

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04217

研究課題名(和文) 実海域航行性能の信頼性最適化理論とFSI解析を導入した船型SBDシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Ship-Hull Form SBD System by Introducing Reliability-based Design Optimization Theory for Optimal Real-Ocean Cruising Performance and FSI Analysis

研究代表者

田原 裕介 (Tahara, Yusuke)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10264805

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、従来研究で構築した船型最適化手法のプロトタイプの個々の要素技術を最新CFD技術の導入や確率的最適化理論、更に流体構造連成解析(FSI解析)手法の導入によって高度化し、実海域航行性能に関する多目的信頼性最適化設計に適用できるレベルへ高めるとともに、我国の造船設計に最適なCADインターフェースも考慮した高度SBD手法を構築し、造船設計の現場で即導入できる次世代型高度設計ツールを構築することである。3カ年におよぶ本研究の所期の目標は全て達成され、構築されたSBDシステムの有効性が十分確認できたと共に、学術的・実用的見地においても、国際的に高レベルな研究成果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The present project concerns with development and demonstration of Simulation-Based Design (SBD) framework for ship hull form design. Each basic component in a previously developed prototype is modified and extended, and reintegrated for a more capable SBD; where, real-ocean ship-cruising performance can be considered in the multi-objective reliability-based design optimization theory and fluid-structure interaction (FSI) analysis. In addition, the present framework is aimed to be a readily applicable, next-generation advanced design tool in the domestic shipyards by introducing tight interface with the most widely accepted CAD system in the design field. All tasks were successfully completed, and the realized SBD framework was shown very promising. Activities of the present work were reported in several international/domestic refereed journal and conference papers.

研究分野：工学

キーワード：実海域航行性能 信頼性最適化理論 CFD解析 FSI解析 船型SBD

1. 研究開始当初の背景

我国は世界の船舶建造のリーダーであり、新形式の船舶の開発についても同様な地位にあり、国際的な影響力は大きい。この優位性を維持し、今後さらに発展していくためには、次世代の革新的船型の開発、すなわちニューコンセプト船型の開発が極めて重要であるとされている。太平洋を現在の半分の時間で航行できる高速複胴船型や省エネルギー装置(ESD)装備船などの検討も進む中(Fig.1 参照)、2009年に国際海事機構(IMO)の海洋環境保護委員会(MEPC)が新造船のエネルギー効率設計指標(EEDI: Energy Efficiency Design Index)を採択したことは極めて重要であった。これは船舶の実海域性能を明確な数値で表現でき、元来高い技術力を有する我国造船業が新コンセプト高付加価値船型を開発していく強い追風となった。

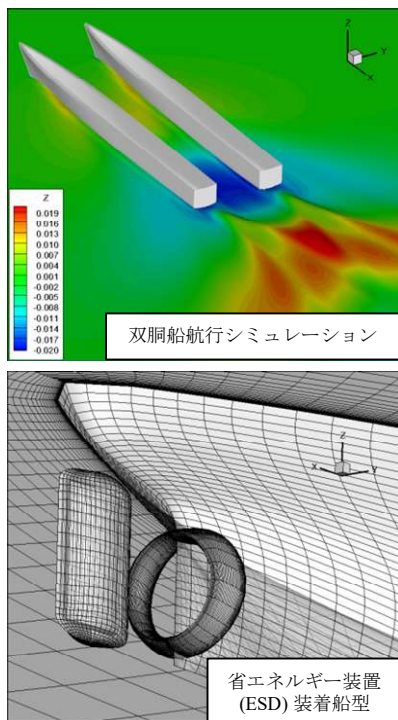


Fig.1 - Examples of new concept design: high-speed catamaran and installment of Energy Saving Device (ESD) for top and bottom, respectively.

一方、かような新指標を考慮した新コンセプト船型の設計においては、従来型のモデル試験のみに基づく設計方法の限界が指摘されていた。設計の最適化指標と制約条件が多様に変化する背景では、従来と同様な方法でモデルテスト主導型の性能データベースを構築することは極めて困難だからである。この課題の解決策として最も有望視されている新技術の一つが、**シミュレーション・ベースド・デザイン(SBD)システム**である。

米国およびヨーロッパ各国主体の産官学推進体制である NATO-AVT などの下、造船工学分野における SBD の開発と応用の機運は

西欧諸国において顕著に活発化している反面、残念ながら我国はやや遅れをとっている印象があった。研究代表者は SBD 手法の重要性に早くから着目し、そのプロトタイプ構築を目的として、米国海事研究局補助国際共同研究事業(Office of Naval Research: ONR, 2005~2014)や科研課題研究(H18 年度~H26 年度)を通じ、前者においては主にハイエンド大規模高効率計算(HPC)環境(NASA-HPC センターなど)で実行する最適化理論の構築を、後者においては特に国内船型デザイナーへの提供を目的とした簡易並列計算環境における SBD システムのプロトタイプ構築を研究し、成果の一部を実際に設計現場へ提供するに至った。その更なる発展形を目指すため、近年高度化が著しい IT 関連研究が提供する最新技術をいち早く導入し、既述の国際共同研究事業の成果も有効に取入れながら SBD 要素技術のレベル向上を図るとともに、数年後到達すべきレベルの SBD を準備して、既述した我国造船設計技術の優位性を維持・発展させる基礎を確立するべきであるという認識が、本研究課題を立案するに至った重要な研究背景となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来研究で構築したシミュレーション援用設計法(SBD)プロトタイプの個々の要素技術を高度化すると同時に、新たに流体構造連成解析(FSI 解析)手法を導入してシステム統合を行い、実測実海域航行性能のフィードバックも用いた信頼性ベース多目的ロバスト船型最適化設計に適用できるレベルへ高め、我国の造船設計に適合した CAD のインターフェースやクラウド計算アーキテクチャーを拡充することによって高度 SBD 手法を再構築し、我国の造船工学における世界的優位性を維持・発展させる基礎技術を確立することである。

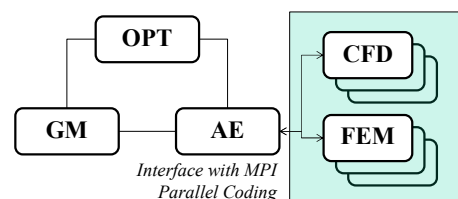


Fig.2 - Basic components of the present SBD system for optimal hull form design.

提案する SBD システムは Fig.2 に示す 3 つの主要モジュールの統合形として定義される。それらは多目的ロバスト最適化理論に基づく OPT (Optimizer) モジュール、CFD 手法を統括する AE (Asynchronous Evaluator) モジュール、そして CAD システムを統括する GM (Geometry Modeling) モジュールである。これらを我国独自で開発された高度 IT と GUI を用いて統合し、一般設計者でも初期設計段階で活用できる SBD システムを完成させた。

3. 研究の方法

本研究で採用したアプローチの骨子は、既述した述項目(E.1~E.7)に関する主要 3 モジュールの高度化とインターフェース構築、そしてイントラ・クラウド並列計算環境でのシステム統合である。基本方針としては、初年度に目標とすべき SBD の基礎要素技術の開発とシステム統合までを完了し(プロトタイプ完成: Phase 1), 第2年度では単目的最適化問題の定義と試計算の実施ならびに評価(Phase 2), そして最終年度の第3年度では多目的最適化問題の定義と試計算の実施ならびに評価(Phase 3)を行う。3年後を見据えた高度並列計算環境の構築は、旧資産を有効活用しながら随時増強していく形で実施した。

4. 研究成果

まず初年度(平成27年度)においては、Phase 1「モジュール開発・システム統合、システム初期評価フェーズ」を実施した。具体的には、並列計算環境の増強、TDGA (Thermodynamic Genetic Algorithm)・RBRD-MOEA (Reliability-based Robust Design Multi-Objective Evolutionary Algorithm)・Intra-Cloud-AE モデル(Fig.3 参照)の定義および並列計算コーディング、フィードバック実海域航行性能情報データベースインターフェースおよび Variable-Fidelity Metamodel の定義並びに並列計算コーディング、CFD 手法の整備/検証、FEM 手法の整備/検証、モジュール間インターフェースの構築とシステム統合-SBD システム・プロトタイプの構築、テスト船型/ESD の選定ならびに CAD パラメトリック表現化、FFD (Free Form Deformation)形状変更法の検討、最適化試行の実用的問題設定、そして SBD システム試行と初期評価を行い、ほぼ所期の予定通り全てのタスクを完了した。なお、テスト船型には、研究代表者・分担者が属する研究機関(海技研)の EEDI プロジェクトで開発された Bulk Carrier および Chemical Tanker 船型を選定した。これらの船型は国際的認知度も高く、また計算結果を検証するための実験データも豊富である。

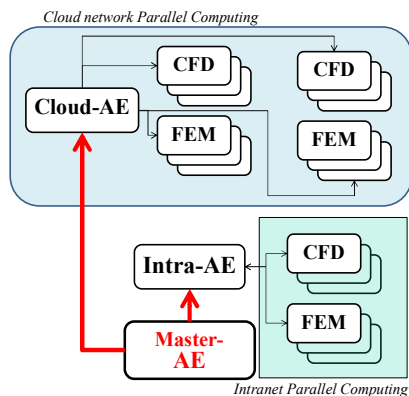


Fig.3 – Intra-Cloud AE model.

加えて本年度では、主に北太平洋航路を想定したフィードバック実海域航行性能情報の活用に関する要素技術の開発も行った。これに関し、今回導入を試みたフィンランドの船用 CAD/運航支援システム供給会社である NAPA 社の CAD システムには船上設置型実測システム(Onboard NAPA - Class NK NAPA Green)との連携機能があり、このシステムのテストデータの活用と、従来法で研究した Variable-Physics (VP) Meta model を応用した統計解析を行った。比較的容易なモデルスケールにおける CFD シミュレーション結果を用い、実スケール実海域における航行性能を高精度に予測する方法を開発した。

続く第2年度(平成28年度)では Phase 2「単一目的関数最適化問題・SBD システム評価フェーズ」を実施した。具体的には、前年度開発したイントラ SBD プロトタイプを拡張し、所期の目的である ESD 設計を対象とした FSI 計算の実施とそれに基づく信頼性評価関数の定義、また既述した AE モデルの拡張によるイントラ/クラウド SBD プロトタイプの完成を目指した。本年度の最適化計算においては単一目的関数最小化問題に焦点を当て、制約条件や目的関数の設定に関しては、造船現場の設計者の意見も取り入れながら実用性を重視して行った。次年度に実施する多目的最適化問題への拡張準備も重要なタスクであったが、部分的にシステム全体の見直しとコーディングの最適化も行いつつ、本年度タスク—Phase 2 を完了することができた。

一方、FSI 計算に用いる実海域情報については既述した Onboard NAPA を用いた実測データのより直接的かつ大規模な利用が可能となり、本研究への協力を承諾した造船企業からの同データおよび当該船型データの提供を以って、本研究の成果を学術的および実用性の両方の観点でも極めて充実したものとできる目途がついた。更に海技研では地球全球レベルでの海象情報を保有しており、そのデータも相互活用することによって、次年度以降の更なる研究成果の展開を準備した。

そして最終年度(平成29年度—第3年度)においては、3カ年研究プロジェクトの総括を完了することも目的として、Phase 3「多目的関数最適化問題・SBD システム最終評価フェーズ」を実施した。具体的には、前年度までに開発したイントラ/クラウド SBD プロトタイプの更なる拡張、FSI 計算の実施とそれに基づく信頼性評価関数の定義、そして多目的関数最小化問題に焦点を当てた最適化計算試行を実施し、本年度 Phase 3 の全てのタスクを完了することができた。FSI 計算および波浪中推進性能の評価に用いる実海域情報については、前年度より利用可能となった地球一周航路における実測データを用い、更に海技研で保有する地球全球レベルでの海象情報も活用した。そのような規模の実測データを用い、本研究と同様な目的を有する研究は国際的にもこれまでに発表されていない。最適化

試計算の結果は極めて有望で、当該年度および次年度にかけて複数の国内・国外の学会で発表する機会を得ることができ、また国際学術論文誌への掲載も達成した。

本研究の重要な成果の一つは、運航情報と設計の融合の達成を目的とした船型最適化システムを構築したことである(成果論文 24)。手法の骨子は Global Design Concept Optimization と Local Geometry Optimization の 2 段階手法であり、前者では船型主要目を含む船型コンセプトの最適化を、後者では船首・船尾形状といった船型の部分的な形状の最適化を行う(Fig.4 参照)。運航情報の考慮および波浪中抵抗増加や構造解析に基づく疲労被害度評価等は前者で行い、粘性造波現象等のより詳細な CFD 計算等が必要な最適化は後者で実施する。前者においては船型性能データベース(Fig.5)を用い、最適化計算を高効率に行うこともこのシステムの特徴である。結果の評価は学術的観点だけでなく船型設計者の実用的観点でも行い、この手法が極めて有望であることを確認することができた。

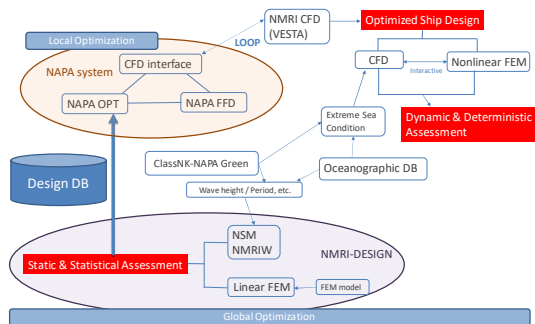


Fig.4 - System components of the present global concept and local geometry optimization.

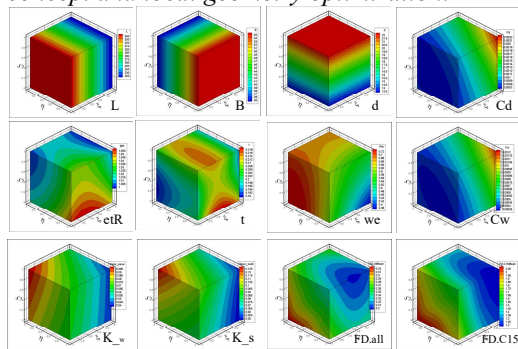


Fig.5 - Function model for ship propulsive performance and fatigue damage factor in the normalized three-dimensional design space. The function modeling is based on CFD and fatigue damage analysis for variation designs generated by using 8 design hull-form blending operation. Non-dimensional coordinates ξ , η , and ζ correspond to variation of baseline design in L , B , and d , respectively.

本研究の成果は更に拡充しつつあり、例えば完成したシステムの一般造船企業界への技術移譲だけでなく、更なる国際学術論文誌等への投稿も準備している。かような研究成果

に加え、より高度な船体動的シミュレーションの達成と複雑現象の解明等の想定以上の研究成果もあり、本研究 3 カ年の全ての目標は、所期の予想以上の成果を以て全て達成できたものとする。

既述のとおり、本課題では国際的にも最もレベルの高い成果を目指してきた。Fig.6 は、研究開始直前の国内外の CFD 援用形状最適化の研究レベルの総括、ならびに研究代表者のこれまでの成果と本研究課題の目標を示すものであり、右上に行くほど総合的レベルが高くなる。研究開始前までの研究において、高度化(A)→(B)→(C)→(D)が達成され、これは世界的にも先行的な研究成果として国際学術論文誌で発表されている。当初の現状は(D) PRESENT STATUS であり、本研究課題の最終的目標は FUTURE GOAL と示されたレベルへ到達することであった。現時点において、この目標は十分に達成できたと考えている。

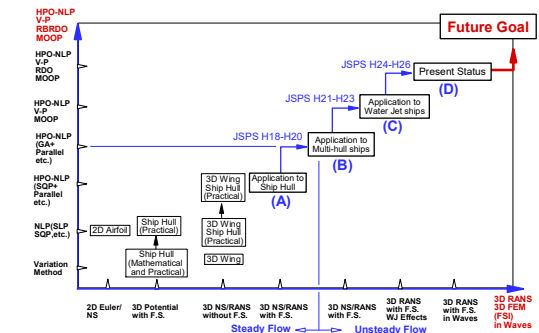


Fig.6 - Status of advancement of the present work.

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)

[雑誌論文] (計 26 件)

1. Tahara, Y. (2015) CFD-Based Hull Form / Appendage Optimization by Using Deterministic and Stochastic Optimization Theory, 12th International Marine Design Conference, (査読有), Tokyo, Japan, 11-14 May 2015, Vol.3, pp. 72-86.
2. Hashimoto, H., Yoneda, S., Tahara, Y., Kobayashi, E. (2015) Prediction of Wave-induced Surge force Using Overset Grid RaNS Solver, 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB 2015), (査読有), Glasgow, UK, 14 June 2015, Vol.2, PP.623-632.
3. Ichinose, Y., Tahara, Y., Kasahara, Y. (2015) Numerical Study on Flow Filed around the Aft Part of Hull Form Series in a Steady Flow, Proc. The 18th Numerical Towing Tank Symposium (NuTTs' 15), (査読無), Cortona, Italy, 28-30th September 2015, (CDROM).
4. Yoneda, S., Kobayashi, E., Hashimoto, H., Tahara, Y. (2015) Basic Research of the

- wharf effect during Tsunami Attack, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.21, pp.185-189.
5. Ichinose, Y., Tahara, Y., Kasahara, Y. (2015) A Detailed Numerical Study on Influence of After-Body Frame-Lines on Near-Wall and Near-Wake Flow Fields, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.21, pp.559-564.
 6. Hashimoto, H., Yoneda, S., Tahara, Y., Kobayashi, E. (2015) CFD-based study on the prediction of wave-induced surge force, Ocean Engineering, Elsevier, (査読有), Vol.120, pp.220-229.
 7. Tahara, Y., Ichinose, Y., Kaneko, A., Kasahara, Y. (2016) Application of Simulation Based Design for ESD Installed Commercial Ships, 31st Symposium on Naval Hydrodynamics, (査読有), Monterey, California, USA, 11-16 September, (CDROM).
 8. Ichinose, Y., Kume, K., Tahara, Y. (2016) A Development and Analysis of the New Energy Saving Device "USTD," Proc. The 19th Numerical Towing Tank Symposium (NuTTs' 16), (査読無), St. Pierre d'Oleron, France, 3-4 October, (CDROM).
 9. Takami, T., Fujimoto, S., Tahara, Y. (2016) A study on measurement of high-lift composite sail by using imagery analysis method and investigation of aero-elasticity effects, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.23, pp.457-459.
 10. 田原裕介, 金子杏実, 笠原良和 (2017) 499GT型ケミカルタンカーの船型バリエーションの開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.24, pp.151-156.
 11. 一ノ瀬康雄, 田原裕介, 久米健一 (2017) 749GT型一般貨物船の船型バリエーションの開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.24, pp.163-168.
 12. 大村智之, 橋本博公, 米田翔太, 田原裕介, F. Stern (2017) 重合格子 CFD を用いた横揺れ減衰運動に及ぼす船体付加物の影響評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.24, pp.295-299.
 13. 米田翔太, 橋本博公, 梅田直哉, 松田秋彦, 田原裕介, 寺田大介, F. Stern (2017) 斜め追波中の船舶に働く波強制力の推定精度向上に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.24, pp.305-309.
 14. 高見朋希, 一ノ瀬康雄, 金子杏実, 岡正義, 田原裕介, 新井大介, 益井崇好, 水谷直樹 (2017) 実運航海象を考慮した構造・推進・波浪中性能一貫評価と船型最適化への応用について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.25, pp.621-625.
 15. 一ノ瀬康雄, 藤本修平, 田原裕介, 松尾宏平 (2017) 船首バルブ部の推進性能と生産性との一貫評価システムの試設計とその有効性評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.25, pp.633-635.
 16. 一ノ瀬康雄, 田原裕介 (2017) 伴流の任意制御を可能とする船型自動生成手法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.25, pp.141-142.
 17. 田原裕介, 新郷将司, 金井亮浩 (2017) 重合格子技術と非線形最適化理論を導入したCFD援用最適省エネルギーデバイスの設計法, 日本船舶海洋工学会論文集, (査読有), Vol.26, pp.1-16.
 18. 一ノ瀬康雄, 田原裕介, 久米健一 (2017) 総トン数に制限を有する内航船の船型データベースの構築とその評価ー749総トン型一般貨物船を対象としたプロトタイプの開発ー, 日本船舶海洋工学会論文集, (査読有), Vol.26, pp.51-62.
 19. Tahara, Y., Ichinose, Y., Kaneko, A., Kasahara, Y. (2018) Variable Decomposition Approach Applied to Multi-Objective Optimization for Minimum Powering of Commercial Ships, J. Marine Science and Technology, (査読有), (掲載決定・印刷中).
 20. 一ノ瀬康雄, 田原裕介, 藤沢純一 (2018) 船尾伴流場の設計を可能とする船型自動生成手法の開発ー水槽試験による有効性の検証ー, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, (査読無), Vol.26, pp.165-170.
 21. Hashimoto, H., Yoneda, S., Omura, T., Umeda, N., Matsuda, A., Stern, F., Tahara, Y. (2018) CFD Prediction of Wave-induced Force Acting on a Ship Running in Irregular Stern Quartering Seas, Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.26, pp.43-48.
 22. Omura, T., Hashimoto, H., Matsuda, A., Yoneda, S., Takahashi, R., Stern, F., Tahara, Y. (2018) Model Experiment of Roll Decay Aimed for the Validation of CFD, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.26, pp.497-500.
 23. Ichinose, Y., Tahara, Y. (2018) Development of an Automatic Hull Form Generation Method to Design Specific Wake Field, Proc. 13th International Marine Design Conference, 10-14 June 2018 Helsinki, Finland, (査読有), (掲載決定・印刷中).
 24. Tahara, Y., Ichinose, Y., Takami, T., Kaneko, A. (2018) Simulation Based Global Concept and Local Geometry Optimization for Ship Design Considering Propulsive Performance in Actual Seas and Fatigue Damage Evaluation by Using Global Oceanographic Model and Onboard Monitored Data, Proc. 32nd Symposium on Naval Hydrodynamics, (査読有), 5-10 August 2018, Hamburg,

- Germany, (掲載決定・印刷中).
25. Takami, T., Oka, M., Ichinose, Y., Kaneko, A., Tahara, Y., Arai, D., Masui, T., Mizutani, N. (2018) Fatigue damage assessment based on actual sea state estimated from on-board monitored data, Design for Safety, 16-21 September 2018, Kobe, Japan, (査読有), (掲載決定・印刷中).
 26. Hashimoto, H., Yoneda, S., Omura, T., Umeda, N., Matsuda, A., Stern, F., Tahara, Y. (2018) CFD prediction of wave-induced forces on ships running in irregular stern quartering seas, Proc. The 13th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB 2018), Kobe, Japan, 16-21 September 2018, (査読有), (掲載決定・印刷中).

[学会発表] (計 6 件)

1. 一ノ瀬康雄 (2015) 船型変更による流場と推進性能の変化について,2015年6月10日～11日,日本船舶海洋工学会 第1回推進・運動性能研究会, 大阪市浪速区敷津東・大阪府立大学I-siteなんば.
2. 田原裕介 (2016), 流体性能最適化, 日本船舶海洋工学会・東部支部ワークショップ「船舶海洋工学における最適化」, 2016年11月18日, 東京都江東区越中島・東京海洋大学.
3. Tahara Y. (2016) Simulation and Marine Engineering Design, Southeast Asia International Joint-Research and Training Program 2016 (SEAIP 2016), 5-9 December 2016, Tainan, Taiwan.
4. 田原裕介 (2017) 運航情報と設計の融合を目指したNAPA/海技研船型最適化システム開発の試みについて,NAPA User Seminar Japan 2017, 2017年10月6日,神戸市中央区三宮町・スペースアルファ三宮.
5. 田原裕介 (2017) 船型最適化問題における「変数分離展開法(仮)」の適用について,日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会,2017年10月19日,東広島市鏡山・広島大学.
6. 田原裕介 (2018) 運航情報と設計の融合を目指したNAPA/海技研船型最適化システム開発の試みについて(第2報),日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会,2018年2月27日,昭島市つつじが丘・三井造船昭島研究所.

[産業財産権]

○取得状況 (計 4 件)

名称: 船体・付加物格子間補間情報計算プログラム (OS_GT_GEN Ver.160301.1)
 発明者: 田原裕介
 権利者: 田原裕介
 種類: 意匠
 番号: P第10595号-1

取得年月日: 2016年3月30日

国内外の別: 国内

名称: 船体格子ブレンディング型生成プログラム (GRID_BLENDER Ver.170301.1)

発明者: 田原裕介

権利者: 田原裕介

種類: 意匠

番号: P第10749号-1

取得年月日: 2017年7月28日

国内外の別: 国内

名称: 船体・付加物格子間補間情報計算プログラム (OS_GT_GEN Ver.170301.1)

発明者: 田原裕介

権利者: 田原裕介

種類: 意匠

番号: P第10750号-1

取得年月日: 2017年7月28日

国内外の別: 国内

名称: 船体・付加物格子間補間情報計算プログラム (OS_GT_GEN Ver.180301.1)

発明者: 田原裕介

権利者: 田原裕介

種類: 意匠

番号: P第10833号-1

取得年月日: 2018年3月29日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原裕介 (Tahara, Yusuke)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

研究者番号: 10264805

(2) 研究分担者

笠原良和 (Kasahara, Yoshikazu)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

研究者番号: 70745314

一ノ瀬康雄 (Ichinose, Yasuo)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

研究者番号: 00550021

高見朋希 (Takami, Tomoki)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

研究者番号: 50586683

金子杏実 (Kaneko, Azumi)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

研究者番号: 80777318