

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：平成 18 年度 ~ 平成 20 年度
課題番号：18360422
研究課題名 (和文) 高速複胴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 multi-hull ships
研究代表者
田原 裕介 (Tahara Yusuke)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10264805

研究成果の概要：

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複胴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。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2006 年度 | 4,400,000 | 1,320,000 | 5,720,000 |
| 2007 年度 | 4,100,000 | 1,230,000 | 5,330,000 |
| 2008 年度 | 2,500,000 | 750,000 | 3,250,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 11,000,000 | 3,300,000 | 14,300,000 |

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) 並列計算 |
| (4) 計算流体力学 | (5) 非線形最適化 | (6) 領域分割法 |
| (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。これは主要造船立国各国の一般見解でもあり、第 24 回国際水槽試験委員会 -ITTC(2005 年・エンジンバラ)でも言及された。例えば、太平洋を現在の半分の時間で航行できる高速複胴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。その解決策として現在最も有望視されているものが、**シミュレーション・ベースド・デザイン(SBD)**システムである。造船工学分野におけるその開発は、特に西欧諸国において活発化しつつあるという研究動向を確認できるが、わが国においてはやや遅れをとっているという印象が否めない。

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以前より提唱されてきたが、造船工学分野においては、各々の要素技術レベルのアンバランスやインターフェースの未熟さ、さらにシミュレーションに用いる計算機能力の限界などの理由によって、実現は容易ではないとされていた。研究代表者らは、SBD 手法の重要性に早くから着目し、その手法の準備段階の完了を目的として米国海事研究局 (Office of Naval Research: ONR) との共同研究を行い、低・中速船型を対象とした計算流体力学 (CFD) 援用船型自動最適化手法を開発してきた。実験値との詳細な比較によるヴァリデーションも行った結果、推進性能といった単一の目的関数を最小化するだけでなく、操縦性能(航行進路を変化させる場合の性能)や耐航性能(波浪中抵抗増加や船体の運動性能)を同時に考慮できる手法の構築に成功し、実際にその手法は ONR で導入されるに至っている。一方その手法は

SBD システムの前段階であることは上述のとおりであり、わが国造船企業の船型デザイナーが SBD を実践できるレベルに到達するためには幾つかの問題点がある。まず ONR では米国航空宇宙局 (NASA) のような大型並列計算施設における利用を前提としていること、さらに SBD 手法として確立するためには必須となる CAD インターフェースがプリミティブであり、わが国造船会社の現状により適した形である CAD-Direct Control でないこと、各要素技術は高速船型設計に対応できないこと、などが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ONR との共同研究で構築した CFD 援用船型最適化手法の個々の要素技術を高速複胴船型の設計に適用できるレベルへ高めるとともに、わが国の造船設計に適合した CAD インターフェースを拡充することによって SBD 手法と位置づけ得るレベルへと高度化し、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を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、高速船型特有の流場現象(例えば碎波やスプレーなど)を考慮できる CFD(レイノルズ平均ナビエストークス方程式解法・RANS 法)などを含むシミュレーションモジュール、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。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、デザイナーが SBD を実践できるシステムを完成させる。

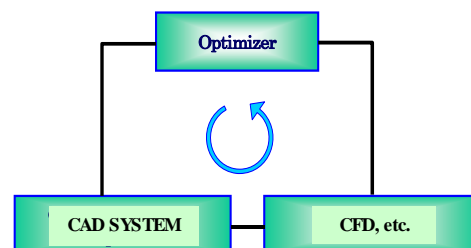


Fig.1 – Basic components of the present SBD system.

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る。具体的には、まずOPTIMIZERモジュールには、従来研究してきた狭領域最適化理論(Local Optimization Theory)から広領域最適化理論(Global Optimization Theory)に拡張した方法を採用する。評価関数として高速複胴船型の設計には必須となる運動性能の要素も考慮できるように、パネル法に基づく手法も搭載する。次にCFD手法には、大規模船体運動を考慮できるとともに高速船型特有のアペンデージの考慮、さらにその流場特有の碎波現象やスプレー現象を再現し、それらの造波抵抗への寄与を正確に予測できる手法(オーバーセット型計算格子対応、2フェーズ・レベルセット型・非定常RANS法)を採用する。加えて、形状モデリングには複胴船型の設計に対応できるCADシステムを採用する。なお、大規模化するシミュレーションのターンアラウンドを一般企業の設計部門でも期待できる費用対効果で実現するために、本研究代表者が平成14年度~17年度・科研課題で開発した、安価なPCクラスターによる並列計算環境におけるCFDコーディング技術を応用する。この技術は、わが国で独自に開発されたPCクラスター並列環境構築ソフトウェア(Score-Dシステムなど:旧通産省主導のプロジェクトを発端として開発・管理)をベースとしており、代表者らはこれまでの研究においてその有用性を実証してきた。なお本研究においては、PCクラスター環境を国内的・国際的見地でも最も高いレベルに維持し、実社会の数年後のトレンドを先行するため、かつ本課題で目的とする大規模CFD計算と多目的最適化による計算量増大に対応させるために、現在保有する32ノード環境から56ノードへ拡張し、そのレベルでも有効に機能するシステム構築を目指す。またシステムプロトタイプの構築と平行してデモンストレーション対象船型の決定までを第1年度で完了した後、第2年度では単一目的関数を最小化する船型最適化問題の定式化とデモンストレーション・評価、第3年度(最終年度)では複目的関数を同時に最小化する船型最適化問題の定式化とデモンストレーション・評価を行う。

4. 研究成果

まず初年度(平成18年度)においては以下のタスクを完了した:(1)PCクラスター並列計算環境の増強;(2)広領域・非勾配法型・最

適化理論の調査および選定—最終的に実数値遺伝アルゴリズム(RCGA)を採用;(3)上で選定した最適化理論の並列計算アルゴリズムの定義およびコーディング、さらにパフォーマンス調査;(4)テスト船型の選定(基本船型の実験データがあることを優先し、また複胴船型を中心に検討する)—最終的にHSSL-Bカタマラン船型(Fig.2, Fig.3を参照)を採用—かつその改良設計に対応できるCADの選定と船型のパラメトリック表現の検討;(5)RANS法の高速複胴船型への適用と自由表面モデルの拡張;(6)モジュール間インターフェースの構築;そして(7)システム統合およびダミーシミュレーションモジュールを用いた初期評価を完了すること、以上7項目であった。次年度では船体の動的性能を考慮した多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。

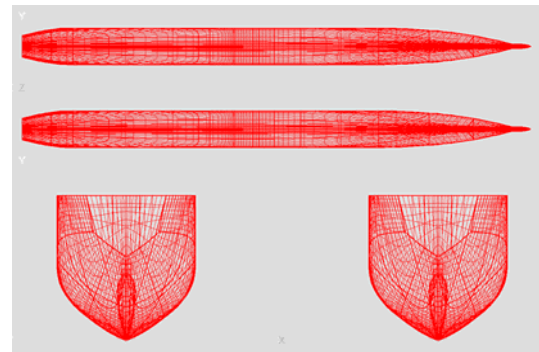


Fig.2 - The initial design HSSL-B in the catamaran version. The separation ratio between the hulls is $S/L=0.16$.

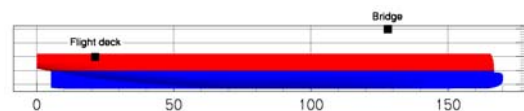


Fig.3 - Side view of the HSSL-B. Flight deck and bridge locations where the functional constraints on the vertical acceleration and on the vertical velocity are enforced are shown.

続いて第2年度(平成19年度)では以下のタスクを完了した:(1)PCクラスター並列計算環境の増強;(2)単目的・最適化問題の定式化およびデモンストレーション;(3)単目的・最適化問題・デモンストレーション結果の評価;(4)広領域・非勾配法型・最適化理論の多目的問題への拡張・コーディング;そして(5)多目的・最適化問題の定式化および簡易シミュレーションモジュールを用いた評価を行うこと、以上5項目であった。翌最終年度では多目的・最適化問題の定式化およびシミュレーション

オンモジュールを用いたデモンストレーションとその評価を行う予定であったので、その準備を完了する初期の目的を十分に達成することができた。

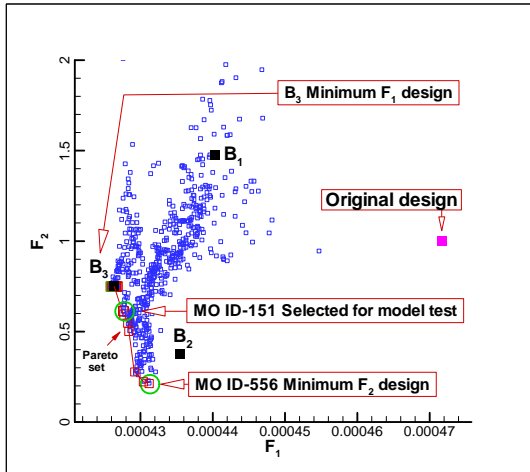


Fig.4 – Results for the Case 3. On the Pareto optimal set, MO ID-151 is selected for further evaluation. For RANS CFD-based optimization.

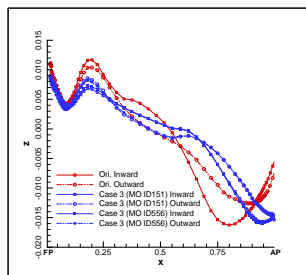


Fig.5 – Results for the Case 3 (MO ID-151 and 556). Comparison of wave profile between the original and optimal designs. For URANS CFD-based optimization.

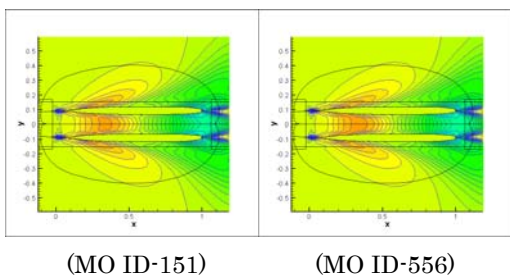


Fig.6 – Results for the Case 3 (MO ID-151 and 556). Comparison of wave contours between the original and optimal designs. For URANS CFD-based optimization.

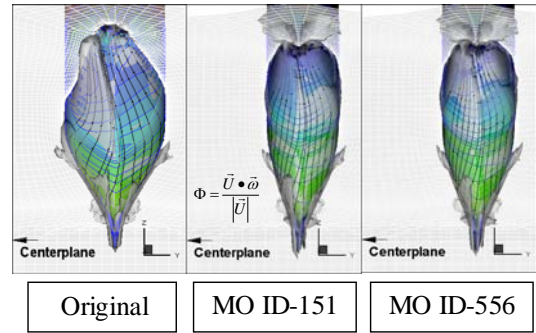


Fig.7 – Results for the Case 3 (MO ID-151 and 556). Comparison of surface streamlines, pressure, and iso-Lamb scalar surfaces. For URANS CFD-based optimization.

そして最終年度(平成 20 年度—第 3 年度)においては、3 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・完了した：(1)PC クラスタ並列計算環境の増強；(2)多目的・最適化問題の定式化およびデモンストレーション；(3)多目的・最適化問題・デモンストレーション結果の評価；そして(4) 成果ドキュメンテーション・成果発表を行うこと、以上 4 項目である。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、本研究で開発した手法の妥当性を確認できたとともに、国際会議や学術論文誌において発表できるレベルに至る研究成果を得ることができた(結果の一例として、最適化船型について Fig. 4~7, 実験による検証結果については Fig. 8 を参照されたい。共に出展：Y Tahara, D Peri, EF Campana, F Stern (2008) Single and Multiobjective Design Optimization of a Fast Multihull Ship: numerical and experimental results, 27th Symposium on Naval Hydrodynamics, October 8, Seoul, Korea)。それらについては、研究実績として発表論文の一覧に示す通りである。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複胴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。以上を以て、3 年におよぶ本研究の所期の目的は十分に達成できており、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。

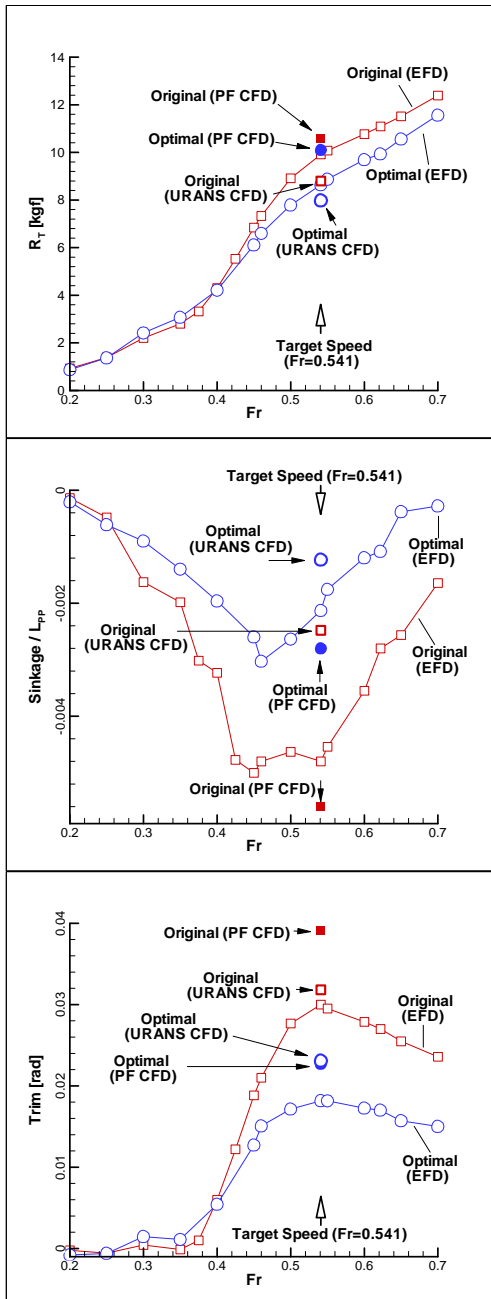


Fig.8 – EFD results. Comparison of total resistance, sinkage and trim between the original and optimal designs.

上述した研究成果は、本研究の計画時に設定した目標、すなわち「国際的にも最もレベルの高い成果を目指す」を達成した証であると考えている。Fig.9は、研究開始直前の国内外の航空・船舶工学におけるCFD採用形状最適化の研究レベルの総括であり、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。本研究課題を実施する前の研究レベルはPRESENT STATUSで示されており、本研究課題ではFUTURE GOAL

と示されたレベルへ到達すること、つまり自由表面影響(With F.S.)を考慮した動的シミュレーションが可能なRANS法を用い、GAなどの非勾配法を高効率並列計算で用いるレベル(High-Performance Optimization for Nonlinear Programming:HPO-NLP)に到達することを目標とした。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る。現時点において、この目標は十分に達成できたと考える。

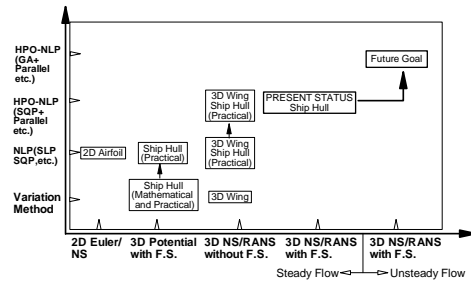


Fig.9 – Status of advancement of the present work.

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 7 件)

1. Y Tahara, D Peri, EF Campana, F Stern (2008) Computational fluid dynamics-based multiobjective optimization of a surface combatant using a global optimization method, J. Marine Science and Technology, 13, 95-116. (査読有)
2. Y Tahara, K Norisada, M Yamane, T Takai (2008) Development and Demonstration of CAD/CFD/Optimizer Integrated Simulation- Based Design Framework by Using High-Fidelity Viscous Free-Surface RaNS Equation Solver, J. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 7, 171-184. (査読有)
3. Y Tahara, A Hanaoka, K Higaki, T Takai (2007) Investigation on Effective Turbulence Models for Predicting Tanker Stern Flows, J. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 6, 235- 246. (査読有)
4. Y Tahara, S Tohyama, T Katsui (2006) CFD-Based Multi-Objective Optimization

Method for Ship Design, International J. Numerical Methods in Fluids, 52, 449-527. (査読有)

5. Y. Tahara, R Wilson, P Carica, F Stern (2006) RANS Simulation of a Container Ship Using a Single-Phase Level Set Method with Overset Grids and Prognosis for Extension to Self-Propulsion Simulator, J. Marine Science and Technology, 11, 209-228. (査読有)
6. 勝井辰博, 富田高嗣 (2006) CAD/CFD統合型高効率最適化システムの構築とその検証-2次元翼型の最適化による最適化システムの検証-, 日本船舶海洋工学会論文集, 第4号, pp.175-184. (査読有)
7. EF Campana D Peri, Y. Tahara, F Stern (2006) Shape Optimization in Ship Hydrodynamics Using Computational Fluid Dynamics, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 196, 634-651. (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

1. Y. Tahara (2008) A Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation Solver for Prediction of Ship Viscous Flow with Free Surface Effects - Technical Notes on NAPA RaNS CFD Module -, NAPA User Meeting 2008, May 28, Helsinki, Finland.
2. Y. Tahara, D Peri, EF Campana, F Stern (2008) Single and Multiobjective Design Optimization of a Fast Multihull Ship: numerical and experimental results, 27th Symposium on Naval Hydrodynamics, October 8, Seoul, Korea.
3. Y. Tahara, T Takai (2008) High-Performance Multi-Objective Evolutionary Algorithms for Computational Fluid Dynamics-Based Design Optimization, 3rd PAAMES and AMEC2008, October 21, Chiba, Japan.
4. T Ohmori, Y. Tahara (2007) An Application of Hull Form Optimization for Practical Hull Forms, NAPA User Meeting 2007, May 21-25, 2007, Helsinki, Finland.
5. Y. Tahara, EF Campana, D Peri, A Pinto, M Kandasamy, F Stern (2007) Global Optimization and Variable Fidelity Strategies in the Single and Multiobjective Optimal Design of Fast Multihull Ships, 9th

International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, August 5-8, Ann Arbor, Michigan, USA.

6. 田原裕介, 高井智祐 (2007) 高速複胴船型の最適設計を目的としたSBDシステムの開発と応用, 日本船舶海洋工学会講演会, November 12-13, 大阪大学.
7. EF Campana, D Peri, Y. Tahara, M Kandasamy, F Stern, C Cary, R Hoffman, J Gorski, C Kennell (2006) Simulation- Based Design of Fast Multihull Ships, Twenty-Sixth Symposium on Naval Hydrodynamics, September 17-22, Rome, Italy.
8. Y. Tahara, A Hanaoka, K Higaki, T Takai (2006) Investigation on Effective Turbulence Models for Predicting Tanker Stern Flows, Advanced Maritime Engineering Conference (AMEC 2006), October 20-22, Chiba, Japan.
9. Y. Tahara, K Norisada, M Yamane, N Maeda (2006) Development and Demonstration of CAD/CFD/Optimizer Integrated SBD System for Design of a High-Speed Naval-Surface Combatant, Advanced Maritime Engineering Conference (AMEC 2006), October 20-22, Chiba, Japan.

[その他]

ホームページ等

<http://blade04.marine.osakafu-u.ac.jp/~s0001/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原 裕介 (Tahara Yusuke)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10264805

(2) 研究分担者

坪郷 尚 (Tsubogo Takashi)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：80254431

勝井 辰博 (Katsui Tokihiro)
大阪府立大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号：80343416