

船型設計のフロントローディングによる全体最適設計

一ノ瀬 康雄*, 藤本 修平**, 松尾 宏平**, 高見 朋希***, 金子 杏実*

A Holistic Design Optimization of Hull Form by Front-Loading

by

ICHINOSE Yasuo, FUJIMOTO Shuhei, MATSUO Kohei, TAKAMI Tomoki and KANEKO Azumi

Abstract

The design of the hull shape conventionally has been implemented in the order of basic plan, propulsive performance design, design of GA, structural design, and production design in the sequence. This conventional design process produces an increase of design time due to rework, or a deterioration in performance due to non-optimal design.

In this study, a design system that consistently evaluates basic plan, propulsive performance, GA, structure and production, has been being developed. This system is advantageous in the initial design, where most of the cost of the ship constructions is determined, and realize the holistic optimal design by front-loading. This project aims to create new additional value that was not realized alone by integrating the evaluation programs for fluid, structure, and production. This project will prove interdisciplinary work, which NMRI can realize as a world-leading comprehensive maritime research institute.

In this report, the use cases of a part of this system currently under development are demonstrated, which outline the effectiveness of these systems.

* 流体設計系, ** 産業システム系, *** 構造安全評価系

原稿受付 令和 2 年 1 月 22 日

審査日 令和 2 年 3 月 2 日

目 次

1. まえがき	4
2. 配置計画と推進性能との同時最適化	4
3. 生産性と推進性能との同時最適化	6
4. まとめ	7
参考文献	8

1. まえがき

船体形状は現在推進性能を主たる評価軸として設計され、構造設計、生産設計は上流である推進性能を中心とした基本設計の制約の範囲内において最適設計される。一方、造船所の建造コストの大部分は鋼材重量及び工作に関連したコストであり¹⁾、基本設計段階において構造、生産性を定量的に評価する設計（フロントローディング²⁾）が実現すればそのインパクトは大きく、船舶設計の全体最適設計に対する造船所の開発ニーズは非常に高い。

船舶の全体最適設計については、1990年初頭に実施された造船 CIMS プロジェクト³⁾において、当時としては極めて先進的な取り組みである船舶計画初期から 3 次元プロダクトモデルを構築し、設計・生産の最適化を図るために基本計画から生産設計/計画までの設計全体を一気通貫で統合した造船 CIMS の概念が確立された³⁾。その後、3D CAD システムの現場適用は急速に進んだものの、次第に欧州等を中心に開発された市販 CAD システムが乱立し、設計の上流と下流で異なる CAD システムが使用され、造船 CIMS の理想は現在も実現できていない。

このような中、この 30 年間で ICT、AI 技術の開発・普及が急速に進んだことで、造船設計だけでなく全業種の働き方に劇的な変化があった。このような社会情勢の変化に対応し、造船設計システムを再定義した未来の造船設計システムを開発する動きが日本国内（次世代造船設計システム研究会）や欧州（HOLISHIP プロジェクト⁴⁾）などに見られる。

本研究ではこのような動きを踏まえ、船型設計の内建造コスト削減効果が特に高い初期設計検討に着目し、初期設計において船体形状、配置、流体性能、構造、生産性を一貫して評価する設計システムを開発することを目指している。このプロジェクトでは、海技研が海事関係の総合研究所としてこれまで開発してきた流体、構造、生産のそれぞれの評価プログラムを統合することで、単独では実現しなかった新たな付加価値を生み出すことを目的としている。本報告では、現在開発中のシステムの一部についてその使用事例を示し、これらの全体最適設計システムの有効性についてその概要を紹介する。

2. 配置計画と推進性能との同時最適化⁵⁾

地球温暖化対策を目的として 2013 年から EEDI（Energy Efficiency Design Index）による環境規制が導入された。（1）式は EEDI を簡易化した表示式であり、EEDI は主機出力、載貨重量、船速の三つの変数から計算される。

$$EEDI \propto (CO_2 \text{ 換算係数}) \frac{(\text{主機出力})}{(\text{船速}) \times (\text{載貨重量})} \quad (1)$$

この EEDI の設計問題を船型設計の観点から見ると、この最適化問題は流体性能と載貨重量を決める船体最適配置からなる学際的な多目的最適化問題となる。海技研では、船舶初期設計においてデファクトの CAD システムとなっている NAPA システム上で、推進性能解析ツールである海技研 CFD⁶⁾と主機室および貨物倉の自動設計システムならびに最適化システムの 3 つを組み合わせた最適船型設計システムを開発した。このシステムで試設計した 62,000DW バルクキャリアの設計例を図 1 に示す。図中、横軸は伝達馬力、縦軸は載貨容積を示しており、図中の一点一点はそれぞれ船型設計案である。通常造船所では数種類の設計案を表形式でまとめて船主に提

示しているが、本システムでは自動で数十種類の設計案を提示できる。新しい設計システムの利点は検討できる設計案の数の多さだけではない。図中緑の線は多目的最適化問題におけるパレート解（全探索 216 ケースの結果）である。このパレート解を注意深く観察すると載貨容積 62,800 m³ 付近で載貨容積は一定であるが、伝達馬力が大きく変化していることが分かる。これは 62,000DW クラスのバルクキャリアの載貨容積の設計上限を示しており、従来の手法では分からなかった船型の設計空間の特性が図 1 には示されている。

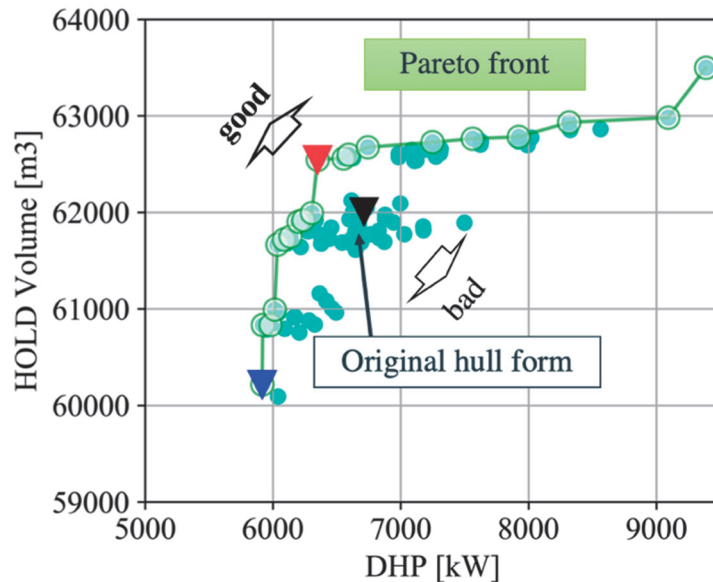


図1 バルクキャリアの多目的最適化例

図 2 には、図 1 中のパレート解である青の船型（馬力最小）と赤の船型（馬力と載貨容積のバランス型）の船尾正面線図と C_p カーブの原船型の比較図を示す。青の船型（馬力最小）は特に船尾の剥離を抑えて馬力を小さくするために船尾が痩せた船型になっている一方、赤の船型（馬力と載貨容積のバランス型）は船尾を太らせることで主機を船尾後方に持ってくることで主機室バルクヘッドが船尾側に移動でき大きな載貨容積が得られている。このようなデータがあることで基本計画の設計者、船型設計者等の異なる専門性を持った技術者が、同じ定量的データを基に船型の善し悪しを議論できることこそ、単独の評価システムでは実現しなかった一貫設計システムが提供できる新たな付加価値である。

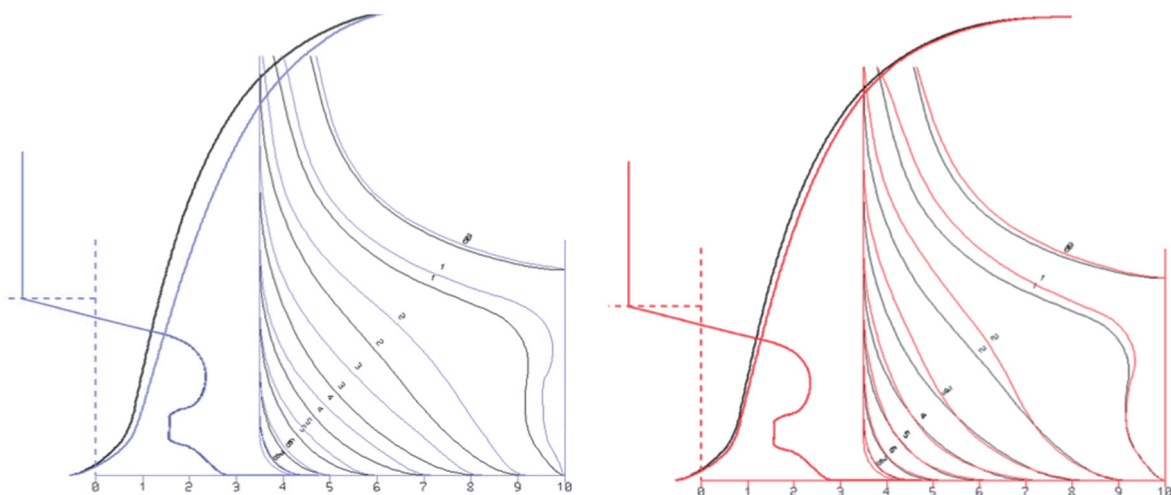


図2 パレート解の船型比較例（青：馬力最小船型、赤：馬力と載貨容積のバランス型、黒：原船型）

3. 生産性と推進性能との同時最適化⁷⁾

造波抵抗の低減を目的とした船首バルブ形状は建造にあたりぎょう鉄等の加工難易度の高い作業があるため、熟練技術者の大量退職による技術伝承等の課題を抱えた造船現場では、推進性能と作りやすさのバランスが問題となっている。海技研では、推進性能が評価できるCFDソフトウェア⁹⁾と船体外板の工作性（難易度）が評価出来る曲率線展開プログラム⁸⁾を開発しており、これらのソフトウェアを組み合わせることでこの船首バルブ部設計にシステム単独の解析では得られない新たな付加価値が提供できる。

図3は船首バルブ形状を変形させた場合の15年生涯燃費の比較である。横軸は船型変形の変数で大きくなるほど船首バルブも大きくなる。これらの船型群から生涯燃費で約1,000万円の差があるSHIP_01とSHIP_02を抽出し、図4のような外板板割り（外板ランディング）を実施した上で海技研の曲率線展開プログラムの評価結果をもとに外板の工作難易度を評価した。なお、生涯燃料費の試算にあたり、次の数値を仮定した。主機の燃費率（SFC）：160.4 g/kWh；C重油比重：0.935；C重油価格：47,417 円/kl（一定値）；年間の稼働日：300 日/年；稼働年数：15 年。

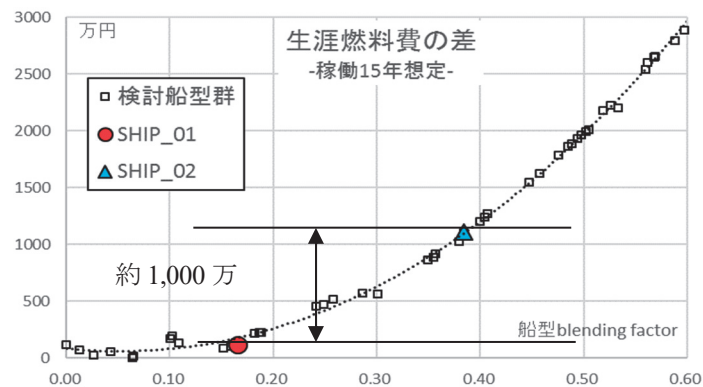


図3 船首バルブ形状を変更した場合の生涯燃費の比較

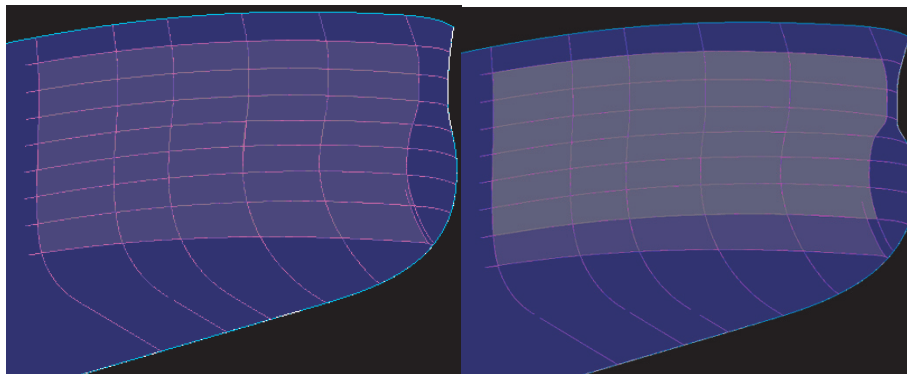


図4 SHIP_01（左）とSHIP_02（右）の船首外板板割りの例

図5は曲率線展開プログラムの結果を基に算定した外板曲げ加工の難易度である。この横軸：法曲率（Normal curvature）の最大値；縦軸：ガウス曲率（Gaussian curvature）で、法曲率は板の曲りの大きさに関連し値が大きいほど工数を要することを示し、ガウス曲率は非可展度の指標であり値が大きいほどガス加熱による施工割合が高い（加工難度が高い）ことを示す。このため、この2次元プロットにおいて原点から遠い領域に位置する外板は、加工の難度が高いと推測される。SHIP_01とSHIP_02とを比べると、SHIP_01の方がより加工難度の高い板を含んでいる（プロットの右上部）。これは、船型の変更により板曲げ加工の生産性にも差が生じることを示す。図6に図5中AとBの板のプレス線（緑色）とガス加熱線（黄色）を示す。板Aの方がより曲率

が大きくかつ曲がりの複雑なプレス線及びガス加熱線を示しており加工難易度が高いと推測され、その結果が図6に表れていることが分かる。

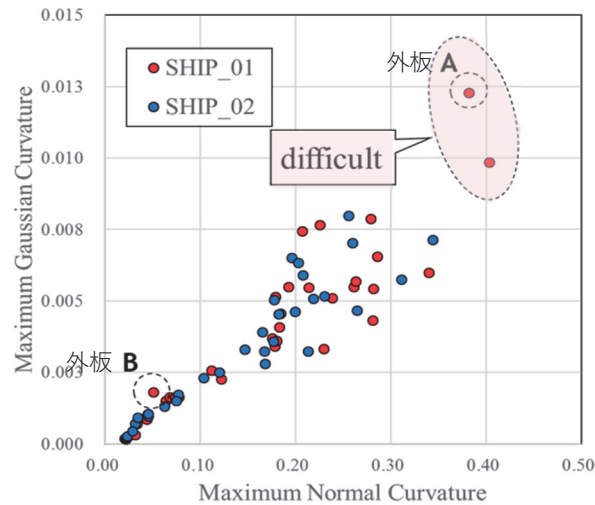


図5 SHIP_01 と SHIP_02 の外板の工作難易度の評価例

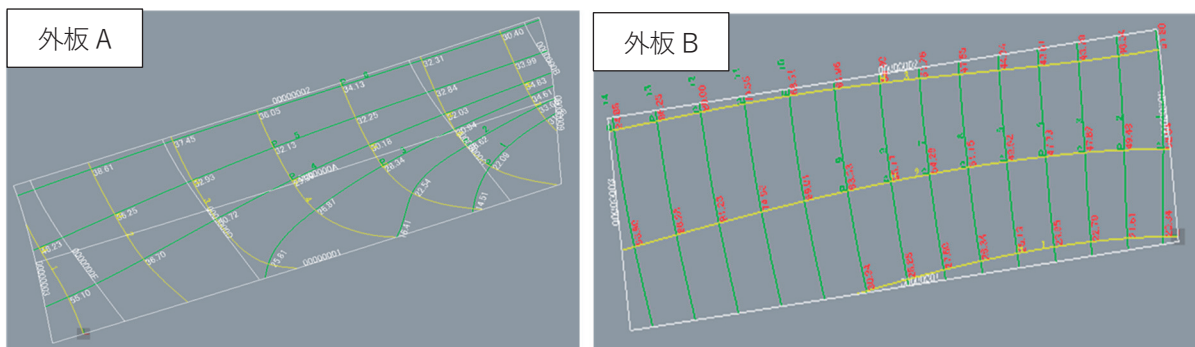


図6 外板 A,B のプレス線（緑色）とガス加熱線（黄色）

推進性能の評価結果である図3と生産性の評価結果である図5を比較すると、SHIP_01は推進性能が良好であるが、SHIP_02に対して生産性が悪く、推進性能と生産性との間にトレードオフ関係が成り立っていることが分かる。今回の例ではぎょう鉄の生産性の評価について造船所の実績データ等から検討できる原単位（作業者は装置の能力値）の算定に至っていないため、推進性能と生産性の直接のコスト比較までは実施できていないが、生涯燃料費約1,000万円の差に対して外板曲げの加工難易度が高く、熟練の職人に担当させるべきと推測される外板の有無が定量的に評価できた。

これらの結果から開発中の推進性能と生産性との一貫評価システムは、熟練職人の不足が問題となっている造船業の経営に対して、極めて有効であると考ええる。また、本研究で提案している研究アプローチ（アイデア）は、造船所設計部門の意見としても、極めて重要な観点であるという認識を得ている。なお、本報告では生産性としてぎょう鉄のみの評価結果を報告しているが、プロジェクトではその他にも生産性や鋼材重量に寄与する項目として、構造部材の配置や板割り等についても推進/構造/生産性の同時最適化の観点から検討していることを付記する。

4. まとめ

海技研ではICT、AI技術の急速な普及等による新しい造船設計システム検討の動きを踏まえ、船型設計の内建

造コスト削減効果が特に高い初期設計検討に着目し、初期設計において船体形状、配置、流体性能、構造、生産性を一貫して評価する設計システムを引き続き開発していく予定である。このプロジェクトでは、海技研が海事関係の総合研究所としてこれまで開発してきた流体、構造、生産のそれぞれの評価プログラムを統合することで、単独では実現しなかった新たな付加価値を生み出すことを目的としており、本報告では現在開発中のシステムの一部についてその使用事例を示し、これらの全体最適設計システムの有効性についてその概要を紹介した。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K06975（基盤研究 C）の助成により実施したものであり、関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会：昭和 63 年度 SR210 新世代における船舶の設計・建造及び保全技術に関する調査研究報告書，(1989) 。
- 2) 稗方和夫 他：造船と情報システム開発におけるフロントローディング，日本船舶海洋工学会誌，第 46 号，(2013)，pp.28-35.
- 3) 岡本晃：これまでの造船設計生産システム研究について（第 1 報）（第 2 報），日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 29 号，(2019)。
- 4) EU HOISHIP Project, <http://www.holiship.eu>.
- 5) Ichinose, Y., Tahara, Y., Takami, T., Kaneko, A., Masui, T., Arai, D. : A Study of Multi-objective Optimization for Propulsion Performance and Cargo Capacity, Proceedings of the 14th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, (2019).
- 6) 平田信行, 田原裕介, 大橋訓英, 小林寛, 小野寺直幸：船型設計用 CFD ソフトウェア，海上技術安全研究所報告，第 15 巻第 4 号，(2015)，pp.395-406.
- 7) 一ノ瀬康雄, 藤本修平, 田原裕介, 松尾宏平：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，第 25 号，(2017) , pp.633-635.
- 8) 松尾宏平, 藤本修平：曲率線展開システム及びプレス施工支援システム，海上技術安全研究所報告，第 15 巻第 4 号，(2015)，pp.471-485.