

平成 24 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：平成 21 年度 ~ 平成 23 年度
 課題番号：21360436
 研究課題名 (和文) 高速ウォータージェット推進船型の最適設計を目的とした SBD システムの開発
 研究課題名 (英文) Development of SBD system for design of high-speed water jet propelled ships
 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・CFD 研究グループ・上席研究員
 研究者番号：10264805

研究成果の概要 (和文)：

本研究の目的は、より高度化された CFD 援用船型最適化手法や、わが国の造船設計に適合した CAD インターフェースを統合することによって、次世代型革新的船型の一つとされる高速ウォータージェット推進船型の最適設計を目的としたシミュレーション・ベースド・デザイン (SBD) 手法を完成させることである。3 年におよぶ本研究の所期の目標は全て達成され、学術的・実用的見地において、国際的にも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)：

Purpose of this project is to develop a Simulation-Based Design (SBD) framework for design of waterjet propelled high-speed ships. In the framework, an advanced-level CFD-based optimization method and the most widely accepted Computer Aided Design system in the domestic shipyards are integrated. All tasks were successfully completed, and the realized SBD framework was shown very promising. Activity of the present work along with the results was reported in several international journals and conferences.

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2010 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：

- | | | |
|-----------------|---------------|-----------------|
| (1) 高速船型 | (2) SBD システム | (3) ウォータージェット推進 |
| (4) 計算流体力学 | (5) 非線形最適化 | (6) 高効率並列計算 |
| (7) CAD 援用形状変形法 | (8) RANS 方程式法 | |

1. 研究開始当初の背景

島国である日本は物資輸送に古くから船を利用しており、航空機が発達した現在でもその重要性は変わらない。例えば日本の国際貿易に占める船舶輸送の割合は99%以上(重量ベース)となっている。また建造量は減少したとはいえ依然として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リーダー的な地位にあり、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。例えば、太平洋を現在の半分の時間で航行できる高速ウォータージェット推進型船型も有望視されている。

一方このようなニュー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方法の限界が指摘されている。時間的および経済的制約がかつてと大きく異なる現状においては、従来と同様なペースでモデルテスト主導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。加えて、今回対象とするウォータージェット推進船型に関しては、その流体现象自体が複雑であり、実験における正確なウォータージェット推進システムの推進効率の推定が困難であり、また低速域における効率の急激な低下は現在でも未解決の問題とされている。それらの課題の解決策として現在最も有望視されているものが、計算流体力学(Computational Fluid Dynamics-CFD)援用型 **シミュレーション・ベースド・デザイン(SBD)システム**である。造船工学分野における SBD システムの重要性は主要造船立国各国の共通認識であり、その更なる研究推進を目的として、第25回国際水槽試験委員会(International Towing Tank Conference- ITTC)において、計算流体力学専門委員会(Computational Fluid Dynamics Specialist Committee-CFD SC)が新規発足するに至った。

このような SBD の概念は、航空機設計や自動車設計においては比較的以前より提唱されてきたが、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現状であり、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、残念ながらわが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、そのプロトタイプ構築を目的として米国海事研究局 (Office of Naval Research)補助国際共同研究や科研課題研究(平成14年度～平成17年度、

平成18年度～平成20年度)を通じ、前者においては主にハイエンド大規模並列計算環境(NASA 計算センターなど)における最適化理論の構築を、一方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てきた。さらに後者の成果をより発展させるために、フィンランドの船用CAD開発・提供会社NAPA社(現在NAPAはわが国船型デザイン部門で最も多く導入されているCADである)と共同研究を行い、そこで開発された SBD システムは国内の造船企業で導入され、実際の現場で活用されるに至った。

他方、上述した研究成果は SBD のプロトタイプ構築という所期の目的を達成したものであり、タンカーやコンテナといった従来型船型や、高速複胴船型の船体設計に適用できるレベルにあるが、本研究課題で目的とするようなウォータージェット推進型次世代ニューコンセプトデザイン船型へ応用するためには更なる拡張が必要であった。まず上述した複雑な流体现象を再現するためにより大規模な計算一般算では、1000万格子レベルの CFD が必要であること、さらには問題規模の増大に対応できる最新情報処理技術(マルチコア CPU・分散メモリー競合型並列計算アーキテクチャーなど)の活用と高効率な最適化手法の開発・導入が必要であること、加えて特に CFD の専門家ではない一般の船型デザイナーでも使用できる計算環境の提案と、その環境に最も適したコンポーネントの集合体としての SBD 構築を行う必要がある事などである。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、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、既述した我が国造船設計技術の優位性を維持・発展させる準備を行う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高速ウォータージェット推進船型の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、わが国の造船設計に適合した CAD のインターフェースを拡充することによって高度 SBD 手法を

構築し、わが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確立することである。研究代表者らが考える SBD システムは、Fig.1 に示す 3 つの要素技術の統合形として定義される。それらは多目的最適化理論に基づく OPTIMIZER モジュール、ウォータージェット推進器の数理モデルを搭載し、かつ高速船型特有の流場現象(例えば砕波やスプレーなど)を考慮できる CFD モジュール(レイノルズ平均ナビエーストックス方程式解法・RANS 法など)、そして船型デザイナーの設計手段に即する CAD モジュールである(従来の最適化研究では形状モデリングの方法が全くデザイナーのツールと独立し、これが実設計現場からの不満の対象とされてきた)。これらをわが国独自で開発された高度情報技術(IT)を応用して結合し、特に CFD の一般知識を有しない現場デザイナーでも SBD を実践できるシステムを完成させる。

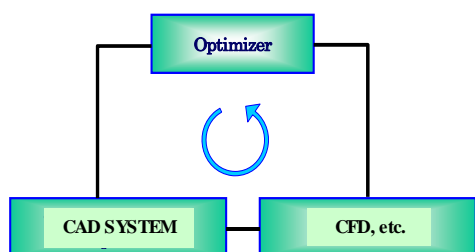


Fig.1 – Basic components of the present SBD system.

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するためのアプローチは、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った。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ながら随時増強していく形で実施した。

まず OPTIMIZER モジュールには、従来研究してきた進化型アルゴリズム援用・広領域最適化理論を、より効率的な Hierarchical Topology Multiple Model (HTM モデル)に拡張した方法を採用した。本手法は Low Fidelity (LF) CFD と High Fidelity (HF) CFD といった精度・計算量の異なる解析手法を階層的に混

合利用するものであり、トレードオフ関係にある精度・計算量を効率的に考慮し、最上層では HF CFD を用いて信頼性の高い最適解を決定するものである。この LF CFD と HF CFD には、各々ポテンシャル理論 CFD と RANS 法の使用、また格子数の異なる HF CFD の適用という組合せも可能である。

つぎに最適化手法のコーディングにおいては、今回採用するマルチコア・分散メモリー PC クラスタ並列環境により適したアーキテクチャーを実現するために、Asynchronous Evaluator Model (AE モデル)を用いたアルゴリズムを採用した。本モデルの利点は(a)同時進行する各 CFD のワークロードに顕著な差があっても全体アルゴリズムの遅延を回避できること、(b)システムの構造安定性が確保できることなどである。研究課題の代表者は、従来研究において高効率並列計算のコーディング技術についての実績があり、AE モデルを用いたコーディングについても技術的な問題は全くなかった。

一方 CAD モジュールに関しては、研究代表者は国内造船設計部門で最も利用されている CAD を提供しているフィンランドの企業、NAPA 社との共同研究によって、デザイン部門で最も重要なボトルネックとなっている計算格子生成法を自動化する技術を開発してきた。本研究課題では、CAD を含めた形状変更モジュール並びに計算格子自動生成法を拡張し、高速ウォータージェット推進船型の設計に適用できるように拡張した。

最後にシミュレーション手法については、研究課題の代表者は従来研究においてポテンシャル理論 CFD ならびに粘性自由表面計算機能搭載型 RANS 法の開発と両方の CAD システムへの搭載・造船設計部門への導入について実績があった。特に後者に関しては、高速ウォータージェット推進複胴船型への適用について米国アイオワ大学と現在共同研究が行われ、そこで検討されたウォータージェット推進器の数理モデルは今回の研究課題において利用することが可能となった (Fig.2 参照)。

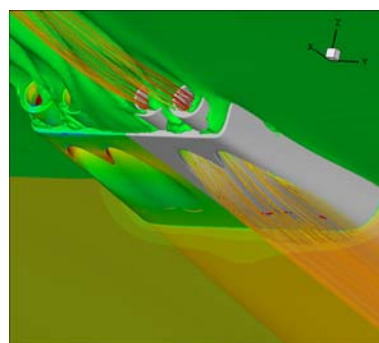


Fig.2 - Redesign of waterjet inlet shape by using overset grid based CFD simulation.

4. 研究成果

まず初年度（平成 21 年度）においてはつぎのタスクを計画し完了した; (1)PC クラスタ並列計算環境の増強; (2)HTM モデル・非勾配法型・多目的最適化理論の定義; (3)AE モデルの定義; (4)HTM モデル・非勾配法型・多目的最適化理論ならびに 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(Fig.3 参照)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実験式を用いたシステム・デモンストレーションと初期評価、以上 9 項目であった。次年度では船体の推進性能もしくは動的性能を考慮した単目的最適化問題の設定とデモンストレーションを行う予定であったため、その準備を完了するという所期の目的を達成することができた。

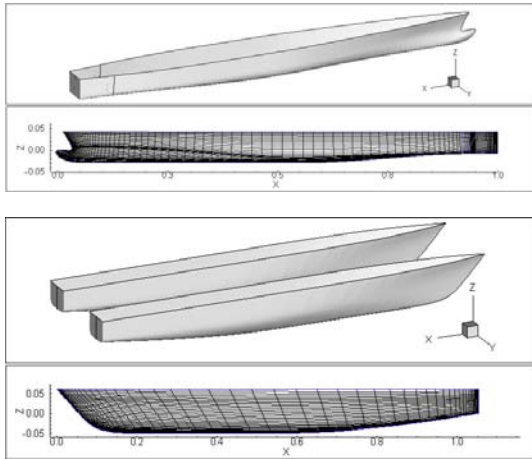


Fig.3 - Overview of geometry and definition of coordinate system. Top and bottom are JHSS and Delft Catamaran, respectively.

続いて第 2 年度（平成 22 年度）ではつぎのタスクを計画し完了した; (1) PC クラスタの増強; (2) 単目的関数最小化問題の定式化; (3) 単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。本年度では単目的最適化問題のデモンストレーションを行い、前年度に実験式を用いて行った船型最適化結果との比較や、高速ウォータージェット船型設計を担当する設計者との意見交換を通じた結果の評価を行った。さらに、次年度実施する多目的最適化へ向けた理論の拡張、ならびにコーディングの最適化も実施し、Phase 2 の所期のタスクを完了することができた。

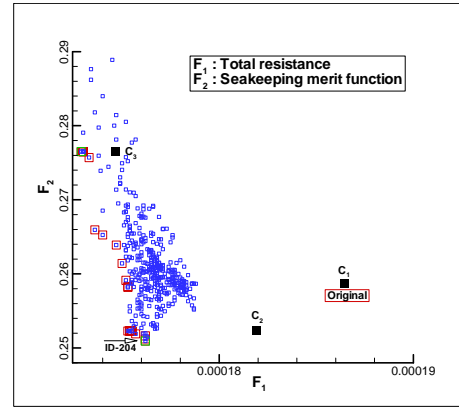


Fig.4 - Solutions from the present multiobjective optimization. F_1 vs. F_2 – Total resistance (RT) vs. Seakeeping Merit Function (SMF). JHSS bow optimization test case.

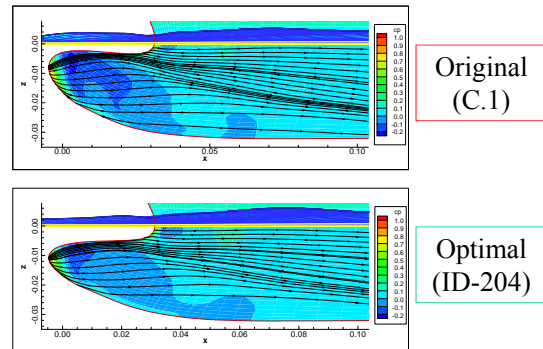


Fig.5 - Comparison of surface pressure contours, and frictional streamlines between the original design and a selected optimal design on Pareto set (ID-204) (URANS-CFD results). JHSS bow optimization.

そして最終年度(平成 23 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、次のタスクを計画し完了した: (1) PC クラスタ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(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(結果の一例として、最適化船型について Fig.4~7 を参照されたい)。既に発表してきた論文などについては実績一覧に示す通りであり、また実際にはさらに多くの発表すべき成果を得ているため、ドキュメンテーション活動は今後も継続する方針である。加えて本研究で得た成果は実際に高速ウォータージェット推進型船型

のデザイン部門に導入され、現在デザインワークの一部として活用するための技術移譲プロセスが進行している。

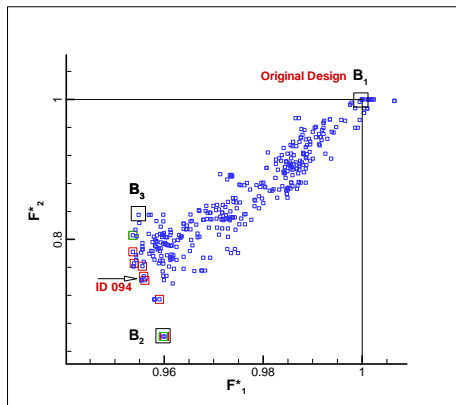


Fig.6 - Solutions from the present multiobjective optimization. F_1 vs. F_2 - Total resistance (RT) vs. Seakeeping Merit Function (SMF). Delft Catamaran optimization test case.

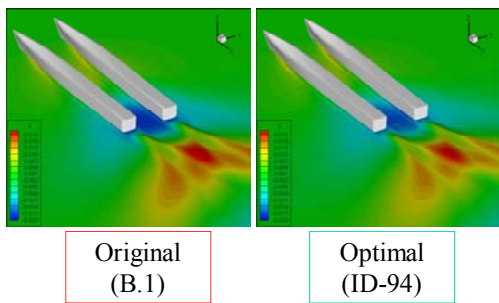


Fig.7 - Comparison of wave field (URANS-CFD results). Delft Catamaran optimization test case with CFD WJ model.

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.8は、研究開始直前の国内外の航空・船舶工学における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。横軸はCFD手法の技術レベルを、縦軸は最適化手法(非線形計画法)の技術レベルを示しており、また矢印は研究動向を示している。研究開始前までの研究において、高度化(A)→(B)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(B) 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、すなわち高速ウォータージェット推進船型まわりの複雑流場を1000万格子で計算する高効率RANS法を用い、進化型アルゴリズムなどの非勾配法を高効率並列計算で用いるレベルに到達す

ることであった。これを達成することはすなわち。要素技術の観点でも総合的レベルが最も高い成果を目指していたことになり、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。

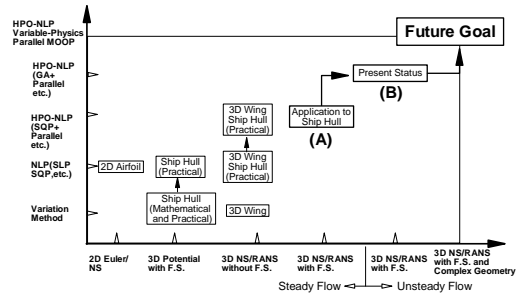


Fig.8 - Status of advancement of the present work.

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 21 件)

1. Tahara, Y., Masuyama, Y., Fukasawa, T., Katori, M. (2012) CFD Calculation of Downwind Sail Performance Using Flying Shape Measured by Wind Tunnel Test, 4th High Performance Yacht Design Conference, Auckland, 12-14 March, 2012, pp. 38-47 (査読有).
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, Sweden, 26-31 August 2012 (査読有).
3. Peri, D., Diez, M., Kandasamy, M., Tahara, Y., 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, Gothenburg, Sweden, 26-31 August 2012 (査読有).
4. Diez, M., He, W., Kandasamy, M., Tahara, Y., Campana, EF., Stern, F. (2012) Uncertainty Quantification and Robust Design Optimization for the Delft Catamaran in Calm Water and Waves Using URANS and Potential Flow CFD, 29th Symposium on

- Naval Hydrodynamics, Gothenburg, Sweden, 26-31 August 2012 (査読有).
5. Tahara, Y., Peri, D., Campana, EF., Stern, F. (2011) Single and Multiobjective Design Optimization of a Fast Multihull Ship: numerical and experimental results, *J. Marine Science and Technology*, Vol.16, No.4, pp.412-433 (査読有).
 6. Tahara, Y., Hino, T., Kandasamy, M., He, W., Stern, F. (2011) CFD-Based Multiobjective Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships, Proc. 11th International Conference on Fast Sea Transportation (査読有), Honolulu, Hawaii, USA, September 26-29, 2011, pp. 263-272.
 7. Kandasamy, M., He, W., Tahara, Y., Peri, D., Campana, EF., Wilson, W., Stern, F. (2011) Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships - JHSS and Delft Catamaran, Proc. 11th International Conference on Fast Sea Transportation (査読有), Honolulu, Hawaii, USA, September 26-29, 2011, pp. 246-253.
 8. Tahara, Y., Masuyama, Y., Fukasawa, T., Katori, M. (2011) Sail Performance Analysis of Sailing Yachts by Numerical Calculations and Experiments, *Fluid Dynamics, Computational Modeling and Applications*, INTECH Publisher, ISBN 978-953-51-0052-2, pp.91-118 (査読有).
 9. Kimura, Y., Kobayashi, E., Tahara, Y., Koshimura, S. (2011) A Study on Estimation of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull in Shallow Water by CFD, Proc. 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship-to-Ship Interaction, Trondheim, 18-20 May 2011, pp. 193-201 (査読有).
 10. Suitou, H., Masuyama, Y., Tahara, Y., Katori, M. (2011) Sail Performance Analysis for Downwind Condition by Wind Tunnel Test and CFD Calculation, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.13, pp. 409-412 (査読無).
 11. Gorski, J., Turnock, S., Alessandrini, B., Chun, H., Hollenbach, U., Mikkola, T., Tahara, Y., Valle, J., Ying, L. (2011) ITCC Resistance Committee Report, Proc. 26th International Towing Tank Conference, Vol.1, Rio de Janeiro, Brazil, 28 August - 3 September, 2011, pp. 11-60 (査読有).
 12. Peri, D., Campana, EF., Tahara, Y., Kandasamy, M., Stern, F. (2010) New developments in Simulation-Based Design with application to High Speed Waterjet Ship Design, Proc. 28th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, USA, September 12-17, 2010. (査読無)
 13. Sudo, Y., Ohmori, T., Hino, T., Tahara, Y. (2010) New Hull Form Definition and Optimization System by Viscous CFD, Proc. NAPA User Meeting, 2010, May 18-21, Naantali, Finland. (査読無)
 14. Kimura, Y., Kobayashi, E., Tahara, Y., Koshimura, S. (2010) A basic study on estimation of hydrodynamic forces acting on a ship hull by CFD, Proc. 4th PAAMES and AMEC2010, Dec. 6-8, 2010, Singapore, pp. 217-222.(査読無)
 15. Kimura, Y., Kobayashi, E., Tahara, Y., Koshimura, S. (2010) Prediction of Hydrodynamic Forces of Ship in Maneuvering Motion by Using CFD, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.10, pp. 529-530. (査読無)
 16. Kimura, Y., Kobayashi, E., Tahara, Y., Koshimura, S. (2010) A Basic Study on Estimation of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull in Shallow Water by CFD, Conference Procs. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.11, pp. 437-438. (査読無)
 17. Tahara, Y., Fukasawa, T. (2010) CFD and Numerical Computation, Sailing Yacht Symposium - Sailing Yacht and Sailing Performance, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, pp. 43-80. (査読無)
 18. Campana, EF., Peri, D., Tahara, Y., Kandasamy, M., Stern, F. (2009) Numerical optimization methods for ship design, SNAME Annual Meeting and Expo. (査読有), 2009, Oct. 19, Providence, USA; also Transactions of the Society.
 19. Masuyama, Y., Tahara, Y., Fukasawa, T., Maeda, N. (2009) Database of Sail Shapes vs. Sail Performance and Validation of

- Numerical Calculation for Upwind Condition, J. Marine Science and Technology (査読有), Vol.14, pp.137-160.
20. Ohmori, T., Tahara, Y., Sudo, Y. (2009) Hull Form Definition and Optimization System Considering Wave Making Resistance, Proc. NAPA User Meeting, 2009, May 26-29, Helsinki, Finland. (査読無)
 21. Sakamoto, N., Sato, Y., Tahara, Y., Hino, T. (2009) RANS Simulation with Overset Grid Method for the Flow round a Ship with a Rudder, Proc. 23rd CFD Symposium, The Japan Society of Fluid Mechanics, Sendai, 16 - 18 December 2009. (査読無)

[学会発表] (計 12 件)

1. Tahara, Y., Stochastic Variable Physics SBD for Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 20 March 2012, Italian Ship Model Basin (INSEAN-CNR), Rome, Italy.
2. Tahara, Y., CFD Calculation of Downwind Sail Performance Using Flying Shape Measured by Wind Tunnel Test, 4th High Performance Yacht Design Conference, 12 March 2012, Auckland, New Zealand.
3. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, ONR NICOP Optimization, Waterjet Ship, and Capsizing Project Meeting, 3 October 2011, National Maritime Research Institute (NMRI), Tokyo, Japan.
4. Tahara, Y., CFD-Based Multiobjective Optimization of Waterjet Propelled High Speed Ships, 11th International Conference on Fast Sea Transportation, 26 September 2011, Honolulu, Hawaii, USA.
5. Tahara, Y., et al., ITCC Resistance Committee Report, 26th International Towing Tank Conference, 28 August 2011, Rio de Janeiro, Brazil.
6. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 20 January 2011, Italian Ship Model Basin (INSEAN-CNR), Rome, Italy.
7. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 8 September 2010, IIHR-Hydroscience & Engineering, University of Iowa, Iowa City, USA.
8. Tahara, Y., CFD and Numerical Computation, Sailing Yacht Symposium - Sailing Yacht and Sailing Performance, 28 August 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.
9. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, ONR NICOP Optimization, Waterjet Ship, and Capsizing Project Meeting, 21 May 2010, National Maritime Research Institute (NMRI), Tokyo, Japan.
10. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 14 January 2010, Italian Ship Model Basin (INSEAN-CNR), Rome, Italy.
11. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, International Collaboration Complementary CFD, EFD, and UA, 30 July 2009, IIHR-Hydroscience & Engineering, University of Iowa, Iowa City, USA.
12. Tahara, Y., High Performance CFD-Based Variable-Physics Global Optimization for High Speed Waterjet Ship Design, ONR NICOP Optimization, Waterjet Ship, and Capsizing Project Meeting, 3 April 2009, National Maritime Research Institute (NMRI), Tokyo, Japan.

[その他]

ホームページ等

http://www.nmri.go.jp/cfd/staff/staff_e.html

6. 研究組織

(1) 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・CFD 研究
グループ・上席研究員
研究者番号：10264805

(2) 研究分担者

日野 孝則 (Hino Takanaori)
横浜国立大学・工学研究院・教授
研究者番号：60373429