

SBD の概念に基づく船型設計のための 統合的な設計環境の開発

CFD 研究開発センター *小林 寛、平田 信行

1. 緒言

SBD(Simulation Based Design) とは、一般的には、「製品を製造する前に仮想の製品を試作し、様々な角度から仮想製品に検討を加え、すなわちシミュレーションを行って出来上がりの予想を立て、設計品質、コスト、製造工程等の改善に貢献することを目的とする設計手法¹⁾」である。

船舶分野における SBD システムとは、データベース上に構築されている統合的なプロダクトモデルに対して、性能設計・構造設計・製造・運航などをシミュレーションによりコンカレントに評価し、その結果を統合してプロダクトモデルに反映する設計システム^{2),3)}である。

このようなシステムには、個々の要素技術として、船型設計 (CAD)、シミュレーションプログラム (ストリップ法、CFD、構造解析、運航シミュレーション等)、可視化技術、データ共有のフレームワークなどが必要であり、かつそれらがシームレスに操作可能であることが要求される。また、シミュレーションプログラムは、実際の事象を精度良く推定できるものでなくてはならない。当研究所では、実海域運航性能の向上を追求したシミュレーション指向型の新しい船型設計手段開発のプロトタイプとして、耐航性計算や CFD を用いた船型最適化に関する研究を進めてきた。³⁾

本研究では、船舶設計に於ける SBD の中で流力性能設計の部分に着眼した。図-1 に、SBD システム全体の中の流力性能設計の部分の位置づけを示す。流力性能推定ツールの結果を基にした船型の改良を行うためには、流力シミュレーション技術を平易に扱うことができる統合的な操作環境が不可欠である。今回、統合的な設計環境の実現に向けて、雛形となる設計環境を開発し、有効性を確認した。

2. 統合的な性能設計環境

船舶の推進性能や耐航性能の解析・推定方法は、非常に数多く存在し、ストリップ法や CFD はその中でも代表的なものである。性能推定の段階においてそれらのツールを使用する場合、各々のプログラムについて

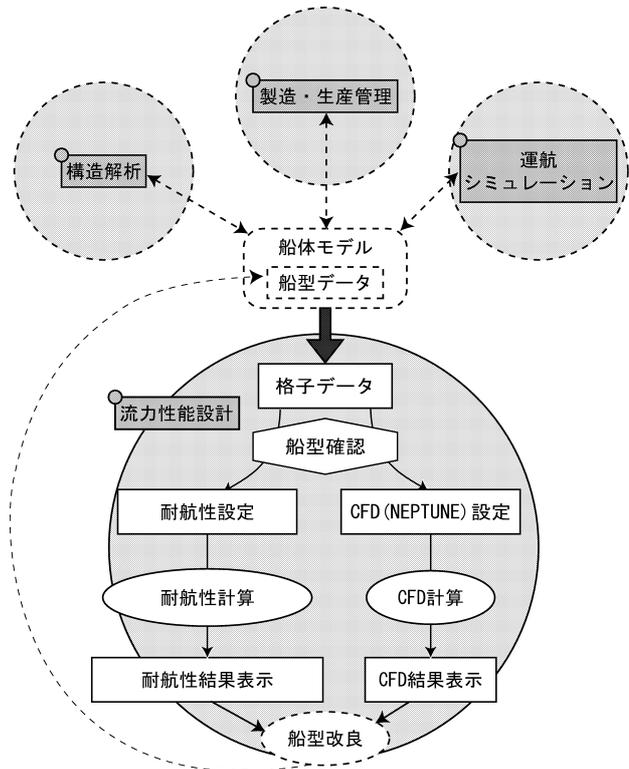


図-1 SBD システムに於ける今回のシステムの位置付け

パラメータの設定方法やデータ入力形式の相違などにより、余分な手間が発生し工数の増加につながることも多い。

この問題を解決するためには、対象船型およびそれに対する性能推定計算を一元管理できる環境が必要である。ソフトウェア開発の場合は、ソースコードの記述・管理、コンパイル、デバッグ、動作テスト、デプロイメントまで、IDE(Integrated Development Environment) と称されるソフトウェア開発環境を用いることで、統合的に扱えるような環境が常用されている。船型設計に於いても、同様な設計開発環境が有用であると考えられる。

3. システムの概要 —パラメータ設定—

本研究では、船型の格子データが存在する状態で、

- 耐航性計算 (ストリップ法⁴)を用いた船体運動および STF 法による抵抗増加
- 推進性能計算 (CFD(NEPTUNE⁵) コードによる)

の二つについて、計算条件の設定・計算の実行および結果の表示までを管理できるシステムを開発した。

格子データは NEPTUNE 形式のものを採用し、同一の格子データで耐航性計算も CFD による計算も行うことができる。図- 1 の「流力性能設計」部分が本システムの概要構成を示している。

3. 1 船型確認

計算を行う前に船型が確認できるように、船体形状を 3D 描画し、任意の視点から対象船型を見られるようにした。図- 2 は、2 軸の高速フェリーを図示 (左舷のみ) した例である。

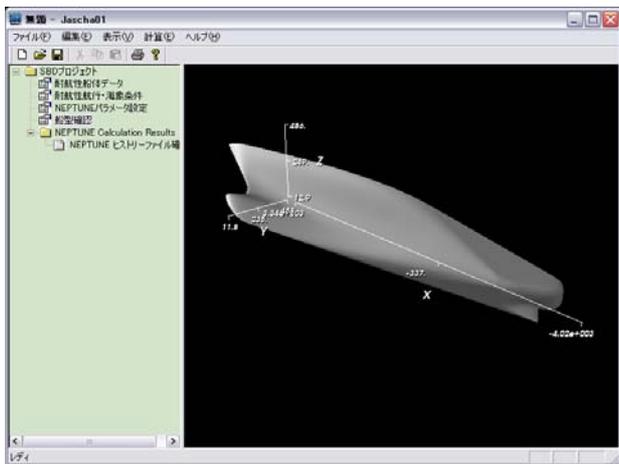


図- 2 船体形状の 3D 表示

3. 2 耐航性計算

ストリップ法による波浪中船体動揺の計算を行う場合は、非常に多くの計算条件を入力する必要がある。今回は、計算条件を船体に関する設定と航行・海象条件に関する設定の 2 つのカテゴリーに分けて、異なる画面で設定を行うようにした。船体に関する設定と航行・海象条件に関する設定の区分を以下に示す。

船体に関するパラメータ 重心位置や慣動半径など。

航行・海象条件に関するパラメータ フルード数、出会う角の範囲、 λ/L 、波周期、有義波高など。

それぞれの設定画面を図- 3, 4 に示す。

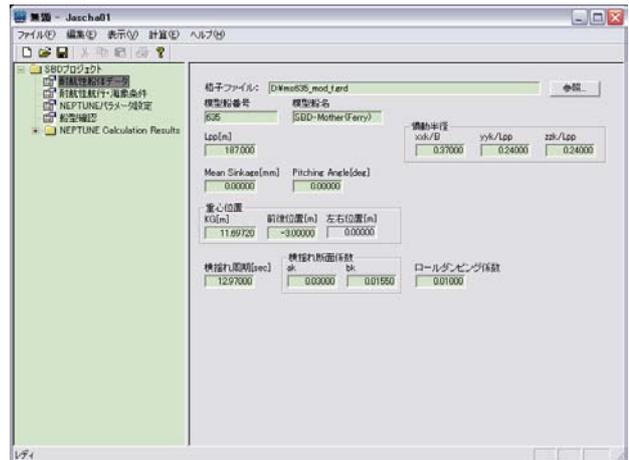


図- 3 船体に関する設定入力画面

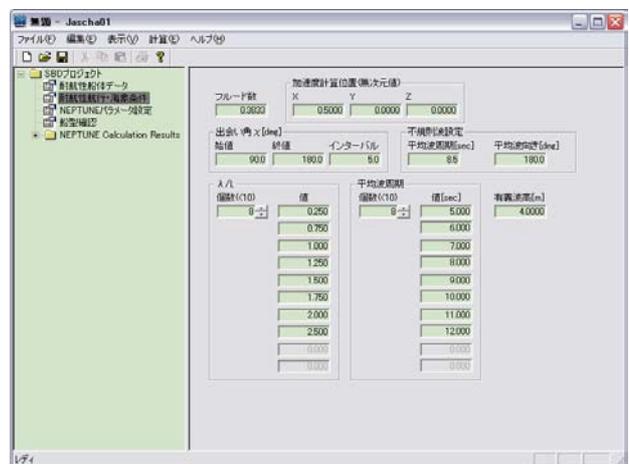


図- 4 航行・海象条件に関する設定入力画面

3. 3 CFD 計算

CFD 計算を行う NEPTUNE コードは、当初で開発された Navier-Stokes ソルバーであり、高速計算が可能なおこと、および計算結果が水槽試験と良い相関を持っていることなどが特徴で、現在 GUI(Graphical User Interface) である NeptuneBoard とともに、有償で販売されている。

今回のシステムでは、NeptuneBoard とほぼ同じユーザインターフェースで NEPTUNE の計算パラメータの設定を行えるようにした。パラメータの設定画面を図- 5 に示す。

4. システムの概要 — 計算の実行 —

計算の実行は、耐航性・CFD いずれについても、メニューバーより該当する計算を選択することで実行され、計算状況をコマンドプロンプトウィンドウにて確認することができる。なお、CFD 計算については、計



図- 5 NEPTUNE コントロールパラメータ設定画面

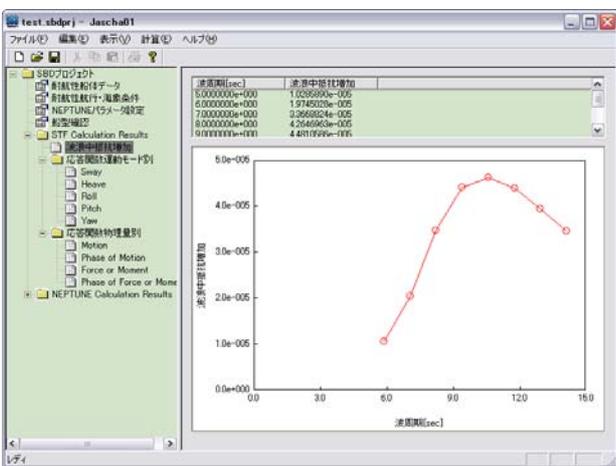


図- 6 波浪中抵抗増加の表示

算時間が長時間に渡ることが多いため、計算プログラムは GUI とは別プロセスで実行されるようにし、計算中も本 GUI プログラムを操作可能にした。

5. システムの概要 — 計算結果の確認 —

5. 1 耐航性計算結果

耐航性計算の結果である波浪中抵抗増加と船体動揺の結果が、データの値およびグラフで図示されるようにした。

5. 1. 1 波浪中抵抗増加

波浪中抵抗増加については、波周期を横軸にプロットしている。表示例を図- 6 に示す。

5. 1. 2 船体動揺

船体動揺については、運動モードについて5つ (Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw) 、物理量につい

て4つ (運動の振幅と位相, 流体力あるいはモーメントの振幅と位相) の計算結果が得られる。これらの結果を確認する際に、

1. ある運動モードについて、運動や流体力など諸物理量の結果を確認する場合
2. 運動や流体力など諸物理量について、それぞれの運動モードの結果を確認する場合

のいずれにも対応できるように、運動モードを先に選択して結果を表示する方法 (例として、運動モードとして Heave を選択し、物理量として運動の振幅を選んだ場合を図- 7 に示す) と、逆に物理量を先に選択し、運動モードを切り替える方法 (例として流体力あるいはモーメントの振幅を選択し、運動モードとして Pitch を選んだ場合を図- 8 に示す) の両方を実装した。

また、計算を行った出会い角の範囲の中から、一部の角度範囲のみを表示することもできる。例として、出

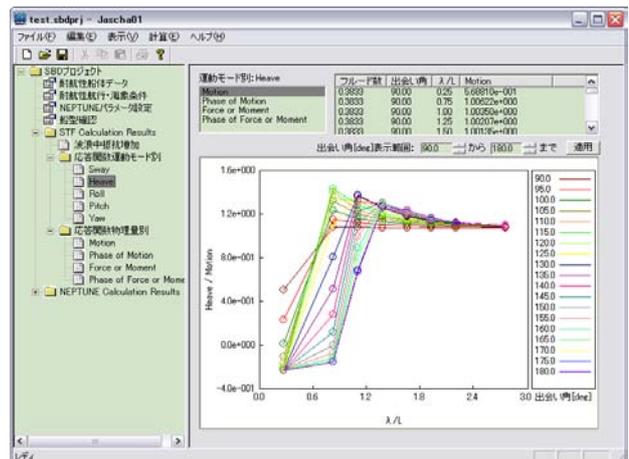


図- 7 運動モード : Heave, 運動振幅表示

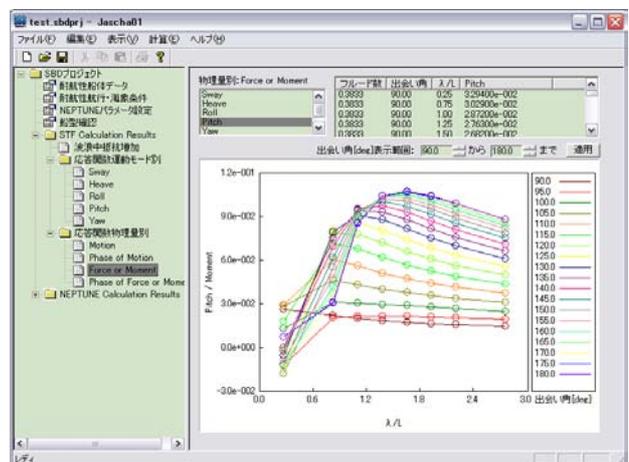


図- 8 モーメント表示, 運動モード : Pitch

会い角を $150^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で Pitch モーメントを表示したものを図-9 に示す。

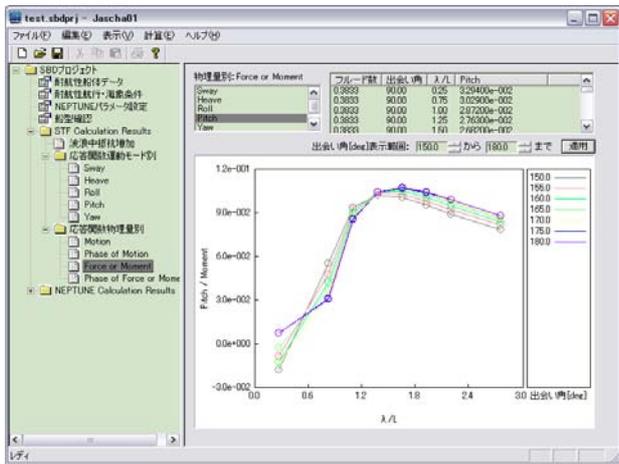


図-9 モーメント表示, 運動モード: Pitch (出会い角: $150^\circ \sim 180^\circ$)

5. 2 CFD 計算結果

CFD 計算については、計算履歴を表示する機能を付加した。既に終了した計算結果の確認だけでなく、別プロセスで実行中の計算の場合でも、途中経過を把握することが可能である。全抵抗係数 C_d 、粘性抵抗係数 C_f の履歴を表示した例を図-10 に示す。

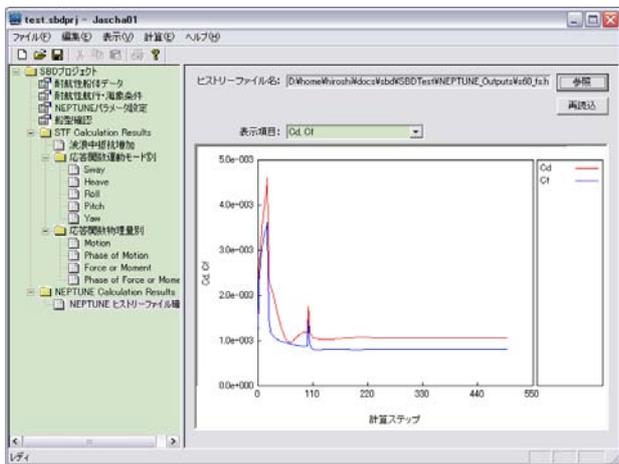


図-10 NEPTUNE 計算履歴表示: C_d, C_f

6. 結言

SBD の概念に基づく船型設計のための統合的な設計環境の雛形として、格子データから、平易にストリップ法と STF 法による耐航性計算および CFD (NEPTUNE)

による推進性能計算が行えるシステムを開発した。本システムを使用することにより、船舶の流体力学的性能を簡明に把握することができる。現段階で行える計算は、ストリップ法と CFD であるが、他の計算プログラムも使用できるように拡張することは可能である。

本システムでは、船体のモデル表現として、CFD 用の格子データを用いている。しかし、様々なシミュレーションを使用する汎用的なシステムにするには、一般的な CAD データ (NURBS やクーンズパッチなど) を適用し、そのデータから流体力学的性能推定を行えることが必要である。その際には、CAD データから計算に必要な格子データを自動的に生成する方法等が問題であり今後の技術的課題である。

また、得られた計算結果を船型設計に反映させる方法も必要である。最適化を行う場合のようにパラメトリックに船型を自動的に変形させるアルゴリズムの実装、あるいは設計者が能動的に船型の変更を行う場合は設計者が必要とする情報の提供などが考えられるが、いずれについても、設計者の方針や船種といった個々の事案に因る部分も大きく、それぞれの事案に応じたカスタマイズが必要である。

参考文献

- 1) -, “造船技術研究開発重要課題調査重要研究開発課題の動向調査 (平成 10 年度)”, 造船技術開発協議機構 (1999).
- 2) Boudreaux, J.S., “Naval Ships and Simulation Based Design”, *SNAME Trans. vol.103* (1995).
- 3) 平田信行, 日夏宗彦, 辻本勝: 高速フェリーの船型最適化, 平成 16 年度 (第 4 回) 海上技術安全研究所研究発表会講演集 p.179-182 (2004).
- 4) 高石敬史, 黒井昌明: 波浪中船体運動の実用計算法, 第 2 回耐航性に関するシンポジウム講演集 p.109 (1975).
- 5) Hirata, N. and Hino, T.: An Efficient Algorithm for Simulating Free-Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship, *JSNAJ, vol.185* (1999).