

7 船舶の安全運航のための性能評価に関する研究

大森 拓也*, 北川 泰士*, 大橋 訓英**,
黒田 貴子***, 宮崎 英樹*

Evaluation of hydrodynamic performance for safe operation of ships

by

OHMORI Takuya, KITAGAWA Yasushi, OHASHI Kunihide,
KURODA Takako and MIYAZAKI Hideki

Abstract

Advancements are continually being made toward ensuring the safe operation of ships, such as the practical application of autonomous ships and the reduction of risks against meteorological disasters such as typhoons. In addition, compliance with related international/domestic standards and digital transformation (DX) incorporating new IT technologies are also issues that should be addressed on an ongoing basis. Given this context, we have initiated research on performance evaluation for safe ship operation, including elements such as maneuverability and seaworthiness, which are fluid phenomena related to safe operation. In addition to model tests and theoretical calculations, we have also conducted numerical fluid calculations of full-scale ships. Our research consists of four sub-items: (1) research on a mathematical model to reproduce the maneuvering motion in harbor, (2) development of simulation technology by CFD for comprehensive performance evaluation, (3) development of stability criteria and technology to reproduce dangerous events caused by instability, (4) technology development for safety evaluation of ships anchored in harbors. In this paper, we report the purpose, implementation details, and expected results of this research project.

*流体性能評価系運動性能研究グループ, **流体性能評価系, ***流体性能評価系耐航性能研究グループ

原稿受付 令和 5年 4月 28日

審査日 令和 5年 5月 25日

1. はじめに

船舶の安全な運航は常に重要な課題であるが、国土交通省第5期技術基本計画にも示されているように、近年の新たなトピックとして自動運航船等の実用化や、台風等の気象災害に対するリスク低減などがあげられる。また、関連する国際/国内基準対応や、新しいIT技術を取り込んだデジタルトランスフォーメーション(DX)も継続的に進めていくべき課題である。

以上のような認識のもと、船舶の安全運航に関連する流体現象である操縦性能や耐航性能等の要素を包含するものとして、また水槽試験や理論計算だけでなく実船レベルの数値流体計算等も含めた各種ツールを包含する概念で、「船舶の安全運航のための性能評価に関する研究」を実施することとした。研究は4つの小項目からなり、それぞれ以下に示すような内容となる。

小項目1(操縦性能)：港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究

小項目2(CFDツール)：総合性能評価のためのCFDによるシミュレーション技術開発

小項目3(耐航性能)：復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究

小項目4(錨泊関連)：港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

本稿では、本研究の目的・実施内容・予想成果について報告する。

2. 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究

2.1 研究の目的

自動運航船の自動避航アルゴリズム及び自動離着棧操船アルゴリズムの認証において、操船リスクシミュレータ等を活用した操縦運動シミュレーションによる検証過程は必須となる見通しである。ここで、避航操船の検証においてはKTモデルと呼ばれる操舵応答モデル、離着棧操船の検証においては各アクチュエータの効力や船殻への流体力を外力項とした平面運動方程式、を用いることが一般的である。

一方で、特に浅水影響や側壁影響・低速状況を伴う離着棧時における計算モデルの研究例¹⁾²⁾は存在するものの、通常速力時のMMGモデル³⁾等のように広く確立したものがなく、加えて水槽試験やCFDによるモデル係数決定のコストは多大である。また、KTモデルの係数についても船種や運航船速ごとのデータは不足している。このため、これら操縦運動計算モデルの高精度化を図ると共に、モデルを簡易に構築する手法の開発はこれからの自動運航船の益々の普及のために重要である。

2.2 研究内容

図-1に示すように、本研究項目の具体的実施内容として、以下を計画している。

1) 離着棧操船再現のための操縦運動数学モデルの高精度化のための研究：低速時の離着棧操船の操縦運動シミュレーションのための計算モデル高精度化、低速時および制限水域影響を受ける船体に作用する操縦流体力に関する研究を行う。離着棧操船における浅水・側壁影響等の制限水域の影響を評価・検証できる水槽実験手法・粘性CFD及びそれ以外の数値計算手法の有望性検証を含む。

2) 操舵応答モデルと離着棧操縦運動モデルのモデル係数簡易設定手法の開発：KTモデルも含めた操縦運動モデルを低コストで構築するための操縦流体力特性データベースの整備とこれに基づいたモデル係数簡易設定手法の開発を行う。

3) 内航船も含めた風圧力特性簡易推定手法の拡張：藤原の式⁴⁾等の簡易推定法が知られているが、内航船のデータが不足しているため、風洞試験やCFD援用による風圧力特性の取得と推定式の整備を行う。

4) 実運航データによる操縦運動モデルの同定に関する研究：実船のモニタリングデータから操縦運動モデルが構築できれば非常に便利になるが、その初期検討として自由航走模型試験データからのモデル同定手法の開発を行う。

2.3 予想成果

予想成果として、これまでの研究では確立されていない離

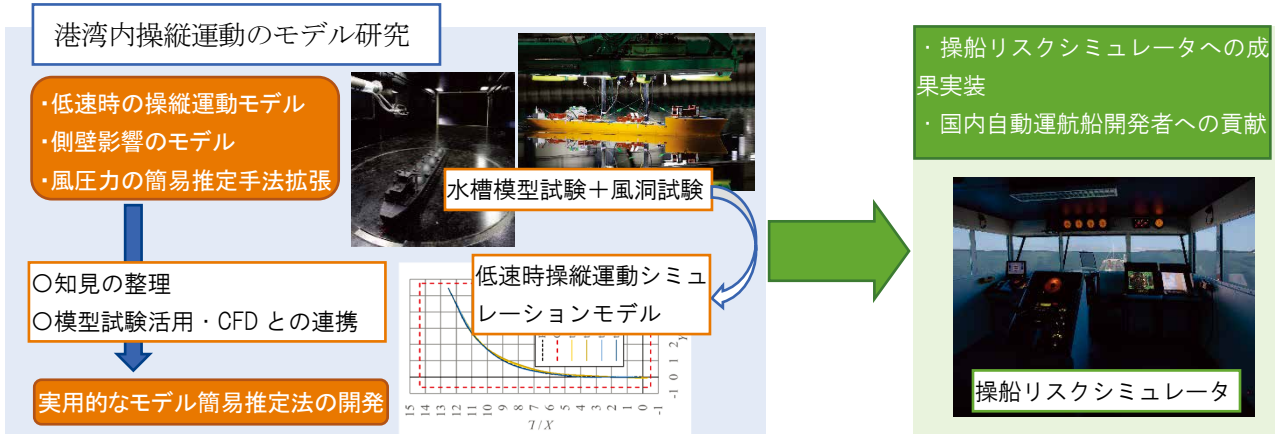


図-1 港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究のイメージ

着棧操船を再現できる操縦運動数学モデルについて、浅水・側壁・水路影響などの制限水域影響も含めて、流体力モデルの定式化を完了する。及び、操舵応答モデルも含めたモデル係数簡易構築手法の提示、風圧力簡易推定法の内航船への拡張を行う。関連して粘性 CFD ソルバーやそれ以外の制限水域影響評価手法ツールの評価検証から計算手法を絞り込み標準化に貢献する。

これらの成果の社会実装を進めるため、学会等を通してのオープンイノベーションや個別共同研究・実船への適用などの外部連携を積極的に検討する。また、自動運航アルゴリズムの検証及び認証に操縦運動シミュレーションが利用される場合は、国際的な安全性認証スキームにおいて研究成果が反映されることを目指す。

3. 総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発

3.1 研究の目的

2050年までの海運からの GHG 排出ゼロに向け、様々な取り組みが進む中、実船性能の把握は重要性を増しており、加えて、デジタルトランスフォーメーションによる次世代技術開発促進が必要とされている。海技研で開発している CFD コードについてもこれら社会的要請に応じてアップデートしていく必要がある。

3.2 研究内容

第4期では実海域性能の CFD による評価を目的として、波浪中での船体運動を含む計算手法⁵⁾、風圧抵抗の評価手法⁶⁾や実船流場の推定手法⁷⁾及び自由航走計算手法⁸⁾等を開発し、新たな CFD システムを構築した。

図-2 に示すように、第4期で構築した CFD システム等をもとに、尺度影響推定を含む実船性能推定のための各種数値モデルや新規手法、港湾内操船を主とした実船スケールでの操縦性能の推定手法及び仮想現実手法に基づく新たな設計

手法を開発し、Model Based System Engineering (MBSE)に対応する統合システムとして関連業界に提供するとともに普及を図る。具体的実施内容は以下ようになる。

1) 実船性能の高精度推定に向けた各種数値モデル(塗料モデル、海象データも活用した不規則波モデル、経年劣化の評価手法等)・データ同化等の新規計算手法を開発する。

2) 港湾内操船を主とした操縦性能推定及び実船自由航走状態の計算手法を開発する。

3) 仮想現実手法を導入した新たな設計手法を開発する。

4) 上記手法等を Function Mockup Unit(FMU)化を含めて、MBSE に対応する CFD 統合システムに統合する。加えて、模型・実船相関における尺度影響を含めた実船性能推定の高精度化、安全性評価・運航管理にも資する、実船-CFD デジタルツインモデル・水槽-CFD デジタルツインモデルを組み合わせたデジタルトリプレットモデルのプロトタイプを構築する。

3.3 予想成果

MBSE に対応する FMU を含む CFD 統合システム、実船性能推定の高精度化のための実船-CFD デジタルツインモデル、水槽-CFD デジタルツインモデルを組み合わせたデジタルトリプレットモデルのプロトタイプ、港湾内での実船操縦運動シミュレーション手法が成果物となる。

MBSE 対応の FMU、CFD 統合システム及びデジタルツイン・デジタルトリプレットモデル等の開発・普及とともに、Functional Mock-Up Interface を介した現代のモデルベース設計システムとの連携も可能になることで、新船型・付加物等の開発サイクルを短縮でき、かつ船会社等における運航管理の高精度化やデジタルトランスフォーメーションにより安全性を高めることにも貢献し、我が国海洋産業の国際競争力強化につなげる。

これらの成果の社会実装を効果的に進めるため、ヒアリング等によりユーザーニーズを適宜掌握するとともに、開発に



図-2 総合性能評価のための CFD によるシミュレーション技術開発のイメージ

反映する。開発した手法をMBSEに対応するCFD統合システム等として提供する。

4. 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究

4.1 研究の目的

IMOで動的復原性による危険事象5モードを評価する非損傷時復原性基準暫定ガイドラインが承認され、現在試行期間にある。当所ではこれまでに第二世代非損傷時復原性基準で扱う5モードの1つである過大加速度モードの脆弱性評価及び直接復原性評価計算ツールと短波長不規則波中時間領域計算コード⁹⁾及び運航ガイダンスに基づく操船支援システム¹⁰⁾を開発した。今後、造船所や運航会社からの危険事象に対する評価やコンテナ船の運航中の大きな横揺れの解明に応える研究が求められている。また、小型船は復原性を含む基準及び検査法の見直しが求められており、海技研の対応が期待されている。

4.2 研究内容

図-3に示すように、本研究では復原性に起因する危険事象を評価するために、現行基準とほぼ同じデッドシップ以外の3モード、及び波浪中で起こりうる危険事象に対象を広げ、不規則波中での復原力変動を考慮した非線形船体運動を時間領域で計算できるコード開発と、その危険事象を再現する水槽試験技術及び機能を確立し、試験水槽で裏付けされた計算ツールを構築する。また、浸水やえい航時の影響を考慮した船体運動計算法を開発する。また、海難事故を契機に関心が高まっている小型船舶の安全性について、復原性及びその他救命資材に関する基準や検査法に関する検討を行う。

1) 水槽試験で裏付けされた危険事象再現計算コードの開

発：波浪中を航行する船舶のパラメトリック横揺れ、復原力喪失、波乗り現象及び浸水時や船舶曳航時の挙動を再現する計算法と水槽試験技術を確立し、水槽試験で裏付けされた計算コードを開発する。

2) 運航支援ツール、国際基準評価ツールの開発及び船舶設計要素の検証：1)で開発した計算ツールを活用し、発生確率を減少させる運航支援ツールの開発及び船舶設計要素の検証を行う。また、復原性国際基準評価対応の計算ツールを開発する。

3) 小型船舶の復原性を含む基準の策定及び見直し、検査法の提案：小型船舶の復原性基準(JCI)及び浮器等その他の基準(海事局)の見直しや検査法に関する検討を行う

4.3 予想成果

本項目では以下の成果を想定している。(1)波浪中船舶の危険事象を再現する計算コードと水槽試験での再現技術、(2)危険を回避する操船支援システム、(3)小型船舶の安全性に関する規則策定に係る技術支援の実施。

第二世代非損傷時復原性基準で扱う動的復原性に起因する危険事象を詳細に評価し、その結果を設計にフィードバックすることで、船舶の安全性を高め、我が国の造船業の国際競争力強化につながる。また、小型船舶の復原性その他の基準の見直しや検査法を検討することで、小型船舶の安全性を高め、基準策定に貢献する。

これらの成果の社会実装を効果的に進めるため、関係機関とのすりあわせを綿密に行う。

5. 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

5.1 研究の目的

国土強靱化年次計画2022の「5-5 太平洋ベルト地帯の幹線

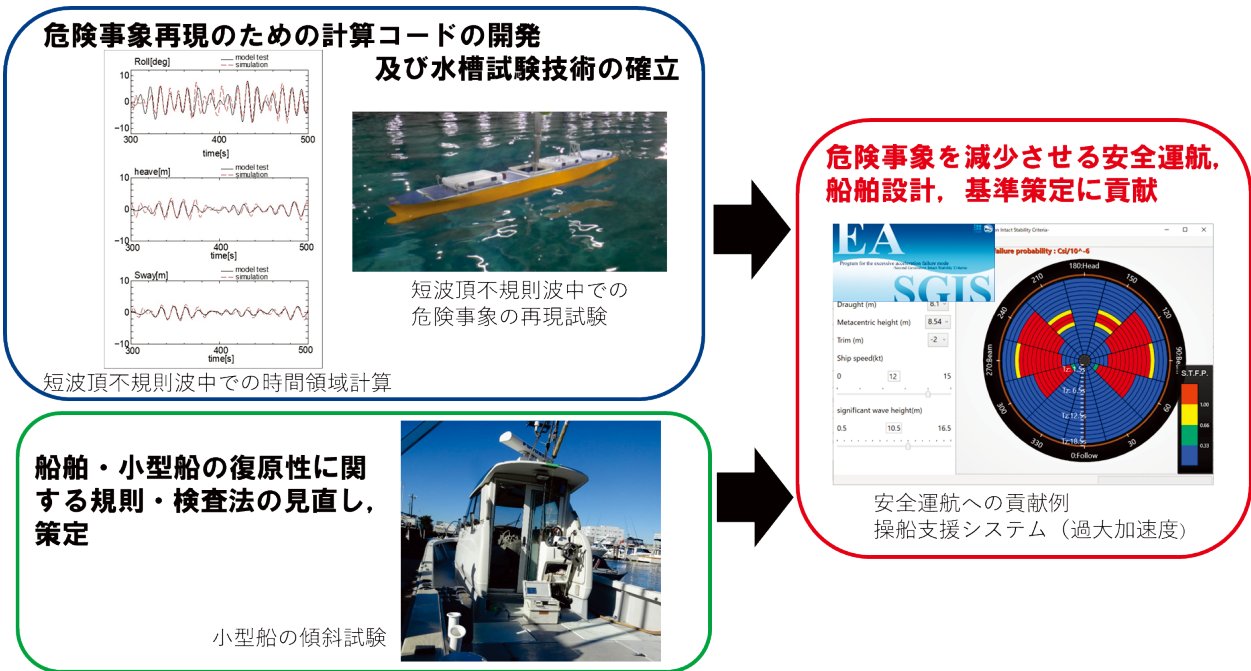


図-3 復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究のイメージ

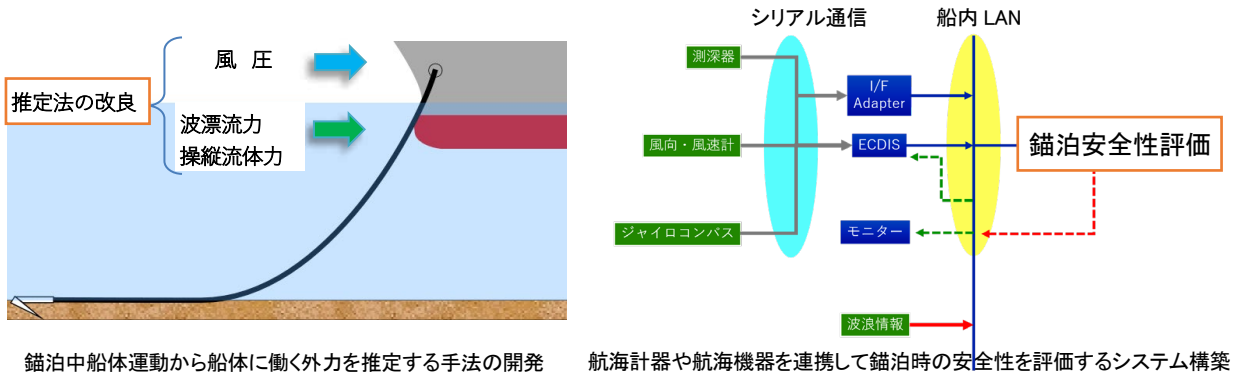


図-4 港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発のイメージ

が分断するなど、基幹的陸海上交通ネットワークの機能停止による物流・人流への甚大な影響」の（主要施策）に「港湾における走錨事故の防止策等に関する対策」と記載されているように、走錨事故の防止対策の確立が求められている。

5.2 研究内容

本研究は、既存のシステムとは異なり、船上の航海計器で計測されたデータを積極的に活用して、外部からの入手が困難な情報が不足している状況でも錨泊中の船舶の安全性を評価するシステムの構築を目標としている。本研究ではジャイロコンパスやGPSなどで計測された船体運動に関するデータや風向・風速計などで計測された気象・海象情報に関するデータから、錨泊中の振り回り運動や船体に働く外力を推定する手法の研究を行う。また、本システムにより評価された結果を（当該システム専用端末ではなく）航海機器等に表示する、従来にない新たなシステムの構築を行う。並行して、船種や気象・海象条件毎の適切な錨泊方法の検討を行う。具体的実施内容は以下ようになる。

- 1) 航海計器及び航海機器から錨泊時の安全性を評価するために必要な情報を取得し、評価結果を提供する手法の確立
- 2) 錨泊中の船体運動や錨泊情報などから船体に働く外力を同定する手法の開発
- 3) 船種や気象・海象条件に適した錨泊方法の検討

5.3 予想成果

成果は、図-4に示すような、航海計器や航海機器を連携して錨泊時の安全性を評価する新たなシステムの構築となる。人間の介入を減らすことでより簡便かつ安定した評価システムとなり、利用の拡大につながると期待される。

錨泊時の安全性を評価するためには航海計器や航海機器との連携が必須で国内の航海機器メーカーと共同で取り組む予定であり、社会実装を視野に入れて取り組むことを考えている。またユーザーエクスペリエンスを把握しつつ進めていく。

6. まとめ

本研究は、船舶の安全運航に関連する流体现象である操縦性能や耐航性能等の要素について、水槽試験や理論計算だけでなく実船レベルの数値流体計算等も含めた各種ツールを包含して、性能評価に関する研究を行うものである。

研究は以下に示す4つの小項目からなる。

- ▶ 小項目1（操縦性能）：港内操縦運動再現のための操縦運動数学モデルに関する研究
- ▶ 小項目2（CFDツール）：総合性能評価のためのCFDによるシミュレーション技術開発
- ▶ 小項目3（耐航性能）：復原性に起因する船舶の危険事象を再現する技術開発と基準に関する研究
- ▶ 小項目4（錨泊関連）：港内で錨泊する船舶の安全性評価のための技術開発

本研究の実施により性能評価技術の学術的進歩を遂げるだけでなく、産業面からは、操縦運動モデルやCFDツール・走錨判定ツールを提供し自動運航船開発やGHG排出削減・走錨事故防止に資する。また規制基準の面からは、自動運航アルゴリズム認証や復原性基準等へ成果を反映して社会実装を実現する計画である。

References

- 1) 湯室 彰規: 低速運動時の操縦流体力に関する実験結果について, 関西造船協会誌 209号, pp. 91-101 (1988).
- 2) 芳村 康男, 高瀬 康一, 福井 寛史, 鈴木 英之, 平林 紳一郎: 風力下で漂流する船舶の簡易推定モデルによる運動シミュレーション, 日本船舶海洋工学会論文集, 第31号, pp.47-57 (2020).
- 3) H. Yasukawa and Y. Yoshimura: Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions, Journal of Marine Science and Technology, 20(1), pp.37-52 (2015).
- 4) 藤原 敏文, 上野 道雄, 池田 良穂: 成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法, 日本船舶海洋工学会論文集 第2号, pp. 243-255 (2005).
- 5) H. Kobayashi et al.: Parametric study of added resistance and ship motion in head waves through RANS: Calculation

- guideline, Applied Ocean Research, Vol.110, (2021)
- 6) H. Kobayashi et al.: CFD Assessment of the Wind Loads of SuperStructures through RANS, Applied Ocean Research, Vol.129, (2022)
 - 7) N. Sakamoto et al.: An Overset RaNS Prediction and Validation of Full Scale Stern Wake for 1,600TEU Container Ship and 63,000 DWT Bulk Carrier with an ESD, Applied Ocean Research, Vol.103, (2020)
 - 8) K. Ohashi et al.: Numerical Simulation of Free Running of a Ship with using Dynamic Overset Grid Method, Ship Technology Research, Vol.65, (2018)
 - 9) T. Kuroda et al.: Direct stability assessment for excessive acceleration failure mode and validation by model test, Ocean Engineering, Vol.187, (2019)
 - 10) T. Kuroda: Evaluation and countermeasures for excessive acceleration at the bridge caused by the ship stability, PRADS, (2022)