

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02876

研究課題名（和文）実機関をベースとした船用機関シミュレータの開発と訓練方法に関する研究

研究課題名（英文）Research on development and training methods of marine engine simulator based on a real engine

研究代表者

今井 康之（IMAI, Yasuyuki）

東海大学・海洋学部・特任准教授

研究者番号：90506510

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：2010年に船員に必要な資格の要件を定めたSTCW条約が改正され、シミュレータを用いた教育訓練の要件も導入された。現在パネルやパソコンを利用したシミュレータの研究や製品はあるが実際に機関を動かせるプラントに訓練用のシミュレート機能を付加したものは見当たらない。そこで異常状態や操作に伴う現象をシミュレートできる機能を実機に付加することで、陸上でも船上での訓練に近い環境で訓練が行えるシステムの開発を行なった。総合的なシミュレータとするため、配管システムを中心に組み込み方法を確立した。さらに関連マニュアルの表示や、遠隔での使用、操船シミュレータとの連携を測れるシステムとし、使用時の課題抽出も行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たな拡張機能の導入も視野に入れたシミュレート機能を実機に組み込む手法の確立を行い、多様な機器配置に活用できる機能の導入と訓練時に必要な事項の抽出を行なった。

シミュレータ機能に関する開発改良により実機に組み込みを可能とした擬似配管は各種システムで活用でき、バルブやポンプの擬似操作による警報発生などが可能で、陸上においても船上に近い環境で訓練が行えるようになる。さらに新たに補機などの擬似装置を開発した場合でも、本手法により実プラントに訓練項目として容易に付加できる。またネットワーク技術の学習にも活用できるだけでなく、今後自動運航船に対応したシミュレータ訓練の検討や使用につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：The STCW Convention, which stipulates requirements for qualifications for seafarers, was revised in 2010 and introduced requirements for education and training using simulators. Currently, there are studies and products of simulators using panels and personal computers, but there are none that add simulation functions for training to plants that can actually operate the engines. Therefore, I have developed a system in adding functions to actual equipment that simulate abnormal conditions and phenomena associated and an environment similar to that of onboard training. In order to create a comprehensive simulator, we established a method of incorporating the system, focusing on the piping system. The system was also designed to display related manuals, be used remotely, and be linked to a shiphandling simulator, and issues were identified when the system was used.

研究分野：船用機関

キーワード：機関シミュレータ 組込み型UNIX 燃焼解析 拠点間通信 遠隔操縦装置 機能拡張 実習教育 操船シミュレータ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

海事技術者の養成における教育システムの開発は常に求められており、商船系高等専門学校では、教育カリキュラムの検討・改正や、海事技術者に求められる資質として英語教育を含めた教育システムの開発を行っている。船舶の運航に従事する船員は定められた資格が必要であり、その資格は国際基準である STCW 条約で定められている。2010 年 STCW 条約マニラ改正ではシミュレータを用いた教育訓練について BRM/ERM（ブリッジ及びエンジンリソースマネジメント）に関する要件も導入された。特に機関シミュレータは訓練の評価を行うだけでなく、トラブル対応等機関士が持つべき資質や技術の達成に用いられる機器である。現在、パネルやパソコンを利用し運転状態を再現するシミュレータの研究や製品はあるが、実際に機関を動かせるプラントに訓練用のシミュレート機能を付加したものは見当たらない。そこで、各種異常状態や操作に伴う実現現象をシミュレートできる機能を実機に付加することで、陸上の現場でも船上での訓練に近い環境で ERM 訓練が行える、これまでにないシステムの開発を行う。

2. 研究の目的

本研究では、船用機関の教育において、講義と並行して行う実船と陸上設置方機関を用いた実習訓練に着目した。各実習教材の欠点を相互補完するシステムの開発を行うことを目的とし、講義と連携を図りながら、より効果的な教育訓練が行える手法の提案を試みるものである。

従来の機関シミュレータでは、実際の機関を運転する上で再現するとこの困難な異常状態を模擬できるが、配管図や写真及び動画でプラント内の配管系統を理解しなければならない。さらに、操作対象の形状やバルブの開閉操作などは実際と異なり、低学年や初学者を対象とした初期教育時の訓練生は実際の作業を想像することが難しい。そこで実船と陸上設置型機関（実機）の教育訓練設備を比較し、既存の機関に、可能な限り負荷をかけず運転管理を継続しながら異常状態を再現するシミュレータ機能を実機プラントに付加することで、船上での訓練に近い訓練環境を構築する。これにより実習訓練における訓練設備の補完機能の開発と、システムの有効性、教育効果を検証する。また、当直業務における機関異常の発見につながる挙動を実験調査し、シミュレータに組み込み、その有用性を確認する。

さらに、開発中のシミュレータを実際使用し、課題抽出を行うとともに改善向上に向けた検討を行うとともに、訓練時に必要となる海事英語の検討を行なっていく。

3. 研究の方法

機関運転シミュレータとして拡張する機能に関する調査は、文献や関連資料等、また国外を含め実際に使用している教育機関の視察などによって行なう。また、調査結果をもとに拡張機能の方向性を定める。また、開発するシミュレータは実機に擬似装置を組み込むものであり、実際の機関運転時に計測した運転状態をシミュレータに反映し訓練対象の値だけを制御することで多様な状況を作り出すものとする。このためシミュレータ起動時に運転情報を取得するシステムを改良開発するとともに、各種計測値の擬似データを演算するため通常運転時の計測値を計測取得する。さらにシミュレート結果は実習時に機関室で閲覧ができるだけでなく、操船シミュレータとの連携も視野に入れネットワークの構築も行う。以上を基盤とし、拡張機能を実機に組み込むため、擬似装置の作成と組み込み時の課題抽出、修正を行う。

4. 研究成果

(1) 機関シミュレータとして拡張する機能に関する調査

現行のパネル型シミュレータを中心に、国内外の機関シミュレータで訓練できるシミュレート機能と実施概要について視察や調査を行い、拡張機能の検討を行なった。既存のシミュレータの構成はパソコンで完結するもの以外、実機として制御盤や集合始動器盤及び一部の補機と、機関室内の配管や主機・補機・推進器を示すイラストに操作や確認ができるスイッチや計器が配置されたパネルや画面で構成されている。訓練内容は基本的な発停作業だけでなく定常運転時における温度異常や圧力低下などのトラブル対応が行えるよう、訓練生の対応操作に応じて、自動または教員卓により状態を再現させるものが一般的であった。また実運航時の環境を考慮し、気象海象による船体の動静などで変化する機器の状態を再現するものも見られたが、原則主機を動かすために必要な作業項目で構成されていた。しかし荷役など、ポンプ操作や配管の確立が伴う場合でも機関室外で行う作業に関するシミュレータは、機関シミュレータとは別に独立している。さらに操船シミュレータでは操船時に機関を用いた速力制御ができるが、機関異常時には船体の動きは再現されるものの機関運転情報に関するものは機関異常の表示と速力変更指示が主たるものであった。逆に機関制御室で得られる操船情報は速力変更指示であった。これより、本シミュレータの拡張機能には、従来機関シミュレータの範囲外の機能を機関運転時にも体験できるものを中心とし、組み込み方法を検討することとした。

(2) 機関整備・航海支援情報を携帯端末で確認できるシステム構築

機関の運転状態を理解させるため運転時の各種計測値の表示だけでなく、講義で学ぶ熱力学視点や機関操作及び表示値の読み方などについて訓練生が求める視点で見ることのできるよう、各種情報を遠隔で表示させる機能を追加した。監視装置を Web サーバー機能を持たせたワンボードパソコンで作成し、制御盤内の情報装置とシリアル通信をさせることで機関運転時の計測値を 1 秒ごとに取り込み、運転情報を監視画面や同じネットワークに接続した携帯端末でも閲覧できるようにした。さらにシミュレート機能も監視装置内で処理することで、追加するシミュレータの結果を運転計測値と合わせて、または一部変更して表示できるようにした。

監視画面の例を図 1 に示す。図中右側の画面では運転状態を示すとともに、擬似的に警報を発生させ画面上部に警報内容を表示させている。このとき画面の端部をクリックした時に、発生させた異常情報に関する項目に関する完成図書を検索と内容が表示できるようにすることで、トラブル対応や学習内容の確認ができるようになった。

また図 2 に機関及び操船シミュレータの機器が接続されたネットワーク概要図を示す。操船シミュレータとの連携を視野に入れ、機関側の監視装置があるネットワークの外にある操船シミュレータ室と VPN 接続を行い、速度変更指示を送るテレグラフの連携と機関シミュレータの監視画面が両室で見られる環境を構築した。操船訓練時の運転情報は出入港時などの訓練で活用できると考えられるが、機関室側から危急停止状態などの情報を送り通信装置も用いた訓練とすることで航海士と機関士の対応を同時に行える実践的な訓練が可能となる。また燃料代やシーマージンの表示を行うことで燃料消費を抑える運航検討の効率化を考えた訓練にもつながると考える。

一方で別施設となるが操船シミュレート訓練時にオペレータが使用する監視制御画面等の拡張を行い、遠隔でも監視できるようにした。これにより機関室側でも船橋から見た景色や航海計器の情報が見られるようになり、操船状態を考慮した運転実習が行えるようになった。

(3) 機関運転状態の計測

機関プラントには各種センサが取り付けられているが、各シリンダ内圧力は実船においても適時計測するものの連続的にセンサは取り付けられていない。そこで訓練時にも燃焼状態の計測が行えるだけでなく、シミュレータ機能として運転状態の再現にも活用すべく燃焼解析装置を用いた燃焼状態の計測を行なった。燃焼解析装置は、対象機関が 3 気筒であるため複数センサによる同時計測と実船にも搭載されている計測ユニットで表示できるものを導入した。さらに計測ユニットから計測値を出力できる仕様とし、シリアル通信を使用したデータの抽出と外部 PC によるデータ加工が行える環境を整えた。対象とした機関計測部の形状は一般的な大型機関と異なり水平に取り付けられており、一時的な計測にしか耐えられない仕様から、継続して計測できるよう設置方法の検討を行なった。センサメーカーにおいてもない事例であったが、試験を繰り返し機関と架台の振動を同期させながら計測器に係る負荷を軽減させることで、運転時の計測に耐えられるようになった。運転は機関にかかる負荷を変えて行い、それぞれ筒内圧と排気温度を計測した。シミュレート用として一般的には使用しない船用 3 乗曲線以外の負荷と吸気孔の開度を変えて計測した結果を図 3 に示す。負荷の上昇に伴い圧力は上昇するが、特に同様な回転数と負荷でも吸気孔の開度が下がるほど排気温度が低下する傾向が見られ、新たな研究にもつながる知見を得ることができた。

(4) 拡張したシミュレート機能

機関室で実際に体感できるシミュレート機能を導入するため、燃料系統のポンプ操作やその関連部品の操作を学習できる疑似装置の開発、敷設を行った。

導入対象とした機関プラントは発停実習及び研究用途に使用されていたものであり、主機を動かすために必要な最低限の補機類で構成された設備である。

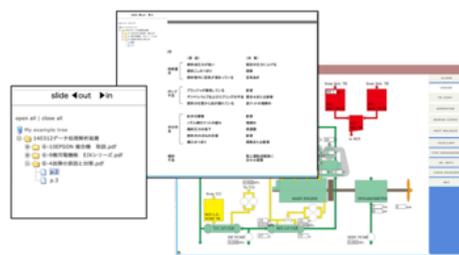


図 1 開発した監視画面と警告に対応した表示資料の例

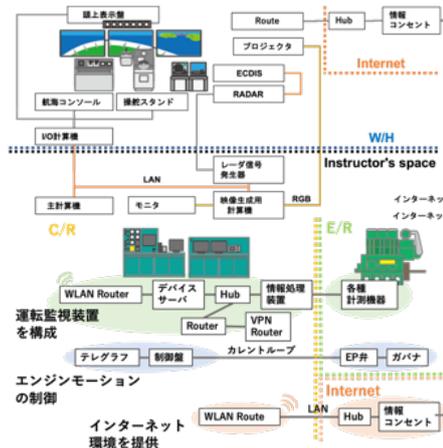


図 2 シミュレータ機能組み込み対象とした機関及び操船シミュレータ室のネットワーク構成概要図

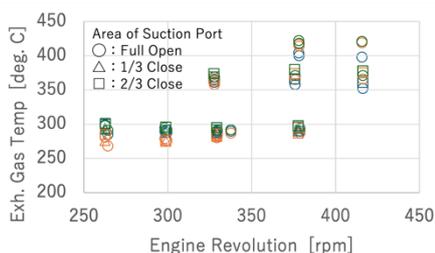


図 3 運転状態の違いによる排気ガス温度の変化

既存の燃料系統に追加される配管は、擬似配管と供給ポンプ 1 台または 2 台からなる大型船舶に見られる燃料加压系統の配管を元に製作した従来設備にはない機器である。補機類の並列運転実習は実船においても実施されるが運航中には頻繁にできない。また初学者にとって機器操作による流動変化や機関運転に与える影響を理解することもさることながら、計器による数字の変化だけでなく関連する作業体験を得る機会も重要である。

そこで、燃料系統として実際にバルブ操作ができる擬似バルブを作成した。図 4 に作成した擬似バルブの図面を示す。バルブは手動バルブとし内部に可変抵抗を入れ、操作量による電圧変化をマイコンで測定し、監視装置と連携させることで開閉状態を監視画面で表示できるようにした。バルブを設置する擬似配管には実際に燃料を流さず、配線を通すことで信号の送受信を行う。さらに遠隔にて監視画面上でバルブ開閉操作を行う場合、一般的には遠隔操作ができる電磁弁と手動バルブは併設されるが、ここでは遠隔操作と現場操作を 1 種類のバルブで再現できるようにした。機関室内に設置した擬似バルブは手動バルブを模したものであるため遠隔操作機能により開閉作業を行なった場合、現場の開閉状態と整合性がとれない。そこで配管設備を簡略化して組み込む際にも、現場と遠隔操作の実習を切り替えて実施できるように、電動弁と同じ役割をもたせた手動型擬似バルブを開発した。バルブ内にはモーターも組み込み監視画面の表示状態に合わせて現場でも開閉できるようにした。これより一般的な配管を組むことができるだけでなく、設置場所や訓練目的に応じて自由な配管を組むことが可能となった。さらに、実配管に擬似配管を組み込む際、例えばバイパスを作るときなど、擬似バルブの開閉だけでは実配管側の流れを止めたように見せることはできない。



図 4 擬似バルブの図面

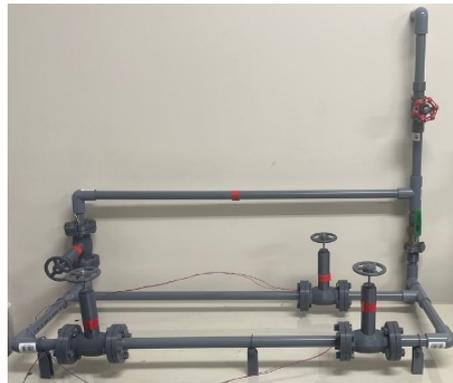


図 5 実配管とバルブを想定した開閉スイッチと、擬似配管を取り付ける時の概念図

そこで実際の配管に設置されている実バルブの開閉を監視画面に表示させるアタッチメント式の開閉判定スイッチを作成した。図 5 に実配管の実バルブを想定し、とりつけた開閉スイッチと擬似配管をとりつける時の概念図を示す。図中、各バルブから出ている配線の先にマイコン及び監視装置を接続することで開閉状態を管理することができる。実バルブを除き配管はいずれもシミュレート用であるが、実プラントに組み込む際は実配管の径に合わせたフランジ型アタッチメントで接合できるようにした。これより新たに補機類に関する機能などを拡張する際にも容易に組み込みができる発展性が見込める。

(5) 遠隔実習

機関室での当直業務の多くは、制御室でミーティング後各持ち場を部員と担当するか、制御室から士官の指示により機関室内の士官や部員が作業を行う形式で実施される。ここでは後者と自動運航船のオペレータ訓練を想定し、実機ベースのシミュレータがある現場とは別機関となる遠隔地からテレビ会議システムを用いた、現場の初学者に運転指示を出す形式での実習を行なった。現場には複数台のカメラを設置し教員も配置している。実船では、制御室と機関室は隣接していることが多いが、制御室からは機関室内全てを見ることはできない。しかし本実験では訓練生の動きが固定カメラで監視できるものの、指示通りに動けない場面がみられた。これは、

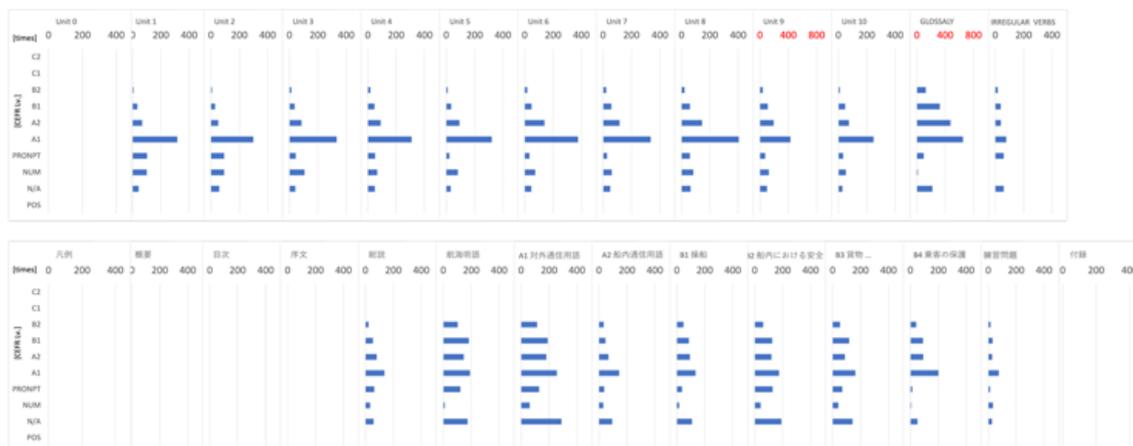


図 6 一般英語と海事英語の教科書に出現する単語のレベル比較

指示内容が理解できないことや、操作する機器の場所やその操作方法がわからないことが原因であった。指示を出す遠隔側では経験で補足指示を出すことが多くなったが、現状のシステムでは作業位置や詳細な行動まで見ることができず、トラブル時には迅速な対応ができないことが確認できた。また遠隔発停装置以外の機器操作や細部の監視・点検ができないことからコミュニケーション不足により生じる物理的に対応できない事項も改めて確認できた。

(6) コミュニケーションツールとしての英語

海事英語は一般英語と異なり言い間違いや聞き間違いのないよう、特殊な言い回しがある。しかし、基本的な知識がなければ海事英語の理解は難しく、効率よくコミュニケーションを図ることが困難となる。そこで一般英語と海事英語の違いを見るため、ヨーロッパ言語共通参照枠 (CEFR) を用いて、代表的な教科書について出現する単語レベルの比較を行なった。CEFR レベルは A1、A2・・・、C2 と難易度が上がる。図 6 に一般英語で使用される A1、A1 レベルの教科書と標準海事通信用語集で出現したレベルごとの単語数を示す。海事英語では一般英語と比較し、全章を通してレベルの高い単語が多く登場することがわかった。しかし詳細を検討した結果、レベルの高い単語は、船舶で使われる特殊なものが多く、その数は 200 語程度であることが確認された。そこで、海事英語を勉強する教材として、一般英語を基盤とし特殊な単語を盛り込んだ教科書見本を作成し、学生及び教員に印象に関するアンケートをとった (図 7)。とても良い、よいを選んだものは合わせて 59% であり概ね好意的に捉えられていることが判明した。理由として学生は、内容や見やすさ、商船学科教員は具体例が多い、英語科教員は説明のわかりやすさを上げており、教える側と学ぶ側の選定理由に差はあるものの実践的な英語学習につながる指針を得ることができた。

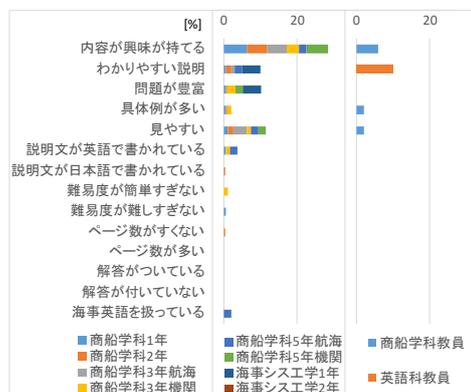


図 7 作成教材に対する印象のアンケート結果

本研究により、今後新たな拡張機能の導入も視野に入れシミュレート機能を実機に組み込む手法と訓練時に必要な事項の抽出が行えた。

シミュレータ機能の導入に関する開発改良により行なった燃料系統を対象とした擬似配管の組み込みは、燃料系統だけでなく、清水、潤滑油でも可能であり、またバルブやポンプの操作により擬似計測値の表示や警報発生、関連図書の閲覧ができる。今後、主要な補機類についても、個々の動作状況の再現や作業に関わる擬似装置の開発を行い、本手法を用いて実プラントに組み込むことで、より船内での実習に近い体験型学習環境の拡張が容易にできる。またネットワーク技術の学習教材としての利用や、運転情報から得られた知見から別視点で解析を続けていくことで機関運転状態の再現だけでなくプラント内における機器の運転特性評価が可能となると考える。

さらに遠隔実習や海事英語の教材開発を通して、トラブル対応訓練だけでなく、今後期待される自動運航船に対応したシミュレータ訓練の検討や活用につなげていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 今井康之, 瀬田広明, 広瀬正尚, 鈴木治	4. 巻 58
2. 論文標題 ERS機能の実機関への組み込みと拡張	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 マリンエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 182-187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.58.182	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 今井康之
2. 発表標題 シミュレータ用擬似バルブと配管設備の組み込方法の検討
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴木聡, 今井康之, ニコルソン・ショーン, 瀬田広明
2. 発表標題 海事英語におけるCEFR準拠教材開発とカリキュラム検討
3. 学会等名 日本教育工学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 今井康之, 瀬田広明, 広瀬正尚, 鈴木治
2. 発表標題 ERS機能の実機関への組み込みと拡張
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井康之, 竹家玄大, 鈴石剛琉, 鈴木治
2. 発表標題 実機ベースの機関シミュレータと操船シミュレータの連携
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

実機ベースの機関シミュレータ機能の機能拡張方法に関する論文が、日本マリンエンジニアリング学会誌に掲載される旨連絡を受けて、掲載号については連絡待ちである。

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関