

日本船舶海洋工学会ストラテジー研究委員会
CFD 戦略研究委員会 活動報告書

2008/07

CFD 戦略研究委員会 活動報告書

目次

委員名簿	2
開催履歴	3
1 緒言	4
2 マリン CFD の技術動向	5
2.1 海外における CFD 開発プロジェクト	5
2.2 マリン CFD の現状	5
3 CFD 解析のニーズ	8
3.1 現状	8
3.2 将来ニーズ	9
4 CFD コード要求仕様	11
4.1 概要	11
4.2 流れ解析コード	11
4.3 前後処理	11
5 CFD プロジェクト運営における課題	12
6 結言	13

委員名簿

委員長 日野 孝則 海上技術安全研究所 CFD研究開発センター

事務局 伊東 章雄 (株)IHI 技術開発本部総合開発センター船舶海洋技術開発部

秋元 博路 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻

安東 潤 九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門

石川 暁 三菱重工業(株) 長崎研究所船舶・海洋研究室

箆 一之 (株)川崎造船 技術本部 基本設計部 性能開発グループ

大森 拓也 (株)IHI 技術開発本部総合開発センター船舶海洋技術開発部

柏木 正 九州大学 応用力学研究所

川村 隆文 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻

木村 校優 (株)三井造船 昭島研究所技術統括部 船舶性能開発室

新郷 将司 (財)日本造船技術センター 試験センター技術部技術課

高井 通雄 住友重機械マリンエンジニアリング(株) 営業開発本部性能開発グループ

田原 裕介 大阪府立大学大学院 工学研究科航空宇宙海洋系専攻海洋システム工学分野

戸田 保幸 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門

山崎 啓市 ユニバーサル造船(株) 技術研究所流体研究室

増田 聖始 ユニバーサル造船(株) 技術研究所流体研究室

開催履歴

第1回委員会	開催期日： 平成19年10月11日 開催場所： 日本船舶海洋工学会会議室 審議事項： (1) 委員会設立目的 (2) 委員自己紹介 (3) 事前ヒアリングについて (4) 委員会の進め方について (5) 海外でのCFD開発プロジェクトについて (6) ニーズ調査アンケートについて
第2回委員会	開催期日： 平成19年12月5日 開催場所： 日本船舶海洋工学会会議室 審議事項： (1) 前回議事録確認 (2) ニーズ調査アンケート集計結果について (3) マリンCFDの技術動向について (4) CFD解析のニーズと開発課題
第3回委員会	開催期日： 平成20年1月29日 開催場所： 日本船舶海洋工学会会議室 審議事項： (1) 前回議事録確認 (2) CFD研究開発プロジェクトについて
第4回委員会	開催期日： 平成20年2月22日 開催場所： 日本船舶海洋工学会会議室 審議事項： (1) 前回議事録確認 (2) CFDコード要求仕様について
第5回委員会	開催期日： 平成20年3月13日 開催場所： 日本船舶海洋工学会会議室 審議事項： (1) 前回議事録確認 (2) CFD研究開発プロジェクトについて (3) 今後の活動について (4) 活動報告書について

1. 緒言

近年、船の船型開発や省エネ技術の開発における流力性能評価では、水槽試験だけでなく、CFD（計算流体力学）を用いた性能検討も必要不可欠となっている。特に推進性能関係では、船型差を的確に評価する必要があることから、船体、舵、プロペラ、その他付加物を含めた検討が重要である。

CFD はこれらの船体周りの複雑形状に関する性能評価に重要なツールであり、日本国内での CFD コードとしては、（独）海上技術安全研究所（以下、海技研）の開発コード（NICE 他）や東大などの内作コードと Fluent などの汎用商用コードが用いられている。海外では、米、仏、独、伊などでは国内大学・研究機関のコードを育成し、船型開発に活用しており、これらのコードの機能レベルは、現在、海技研が公開しているコード（NEPTUNE、SURF など）を凌ぐものもある。特に、EU では、マリン CFD に関わる大規模な研究プロジェクトを継続して行っており、（FANTASTIC、EFFORTS、VIRTUE など）技術レベルの底上げによる産業競争力強化を狙っている。

一方、CFD の適用分野も、これまでの推進性能中心から、操縦性能、耐航性、衝撃問題などへ拡張され、さまざまな種類のコードが新たに提案されている。ところが、国内の開発人員は、推進性能分野では第一世代から第二世代に移っているが、第三世代は耐航性、操縦性、衝撃問題、海洋環境など新規分野に広がっている。このため、ユーザーは多いが計算モデルの詳細を把握できる研究者が減っている現状で、技術レベルを維持するには何らかの対策が必要である。

さらに、国際的な産業競争力維持の観点から、船舶分野における CFD 技術開発の現状および将来ニーズを検討し、産官学が連携した研究開発プロジェクトを立案・推進し、トップレベルを堅持する必要があることが確認された。

そこで、本戦略委員会では、CFD 解析に対するニーズを明確にし、開発項目を整理して次世代 CFD 技術の方向性を定め、これを実現するための新たにオールジャパン体制で取り組む研究開発プロジェクトを検討した。

2. マリン CFD の技術動向

2.1 海外における CFD 開発プロジェクト

近年、欧州では造船産業の活性化を意図した技術開発が活発であり、マリン CFD に関しても、以下に示すようないくつかの EU プロジェクトが実施された。いずれも多国間の共同研究で、複数の研究機関、大学、企業が参加している。プロジェクトの詳細は公開されていないが、開発の概要は以下の通りと思われる。

1) FANTASTIC (2000–2003)

(Functional Design and Optimisation of Ship Hull Forms)

CFD ベースの船型最適化手法の研究であり、CAD と CFD の結合、CFD と最適化手法のリンクなどが研究された。

2) EFFORT (2002–2004)

(European Full-scale Flow Research and Technology)

実船スケールの流場に関する CFD 解析の研究であり、いくつかの船種について実船計測が行われ、CFD 計算との比較検証が実施された。

3) VIRTUE (2005–2008)

(The Virtual Tank Utility in Europe)

CFD ツールの機能向上と統合化の研究であり、現在も進行中である。ここでは、数値水槽として、曳航水槽、耐航性能水槽、操縦性能水槽、キャビテーション水槽の 4 種類のシミュレーション技術を開発し、さらにそれらを統合したプラットフォームを提供する計画となっている。

一方、米国では海軍研究局 (Office of Naval Research) の主導で、マリン CFD 関係へ積極的な研究投資が行われている。特にアイオワ大学水理学研究所 (IHR) において活発な研究開発活動が見られる。また、テネシー大学やミシシッピ大学でも広い範囲で CFD の研究が行われており、マリン分野へのアプリケーションも数多く見られる。

2.2 マリン CFD の現状

各国で開発されているマリン分野の NS ソルバーの機能比較を表 2-1 に示す。なお、商用コードは含まれていない。基本的な船体抵抗計算に関してはどの手法も適用可能なので省略したが、船尾伴流の推定精度は組み込まれた乱流モデルに大きく依存し、自航計算に必要なプロペラモデルもソルバー毎に異なっている。

表 2-1 NS ソルバーの機能比較

国	機関	コード	複雑形状	自由表面	非定常操縦運動	波浪中運動
米	Iowa大学	CFDSHIP-IOWA	オーバーセット	レベルセット	○	○
米	Tennessee大学	Tenasi	非構造格子	レベルセット	○	
米	Mississippi大学	UNCLE	マルチブロック	適合格子	○	
米	Mississippi大学	U2NCLE	非構造格子	VOF	○	
伊	INSEAN	Xnavis	オーバーセット	レベルセット	○	○
仏	ECN	ISIS	非構造格子	VOF	○	○
仏	ECN	ICARE	マルチブロック	適合格子	○	○
蘭	MARIN	PARNASSOS	マルチブロック	適合格子		
独	HSVA	NEPT III	マルチブロック	レベルセット	○	○
独	HSVA/TUHH/MARIN	FreSCO	非構造格子	レベルセット/VOF	○	○

米国ではマリン分野に関する限りアイオワ大学のCFDSHIP-IOWAが優勢である。ミシシッピ大学のUNCLEについては、機能拡張はやや足踏み状態だが、潜水艦の性能推定などではルーチ的に使用されているようである。またテネシー大学のTenasiは、後発であるが、非構造格子+レベルセットのアプローチでどこまで追い上げるかがキーであろう。

UNCLE、Tenasiともに船舶用に限定されず航空、機械なども適用範囲に含まれているが、マリンCFDという観点から見るとこの状況はプラスにもマイナスにもなり得る。例えば、より汎用的なコードであるために多様・多分野からのニーズに対応できる反面、細部の要素技術においては、マリンCFD固有の機能要求、例えば自由表面や船尾流場の高精度解析に特化できないなどの状況がおこり得る。

主要ユーザーである米海軍のTaylor水槽では、CFDSHIP-IOWA、UNCLE、Fluent、Cometなどを使用している。

欧州の状況を概観すると、イタリアのINSEANはCFDコードをXShipからXnavisへとバージョンアップし、PMMシミュレーションなどの非定常操縦運動計算やオーバーセット格子による複雑形状対応などの機能を拡張した。

オランダのMARINのコードPARNASSOSは、大きな進展は見られないようであるが、定常状態の自由表面計算の高速化や実船スケール計算への拡張などで着実に進化している。

ドイツHSVAのコードNEPT IIIは操縦性能シミュレーションで先行した。また、波浪中性能計算も可能である。複雑形状についてはマルチブロック機能で対応している。

フランスECNでは2グループが活動中であり、コードISISは、非構造格子ソルバーであり、解適合格子機能も持っている。乱流モデル研究については伝統があり、各種モデルを実装している。また、実船スケールにも対応している。もう一つのコードICAREは、構造格子（マルチブロック）、自由表面は界面適合法とやや古い技術をベースにしているが、波浪中計算や自由航走による操縦運動シミュレーションをいち早く実現している。

FreSCOは現在進行中のEUプロジェクトVIRTUEにおいて、ドイツのHSVAおよびハンブルク・ハーブルク工科大学が中心となって開発しているソルバーである。非構造格子法をベースにしている。オランダのMARINはこのソルバーをプロペラまわりの流れに適用する

研究を行っている。

一方、国内においては、CFD 研究そのものが停滞気味であるが、その中で海上技術安全研究所（海技研）では、格子生成プログラム HullDes (H0 および 00 トポロジーの構造格子生成が可能、(有) ACT と共同開発)に加え、NS ソルバー NEPTUNE（構造格子、自由表面は界面適合、複雑形状に難はあるが高効率）および SURF（非構造格子、界面捕獲法、非定常対応、計算効率は良くないが複雑形状に対応）を開発し、造船業界に提供している。

東大では、WISDAM シリーズを開発してきた、これは、構造格子ベースのマルチブロック/オーバーセット法と界面捕獲モデルにより、船体運動計算を可能にしている。

大阪府大では、共同研究プロジェクトでは前述の CFDSHIP-IOWA を用いる一方で、独自コードとして Flowpack を開発している。これは、構造格子ベースのマルチブロック法によるソルバーであり、乱流モデルの研究や形状最適化の研究などがなされている。

国内における CFD 研究の問題点をあげると、

- ・国内の CFD 手法に比べて米国、欧州の CFD は機能面で充実している。
- ・開発拠点が少ない上に分散している。

以上のように、マリン CFD 開発における我が国の研究体制は欧米諸国に比べて十分ではなく、技術基盤や人材育成の面での弱体化が懸念される。

また、商用コードとの比較という観点から、海技研のコード SURF について、汎用の商用コードとベンチマークを行った。同一の格子と同一の乱流モデルを用いた船体まわりの流れ計算においては、ほぼ同等の解が得られた。計算効率については正確な比較は行わなかったが、高品質の格子を用いる場合には、商用コードの方が優っていると推定される。商用コードが高機能化する中での、CFD コード開発の意義としては、コスト面での優位、船舶流体に特有の数値モデル開発（自由表面や船体運動など）や後処理（伴流解析や馬力推定など）のニーズの充足などがあげられる。

3 CFD解析のニーズ

現状の CFD 解析が設計現場および研究開発現場でどのように使われているかを概観し、ユーザーのニーズにどの程度まで対応しているかを分析した。次に、将来の CFD 解析が備えるべき機能を調査して将来ニーズとしてまとめた。

3.1 現状

以下に、船舶性能の分野毎に CFD 解析の用いられ方をまとめた。

1) 抵抗・自航

性能評価の基本となるものであり、設計現場ではルーチンとして使用されている。ただし、付加物のない裸殻状態、あるいは舵のみを付加した状態であり、模型スケールのレイノルズ数を対象とし、プロペラモデルは単純化した体積力モデルを用いている。また、姿勢はイーブンキールで固定されている。上記以外の状態は、格子生成の労力や計算時間の問題からルーチンでの使用ではなく、研究開発フェーズでの使用となる。

2) 副部／付加物

舵以外の副部や各種省エネ付加物への適用は、現状では部分的な利用にとどまっている。その主な理由は格子生成の困難さにあると思われる。省エネ付加物については、その効果の流体力学的メカニズムの解明や尺度影響の評価などの解析ニーズはある。

3) プロペラ／キャビテーション

現状では、プロペラ設計用には揚力面モデルや渦格子法などのポテンシャルコードを用いることが多く、CFD 解析については商用コードの利用が中心である。ポテンシャル法で、設計に必要な精度をほぼ満足しているものと見られる。

4) 操縦性能

操縦性能評価への適用では、定常斜航や定常旋回の計算による流体力評価はルーチンになりつつある。PMM などの非定常運動計算は計算時間がボトルネックとなっている。

5) 波浪中性能

現状では CFD 解析はあまり用いられていない。研究開発での使用が主体だが、入射波や船体運動などのモデル化の問題もさることながら、計算時間が長大になることが実用上の問題となっている。

6) 強非線形自由表面問題

大波高下での船体運動や復原性あるいは海水打ち込みなどの、非線形性の強い自由表面問題については、CFD が有力な解析法として期待されている。CIP 法や粒子法のような新しい計算手法の適用などを含め、研究開発が進められているが、研究レベルでの利用が主体であり、実用化のためにはさらなる研究が必要である。

3.2 将来ニーズ

1) 抵抗・自航

抵抗・自航については精度向上が最大のニーズであるといえる。特に、造波抵抗および自航要素の定量的評価を可能にする必要がある。そのためには、自由表面モデルやプロペラモデルの改良、乱流モデルの開発、航走姿勢変化の推定などの課題を解決しなくてはならない。また、現状の模型船スケールでの解析に加え、実船スケールでの解析のニーズもある。

2) 副部／付加物

各種省エネ付加物について、尺度影響評価と流体力学的メカニズムを解明し、有用な設計情報を提供することが求められる。

3) プロペラ／キャビテーション

船体の後流の中でのプロペラ性能を評価するためには、プロペラの幾何形状をモデル化し、船後で回転させる非定常シミュレーションが必要である。

4) 操縦性能

定常状態については舵角試験のシミュレーションのニーズがある。また、PMM や GMT などの拘束模型試験の CFD シミュレーションと操縦モデルの組み合わせによる操縦性能評価というアプローチも考えられる。計算時間や格子生成、船体運動モデルなどの課題が解決されれば、将来的には自由航走シミュレーションによる直接評価も可能となるであろう。

5) 波浪中性能

船舶の実海域性能の評価はますます重要になってきており、波浪中性能評価のニーズは今後も増大すると予想される。特に水面上の船体形状の影響や大規模運動などの非線形問題や、波浪中推進性能評価など粘性影響が強い問題への CFD 適用が求められる。

6) 強非線形自由表面問題

大波高中の船体運動や海水打ち込みなどに伴う流体力の評価は、船舶および海洋構造物の安全性を考慮する際に極めて重要な要素であり、今後その解析ニーズは高まるものと考えられる。

7) 復原性

これまであまり適用されていない復原性能評価への CFD 適用、特にロールダンピング評価や動的復原性などにもニーズが生じると考えられる。

4 CFDコード要求仕様

4.1 概要

前章でのニーズ解析を踏まえ、今後のCFDコードに求められる機能要件を整理した。

CFDの使用目的を船型設計と研究開発に分けて考える。両者には共通する部分も多いが、目的の違いからくる要求機能の違いも大きい。例えば、設計用プログラムでは、抵抗推進性能の推定機能について、省力化を図るとともに精度を維持した上でのターンアラウンド時間の短縮が求められる。一方、研究開発用プログラムは、複雑形状や非定常運動などの種々の機能を提供すること、また、新たな数値モデル（乱流モデルなど）の導入が容易に行える拡張性が求められる。

ここでは、設計用と研究開発用のそれぞれのコードについて、必要とされる機能を考える。

4.2 流れ解析コード

3～5年後に実現が期待される要求仕様の最大公約数は、「実船スケールにおいて舵およびプロペラがついた状態での性能推定が可能なソフトウェア」である。性能には、抵抗・推進（自航要素）の他、操縦性（プロペラ、舵付き）、実海域性能（波浪中抵抗増加）が含まれる。また、付加物性能、尺度影響なども考慮する必要がある。

設計用コードと研究開発用コードそれぞれの仕様を表4-1にまとめた。

表4-1 省エネ船型の開発・設計のためのCFD技術の開発

	設計用（高精度化、効率化）	次世代（適用対象の拡大）
評価対象	模型スケール平水中推進性能	実船スケール・実海域性能
計算対象	船体＋プロペラ＋舵	船体＋プロペラ＋舵＋付加物
状態	造波＋自航 旋回、斜航	波浪中運動 操縦運動
開発要素	プロペラモデル 乱流モデル 自由表面モデル	プロペラ実形状 格子生成 （上記状態を満足する機能）
CAD インター フェース	CADソフトと連携	同左

4.3 前後処理

流れ解析コードの他に前処理（格子生成）および後処理（解析および可視化）について

も要求仕様をまとめた。

(前処理)

CAD とのインターフェースについては、商用 CAD の中に格子生成機能を取り組む動きもあるものの、基本的には格子生成ソフト側に CAD データの取り込み機能を整備する必要がある。

研究開発用の格子生成については、複雑形状を扱うための格子生成が必要となる。また、最適化計算や船型シリーズ計算のための形状変更機能も考慮する。

(後処理)

商用の可視化ソフトで対応できる一般的な処理の他に、船舶流体力学に特有の解析機能、例えば馬力推定のための抵抗解析や自航解析、伴流解析や流体力分布の解析などの機能を充実させる必要がある。

5. CFD プロジェクト運営における課題

産官学の共同による研究開発においては、「知的財産の取り扱い」、「開発した有形・無形資産の取り扱い」、「研究開発体制」、「中長期の体制のあり方」なども事前に調整しておく必要がある。

開発体制としては、中長期的に産官学が連携して、CFDコードを発展させるためには、調整役としてのステアリングコミティの設立が有効である。また、実際のコード開発体制においては、「コード開発」と「コードメンテナンス・ユーザーサポート」の分離が重要である。

6. 結言

CFD 戦略研究委員会における検討結果を要約すると以下のようになる。

マリン CFD の技術動向の一環として、国外における CFD 開発プロジェクトを概観した。欧州においては、近年継続して CFD に関連した EU プロジェクトが実施されており、複数の機関が参加して共同研究を行い、CFD 技術の開発が強化されている。また、米国では海軍研究局 (ONR) の主導による研究開発プロジェクトにおいて、大学に研究投資が行われている。

一方、国内ではこの 10 年あまり、CFD に関する共同研究プロジェクトはなく、研究拠点の数も減少している。その結果、国産の CFD 手法は最新の欧米の CFD と比べると、機能面、特に非定常流れなどへの適用で遅れをとっている状況になっている。

次に CFD 解析のニーズについて調査した。船型開発を行う設計現場において CFD は重要な性能評価ツールとして用いられているが、さらなる改良が求められている。将来ニーズの面では、精度向上とともに非定常流れ（操縦運動や波浪中運動）の計算などの機能拡張が求められている。

これらのニーズを踏まえ、本戦略委員会では、新たにオールジャパン体制で取り組むべき次世代 CFD コードの開発戦略をとりまとめた。

CFD コードの仕様としては、設計および研究開発における解析ニーズを満たすための 2 種類の仕様を検討した。また、CFD 研究プロジェクト運営における課題について整理した。

今後は、研究開発プロジェクトの実施に向けて、計画をより具体化して、研究提案を行い、開発体制を構築する予定である。