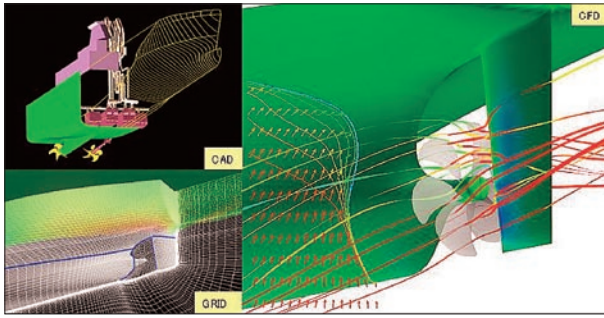


CFD を用いた船型改良技術について —造波抵抗低減と推進効率の向上—

Ship Design Technology with CFD -Improvement of Propulsive Performance-

西 垣 亮*¹ 佐 藤 圭*¹
Makoto Nishigaki Kei Sato

石 川 暁*²
Satoru Ishikawa



数値流体力学 (CFD) の進歩に伴い、船型設計にも CFD が性能予測ツールとして活用されるようになってきた。特に、自由表面を精度良くとらえることのできる計算コードに、マルチブロック格子法を組み合わせることで、複雑な船尾形状を有する船舶の推進性能をより高精度で推定可能となってきた。当社では、この CFD 技術を、CAD 並びに模型試験や実船試験のデータベースと統合し、“よりよい設計”を実現する船型設計支援システムを構築した。本報では、その概要並びに適用例を報告する。また、船尾の複雑な形状への CFD 適用の試みとして、複合推進器と性能向上デバイスの検討例も併せて紹介する。

1. はじめに

数値流体力学 (CFD) 技術の進展により、自動車、航空機、ロケットなどと同様、船舶の推進性能予測の分野においても、水槽試験や実船試験結果のデータベースと組み合わせることで実用上十分な精度が確保できるようになり、船舶の初期設計のステージにおいて性能評価に活用されるようになってきた。一方、船舶の設計用の CAD 技術が整備され、船体形状の生成・変更が短時間で実現可能となってきた。また、並列計算機が整備され大量の計算を効率的に実施できる環境が整備されつつある。そこで、当社では、これら3つの技術、すなわち、CFD・CAD・並列計算技術を統合することで、系統的に形状を変更した多数の船型の中から短時間に効率的に性能の優れた船型を抽出することができる船型設計支援システムを構築した。以下、当社の船型設計の現場における同システムの適用例について説明する。

2. CFD 技術の船型開発への適用

2.1 船型設計支援システム

当社では、図1に示すような CAD 技術と CFD 技術を組み合わせた船型設計支援システムを構築した。まず、要求仕様に基づき、初期計画として、データベースから適切な母船型を抽出し、これを元に船型 CAD による船体形状設計を行う。続いて、設計戦略に基づく系統的な形状変更を実施し、多数の船型を創出する。

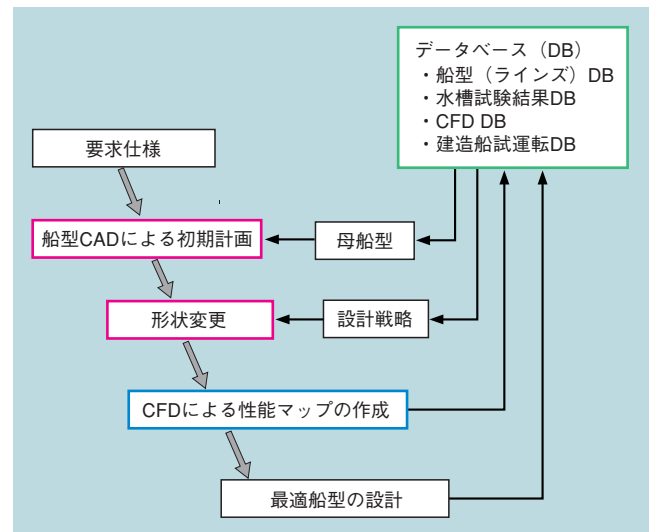


図1 船型 CAD/CFD による設計支援システム
船型 CAD と CFD をデータベースと組み合わせ、性能の優れた船型を抽出する。

これらに対し、並列計算機を用いて CFD 解析を行い、その結果を性能評価マップとして整理する。設計者は、このマップに基づき、最適船型の設計を進めていくことになる。これら各プロセスは、船型、水槽試験、CFD、建造船試運転結果のデータベースと連結されており、母船型の選定や設計戦略の立案、性能評価における精度確保などを容易なものとしている。このような船型設計支援システムを用いることで、性能の優れた船型を効率的に抽出可能となり、船型開発期間の大幅短縮を実現した。

*¹ 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究室

*² 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究室主席

2.2 CFD 計算法

CFD 計算法は、物体の周囲に生成した計算格子を用いて Navier-Stokes 方程式を数値的に解く手法で、物体周りの流場や物体に作用する流体力などを計算することが出来る。船舶の CFD では、自由表面の造波現象、並びに船尾に配置されるプロペラの影響を考慮する必要がある。このような手法として、当社では、マルチブロック格子法を用いて RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 方程式を解く計算コード、FS-MINTS (Flow Solver of Mitsubishi Numerical Tank System) を開発した⁽¹⁾⁽²⁾。

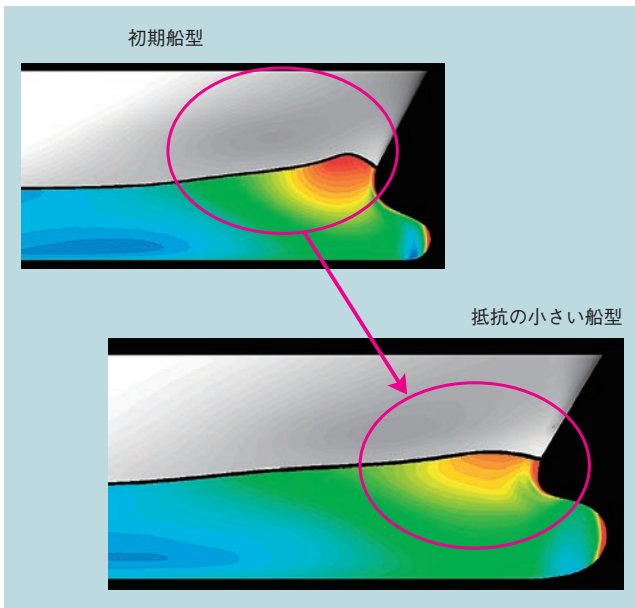


図2 抵抗の小さい船型への改良
CFD 計算を用いて、船首の波が穏やかな、ひいては造波抵抗が小さくなるような船型へ改良する。

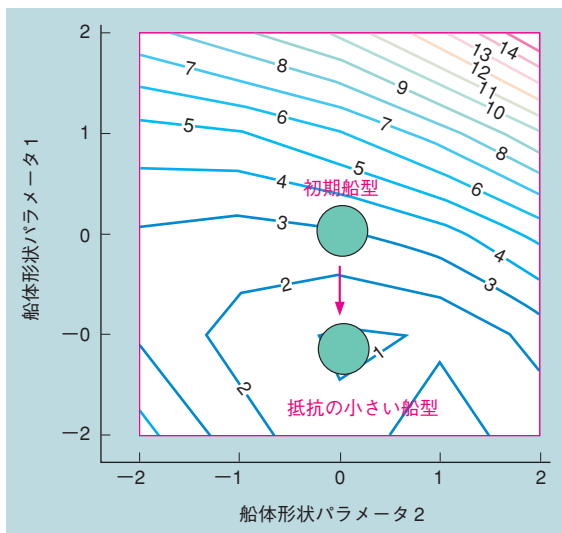


図3 性能評価マップ
船体形状パラメータを網羅的に変更した計算結果をマップに整理し、船型改良の方向性を評価する。

2.3 造波抵抗が低減する船型の探索

船舶の推進性能を決める要素は、通常、船体抵抗と推進効率に分けて整理される。このうち、船体抵抗の低減に関しては、図2のように、船体から発生する波の凹凸や船体表面の圧力分布の場所による変化に注目し、これらが小さくなるような船型の探索を行う。実際には、船体抵抗に影響する船型パラメータを抽出し、これらを網羅的に変更した CFD 計算を行うことで、図3のような性能評価マップを作成し、船型改良の方向性を評価している。その際、図4のような船型並びにその周囲の格子を自動的に変更する機能を開発し、これを活用することで、効率的な船型の探索を実現した。このような手法によって、多くの船型を効率的に評価しながら、船体抵抗の小さい船型を設計できるようになった。

2.4 推進効率が向上する船型の探索

船舶の推進性能を決めるもう一つの要素である推進効率は、図5のように、自航状態にある（プロペラを考慮した）舵付きの船体周りの流場計算を行って評価する。推進効率を考慮し、必要馬力の小さくなる船型を探索した例を図6に示す。A, B, C, Dの4船型は、船尾形状を変更したものである。抵抗が最も小さいの

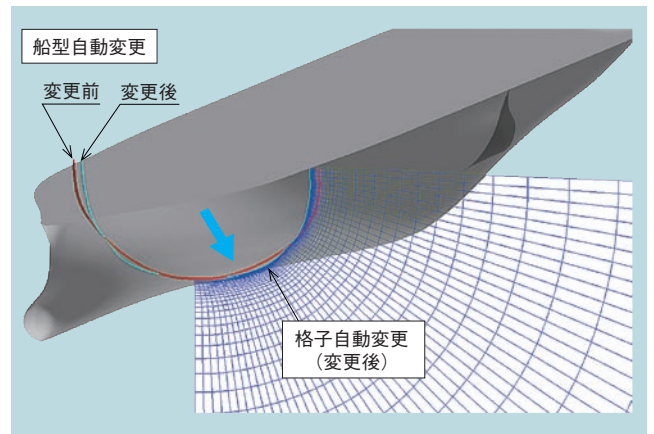


図4 船型自動変更機能のイメージ
船型変更に応じて周囲の計算格子を変形させる。

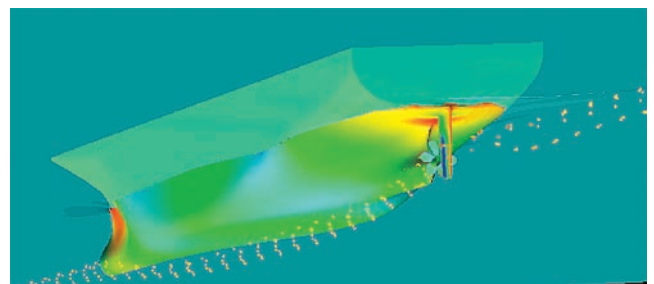


図5 自航状態にある舵付き船体周りの流場計算
プロペラを動作させて推力が抵抗とバランスする状態、すなわち自航している状態の計算を示す。

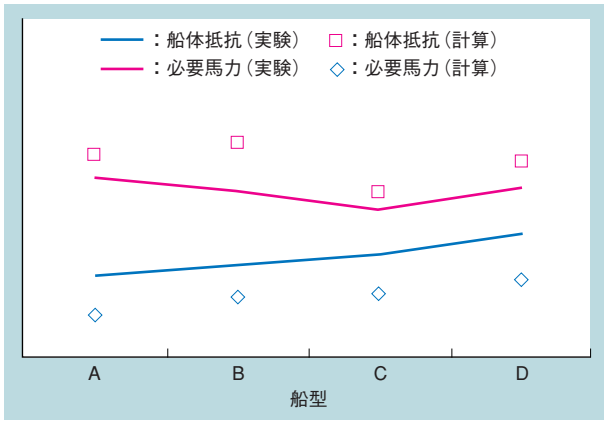


図6 必要馬力の推定結果比較
抵抗は船型 A が、必要馬力は船型 C が最も小さい。
この傾向を計算でも正しく評価できている。

は A 船型であるが、推進効率まで考慮すると、必要馬力が最も小さいのは C 船型となる。すなわち、抵抗最小船型が必ずしも必要馬力最小の船型とはならないので問題が複雑である。これらの傾向は CFD で精度良く推定できている。すなわち、設計の初期ステージにおいて、CFD で多数の船型の抵抗性能・推進効率を実用的な推定精度で効率的に評価しながら、必要馬力の小さい船型が設計できるようになったといえる。

3. 船尾の複雑形状への適用の試み

3.1 複合推進器 CRP POD 推進の性能評価

マルチブロック格子法により、船尾の複雑形状を正確に表現して CFD 計算を行うことが可能である。一例として、CRP POD 推進システムの性能推定に CFD を用いた状況⁽³⁾について述べる。

図7のように、主船体と POD 本体とを考慮したマルチブロック計算格子を作成し、ここに主プロペラと POD プロペラが2重反転状態で作動する状況を、BFP (Body Force Panel) として与えて計算を実施

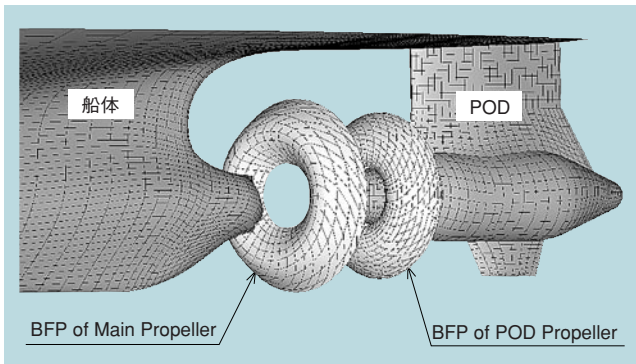


図7 CRP POD 推進システムの CFD 計算モデル
主及び POD プロペラが2重反転状態で作動して自航する様子を計算する。

した。

主及び POD プロペラの推力係数 K_T 、トルク係数 K_Q を実験と比較して図8に示す。主プロペラについては、計算と実験が良い一致を示している。POD プロペラについては計算値がやや小さいが、水槽試験結果との差を用いた修正を施せば、本船のプロペラ設計に適用する上で十分な精度を有している。つまり、本手法によりこのような複合推進器を採用した船舶の性能評価にも対応できることが確認できた。

3.2 リアクションフィンへの適用

リアクションフィンとは、プロペラ前方に設置され、回転流を回収して推進効率の向上を図る装置である。これを対象に、図9のように、リアクションフィンの形状や取付角を正確に考慮した格子を作成して CFD 計算を行った。図10に、フィン有り及び無しの場合にプロペラ面に入る流れを示す。フィンによって、プロペラ回転方向と逆方向の流れが作られている。さらに、必要馬力を図11に比較して示す。リアクション

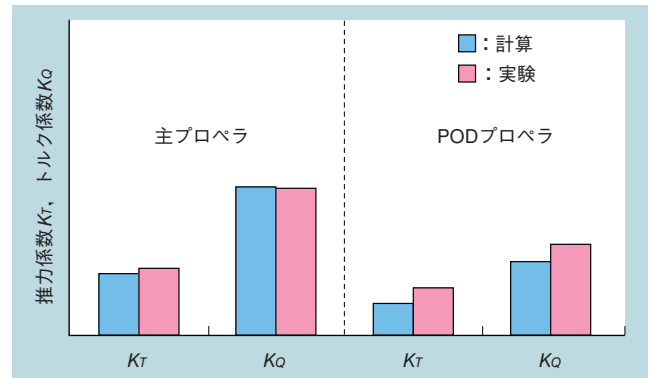


図8 主及び POD プロペラの推力・トルク係数の推定精度
特に主プロペラで、計算が実験を精度良く推定できている。

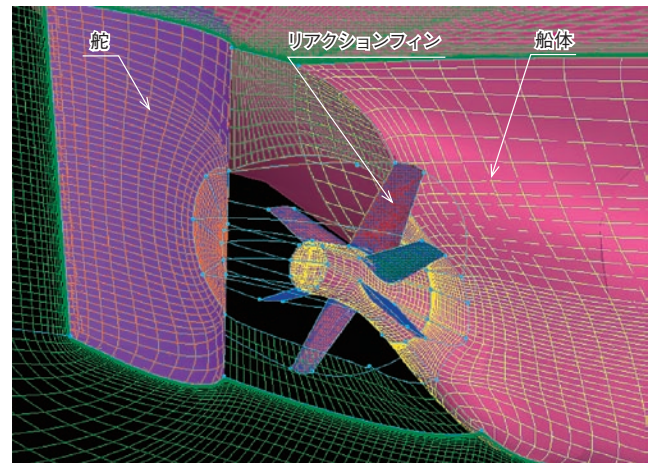
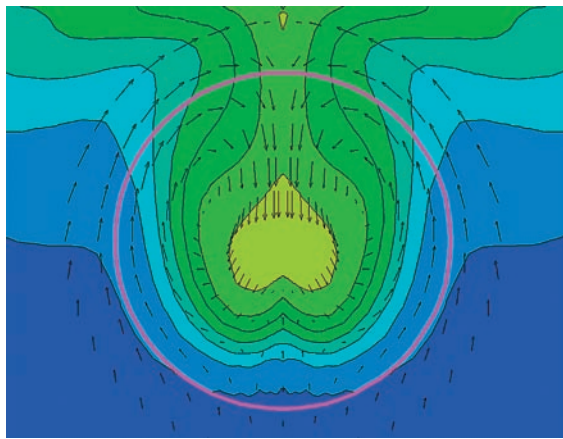
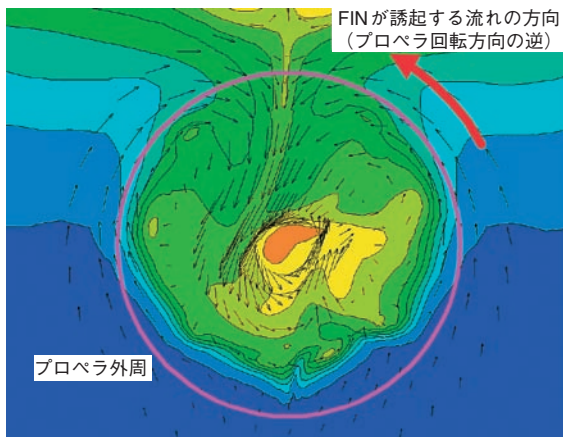


図9 リアクションフィン付き計算格子
マルチブロック法を駆使することでフィン形状や取付角を正確にモデル化することができる。



リアクションフィン無し



リアクションフィン有り

図 10 リアクションフィン有無によるプロペラ面流入流場の違いの推定
リアクションフィンによりプロペラの回転（右回り）と逆方向の回転流が与えられている。

フィンを装着することで推進馬力が低減する様子が計算でも捉えられている。以上から、このような形状が複雑な性能向上デバイスによる性能改善の評価にも本手法を適用できると考えられる。

4. ま と め

以上述べたように、当社では、船体抵抗ならびに推進効率に優れた、すなわち必要馬力の小さい船型を、網羅的かつ効率的に探索できる、CFDをベースとした設計支援システムを構築した。本手法は、初期設計のステージにおける船型計画に適用する上で十分な精

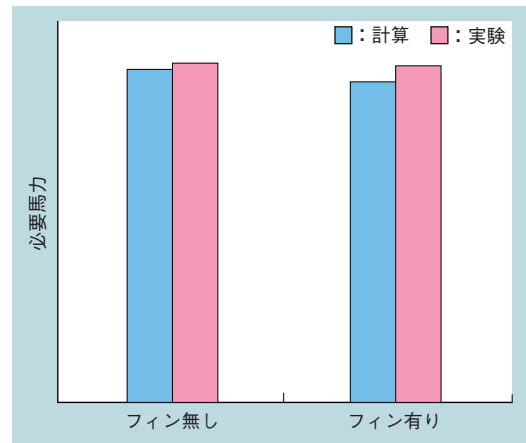


図 11 リアクションフィン付き自航計算による推定必要馬力の実験との比較
リアクションフィンによる必要馬力低減傾向を CFD でも評価できている。

度と計算効率を有しており、推進性能の優れた船型の設計に積極的に活用されている。さらに、CRP POD 推進システムやリアクションフィンなどによる性能改善の検討にも CFD の適用範囲を拡大した。このような船尾複雑形状を対象とした計算の実用化に向け、今後、更なる精度向上の努力を行っていく。

参 考 文 献

- (1) 高田憲尚, マルチブロック格子法によるトランサム船尾周りの造波粘性流場計算, 日本造船学会論文集第 190 号 (2001) p.13
- (2) 高田憲尚ほか, 自航状態にある舵付き実用船型周りの造波流場計算, 日本造船学会論文集第 192 号 (2002) p.63
- (3) 大島明ほか, ハイブリッド型 CRP ボッド推進高速フェリー, 日本造船学会講演会論文集第 5 号 (2005)



西垣亮



佐藤圭



石川暁