

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 5 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420864

研究課題名(和文) 海陸複合管理下における船舶機関資源管理の改善に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Improvement of the Engine Resource Management under Multiple Management System

研究代表者

内田 誠 (UCHIDA, Makoto)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・教授

研究者番号：90176694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：船舶機関資源管理(ERM)向上のため、機関室シミュレータにおけるERM模擬再現により、船舶機関士を想定した被験者の生体反応と心的負荷を計測した。適切なリファレンス実験を行うことで、連続計測可能な複数の生体反応から、連続計測が不可能な心的負荷の変化も連続的に把握できる可能性を示した。

先行研究で実施した船舶機関管理に関する故障・事故の分析結果を基に、本船上の機関運転管理現場で求められる「現状把握力」、「解決策の理解度」と、陸上管理主導で進められる「支援」の関係に注目したシミュレーションを実施し、海陸複合管理下の微妙なバランスを評価するための基盤を提案した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the Engine-room Resource Management (ERM), the vital reactions and mental work load of the subjects who are supposing marine engineers were examined by simulated ERM environments in an engine room simulator. It was made clear that the mental work load of subject is able to be continuously estimated from the measurements of vital reactions by carrying out an appropriate pre-experiment for reference.

The numerical simulation model was proposed to make clear the relation between engineers at sea and superintendents at head office in a viewpoint of "Understanding the present situation", "Choice of solving" and "Appropriate support" by utilizing the result of a previous work. The base to evaluate the delicate balance for Engine Resource Management under multiple management system was established in this activities.

研究分野：船舶機関工学

キーワード：船舶機関管理 機関室資源管理(ERM) Engine Room Simulator ヒューマンファクター システムダイナミクス IMO Model Course 2.07 NASA-TLX n-back task

## 1. 研究開始当初の背景

IMO (国際海事機関) による船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約 (STCW 条約) 締約国会議が 2010 年 6 月マニラにて開催され、1995 年以来第 2 回目の包括的な附属書に関する見直しが行われ、2012 年 1 月 1 日より発効し、暫定期間を経て 2017 年 1 月 1 日には完全施行される。今回の改正で従来は附属書 B 勧告指針として概念的に示されていた ERM (Engine-Room Resource Management: 船舶機関資源管理) が附属書 A として明示的に強制要件化され船舶機関運転管理における人的要因による安全確保の重要性がますます高まっている。これまで日本では実船 (練習船) 教育環境が整っているため、機関室シミュレータ (ERS: Engine Room Simulator) の導入が急速に広まった海運後発諸外国に比較して、その導入ならびに活用が相対的に遅れ、結果として ERM 導入・実践および教育訓練開発の効果的な環境とされる ERS の設置および活用検討が十分になされていない現況にある。

国内における海技者の確保および育成について、2008 年閣議決定による海洋基本計画の施策「海上輸送の確保」の一貫として、昨年度国交省により設置された「船員 (海技者) の確保・育成に関する検討会」の最終報告書 (2012 年 3 月) では、「海運の安定輸送確保のため優秀な船員の確保が必要であり、海洋国家である日本にとって優秀な船員の効率的・効果的な養成が極めて重要な課題である」とされている。

船用動力機関プラントには、地球規模の環境維持・改善のための低炭素化社会に対応するため多様なシステム (複合動力源、排熱回収、排気ガス処理、再生エネルギー活用、高電圧化) の導入が進み、これらを安全で効率的に運転・維持・管理するためには、運航管理現場 (船舶乗組員) だけでなく SI (Superintendent、船舶管理監督者) を中心に機器メーカー、造船所などを含む陸上の運航支援組織・要員を含めた海陸間のコミュニケーションならびにチームマネジメントの重要性が報告者らの先行研究により明らかになっている。

## 2. 研究の目的

報告者らの先行研究では、船舶機関の運転・保守・保全における安全管理について注目し、潜在的な不安全状態や故障や事故として顕在化した事象の集約と分析を行い、その結果に基づき 2009 年 3 月に神戸大学大学院海事科学研究科に新設された MEPS (Marine Engine Plant Simulator: 一般名称 ERS) 実験室において実環境の模擬再現による船舶運航管理初心者と熟達者の相違点の把握分析を実施し、陸上組織による情報支援の活用方法などについて両者間の明確な相違点を明らかにした。

本研究では、効果的な ERM の構築を探るた

め、先行研究で収集した船舶機関の運転・保守・保全における安全管理に関する実績情報を詳細に分析し、MEPS 環境において Software (支援情報を含む)、Hardware (機関動力プラント)、Environment (教育環境を含む) および Live-ware (当事者およびチーム) すなわち “SHELL” 環境の異なる状況におけるシナリオの開発を試み、船舶機関運転管理の模擬再現による実験結果から、ERM 教育訓練手法および評価手法の普遍的な指標を得る基盤を構築しようとするものである。

## 3. 研究の方法

### (1) ERS および ERM の現況把握

MEPS 勉強会を主宰し、ERS 最新情報の把握と研究成果進捗の反映 (社会実装) について、継続的に取り組む。ERS モデルコース (IMO Model Course 2.07) の改編実務を担うトルコ共和国 Piri Reis 大学の研究協力者と情報交換を図り、モデルコース改訂に寄与する。

### (2) 船舶機関安全管理に関する分析

機関トラブルに遭遇する機関士の情報処理システムに注目し、顕在事象としての機関損傷事故及び潜在事象としての機関故障事例から、人的要因に関する特性分析を行い、機関士エラーのメカニズムを分析評価する。数量化 類による分析を適用して特徴量を特定して抽出し、クラスター分析により、特徴量の類似化を試みる。

これら分析結果を基にして、機関士エラー行動に関する因果モデルを検討し、シミュレーションにより因果ループの妥当性の確認を試みると共に、普遍的指標を検討のため試算を行う。

### (3) ERM シナリオの開発

MEPS 環境下において ERM のための模擬再現環境を拡大するため、MEPS 機関動力プラントの一部およびマルファンクションの改変および開発を行い、MEPS 機能向上を図る。

船舶機関運転管理に携わる間の心的負荷と生体反応の相関を把握するため、MEPS 環境下において負荷レベルの異なる複数のシナリオを設定する。実現場における船舶機関士のように機関室や制御室の移動を想定すると、生体反応には心的負荷の影響と移動行動の影響が混在するため、これらを分離分析するため、リファレンスに相当するシナリオの開発を試みる。

### (4) ERM 模擬再現結果の分析

安全人間工学の「フェーズ理論」による五段階の注意レベルに注目すると、「フェーズ (適度な緊張)」の状態が注意力の信頼性が最も高いとされている。MEPS シナリオ進行中の被験者の生体反応から、被験者のフェーズレベルを評価し、NASA-TLX により把握する被験者の主観的評価に基づく心的負荷との相関から検証を試みる。

### (5) 普遍的指標を検討する基盤の構築

船舶機関安全管理に関する分析により構築する機関士エラー行動に関する因果モデ

ルをベースに、海陸複合管理下における陸上側からの本船に対する支援の効果を予測するシミュレーションの基盤を、システムダイナミクス (SD) を用いて構築する。

#### 4. 研究成果

##### (1) MEPS 勉強会

本研究期間内 (H25 ~ H27 年度) に 12 回開催し、内 1 回は ERS モデルコース改編の実務を担っている研究協力者 (橋本誠悟氏) を招聘して IMO をはじめとする国際的な動向の把握と、ERM に関する意見交換の上、本研究の一環として ERS および ERM に関する技術情報を提供し、IMO Model Course 2.07 改訂原案の構築に貢献した。

##### (2) ERM シナリオの開発

被験者毎の個性に基づく生体反応差を予め把握して、ERM シナリオ実験結果の分析精度を高めるため、リファレンスシナリオを種々検討した結果、W.K.Kirchner により提案された n-back task が有効であることが分かった。フェーズ理論の五段階の注意レベルの内、フェーズ (定例作業) (適度な緊張) (興奮) の出現を想定する 3~4 段階の難易度の MEPS シナリオを数セット開発した。難易度を変更する変数は、操作対象とする配管系統の数、当直標準作業から非日常的作業、マルファンクションの有無、マルファンクションの難易度、アラームの頻度、指定する状況確認動作のレベルなどである。計測する生体反応の種別 (脳波、心拍、鼻部額部温度差など) および組み合わせに応じて、被験者の運動行動など (歩行、発話など) の影響が生体反応計測に影響を及ぼさないよう、変数選択により適切な模擬環境の設定を可能とした。

##### (3) ERM 模擬再現結果の分析

分析結果の典型例として、同種のアラームが頻発するシナリオにおける計測及び分析結果を図 1 および図 2 に示す。

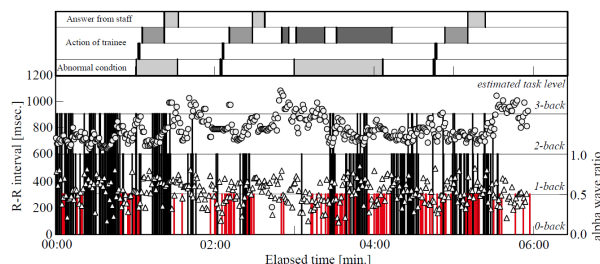


図 1 典型的な実験結果 (相当 n-back task)

実験中に連続して被験者の生体反応を計測し、事前に n-back task を課しリファレンスとして把握している被験者の個性情報を総合して、実験中の被験者の相当 n-back task の n 値を連続的に推定したものである。図中

が心拍、が脳波、上下三段階の棒グラフが推定 n 値の結果である。当該被験者のリファレンスにおいて、n-back task の n 値は、1 から 2 が適度な緊張感、すなわちフェーズ理論におけるフェーズ に相当し、3-back

task はフェーズ に相当するが、相当 n-back task の n 値は、図中上段の機関異常の発生及び被験者による異常対応に応じて、変化していることが読み取れる。実験開始直後、3-back task 相当の心的状態である緊張が連続しており、1 回目の警報発生に比べ 2 回目の警報発生時のタスクレベルは低いと読み取れる。リファレンス実験時の n 値に応じた生体反応と NASA-TLX の相関をマハラノビスの凡距離の概念で類似性を把握し、図 1 と同じ実験中の相当 NASA-TLX 値を連続的に推定した結果を図 2 に折線で示す。

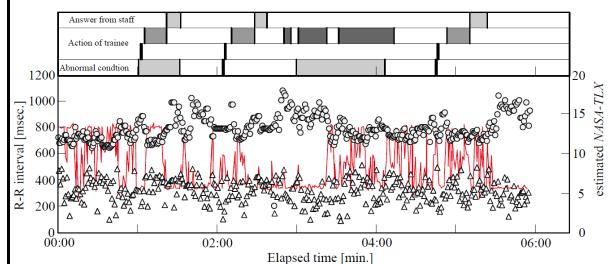


図 2 典型的な実験結果 (相当 NASA-TLX)

被験者の把握するため、本実験終了直後に NASA-TLX 調査を被験者に課して実験中の心的負荷を把握した結果、TLX 値は 8.0 であり、図中折線の推定 TLX 値の平均値と概ね整合する。推定 TLX 値の変化も相当 n 値と同様に、機関異常の発生及び被験者による異常対応に応じて変化している。

n-back task リファレンスを活用することにより、実験前後のスポットで把握する被験者の主観評価 NASA-TLX で得られる心的負荷を連続的にモニタリングできる可能性を示した。実用化に向けては、ノイズ除去分析などの高度化が求められる。

MEPS 環境下における負荷レベルの異なる複数のシナリオによる心的負荷と生体反応の相関に注目した実験計測と分析により、船舶機関運転管理者の無意識な生体反応を常時モニタリングすることにより、対象者の心的負荷をリアルタイムに把握できる可能性が高いことを明らかにした。同時に、生体反応計測結果に含まれる他の要因に基づくノイズ処理の基本的な考え方を示した。

##### (4) 普遍的指標の検討

機関トラブルに遭遇する機関士の情報処理システムに注目し、事故や故障の発生に関する人的要因に関する特性分析を行い、機関士エラーのメカニズムを分析評価した結果、顕在事象と潜在事象の類似性と相違生を明らかにした。数量化 類の分析で得たエラー発生過程要素 33 項目の特徴を 3 次元散布図として視覚的に整理し、顕在事象と潜在事象の類似性は、先入観や固執性による Mistake であり、相違性は、顕在事象では Violation が卓越し、Skill 要因(慣れによる一点集中、短縮など)であることを明らかにした。

本船上の機関運転管理現場で求められる「現状把握力」、「解決策の理解度」と、陸上

管理側の主導で進められる「支援」の三者の  
関係に注目し、Skill 要因として「一点集中」、  
「慣れによる行動」の影響を考慮した因果ル  
ープを基本モデルとして、SD シミュレーシ  
ョンを提案した。

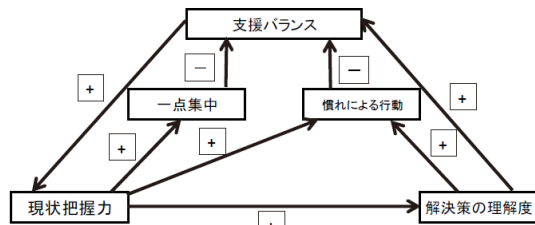


図3 基本モデルの因果ループ

各要素間の影響度合いの設定によってシミュレーション結果は異なるが、典型的なシミュレーション結果例として図4に示す。「支援バランス」の需要は供給よりも影響を大きく設定しており、「現状把握力」に比べて、「解決策の理解度」が「支援バランス」の影響に早く反応する。海陸複合管理下において、微妙なバランスで影響し合う陸上側の支援と機関士の行動特性に関し、シミュレーションモデルを提案し、要素のレベル変化を時系列で表現することができた。現段階では、骨格の提案に留まっているが、構成要素の精査を重ね、本研究の今後の進展において、SDシミュレーション結果をERMシナリオ開発、ERM模擬再現にフィードバックして反映させ、実務教育訓練体系の改善策の導出に貢献する。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

中村真澄、三輪誠、内田誠、船用機関事故分析に基づく教育訓練モデル構築の試みについて、日本マリンエンジニアリング学会誌、査読有、Vol. 51、No. 2、2016、pp. 223-229、<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020751888>

WU Yanbin、三輪誠、嶋本薫、内田誠、Development of quantitative team performance evaluation method for ERM、WMU Journal of Maritime Affairs、Vol. 14、Issue 2、査読有、2015、pp. 333-347、<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13437-015-0088-y>

中村真澄、三輪誠、内田誠、人的要因による顕在事象と潜在事象の比較に基づく船用機関事故防止に関する研究 - 多次元的考察の必要性、日本マリンエンジニアリング学会誌、査読有、Vol. 49、No. 2、2014、pp. 106-112、<http://ci.nii.ac.jp/naid/130005087315>

中村真澄、内田誠、船用機関事故における人的エラーの数量化、日本マリンエンジニアリング学会誌、査読有、Vol. 48、No. 4、2013、pp. 131-136

<http://ci.nii.ac.jp/naid/130004862212>

[学会発表](計 15 件)

中村真澄、三輪誠、内田誠、Relationship between characteristics of human factors based on marine accident analysis、International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)、2015.12.7.、シンガポール(シンガポール)

WU Yanbin、三輪誠、内田誠、中村真澄、Study on advantages and obstacles of applying physiological computing in ERS-based maritime training、The 12th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS 12)、2015.11.19.、イスタンブル(トルコ)

三輪誠、WU Yanbin、中村真澄、内田誠、Study on evaluation of communication aptitude in maritime education with marine engine room simulator、The 12th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS 12)、2015.11.19.、イスタンブル(トルコ)

三輪誠、WU Yanbin、中村真澄、内田誠、船舶機関安全管理に関する研究 - 繰り返し発生する警報に対する訓練生の行動の変化、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2015.10.27.、富山国際会議場(富山県)

WU Yanbin、三輪誠、中村真澄、内田誠、Operator's mental workload evaluation in engine room simulator by using EEG HRV and NASA-TLX、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2015.10.27.、富山国際会議場(富山県)

WU Yanbin、三輪誠、内田誠、Physiological Computing for Maritime Ergonomics Applications、International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)、2015.9.15.、釜山(韓国)

三輪誠、嶋本薫、WU Yanbin、中村真澄、内田誠、Study on workload measurements at the marine engineering education under the marine engine simulator environment、International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)、2015.9.15.、釜山(韓国)

嶋本薫、WU Yanbin、三輪誠、内田誠、船用機関プラントシミュレータ教育訓練における評価方法に関する研究 - 心的負荷と生体反応 -、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2014.11.20.、海峡メッセ下関(山口県)

中村真澄、三輪誠、内田誠、船用機関事故分析に基づく教育訓練モデル構築の試みについて、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2014.11.20.、海峡メッセ下関(山口県)

WU Yanbin、嶋本薫、三輪誠、中村真澄、内田誠、Comparison and Correlation

between Subjective and Objective Mental Work-load Measurement、The 10th International Symposium on Marine Engineering、2014.9.16.、ハルビン(中国)  
三輪誠、嶋本薫、WU Yanbin、中村真澄、内田 誠、Study on Development of Comprehensive Evaluation Method Using Multiples Biological Response Data under the Engine Room Simulator、The 10th International Symposium on Marine Engineering、2014.9.16.、ハルビン(中国)  
WU Yanbin、内田 誠、Quantitative Evaluation Method of Team Performance Regarding ERM、International Conference on Human Factors in Ship Design & Operation 2014、2014.2.26.、ロンドン(英国)  
三輪誠、久田将太郎、鈴木智比呂、中村真澄、内田 誠、Study on Eye Movement of Student and Skilled Engineer under the MEPS Environment、The 11th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS 11)、2013.10.1.、釜山(韓国)  
久田将太郎、三輪誠、鈴木智比呂、油木代一、内田 誠、MEPS 環境下における機関士の人間反応データ計測、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2013.9.2.、グランシップ静岡(静岡県)  
中村真澄、内田 誠、三輪誠、船用機関事故の人的エラーに関する潜在事象の考察、日本マリンエンジニアリング学会学術講演会、2013.9.2.、グランシップ静岡(静岡県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

内田 誠 (UCHIDA, Makoto)  
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授  
研究者番号：90176694

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

三輪 誠 (MIWA, Takashi)  
神戸大学・大学院海事科学研究科・講師  
研究者番号：30379341  
中村 真澄 (Nakamura, Masumi)  
弓削商船高等専門学校・助教  
研究者番号：20555677

### (4) 研究協力者

橋本 誠悟 (Hashimoto, Seigo)  
トルコ共和国 Piri Reis 大学・教授