

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360363

研究課題名(和文) 実海域航行性能に関する多目的ロバスト船型最適化手法を導入したSBDシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Ship-Hull Form SBD System by Introducing Multi-Objective Robust Design Optimization Method for Optimal Real-Ocean Cruising Performance

研究代表者

田原 裕介 (Tahara, Yusuke)

独立行政法人海上技術安全研究所・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) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、これまでの研究で構築した船型最適化手法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の導入によって更に高度化し、実海域航行性能に関する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るとともに、我国の造船設計に最も適合したCADのインターフェースも考慮した高度SBD手法を構築し、我国の設計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と考えている。

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 robust design optimization theory based on results from state-of-the-art unsteady potential-based and RANS-based CFD methods. In addition, the present framework is aimed to be 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：実海域性能 船型SBDシステム ロバスト最適化 計算流体力学 非線形多目的最適化 高効率並列計算 CAD援用形状変形法 RANS方程式法

## 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重要であるとされている。従来型船型だけでなく、新造船のエネルギー効率設計指標(EEDI: Energy Efficiency Design Index)を考慮した新船型開発等は極めて有望である。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も指摘されている。設計の最適化指標と制約条件が多様に変化する背景のもと、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現在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。

このような SBD の概念は造船工学分野においては近年注目され始めたというのが実状であり、その開発機運は西欧諸国において極めて活発化している半面、残念ながら我国はやや遅れをとっている印象が否めない。研究代表者は SBD 手法の重要性に早くから着目し、米国海事研究局(ONR)補助国際共同研究事業等を通じてそのプロトタイプ構築を目的とした研究を行ってきた。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、並列進行する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到った重要な背景となっている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ONR との共同研究や従来の科研課題研究で構築した CFD 援用船型最適化手法の個々の要素技術を、実海域航行性能に関する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るとともに、従来研究で構築した SBD プロトタイプのシステム再統合による高度化を行い、我国の造船設計に最も適合した CAD のインターフェース導入も行って高度 SBD 手法を構築し、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。

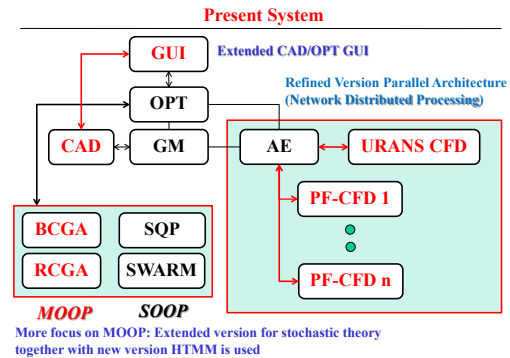


Fig.1 – SBD Basic components

提案する SBD システムは Fig.1 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る。

## 3. 研究の方法

本研究で採用したアプローチの骨子は、個々に高度化した既述 3 モジュールの準備と、それらを統合する並列計算環境ベースのインターフェースの確立である。基本方針としては、初年度に目標とすべき SBD システムの基礎的なシステム統合(プロトタイプ完成: Phase 1)までを完了し、第 2 年度では単目的最適化問題の定義とデモンストレーション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デモンストレーションの実施ならびに評価(Phase 3)を行うこととした。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つつ随時増強する形で実施した。

## 4. 研究成果

まず初年度(平成 24 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、つぎのタスクを計画し完了した: (1)並列計算環境の増強;(2)多目的 HTM モデル[発表論文 13 参照]・非勾配法型・多目的ロバスト最適化理論の定義;(3)ネットワーク分散型/クラウド計算対応 AE モ

デルの定義；(4)多目的 HTM モデル・非勾配法型・多目的ロバスト最適化理論ならびにネットワーク分散型/クラウド計算対応 AE モデルを用いた並列計算コーディング；(5)テスト船型の選定ならびに CAD を用いたパラメトリック表現化；(6)CFD 手法の整備/検証；(7)CAD 手法の整備/検証；(8)モジュール間インターフェースの構築；(9)システム統合—SBD システム・プロトタイプ構築と PI 所属研究機関で提案された実験式を用いたシステム試行と初期評価，以上9項目であった。テスト船型には国際的認知度および実験データが豊富なデルフトカタマラン船型を選定し (Fig.2 参照)，その他のタスクも予定どおり完了して Phase 1 を終了することができた。

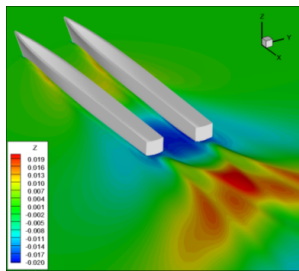


Fig.2 - Delft Catamaran ship model and computed wave filed for  $Fr=0.5$  and  $Re \sim 8 \times 10^6$ .

続いて第2年度(平成25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，つぎのタスクを計画し完了した：(1) 多重コア・コンパクト PC クラスターの増強；(2) 単一目的関数最小化問題の定式化；(3) 単一目的関数最小化問題の実行ならびに SBD システム評価・改良，以上3項目であった。具体的には，次年度で計画していた多目的最適化の目的関数，例えば平水中抵抗や波浪中抵抗増加といった実海域航行性能に基づく確率的な目的関数を個別に設定し，主に本研究で開発するロバスト最適化手法の性能評価を主眼とした単目的最適化問題を試行して Phase 2 を完了した。

そして最終年度(平成26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，次のタスクを計画し完了した：(1) コンパクト多重コア PC クラスター並列計算環境の増強；(2) 多目的関数最小化問題の定式化；(3) 多目的関数最小化問題の実行ならびに SBD システム評価・改良，以上3項目であった。これらの目標は十分に達成することができ，最終的には，実験によるモデルテストも行って(平成27年6月現在も進行中である)本研究で開発した手法の妥当性を確認すると

ともに，国際会議や学術論文誌において発表可能なレベルの研究成果を得ていると考えている (下図は結果の一例)。

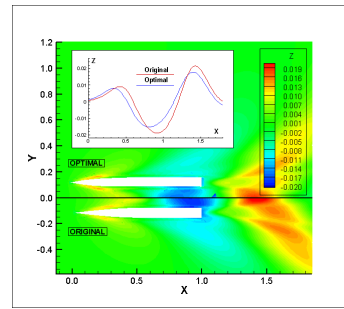


Fig.3 - Comparison of wave field (URANS-CFD results). Delft Catamaran optimization test case with CFD WJ model. See [17,21] for more details.

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た。Fig.4 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)が達成されており，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た。当時の現状は(C) 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。

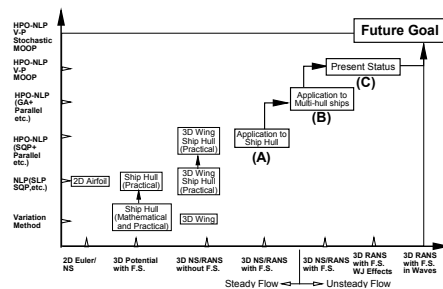


Fig.4 – Status of advancement of the present work.

## 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 22 件)

1. Kimura, Y., Kobayashi, E., Tahara, Y., Koshimura, S. (2012) A basic Study on Estimation of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull under Harbour Manoeuvre by

- CFD, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.14, pp. 71-72.
2. Tahara, Y., Kandasamy, M., Peri, D., Campana, E., Stern, F. (2012) CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships, 29th Symposium on Naval Hydrodynamics, Gothenburg, (査読有), Sweden, 26-31 August, (CDROM).
  3. Peri, D., Kandasamy, M., Tahara, Y., Wilson, W., Miozzi, M., Campana, EF., Stern, F. (2012) Simulation Based Design with Variable Physics Modeling and Experimental Verification of a Water-Jet propelled Catamaran, 29th Symposium on Naval Hydrodynamics, (査読有), Gothenburg, Sweden, 26-31 August, (CDROM).
  4. He, W., Diez, M., Peri, D., Campana, E., Tahara, Y., Stern, F. (2012) Uncertainty Quantification of Delft Catamaran Added Resistance and Motions for Variable Regular and Irregular Head Waves and Geometry, 29th Symposium on Naval Hydrodynamics, (査読有), Gothenburg, Sweden, 26-31 August, (CDROM).
  5. Umezaki, T., Kodama, Y., Tahara, Y., Ohashi, K., Kobayashi, H., Hirata, N. (2012) Grid dependence of an overset grid method for flows around a ship with a rudder, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.15, pp. 235-237.
  6. Tahara, Y. (2012) CFD-Based Multi-Objective Robust Design Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship, 日本機械学会 第10回最適化シンポジウム講演論文集, (査読無),神戸, 6-7 December, (CDROM).
  7. Umezaki, T., Kodama, Y., Tahara, Y., Ohashi, K., Kobayashi, H., Hirata, N. (2012) Numerical simulation of a flow around a ship with a rudder using overset grid method, Proc. 26rd CFD Symposium, (査読無), The Japan Society of Fluid Mechanics, Tokyo, 18 - 20 December, (CDROM).
  8. Kandasamy, M., Peri, D., Tahara, Y., Wilson, W., Miozzi, M., Georgiev, S., Milanov, E., Campana, EF., Stern, F. (2013) Simulation based design optimization of waterjet propelled Delft catamaran, International Shipbuilding Progress, (査読有), Vol.60, pp.277-308.
  9. Tahara, Y., Kanai, A., Shingo, S. (2013) CFD Based Optimal Design Method for Energy Saving Devices by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.16, pp. 385-388.
  10. Tahara, Y., Shingo, S., Kanai, A. (2013) CFD Based Optimal Design Method for Energy Saving Devices by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory- With Main Focus on Evaluation of Optimization Results -, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.17, pp.353-356.
  11. Kanai, A., Tahara, Y. (2013) Development of hull shape design procedure by automatic shape deformation and discretized SQP optimization method, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.17, pp.349.352.
  12. Takami, T., Takimoto, T., Tanaka, Y., Tahara, Y., Kawakita, C., Takeda, S. (2013) Development of a fluid-structure coupled analysis method about the sailing system, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.17, pp.57-60.
  13. Tahara, Y., Kobayashi, H. (2013) CFD-Based Multiobjective Robust Design Optimization of Delft Catamaran, Proc. 12th International Conference on Fast Sea Transportation, Amsterdam, (査読有), Netherlands, 2-5 December, (CDROM).
  14. Tahara, Y. (2013) CFD Based Optimal Design Method by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory - Implementation of Deterministic Optimization and Robust Design Optimization Schemes -, Proc. 27th CFD Symposium, The Japan Society of Fluid Mechanics, (査読無), Nagoya, 17 - 19 December, (CDROM).
  15. Tahara, Y., Shingo, S., Kanai, A. (2014)

- Initial evaluation of CFD based maneuverability prediction method by using overset grid technique, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.18, pp. 237-238.
16. Takami, T., Fujimoto, S., Tahara, Y., Takimoto, T. (2014) Development of a fluid-structure coupled analysis method about the sailing system - Part 2 -, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.18, pp. 601-602.
  17. Tahara, Y., Diez, M., Volpi, S., Chen, X., Campana, E., Stern, F. (2014) CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship, 30th Symposium on Naval Hydrodynamics, (査読有), Hobart, Tasmania, Australia, 2-7 November, (CDROM).
  18. Tahara, Y. (2014) CFD-Based Multiobjective Robust Design Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship - Final Stage Optimization -, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.19, pp.355-358.
  19. Yoneda, S., Kobayashi, E., Tahara, Y., Hashimoto, H. (2014) A Fundamental study of Ship Behavior under Tsunami Attack by Using Overset Grid System RaNS Equation Method, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, (査読無), Vol.19, pp.557-559.
  20. Tahara, Y. (2014) Simulation Based Design Method for High Speed Catamaran Design by Using Overset Grid CFD and Nonlinear Stochastic Optimization Theory, Proc. 28th CFD Symposium, The Japan Society of Fluid Mechanics, (査読無), Tokyo, 9 - 11 December 2014, (CDROM).
  21. 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.
  22. 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, (CDROM).
- [学会発表] (計 22 件)
1. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships, 29th Symposium on Naval Hydrodynamics, 30 August 2012, Gothenburg, Sweden.
  2. Tahara, Y., CFD-Based Multi-Objective Robust Design Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship, 日本機械学会・第10回最適化シンポジウム, 2012年12月7日, 神戸.
  3. Tahara, Y., Stochastic Variable Physics SBD for Ship Design, ONR NICOP Optimization and Waterjet Ship Project Meeting, 30 October 2012, Kobe, Japan.
  4. Tahara, Y., Stochastic Variable Physics SBD for Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 25 March 2013, Italian Ship Model Basin (INSEAN-CNR), Rome, Italy.
  5. Tahara, Y., CFD Based Optimal Design Method for Energy Saving Devices by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory, Annual Spring Meeting, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 28 May 2013, Kobe, Japan.
  6. 田原裕介, 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設計法, 平成25年度海上技術安全 研究所研究発表会, 2013年06月25日～2013年06月26日, 東京都三鷹市・海上技術安全研究所.
  7. Tahara, Y., CFD Based Optimal Design Method for Energy Saving Devices by using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory, 日本船舶海洋工学会・推進性能委員会, 2013年06月28日, 茨城県神栖市・水産工学研究所.
  8. Tahara, Y., CFD Based Optimal Design Method for Energy Saving Devices by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory - With Main Focus on Evaluation of Optimization Results -, Annual Autumn Meeting, The Japan Society of

- Naval Architects and Ocean Engineers, 22 November 2013, Osaka, Japan.
9. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Robust Design Optimization of Delft Catamaran, 12th International Conference on Fast Sea Transportation, 4 December 2013, Amsterdam, Netherlands.
  10. Tahara, Y., CFD Based Optimal Design Method by Using Overset Grid Technique and Nonlinear Optimization Theory - Implementation of Deterministic Optimization and Robust Design Optimization Schemes -, 27th CFD Symposium, The Japan Society of Fluid Mechanics, 19 December 2013, Nagoya, Japan.
  11. 田原裕介, デルフトカタマラン船型のCFD援用多目的ロバストデザイン最適化, 日本船舶海洋工学会・推進性能委員会, 2014年01月28日, 東京都江東区越中島・東京海洋大学.
  12. 田原裕介, 非定常RaNS法による大規模船体運動及び転覆シミュレーション, 海事防災研究会(招待講演), 2014年02月18日, 兵庫県神戸市・神戸大学.
  13. Tahara, Y., Initial evaluation of CFD based maneuverability prediction method by using overset grid technique, Annual Spring Meeting, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 26 May 2014, Sendai, Japan.
  14. Tahara, Y., Stochastic Variable Physics SBD for Ship Design, ONR NICOP Optimization, Waterjet Ship, and Capsizing Project Meeting, 28 March 2014, National Maritime Research Institute (NMRI), Tokyo, Japan.
  15. 田原裕介, 実験値との比較等による重合格子法GTV.1の精度確認について, 日本船舶海洋工学会 推進性能委員会, 2014年06月06日, 三重県伊勢市・伊勢市観光文化会館.
  16. 田原裕介, 実海域航行性能に関する多目的ロバスト船型最適化手法を導入したSBDシステムの開発, 平成26年度 海上技術安全研究所研究発表会, 2014年06月24日, 東京都三鷹市・海上技術安全研究所.
  17. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship, 日本船舶海洋工学会・推進性能委員会, 2014年10月09日, 広島県呉市・呉市福祉会館.
  18. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Stochastic Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship, 30th Symposium on Naval Hydrodynamics, 3 November 2014, Hobart, Tasmania, Australia.
  19. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Robust Design Optimization of a Waterjet Propelled High Speed Ship - Final Stage Optimization -, Annual Autumn Meeting, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 21 November 2014, Nagasaki, Japan.
  20. Tahara, Y., Simulation Based Design Method for High Speed Catamaran Design by Using Overset Grid CFD and Nonlinear Stochastic Optimization Theory, 28th CFD Symposium, The Japan Society of Fluid Mechanics, 11 December 2014, Tokyo, Japan.
  21. 田原裕介, 構造格子/重合格子法における局所高解像化手法について, 日本船舶海洋工学会・推進性能委員会, 2015年01月22日, 神奈川県横須賀市・横須賀市立勤労福祉会館.
  22. Tahara, Y., CFD-Based Hull Form / Appendage Optimization by Using Deterministic and Stochastic Optimization Theory, 12th International Marine Design Conference, 13 May 2015, Tokyo, Japan.
- [その他]  
ホームページ等  
[http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid\\_performance\\_evaluation/cfd\\_rd/index.html](http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid_performance_evaluation/cfd_rd/index.html)
- ## 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技術安全研究所・CFD研究グループ・上席研究員  
研究者番号: 10264805
- ### (2) 研究分担者
- 小林 寛 (Kobayashi, Hiroshi)  
国立研究開発法人海上技術安全研究所・CFD研究グループ・主任研究員  
研究者番号: 20361503