

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06975

研究課題名(和文) 数値シミュレーションとそのUQを考慮した流体・構造・生産一貫設計法の基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental study on integrated fluid, structure and production design method considering mathematical simulation and its UQ

研究代表者

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・その他部局等・研究員

研究者番号：00550021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では実海域データに基づく新しい設計スキームによる平水中性能・波浪中性能・構造強度の一貫設計システムを提案した。また設計のフロントローディングを実現する平水中性能・生産性の一貫評価システムおよび船体船尾形状の構造部材配置を考慮しながら載貨容積と流体性能とを多目的最適化する設計システムのプロトタイプを作成し、バルクキャリアの試設計によりこれらのシステムの有効性を示した。この結果から提案した学際的な多目的最適化を行う一貫設計手法が設計の効率化だけでなく、設計技術の伝承また顧客満足度の向上にもつながることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年地球温暖化対策の観点から船舶の大幅な性能向上が求められている。船型設計はこれまで推進性能設計、構造設計、生産設計をシーケンスとして単目的に最適設計するにとどまり、多目的最適設計による設計・生産現場の改善効果およびその課題が不明であった。本研究では実海域データを考慮した多目的最適化問題として新しい船型設計手法を提案/検討した。その結果、設計空間の可視化によるベテラン設計者の暗黙知の形式知化、これらの設計情報による高度な顧客への技術提案の可能性、また不具合による戻り設計の低減効果を検証できた。これらの成果は船型学をさらに発展させるものでその学術的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we propose a new design scheme based on onboard monitoring data and also introduce an integrated design system for hydrodynamic performance in calm sea and waves, and structural strength. Besides, we developed a prototype of a consistent evaluation system of hydrodynamic performance and productivity to realize front-loading of ship designs and a design system to optimize loading capacity and fluid performance in a multi-objective point of view considering structural member arrangement of stern hull shapes. Trial designs of bulk carry demonstrate the effectiveness of these systems, and it was clarified that the integrated design method to carry out multi-objective optimization proposed from the viewpoint of interdisciplinary leads not only to efficiency improvement of design but also to the transmission of design technology and improvement of customer satisfaction.

研究分野：船舶設計

キーワード：船型開発 フロントローディング 多目的最適化 船型データベース

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年地球温暖化対策の観点から船舶の大幅な性能向上が求められている。船に求められる機能は、安全性(構造、復原性、操縦性要件)、燃費を含む輸送効率、製造コストと非常に多様である。このような複数の目的関数について最適な設計解を求める船舶の設計問題は多目的最適化問題と定義できるが必要な船舶設計の手法論が不足しているため、現在の船舶設計は配置計画、推進性能設計、構造設計、生産設計をシーケンス的に単目的最適設計しており、戻り設計も多くまたその全機能を一貫して最適設計するに至っていない。一方、流体・構造・生産の一貫設計法のもうひとつの論点は、実海域の遭遇海象や市場環境等の不確定性を定量的に評価し設計案のロバスト性を向上させることにある。研究分担者らはこれまでも高速船の実海域航行性能の解析に対する数値シミュレーションに不確実性解析手法(Uncertainty Quantification: UQ)を導入し設計の多目的最適問題のペレート解を評価してその有用性を検証する取り組みを進めている。すなわち本研究課題を立案するに到った背景は、配置計画、推進性能設計、構造設計、生産設計をシーケンス的に単目的最適化する従来の部分最適な船型設計に対して流体・構造・生産の複合分野の一貫設計法を導入し革新的な高性能船舶を開発できる設計手法論を構築することで船舶分野の我が国の強い競争力をより確固たるものにするという明確なビジョンにある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで単目的最適化の組み合わせとして実施されてきた船型設計に対し、流体・構造・生産の複合分野の一貫設計する新しい設計システムとその手法論を提案し、近年重要視されて始めている不確実性解析手法等に着眼して実海域の遭遇海象や市場環境等の不確定性の定量的評価できる設計手法についての基礎的な検証を行うと共に、一貫設計システムのプロトタイプを開発することで提案手法の有効性について評価し、その有効性を検証することである。

### 3. 研究の方法

本研究では研究代表者らが従来構築してきた流体性能設計向けのシミュレーション・ベースド・デザイン(SBD)システムに対して構造強度評価手法および生産分野の曲率線展開プログラムとのインターフェースを開発することで、従来の設計システムを学際的な多目的最適化が可能なシステムに機能拡張した。また開発したシステムのプロトタイプを基に実海域の遭遇海象の市場環境等の不確定性の定量的評価し船型設計に反映させる設計スキームを提案し不確実性解析手法の設計応用についての基礎的な検証を行った。さらに開発した一貫設計システムのプロトタイプによる実用船型の試設計を実施し、その結果について造船所および設計ツールである CAD ベンダーの設計実務者と議論することにより提案手法の有効性について検証・評価した。

### 4. 研究成果

本研究では実海域データに基づく新しい設計スキームを提案しこのスキームによる平水中性能・波浪中性能・構造強度の一貫設計システムを構築した。また設計のフロントローディングを実現する平水中性能・生産性の一貫評価システムおよび船体船尾形状の構造部材配置を考慮しながら載貨容積と流体性能とを多目的最適化する設計システムのプロトタイプを作成しバルクキャリアの試設計によりこれらのシステムの有効性を示した。

本研究ではまず流体・構造・生産の異なる分野の設計手法について IoT 時代のビックデータの設計応用を踏まえ、設計の将来像について研究者と実務設計者(造船・CADベンダー)が議論し、特に流体・構造設計では実海域のオンボードデータの設計応用が重要であるとの結論を得た。

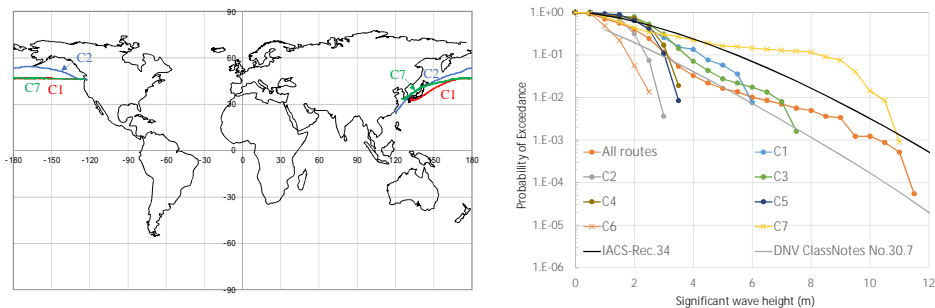


図1 実海域オンボードデータの計測航路と航路毎の有義波高の超過確率

これを具体化するため実海域のオンボードデータに基づく Global design concept and local geometry Optimization (GCO and LGO) スキームという新しい設計手法を提案し、このスキームによる平水中性能・波浪中性能・構造強度の一貫評価システムのプロトタイプを作成した。

このスキームは GCO と LGO の 2 段階の設計手法をとり GCO において海域データを考慮した主要目を含む船型コンセプトを多目的最適化問題として評価すると共に LGO において局部形状などのより詳細形状を最適設計するものである。本研究では、バルクキャリア船型である NMRI-C-BC を対象船型した試設計を行いこの手法の有効性を示した。図 1 は試設計に用いた実海域のオンボードデータである。これらのデータを基に疲労被害度と波浪中・平水中の推進性能を目的関数として、研究実施者がこれまでに開発した船型ブレンディング手法を本システムに適用し図 2 に示す設計空間内において 500 ケース以上の設計コンセプトを評価することで多目的最適設計を実施した。これらの試設計結果について船型設計実務者と共に評価し、本手法が学術的観点だけでなく実用的にも有望であることを確認した。

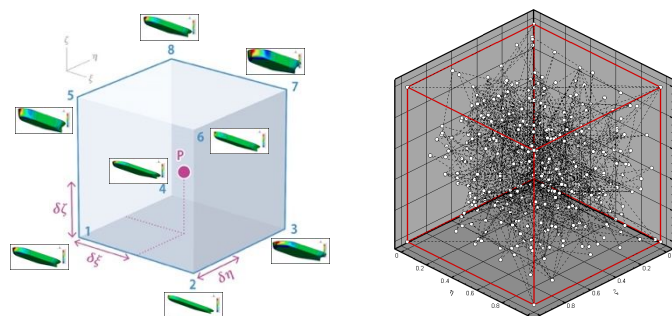


図 2 設計空間の定義 (左) と設計コンセプトの空間サンプル例 (右)

次に、設計のフロントローディングを実現する平水中性能・生産性の一貫評価を行うため海上技術安全研究所で開発された粘性 CFD ツールである NEPTUNE と曲率線展開プログラムを組み合わせた一貫設計システムのプロトタイプ (図 3) を作成し、造船所の設計担当者と構築したシステムとシステムを使用した試設計結果についての評価を行った。流体技術者と生産技術者の部署が違うことまた業務フロー上直接のやり取りがないことから情報のフィールドバックがほとんどないことが要因で、流体 (推進性能) と生産性に関する本研究のような定量的な解析結果はこれまでほとんどなかった。そのため本試設計で得られた流体 (推進性能) と生産性とのトレードオフ関係の定量的な評価結果は設計実務者に高く評価された。

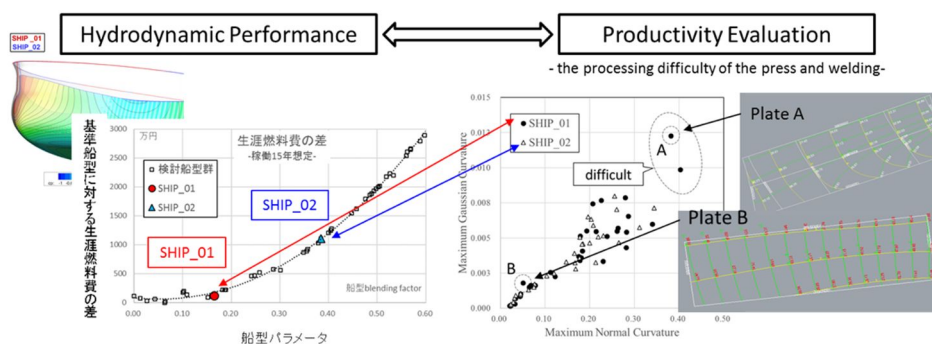


図 3 推進性能と生産性の一貫設計の例

一方国際研究動向調査により複合分野の一貫設計システムという本研究と目的を同じにする EU プロジェクト「HOLISHIP project」が進行中であることがわかった。このプロジェクトでは国際燃費指標である EEDI に基づき流体性能と載貨重量等より輸送効率を重視した設計システムの構築が進められていた。これに対して国際レベルのより高い研究成果を出すことを目的に、初期に計画していた比較的単純な船首部から、設計対象を構造部材と主機間の歩行路の確保などより複雑性の高い船尾部に高め、一貫設計システムのプロトタイプ開発と実用船型の試設計による検証を実施した。開発したシステムは図 4 に示す船尾主機室配置の自動設計機能を有する流体性能と載貨重量の多目的最適化を実現する設計システムのプロトタイプである。

開発したシステムの有効性を検証するため載貨重量 6 万トンのバルクキャリア試設計を行い、試設計の結果からシステムの有効性について造船所の設計者と検証を行った。その結果、新しい設計システムはこれまで設計課題であった下流の設計工程において発見される不具合による戻り設計の低減効果が確認されただけでなく、多目的最適化の結果であるパレート解 (図 5) から制約された主要目における設計項目の上限値などこれまでの設計手法では評価できなかった設計空間の特徴が可視化 (見える化) 出来ることが明らかとなった。この可視化の効果は従来ベテランの設計者のみが持っていた暗黙知を形式知ができるだけでなくこれらの設計空間の情報

を基にしたより高度な顧客への技術提案が可能となることなど、設計現場だけではなく技術営業にも効果の高いものであることが分かった。

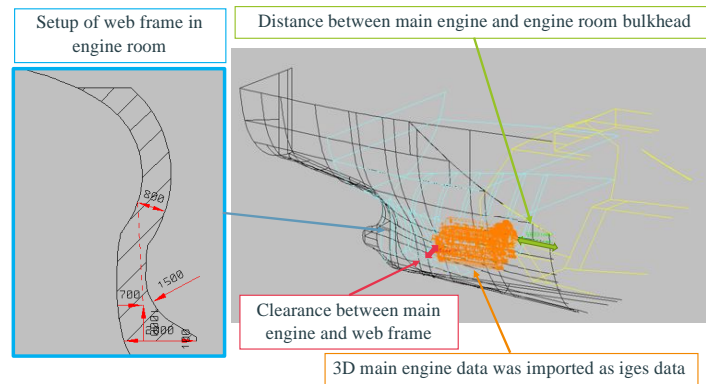


図4 主機室構造部材の配置自動設計についての概念図

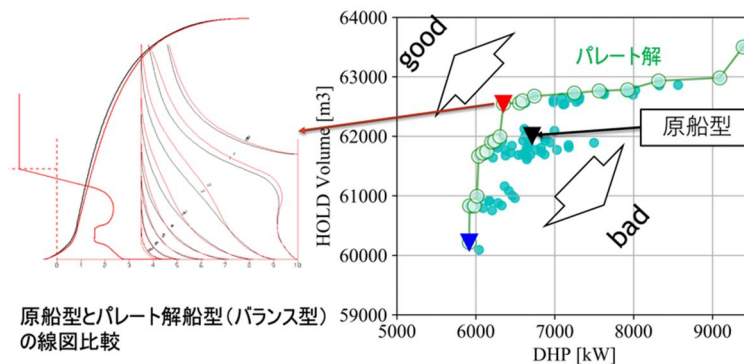


図5 バルクキャリアの多目的最適化例

また一方、開発している一貫設計システムでは数百～数千ある設計ケース全てに対して実用的な計算時間で3次元モデルの数値シミュレーションを行うことが困難であるという課題がある。そのため本研究では一貫設計手法において最も計算コストの高いCFD計算について事前に構築したデータベースを解析評価する手法(図6)について計算精度等の実用化に向けた基礎的検討を行った。その結果、提案手法により推進性能評価の一部について実用上の精度を確保ながら大幅な計算時間の短縮が出来る可能性が示された。

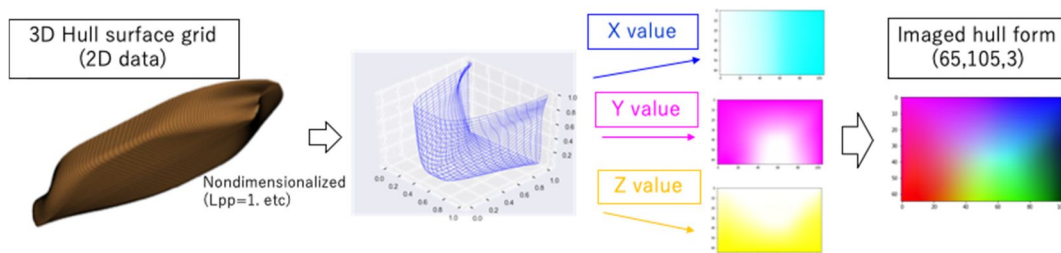


図6 推進性能評価の高速化を目的とした新しい船型データの表現手法

これらの結果から、提案した複合分野の多目的最適化を行う一貫設計システムが設計の効率化だけではなく設計技術の伝承また顧客満足度の向上にもつながることが明らかとなり、研究目的である提案する設計手法の有効性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ichinose, Y., Tahara, Y., Takami, T., Kaneko, A., Masui, T., Arai, D.	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study of Multi-objective Optimization for Propulsion Performance and Cargo Capacity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Practical Design of Ships and Other Floating Structure	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 一ノ瀬 康雄, 藤本 修平, 松尾 宏平, 高見 朋希, 金子 杏実	4. 巻 19-4
2. 論文標題 船型設計のフロントローディングによる全体最適設計	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 海上技術安全研究所報告	6. 最初と最後の頁 467-472
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 大橋 訓英, 小林 寛, 坂本 信晶, 一ノ瀬 康雄, 日野 孝則, 廣田 匡俊	4. 巻 20-1
2. 論文標題 船舶の総合性能評価にむけたCFD技術開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 海上技術安全研究所報告	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 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 Ichinose, Y., Taniguchi, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 A Fast Stern Wake Prediction Method Utilizing Convolutional Neural Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	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 Takami, T., Oka, M., Ichinose, Y., Kaneko, A., Tahara, Y., Arai, D., Masui, T., Mizutani, N.	4. 巻 -
2. 論文標題 Fatigue Damage Assessment Based on Actual Sea State Estimated from On-board Monitored Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of International Maritime Conference on Design for Safety	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 Tahara, Y., Ichinose, Y., Takami, T., Kaneko, A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Simulation Based Global Design 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Symposium on Naval Hydrodynamics	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 一ノ瀬康雄、藤本修平、田原裕介、松尾宏平	4. 巻 25
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 633-635
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 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	4. 巻 25
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 621-625
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	田原 裕介  (Tahara Yusuke)  (10264805)	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   (82627)	2018年度中に死去したため、以降研究分担者から除外。
研究分担者	高見 朋希  (Takami Tomoki)  (50586683)	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   (82627)	
研究分担者	松尾 宏平  (Matsuo Kohei)  (00399528)	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   (82627)	
研究分担者	藤本 修平  (Fujimoto Shuhei)  (80586686)	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   (82627)	
研究協力者	金子 杏実  (Kaneko Azumi)  (80777318)	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   (82627)	