標題 Date-Driven Approaches for Safe Navigation
3. 学会等名 US-Japan Joint Workshop on Ship Hydrodynamics in Hiroshima-U (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hitoshi Yoshioka, Akihiko Matsuda, Hirotada Hashimoto
2. 発表標題 Development of Remote and Autonomous Navigation Systems
3. 学会等名 US-Japan Joint Workshop on Ship Hydrodynamics in Hiroshima-U (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 肥後佑平、阪野大貴、野邊大貴、橋本博公
2. 発表標題 自動離着岸操船システムの開発と実証
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和4年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉岡舜、橋本博公
2. 発表標題 自動運航船のための避航航路計画アルゴリズム
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和4年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 檜垣岳史、橋本博公
2. 発表標題 敵対的生成模倣学習による避航操船行動の再現
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和4年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 檜垣岳史、橋本博公、吉岡舜
2. 発表標題 自動避航操船のための最適航路計画の策定 - 逆強化学習による熟練船長の模倣 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和4年春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayuki Aoki
2. 発表標題 Enhanced-scale using AMR-based simulation for multiphase flows and fluid-structure interaction
3. 学会等名 HPC Asia Workshop 3: Multi-scale, Multi-physics and Coupled Problems on highly parallel systems (MMCP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shen Dawei、Aoki Takayuki、Watanabe Seiya、Moriguchi Shuji、Takase Shinsuke、Sakuraba Masaaki
2. 発表標題 A Large-scale Simulation of Driftwood Disaster by Using LBM with AMR
3. 学会等名 日本計算工学会 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Watanabe、Takayuki Aoki、Changhong Hu、Shintaro Matsushita、Tomohiro Takaki
2. 発表標題 A Domain Decomposition Method based on a Multi-phase-field Model to Reduce Inter-node Communication
3. 学会等名 Parallel CFD 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shen Dawei、Aoki Takayuki、Watanabe Seiya、Moriguchi Shuji、Takase Shinsuke、Sakuraba Masaaki
2. 発表標題 LBMとAMRを用いた実在の災害に対する大規模な流木シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本博公
2. 発表標題 深層強化学習を用いた船舶の自動避航に関する研究
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 情報技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木尊之
2. 発表標題 弱圧縮性計算手法による非圧縮性の混相流シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会 第34回数値流体力学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島仲和、清杉孝司、中岡礼奈、松野哲男、金子克哉、清水賢、鈴木桂子、岡本信行、羽入朋子、井和丸光、阿部俊輔、佐野守、木村純一、杉岡裕子、巽好幸、羽生毅、新谷毅、益田晴恵、亀尾桂、沖野郷子、榎正恵、石塚治
2. 発表標題 鬼界海底巨大カ ルデラ火山における二重カルデラ形成過程の解明 新青丸 KS-19-17 航海概要報告
3. 学会等名 海と地球のシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 評価装置、評価方法及び船	発明者 橋本博公、吉岡舜、 牧野秀成	権利者 公立大学法人大阪
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-212394	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	青木 尊之  (Aoki Takayuki)  (00184036)	東京工業大学・学術国際情報センター・教授    (12608)	
研究分担者	松田 秋彦  (Matsuda Akihiko)  (10344334)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(神 栖)・主幹研究員    (82708)	
研究分担者	島 伸和  (Seama Nobukazu)  (30270862)	神戸大学・理学研究科・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