

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04517

研究課題名(和文) 自律航行機能の技術進展に対応する船舶機関資源管理(ERM)に関する研究

研究課題名(英文) Research on Engine-room Resource Management to Respond to Technological Advances in Maritime Autonomous Surface Ships

研究代表者

内田 誠(Uchida, Makoto)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：90176694

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)：実務者ヒアリングおよび研究会で得た最新実績に基づいたERSシナリオを開発し、ワークロードおよび非技術的能力の定量的評価を試み、提案した評価項目および手法が効果的であり、両者の評価結果の間の相関性を明らかにした。海陸相互管理体制により複雑化が進む船舶機関管理における安全性・効率性・作業負荷に着目し、System Dynamicsを用い、安全運航の維持における主要素関係を示す動的モデルを提案した。安全と効率の相反する動特性、状況認識と事故発生の推定関係を示し、安全性向上のため状況認識が極めて重要な要素であり、陸上(遠隔)における状況認識が本船現場の作業負荷の安定性に対し重要であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題および研究代表者ならびに研究協力者による継続的な船舶機関資源管理(ERM)に関する研究活動により、日本マリンエンジニアリング学会「機関プラントシミュレータ研究委員会」の活動が向上ならびに拡大している。海事・海洋・商船系の教育研究機関にERSの導入及び設置検討が広がり、新造練習船との船陸間連携などによる新技術への挑戦が進んでいる。また、産業界、特に内航海運業界においても実務者に対するERM教育訓練およびその環境充実の必要性が認識され始め、産学連携の契機につながっている。

自律航行に向けた船陸間連携など新技術に対応した先進的ERMの礎として、本研究成果は学術的・社会的意義が高い。

研究成果の概要(英文)：Based on the latest situation obtained through interviews with practitioners and study groups, many ERS scenarios were developed and a quantitative evaluation for workload and non-technical skills were developed. The proposed evaluation items and methods were effective, and a high correlation was confirmed between both results.

Focusing on the safety, efficiency, and workload for ERM, which is becoming increasingly complex due to the mutual management system between on-board and on-shore, a dynamic model was proposed using System Dynamics to show the relationships between the main elements in maintaining safe operation. The conflicting dynamic characteristics of safety and efficiency, and the estimated relationship between situational awareness and the occurrence of accidents were confirmed, and it was shown that situational awareness is an extremely important element for improving safety, and that situational awareness on-shore is important for the stability of the workload on-board.

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 船舶機関シミュレータ ERS IMO Model Course 2.07 非技術的  
技能 Non-tech. Skills 状況認識 Situation Awareness 業務負荷 Work Load 行動観察 VACP

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。

## 1. 研究開始当初の背景

第3期海洋基本計画(H30.5-R5.4.)における施策「海上輸送の確保」および「海洋人材の育成と国民の理解の増進」の一貫として「船員等(海技者)の育成・確保」の重要性が示され、国土交通省の検討会ならびに社船実習等の産官学連絡会議において、より高いレベルの管理能力を有した日本人海技者の継続的な輩出の重要性が指摘された。国際的には2010年マニラ締約国会議で改正されたSTCW(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)が、2017年(H29)から完全施行されていた。さらに、MASS(海上自律航行船)の試行や国際基準・規制の策定の議論が始まっていた。海運会社・船舶管理会社・海技教育機関等では、ERM実践のための教育訓練が現職海技者を対象に実施されていたが、いずれも、従来の運航管理現場(本船上)におけるリソースに力点が置かれたミクロ視点のERMに留まっていた。技術躍進が顕著な海上高速ブローバンド、ビッグデータ処理等により、MASSの進展に向けたIMO(国際海事機関)による国際基準・規制について議論が始まり、北欧の産業界によるMASS試験航海が計画されていた。大洋航海の大型商船へのMASS本格導入の検討開始までに、完全無人による船舶機関システムの長期信頼性・安全性を向上させる技術進展が必要であり、自律航行機能に活用可能な最新技術をERM構成要素として積極的に取り入れ、船陸間が高度に連携するマクロ視点によるERMの実践と向上が不可欠であった。技術環境が整い、MASS本格導入が検討される時代には、それまで運航管理現場(本船上)および運航支援組織(陸上)の双方で培うERM手法が、陸上からのMASS運航管理に必要なものと見込まれるからであった。

ERMの開発・評価・検証では、組織内の不安全・事故・故障などマイナス面の情報に接することが不可避であり、公的な教育研究機関である大学の海事科学研究科において先導的に取り組むことが社会的な責務であった。ERMを研究対象として新たな概念を導入し、機能向上や評価手法の普遍化を、船舶海洋工学・情報科学・認知工学・海事社会学を連携させて学術的に取り組み、その成果を社会実装・還元しようとする活動は、国内外で見当たらなかった。

## 2. 研究の目的

上記背景に基づき、将来的な自律航行機能の技術進展を要素に取り込み、高度で先進的なERM(Engine Resource Management: 船舶機関資源管理)を実践する手法を導き、評価手法の提案と共に一般化による社会実装を図り、安心・安全で効率的な海上輸送の確保による日本経済の基盤維持に貢献することを目的とした。

本研究で研究対象としたERMとは、船舶運航に関する機関運転管理領域において、リソース(要員、機器、情報・環境)を適切に管理し、有効に活用しながら安全運航を実現する一つの手法である。ERMの実践では、コミュニケーション、明確な意思表示、リーダーシップ、状況認識力などの人的要素を中心とした、高い非技術的技能が重要であった。

本研究による目的は、以下の4点に大括り出来た。

- (1) ERM実務現場(海運業、船舶管理業、教育訓練機関等)での最新実情の調査・把握
- (2) ミクロ視点ERMの評価手法の開発(普遍化)
- (3) マクロ視点ERMの実践方法の開発と効果検証
- (4) 自律航行機能の技術を取り入れたミクロおよびマクロ視点ERMの試行検証

## 3. 研究の方法

- (1) ERM実務現場(海運業、船舶管理業、教育訓練機関等)での最新実情の調査・把握

ERS機能に適応したERM研修プログラムおよび評価手法の有無およびそれら内容を把握するため、船舶運航・船舶管理・海事行政・船級などの実務担当者へのヒアリングを実施し、また、関係分野の研究会・学術会議等での情報交換に基づき得られたERSおよびERMのハード面及びソフト面に関する最新情報を以下の(2)から(4)の活動に反映させた。

- (2) ミクロ視点ERMの評価手法の開発(普遍化)

STCW条約改正に対応してIMOが改訂したModel Course 2.07 Engine Room Simulatorに明示されたERS環境におけるERM研修の基本事項を遵守し、ミクロ視点で多様なERM研修プログラムを独自に開発し、ERM研修過程および結果に対する普遍的な評価手法の開発を試みた。船舶機関管理に起因する事故等の顕在化を未然に回避するため、チーム行動における船舶機関士(被験者)の客観的および主観的の両面から心的負荷の常時把握を試み、人的要因に起因する不安全状態の把握を試みた。

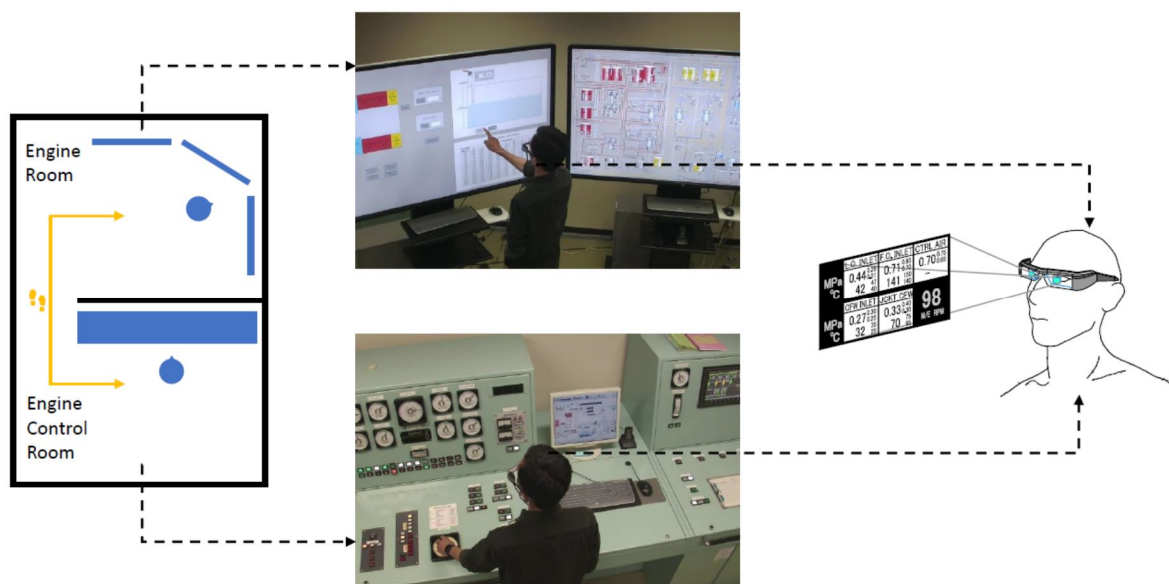
- (3) マクロ視点ERMの実践方法の開発と効果検証

運航管理現場(本船上)に対する運航支援組織(陸上)からの支援は、マクロ視点ERMの重要な要素であり、実践方法の開発のため、これら要素の影響・効果に関する評価手法に関し、数値モデル(SD: 複雑システムのシステムダイナミクス)による精緻化を試みた。

- (4) 自律航行機能の技術を取り入れたミクロおよびマクロ視点ERMの提案と試行検証

MASSの試行や完全無人化への移行期において機関領域における運航管理現場(本船上)の省人化は想定されるものの、推進動力源である高出力原動機関を保守・維持・整備するための要員は不可欠であり、運航管理現場(本船上)と運航支援組織(陸上)の役割分担と連携強化が必

至であるため、ミクロ視点とマクロ視点が融合して船陸間が高度に連携する **ERM** の向上と実践を意図し、(3)で開発したマクロ視点 **ERM** シミュレーションモデルを駆使し、海陸相互管理体制におけるヒューマンファクターアプローチについて確認を試みた。



**Fig. Typical experimental circumstance in the Engine plant simulator at Kobe University.**

#### 4. 研究成果

(1) **ERM** 実務現場（海運業、船舶管理業、教育訓練機関等）での最新実情の調査・把握  
ヒアリングおよび情報発信と収集により得た最新情報は、(2)から(4)の活動計画、実施に反映させ、研究活動の進展と向上を図り、以下の成果を得た。

##### (2) ミクロ視点 **ERM** の評価手法の開発（普遍化）

ワークロード評価と非技術的能力の定量的評価の関係性を検証し、一定の整合性を示した。

###### 【ワークロード】

多様な **ERS** タスク環境下で定量的なワークロード評価を実施し、実船環境に則した機関管理における緊急事態等のシナリオ開発の必要性、および行動観察などによる客観的ワークロード評価手法の必要性を明らかにした。機関運用管理に適應する **VACP** 評価指標を作成し、**VACP** 評価に基づいた客観的なワークロード推定結果が、**NASA-TLX** に基づく主観的ワークロード推定値と整合することを実験的に確認できた。

###### 【Non-Technical Skills】

**ERS** 環境下において非技術的能力の定量的評価を試み、本研究で提案した「細分化した評価項目」が効果的であり、非技術的能力の定量的評価が客観的に行えることを明らかにした。

##### (3) マクロ視点 **ERM** の実践方法の開発と効果検証

海陸相互管理体制の進展により動的な複雑化が進展している船舶機関管理における安全性・効率性・作業負荷の概念に着目し、社会技術システムにおける不安全リスクの因果構造モデルとして **System Dynamics** を採用し、安全運航の維持における主要要素の重要性を議論可能な動的モデルを提案した。安全性と効率性の相反する動特性に関する典型的な演算結果、および状況認識の程度と事故発生件数の推定関係を示し、安全性の確保および向上のため、状況認識が極めて重要な要素であること、および、陸上（遠隔）における状況認識は本船現場における作業負荷の安定性に対し重要であることを示した。

##### (4) 自律航行機能の技術を取り入れたミクロおよびマクロ視点 **ERM** の提案と試行検証

(3)において開発したマクロ視点 **ERM** シミュレーションモデルを駆使し、海陸相互管理体制におけるヒューマンファクターアプローチについて確認を試みた結果、今後取り組む必要のある課題およびその重要性が明らかとなった。

- ・状況認識の概念を構成する要素として、個々人の認識、個々人の信頼性、社会技術システムの構成に着目して検討した。将来的にはさらに広範な検討が必要となる。特に、個々の人間を越えたチーム構成としての状況認識の測定が必要となる。
- ・**ERM** と **BRM** の融合による状況認識向上に基づいた安全性向上の議論が必要となる。
- ・船舶運航・管理の自動化、自律化の進展に基づき、海陸相互管理体制におけるヒューマンファクターアプローチがますます重要となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3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 Nizar Adi Mas, Miwa Takashi, Uchida Makoto	4. 巻 21
2. 論文標題 Measurement of situation awareness in engine control room: approach for non-technical skill assessment in engine resource management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 WMU Journal of Maritime Affairs	6. 最初と最後の頁 401 ~ 419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13437-022-00270-6	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 内田誠	4. 巻 58
2. 論文標題 ERSにおける動力負荷特性の重要性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 174 ~ 181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.58.174	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 -

1. 著者名 石田達朗, 三輪誠, 内田誠	4. 巻 58
2. 論文標題 ERMにおけるワークロード評価手法と非技術的能力評価手法の検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 157 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 中村真澄, 松永直也, 山下訓史, 中根教道, 中田禅, 三輪誠, 内田誠	4. 巻 58
2. 論文標題 行動メカニズムを基にしたERM訓練評価手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 149 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Nizar Adi Mas, MIWA Takashi, OZAKI Takashi, UCHIDA Makoto	4. 巻 56
2. 論文標題 Aiming for Alarm System Improvements for Ship Engine Operation Using Engine Control Console Alarm Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 961 ~ 969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.56.961	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Ishida Tatsuro, Miwa Takashi, Uchida Makoto	4. 巻 20
2. 論文標題 Work load evaluation method for engine-room resource management training: a quantitative approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 WMU Journal of Maritime Affairs	6. 最初と最後の頁 335 ~ 355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13437-021-00245-z	査読の有無 有
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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Adi Mas Nizar, Masumi Nakamura, Takashi MIWA, Makoto UCHIDA
2. 発表標題 Dynamic Safety Modelling for Ship Management Performance
3. 学会等名 The 3rd Maritime Safety International Conference (MASTIC 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Adi Mas Nizar, Takashi MIWA, Makoto UCHIDA
2. 発表標題 Head-worn Display Utilization in Engine Supervisory Work
3. 学会等名 The International Association of Maritime Universities (IAMU) Conference
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Adi Mas Nizar, Takashi MIWA, Makoto UCHIDA
2. 発表標題 Human-Machine Interface Evaluation in Engine Supervisory Control through Alarm Performance Assessment
3. 学会等名 The International Ship Control System Symposium 2022 (iSCSS)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田誠
2. 発表標題 ERSにおける動力負荷特性の重要性
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第92回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田達朗, 三輪誠, 内田誠
2. 発表標題 ERMにおけるワークロード評価手法と非技術的能力評価手法の検討
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第92回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村真澄, 松永直也, 山下訓史, 中根教道, 中田禅, 三輪誠, 内田誠
2. 発表標題 行動メカニズムを基にしたERM訓練評価手法
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第92回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村光我, 内田誠
2. 発表標題 船舶機関運用管理におけるNon-technical Skill評価の実践運用に向けた試み
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第92回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田誠, 鷓飼梓, 中根弘貴, 油木代一
2. 発表標題 船舶機関シミュレータの動力負荷特性 - ERM環境の強化に向けて -
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第91回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村真澄, 松永直也, 山下訓史, 中根教道, 中田禅, 鈴木辰茂, 平田大和, 三輪誠, 内田誠
2. 発表標題 意識向上のためのERM 訓練手法
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会第91回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Adi Mas Nizar, Takashi MIWA, Makoto UCHIDA
2. 発表標題 Measuring Situation Awareness in Engine Control Operation
3. 学会等名 The International Association of Maritime Universities(IAMU) Conference, The 21st Annual General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

最大1000文字(2000バイト)。

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
研究協力者	三輪 誠  (Miwa Takashi)  (30379341)	神戸大学・海事科学研究科・准教授   (14501)	
研究協力者	石田 達朗  (Ishida Tatsuro)  (20980527)	神戸大学・海事科学研究科・准教授   (14501)	
研究協力者	中村 真澄  (Nakamura Masumi)  (20555677)	弓削商船高等専門学校・商船学科・准教授   (56302)	

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
---------	---------