

PS-6 デジタルツイン技術を活用した船舶主機モニタリングシステム 及び実海域下船速・主機状態予測システムの開発

流体性能評価系 *北川 泰士

環境・動力系 ボンダレンコ オレクシー、福田 哲吾
ナブテスコ株式会社船用カンパニー 出口 誠、藤原 真

1. 研究背景及び概要

船舶の機能要件として国際海事機関（IMO）により EEDI 規制が導入されたことに伴い、基準を満足するための現実的な方策として、船舶に搭載される主機の小型化が将来進んでいくことが予想されている。一方、荒天下を安全に航行するために最低限保有すべき主機出力である最低推進出力に関しても国際的に議論されており、小型主機と安全運航に関する議論は今後も続くと考えられる。斯様な将来予想の中で、主機状態のモニタリングは安全運航のための重要な要素であり、モニタリング結果を踏まえる等して適切なタイミングで保守点検を行うことの重要性も更に増すと考えられる。ここで、主機状態を監視するにはなるべく多くの主機状態項目を計測できることが望ましいが、一般商船においてはコストの観点から計測する主機状態が必要最小限であることが多い。また、主機燃焼室内の圧力や温度に代表される室内環境など、計測すること自体が高難度な主機状態項目も存在する。

そこで本研究では、主機モニタリング技術の高度化の一環として、主機応答特性数学モデルとデジタルツイン技術を活用した船舶主機モニタリングシステムを開発した。このシステムの主な特徴は実際の計測機器を用いずにモニタリングが可能な点である。そして、本システム的应用として、実海域下の船速及び主機状態の予測システムの開発も行った。

2. 船舶主機モニタリングシステム

2.1 概要

主機応答特性数学モデルはディーゼル主機への負荷に対する応答特性を物理則ベースの数学モデルで表したものであり、ガバナー、燃料燃焼によるエンジントルク発生、推進軸系運動方程式などの主機構成要素の物理モデル化とその

組合せによって表現される。主機特性モデルは用途に応じて様々なモデルが提案されているが、本研究ではデジタルツイン技術適用のため、計算のリアルタイム性を重視して CMV(Cycle Mean Value)モデル¹⁾の使用をベースとしている。モデル中の係数・定数は仕様書中の情報や陸上試験機等の実稼働データを基に定められる。次にデジタルツインとは、物理空間上の対象物をバーチャル空間上で再現したものを指し、その対象物の性質が物理空間から得られる情報を基に常に最新に保たれていることを特徴としている。産業界では国際的に開発が進んでいる技術であり、国内船舶分野においても研究開発例が進められつつある²⁾。

本研究で対象とするのは船舶主機デジタルツインであり、具体的にはモニタリング可能なデータを用いて係数・定数がアップデートされる主機特性モデルを活用する。以降、アップデートされる主機特性モデルを主機バーチャルモデルとする。このモデルでは主機状態項目を表す変数が使用されるため、計測機器による実計測がされていなくとも、計算結果を通じて主機状態をモニターすることが可能となる。図1にシステムの概念図を示し、表1に計算によってモニターできる主機状態変数の例を示す。表中の計測必須項目はモデルの時系列計算のために必須であり、推奨項目は計算精度向上のために計測できた方が望ましい項目である。モデル内の係数・定数のアップデートは計測できる項目をなるべく全て利用することを基本とする。

2.2 機能

大きな特徴は、計測機器を必要とせず、主機バーチャルモデルからの計算結果によって主機状態をモニタリングする点である。これにより、低コストかつ機器による物理的な困難さを伴わないモニタリングが可能となる。

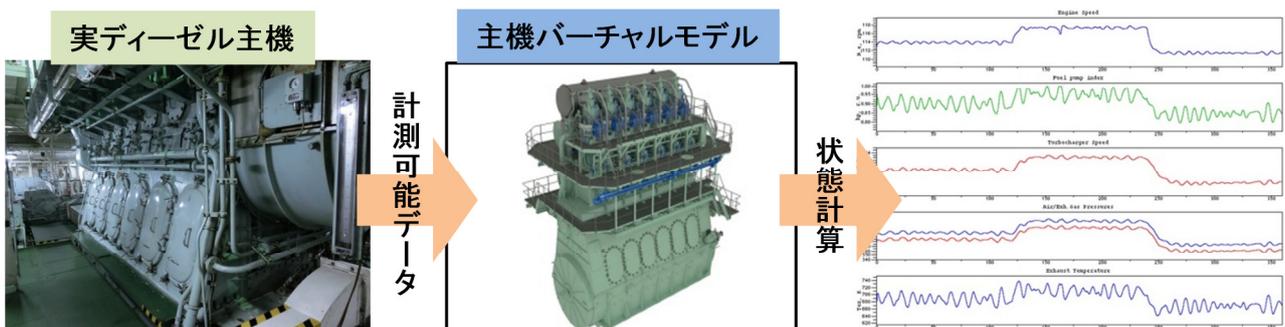


図-1 デジタルツイン技術の適用による主機バーチャルモデルと主機状態計算のイメージ

表-1 主機バーチャルモデル内の状態変数例

計測必須 【】内は推奨	モデル計算により モニター可能
主機指令回転数	主機出力 (馬力)
実回転数	燃料消費量
燃料投入量ラック位置	過給機回転数
【燃料消費量	シリンダ内圧力
過給機回転数	掃気圧・掃気温度・
推進軸トルク】	排気圧・排気温度
	吸入空気量
	空過過剰率
	エンジントルク

次に、主機状態変動特性の評価も可能となる。通例では船上で記録される時系列データのサンプリングは1分に1回程度であるが、主機バーチャルモデルによる計算は速い計算周期で実行されるため、変動する主機状態の波形が詳細に記録される。よって、変動波形を解析して得られる振幅特性・周期特性がモニタリング可能な全ての状態項目にて可能となるため、主機稼働の安全性評価の一助として期待される。

そして、高度な使い方として、主機バーチャルモデルは経年による変化がモデル内係数・定数に反映されていくが、就航当初の主機特性モデルによる計算結果と比較をすることで経年による状態変化が把握できるため、保守管理や主機設計への反映に貢献することもできる。

3. 実海域下船速・主機状態予測システム

3.1 概要

この予測システムは、主機バーチャルモデルに加え、風波中抵抗増加も含めた船体抵抗モデルとプロペラ推力及びトルクモデル、これらモデルを連成的に計算することで想定海象下における船速及び主機状態を一括で予測計算するシステムである。計算に必要な入力情報は主機の指令回転数・目標方位に加え、想定海象の風向・風速・有義波高・平均波周期・波の主方向である。風波中の船体抵抗特性は海上技術安全研究所で開発したプログラム³⁾により推定可能である。プロペラ推力及びトルクの計算に必要なプロペラ単独特性は同じプログラムから推定することも可能であり、造船会社からの情報提供による取得も十分可能であろう。主機特性と船速等の船舶性能を連成的に評価する研究は過去に例はあるものの⁴⁾、デジタルツイン技術が導入された主機特性モデルを用いる船舶性能推定手法はこれまでになく、主機特性の経年変化が考慮された高精度な性能推定が期待される。

3.2 運用形態の展望

主機バーチャルモデルは係数・定数が計測可能データを用いてアップデートされるが、それらのデータ容量は僅かであるため衛星通信等による陸上とのデータ共有が容易であり、ひいては陸上でも船上と同じ主機バーチャルモデルが利用可能となる。よって、船上では「出会う風波情報を入力して

負荷変動状況を把握し、主機稼働条件を調整する」、陸上の船舶管理会社では「ウェザールーティングへの援用として、想定航路上の船速や燃料消費量の試算」、というように場所に応じた独自の運用が可能となり、デジタルツインとしての主機を有効活用とした予測システムと言える。図2にシステム運用形態のイメージを示す。

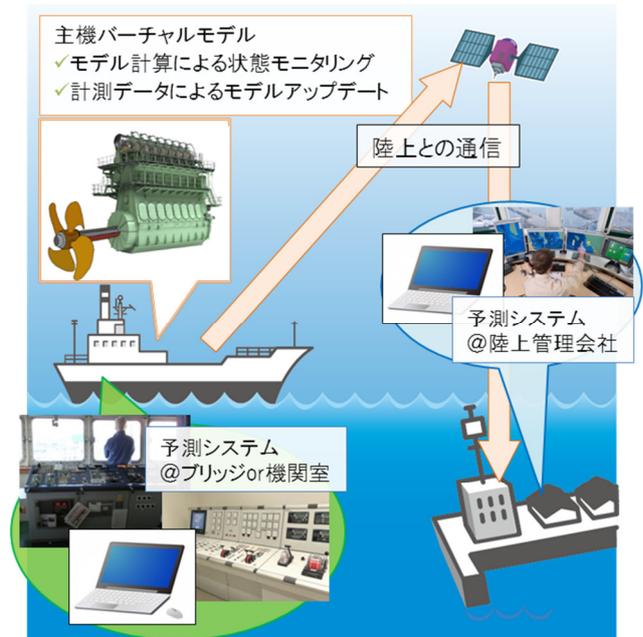


図-2 船速・主機状態予測システムの運用イメージ

4. まとめ

デジタルツイン技術の活用例として、主機バーチャルモデルを用いて実計測機器を用いずに主機状態をモニタリングするシステムと、実海域下船速及び主機状態予測システムを開発し、それらの概要と運用形態の展望を述べた。

謝辞

本研究は、ナブテスコ株式会社船用カンパニーとの共同研究により実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、Bondarenko Oleksiy, 他: Development of Diesel Engine Simulator for Use with Self-Propulsion Model, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第48巻第5号(2013), pp. 98-105.
- 2) 例えば、安藤英幸: 船舶のデジタルライゼーション～現状と今後～, Monohakobi Techno Forum 2017, https://www.monohakobi.com/ja/wp-content/uploads/2017/11/7_MTF2017_ando_comp_.pdf, (2017).
- 3) 辻本勝, 他: 実運航シミュレータ VESTA, 海上技術安全研究所報告, 第15巻第4号, (2016), pp. 55-65.
- 4) 例えば, Tasker Bhusan, et al: The effect of waves on engine-propeller dynamics and propulsion performance of ships, Ocean Engineering, Vol.122, (2016), pp. 262-277.