

PS-7 機械学習を活用した船尾流場推定手法と伴流設計システム

流体設計系 * 一ノ瀬 康雄、産業システム系 谷口 智之

1. はじめに

海上技術安全研究所では、機械学習技術を船型設計に活用するための研究を実施している。この研究における機械学習技術活用の効果には次の2つがある。

1. 性能推定に係る時間（主に計算時間）の大幅低減
2. データベースに基づく船型提案

1, 2 の効果により、設計期間の短縮、検討設計案の増加に伴う性能向上などが期待できる。

機械学習技術の船型設計への応用は、第2次 AI ブームの影響を受けた 2000 年前後にも行われていた。これらの研究と本研究の主な違いは、処理するデータ規模にある。2000 年当時、これらの研究で処理されていた推進性能データは所用馬力や造波抵抗係数などで数種類の性能データであったが、本研究では CFD（数値流体力学）で算定された数百点の流場情報となっている。また、船型形状についても船型を代表する数種類の船型パラメータから、船体の 3 次元形状自体を数万次元のデータとして処理するものとなっており、データの規模とその次元が大きくなっている。（図-1）

本稿では、現在海技研で開発している2つの手法についてその概要を紹介する。

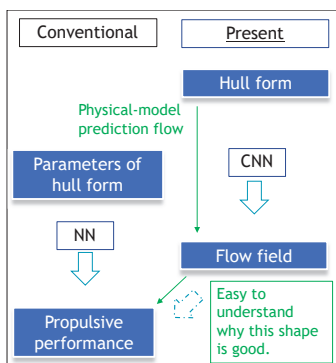


図-1 従来手法（主に 2000 年代）と提案手法の違い

2. 船尾流場推定手法

性能推定に係る計算時間の大幅低減（約 10 時間が 0.001 秒程度）することが可能な船尾流場推定手法の概要を紹介する。

本手法ではデータベースにないデータの予測性能（汎化性能）の向上を目的に、画像解析で用いられている Convolutional Neural Network (CNN) を活用している。従来、性能に影響が大きく出る船型パラメータを表す船型デー

タの特徴量は、線形造波抵抗理論等に基づき事前に定められ、その数は多くても数十程度に限定されていた。一方、CNN ではデータ自体から特徴量を直接抽出することが可能であり、従来よりも飛躍的に推定精度を向上させられる可能性がある。

CNN を推進性能推定に適用するための課題は2つある。1 つは大規模データベースが必要であること。2 つ目は、CNN に適した船体曲面の3次元形状の表現方法である。

課題1を解決するため、本研究では船型ブレンディング手法¹⁾を活用した数千〜数万規模の大規模な CFD データベースを構築することとして、現在もデータベースを拡張している。また、課題2については海技研で開発した Image-based Hull form Representation (IHR)²⁾ という図-2 に示す3次元形状を2次元画像データに置き換える手法を開発している。

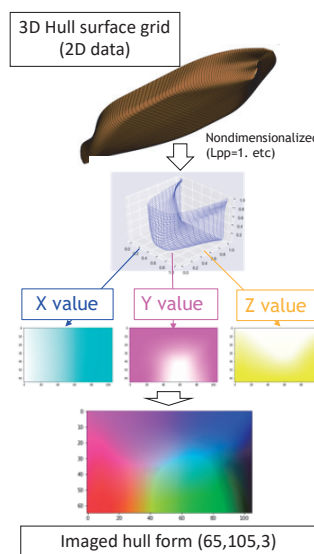


図-2 CNN に適した船体表現手法（IHR）の概要

提案手法の検証のため、749 総トン型内航一般貨物船の 2,730 隻の船型データベース（1947 隻を学習データ、253 隻を検証データ、530 隻をテストデータ）を対象に図-3 に示す CNN モデルを構築し、推定精度の事前検証を行った。

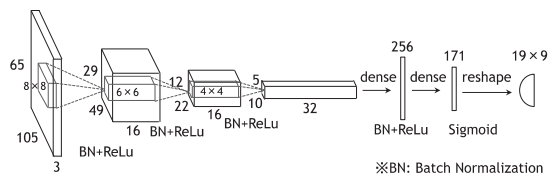


図-3 従来手法（主に 2000 年代）と提案手法の違い

図-4 に推定結果として、プロペラ面のセンターライン上の軸方向速度の CNN モデルと元データ（CFD 計算結果）の比較図を示す。元となるデータベースは C_p カーブ、船尾プロファイル、フレームラインを通常の設計範囲を大きく逸脱する範囲まで含めたデータベースとなっているが、推定結果は実用上十分な精度で伴流場を推定できていると評価できる。

今後は瘦型船型など様々な船型への適用拡大を図る予定としている。

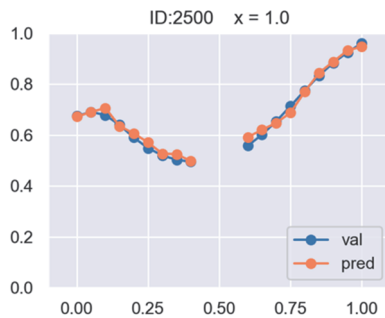


図-4 提案手法の推定結果 (pred) と CFD 推定 (val) の比較

3. 伴流設計システム

一方、船型データベースは通常 CFD が行う船型形状から流場を推定することとは逆の、理想的な流場からそれを実現する船型を提案することが可能である。

これを実現する手法として海技研で開発しているのが、図-5 に示す伴流設計システムである。このシステムでは理想伴流を与えるとデータベースから理想伴流に近い伴流を類似度（伴流同士のユークリッド距離で評価・選定）し、さらに類似度に応じてデータベース上の複数の船型を船型ブレンディングし、船型データベースにはない新たな船型を生成することで、理想伴流をもつ船型を提案できる。

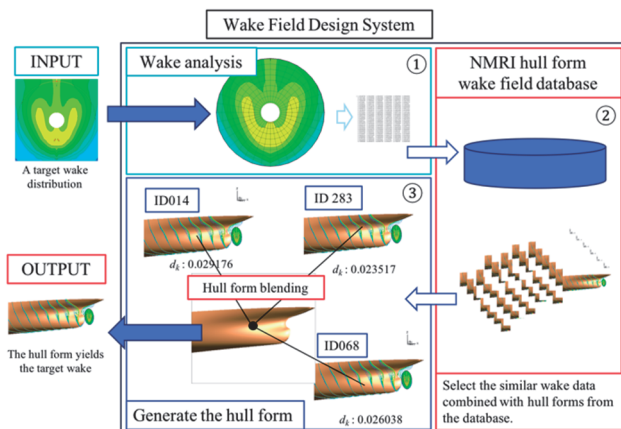


図-5 伴流設計システムの概要図

伴流設計システムの実用性の検証として、ダクトに適した伴流を持つ船型を設計し、水槽試験によりその効果を検証した。（図-6）

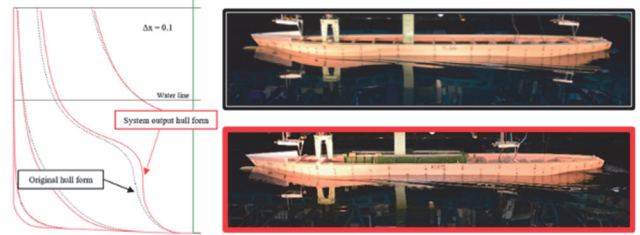


図-6 伴流設計システムの実用化検証（船型比較）

図-7 に元船型のダクト未装備の状態を基準とした省エネ効果（同一船速の必要馬力の比）を示す。伴流設計システムの出船型は、ダクト無し状態では性能が 0.4% 悪化するものの、ダクトの省エネ効果が 4.1% と高いため、元船型のダクト付きと比較しても 2.2% 省エネとなる船型を設計できていることがわかる。

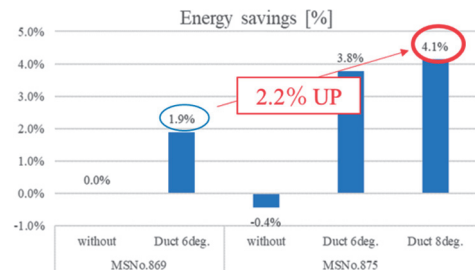


図-7 伴流設計システムの効果（ダクト型省エネ付加物の効果向上）

4. まとめ

本稿では、現在海技研で開発している機械学習技術を船型設計に活用するための 2 つの手法について、その概要を紹介した。1 つ目の船尾流場推定手法は、性能推定に係る時間（主に計算時間）の大幅低減を実現し、また 2 つ目の伴流設計システムは、データベースに基づく新たな船型提案が可能である。これらの手法により、設計期間の短縮、検討設計案の増加に伴う性能向上が可能である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K04954 の助成を受けたものです。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Ichinose, Y. and Tahara, Y.: A wake field design system utilizing a database analysis to enhance the performance of energy saving devices and propeller, Journal of Marine Science and Technology, 24, (2019), pp.1119-1133.
- 2) 谷口智之、一ノ瀬康雄：機械学習に基づく船尾流場推定法に関する検討，第 34 回人工知能学会全国大会講演論文集，(2020)。