

東大・海事デジタルエンジニアリング 社会連携講座(MODE)設置とロードマップ

Establishment of Maritime and Digital Engineering (MODE) at the University of Tokyo and its roadmap

○正 安藤 英幸^{*1}, 正 村山 英晶^{*2}
正 青山 和浩^{*2}, 山中 遼^{*3}
Hideyuki ANDO^{*1}, Hideaki MURAYAMA^{*2},
Kazuhiro AOYAMA^{*2} and Ryo YAMANAKA^{*3}
^{*1} 株式会社 MTI MTI Co.Ltd.,
^{*2} 東京大学 The University of Tokyo
^{*3} 日本郵船株式会社 NYK Line

The use of MBD and Systems Engineering in the maritime industry has made progress since around 2005 in the offshore sector overseas. The first full-scale introduction of MBD and Systems Engineering in Japan was the DFFAS project for automated vessels, which was implemented over a two-year period starting in 2020 in order to learn the importance of MBD and Systems Engineering in the development of complex computer-controlled systems such as automated vessels as a maritime industry. The "Maritime and Ocean Digital Engineering" program was established on October 1, 2022, in collaboration with seven companies of the maritime industry and the University of Tokyo. Future activities will be carried out in accordance with the roadmap announced at the 1st MODE symposium.

Key Words : MBD, MBSE, simulation-based test, MODE, maritime industry, autonomous ship, decarbonization

1. 結 言

2022年10月1日付で、日本の海事業界の7者と東京大学により、「海事デジタルエンジニアリング」社会連携講座を東京大学大学院・新領域創成科学研究科に設置した。本講座ではサステナブルな海上物流を実現するシミュレーション共通基盤を構築し、デジタルエンジニアリングを活用した海事分野の技術開発と人材育成の推進を目指している。

船による海上物流は世界の約80%、島国日本の99%以上の貨物を運ぶ社会基盤として人々の生活、経済、社会活動を支えている。日本の海事産業は、「世界の脱炭素化の潮流の中での新たな技術開発とその社会実装」、「海運サービス維持のための安全性向上と働き方改革のための自動運航船の導入」、「高度化する船舶の設計・製造プロセスにおける圧倒的な生産性確保」と言った解決すべき課題を抱えている。

これらの課題に取り組むための有効な手段として期待されるのが、自動車産業等で導入が進むモデルベース開発 (MBD: Model-Based Development) とモデルベース・システムズ・エンジニアリング (MBSE: Model-Based Systems Engineering) である。MBDでは製品やそれを構成する要素の機能をコンピュータ上のモデルとして表現し、シミュレーションによって動作を確認・検証するアプローチを取る。MBDにより、新しい要素技術を採用する効果について、実運航を想定したシミュレーションの中で様々なユースケースシナリオで検証することが可能になり、コンセプト設計、機能開発、承認等に活用し、生産性向上や設計最適化と言った効果が期待される。

一方 MBSE は、社会の変化やステークホルダーのニーズを的確にとらえて要求仕様を定義し、それに基づき、開発する製品・技術を取り巻く広い意味でのシステム全体を俯瞰してモデルとして表現し、リスク評価により段階的にシステムに求める機能要件を詳細化し、最終的に各モジュールレベルに求める機能や入出力を明確にして、合理的に大規模システムの設計・開発を実現することが可能になる。「海事デジタルエンジニアリング」社会連携

講座では、海事分野における MBD と MBSE を利用した技術開発と人材育成を目指しており、本稿では、この設立に至る背景・経緯、講座概要、今後の活動ロードマップについて述べる。

2. 海外海事分野における MBD と Systems Engineering の活用

海事分野においてコンピュータによる制御システムのテストに HIL (Hardware-in-the-Loop)をはじめとする MBD が適用されたのは 2005 年頃の Dynamic Positioning System(DPS)開発への試験的な取り組みが最初の事例と考えられる。¹⁾ DPS は石油掘削リグやその周辺で作業を行う船舶などのオフショア分野の浮体の定点保持に用いられる制御システムで、GPS 測位、姿勢推定のジャイロと言ったセンサ信号を入力とし、360 度方向に姿勢を変えられるアジマス・スラスターをアクチュエータとし、海洋構造物や船の位置・姿勢を保持する PID 制御システムである。DPS は、航海システム、電力プラント、推進装置など他のミッションクリティカルなコンピュータ制御システムの一つと位置付けられ、安全性、信頼性、他システムとのインテグレーションと言った側面から、第三者認証機関である船級協会による承認が必要とされ、HIL シミュレーションテストの利用が広がった。²⁾ 2009 年 4 月までに、45 の DPS-HIL テスト、14 の Power Management System (PMS)-HIL テストが実施され、シミュレーションテストによって陸上試験までの段階で数多くの問題解決が行われたことが報告されている。³⁾

一方、Systems Engineering については、2013 年頃にオフショア分野の第三者認証業務を担う複数の船級協会から、ミッションクリティカルなコンピュータ制御システムの信頼性、安全性評価のための技術基準が発行され、このベースの方法論として Systems Engineering のアプローチが採用された。オフショア分野の海洋構造物に搭載される大規模・複雑なコンピュータ制御システムを対象に、コンセプト～設計～開発～建造～保守・運用の製品ライフサイクルの各フェーズにおけるステークホルダーの役割・責任や必要な技術文書を定め、複雑なシステムの安全性、信頼性に必要なプロセスを規定し、またこの中で、MIL, HIL, SIL と言ったシミュレーションテストが位置付けられた。^{4,5)}

ノルウェーでは、トロンハイムのノルウェー科学技術大学(NTNU)にノルウェーの 10 年間の CoE (Center of Excellence)として Center for Autonomous Marine Operations and Systems (AMOS)が 2013 年に設置され⁶⁾、10 年間で 100 名以上の博士、400 名以上の修士を輩出し、この分野の研究開発と技術人材の育成に力を入れられた。また、AMOS Center 発の自動運航船の技術開発ベンチャーとして ZeaBuz 社が 2019 年に設立され、先進的なセンサシミュレーションも含めた End-to-End Simulation の活用による自動運航船の開発を実施している。⁷⁾

3. 国内での自動運航船の開発における MBD, MBSE の利用

日本国内での自動運航船の取り組みは、2016 年から 5 年間、国土交通省が「先進安全船舶技術研究開発支援事業」を開始し、日本郵船グループの MTI と日本海洋科学及び古野電気、日本無線、東京計器と言った航海計器メーカーが連携して「船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究」を実施した。⁸⁾ ここでは日本の航海計器メーカーによるレーダーによる他船の見張り技術をベースに、経験豊富な船長がどのように周囲を航行する船舶の危険性を認識しているか危険船を識別するロジックの構築とパラメーターの調整を行った。

その後、欧州と日本国内で、タグボートの遠隔操船の実証事業が行われ、更に、2016 年にノルウェーで、2021 年末までに無人の完全自律船の実証を目指す YARA Project を Kongsberg が発表し、一方の日本国内では、国内内航の人手不足や離島航路の維持を目的とした無人運航船の実証を目指す大型プロジェクト MEGURI2040 が、日本財団により 2020 年～2022 年に実施されることになった。⁹⁾

MEGURI2040 において、日本郵船グループの MTI と日本海洋科学は、航海計器メーカー他の 30 社からなる DFFAS (Designing the Future of Full Autonomous Ship) コンソーシアムを組成してプロジェクトを実施し、ここで本格的に HIL など MBD と、システムズ・エンジニアリングを採用した自動運航船の開発実証に取り組んだ。シミュレーション基盤として、DPS の承認に使われるノルウェー船級 DNV の CyberSea を導入した。

CyberSea を利用したシミュレーションテストは、低速域の制御用に採用した国産 DPS の調整、本船搭載する自動操船システムの陸での統合試験に利用し、水槽での模型試験の結果を反映した物理モデルを組み込んだ CyberSea に制御システム及び全体システムを結合し、このうち全体システムを結合した統合試験では、正常試

験、異常試験、航海試験を行い、それまでのリスク評価やメーカーでのユニット試験では見つからなかった 30 の問題を抽出した。その後、船上搭載後の洋上調整においても、実船の操船運動データを反映してシミュレーションの再現性(fidelity)を高めて DPS の調整を行い、実証航海までの更なるシステム完成度の向上に貢献した。

一方で、システムズ・エンジニアリングとしては、DFFAS プロジェクトにおいて、完全自律の自動運航船コンセプト「APEX-S-auto」を開発し、これに対してフランス船級 BV と日本船級 ClassNK より AiP (Approval in Principle)承認を取得した。APEX-S-auto については、MBSE のアプローチを採用し、オペレーションドメインの専門家である船長とシステム設計の専門家の協力によりシステム設計をモデル化技法を駆使して記述し、リスク評価を重ねて段階的にシステムやそれを構成するモジュールへの機能要件や入出力インターフェースの仕様を導出した。MBSE アプローチの採用により異なるドメイン専門家が共通言語を持つことにより、複数メーカーによる複雑な System of Systems の開発・実証を 2 年間と言う短い期間で実施することに大きく貢献した。

DFFAS プロジェクトは、2022 年 2 月末から 3 月頭にかけて世界で初めて、輻輳域を含む東京湾と伊勢湾の往復約 790km の長距離航路を航海し、陸のフリート・オペレーション・センター (FOC: Fleet Operation Center) からの監視、一部制御の下、全体の 98.5%の自律航行を達成し、国内外で広く報道された。

MEGURI2040 における DFFAS プロジェクトでの大規模システムへの取り組みにおいて、MBD や MBSE と言った手法が威力を発揮し、短期間でのプロジェクト成功に貢献したことで、参加各社をはじめ日本の海事業界においても今後こうした新たな手法の必要性を印象付ける結果が得られた。

4. 「海事デジタルエンジニアリング」社会連携講座の設置

2021 年度の総合海洋政策本部参与会議「海洋産業の国際競争力強化に向けた共通基盤と人材育成検討」プロジェクトチームにおいて、脱炭素、自動運航、洋上風力と言った今後の海事業の課題に取り組むために、シミュレーションテストなど MBD が重要で、このためには、複数の物理ドメインのモデルを連結し同期を取ってシミュレーションを行うシミュレーション共通基盤が必要であり、こうした研究組織を、産業が出資する形で大学に設けて産学官の結節点とし、技術開発と人材育成を進める必要があると言う議論を、海運、造船、船用、船級、大学からの専門家と委員の間で協議した。「シミュレーション共通基盤」の必要性、そのための大学への産業が支援する形での講座の設置の提言が、本年 7 月の総合海洋政策本部参与会議意見書に盛り込まれた。¹⁰⁾

この協議を受けて、海事分野の企業の合同で「海事デジタルエンジニアリング」社会連携講座を東京大学大学院新領域創成科学研究科に設置する準備を開始し、約半年間の準備期間を経て、本年 2022 年 10 月 1 日に同講座が設置され、同 10 月 4 日に設置シンポジウムを開催した。

同講座設置のプレスリリースでは、本稿の緒言に記載したとおり、日本の海事業界が抱える課題である脱炭素、自動運航船、生産性向上と言った課題解決の手法として、MBD、MBSE の活用による技術開発と人材育成を掲げている。以下に同講座の概略を記す。

- 名称：「海事デジタルエンジニアリング講座」(英語名称：Maritime and Ocean Digital Engineering Laboratory (MODE))
- 設置機関・講座種別：東京大学大学院新領域創成科学研究科 社会連携講座
- 設置期間：2022 年 10 月 1 日～2027 年 9 月 30 日まで(5 年間)
- 代表教員：村山英晶 (東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻 教授)
- 活動内容：海事業におけるモデルベース開発手法およびシミュレーション共通基盤、脱炭素・自動運航船に関する技術及び国際ルールについての研究、国際連携、人材育成
- 参加企業：株式会社 MTI、ジャパン マリンユナイテッド株式会社、三菱造船株式会社、古野電気株式会社、日本無線株式会社、BEMAC 株式会社、一般財団法人日本海事協会

図 1 に、同講座のロードマップを示す。「MBD 及び MBSE 手法・シミュレーション共通基盤の開発」、「脱炭素船/自動運航船の開発、社会実装」、「設計・建造プロセスの生産性向上」、「海洋利活用や物流効率化の促進」及び「デジタルエンジニアリング人材育成とネットワーキング」が 5 本の柱になる。¹¹⁾



Fig 1. Roadmap of Maritime and Ocean Digital Engineering (MODE) Program ¹¹⁾

5. ま と め

海事業界における MBD, Systems Engineering の活用は、海外のオフショア分野で 2005 年以降進展した。日本国内への本格的な導入は、2020 年から約 2 年間に実施された自動運航船 DFFAS プロジェクトが最初の事例となった。複雑なコンピュータ制御システムの開発における MBD や MBSE の重要性を学び、今後の脱炭素、自動運航船の社会実装に不可欠な手法と認識し、更なる技術の習得、それに基づく技術開発、人材育成を進めるため、東京大学に「海事デジタルエンジニアリング」社会連携講座を、海事業界 7 者と東京大学の共同で、本年 10 月 1 日に設置した。設置シンポジウムで対外発表したロードマップに沿って今後の活動を進めていく。

文 献

- (1) Tor A. Johansen, et.al., Hardware-in-the-loop Testing of DP systems, DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, Nov. 2005
- (2) Asgeir J. Sorensen, A survey of dynamic positioning control systems, Annual Reviews in Control 35(2011), p123-126
- (3) Tor A. Johansen and Asgeir J Sorensen, Experiences with HIL Simulator Testing of Power Management Systems, DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, Oct 2009
- (4) DNVGL, Integrated software dependent systems, DNVGL-RP-D201, July 2017
- (5) ABS, INTEGRATED SOFTWARE QUALITY MANAGEMENT(ISQM), SEP 2012 (Updated Feb 2016)
- (6) NTNU AMOS, Center for Autonomous Marine Operations and Systems, <https://www.ntnu.edu/amos>
- (7) Zeabuz, <https://www.zeabuz.com/>
- (8) 桑原他, 安全航行に向けた衝突リスク判断方式の研究開発と検証, ClassNK 技報, No.3, 2021
- (9) 日本財団, MEGURI2040, <https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/meguri2040>
- (10) 総合海洋政策本部参与会議意見書, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/sanyo/20220720/ikensho_besshi.pdf
- (11) 山中, 海事デジタルエンジニアリングのロードマップ, 東大 MODE 設置記念シンポジウム 2022 年 10 月 4 日