



船舶機関運用管理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研究

石田, 達朗

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2022-03-25

(Date of Publication)

2023-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8375号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008375>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

船舶機関運用管理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研究

2022年1月

神戸大学大学院海事科学研究科

石田 達朗

目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究の目的.....	3
第2章 ワークロード評価手法及び非技術的能力評価手法に関する研究業績の調査.....	5
2.1 本章の目的.....	5
2.2 ワークロード評価手法の調査.....	5
2.3 ERM 訓練における非技術的能力評価手法の調査.....	6
第3章 実験装置.....	10
3.1 本章の目的.....	10
3.2 MEPS 構成.....	10
3.3 MEPS 基本性能.....	12
3.4 MEPS 機器配置.....	12
3.5 映像記録と音声記録.....	14
3.5.1 映像記録.....	14
3.5.2 音声記録.....	14
第4章 行動特性の把握（生理指標を用いたワークロード評価実験）.....	15
4.1 本章の目的.....	15
4.2 計測機器.....	15
4.2.1 心拍計.....	15
4.2.2 脳波計.....	16
4.3 実験内容及び実験シナリオ.....	17
4.4 分析方法.....	18
4.5 実験結果.....	19
4.5.1 Visual-N-back-task の t 検定結果.....	19
4.5.2 マハラノビスの汎距離法による判別分析結果.....	20
4.6 考察.....	22
4.7 結言.....	22
第5章 ERM 訓練のシナリオ作成.....	24
5.1 本章の目的.....	24
5.2 ERM 訓練実施機関の実態調査.....	24
5.3 IMO Model Course 2.07 2017 Edition ERM Sample Exercise 内容調査.....	26
5.4 MEPS において実施可能な緊急事態対応シナリオの作成.....	27
5.5 結言.....	29
第6章 船舶機関運用管理におけるワークロード評価手法.....	30
6.1 本章の目的.....	30
6.2 ワークロード分析方法.....	30
6.2.1 NASA-TLX.....	30
6.2.2 VACP 評価手法.....	32
6.3 ワークロード評価実験.....	35
6.3.1 実験装置.....	35
6.3.2 実験内容.....	36
6.3.3 分析方法.....	36
6.4 実験結果.....	37
6.4.2 VACP ワークロード量と心拍変動の相関.....	39
6.4.3 VACP ワークロード評価と主観的評価の比較.....	41
6.5 考察.....	43

6.6	結言	44
第7章	非技術的能力評価手法	45
7.1	本章の目的	45
7.2	評価指標の検討	45
7.3	ERM 訓練評価実験内容	46
7.4	実験結果	46
7.5	大別した評価項目と細分化した評価項目の比較	51
7.5.1	細分化した評価項目の策定	51
7.5.2	%評価における比較結果と考察	52
7.5.3	A・D 評価における比較結果と考察	53
7.5.4	評点平均値及び標準偏差平均値	54
7.6	結言	56
第8章	ワークロード評価と非技術的能力評価の関係性	58
8.1	本章の目的	58
8.2	客観的ワークロード評価手法の有効性の確認	58
8.3	認知資源毎のワークロード評価と非技術的能力の関係性	62
8.4	非技術的能力評価の評価項目毎の比較	64
8.5	結言	65
第9章	総括	67
9.1	本研究の成果	67
9.2	今後の展望と課題	69
9.2.1	客観的ワークロード評価手法の活用方法	69
9.2.2	ERM 訓練シナリオと評価手法の発展	70
9.3	結言	70
	謝辞	72
	付録1 実験協力に関する同意書	73
	付録2 NASA-TLX 記入用紙	74
	参考文献	75

第1章 序論

1.1 研究背景

今日の船舶機関運用管理の現状は時代の過渡期と言っても過言ではないと考えられる。その理由として、大きく二つの変化がここ数年で適応され、開発が進み、その対応を求められているからである。一つは自動運航船(MASS)の開発・研究の発展があり、もう一つは2010年STCW条約マニラ改正⁽¹⁾により、機関士の能力基準表にERM(Engine-room Resource Management)が、「安全な機関当直の維持」能力に係る要件の一つとして追加され、2017年1月に完全実施となった事である。

自動運航船開発の意義として、機械によるヒューマンファクターの補完と事故削減や労働負担(ワークロード)軽減の可能性を視野に検討が進んでおり⁽²⁾、国土交通省は2025年までの実用化を目指した取り組みを始めている⁽³⁾。自動運航船の過去の開発を振り返ると、1961年に当時三井船舶が運航していた貨物船金華山丸が、主機関を機関制御室から操作するシステムを完成して世界的に注目された。その後、コンピューター制御による自動運航船の開発が進み、1964年セルマダン号による機関室の夜間当直の廃止が実現し、1969年には鉱油兼用船ジャパン・マグノリアが初めて機関室を無人化したM0(Machinery Space Zero Person)の船級を獲得した⁽⁴⁾。これらの開発の背景には、1950年代に世界経済が成長期に入り、船舶量が増加し、それに伴って船員の需要も増大したが、各産業でも雇用が増え労働条件も向上したために、各国とも船員不足が重要な問題となった。そして、船員需給のひっ迫化に対処するために乗組員の肉体的、精神的労働量を軽減させるための自動化および作業環境の改善が挙げられていた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。これらの参考文献として取り上げた日本舶用機関学会誌第5巻第2号(1970年2月)自動化特集号において、当時の自動化船開発の概要と意義について説明されており、将来的な遠隔操船や完全自律航行船といった無人化船への発展を当時は超自動化船という表現を使い議論され、その開発を期待されていた。実際の機関運用管理現場の変化としては1960年代の機関室無人化の発展以降、今日まで大きな変化は無く、機関監視システムの向上や電子制御エンジンの開発といった発展に留まっていると考えられる。しかし、近年の情報通信技術の向上による船陸間IoTの発達に伴い、陸上からの機関遠隔監視技術に関する研究が進み⁽⁷⁾、自動運航船の開発に拍車がかかった。

前述の通り自動運航船開発の意義として、労働負担(ワークロード)軽減が挙げられており、1960年代の自動化船発展時においてもワークロードについて言及されている。現状の機関運用管理者のワークロード把握としては、ILO(International Labor Organization)が2006年に採択し、2013年に発効したMLC(Maritime Labor Control)⁽⁸⁾に規定されている船上労働環境の最低基準を確立することを目的とした、労働時間、健康/安全等について各国のPSC(Port State Control)やOil MajorによるSIRE(Ship Inspection Report Exchange)が就労時間管理の確認と調査が行われている。規定されているワークロードの把握方法は就労時間の確認・調査のみであり、ワークロード管理について具体的な評価は行われておらず、その評価手法の検討が今後の機関運用管理において必要であると考えられる。

ERMの強制要件化の背景としては、舶用機関に関する海難事故の分析研究において、損傷・事故の発生要因の約70%がヒューマンエラーによるものであると判断されており⁽⁹⁾、機関運用管理現場における事故は、機関士の犯すヒューマンエラーにより発生していると考

えられている。また、橋本誠悟氏⁽¹⁰⁾はERM強制要件化及びERM原則強制要件化への背景や経緯を具体的に解説されている中で、ケミカルタンカー（Bow Mariner）の爆発、沈没事故におけるコミュニケーション不足による事故の具体例を示している。これらの機関運用管理におけるヒューマンエラーに主眼を置いた海難防止への取組みとしERMが積極的に導入され、IMO（International Maritime Organization）でSTCW条約（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）の付属書が2010年に包括的見直しが行われ、2017年1月よりERMの完全実施となった。ERM強制要件化の経緯として、STCWの包括的見直しが行われた際に、BRM（Bridge Resource Management）に係る提案があった事が発端であり、その後のSTCW包括的見直しの議論の中で、船員が自動化設備の限界と弱点を理解するために統合航海システムや統合船橋システムのような設備の性能管理指針による訓練勧告、並びにBRM及びERMのような業務遂行管理指針に基づく訓練勧告がSTCW条約に含まれるべきであるという経緯からであった⁽¹⁰⁾。改正されたSTCW条約の中で、ERM要件に関してはコードA、Table A-III/1の能力基準表に記載されており、要件（知識、理解及び習熟）を示すColumn 2（KUP）においてERM要件は、5項目の人的要素（資源管理における①リーダーシップ、②チームワーク、③明確な意思表示、④状況認識力、⑤チーム構成員の経験）含めてERM原則の知識と記載されている。ERM原則に関してはA-VIII/2 Part3当直維持の一般原則（Watchkeeping principles in general）に9項目の内容がBRM及びERM原則として記載され、船舶機関の運用管理に関わる機関士の非技術的能力（Non-technical Skill）確保が求められるようになる。ここで、BRM及びERM原則やERM要件に記載の項目の中で、ワークロードに関する直接的な表現は無いものの、ERM要件及び原則に記載のチーム構成員の経験の活用という項目がResource Managementの目的の一つであるワークロードマネジメント関連した項目と考えられる。Resource Managementの発展として、航空業界において開発されたCRM（Cockpit Resource Management）には人的資源管理項目の一つにワークロードマネジメントという項目が含まれおり、CRMからを参考に作成されたと考えられる、医療系CRM（Crew Resource Management）においても仕事の配分（ワークロードマネジメント）をNon-technical Skillの一つの項目としてタイムマネジメントとセットに集中力の発揮と重要度の把握に必要な要素として取り上げている⁽¹¹⁾。

改正されたSTCW条約のERMに関する能力基準表Table A-III/1の中に記載されている、能力の証明方法を示すColumn 3（Methods for demonstrating competence）の項目には、次の一以上から得られた証拠による評価として、1. 承認された訓練、2. 承認された海上履歴、3. 承認されたシミュレーター訓練という記載がある。ERMが導入されることで船舶の機関運用管理を行う機関士のワークロードマネジメントを含むリソースマネジメントの活用が安全運航に有効かつ不可欠として求められ、シミュレーター訓練プログラムの構築とその非技術的能力の評価手法を検討する必要がある。

冒頭において、自動運航船の開発とERM強制要件化により機関運用管理現場の発展と対応が必要であると述べ、これらの変化に伴い海運会社や教育訓練機関において、機関士のワークロード評価や非技術的能力の評価手法の検討が求められ、シミュレーターを用いたマネジメント訓練の需要ならびに実施及び評価手法を確立させる必要性が高まっている。当然これらワークロード評価や非技術的能力の評価及び検討の対応は国内だけで無く海外

の教育・研究機関においても議論されているが、機関運用管理現場や機関士の主観的・客観的ワークロード評価手法や非技術的能力の定量的評価手法という的を絞った研究については未だ多くの研究成果が発表されていない。ワークロード評価手法に関しては航空業界や自動車業界、医療業界における研究業績を参考に機関運用管理現場への適応を検証し、その有用性や実効性を検討する必要があると考える。非技術的能力に関しては、ERM訓練強制要件化に合わせてBRM訓練に関する強制要件化され、現状ではBRM訓練に関する評価手法の研究に一日の長があると考えられており、その研究業績の成果が発表されているが、ERM訓練に関する研究成果については、国内外の調査研究の成果発表はあまり見られない。更に本研究における機関運用管理現場におけるワークロード評価と非技術的能力評価の両者の関係性を評価・検討を行っている研究は未だ行われていない。

これらの背景より、本研究においては機関運用管理現場を想定したシミュレーター環境下での機関士のワークロード評価手法の評価・検討及びERM訓練時の非技術的能力の評価手法の検討を行い、評価指標の妥当性と評価の客観性について考察を行った。これらの評価手法の検討により、シミュレーター訓練活用の可能性と教育訓練機関における機関士教育及び実務における教育訓練体系の向上ならびに船舶運用管理現場における、安全管理技術の向上を図ろうとするものである。加えて、自動運航船開発の意義として挙げられる労働負担（ワークロード）軽減に対応する為のワークロード評価手法を検討する事で、将来的に自動運航船における、ワークロードに則した安全維持と効率運用の両立を目指した機関運用管理研究の向上を図る。

1.2 研究の目的

本研究では、機関運用管理現場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を検討する為、海事業界は当然のことながら航空業界や自動車業界、鉄道や医療といった他業界におけるヒューマンファクターに起因するワークロード評価手法に関する国内外の研究業績の調査を行った。並行して、シミュレーターを使用したERM訓練時の非技術的能力の評価検討の為に、航空業界において発展したCRMにはじまり医療業界のCRM⁽¹²⁾や原子力プラントにおけるN-CRM⁽¹³⁾への応用を調査し、BRM訓練時の評価手法に関する国内外の取り組みについての調査を行った。それらの研究業績の調査を行う事で、他業界において活用されているワークロード評価手法や非技術的能力評価手法の機関運用管理への適応・応用の可能性を検討した。それらの知見をもとに、機関運用管理現場を想定したシミュレーター環境下での機関士の行動特性をワークロードとして分析・評価を行い、その分析・評価結果を参考に機関運用管理現場のより実船環境における緊急対応を模したシミュレーター環境下でのシナリオ作成とERM訓練実施方法の検討を行った。シミュレーター環境下でのERM訓練の実施方法及び評価方法についてIMOはModel Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 Edition⁽¹⁴⁾を発行しており、その訓練シナリオの内容に加え、教育訓練機関の一つである独立法人海技教育機構海技大学校において実施されている実務経験者向けERM訓練実施方法や海運会社において実施されているERM訓練シナリオ等も参考に、本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオ作成を行った。更に、作成したシナリオを基に、主観的ワークロード評価及び客観的なワークロード評価手法の評価・検討を行った。

ワークロードの主観的評価に関しては広く使用実績のある定量的評価手法により行い、客観的評価に関しては他業界において使用実績のある定量的評価手法に基づき、機関運用管理現場に適応する評価指標を作成し、その評価の妥当性と有用性を評価・検討した。次に、ERM訓練時の非技術的能力の評価手法の検討を行う為に、前述のIMO Model Course 2.07に記載の評価方法を参考に評価指標の作成と評価方法の検討を行い、乗船経験を有する評価者による評価結果の比較を行う事で、評価指標の妥当性と評価の客観性について考察を行った。本研究において評価・検証を行った機関運用管理現場におけるワークロードと非技術的能力の両者の関係性を考察し、ワークロードを考慮したERM訓練評価手法の検討を目的とする。

第2章 ワークロード評価手法及び非技術的能力評価手法に関する研究業績の調査

2.1 本章の目的

ヒューマンファクターに起因するワークロード評価手法に関する国内外の研究業績の調査と並行して、シミュレーターを使用したERM訓練時の非技術的能力の評価手法検討の為に、航空業界において発展したCRMにはじまり医療業界のCRMや原子力プラントにおけるN-CRMへの応用を調査し、BRM及びERM訓練時の評価手法に関する国内外の取り組みについての調査を行った。

2.2 ワークロード評価手法の調査

航空業界や自動車、鉄道、医療、更には原子力プラントにおけるヒューマンファクターに起因するワークロード評価の研究は、安全管理の観点から多くの研究者によって行われている。ワークロード評価手法を大別すると主観的評価と客観的評価に分けられる。

主観的評価手法に関しては、1980年代後半にアメリカの航空分野で調査研究が行われ、開発されたNASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index)⁽¹⁵⁾とSWAT (Subjective Workload Assessment Technique)⁽¹⁶⁾が現在も主観的ワークロード評価に広く使用されている。NASA-TLXは被験者のワークロード評価を定量的に行う為に、6つの評価尺度項目から構成され、これらの尺度の重要度を一対比較法によって判定し、定量的にワークロード評価を行う手法である。NASA-TLXについては、本研究での機関運用管理現場においても主観的ワークロード評価手法として使用する為、第6章において詳細な説明を行う。SWAT評価手法はワークロードを①時間的負荷、②心的努力の負荷、③心理的ストレスの負荷の3つの大別された評価尺度項目により構成され、各評価尺度項目について3つの詳細な評価項目が分かれており、その9項目について3段階の評価尺度を決定する手法である。これらの $3 \times 3 \times 3 = 27$ の組み合わせについて0-100の尺度値を当てはめることで重み付けを行い、NASA-TLXと同様に各被験者の感じる尺度値を決定する主観的定量的ワークロード評価手法といえる。SWATについてはその特徴として、SWAT CARD SORTといわれる27の組み合わせを記載されたカードを利用してワークロード評価を行う方法が開発時の手法であり、その作業に時間がかかることからNASA-TLXと比較すると主観的ワークロード評価手法として使用・適応が限られている⁽¹⁷⁾。

客観的ワークロード評価手法に関しては、NASA-TLXの様に一般的に広く使用されている評価手法が開発されているとは言い難く、生理指標として心拍数や呼吸数、脳波計測を用いられることが比較的多くあり、航空業界や医療業界、自動車業界等においてこれらの生理指標を用いた客観的ワークロード評価手法の研究が行われている。

海事分野における主観的ワークロード評価手法と共に生理指標を用いた研究には心拍数を用いたワークロード評価⁽¹⁸⁾や唾液硝酸イオン計測⁽¹⁹⁾、筋電図分析⁽²⁰⁾等があり、本研究においても心拍数と脳波を用いた生理指標による機関運用管理現場におけるワークロード評価を試みた。第4章における課題として後述するが、これらの生理指標を用いた客観的評価指標には計測機器の装着による被験者への負担や、機関運用管理現場に特に見受けられる操作や移動といった身体的活動に対する制限が課題として挙げられることがある。そこで、本研究においては文献調査から被験者の行動観察による客観的ワークロード評価手法

VACP手法⁽²¹⁾⁽²²⁾の機関運用管理現場への適応を提案し、その評価実験を行った。VACP評価手法は主観的評価手法のNASA-TLXやSWATと同様に1980年代にアメリカで開発されたワークロード評価手法であり、その原著ではMcCrachenらによるアメリカ軍攻撃用ヘリコプターのコクピットにおける操作を行動観察によりワークロード評価を行っている。VACP評価手法は人間の認知資源をVisual (視覚), Auditory (聴覚), Cognitive (知覚), Psychomotor (身体活動) の4つに分け、消費される認知資源の量をScaleとして表し、Scaleの合計値をワークロード量として定量化する評価手法である。VACP評価の評価項目Descriptionと認知資源の量ScaleはMcCrachen⁽²¹⁾らにより提案され、その後Bierbaum⁽²²⁾らにより発展した、ヘリコプターパイロットのワークロード解析用に開発された指標であり、TAWL (Task Analysis Workload) とも称される。VACP評価を用いた研究は、ヘリコプターパイロットのワークロードの解析以外に、同じ航空業界として国内の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 研究開発報告においてコクピット・ワークロード推算プログラムの開発に適応され⁽²³⁾、他業界においても内田らは自動車技術の分野で、ドライバのワークロード推定方法の研究として⁽²⁴⁾、VACPと主観的評価手法であるNASA-TLXとの比較を行い、Melcher⁽²⁵⁾は交通システムの管理現場のワークロード評価に活用している。医療技術の麻酔学の分野においてはPrfeffer⁽²⁶⁾が医療シミュレーターにおける客観的ワークロード評価に活用した実績があり、先に述べたVACP評価の評価項目Descriptionと認知資源の量Scaleは各研究の異なる管理現場に適応するように改良されて客観的ワークロード評価を行っている。船舶の機関運用管理におけるワークロード評価手法としてVACP評価を適用した例はみられない。航空機や自動車と機関運用管理現場では具体的な操作方法や操作時間などは当然異なるが、認知、判断、行動などの共通したタスクが存在する事から、本研究では船舶の機関運用管理現場における客観的ワークロード評価にVACP評価手法を適用した。VACP評価手法の詳細な説明は第6章において行う。

2.3 ERM 訓練における非技術的能力評価手法の調査

背景で述べたように、STCW 条約 2010 年マニラ改正における ERM 強制要件の経緯として、包括的見直しが行われた際に、BRM に係る提案があった事が最初の発端であり、海事業界における人的資源 (ヒューマンエレメント) の調査・研究に関しては BRM が先行的に行われた事は周知の事実として捉えられている。そして、BRM は航空業界によって発展した CRM を直接的に応用しているという考えが一般的である。本節では、CRM 発展の背景と他業界への応用事例を調査し、BRM に関する発展の背景からその評価手法の研究実績を調査する。最後に国内外における ERM に関する非技術的能力 (Non-technical Skill) 評価手法の調査を行う。

航空業界においても、海運業界においても、その他の管理業務が必要な業界においても、安全への取り組みの契機となるのは重大事故の発生であり、その原因・要因として人的資源やヒューマンファクターに起因しているという考えから、調査研究が各業界で行われる時期は前節のワークロードに関する調査・研究実績と同様に1970年代から1980年代である。

CRM に関する調査・研究の契機となったのは1977年のパンアメリカン航空とKLM オランダ航空のジャンボ機同士の衝突事故であり、その主たる要因として思い込みやコミュニケーション不足という乗組員の非技術的能力 (Non-technical Skill) に焦点を当てた安全管理方式の導入の契機となった。そして、航空業界の調査研究を行っていた NASA は1979

年に CRM について①積極的なコミュニケーション②機長のリーダーシップ③適切な権威
勾配④正確な意思決定等のヒューマンファクターに関わる訓練が航空機事故を減少させる
ために大変重要であると指摘した。その後 1981 年にユナイテッド航空と SMI 社 (Success
Motivation Institute) によって CRM 訓練が開発され、世界中の航空会社が同訓練を取り
入れ、1995 年にアメリカで米国航空会社に義務付け、1998 年に日本においても義務化さ
れた⁽²⁷⁾。そして、CRM 訓練の様な特定の環境での非技術的能力の向上を目的とした訓練が
他の業界でも応用されるに至った。

医療現場においても医療事故の削減のために、実際の手術室やシミュレーターを利用し
た訓練が導入され、前節のワークロード評価と同様に、麻酔の安全性を目的とした、ACRM
(Anesthesia Crisis Resource Management) を実施している。ACRM は患者に接する医
者や看護師と麻酔医の責任の明確化とコミュニケーションや患者の状態の継続監視等の確
認と指摘を行う事としている⁽²⁸⁾。

原子力発電所業界では N-CRM (Nuclear-Crew Resource Management) 訓練が導入され、
(株)原子力発電訓練センターにおいて、原子力発電所の中央制御室を模擬したシミュレータ
ー施設において種々の訓練が実施されている。訓練の種類は上級原子炉制御者を対象とし
た訓練、監督者コースとして当直長及び副当直長を対象とした訓練と、実機の運転チームを
対象とした当直員連携訓練コースに分かれており、原子力発電所での当直業務に始まり緊
急事態対応の訓練を実施し、技術的能力向上と非技術的能力の向上に取り組んでいる。

海運業界におけるヒューマンファクターやヒューマンエレメントに関する調査取り組み
から、BRM 訓練の発展にいたる背景としては、1989 年のエクソン・バルデス号の事故が契
機となり、1978 年に制定されていた STCW 条約の大幅改正が 1995 年に行われ、1997 年
に STCW95 として発効された。同年 IMO にて「ヒューマンエレメント」がまとめられ、
ヒューマンエレメントに関するデータベースの開発とヒューマンエラーによる海難事故
の分析を具体的に始められた。この STCW95 の条約改正において、船橋チームワーク手続
きという内容が含まれるようになり、当時は STCW Code Section B-VIII/2 Part3-1 という
位置づけで、船橋当直に関する事項の中で人的資源や非技術的能力に関する内容が組み込
まれる。また、2002 年に IMO の発行する Model Course の一つとして 1.22 Ship Simulator
and Bridge Teamwork⁽²⁹⁾が編集されるが、IMO において BRM という用語が使用されるの
は 2002 年から 2003 年にかけてである。

機関運用管理に関する IMO の取り組みとしては、IMO Model Course 2.07 Engine-room
Simulator⁽³⁰⁾が 2002 年に発行されている。IMO Model Course は STCW の適用に伴い、
IMO 加盟国政府からモデルとなる訓練プログラムの要請により設計されたものであり、
STCW の実施を目的とした知識とスキルの獲得を目指し作成され、前述の IMO Model
Course 1.22 Ship Simulator and Bridge Teamwork 及び 2.07 Engine-room Simulator と
もに演習に必要な理論的背景を提供する座学も含まれている。しかし、2002 年に発行され
た IMO Model Course 2.07 には非技術的能力に着目した ERM の訓練プログラムは無く、
訓練プログラム (Sample Exercise) の分量も最低限といった内容であった。その後、現在
の ERM 強制要件化までの経緯については背景において記載した通りであり、この STCW
マニラ改正を受け、IMO Model Course にも改正が行われ、2.07 Engine-room Simulator
2017 Edition が発行された。2017 Edition では訓練プログラムの数が 36 に増え、ERM 訓
練に関する訓練プログラムが追加され、その評価方法に関する解説と評価フォームとし

Sample evaluation form “Behavior markers for non-technical skills”が追加されるに至った。ここで、ERM 訓練方法や非技術的能力に関する評価手法が IMO Model Course に記述された事で、IMO 加盟国各国において ERM 訓練の実施方法の指針ができた。しかし、Model Course に記載の訓練プログラム (Sample Exercise) と評価方法 (Sample Evaluation form) は Sample と記されている通り、実際の訓練実施機関でのプログラムや評価方法は各シミュレーターの特長や評価の目的のために柔軟に変更され、参考となるよう作成されている為に、各教育機関や企業において ERM 訓練実施方法や客観性を持ち普遍的な評価方法の検討が必要になっている。

今まで述べてきた CRM, BRM に関する評価方法に関する調査・研究は国内外で盛んに行われており、その中で本研究の参考として取り入れるべき研究報告として、前節ワークロード評価手法と同様に航空業界の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 研究開発報告において報告された「行動指標を用いた CRM スキル計測手法の開発」⁽³¹⁾では CRM を実施するための行動指標を開発し、この行動指標を用いて CRM スキルの計測・評価を行っている。因みに、この研究報告内の CRM スキルの項目内容は①コミュニケーション、②意思決定、③チーム形成・維持、④ワークロードマネジメント、⑤状況認識マネジメントの 5 つに分かれており、背景で述べた ERM 要件 5 項目の人的要素と共通する項目があるが、CRM スキルには④ワークロードマネジメントが項目として明記されている。

BRM に関する評価手法の研究に関しては、国外の研究調査報告にはヒューマンエレメントの海事業界での重要性と安全運航の為の Non-technical Skill 訓練と評価について調査・研究が行われている^{(32) (33)}。また、航海士の操船に関する、人的要素としてのリーダーシップおよびシミュレーター環境下でのマネジメント訓練の有効性に関する定量的評価手法の提案について国内外で研究が行われている^{(34) (35)}。

先に述べて通り、海事業界においてシミュレーターを活用した ERM 訓練評価手法の調査研究に関しての報告は BRM 訓練評価に比べると多くない事が文献調査により分かった。その中でも海外の ERM 訓練評価に関する研究報告として、非技術的能力評価に間接的に関係する Engine room simulator を利用した機関士訓練の教育システムの観点から評価を行っている研究が報告されている⁽³⁶⁾。またフルミッション機関室シミュレーター自体の適正な利用とシミュレーター訓練によって得られる教育効果について、シナリオベース訓練を学生被験者が行い、3名の評価者による評価結果をもとに分析した研究が行われている⁽³⁷⁾。Zincir ら⁽³⁸⁾は 機関運用管理現場における定常作業シナリオを C/E, 1/E, 2/E の役割を担った学生被験者の行動を 4 項目の評価基準を用いて評価を実施し、役割ごとの非技術的能力を定量的に評価する手法を提案した。国内での ERM 訓練評価に関する研究報告としては、独立法人海技教育機構航海訓練所の練習船に搭載されているシミュレーターを活用し、乗船中の実習生に対する ERM 訓練の評価方法の予備調査として、評価項目の策定やインストラクター視点による評価の難易度をまとめた報告がなされている⁽³⁹⁾。また、同機構海技大 学校にはフルミッション機関室シミュレーターが設置されており、2004 年から実務経験の有する機関士に向けた ERM 訓練を実施している。その有効性と実績をまとめた調査報告や今後の活用展望が発表されている^{(40) (41)}。実務経験を有する機関士への ERM 訓練の実績に関して、MOL マリン&エンジニアリング株式会社は 2018 年よりタービンシミュレーターを利用した ERM 訓練を実施しており、2019 年にディーゼル機関室シミュレーターを設置し、タービンプラント及びディーゼルプラントに対応した訓練とシミュレーターの活用方

法が報告されている⁽⁴²⁾。また、MOL マリン&エンジニアリング株式会社のシミュレーター及び ERM 訓練に関する実施方法と評価手法は、2019 年 10 月に船級の認証を受けた国内初の実績を有する。本学機関室シミュレーターを用いた研究報告の中には、授業への活用とその教育効果が報告されており⁽⁴³⁾、更には ERM 訓練による効果を検証する為に非技術的能力の各評価項目の重み付けを一対比較法を用いて行い、2 グループの学生被験者に ERM に関する座学を行った者とそうでない者の比較を定量的評価手法により検証した研究発表が行われている⁽⁴⁴⁾。

これらの研究報告の調査結果を、本研究の目的である船舶の機関運用管理における非技術的能力評価手法の参考として活用し、シミュレーターを用いた ERM 訓練の実施方法の策定と定量的評価手法の検討を行う。

第3章 実験装置

3.1 本章の目的

背景において、STCW 条約の ERM に関する能力基準表 Table A-III/1 の能力の証明方法に承認されたシミュレーター訓練という記載があった事と、シミュレーターを用いたマネージメント訓練の需要ならびに実施及び評価手法を確立させる必要性が高まっている事を述べた。そして、本研究の目的は機関運用管理現場を想定したシミュレーター環境下でのワークロード評価手法及び ERM 訓練時の非技術的能力の評価手法の検討である為に、本章では本学機関室シミュレーター Marint Engine Plant Simulator (MEPS) の構成や基本性能を述べ、5章以降の評価実験で使用する映像及び音声記録装置の説明を行う。

3.2 MEPS 構成

本研究で使用する MEPS は、「船舶運航シミュレーターシステム」として 2010 年 3 月に本学に導入された。その導入目的は以下の通りである。

“本研究科および学部において教育研究の中核である国際的な海事社会のリーダーと活躍できる人材の養成に多大な役割を果たし、世界的に見てもユニークで重要な研究・教育領域に携わる多くの人材を育て、海運立国日本が将来において国際的な海事社会をリードし、さらに海事関連社会を支える人材育成とそれに伴う研究・教育の水準を維持向上させることを目的としている。(仕様書 2009 年 8 月、調達背景と目的より引用)

システム構成 (図 3.1 参照)

シミュレーション統括システム

- シミュレーション演算・制御機能：1 式
- シミュレーション開発用携帯型コンピューター：1 基
- 外部記録用印刷装置：1 基

機関制御室 (C/R) システム

- 機関制御卓：1 基
- C/R 機能用コンピューター：1 基
- 連絡通信設備 (対船橋)：1 基

機関室 (E/R) システム

- タッチパネル付大型ディスプレイ：3 基
- E/R 機能用コンピューター：3 基

インストラクターシステム

- シミュレーション進行管理用コンピューター：1 基
- C/R & E/R 機能用コンピューター：1 基
- 学術演算用携帯型コンピューター：シミュレーション開発用と兼用
- 外部記録用印刷装置：1 基
- 連絡通信設備 (対船橋, 対 C/R)：1 基

MEPS PC 画面構成

機関室 (E/R) システム

- 1) ER#1 発電機 (D/G, T/G), 排ガスエコノマイザ, ボイラ, 軸系, 操舵機, 他
- 2) ER#2 主機 (FO 系, LO 系含む), 冷却水循環系, 空気圧縮機, 造水器, 他
- 3) ER#3 油 (FO, DO, LO) タンク系, 油清浄機, ビルジ処理系, 他

インストラクターシステム

初期設定状態 (選択)

- 1) Initial Condition 1 : 油, 水搭載無し, 電源無し, 熱源無し
- 2) Initial Condition 2 : 油, 水搭載済み, 電源無し, 熱源無し
- 3) In Port : 電源, 熱源確立済み
- 4) Stand by Engine : 主機暖機済み
- 5) Leaving Port : 港内・湾内航行中 (S/B)
- 6) Ocean Going : 大洋航行中 (R/Up)
- 7) 任意設定 (Play Back 機能)

配管系統等

- 1) STEAM PIPE LINE
- 2) LUBRICATING OIL PIPE LINE
- 3) FUEL OIL PIPE LINE
- 4) COOLING WATER PIPE LINE
- 5) FRESH WATER PIPE LINE
- 6) EXH./AIR PIPE LINE
- 7) BILGE PIPE LINE
- 8) WHEEL HOUSE CONSOLE
- 9) MALFUNCTION PANEL(システム構成)

機関プラント主要目-

- 1) 主機関 (M/E) : MAN B&W 10K90MC
- 2) ディーゼル発電機 (D/G) : 2,133 KW at 720 MIN.-1 x 2
- 3) 蒸気タービン発電機 (T/G) : 2,000 KW at 1800 MIN.-1 x 1
- 4) 軸発電機 (S/G) : 1,500 KW x 1
- 5) 非常用発電機 (E/G) : 300 KW

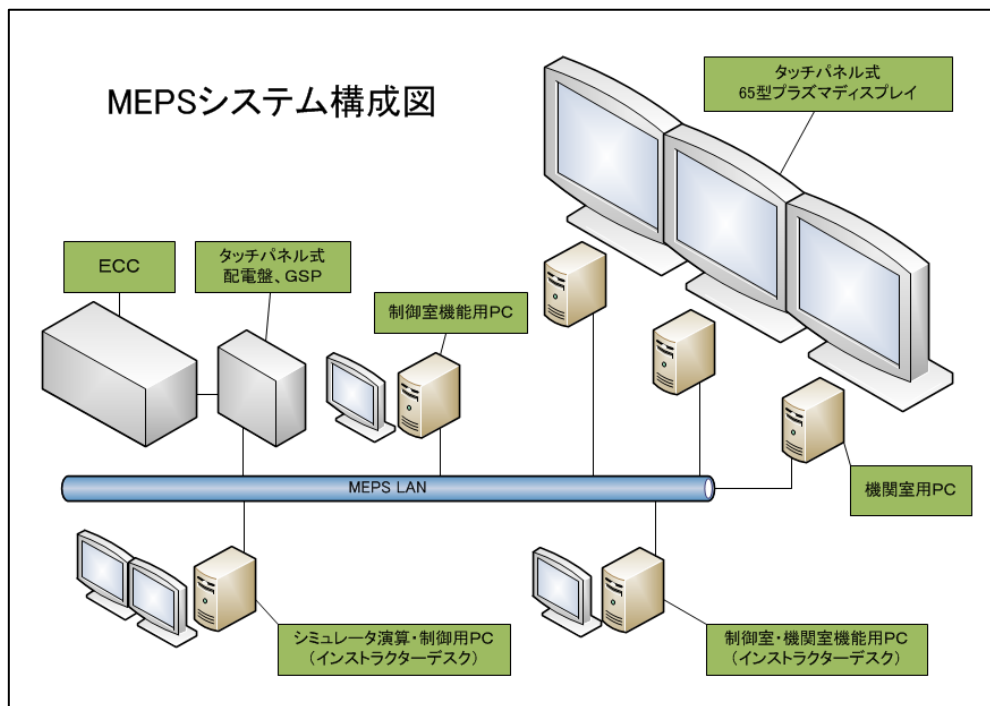


Fig.3.1 MEPS システム構成図

3.3 MEPS 基本性能

典型的な外航大型商船であるコンテナ船の船用機関プラントシステムを再現することができ、操作・運転等によるシステムの反応が、十分な現実性を有している。また、船用機関プラントシステム全体におけるエネルギーフロー、ヒートバランス、質量フローなどの状態計算モデル等が運用者に対しオープンになっており、運用者が独自に開発したアルゴリズムを組み入れることが可能である。

主要機器・装置における作動計算モデル等が運用者に対しオープンになっており、運用者が独自に開発したアルゴリズムを組み入れることが可能であるので、船用機関プラント操作は、個人による操作だけでなく、複数人による同時操作にも対応でき、いわゆるチームマネジメントの教育・訓練・研究にも対応可能である。通常の船用機関プラント操作においては、初期状態として、新造直後(デッドシップ)、停泊冷機、停泊暖機完了、出入航(S/B)、航海(R/Up)など、典型的な状態を任意に選択可能であり、通常の船用機関プラント操作だけでなく、異常時・緊急時のプラント操作が可能であり、通常状態における運用中に任意に異常状態の条件設定・投入が可能である。

万が一、誤ったプラント操作に対しても、現実的な反応・状態が適切に再現できる。また、プラントの操作やアラームなどをイベントログやアラームログとして記録することができる。

3.4 MEPS 機器配置

MEPS はエンジンルームとコントロールルームを模した 2 部屋から構成されている。シミュレーター演算・制御用 PC を操作することでプラントの状態などの情報がエンジンルームやコントロールルームの各装置に反映される。Fig.3.2 に MEPS 全体イメージを示す。

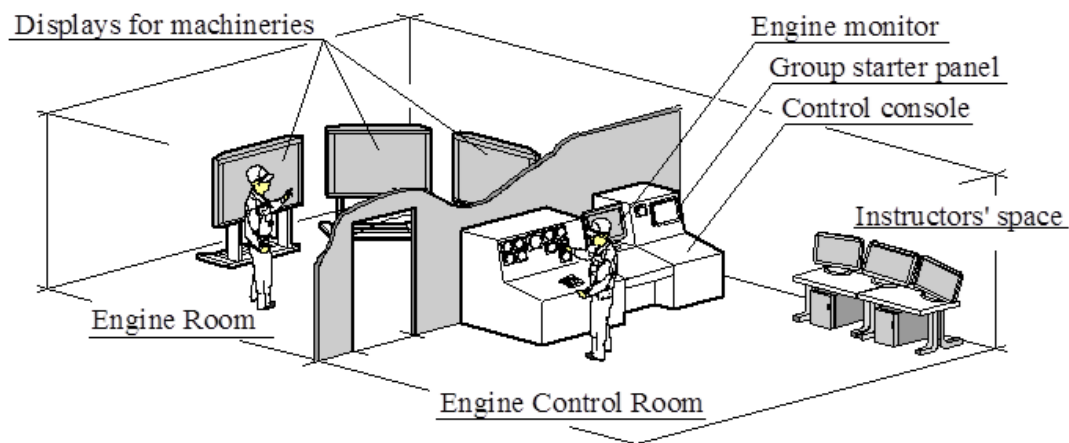


Fig. 3.2 MEPS 機器配置図

エンジンルーム (図 3.3 参照)

エンジンルームには機器や配管が表現されているタッチパネル付ミミック画面と PC がそれぞれ 3 台ずつ設置されている。画面にタッチすることで機器の発停やバルブの開閉などの操作を行える。

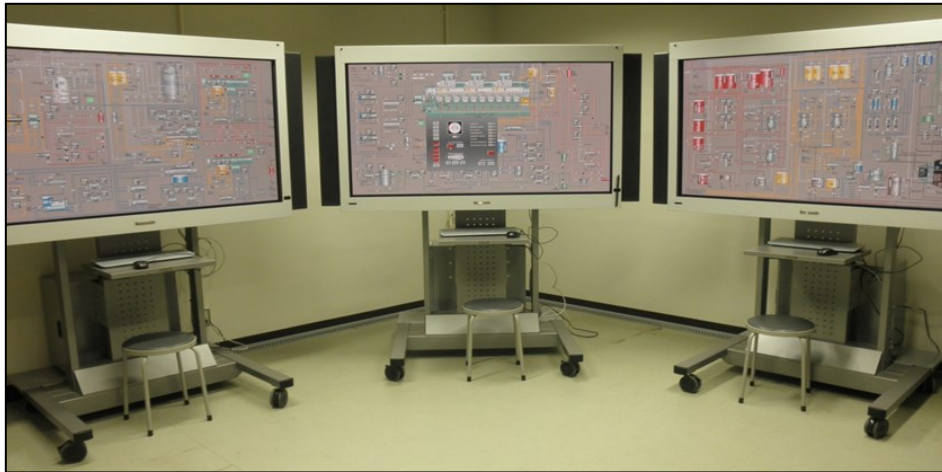


Fig. 3.3 MEPS 機関室

コントロールルーム (図 3.4, 図 3.5 参照)

コントロールルームには、ECC、配電盤、GSP、機能用 PC という実際の機関制御設備に加えインストラクター用設備も備えられている。インストラクター用の設備としてシミュレーター演算・制御用 PC と制御室・機能用 PC がインストラクターデスク上に設置されている。インストラクターはここでシミュレーター演算・制御用 PC を操作することでプラントの状態を変更、船橋からの指示などを行う。



Fig. 3.4 MEPS 機関制御設備

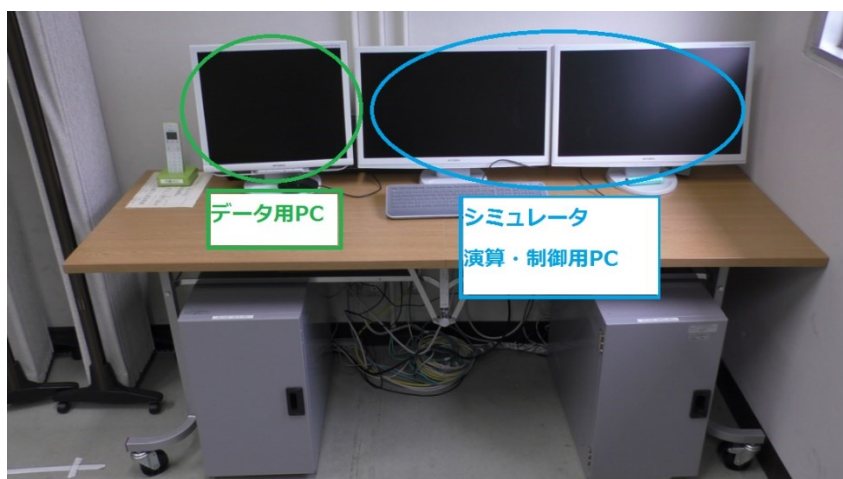


Fig. 3.5 MEPS インストラクター用設備

3.5 映像記録と音声記録

3.5.1 映像記録

第6章以降の評価実験での映像記録は、MEPS 内にある固定カメラで撮影を行い、E/R に2台、C/R に2台の計4台のカメラで撮影をした。C/R の2台のカメラのうち1台はC/R の計器が撮影できる計器真正面の角度、もう1台は計器と被評価者が撮影できる真横からの角度で撮影を行った。E/R 内のカメラでは1つは3つのタッチパネルの真正面の角度、もう1つはタッチパネルと被評価者が撮影できる真横からの角度で撮影を行った。(図3.6 参照)



Fig. 3.6 映像のカメラ角度

3.5.2 音声記録

第6章以降の評価実験での音声記録はMEPS 内でシナリオを行うC/R側の被評価者にマイクをつけ、その音声を記録した。E/R側の被評価者の音声は、C/R側の被評価者とのトランシーバーを用いたやり取りの音声のみ記録している。そのため、E/R側にいる被評価者同士の会話やE/R側でのアラーム音などは記録していない。

第4章 行動特性の把握（生理指標を用いたワークロード評価実験）

4.1 本章の目的

機関士の行動特性の把握として、マルチタスク下となるシナリオの作成と客観的ワークロード計測手法の一つである生理指標（心拍数及び脳波）計測を用いて、定量的なワークロード評価を行う事を目的とする。本章でのシングルタスクとマルチタスクの定義は、制御室で機関当直を行うといった定常作業をシングルタスクとし、船橋の航海士、現場の機関士からの応答に応えるといった連絡業務の並行操作をマルチタスクとする。

4.2 計測機器

4.2.1 心拍計

本実験では、心拍数の測定に Polar 社の心拍計「RS800cx」を使用した。この心拍計は胸部に取り付けるトランスミッターと腕時計型のレシーバ(図 4.1 に示す)で構成されている。

トランスミッターは、心臓が発する電気信号をレシーバーにリアルタイムで送信する。そしてレシーバーがトランスミッターから送られた信号を受信しディスプレイに心拍数を表示、心拍数データを保存する。保存されたデータは専用の「Polar ProTrainer 5」という USB 対応の受信器を経由し、コンピューターに取り込むことが可能である。本章では RR 間隔データを計測し、心拍数を算出し、Heart Rate(HR)として分析に使用した。

HR については、心拍数は運動及び精神状態によって上昇、下降する。本章の実験では、制御室内で実施した為、運動による影響は少ないものと考えられる。したがって、心拍が上昇する時には心的負荷がかかっていると推察する。



Fig. 4.1 RS800cx 心拍計レシーバー

心拍計計測は以下の通り行った。

1.心拍計装置

- ①トランスミッター装着用のゴムベルトの電極部を水で濡らし、トランスミッターを取り付ける。
- ②被験者の胸部にトランスミッター、手首に腕時計型レシーバーを装着してもらう。

2.心拍数の測定を開始する。

3.実験終了後

- ①測定を停止する
- ②レシーバー及びトランスミッターを外す。(ゴムベルトは消毒用アルコールにて消毒)
- ③レシーバーに保存されている心拍数データをコンピューターに転送する。

4.2.2 脳波計

本実験では、脳波の測定に Digital Medic 社の脳波計「Muse Brain system」を使用した。この脳波計はヘッドセットにより後頭部と耳たぶに設置する電極とトランスミッター(図 4.3 に示す)で構成されている。

トランスミッターは、脳波(電気信号)を微弱無線により DSSS 方式パソコンにリアルタイムに送信する。脳波信号は 1 秒間に 128 回計測し、これを周波数分析して、アルファ波 (8-13Hz)、ベータ波 (20-25Hz)、シータ波 (4-7Hz) の各周波数帯へ区分し、周波数帯毎の強度割合としてデータにする。

脳波については、一般にリラックス状態のときは α wave の割合成分が多く、緊張や不安、思考、パニックなどの状態は β wave の割合成分が多いとされている。 α wave は 8~14 Hz, β wave は 14~38 Hz, θ wave は 4~8 Hz である。本章では α waverate 及び β waverate を算出し、分析に使用した。算出式は図 4.2 に示す。

$$\alpha \text{ waverate} = \frac{\alpha \text{ wave}}{\alpha \text{ wave} + \beta \text{ wave} + \theta \text{ wave}}$$

Fig.4.2 α wave rate 算出式

脳波測定は以下のように行った。

1. 脳波計装置
 - ① ヘッドセットに生理食塩水に浸した電極を取り付け、耳たぶの電極にワセリンを塗布する。
 - ② 被験者の局部に装着してもらう。
 - ③ インピーダンス値を 20 以下になるように調整する。
2. 脳波の測定を開始する。
3. 実験終了後
 - ① 測定を停止する。
 - ② ヘッドセットを外す。

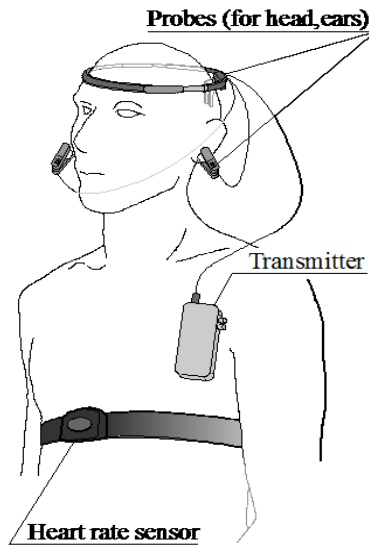


Fig.4.3 脳波計及び心拍計装着方法

4.3 実験内容及び実験シナリオ

被験者のワークロードを定量的に把握する際の参照データを得るために、文字がモニターに表示される Visual-N-back-task と音声として聞こえる Audio-0-back-task⁽⁴⁵⁾を行った。Visual-N-back-task については、0back, 1back, 2back, 3back の 4 つの課題を行った。例として、Visual-1-back-task であればモニター上でランダムに 2 秒間隔で、0.5 秒間、表示されるアルファベットに対して、現在出現しているアルファベットが、ひとつ前に表示されたアルファベットと同じか否かを判断する task である。2back であれば二つ前のアルファベット、3back であれば、3 つ前のアルファベットと一般的に N に値する数字が大きくなるほど負荷が高くなるといわれている。N-back-task 時においても、被験者毎に生体反応を計測するために、心拍計、脳波計を装着して実験を行った。脳波測定のために実験中被験者は下記シナリオの操作を主機コンソール前で作業するが、基本的に移動は制限されノイズの発生を抑制する様タスクを実施する様説明を行った。

次に、今回マルチタスク下における被験者のワークロードについて分析するために、被験者にはまず、Single-task として、機関当直を想定した、ECC で機器メータの監視操作とテレグラフ操作といった、定常作業を課した。実験時間は 1 回 120 秒で、テレグラフは DEAD-SLOW-AHED でシナリオを開始し、FULL-AHED まで 30 秒毎に順次上昇させ、最後に DEAD-SLOW-AHED まで戻す。被験者の監視項目として、ECC 上のアナログメーターである、主機回転数、ポンプマーク、主機潤滑油入口圧力、掃気圧力、NO1~3 の過給器回転数の合計 7 項目である。その際にインストラクター側で、機器の値に異常を発生させ、異常に被験者が気づくかを評価する。シナリオの設定は、シナリオ 1 回目は主機潤滑油入口圧力の異常、シナリオ 2 回目はポンプマークの異常、シナリオ 3 回目は過給器回転数の異常とした。

そして、定常作業としてのシングルタスクである機関当直と、連絡業務としての Audio-0-back-task を被験者に両方同時に課し、マルチタスク下とする。被験者の行動特性をワークロードとして、シングルタスク下の機関当直実験時とマルチタスク時と比較し、どの程度ワークロードが変化するのか定量的に知ることを目的とする。被験者数は、海事科学

部の学生 4 名と、大学が所有する練習船の機関士 3 名の合計 7 名に協力頂いた。実験前には神戸大学の人に関わる研究に関する倫理規定に従ったインフォームドコンセントを行い、実験協力に関する同意書を作成した。(付録 1 実験協力に関する同意書参照)

分析方法として、本章では t 検定⁽⁴⁶⁾とマハラノビスの汎距離法⁽⁴⁷⁾を使用した。t 検定は、マハラノビスの汎距離法を用いる際、どの生体反応のパラメーターが適切であるか判断するために使用した。マハラノビスの汎距離法では、被験者毎に行っている Audio-0-back-task で測定した生体反応を基準に、シングルタスク時の機関当直実験と、マルチタスク実験時の生体反応を用いて分析を行った。

4.4 分析方法

実験により得られた生体反応データをより効果的に分析するためにマハラノビスの汎距離という分析法を用いる。

マハラノビスの汎距離分析とは、リファレンスとして複数の観測データからなるグループを構成した時、新たに観測した別のデータとリファレンスのグループの類似性を調べる方法として、マハラノビスの汎距離を求めて判別する分析手法がある。

通常距離であるユークリッド距離を用いた判別分析法では、ある次元と別の次元がとりうる値に相関がある場合、その相関のある方向に対して平行方向への差異が距離を大きく支配する。

マハラノビスの汎距離では相関のある方向に平行な距離を相対的に短く、相関のある方向に垂直な距離を相対的に長くする。このことから計測値の広がりやを考慮した距離尺度を作成できる。

図 4.4 を用いてマハラノビスの汎距離による判別分析について考える。ある変数 A, B があり、青色で表されるリファレンスがあったとき、新たに観測した測定値 X と Y のどちらがリファレンスに近いと判別する。この時、ユークリッド距離では一見すると測定値 X の方がリファレンスに近いと判別できるが、リファレンスに点線で示されたようなデータの広がりがあった場合、マハラノビスの汎距離では相関のある方向に平行な距離を相対的に短く、相関のある方向に垂直な距離を相対的に長くなることから、測定値 Y の方がリファレンスに近いと判別することができる。

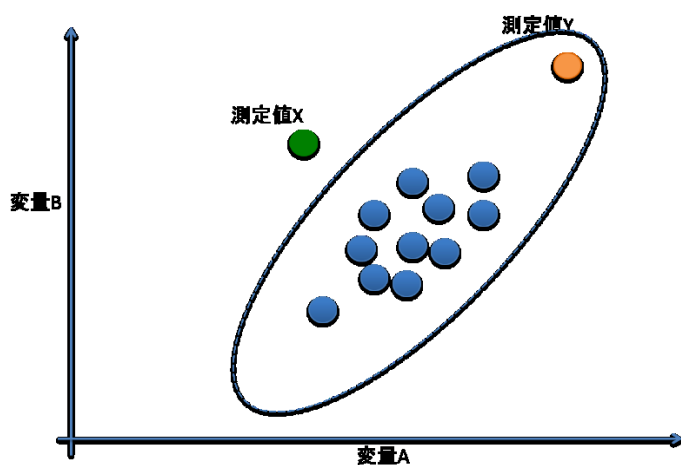


Fig. 4.4 マハラノビスの汎距離のイメージ

生体反応データを活用したマハラノビスの汎距離の導出法としては、測定対象とする人間反応の種別を j 、被験者個人を i 、生体反応測定値を x とすればマハラノビスの汎距離 D^2 は図 4.5 で示される。

$$D^2 = (x_{11} - \mu_1, x_{12} - \mu_2, \dots, x_{ij} - \mu_j) \Sigma^{-1} \begin{pmatrix} x_{11} - \mu_1 \\ x_{12} - \mu_2 \\ \vdots \\ x_{ij} - \mu_j \end{pmatrix}$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots,$$

x : 生体反応測定値

μ : 生体反応側定値の平均

i : 被験者の個人番号

$$\Sigma = \begin{bmatrix} S_{v_1^2} & S_{v_1 v_2} & \cdots & S_{v_1 v_j} \\ S_{v_2 v_1} & S_{v_2^2} & \cdots & S_{v_2 v_j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{v_j v_1} & S_{v_j v_2} & \cdots & S_{v_j^2} \end{bmatrix}$$

Fig. 4.5 マハラノビスの汎距離算出式 [5]

本章ではマハラノビスの汎距離の算出には、上記の式から R 言語を用いたプログラムにより算出する。また、各被験者の Rest 時をリファレンスとし、HR, α waverate, β waverate の 3 項目を用いて各実験シナリオのマハラノビスの汎距離を算出した。本実験では、客観的データである生体反応を用いたマハラノビスの汎距離を、客観的ワークロードとして分析に用いる。

4.5 実験結果

4.5.1 Visual-N-back-task の t 検定結果

表 4.1, 表 4.2 は、Visual-N-back-task 毎に t 検定を行った結果を示している。表 4.1 は被験者 1 で学生を示し、表 4.2 は被験者 2 で機関士を示す。また、t 検定を行う際のパラメーターとして Visual-N-back-task 毎の心拍数 (HR)、脳波データ (α 波と β 波) を使用した。グレーの網掛け部分は有意水準 5% 以内 ($P \leq 0.05$) を示し、太文字部分は有意傾向 ($0.05 < P < 0.1$) であることを示している。被験者 1, 2 共通して HR の部分は比較的有意水準 5% 以内に含まれており、Visual-N-back-task 間での有意な差が顕著に出ていることが分かる。脳波 (α 波と β 波) については、Visual-N-back-task 間ではあまり差が見受けられないことも分かり、特に β 波については、両被験者共、有意水準 5% 以内に含まれているものがなかった。

以上の結果から両被験者の難易度を示す計測項目として HR と α 波を本実験では採用した。

Table 4.1 Participant1 T-test result of Visual-N-back-task

Vs.V0	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V1	0.155698592	0.65461887	6.56E-08
V2	0.891965355	0.186374921	3.26E-22
V3	0.873293755	0.17821268	1.29E-13
Vs.V1	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V2	0.261054938	0.07157525	1.24E-07
V3	0.230324258	0.072204868	0.047795
Vs.V2	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V3	0.991822078	0.930230611	8.04E-05

Table 4.2 Participant2 T-test result of Visual-N-back-task

Vs.V0	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V1	0.57342345	0.005084115	1.99E-38
V2	0.917716583	0.002651601	1.29E-29
V3	0.315451699	0.10684789	1.3E-13
Vs.V1	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V2	0.459011001	0.95862423	7.81E-10
V3	0.091892684	0.141749555	3.22E-29
Vs.V2	T-test(β wave)	T-test(α wave)	T-test(HR)
V3	0.301562713	4.76545E-16	0.1138488

4.5.2 マハラノビスの汎距離法による判別分析結果

4.5.1 の t 検定の結果より，被験者の HR と α 波を使用してシナリオ毎にマハラノビスの汎距離法による判別分析を行った結果を以下に示す。

図 4.6，図 4.7，図 4.8 は被験者 1，図 4.9，図 4.10，図 4.11 は被験者 2 の実験シナリオ 1 回目，2 回目，3 回目を示している。被験者のシングルタスク時の機関当直実験を白丸線，マルチタスク実験時を黒丸線でグラフに示している。また横軸を，実験経過時間，縦軸をシングルタスク及びマルチタスク実験時と Audio-0-back-task の距離を示しており，0 に近いほど，被験者が Audio-0-back-task 時と近い心的負荷状態であったと考える。図の表記に関しては，シングルタスクのシナリオ 1 を S1 と表記し，マルチタスクのシナリオ 1 を M1 と表記している。

被験者 1 に関しては，シングルタスクよりもマルチタスクの方が，Audio-0-back-task からの距離の違いが顕著に見られる。Audio-0-back-task は比較的簡単なタスクであり，ワークロードは軽いと考えられる。よって，マルチタスクの方がワークロードは大きいことが推測される。また M3 時においては，20 秒付近では，マハラノビスの汎距離が 10 程度で，50 秒付近では約 30 以上になり，90 秒付近では 40 付近まで上昇していることから，全体的に右肩上がりの傾向であり，時間が経過するに従ってワークロードが増大していくと考えられる。

また被験者 2 について S1, S2 のときは, マルチタスク時よりも Audio-0-back-task からの距離の違いが大きく見られるが, S3 の結果では, ほとんど同程度の距離となった.

被験者 2 の特徴として S1 時では, 実験開始から 50 秒付近までは, マハラノビスの汎距離が増加傾向にあり, 50S を過ぎてから距離が小さくなっていくこと, またシングルタスク単体と比較すると S1 のときに, 距離が大きく乖離しており, S3 になるにつれて, 距離が小さくなっていることから, 実験開始時は, 実験の不慣れによるワークロードの増加があるが, 時間経過やタスク経過に伴い慣れていっているのではないかと推測される.

マルチタスクの実験結果では, M1 から M3 にかけて距離の違いはほとんど変わらない結果となった. マルチタスクとしてシングルタスクの機能当直に Audio-0-back-task を付加したが, その影響がこの被験者にはあまりなかったのではと考えらる.

また, M3 の結果では, 20 秒付近ではマハラノビスの汎距離は 30 程度で, 50 秒付近では約 10 以上になり, 90 秒付近では 10 以下まで減少していることから, 全体的に右肩下がりの傾向であり, 時間が経過するに従ってワークロードが減少していったと考えられる.

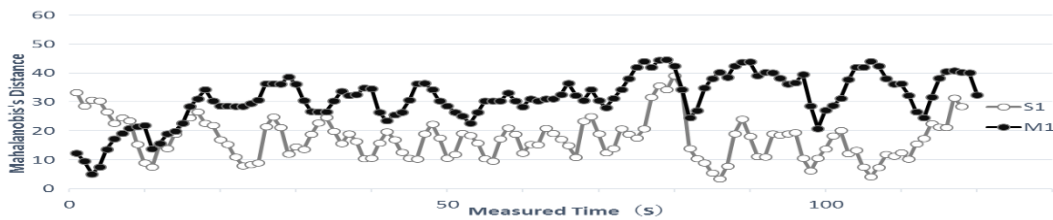


Fig. 4.6 Participant1 scenario 1

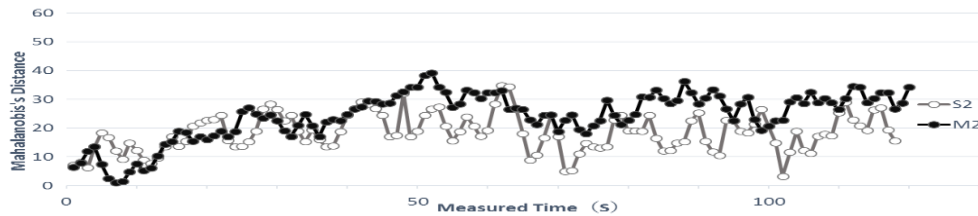


Fig. 4.7 Participant1 scenario 2

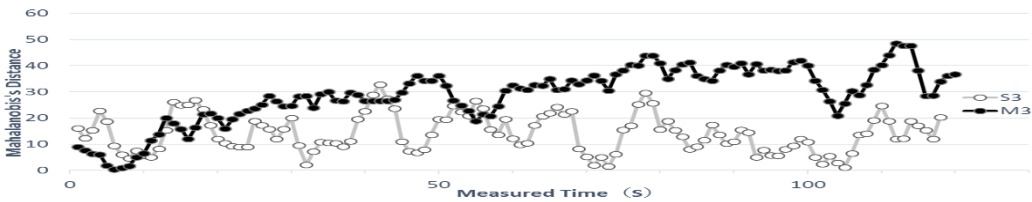


Fig. 4.8 Participant1 scenario 3

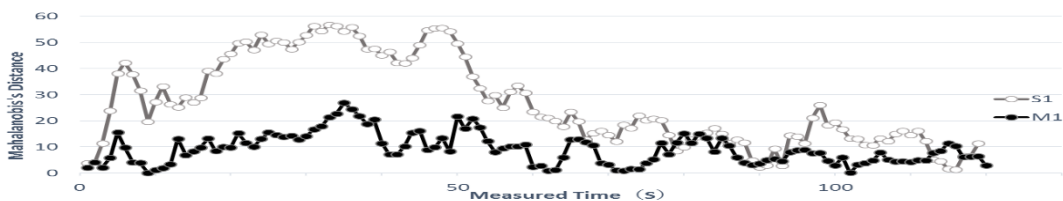


Fig. 4.9 Participant2 scenario 1

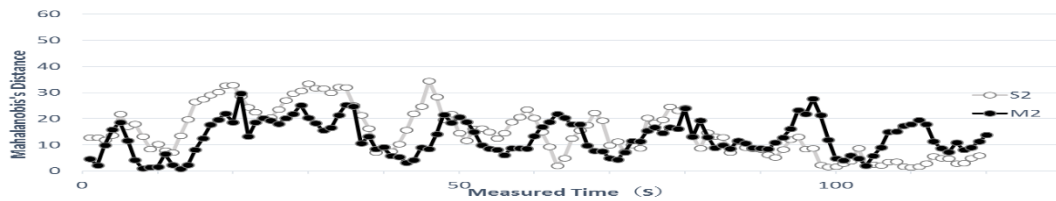


Fig. 4.10 Participant2 scenario 2

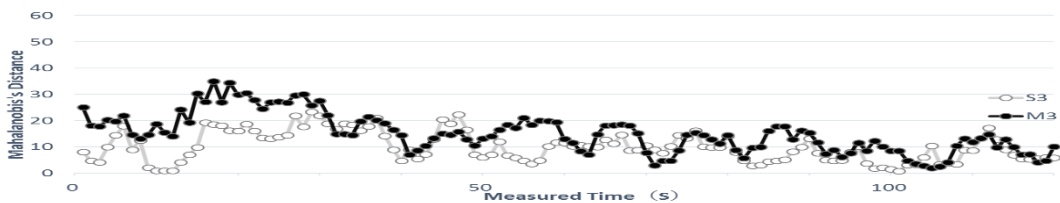


Fig. 4.11 Participant2 scenario 3

4.6 考察

被験者 1 はマルチタスクの方がシングルタスクよりも Audio-0-back-task からの距離が大きく、全体的に右肩上がりの傾向であり、時間が経過するに従ってワークロードが増大していく結果となった。被験者 2 はシングルタスクの S1 から S3 にかけて Audio-0-back-task からの距離が縮まり、マルチタスクにおいては、どのシナリオでもほとんど変わらず、また全体的に右肩下がり傾向であり、時間が経過するに従ってワークロードが減少していく結果となった。Audio-0-back-task を加えたマルチタスクにおいて、学生はワークロードが上がり、機関士は学生と比べてワークロードが低い結果が得られた。このことは、機関士と学生で、機関当直作業の経験差がタスクにおける生体反応に影響を及ぼしていると考えられ、結果として機関士には、今回構築したシナリオでは意図していたマルチタスク環境になっていなかったのではないかと推測される。

4.7 結言

本実験の結果と考察より、機関士の行動特性の把握として、客観的ワークロード計測手法の一つである、生理指標（心拍数及び脳波）計測を用いて、定量的なワークロード評価を行う事ができたと考えられる。定量的評価結果より本研究の目的であったマルチタスクとなるシナリオの作成には一定の成果が出せたと考えられるが、作成したシナリオの難易度と生理指標計測においていくつか課題があると考えられる。

生理指標（脳波計測）に関して、脳波測定の際のノイズ発生を抑制するために実験中、被験者はシナリオの操作を主機コンソール前で作業し、基本的に移動は制限された状態でタスクを実施した。本実験における実験シナリオは主機関増速中の L.O.圧力計、ポンプマーク及びT/C回転数の異常検知であり、そもそも動作行動を必要としない実験であったが、その異常検知がもたらす心拍数の変化と脳波の変化により客観的にワークロードを評価するにはシナリオの難易度が適正だったかという考察が前節においてなされた。実際の機関運用管理現場における異常事態の検知とその対応行動には、操作や動作という被験者の身体的負担もシミュレーション環境下においても求められ、それらの行動を行う際には本実

験で使用した脳波計測計の装着とノイズ発生の抑制は難しくなると考える。次章において機関運用管理のより実船環境に則した緊急事態等のシナリオを作成し、更に本章以降の評価実験においては客観的ワークロード計測の生理指標として使用された脳波の計測は行わず、心拍計による計測を実施する。加えて心拍計に関しても、本実験においては胸部に取り付ける心拍系を使用して心拍数の計測を行った。脳波計ほどでは無いが計測装置の装着による、被験者への負担感が多少はあると感じられた。本章以降の評価実験における心拍数測定には、より装着時の負担が少ないリストバンド型の光学式心拍活動量計を使用する。また、本章の実験結果と第 2 章における文献調査により、被験者の行動観察による客観的ワークロード評価手法 VACP 手法の機関運用管理現場への適応を提案し、第 6 章においてワークロード評価実験を行う。

第5章 ERM 訓練のシナリオ作成

5.1 本章の目的

本章では、機関運用管理のより実船環境に則した緊急事態対応のシナリオを作成する為、まず、ヒアリング調査から国内のシミュレーターを活用した ERM 訓練実施機関での ERM 訓練シナリオとその評価方法の実態調査を行った。その後、IMO Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 Edition に記載の ERM Sample Exercise を参考に、本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオを検討する為にシミュレーターの特性を調査・確認した。

5.2 ERM 訓練実施機関の実態調査

第2章3節において国内外の ERM 訓練の文献調査を行い、その研究報告を調査した。その中で独立行政法人海技教育機構海技大学校と航海訓練所における ERM 訓練実施方法のヒアリングと機関室シミュレーターの見学を行った。加えて海運会社での乗船経験を有する機関士への ERM 訓練を実施している機関にもヒアリング調査を行った。

航海訓練所練習船青雲丸に搭載の機関プラントを模したフルミッション型機関室シミュレーターは2015年に設置され、乗船中の学生への実船機関運用管理現場におけるプラント管理能力の習熟及び技能の補完、緊急事態等の訓練、そして ERM 訓練を目的として利用されている。技術的能力の取得目的として運転状態の確認や機器配置の確認といった知識・技術の向上に活用され、また緊急事態等の対応といった実船環境では再現が難しいプラント状態の経験とその対応方法の取得を目指している。非技術的能力の向上としては ERM 要件の説明を行い、学生を被評価者と評価者といったグループに分け、ERM 評価項目をもとにそれぞれの非技術的能力の理解度を評価するといった訓練を行っている。これらの技術的及び非技術的能力の取得を目的として、実施しているシナリオは①機関プラント暖機・冷機作業、出入港準備、②主機試運転から主機始動、③主機運転モード切替 (FPP ↔ CPP)、④増速・減速作業、常用出力経験、⑤ブラックアウト対応 (船内電源喪失)、⑥機器運転 (発電機、清浄機、造水装置等)、⑦シフト操作 (ビルジ、燃料等) がある。これらのシナリオの中で ERM 訓練として利用されているのは①主機暖機・冷機作業、出入港準備と⑤ブラックアウト対応が主であり、①主機暖機・冷機作業、出入港準備に関しては、学生も実船での作業を行った経験を活かし、ERM 要件のコミュニケーションや意思表示などの理解度が向上しているというヒアリングの回答を受けた。それに対して⑤ブラックアウト対応 (船内電源喪失) に関しては、実船環境での経験が少なく、学生の知識のみでのシナリオ完遂が難しく、指導する側の教官の補助や実施前の説明が必要であると回答されていた。航海訓練所練習船青雲丸における機関室シミュレーターを利用した ERM 訓練の目的は学生への非技術的能力の理解度を上げる事であり、その評価の定量的手法等は検討段階であり、その調査発表等が行われている⁽³⁹⁾。

海技大学校では、シミュレーターを活用した ERM 訓練の内容、訓練時のシナリオや非技術的能力の評価方法についてヒアリングを行った。海技大学校には2サイクル低速大型ディーゼル主機を推進機関に採用した機関室を模したフルミッション型機関室シミュレーターと船橋からのテレグラフ発信器と機関制御室での受信器操作による主機関の始動、停止、逆

転を行う、主機遠隔操縦シミュレーターが設置されている。これらのシミュレーターを利用した ERM 訓練は 2004 年より開始されており、内航・外航機関士や国内外教育機関の教育者等へ訓練を提供している。主機遠隔操縦シミュレーターにおける ERM 訓練の方法としては、故障対応のシミュレーションをリーダーまたはフォロワーの立場において状況認識やコミュニケーションの活用といった非技術的能力の向上を目的としている。フルミッション型機関室シミュレーターにおいては機関室の各装置を実船の機関運用管理現場に近い形で操作、確認及びトラブル対応を行う事で ERM 要件として求められる非技術的能力の向上を目的としている。海技大学校での ERM 訓練におけるシナリオに関しては、特に具体的な訓練シナリオを作成しておらず、ブリーフィングにおいて受講者がインストラクターよりプラントの初期状態と目標となる状態のみが伝えられる。受講者は訓練開始までに状態確認や操作手順の立案及び受講者間での打合せを行う方法をとっている。決められた手順に従ってプラント操作を行っているのではない事から、受講者の判断や行動に応じて発生するイベントやトラブルが変化する為に、受講者によってはブラックアウトなどのトラブルが発生し、その対応行動が求められたりする。この様に自由度の高い方法によりシミュレーター訓練が実施され、その様子を評価者が観察し非技術的能力の評価を行うことが出来るのは、受講者が乗船経験を有し、機関プラントへある程度精通しているという条件が必要であると考えられる。非技術的能力の評価方法としては、訓練の様子を録画した動画を用いながら ERM スキルのポイントとなる受講者の会話や行動を挙げ、受講者への気づきを促し、非技術的能力に関する意識の変化に繋がるようなコメントを与えている。海技大学校における ERM 訓練はチーム意識の醸成を目的としており、ERM スキルとして挙げられる非技術的能力の向上を評価する目的よりも非技術的能力の理解を深め、気づきを与え安全・効率運航のための意識醸成を目的としていると感じた。研究目的として学生被験者と実務経験者との比較や定量的評価手法の検討が行われているが、外部受講者への非技術的能力の定量的評価は行われていない。

海運会社での乗船経験を有する機関士への ERM 訓練を実施している機関にも、上記と同様にシミュレーター訓練を利用した ERM 訓練のシナリオと評価手法についてヒアリング調査を行った。シナリオの種類は、①主機準備作業、②定常作業（機器パラメーター調査）、③Steering Trouble（操舵機異常対応）、④主機 Auto Slow Down 対応、⑤Black Out（船内電源喪失）対応の 5 種類を実施している。海技大学校の ERM 訓練受講者と同様に実務経験を有する受講者に対する訓練であるが、各シナリオの大まかな流れは訓練実施前に説明され、イベントの流れが記載された配布物を参考に訓練を行っている。実際の訓練中にインストラクターが記載されているイベント以外のトラブルを発生させ、その対応行動も行うといった難易度の高い訓練も実施している。評価に関しては、これらの各訓練においてブリーフィング時、作業実施時、チームのコミュニケーションの状況という 3 つの大項目それぞれに、より細かい評価ポイント「作業員的能力・経験の有無を把握できたか」、「異常に気づいた際、進言・応答はできたか」や「的確なアンサーバックはできたか」等の約 20 項目の評価ポイントが記載されたチェックリストを受講者が達成できたかという観点で、良、可、不の 3 つの評価指標で評価するものと、インストラクターが評価者となり ERM 要件に関する含む 30 項目の評価ポイントを 0-4 点の評価尺度で評価を行い、合格基準を 60%に設けた受講生評価チェックリストにより評価を行っている。この 2 つの評価方法に関しては、前者の受講者自身の評価については、海技大学校での ERM 訓練と同様に受講者自身の非技

術的能力の必要性の気づきを促す目的で実施されていると考えられ、後者の評価者チェックリストによる評価はインストラクターの主観的評価にはなるが非技術的能力の定量的評価を行い、受講者の評価を客観的に行っている。後者の評価者チェックリストは BRM 訓練評価を参考に作成されており、次節で述べる IMO Model Course の評価方法に準じた評価手法になっていると考えられる。

5.3 IMO Model Course 2.07 2017 Edition ERM Sample Exercise 内容調査

IMO Model Course 2.07 は IMO Model Course の中で STCW コードに記述されたエンジンルームシミュレータに関連するトレーニングに焦点を当てたものであり、枠組み、概要、指導要領、シラバス、評価方法、Sample exercise などで構成される。参考として、2017 版及び 2002 年版 IMO Model Course 2.07 の目次を表 5.1 に示す。

2002 年版と 2017 年版において、基本構造及び思想そのものに大きな違いは見られない。しかし、表 2-1 より、両者の IMO Model Course において、目次構造で 2002 年版の Part D: General の章において、2017 年版では Part D: Instructor Manual 及び Part E: Evaluation and Assessment に分かれて記述されている。また、2002 年版では 5 個のみであった Sample exercise が 2017 年版では 36 個と大幅に増加している。

Table5.1 2017 年版及び 2002 年版 IMO Model Course 2.07 の目次

2017 年版	2002 年版
Introduction	Introduction
Part A:Course Framework	Part A:Course Framework
Part B:Course Outline	Part B:Course Outline
Part C:Detailed Teaching Syllabus	Part C:Detailed Teaching Syllabus
Part D:Instructor Manual	Part D:General
Part E:Evaluation and Assessment	Appendix
Appendix 1 (to Part D):Examples of Exercises	
Appendix 2 (to Part A):Sample of an engine-room simulator	

Sample Exercise は IMO Model Course 2.07 内において Part D:Instructor Manual への付録として盛り込まれている項目であり、シミュレーター教育を実践する際の参考となる訓練シナリオを教育の目的ごとにまとめた全 36 のモデル群である。

これらの Sample Exercise の一つとして「Engine-room Resource Management Practice」が記載されている。記載内容としては、ERM 要件に記載されている内容 5 項目の要件に関して「maintain a safe engineering watch, exerting effective communication, leadership, situational awareness, assertiveness and effective utilization of personnel in various situations concerning the engineering watch」という内容でブリーフィング時にインストラクターが説明を行ってから 2 種類のシナリオを実施し、これらの ERM 要件についてインストラクターが評価するという内容になっている。シナリオの 1 つ目は入港状態から機関プラントの暖機作業に始まり、主機試運転、主機スタンバイ状態から Run up Engine までの流れであり、イベントとしてコミュニケーションを取りながら各機器始動操作を行うというシナリオになっている。2 つ目は Run up Engine 状態で発電機は T/G 一台での運転

状態という設定で、インストラクターが **Black Out** を発生させ、その後 **T/G Low voltage trip**, **M/E L.O. Low press** により気急停止、**D/G** 及び **E/G** 自動起動と **ACB Close**, その後各補器機自動起動とボイラー手動起動といった復旧作業を行い、**M/E Trip Reset** 作業後に **M/E Restart** までのシナリオとなっている。これらのイベントを制御室側に **C/E** と **1/E**, 機関室側に **2/E** と **3/E** の配置で船橋航海士ともコミュニケーションを取りタスクを実施し、復旧作業を行っていく様子を評価シート **Sample evaluation form (Non-technical Skill)** に記載の **ERM** 要件に基づく 4 項目の評価ポイントを **A-D** の 4 段階での評価基準で評価して各機関士の役割を担った **Trainee** を評価する。

前節の **ERM** 訓練実施機関のシナリオと **IMO Model Course** に記載の **ERM Practice Black Out** 対応シナリオを参考に本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオ作成を行った。

5.4 MEPS において実施可能な緊急事態対応シナリオの作成

本学機関室シミュレーター (**MEPS**) での実船環境での緊急事態対応のシナリオとして **Black Out** 対応シナリオを作成する為に、**IMO Model Course** のシナリオを参考に一連のイベントが再現可能か下記の調査を行った。

- ① 運転状態の設定として **Run Up Engine** 状態でシミュレーターをスタート。
- ② **T/G** をトリップさせる為の方法として、**IMO Model Course** に記載の **T/G Low Voltage trip** という方法は、シミュレーター設計段階でのマルファンクション (異常状態の発生イベント) としては導入されていなかった為に、**T/G** の入口主蒸気弁をインストラクター PC より実施。(Trainee には **T/G Trip** からシナリオのスタートと説明)
- ③ **T/G Trip** 後の主機 **Auto Stop** に関してはシミュレーターで再現可能を確認。
- ④ **No.1 D/G** と **E/G** の **Auto Start** は確認できたが、**ACB** が **Auto** で **Close** されない不具合が確認された為、インストラクターにより **ACB Close** (Trainee には **ACB Close** を電力配電盤にて確認させる)
- ⑤ **T/G Drain Valve** の開放と **T/G Turning** は機関室側作業として再現可能を確認。
- ⑥ 主機コンソールによる **M/E Reset** 作業を船橋航海士役 (インストラクター) とコミュニケーションを取り実施できることを確認。
- ⑦ 補器自動起動確認。
- ⑧ **Steering Gear** 自動起動確認。

実際の船舶ではここまでの機器の復旧と確認作業が完了すれば、主機の **Restart** 作業が可能になる。しかし、本学シミュレーターの設定として、主機停止により主機冷却水温度が低下してしまいう事で、主機始動条件を満たさない (**F.W. Temp Low**)。更に、ボイラーの **Trip** により、**F.O.** 温度が低下してしまい、粘度調節器 (**Viscosity Controller**) の値も低くなり、こちらも主機起動条件 (**F.O. Temp Low**) を満たさない為に、以下の作業が必要になる。

- ⑨ **Boiler** 手動起動方法確認 (**Boiler** 点火後圧力上昇に数分かかる事を確認)。
- ⑩ **F.W. Jacket Heating** 開始、主機冷却水温度上昇確認。
- ⑪ **Vis. Control Alarm** と **Jacket Temp Alarm** 正常値に復旧後 **M/E** 始動可能となる。

上記 2 個の Alarm 復旧に時間がかかるので、Jacket Heating Start と Boiler 復旧後 Instructor PC にて Simulator Speed を”1”から”1/10”に変更して Speed UP Alarm が復旧され次第”1/10”から”1”に戻す。

⑫ 制御室及び機関室の各種運転機器とパラメーターの確認(見回り)。

⑬ Bridge とコミュニケーションを取り(テレグラフ操作), 主機 Restart が可能である事を確認。

これらのブラックアウト発生から主機再始動までの確認作業を行い、本学シミュレーターにおいて機関運用管理現場における緊急事態対応の Black Out 対応シナリオが実施可能である事を確認し、下記の通り Black Out 対応シナリオを作成した。

今回作成した Black Out 対応シナリオの所要時間は約 5 分前後となるように作成し、これは実船での機関運用管理現場での経験と、前節で ERM 訓練実施機関での Black Out 対応訓練を作成した実務経験を有するインストラクターのヒアリング結果も参考にした。訓練実施者(Trainee) が機関運用管理現場にあまり精通していない学生であった場合は所要時間多少前後する事を想定し、シナリオの自由度が高くなりすぎない為に、下記に作成して Black Out 対応シナリオには、各役割の作業内容とコミュニケーションの内容の概略を記載した。

・ Black Out 対応シナリオ

シナリオスタート

C/E→All : T/G Trip, Black Out 発生

C/E→2/E : No.1 D/G Auto Start, ACB Close. 運転状態確認

2/E : 確認後 Answer Back

C/E→3/E : T/G Drain valve open. Start T/G Turning.

3/E : Answer Back. 操作実施後 Report

C/E→1/E : Bridge に Black Out 発生&M/E Trip 連絡. M/E Trip Reset 作業を Bridge と実施。(※)

C/E→2/E : 補機器自動起動確認

2/E : 確認後 Answer Back

C/E→3/E : Boiler 復旧作業実施

3/E : Answer back 操作実施

(3/E→C/E : Boiler 復旧作業終了後 Report)

C/E→2/E : Steering gear 自動起動確認

2/E : 確認後 Answer Back

C/E→2/E : Jacket Heating 開始

2/E : Answer Back. 操作実施後 Report

C/E→2/E&3/E : 各種状態見回り実施 2/E&3/E→C/E : Answer Back. 実施後 Report

(※) 後 1/E 実施作業 (Eng.Room 作業と同時進行)

1/E→Bridge : Black Out 発生&M/E Trip. M/E Trip Reset 作業を実施します。

M/E Telegraph ”STOP”操作後, Bridge Telegraph ”STOP” Position 変更願う。

M/E Condition ”Run”から”S/B”に変更願う。

Control Position ”W/H”から”C/R”に変更願う。

Black Out 復旧作業を実施中. M/E Trial 可能になれば連絡します。

Vis. Control Alarm と Jacket Temp Alarm 正常値に復旧後 M/E 始動可能となる。

(上記 2 個の Alarm 復旧に時間がかかるので, Jacket Heating Start と Boiler 復旧後 Instructor PC にて Simulator Speed を”1”から”1/10”に変更して Speed UP. Alarm 消え次第”1/10”から”1”に戻す.)

C/E→1/E : Engine Room Black Out 復旧作業終了. Bridge に連絡して M/E Trial.

C/E→2/E&3/E : これより Engine Trial 2/E&3/E→C/E : Answer Back.

1/E→Bridge : Engine Room Black Out 復旧作業終了. これより Engine Trial 実施します.

M/E Telegraph ”STOP”から”D/H”に変更.

1/E→All : Engine Dead Slow Ahead.

2/E&3/E→C/E&1/E : Engine Running Condition Normal.

シナリオ終了

5.5 結言

本章では, 機関運用管理のより実船環境に則した緊急事態対応のシナリオを作成する為に, ERM 訓練実施機関において作成・実施されているシナリオと評価方法についてヒアリング調査を行った. ヒアリング調査の結果, 訓練の目的と受講者の経験に基づくシナリオの作成とその自由度が設定していることが分かり, 評価手法についても ERM 訓練による受講者の非技術的能力の定量的評価を行っている場合と, 非技術的能力の理解度と気づきを与える目的で評価方法が異なることが分かった. シナリオを作成している ERM 訓練実施機関では, 機関プラントの暖機・冷機作業, 出入港準備, といった定常作業を実施するシナリオと操舵機異常対応や主機自動減速等の機関運用管理における緊急時対応といった 2 種類のシナリオを作成しており, Black Out 対応シナリオが共通して実施されている事が分かり, この Black Out 対応訓練に関しては IMO Model Course 2.07 に記載されている事から ERM 訓練実施機関でのシナリオ作成の参考にされていると考えられる. 本章では, この IMO Model Course 2.07 について, 2017 版と 2002 年版に記載されている内容を比較し, 2017 年版では目次構造に Part D : Instructor Manual 及び Part E : Evaluation and Assessment が追加され, 2002 年版では 5 個のみであった Sample exercise が 2017 年版では 36 個と大幅に増加している事を確認した. 2017 年版の Sample Exercise 14 ERM Practice には, 機関プラントを入港状態から Run up Engine まで主機及び各機器を操作する定常作業のシナリオと緊急事態対応として Black Out 対応の 2 種類のシナリオが記載されていることを確認した. これらのシナリオを参考に本学機関室シミュレーターにおいて Black Out 対応シナリオを作成する為にシミュレーターの特性を調査・確認を行った. その結果から, 本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオを検討し, 実船環境に則した緊急事態対応のシナリオとして Black Out 発生から主機を再始動するまでの一連の流れを記載したシナリオを作成した.

前章では, 主機コンソールでの異常監視のシナリオを作成し, その異常検知による被験者の生理指標 (脳波及び心拍) から定量的ワークロード評価結果を検証した. 本章で作成した ERM 訓練シナリオは第 6 章における客観的ワークロード評価実験と第 7 章における ERM 訓練の目的である非技術的能力の評価を目的とする評価実験のシナリオとしても活用する.

第6章 船舶機関運用管理におけるワークロード評価手法

6.1 本章の目的

本章では、機関運用管理を行う際のワークロードを客観的に評価するために VACP 評価指標を作成し、ワークロードの定量化を行い、作成した指標の客観性と実用性についてシミュレーター環境下における評価実験を行った。VACP 評価により求めた被験者のワークロードと心拍変動データに基づくワークロードを比較し、VACP 評価を機関運用管理に適用するため作成した指標の妥当性を検討した。

第2章で述べ国内外のワークロード評価の研究・調査報告や、第3章の生理指標を用いた実験結果から心拍変動データ分析に基づく客観的ワークロード評価にある一定の成果が出ている。加えて、第2章で述べた通り、主観的ワークロード評価手法として NASA-TLX は広く使われている評価手法であり、評価項目に作業者が感じた身体的要求や精神的要求、時間的要求等からワークロード推定値が求められる。しかし、NASA-TLX によるワークロード評価手法は時系列変化ではなく、作業全体のワークロードを評価する手法であり、本章では身体的負担を含むワークロードを時系列で把握することを目的とした VACP 評価によるワークロード評価手法を提案する。VACP 評価は映像・音声データによる作業者の行動により客観的にワークロードを評価する方法であり、心拍計等の計測機器装着やアンケートの回答を課すことなく遠隔状態においても適用が可能である。

本章では第5章において作成した Black Out 対応シナリオを基に評価実験を行い、評価実験の様子を3章で述べた方法で音声と映像を記録し、その音声映像記録を基に VACP 評価を行った。

本章では VACP 評価により時系列変化としてワークロードの定量化を行った値をワークロード量と定義し、心拍変動データとワークロード量の比較から、被験者のワークロードが妥当な変動を示しているか時間追従性を確認した。また被験者の評価実験シナリオ全体のワークロードをワークロード推定値と定義し、ワークロード量の時系列変化の積算値からワークロード推定値を求めた。最後に、評価実験シナリオ全体に対して VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を比較して客観的評価の有効性を検証した。

6.2 ワークロード分析方法

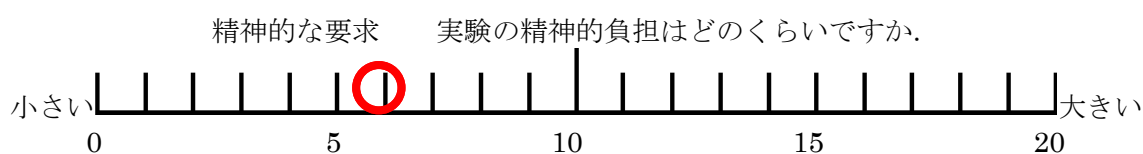
6.2.1 NASA-TLX

第2章2節において NASA-TLX の概略を述べた。本節において、その概要と詳細な評価方法を説明する。NASA-TLX はすでに一般的に実用化されており、アメリカ航空宇宙局にて開発され、航空業界を中心に広く使われている主観的作業負荷評価尺度のひとつである。NASA-TLX は、精神的な要求／身体的な要求／時間的な要求／成績／努力／不満の6つの尺度から構成されている。表 6.1 において、6つの尺度の詳細を記す。

Table 6.1 NASA-TLX 尺度項目

尺度項目	説明
精神的要求	精神的，知覚的活動はどのくらい必要とされましたか。 (例えば，思考する/判断する/計算する/思い出す/見る) タスクは，簡単/厳しい，単純/複雑，厳しい/寛大でしたか。
身体的要求	身体活動はどのくらい必要とされましたか。 (例えば，押す/引く/回す) タスクは，簡単/厳しい，ゆっくり/活発，緩い/きつい，でしたか。
時間的要求	タスクまたはタスク要素が発生する頻度やペースについて，どのくらいの時間的な圧迫を感じましたか。 ペースは，ゆっくりで気の長い/急速で大慌て，でしたか。
成績	実験立案者が設定したタスクに対して，あなたはどのくらい成功(到達)していると思いますか。 これらの目標を達成するあなたのパフォーマンスについて，どのくらい満足していますか。
努力	あなたの成績レベルへ到達するための努力(精神的・肉体的)は，どれくらい困難でしたか。
不満	タスクの間，あなたはどのくらい不安に感じていましたか。 落胆した，イライラした，ストレスを感じた，悩んだ，など。 これに対して 安心した，嬉しかった，満足した，など。

作業負荷を評価するために被験者が行うことを述べる。6項目それぞれの自信の感じた尺度の大小を0~20の段階に分けて○をつける。以下の例の場合であれば，精神的な要求のレベルは6である



次に被験者にとって，6項目のうちどの尺度の重み(作業に対する要求)が大きかったのかを，一対比較法により求める。6つの尺度のうち2つのから重みの大きかった尺度に○をつけてもらう。すべての組み合わせは15とおりであり，6項目それぞれの選択された数を数える。

例) ● これらのタスクにおいて、以下に挙げたペアから、作業負荷の大きい要素（より大変に感じた方）を、どちらか1つ選んで下さい。

精神的な要求 / 身体的な要求	精神的な要求 / 時間的な要求	精神的な要求 / 成績
精神的な要求 / 不満	精神的な要求 / 努力	身体的な要求 / 時間的な要求
身体的な要求 / 成績	身体的な要求 / 不満	身体的な要求 / 努力
時間的な要求 / 成績	時間的な要求 / 不満	時間的な要求 / 努力
成績 / 不満	成績 / 努力	努力 / 不満

上記の場合、精神的な要求の数を数えると3である。これを全体15で割った値、 $3/15$ が精神的な要求の重みである。同様に6項目すべての重みを算出する。評価レベルと重みの大きさから、各尺度のワークロードスコアを求める。

・精神的な要求) ワークロードスコア = 評価レベル (6) × 重み ($3/15$)

同様に他の5つの項目についてもワークロードスコアを求める。

そして、この6つの尺度のワークロードスコアの合計値が作業に対するストレス値であり、大きいほどワークロードが大きいとみなせる。以下、このストレス値をNASA-TLXと表現する。

NASA-TLX = 精神的な要求のワークロードスコア + ... + 不満のワークロードスコア

6.2.2 VACP 評価手法

第2章2節において概略を述べたがVACP評価は人間の認知資源をVisual（視覚）、Auditory（聴覚）、Cognitive（知覚）、Psychomotor（身体活動）の4つに分け、消費される認知資源の量をScaleとして表し、Scaleの合計値をワークロード量として定量化する評価手法である。VACP評価の評価項目Descriptionと認知資源の量Scaleは航空機パイロットのワークロード解析用に開発された指標であり、TAWL（Task Analysis Workload）とも称される。

船舶の機関運用管理におけるワークロード評価手法としてVACP評価を適用した例は第3章で行った国内外の文献調査の結果より、研究報告の実績はみられ無い。しかし、航空機や自動車と機関運用では具体的なタスクは異なるが、異常等の発生により「アラームを確認」、複数人による情報交換を行う「オーダーとアンサーバック」、機器の操作のための「ダイアル（テレグラフ）操作」等のタスクにおいて認知、判断、行動などの共通したタスクを行うことから機関運用管理の現場におけるワークロード推定にVACP評価を適用した。

表6.2で示すVACP Scaleは評価項目Descriptionを参考にAction Codeを機関運用管理に適用する評価指標として本研究にて作成したものである。Descriptionについては前述の航空機業界で開発され、自動車業界や医療において広く研究に活用される一般化されたワークロード推定の指標であり、Descriptionに対応したAction Codeの項目については業務およびその環境等を対象とする内容が設定される。

Table 6.2 VACP Scale

VISUAL		
Scale.	Description	Action Code
V1	Visual Detection	Gaze ≤ 2s
V2	Visual Discrimination	Gaze > 2s, Static
V3	Visual Tracking	Gaze > 2s, Dynamic, Monitor + Gauge
V4	Visual Read, Searching	Visually High Attentive. Find Out Target
AUDITORY		
Scale	Description	Action Code
A1	Auditory Detection	Digital Signal, Sound.
A2	Auditory Verification	Auditory Feedback. Answer Back
A3	Auditory Decoding	Speech, Semantic Content, Order, Report
A4	Auditory Interpretation	Sound Patterns, Alarm Sound
A1	Auditory Disturbance	Non-directive
COGNITIVE		
Scale	Description	Action Code
C1	Automatic, Alternative Selection	e.g. Open Valve as Ordered, Answer Back
C2	Sign/Signal Recognition	e.g. Alarm Occur, Alarm Information
C3	Evaluation/Judgement (Single Aspect)	e.g. Situation Evaluation, Condition Judgement
C4	Evaluation/Judgement (Several Aspect)	e.g. Alarm Situation Evaluation
PSYCHOMOTOR		
Scale	Description	Action Code
P1	Discrete Actuation	e.g. Push Button, Talk, Monitoring, Point Out
P2	Continuous Adjusting	e.g. Telegraph Operation
P3	Symbolic Production	e.g. Writing, Typing
P4	Convergent Multiple Operations	e.g. Walk, Check Condition

本研究においては実船の実務経験に基づき機関運用管理現場における機関士の行動を認知資源毎に分類した Action Code を提案する。このような構成にすることで多様な機関運用管理の現場における機関士の行動を Scale の組み合わせによって表現することができ、第 5 章において作成した Black Out 対応シナリオによる代表的なタスクを実施する際の行動にも適用する評価指標として設定した。実施されるタスク（操作や判断）について、ワークロードの定量化を行うために、タスクの内容および VACP Scale の Description と Action Code から認知資源の量を決める。タスクの実行タイミングと実行時間内の VACP それぞれの認知資源の量 Scale の合計値として求まるワークロード量の時系列変化に着目した分析を行う。

タスクの実行時間に関して、航空機の操縦を対象とした VACP 適用例においては各操作の順番はマニュアルのとおりに行われ、操作時間も決められている。しかし、機関運用管理の現場におけるタスクの実行と実行時間については、機関運用管理者の判断においてタスクの優先順位や操作時間が変わることが実態として認められる。前述の Action Code の設定と同様にタスク実行による VACP 評価タイミングについても業務およびその環境等に対応するタイミングが設定されている。

表 6.3 において、本研究における代表的なタスクと VACP Scale を示す。代表的タスクのうち①⑤⑩に関しては制御室側（Control Room）で実施されるタスク、④⑥⑦⑧⑨に関しては機関室側（Engine Room）で実施されるタスク、②③はどちらの実施場所においても共通するタスクとして VACP Scale の割り当てを行う。

Visual 認知資源に関しては制御室側タスクにおいてモニターと機器ゲージの確認が必要とされ、機関室側タスクでは機器の状態把握として Visual Trucking の Scale が該当する。②Order と③Answer Back のタスクについては視覚的な負担が発生しないため Visual Scale は V0 となり、Auditory 認知資源の Auditory Verification や Decoding の Scale を共通して割り当てる。制御室側タスクにおいてアラーム音などの鳴動があり、機関室側ではそれらの音声認識ができないために Auditory 認知資源の Scale 割り当てがタスク実施場所の違いにより異なる。

Cognitive 認知資源についてはタスクの実施場所にかかわらず Evaluation/Judgement の Single Aspect と Several Aspect の共通した Scale が該当する。

身体活動である Psychomotor 認知資源に関しては機関室側タスクにおける Walk, Check Condition が共通して実施されるが、制御室側では身体活動は少なく⑤⑩の M/E Reset, Restart タスクにおいて Telegraph Operation による Continuous Adjusting が共通して実施される。

タスク実施代表例として①④⑩について、具体的な Scale の決め方を以下のとおり示す。

① Alarm Occur: アラーム発生によるモニターへの表示があるため Visual Discrimination により V2, Auditory はアラーム音発生 Auditory Interpretation: Alarm Sound により A4, Cognitive はアラーム内容の把握と現状の状態把握と複数の事象の考察が必要となり Evaluation (Several Aspect) : Alarm Situation Evaluation により C4 と認知資源の量を割り当てる。Psychomotor はアラーム発生による移動や操作を伴わないために P0 となる。

④ D/G Auto Start: 機関室モニター内の Visual Trucking より V3, Auditory は機器始動等の模擬音を抑制しているため A0 となる。Cognitive はディーゼル発電機単体の現状把握となるために Evaluation Single Aspect より C3, Psychomotor は発電機運転状態の把握を行うために Walk, Check Condition より P4 となる。

⑩M/E Restart: 制御室内の Visual Trucking により V3, Auditory は船橋と機関制御室間のテレグラフインジケータが鳴動するために Auditory Detection: Digital Sound により A1, Cognitive は Judgement により C3, Psychomotor は主機テレグラフ操作を実施するために Continuous Adjusting により P2 となる。

これらの代表的なタスク以外にも、間接的に聞こえる他者の会話は Auditory 認知資源の Auditory Disturbance として A1 をタスクのワークロード量に加える。また、指差し呼

称やアラームストップボタンを押す等の身体活動に関しては、Psychomotor 認知資源として P1 を加えワークロード量を求める。

Table 6.3 Sample of Task Scale

Task Name	Visual	Auditory	Cognitive	Psychomotor
① Alarm Occur	2	4	4	0
② Order	0	3	0	2
③ Answer Back	0	2	2	0
④ D/G Auto Start	3	0	3	4
⑤ M/E Reset	3	1	3	2
⑥ Restart Boiler	3	0	3	1
⑦ Pump Auto Start	3	0	3	4
⑧ Steering Auto Start	3	0	3	4
⑨ E/R Round Check	3	0	4	4
⑩ M/E Restart	3	1	3	2

6.3 ワークロード評価実験

6.3.1 実験装置

本章では、本学機関室シミュレーターと映像データ及び音声データ記録装置を使用してワークロード評価実験を実施する。本学機関室シミュレーターや映像データ及び音声データ記録装置に関しては第3章において詳細説明を行った。心拍計に関しては Polar 社のリストバンド型の光学式心拍活動量計「POLAR A360」（図 6.1）を使用した。

この光学式心拍活動量計は LED ライトを腕の表面に当て、血流の動きの変化をセンサーで計測する光学式心拍計である。血流の速さ、赤血球の濃淡を光の反射度合いから計測する。1 秒毎に 10 心拍の値を平均し、毎分心拍数として算出したものが表示される。

心拍データは心拍計内に記録され、パソコンに転送することによりデータを閲覧することが可能である。



Fig. 6.1 心拍計

6.3.2 実験内容

評価実験は第5章で作成した、緊急事態（ブラックアウト）発生シナリオのロールプレーにおいて機関長（C/E），一等機関士（1/E），二等機関士（2/E），三等機関士（3/E）の役割を被験者に課して実施した。

制御室側 C/E, 1/E と機関室側 2/E, 3/E として2名ずつ配置し，制御室側ではシナリオ中に発生する対応の指揮や指示を主として行い，主機のリセット作業と再始動についても制御室側から行った。機関室側では制御室からの指示のもと機器の復旧作業や見回り作業を主として行った。実験中の機関室における機器操作やバルブの開閉等は機関室システムのタッチパネル上で操作を行った。

4組の被験者として練習船における機関実習生の経験（運転・監視・整備）を有する海事科学研究科学生16名（被験者1～16）に協力を得た。実験前には神戸大学の人に関わる研究に関する倫理規定に従ったインフォームドコンセントを行い，実験協力に関する同意書を作成した。（付録1 実験協力に関する同意書参照）

被験者は4名1組で実験を行い，1組の評価実験で役割の違うロールプレーを2回実施した。実験実施前に全被験者にブリーフィングを行い，役割やシナリオ等の実施内容を説明し1回目であっても他の役割の実施内容は理解している状態で実験を行った。2回のロールプレーにおいて制御室と機関室の配置と役割を変更し，役割毎でのタスクが異なるため実験1回目と2回目による経験則は影響していないと考える。評価実験1組目から4組目の実験実施後に被験者16名の映像記録と音声記録からVACP評価によるワークロード量を求めた。

また，各ロールプレー実施後にそれぞれの被験者がMEPS環境下における各役割のワークロードに関する主観的評価をNASA-TLX評価に基づき行った。（付録2 NASA-TLX記入用紙参照）

評価実験におけるブラックアウトでは制御室側と機関室側に分かれて対応する環境の中で指示や情報共有を行い作業をすすめるため，情報の発信（Order）と受諾（Answer Back）にかかる平均的な所要時間が4秒であったことから，VACP評価タイミングを4秒毎と設定した。

6.3.3 分析方法

実験は，船舶の機関室と異なり，階段昇降や部屋の移動，バルブ開閉などの実操作を伴わない，機関室シミュレーター環境下で行った。そのため，計測した心拍変動データに与える影響の大半は認知行動に伴う心理的負担であると考え，心拍変動データを被験者ワークロードの基準とした。本研究では心拍活動量計で算出される心拍数の時系列変化を心拍変動データHR [bpm]と定義する。VACP評価による合計ワークロード量VACP SUMの時系列変化が妥当であるか，心拍変動データと比較して時間追従を確認した。また，V, A, C, P各認知資源および合計ワークロード量と心拍変動の相関から，認知行動によるワークロード量の変動を分析した。これらのVACP評価により求めた時系列変化での被験者のワークロードと心拍変動データに基づくワークロードを比較し，作成したVACP評価指標の妥当性を検討した。

本実験では，ある時間内に被験者が受けるワークロードについて，時間毎に評価したワークロード量の積算値により評価することにした。実験時間に求めたワークロード量の時

系列データを積算し、VACP 評価に基づく被験者の評価実験シナリオ全体のワークロード（ワークロード推定値）を求めた。NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を被験者の主観的なストレス指標として採用し、被験者の評価実験シナリオ全体のワークロードの基準とした。VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を比較して客観的評価の有効性を検証した。

6.4 実験結果

6.4.1 VACP ワークロード量と心拍変動データの比較

ワークロードの時間変化に着目し VACP ワークロード量と心拍変動データの比較を試みる。本実験はシミュレーター環境下であるため、心拍変動には認知行動による心理的な負担が主として影響していると考えられる。評価実験 1 組目の被験者 4 名の VACP 評価によるそれぞれの認知資源の合計ワークロード量と心拍変動データの時系列変化のグラフを図 6.2～図 6.9 に示す。

図 6.2～図 6.5 が評価実験 1 組目の 1 回目のロールプレーの結果を示し、図 6.6～図 6.9 が 2 回目のロールプレーの結果を示す。図には表 2 で示したシナリオ中の①～⑩の代表的なタスクを実行したタイミングを記載した。なお、図に示した①～⑩の代表的なタスクを含むシナリオに基づく各被験者の判断ならびに行動（以下、判断行動）からワークロード量を求め、評価実験の分析を行った。②Order や③Answer Back については頻繁に行われるタスクであるために発生タイミングを図には記載しない。

図 6.2 と図 6.6 に示す C/E の役割に着目すると、実験開始後 30[sec]までの間に得られた VACP SUM は高い値を示した。同様に HR も高い値を示している。この要因としてブラックアウト発生によるアラームと機関室側への各種復旧作業のオーダーを行う行動から Cognitive 認知資源や Auditory 認知資源の要素の負担が増え、ワークロードが高まっていると考察する。それ以降は 1/E へ M/E Reset 作業のオーダーや 2/E, 3/E へ機関室復旧作業のオーダーが続くが、VACP 評価の内 30[sec]付近に VACP SUM に影響を与えたアラームによる Cognitive 認知資源や Auditory 認知資源の要素が少なくなり、VACP SUM が減少していることが図より分かる。HR についても 30[sec]から 120[sec]前後にかけて減少傾向にあり、VACP SUM と同じ傾向を示した。120[sec]から 180[sec]のシナリオ中盤では代表的タスクの実施が減少し VACP SUM の変化は少なくなっている。シナリオ後半において VACP SUM が再び増加する傾向があり、これは代表的タスク⑩M/E Restart Operation 実施における各種オーダーの増加が要因になっていると考察する。

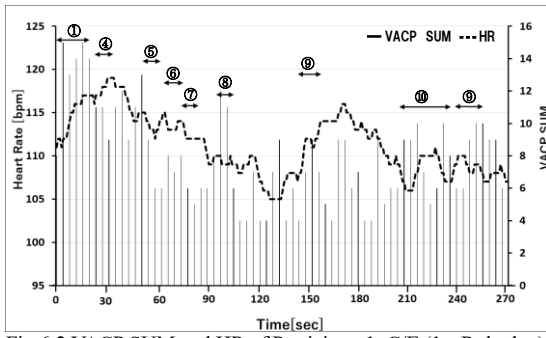


Fig.6.2 VACP SUM and HR of Participant1: C/E (1st Roleplay)

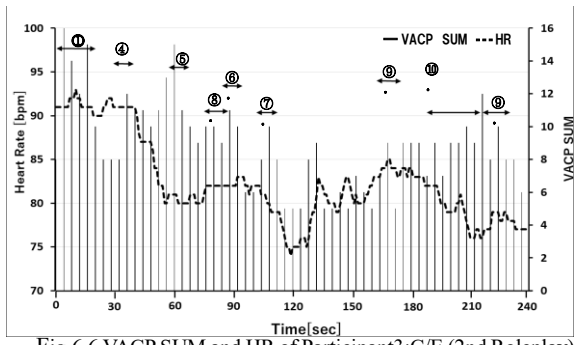


Fig.6.6 VACP SUM and HR of Participant3:C/E (2nd Roleplay)

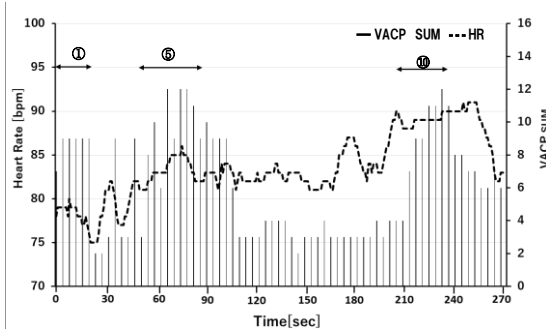


Fig.6.3 VACP SUM and HR of Participant2: 1/E (1st Roleplay)

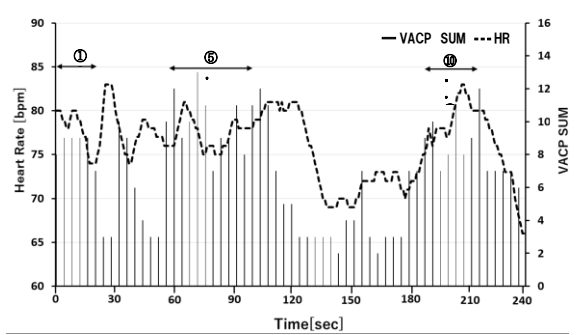


Fig.6.7 VACP SUM and HR of Participant4: 1/E (2nd Roleplay)

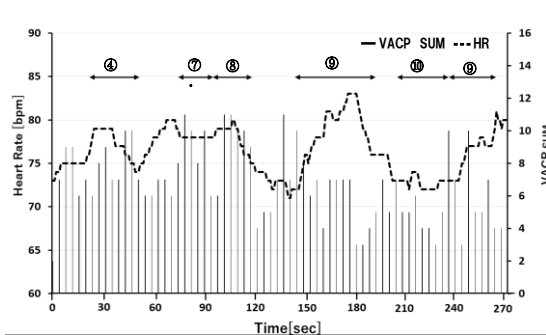


Fig.6.4 VACP SUM and HR of Participant3: 2/E (1st Roleplay)

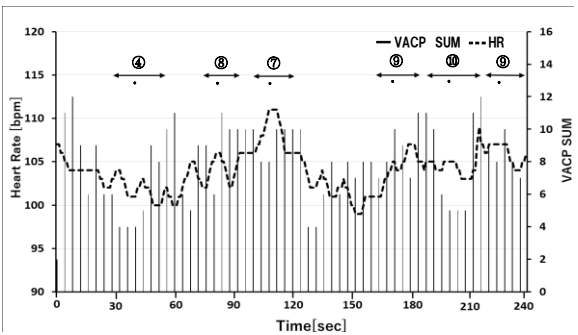


Fig.6.8 VACP SUM and HR of Participant1: 2/E (2nd Roleplay)

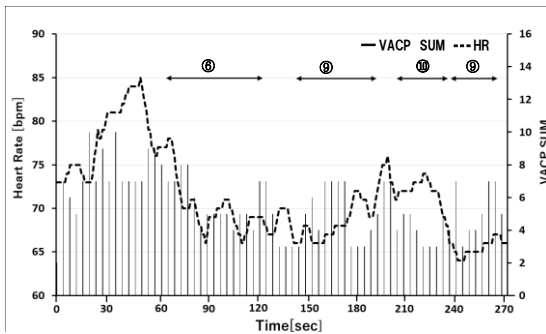


Fig.6.5 VACP SUM and HR of Participant4: 3/E (1st Roleplay)

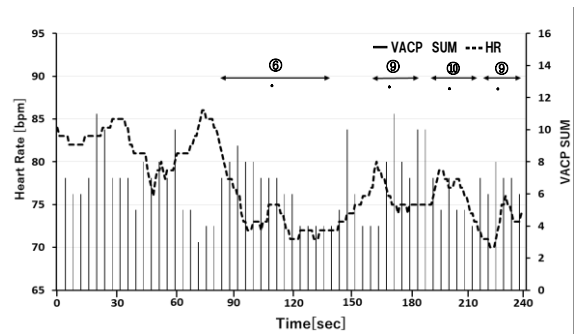


Fig.6.9 VACP SUM and HR of Participant2: 3/E (2nd Roleplay)

しかし、実験開始後 30[sec]までの変化に比べると VACP SUM は低く、HR も同様の傾向を示す結果になった。

図 6.3 と図 6.7 の 1/E の役割の結果では、60[sec]前後に代表的タスク⑤M/E Reset Operation を実施しているために VACP SUM が高い値になった。HR に関しても 60[sec]前後においてやや高い結果になった。M/E Reset Operation 後の 120[sec]から代表的タスク⑩M/E Restart Operation までは VACP SUM が低い値になり、⑩M/E Restart Operation タスク実施時に VACP SUM の増加と HR の上昇が確認できた。特に図 7 の被験者 4 の結果から実験前半部分と後半部分の VACP SUM の変化と HR の相関がみられる結果になった。

図 6.4 と図 6.8 に示す 2/E の役割や、図 6.5 と図 6.9 に示す 3/E の役割を行った機関室側の結果は、各代表的タスク実施時に VACP SUM の増加がみられるが HR との相関はあまり確認できない結果になった。代表的タスク実施時に Psychomotor 認知資源の Walk, Check Condition の負担が確認できるが、制御室側のオーダーを受けてから行動を行うために、判断行動である Cognitive 認知資源の負担が連続する状況はあまり確認できなかった。機関室の環境の違いとしてアラーム音の鳴動が発生せず、Auditory 認知資源の消費による VACP SUM が制御室側より少ない結果になった。

6.4.2 VACP ワークロード量と心拍変動の相関

評価実験 1 組～4 組 (Experiment 1～Experiment 4) の VACP 評価によるワークロード量と心拍変動の相関を表 6.4～表 6.7 に示す。各認知資源の正の相関 (相関係数 0.40 以上) がみられた項目について背景色を変えて示した。各被験者の結果を制御室側 (Control Room) タスクと機関室側 (Engine Room) タスクに分けて比較を行った。

Table 6.4 Result of VACP and Heart rate Correlation (Experiment 1)

Participant	Role	Task Location: Control Room					SUM	Role	Task Location: Engine Room				
		V	A	C	P	SUM			V	A	C	P	SUM
1	C/E	0.21	0.17	0.17	0.41	0.41	2/E	0.07	0.12	0.26	0.06	0.23	
2	1/E	0.54	-0.18	0.31	0.37	0.21	3/E	-0.15	0.19	-0.25	0.17	0.01	
3	C/E	0.23	0.24	0.29	0.28	0.42	2/E	0.09	-0.13	-0.07	0.28	0.08	
4	1/E	0.12	0.32	0.36	0.27	0.42	3/E	-0.02	0.33	0.48	-0.06	0.47	

Table 6.5 Result of VACP and Heart rate Correlation (Experiment 2)

Participant	Role	Task Location: Control Room					SUM	Role	Task Location: Engine Room				
		V	A	C	P	SUM			V	A	C	P	SUM
5	C/E	0.12	0.46	0.46	0.38	0.62	2/E	0.55	0.10	0.30	0.19	0.43	
6	1/E	0.36	0.33	0.61	0.48	0.75	3/E	0.08	0.03	0.16	0.03	0.13	
7	C/E	0.41	0.23	0.41	0.57	0.77	2/E	0.21	0.04	0.21	0.21	0.31	
8	1/E	0.13	0.34	0.52	0.30	0.75	3/E	0.13	0.20	0.08	0.22	0.27	

Table 6.6 Result of VACP and Heart rate Correlation (Experiment 3)

Participant	Role	Task Location: Control Room					SUM	Role	Task Location: Engine Room				
		V	A	C	P	SUM			V	A	C	P	SUM
9	C/E	0.19	0.49	0.28	0.30	0.70	2/E	0.01	0.24	0.23	0.44	0.50	
10	1/E	0.38	0.30	0.60	0.24	0.73	3/E	0.42	0.05	0.26	0.09	0.37	
11	C/E	0.57	0.09	0.46	0.37	0.55	2/E	0.41	0.05	0.39	0.30	0.47	
12	1/E	0.11	0.39	0.21	0.48	0.76	3/E	0.04	-0.06	0.07	0.38	0.27	

Table 6.7 Result of VACP and Heart rate Correlation (Experiment 4)

Participant	Role	Task Location: Control Room					SUM	Role	Task Location: Engine Room				
		V	A	C	P	SUM			V	A	C	P	SUM
13	C/E	0.62	0.13	0.40	-0.04	0.50	2/E	0.60	-0.20	0.54	0.32	0.47	
14	1/E	0.55	0.04	0.61	0.12	0.48	3/E	0.35	-0.36	0.32	0.27	0.17	
15	C/E	0.14	0.37	0.19	0.29	0.60	2/E	0.57	0.16	0.47	0.16	0.55	
16	1/E	-0.32	0.49	0.22	0.30	0.66	3/E	0.14	-0.18	0.40	-0.17	0.09	

図 6.2～図 6.9 で示した評価実験 1 組目被験者 1～被験者 4 の VACP SUM と HR の相関を示した表 6.4 の結果について、制御室側の結果において被験者 1, 3, 4 は相関係数 0.4 以上の正の相関がみられ、被験者 2 は 0.2 以上の弱い正の相関になった。機関室側の相関の結果に関しては被験者 4 が相関係数 0.4 以上の正の相関がみられ、被験者 1 が 0.2 以上の弱い正の相関になった。被験者 1, 2, 3 については制御室側の結果に比べると機関室側の相関は低い結果になった。V, A, C, P 各認知資源の相関からは、被験者 1 が C/E の役割の時に Psychomotor, 被験者 2 では 1/E の役割の時に Visual, 被験者 4 が 3/E の役割の時に Cognitive との相関が高い結果になった。

評価実験 2 組目被験者 5～被験者 8 の相関の結果として、制御室側で正の相関がみられ、機関室側の VACP SUM との相関は制御室側の相関と比べると比較的低い結果になった。また認知資源毎の相関の結果では、制御室側タスクを行った全被験者の Cognitive 認知資源との相関があり、他の認知資源についても HR との相関がある項目が 4 項目（被験者 5 の Auditory 認知資源, 被験者 6 の Psychomotor 認知資源, 被験者 7 の Visual 認知資源, Psychomotor 認知資源）確認できた。それに対して、機関室側タスクの結果では被験者 5 の Visual 認知資源と HR との相関があるが、他の認知資源との相関は低い結果になった。

表 6.6 と表 6.7 に示す評価実験 3 組目と評価実験 4 組目においても、評価実験 1 組目被験者 1, 2, 3 の結果や評価実験 2 組目と同様に VACP SUM と HR の相関は制御室側で正の相関がみられ、機関室側の相関は制御室側の相関と比べると比較的低い結果になった。評価実験 3 組目の認知資源毎の結果については、制御室側タスク実施時に HR との相関がある項目が Cognitive 認知資源に加え 3 項目（被験者 9 の Auditory 認知資源, 被験者 11 の Visual 認知資源, 被験者 12 の Psychomotor 認知資源）確認できた。機関室側タスクでは Visual 認知資源と Psychomotor 認知資源で正の相関が確認できた。評価実験 4 組目の認知資源毎の結果については、制御室側で Auditory, Visual, Cognitive 認知資源との正の相関

がみられ、機関室側においても Visual 認知資源に加え Cognitive 認知資源との正の相関が確認できた。

4 組の評価実験のうち、表 6.4 に示す VACP 評価によるワークロード量と心拍変動との相関係数が低い値であった評価実験 1 組目の時系列変化を表した図 6.2～図 6.9 の結果において、前述の様な各役割による特徴が確認できた。評価実験 1 組目の心拍変動との相関係数に比べ、相関係数の比較的高い評価実験 2 組目～4 組目の心拍変動とワークロード量の時系列変化についても評価実験 1 組目の特徴と同様に、全体の指示を行い代表的タスクの多い C/E や代表的タスクの実施がシナリオ前半と後半に分かれている 1/E の結果の心拍変動と VACP 評価によるワークロード量の相関が高い特徴が確認できた。機関室側の評価実験 2 組目～4 組目の時系列変化の結果を比較したところ制御室側タスクのような特徴は確認できず、VACP SUM との相関の結果についても各組 1 名もしくは 2 名の正の相関が確認されたが、制御室側の相関に比べると相関の低い結果になった。認知資源毎の相関から、制御室側タスクでは Cognitive 認知資源の相関が半数の 8 名の被験者で確認でき、その他 Visual 認知資源は 5 名、Auditory 認知資源は 3 名、Psychomotor 認知資源は 4 名との相関が確認できた。機関室側タスクでは Visual 認知資源の相関が 5 名の被験者で確認でき、Cognitive 認知資源は 4 名、Psychomotor 認知資源は 1 名について相関を確認できたが、Auditory 認知資源については正の相関のある被験者は確認できなかった。これらの結果から VACP 評価を用いることで認知行動によるワークロード量の時々刻々の変動が推定でき、認知資源と心拍変動の相関について知見が得られた。

6.4.3 VACP ワークロード評価と主観的評価の比較

客観的 VACP 評価の有効性を確認するため、NASA-TLX 主観的評価と比較する。評価実験 1 組目～4 組目にて得られた被験者 16 名（被験者 1～16）の実験毎の NASA-TLX 主観的評価によるワークロード推定値と客観的 VACP 評価によるワークロード推定値を表 6.8～表 6.11 に示す。表 6.4～表 6.7 と同様に制御室側（Control Room）タスクと機関室側（Engine Room）タスクを比較する。全ての被験者の結果において、制御室側タスクを実施した際の VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値が機関室側タスク実施時と比較して高い結果になり、NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値についても同様の結果になった。

Table 6.8 Result of VACP and NASA-TLX (Experiment 1)

Participant	Role	Control Room		Role	Engine Room	
		NASA-TLX	VACP		NASA-TLX	VACP
1	C/E	14.87	549	2/E	13.20	476
2	1/E	7.33	429	3/E	5.47	388
3	C/E	16.20	531	2/E	9.80	469
4	1/E	14.60	420	3/E	11.13	386

Table 6.9 Result of VACP and NASA-TLX (Experiment 2)

Participant	Role	Control Room		Role	Engine Room	
		NASA-TLX	VACP		NASA-TLX	VACP
5	C/E	15.47	759	2/E	10.53	720
6	1/E	10.80	727	3/E	9.40	715
7	C/E	13.40	811	2/E	10.53	673
8	1/E	15.00	779	3/E	4.33	544

Table 6.10 Result of VACP and NASA-TLX (Experiment 3)

Participant	Role	Control Room		Role	Engine Room	
		NASA-TLX	VACP		NASA-TLX	VACP
9	C/E	13.00	608	2/E	8.20	467
10	1/E	12.53	547	3/E	11.40	432
11	C/E	11.20	607	2/E	8.20	523
12	1/E	12.07	530	3/E	7.47	489

Table 6.11 Result of VACP and NASA-TLX (Experiment 4)

Participant	Role	Control Room		Role	Engine Room	
		NASA-TLX	VACP		NASA-TLX	VACP
13	C/E	12.67	598	2/E	11.40	473
14	1/E	8.27	554	3/E	6.13	474
15	C/E	16.13	576	2/E	4.67	524
16	1/E	15.40	519	3/E	12.47	504

制御室側タスクを行った C/E の役割では Alarm の確認や対応から全体の作業指示を行う役割を担い、判断行動を連続して行うために精神的な要求の増加による主観的評価のワークロード推定値が高くなったと考えられる。同様に VACP 評価による客観的評価においてもタスクへの判断行動が Cognitive 認知資源の増加がワークロード推定値に反映されたと考察する。1/E の役割では C/E の役割ほどオーダーを行うなどのタスクは少ないが、代表的タスク⑤M/E Reset Operation や⑩M/E Restart Operation 実施の際に操舵室とのコミュニケーションを行う機会がみられることで、VACP 評価による知覚的負担や聴覚的負担が影響し、ワークロード推定値は比較的高い値になったと考える。主観的評価のワークロード推定値の結果についても C/E と同様に判断行動による精神的な要求の増加が確認され、主機関再始動の操作実施による時間的要求の増加が主観的評価のワークロード推定値に影響を及ぼしたと考えられる。

機関室側タスクを行った 2/E と 3/E の役割では Visual Trucking を行う機器の状態把握や復旧操作等の代表的タスク実施があり、VACP 評価による Visual 認知資源の視覚的な負担や Psychomotor 認知資源の Walk, Check Condition の負担が VACP 評価によるワークロード推定値に影響したと考える。しかし、オーダーを受けてからの作業となる機関室側タスクでは Cognitive 認知資源による知覚的負担や、制御室と機関室の環境の違いによ

る Auditory 認知資源の聴覚的負担の影響から、制御室側タスクに比べるとワークロード推定値が低い結果になった。主観的評価によるワークロード推定値についても身体的要求が制御室側の結果より高くなる被験者が確認されるが、判断行動による精神的な要求やシナリオの全体を指揮し時間的要求が高くなる制御室側タスクと比較するとワークロード推定値は低い値になった。

6.5 考察

VACP 評価指標によるワークロード量と心拍変動データの時系列変化を比較し、制御室側タスクを行った C/E や 1/E に関してはワークロード量の増減と心拍変動がタスクの実行タイミングに合わせて変化していることを確認した。機関室側タスクを行った 2/E や 3/E に関してはタスク実行のタイミングによるワークロード量の増加は確認されるが心拍変動との相関はあまりみられないことが分かった。評価実験 1 組目～4 組目のワークロード量と心拍変動の相関からは制御室側の役割を行った被験者の相関が機関室側の役割を行った相関に比べ比較的高いことが確認された。本実験は機関室シミュレーター環境にて実施しており、実験時間中の心拍変動に与える身体的負担の影響は低いと考える。被験者の心理的負担を伴う判断行動は心拍変動へ影響を及ぼし、ワークロード量もこれに追従すると考え、各認知資源と心拍変動の相関を確認した。制御室側タスクにおいて Cognitive 認知資源と心拍変動の相関が全体の半数の被験者で確認され、シナリオ中の指揮や指示を連続して行う判断行動がワークロード量と心拍変動に影響していると考えられる。機関室側タスクでは Visual 認知資源と心拍変動との相関が全被験者のうち 5 名確認できたことから、補機器の状態把握のための Visual Trucking がワークロード量と心拍変動に影響を及ぼしたと考えられる。これら実験時間中の心拍変動と認知資源毎の評価結果における正の相関は、作成した VACP 評価指標の妥当性を示している。

評価実験シナリオ全体のワークロードについて、VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を比較した。両評価手法による結果は、全ての被験者のワークロード推定値において、機関室側タスクより制御室側タスクの方が高くなり、一致した。制御室側タスクでは Alarm の確認や判断を行い全体の作業指示を行う役割を担い、判断行動を連続して行うために精神的な要求の増加や主機関再始動の操作実施に伴う時間的要求の増加により NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値が高くなったと考えられ、VACP 評価に基づく客観的評価においてもタスクへの判断行動が Cognitive 認知資源の増加になり知覚的負担や聴覚的負担がワークロード推定値に影響したと考える。機関室側タスクでは制御室側からの指示に従い対応を行うことから精神的な要求が高くなる制御室側タスクと比較すると NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値は低い値になった。VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値においても、機関室側タスクは、主にオーダーを受けて作業することが多いことから、Cognitive 認知資源による知覚的負担や、前述の制御室と機関室の環境の違いによる Auditory 認知資源の聴覚的負担の影響により、制御室側タスクに比べるとワークロード推定値が低い結果になった。これらのことから制御室側と機関室側での役割とタスク実施内容の違いを VACP 評価による客観的なワークロード評価手法により有効に評価できることを確認した。

6.6 結言

本章では、機関運用管理に適応する VACP 評価指標を作成し客観的にワークロードを推定する方法について検討した。第 5 章において作成した実船の機関運用管理を想定した Black Out 対応シナリオを評価実験シナリオとして様々なタスク実施時の映像と音声記録を用いて VACP 評価によるワークロードの推定を試みた。

被験者の VACP 評価による各認知資源およびワークロード量の時系列変化と心拍変動データとの相関分析を行った結果から、被験者のワークロードの時間追従における整合を確認し、作成した VACP 評価指標の妥当性を確認した。

評価実験シナリオ全体のワークロードを VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を比較し、制御室側のワークロード推定値と機関室側のワークロード推定値の差を確認した。VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値による結果が合致していることから、VACP 評価による客観的ワークロード評価手法の有効性を確認した。

機関運用管理現場のワークロードの評価手法として VACP 評価による客観的なワークロード評価手法の有効性を確認できたことから、主観的ワークロード評価において指摘される回答者の個人的感覚の結果へ影響することや、生体指標を用いたワークロード評価手法に用いられる計測機器の装着を課すことなく、遠隔によるワークロード把握の実現に向けて方向性を示すことができたと考える。

第7章 非技術的能力評価手法

7.1 本章の目的

本章では第5章で作成したBlack Out対応シナリオに基づく評価実験を行い、評価実験の映像及び音声データを3章で述べた方法で記録し、その映像及び音声記録を基に評価者がERM訓練評価に必要な非技術的能力の定量的評価手法を検討した。評価を行う為の評価指標にはIMO Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 Editionに記載のSample evaluation form: Behavior markers for non-technical skillを参考に作成した2種類の評価尺度による評価指標を用いて、乗船経験の違う評価者14名により評価を実施し、評価尺度による評価結果の比較を行った。更に、適切な評価項目を検証する為に、Sample evaluation formに記載の4項目の評価ポイントを参考に作成した評価指標を「大別した評価項目」とし、4つの評価項目それぞれに対してより詳細な評価項目を設定した「細分化した評価項目」評価指標を策定した。この、「大別した評価項目」と「細分化した評価項目」評価指標を用いて、前述と同じ評価実験の映像及び音声記録を基に17名の評価者による評価を行い、評価指標の妥当性と評価の客観性について考察を行った。

7.2 評価指標の検討

評価指標の評価項目は、IMO Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 EditionのSample evaluation form: Behavior markers for non-technical skillに記載されている① Understanding of roles and responsibilities in operating plant machinery, ② Instruction, report, answerback and other communication patterns, ③ Leadership and assertiveness, ④ Situational awareness and notification of any doubtの4項目による非技術的能力を用いた。これらの評価項目は2010年に改正されたSTCW条約の中で、コードA, Table A-III/1の能力基準表に記載のERM要件として示されている、5項目の人的要素（資源管理における①リーダーシップ、②チームワーク、③明確な意思表示、④状況認識力、⑤チーム構成員の経験）を基に設定されていると考えられる。更にERM原則の知識と記載されているA-VIII/2 Part3当直維持の一般原則（Watchkeeping principles in general）の9項目の内容がを包括的に含み、船舶機関の運転管理に関わる機関士の非技術的能力（Non-technical Skill）として、その評価が必要になっている。本章ではこの非技術的能力をBlack Out対応シナリオとして作成した評価実験の映像及び音声記録を複数人の評価者により定量的に評価する。

評価を実施する為の評価尺度は評価項目と同様にSample evaluation formに記載されているA, B, C, Dの4段階評価と、10%刻みの90-10%の9段階評価の2種類の評価指標を作成し、表7.1に示す。A, B, C, Dの4段階評価尺度については、A – Very good, B – Good, C – Fair and D – Poorという説明がSample evaluation formに記載されている。10%刻みの90-10%の9段階評価に関しては、4段階評価との評価尺度による評価結果の違い比較し、評価者によるより詳細な評価を行う事で、役割による評価結果の違いを検証する為である。

Table 7.1 Non-Technical Skill evaluation form

Evaluation Criteria	Participant	Mark	Mark (%)
1. Understanding of roles and responsibilities in operating plant machinery as a part of an engineering watch	T1	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T2	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T3	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T4	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
2. Instruction, report, answerback and other communication patterns	T1	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T2	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T3	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T4	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
3. Leadership and assertiveness	T1	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T2	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T3	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T4	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
4. Situational awareness and notification of any doubt	T1	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T2	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T3	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10
	T4	A B C D	90 80 70 60 50 40 30 20 10

Signature of evaluator

Note: A – Very good, B – Good, C – Fair and D - Poor

7.3 ERM 訓練評価実験内容

ERM訓練の定量的評価を目的とした評価実験は第5章で作成した、Black Out対応シナリオのロールプレーにおいて制御室側C/E,1/E配置,機関室側2/E,3/E配置とし,それぞれが役割に応じてコミュニケーションや対応行動によりタスクを実行していく.制御室と機関室間のコミュニケーションは実船の機関運用管理現場を再現する為にトランシーバーを用いて行った.

ロールプレーは乗船経験を有する海事科学研究科学生4名の協力を得て,Participant1-4として制御室側と機関室側に2名ずつ配置して行った.このロールプレーをParticipantの配置を入れ替えて2回実施した.そして,評価者に与える情報を均質化する為に採取した映像・音声データを用いて,ERM訓練評価実験を行った.実験前には神戸大学の人に関わる研究に関する倫理規定に従ったインフォームドコンセントを行い,実験協力に関する同意書を作成した.(付録1 実験協力に関する同意書参照)

評価実験は学生を含めた学内関係者14名が評価者となり,作成した評価シートに従い行動評価を行った.評価者14名の内5名は1年以上の乗船経験を有する者,残り9名は乗船経験1年未満の者に協力を得た.

7.4 実験結果

ERM 訓練評価実験にて得られた評価結果を表 7.2 から表 7.9 において示す. 縦の欄に各評価項目と横の欄に評価者の乗船経験を示し,ロールプレー1回目と2回目の各役割として評価結果を示した.評価結果の配色については,評価点が高いものを暖色系,評価点の低いものを寒色系で示した.配色を行う事で各役割の評価点の違いや,%評価とA, B, C, D評価の差を視覚的に判別が可能となるように分け,評価結果の検証を行った.

Table 7.2 ロールプレー1回目 C/E

評価項目	評価者（乗船経験）													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A
2	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A
4	A	B	B	A	B	A	B	A	A	A	A	A	B	B
1	90	70	80	90	80	90	80	80	90	90	90	90	90	80
2	90	70	80	80	80	90	80	90	90	90	90	90	90	80
3	90	80	80	90	80	90	80	90	90	90	90	90	70	70
4	90	80	80	80	70	80	70	90	90	90	90	90	70	60

Table 7.3 ロールプレー1回目 1/E

評価項目	評価者（乗船経験）													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	C	B	C	D	A	B	A	A	B	A	B	B	A	B
2	B	B	B	C	A	B	B	A	A	A	A	A	A	B
3	A	B	C	C	C	C	B	B	B	A	A	C	B	B
4	B	B	B	D	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B
1	70	60	60	40	80	80	80	80	80	90	80	60	90	60
2	80	60	60	30	70	60	80	90	90	90	90	80	90	60
3	80	60	60	30	50	60	60	80	60	90	90	40	70	50
4	80	70	60	50	70	70	70	80	70	90	80	70	70	60

Table 7.4 ロールプレー1回目 2/E

評価項目	評価者（乗船経験）													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	A	B
2	B	B	B	B	A	B	B	B	A	B	A	A	D	B
3	A	B	C	B	B	B	C	B	B	A	B	C	B	B
4	B	B	B	C	B	B	C	C	A	A	A	B	B	B
1	70	60	50	70	70	80	60	70	80	80	80	60	90	60
2	80	70	60	70	80	70	80	80	90	80	90	90	40	60
3	80	70	50	70	60	70	50	70	80	80	80	40	70	50
4	80	70	60	40	70	70	40	70	90	90	70	70	70	60

Table 7.5 ロールプレー1回目 3/E

評価項目	評価者（乗船経験）													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	A	B	B	C	B	B	B	C	B	A	B	B	A	B
2	B	A	B	D	A	B	B	C	A	A	A	A	C	B
3	A	B	C	B	C	B	C	C	B	A	B	C	B	B
4	B	C	B	C	B	B	C	C	B	B	A	B	B	C
1	70	60	50	50	60	80	60	60	70	80	80	60	90	60
2	80	70	60	30	80	70	80	70	90	70	90	90	60	60
3	80	60	50	50	50	70	50	70	60	80	80	40	70	50
4	80	60	60	40	70	70	40	60	80	80	70	70	70	40

Table 7.6 ロールプレー2回目 C/E

評価項目	評価者 (乗船経験)													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	B	A	B	A	C	B	B	C	B	A	A	A	A	B
2	A	B	B	A	A	B	B	B	A	A	A	A	A	B
3	A	B	A	A	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B
4	B	B	B	A	C	B	B	C	A	A	A	B	A	B
1	70	70	80	80	40	80	60	60	60	90	90	80	90	70
2	80	70	80	90	70	80	70	80	90	90	90	80	90	70
3	80	70	80	90	60	80	60	70	80	90	90	90	80	60
4	80	80	80	90	60	80	60	60	70	80	90	80	80	60

Table 7.7 ロールプレー2回目 1/E

評価項目	評価者 (乗船経験)													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	B	B	C	B	C	B	A	C	B	A	A	A	A	B
2	A	B	B	C	A	B	B	C	A	A	A	A	A	B
3	B	B	C	A	C	B	C	C	B	A	A	B	A	B
4	B	C	B	A	C	B	B	C	B	A	A	B	A	B
1	70	60	60	70	50	80	70	50	60	90	80	80	90	70
2	80	70	60	70	70	80	60	80	90	90	90	90	90	60
3	80	60	60	70	50	80	50	50	60	90	80	70	80	70
4	80	70	60	80	60	80	60	60	60	90	90	80	80	60

Table 7.8 ロールプレー2回目 2/E

評価項目	評価者 (乗船経験)													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	A	B	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B
2	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	B	C	A	B	B	C	A	A	A	A	A	B	B
4	A	C	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B
1	80	60	60	90	80	80	80	80	90	90	90	90	90	70
2	90	70	70	90	80	90	80	90	90	90	90	90	90	80
3	90	70	50	90	80	90	60	90	90	90	90	80	90	80
4	90	70	60	80	70	80	80	90	90	90	90	90	80	60

Table 7.9 ロールプレー2回目 3/E

評価項目	評価者 (乗船経験)													
	15年	5年	3年	1年		3ヶ月					1ヶ月		0ヶ月	
1	A	B	B	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B
2	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
3	A	B	C	C	B	B	C	B	B	A	A	B	B	B
4	A	C	B	B	B	B	A	B	B	A	A	B	A	B
1	80	60	50	70	80	80	80	70	70	90	90	80	90	70
2	90	60	60	80	80	90	80	80	90	90	90	80	80	70
3	90	60	50	70	70	90	60	70	70	90	80	70	90	70
4	90	70	60	80	70	80	70	70	70	90	90	80	90	60

A, B, C, D による4段階評価の結果は加重平均により数値化を行い、90-10%評価結果との比較を試みた。評価項目毎の評価値の平均値を算出し、14名の評価者による2回のロールプレーに対する評価結果を図7.1から図7.4に示す。

図7.1と図7.2のシナリオ1の結果より、評価者全員の評価が比較的高いC/Eの結果と、評価者による評価のばらつきが見られる1/Eの結果のいずれも、90-10%評価とABCD評価の評価指標において大きな違いは生じなかった。評価者4の評価結果に着目すると、1/Eと3/Eの評価が他の評価者に比べ低い評価となっているが、90-10%評価及びABCD評価どち

らの評価指標においても同程度の評価が行われている事が分かる。評価者 8 の 3/E の評価結果に着目すると、ABCD 評価では全ての評価項目を C 評価の Fair と評価しているが、90-10%評価による評価では 70-60%の評価結果となっている。

図 7.3 と図 7.4 のロールプレー2 における評価者 6 や評価者 8 についても同様に、ABCD 評価では B や C 評価であっても 90-10%評価では 80%から 50%までのばらつきがあり、評価者による評価基準の違いが見られた。評価指標の評点間隔による違いは、他の評価者においても多少のバラつきが確認されるが、評価点としては 10 点以内に収まっており、評価尺度の違いによる評価の傾向には影響は少なかったと考える。

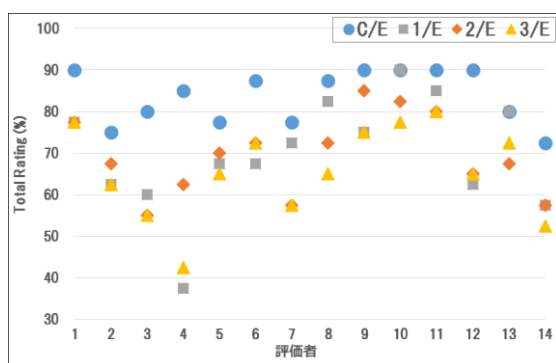


Fig. 7.1 ロールプレー1 90-10%評価

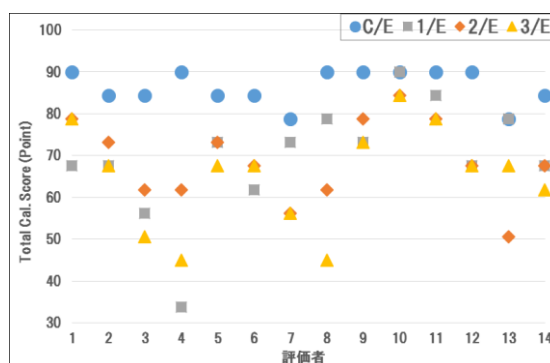


Fig. 7.2 ロールプレー1 A,B,C,D 評価

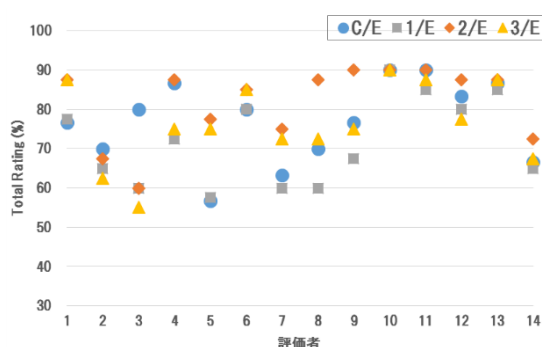


Fig. 7.3 ロールプレー2 90-10%評価

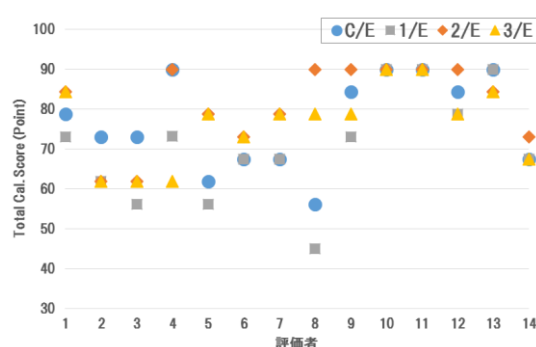


Fig. 7.4 ロールプレー1 A,B,C,D 評価

ERM 訓練評価実験における各役割の評価について、表 7.10 には Participant 毎の評価値の平均値を示す。

Participant1, Participant 3 について、ロールプレーにおける C/E の役割を行った評価値が、2/E の役割に比べ高く評価されている事が分かる。Participant2, Participant 4 については役割による評価値に大きな差は見られなかった。今回作成したシナリオにおいては、C/E, 2/E に比べ 1/E, 3/E の役割の違いによる評価値の差は明確では無かったと考えられる。この結果より、評価項目の 1 つであるリーダーシップの評価に関しては、C/E の役割を担った評価者の評価がほかの役割に比べ評価点が高く評価されたからであると考えられる。作成したシナリオではブラックアウト対応を行う為に C/E がリーダーシップを取り、各役

割に指示を出し、主機の Restart までの状況認識と判断を行う役割を担う状況を意図的に作り出し、本章で提案した非技術的能力の定量的評価によりその意図した評価結果を適切に評価できたのではないと考える。本シナリオでの 1/E と 3/E の役割の違いとしては、1/E が C/E の指示のもと船橋とコミュニケーションを取り、主機 Reset 操作と主機 Restart 作業を行う事が主なタスクであり、3/E は機関室配置でのボイラー復旧作業が主なタスクになっている。前述の C/E と 2/E の役割に比べると、本シナリオでの 1/E と 3/E のタスクに意図的な非技術的能力の評価ポイントの差が少なかった為、シナリオに基づかない Participant の非技術的能力の評価結果が定量的評価により確認できたと考えられる。

2 種類の評価尺度による、評価結果の平均値は大きな違いは無く、どちらの評価指標においても同様の結果が得られた。

Table 7.10 評価結果の平均値

Participant	C/E		2/E		Participant	1/E		3/E	
	ABCD	%	ABCD	%		ABCD	%	ABCD	%
1	86.38	83.75	81.16	81.79	2	69.51	69.82	76.34	76.43
Participant	C/E		2/E		Participant	1/E		3/E	
	ABCD	%	ABCD	%		ABCD	%	ABCD	%
3	76.74	76.43	69.51	69.46	4	70.71	71.79	65.89	65.71

14 名の評価者の内乗船経験 1 年以上の評価者と 1 年未満の評価者の 90-10% 評価による平均値を比較した結果を図 7.5 と図 7.6 に示す。

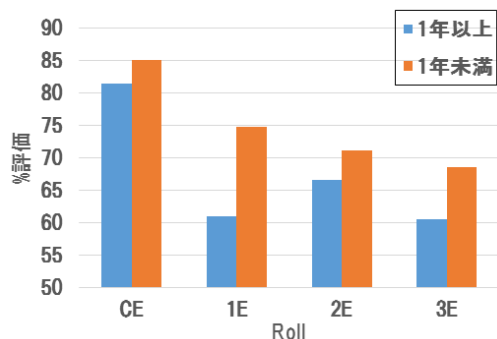


Fig. 7.5 評価者の乗船経験による差 (ロールプレー1)

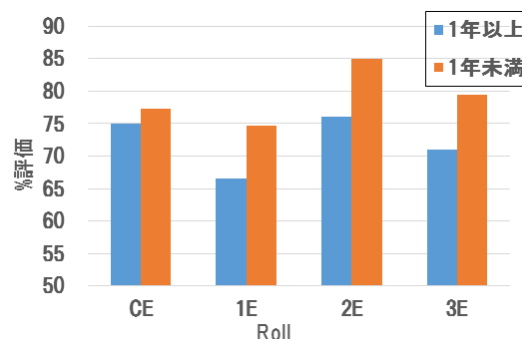


Fig 7.6 評価者の乗船経験による差 (ロールプレー2)

ロールプレー1回目とロールプレー2回目どちらの結果においても評価者の乗船経験 1 年未満の評価者の方が乗船経験 1 年以上の評価者より平均値が高い (p 値 ≤ 0.05 , t 検定) 結果になった。乗船経験による各役割の評価結果の平均値から違いが見られたが、表 7.2 から表 7.9 の各評価者の評価結果を細かく確認すると、乗船経験が 1 年未満の評価者は 4 段階評価ではどの役割にも A か B 評価の結果となっていることが多いことが分かる。ロールプレー1回目の C 以下の評価結果となっている評価者は 9 名中 5 名だが、ロールプレー2回目の評価では 9 名中 2 名となっており、% 評価指標の結果についても、50% 以下の評価結果を付ける評価者はロールプレー1回目では 9 名中 4 名でロールプレー2回目では 9 名中 2 名であり、大多数が 60% 以上の評価とするものが多く、90% の評価点を付ける評価者も多いという結果となった。それに比べ乗船経験が 1 年以上の評価者については、4 段階評価で

C以下の評価をする評価者がロールプレー1回目では5名中4名でロールプレー2回目でも5名中4名であった。%評価指標の結果については、50%以下の評価結果を付ける評価者はロールプレー1回目では5名中3名でロールプレー2回目では5名中1名であったが、乗船経験1年未満の評価者に比べると90%を付ける評価者が少ない結果となった。ただ、乗船経験1年以上の評価者の中で、乗船経験が一番長い評価者の評価結果を確認すると、4段階評価でC評価を行っているのはロールプレー1回目1/Eの一項目のみであり、他の評価はB評価以上でありAと評価している場合も他の乗船経験1年以上の評価者より多い。更に%評価においても70%以上の評価が多く、90%評価を行っている場合も他の乗船経験1年以上の評価者より多い結果となった。

乗船経験1年未満と1年以上の評価者の違いについて、1年未満の評価者では今回のERM訓練評価実験のシナリオである緊急事態（ブラックアウト）対応の経験が無く、評価者として役割の対応行動への理解度が低く、非技術的能力の評価項目である、コミュニケーションの内容や状況認識の評価の良否が難しく、その結果シナリオ通りにロールプレーが進んでいるという状況のみを高く評価したのではないかと考察出来る。それに比べ、乗船経験が1年以上ある者は緊急事態（ブラックアウト）対応の経験が有るか、経験が無いにしても知識として理解している可能性が高く、シナリオ中の各役割の行動を評価者自身の経験や知識を基に評価している分、コミュニケーションの正確、状況認識の良否、リーダーシップ等の非技術的能力を評価できたのではないかと考えられる。

7.5 大別した評価項目と細分化した評価項目の比較

7.5.1 細分化した評価項目の策定

前節までに行ったERM評価実験の実施と評価結果は7.2節で述べた通り、IMO Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 EditionのSample Evaluation formに記載の4項目による評価指標に基づく非技術的能力の評価を行った。この4項目の評価指標を「大別した評価項目」とし、その評価結果から定量的評価の一定の有効性と客観性を確認できたが、より適切な評価項目を検証する為に、4つの評価項目それぞれに対して詳細な評価項目を設定した「細分化した評価項目」評価指標を策定した。

「細分化した評価項目」評価指標の策定の為に航空業界で使用されている、行動指標を参考に機関運用管理現場に適応する行動指標を検討した。参考とした「行動指標を用いたCRMスキル計測手法の開発」⁽³¹⁾ではCRMスキルを①コミュニケーション、②意思決定、③チーム形成・維持、④ワークロードマネジメント、⑤状況認識マネジメントの5つのクラスタに分かれ、各クラスタが3~4のスキル要素が構成され、更に各スキル要素が行動指標を持っているという分類方法である。例えば、コミュニケーションのクラスタは情報伝達と確認、ブリーフィング、安全への主張の3要素に分かれ、情報伝達と確認には8項目の行動指標があり、情報は省略せずに正確に伝えること、情報は大きな声で・はっきりと・適切な速さで伝えること、情報はタイミングよくつたえること等々が設定されている。これらの各大別されたスキル要素についての行動指標を参考に、本実験で大別した評価項目を基に細分化した評価項目（行動指標）を策定し、表7.11に示す。

前節と同じ評価尺度による非技術能力の評価を試みた。前節までの評価実験の評価者に3名追加し17名による評価者の結果を検証した。

Table 7.11 策定した Non-technical Skill 評価項目

大別した評価項目	細分化した評価項目
1. Understanding of roles and responsibilities in operating plant machinery as a part of an engineering watch 各配置での役割と責任の理解	1.1 各機器操作のスムーズさ
	1.2 各機器操作の正確さ
	1.3 各機器操作移行(指示への動き)のスムーズさ
2. Instruction, report, answerback and other communication patterns 指示, 報告, 応答, その他のコミュニケーション	2.1 発言のタイミング
	2.2 声の大きさ
	2.3 発言の具体性
3. Leadership and assertiveness リーダーシップと自己主張	3.1 自主的な報告, 連絡, 相談
	3.2 チームメンバーへの状況確認
	3.3 チームメンバーへの助言
4. Situational awareness and notification of any doubt 状況認識と疑義の報告	4.1 計器やモニターでのプラント状態確認
	4.2 作業進行状況の理解及び把握
	4.3 疑義の認識, 報告

7.5.2 %評価における比較結果と考察

表 7.11 に示されている「細分化した評価項目」と「大別した評価項目」の全評価者による評点平均値を大別した評価項目別に、%評価について比較する。細分化した評価項目に関しては、評価項目 1-1, 1-2, 1-3 の評点平均値の平均値を用いて比較し、評価項目 2-1~2-3, 3-1~3-3, 4-1~4-3 についても同様に行った。比較結果を図 7.7 から図 7.10 に示す。

図 7.8 より、コミュニケーションに関する評価項目 2 では、細分化した評価項目の評定平均値と大別した評価項目の評点平均値に大きな差は見られない。これは大別した評価項目の表現においても、評価項目を理解しやすかったためであると考えられる。また、この結果から、大別した評価項目と細分化した評価項目との関連性を確認することができた。

次に、図 7.7 と図 7.9 より、各配置での役割と責任の理解に関する評価項目 1 と状況認識に関する評価項目 4 では、大別した評価項目の評点平均値に比べて、細分化した評価項目の評点平均値が高くなる傾向が見られる。これは評価項目を細分化することで評価項目の具体化が進み、評価者が評価項目を理解しやすくなったためであると考えられる。

また、図 7.8 より、リーダーシップに関する評価項目 3 では、大別した評価項目において、C/E の評点平均値が他の役割の被評価者に比べて、高くなっていることが読み取れる。これは評価者が大別した評価項目のリーダーシップという表現に関して、C/E の役割や言動にリーダーシップの要素が多く含まれているため、他の役割に比べて評価が容易であったためであると考えられる。一方で、細分化した評価項目では、被評価者の役割による評点平均値の差は小さくなっている。今回作成した細分化した評価項目では、フォロワーシップに関する評価項目を追加したため、評価者が被評価者の役割によらずに、客観的に評価が行えるようになったためであると考えられる。

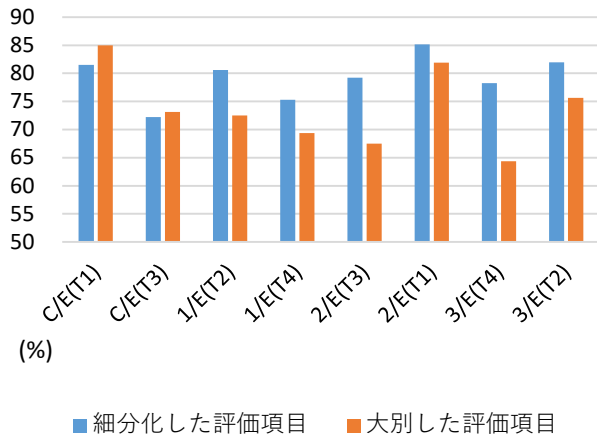


Fig.7.7 評価項目 1 の比較(%評価)

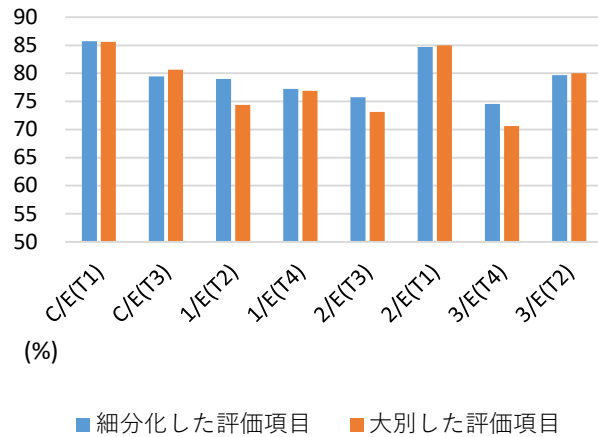


Fig. 7.8 評価項目 2 の比較(%評価)

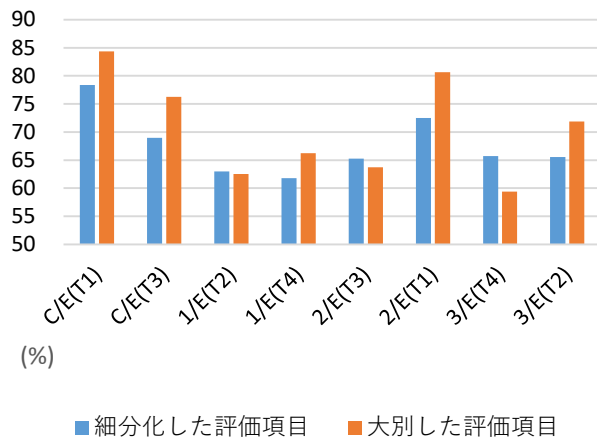


Fig. 7.8 評価項目 3 の比較(%評価)

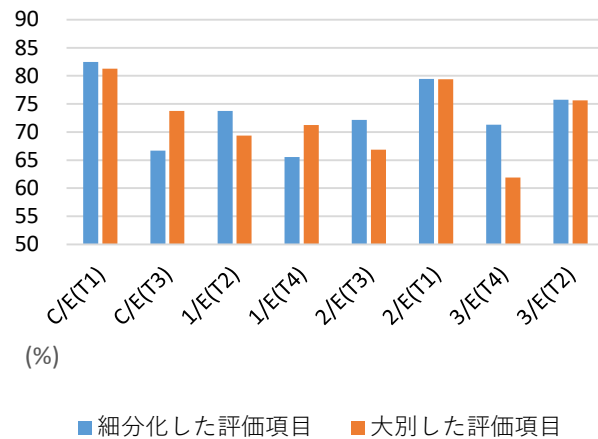


Fig.7.9 評価項目 4 の比較(%評価)

7.5.3 A-D 評価における比較結果と考察

7.5.2 と同様に、A-D 評価について、「細分化した評価項目」と「大別した評価項目」の全評価者による評点平均値を大別した評価項目別に比較する。細分化した評価項目に関しては、評価項目 1-1, 1-2, 1-3 の評点平均値の平均値を用いて比較し、評価項目 2-1~2-3, 3-1~3-3, 4-1~4-3 についても同様に行った。また、評点平均値を取るにあたっては、加重平均により数値化して計算を行った。比較結果を図 7.10 から図 7.13 に示す。

図 7.11 より、コミュニケーションに関する評価項目 2 では、%評価での結果と同様に、細分化した評価項目の評点平均値と大別した評価項目の評点平均値との差は、他の評価項目に比べて小さいことがわかる。これは評価者が大別した評価項目の表現においても、評価項目の理解が出来ていた為であり、評価しやすい項目であると考えられる。

次に、図 7.10 と図 7.13 より、各配置での役割と責任の理解に関する評価項目 1 と状況認識に関する評価項目 4 では、大別した評価項目の評点平均値に比べて、細分化した評価項目の評点平均値が高くなっている。評価項目を細分化することで評価項目の具体化が進み、

評価者が評価項目を理解し、行動指標による評価が行われたためであると考えられる。

また、図 7.12 より、リーダーシップに関する評価項目 3 では、大別した評価項目において、C/E の評点平均値が他の役割に比べて、高くなっている。%評価での結果と同様の理由が考えられ、C/E の役割や言動にリーダーシップの要素が多く含まれているため、他の役割に比べて評価が容易であったためであると考えられる。細分化した評価項目では、被評価者の役割による評点平均値の差は小さくなっており、%評価での結果に比べると、細分化した評価項目の評点平均値が高い結果となった。

7.5.2 と 7.5.3 の比較結果より、細分化した評価項目と大別した評価項目の評価項目ごとの比較結果の特徴は、%評価と A-D 評価の両者において、類似していることがわかる。

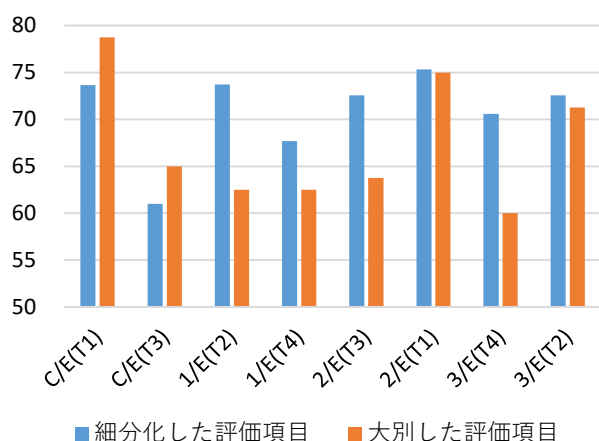


Fig.7.10 評価項目 1 の比較(A-D 評価)

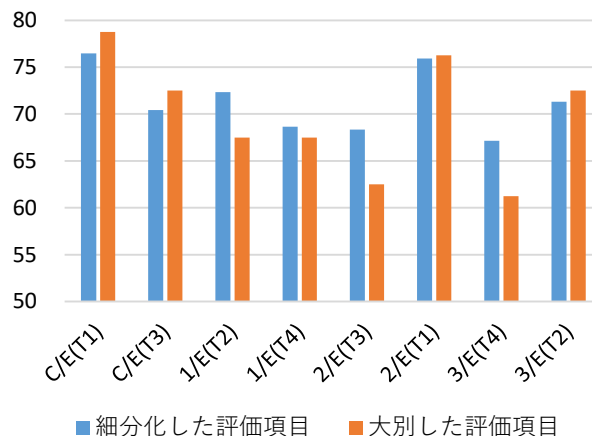


Fig.7.11 評価項目 2 の比較(A-D 評価)

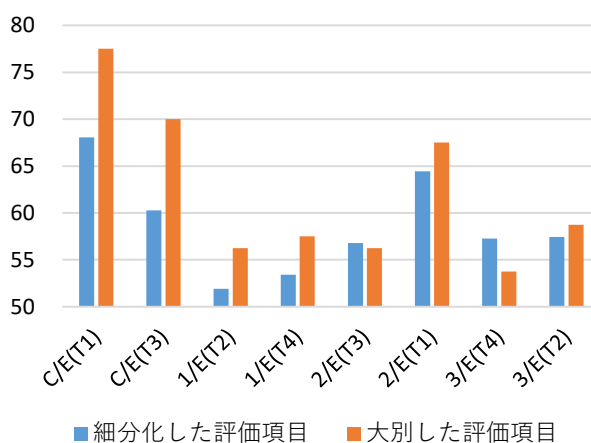


Fig.7.12 評価項目 3 の比較(A-D 評価)

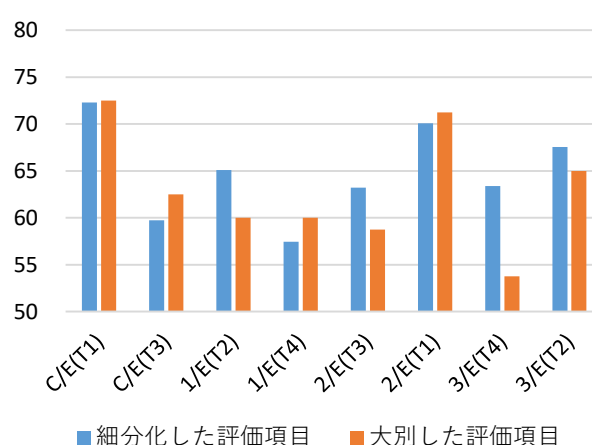


Fig.7.13 評価項目 4 の比較(A-D 評価)

7.5.4 評点平均値及び標準偏差平均値

細分化した各評価項目について、評価者 17 名分及び評価実験における 2 回分ロールプレーの結果を集計し、評点平均値及び標準偏差平均値を算出した。それぞれ表 7.12 と表

7.13 に示す. また, 各評価項目の評点平均値と標準偏差平均値をプロットしたものを図 7.14 に示す.

Table 7.12 評点平均値(評価項目別)

細分化した評価項目	評点平均値
1.1 各機器操作のスムーズさ	79.25
1.2 各機器操作の正確さ	80.14
1.3 各機器操作移行(指示への動き)のスムーズさ	78.42
2.1 発言のタイミング	79.17
2.2 声の大きさ	80.51
2.3 発言の具体性	78.78
3.1 自主的な報告、連絡、相談	69.36
3.2 チームメンバーへの状況確認	70.71
3.3 チームメンバーへの助言	62.85
4.1 計器やモニターでのプラント状態確認	77.86
4.2 作業進行状況の理解及び把握	77.72
4.3 疑義の認識、報告	64.56

Table 7.13 標準偏差平均値(評価項目別)

細分化した評価項目	標準偏差平均値
1.1 各機器操作のスムーズさ	11.65
1.2 各機器操作の正確さ	11.99
1.3 各機器操作移行(指示への動き)のスムーズさ	13.22
2.1 発言のタイミング	12.30
2.2 声の大きさ	10.69
2.3 発言の具体性	11.81
3.1 自主的な報告、連絡、相談	16.36
3.2 チームメンバーへの状況確認	17.78
3.3 チームメンバーへの助言	19.90
4.1 計器やモニターでのプラント状態確認	10.77
4.2 作業進行状況の理解及び把握	10.07
4.3 疑義の認識、報告	17.74

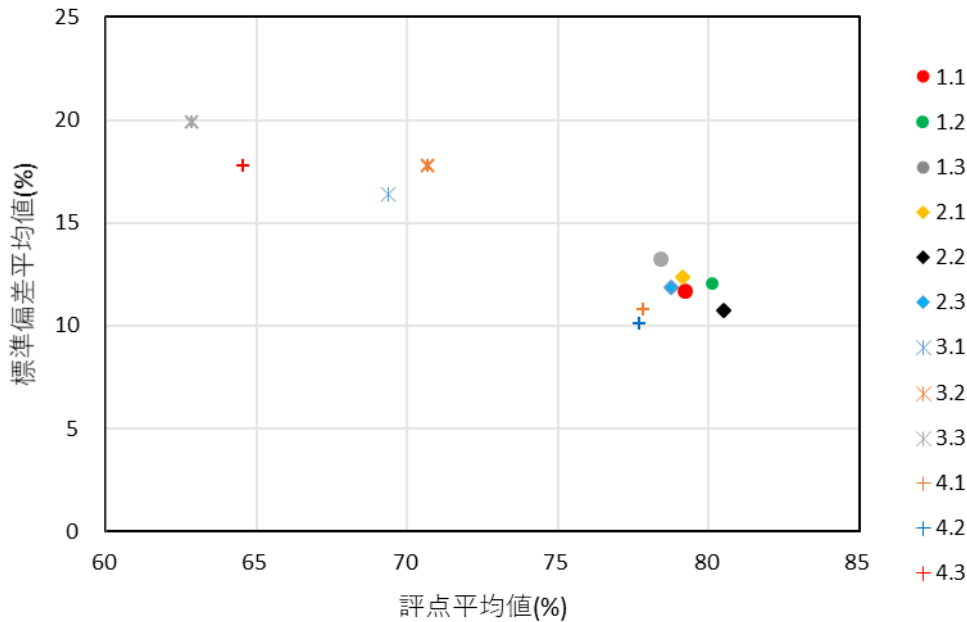


Fig.7.14 評点平均値と標準偏差平均値の分布(評価項目別)

表 7.12 より、評価項目別の標準偏差平均値を見ると、最小値が 10.07 の評価項目 4.2 であり、15 以上の項目は 3.1, 3.2, 3.3, 4.3 である。リーダーシップと自己主張に関連する評価項目で評点のばらつきが大きいことがわかる。これらの評価項目は、リーダーシップに関する知識や実船における経験の差によって評点にばらつきが出たと考えられる。

次に、図 7.14 より、各評価項目の評点平均値と標準偏差平均値には相関係数 $r=-0.935$ と強い負の相関がある。これは高い評点を付けられる評価項目ほど、評点の標準偏差は小さくなることを示している。また、評価項目 1.1~1.3, 2.1~2.3 で評点平均値が高く、標準偏差平均値が小さい傾向にある。つまり、各配置での役割と責任の理解及びコミュニケーションに関する評価項目においては、より客観的な評価が行えていたと考察できる。

7.6 結言

機関室シミュレーター環境下での ERM 訓練評価を行う為に、第 5 章で作成した Black Out 対応シナリオに基づくロールプレーを行い、その映像及び音声記録により非技術的能力の定量的評価を行った。定量的評価を行う為に IMO Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 Edition の Sample Evaluation form: Behavior markers for non-technical skill に記載の内容を参考に作成した 2 種類の評価尺度による 4 項目の評価指標を用いて、乗船経験の違う評価者 14 名による評価を実施し、評価結果の検証を行った。評価者毎の評価尺度の違いによる評価結果への影響を検証すると、評点間隔による評価傾向への影響は少ない事が分かった。Participant 毎の評価結果からは、C/E の役割を行った評価値が、2/E の役割に比べ高く評価されている事が分かった。この結果は、リーダーシップの評価項目に関して、C/E の役割を担った評価者の評価がほかの役割に比べ評価点が高く評価されたからであると考えられる。第 5 章で作成したシナリオではブラックアウト対応を行う為に C/E がリーダーシップを取り、各役割に指示を出し、主機の Restart までの状況認識と判断を行

う役割を担う状況を意図的に作り出し、本章で提案した定量的評価によりその意図した評価結果を適切に評価できたのではないかと考える。

乗船経験の違いについては、1年未満の評価者では緊急事態（ブラックアウト）対応の経験が無く、評価者として役割の対応行動への理解度が低く、非技術的能力の評価項目である、コミュニケーションの内容や状況認識の評価の良否が難しく、その結果シナリオ通りにロールプレーが進んでいるという状況のみを高く評価したのではないかと結果から推察された。乗船経験が1年以上ある者はシナリオ中の各役割の行動を評価者自身の経験や知識を基に評価している分、コミュニケーションの正確さ、状況認識の良否、リーダーシップ等の非技術的能力を適切に評価出来ていたと考えられる。

4項目の評価指標を「大別した評価項目」とし、その評価結果から定量的評価の一定の有効性と客観性を確認できたが、より適切な評価項目を検証する為に、4つの評価項目それぞれに対して詳細な評価項目を設定した「細分化した評価項目」評価指標をCRMの行動指標を参考に策定し、その評価結果を比較・検討した。その結果、%評価でも4段階評価でもコミュニケーションに関する評価項目では、細分化した評価項目の評定平均値と大別した評価項目の評点平均値に大きな差は見られず、リーダーシップに関する評価項目では、大別した評価項目において、C/Eの評点平均値が他の役割に比べて、高くなっていた。本章で作成した行動指標に基づく細分化を行った評価項目では、被評価者の役割による評点平均値の差は小さくなっていた。細分化した評価項目に、フォロワーシップに関する評価項目を追加したため、評価者が被評価者の役割に影響されることなく、より客観的な非技術的能力評価が行えるようになったと考えられる。

第8章 ワークロード評価と非技術的能力評価の関係性

8.1 本章の目的

本章では、第6章で提案したワークロード評価手法の検討結果と第7章で行った非技術的能力の定量的評価の結果を基に、ワークロード評価と非技術的能力の関係性を検証し、相互の関係性から本研究の目的であった機関運用管理現場でのワークロード評価手法とERM訓練時の非技術的能力評価手法の発展を検討する。ワークロード評価も非技術的能力評価も客観的で定量的な評価手法を提案している本研究において、VACPワークロード評価手法の各認知資源のワークロード量と非技術的能力の評価を行うための4つのERM評価項目の関係性を検証する事で、機関運用管理を行う機関士のワークロードマネジメントを含むERM訓練評価の向上を目的とする。

8.2 客観的ワークロード評価手法の有効性の確認

第6章において提案した客観的ワークロード評価手法であるVACP評価の検証として、心拍数との時系列での相関を確認し、各認知資源と心拍数との相関、最後に主観的評価と客観的評価の比較の結果から評価指標の有効性と妥当性の確認を行った。評価手法の課題の一つとして、評価指標に基づき評価を行った評価者が1名であった事が考えられていたため、追加実験として、新たに2名の評価者が第6章で作成したVACP評価指標に基づき評価実験1の各役割の客観的ワークロード評価を行った。

評価者3名をそれぞれ評価者1、評価者2、評価者3とし、1回目と2回目のロールプレーそれぞれのV、A、C、P、SUMの合計値を表8.1から表8.4に示す。表はそれぞれの役割に分けて作成しており、1回目と2回目では異なる被評価者(Trainee: T)を指している。

Table 8.1 VACP 評価 合計値(C/E)

Roll play 1 (T1)	評価者 1	評価者 2	評価者 3
V	158	144	150
A	172	216	179
C	149	171	180
P	70	95	77
SUM	549	626	586
Roll play 2(T3)			
V	145	118	144
A	184	223	190
C	154	200	153
P	48	76	83
SUM	531	617	576

Table 8.2 VACP 評価 合計値(1/E)

Roll Play 1(T2)	評価者 1	評価者 2	評価者 3
V	176	149	164
A	126	142	127
C	101	130	138
P	24	14	36
SUM	429	435	406
Roll play 2(T4)			
V	148	137	146
A	133	150	136
C	117	109	107
P	22	13	28
SUM	420	409	417

Table 8.3 VACP 評価 合計値(2/E)

Roll play 1(T3)	評価者 1	評価者 2	評価者 3
V	192	160	182
A	98	120	103
C	113	141	150
P	66	71	86
SUM	469	492	521
Roll play 2(T1)			
V	161	165	166
A	104	122	95
C	131	137	143
P	80	155	126
SUM	476	579	530

Table 8.4 VACP 評価 合計値(3/E)

Roll play 1(T4)	評価者 1	評価者 2	評価者 3
V	189	174	179
A	87	102	83
C	79	135	127
P	31	40	36
SUM	386	451	425
Roll play 2(T2)			
V	157	178	153
A	80	104	83
C	117	148	125
P	36	48	57
SUM	388	478	416

また、評価者 3 名分の SUM の結果のみを図 8.1 から図 8.4 に示す。

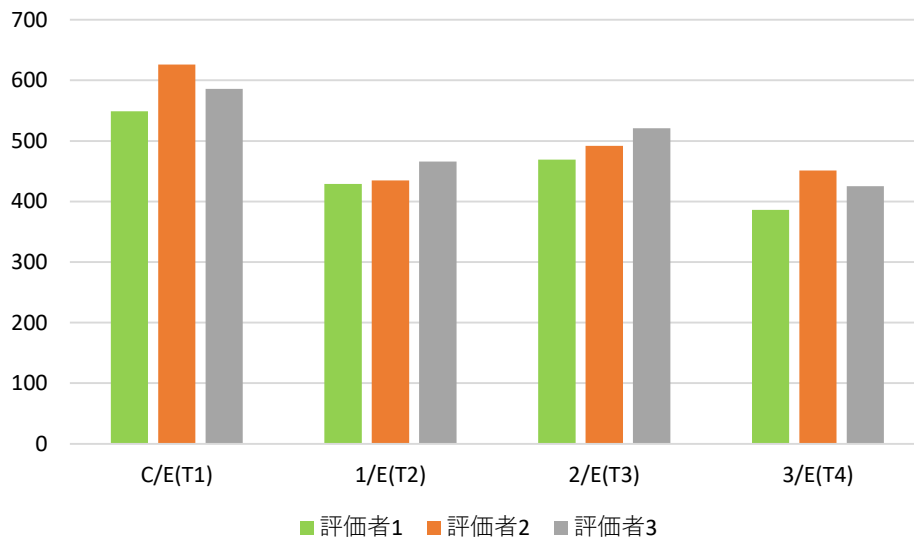


Fig. 8.1 VACP SUM 評価結果 (Roll play1)

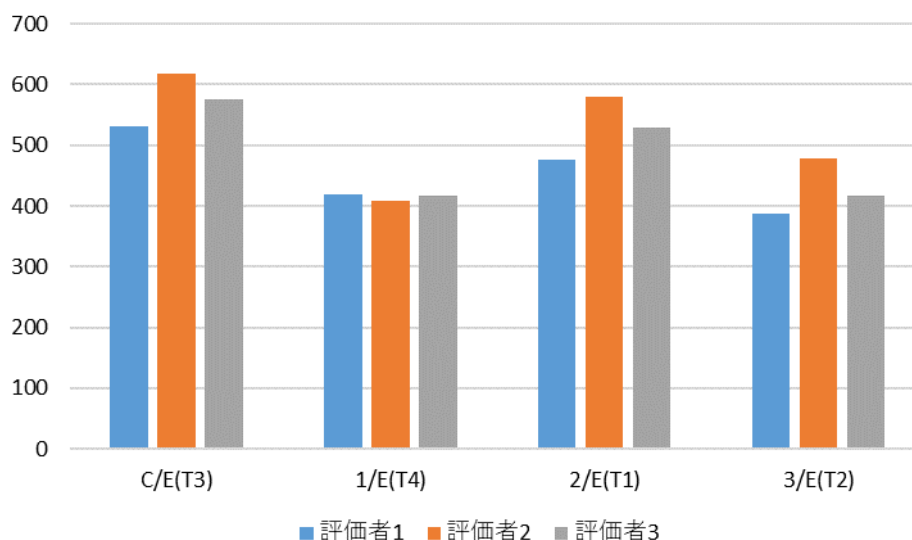


Fig. 8.2 VACP SUM 評価結果 (Roll play2)

ロールプレー1 とロールプレー2 のそれぞれの結果に着目すると、評価者ごとの4つの役職のワークロードのそれぞれの総量は大きな差は見られず、どの評価者も C/E のワークロードが大きく、次に 2/E がやや高く、1/E と 3/E のワークロードが比較的小さくなっている。評価者 2 に関しては、ほかの 2 名に比べてワークロードの総量は大きくなっている。

評価者毎のワークロード評価結果については、評価者 2 の評価結果が高い傾向にあり、次いで評価者 3 が高く、評価者 1 のワークロード評価が一番高くなったのはロールプレー2 の 1/E の役割の評価のみであった。ただ、ロールプレー2 の 1/E の評価結果は評価者 3 目の評価結果の差が一番小さくなっている。評価者 2 のワークロードの評価結果が比較的大きくなった主な原因として考えられるのは Auditory(聴覚)評価の対象となる事象が評価タイミングの 4 秒の範囲に収まっているのか、次の 4 秒の範囲にまたがっているのかの判断の違いによる影響であると考えられる。この違いを除けば 3 名の評価者の結果はほぼ一定となるといえる。第 6 章で提案した VACP 評価手法において、評価タイミングを 4 秒と設定した影響は Auditory(聴覚)の以外の項目については影響が少ないと考えられる。Visual(視覚)は評価指標の項目において、注視している時間が 2 秒以上であるか 2 秒未満であるかで加点しているため、この判断による影響は受けない。Cognitive(認知)は評価する 4 秒間で指標の中で当てはまるものがあれば加点しているため、Visual(視覚)と同様に影響は受けない。また、Psychomotor(動作)に関しては、対象となる動作の回数が少ないということと、動作自体が 4 秒以上続くものが今回のシナリオの中であまり見られなかったために Auditory(聴覚)と同じよう評価結果の違いが生じることは少なかったとえられる。Cognitive(認知)の評価に関して、評価者の評価後のコメントとして、評価の難易度が高いという意見があった。これは評価自体が客観的評価であり評価指標の内容が目で見えて判断しづらい内容であり、評価者の知識や経験が影響する項目であると考えられる。

これらの客観的評価の課題を浮き彫りにしつつ、評価者間での評価結果の比較から第 6 章で作成した評価指標の一定の有効性と普遍性を追加実験にて確認することができた。

8.3 認知資源毎のワークロード評価と非技術的能力の関係性

本章では第6章で確認した VACP 評価の認知資源毎のワークロード評価結果と、第7章で確認した ERM 要件に関する非技術的能力の定量的評価結果の関係性を確認する為に両者の評価結果を確認した。VACP 評価における認知資源毎のワークロード評価結果については、第6章で行った評価実験1組～4組 (Experiment 1～Experiment 4) のワークロードを表8.5～表8.8に示す。各認知資源のワークロードの最大の項目について背景色を変えて示した。各被験者の結果を制御室側 (Control Room) タスクと機関室側 (Engine Room) タスクに分けて比較を行った。非技術的能力の定量的評価結果については、第7章において作成した4項目の評価指標に基づく非技術的能力評価を評価者17名で行った評価結果を表8.9に示す。評価結果の値は17名による%評価の平均値を示し、表8.5と同様に評価点が最大の項目について背景色を変えて示し、各被験者の結果を制御室側 (Control Room) タスクと機関室側 (Engine Room) タスクに分けて比較を行った。ここで、評価実験1は第5章において作成したブラックアウト対応シナリオを被験者1-4が実施した実験の映像及び音声記録である。

Table 8.5 認知資源毎のワークロード評価結果 (Experiment 1)

実験1		Task Location: Control Room					Task Location: Engine Room			
Participant	Roll	V	A	C	P	Roll	V	A	C	P
1	C/E	158	172	149	70	2/E	161	104	131	80
2	1/E	176	126	101	24	3/E	157	80	117	36
3	C/E	145	184	154	48	2/E	192	98	113	66
4	1/E	148	133	117	22	3/E	189	87	79	31

Table 8.6 認知資源毎のワークロード評価結果 (Experiment 2)

実験2		Task Location: Control Room					Task Location: Engine Room			
Participant	Roll	V	A	C	P	Roll	V	A	C	P
5	C/E	209	229	277	44	2/E	282	117	270	51
6	1/E	228	180	280	39	3/E	287	103	279	46
7	C/E	223	202	329	57	2/E	245	145	200	83
8	1/E	239	166	301	73	3/E	238	109	135	62

Table 8.7 認知資源毎のワークロード評価結果 (Experiment 3)

実験3		Task Location: Control Room					Task Location: Engine Room			
Participant	Roll	V	A	C	P	Roll	V	A	C	P
9	C/E	177	194	209	28	2/E	170	89	172	36
10	1/E	175	144	193	35	3/E	174	78	163	17
11	C/E	185	159	223	40	2/E	170	106	184	63
12	1/E	175	120	209	26	3/E	182	79	180	48

Table 8.8 認知資源毎のワークロード評価結果 (Experiment 4)

実験4		Task Location: Control Room					Task Location: Engine Room			
Participant	Roll	V	A	C	P	Roll	V	A	C	P
13	C/E	180	152	236	30	2/E	181	66	187	39
14	1/E	182	113	232	27	3/E	198	45	200	31
15	C/E	194	128	235	19	2/E	196	91	210	27
16	1/E	188	105	200	26	3/E	204	73	215	12

Table 8.9 Evaluation Criterion 毎の非技術的能力評価結果

実験 1		Task Location: Control Room				Task Location: Engine Room				
Participant	Roll	EC 1	EC 2	EC 3	EC 4	Roll	EC 1	EC 2	EC 3	EC 4
1	C/E	85.00	85.00	84.38	81.25	2/E	69.38	71.25	65.00	66.88
2	1/E	73.13	74.38	65.00	70.63	3/E	66.25	70.00	61.25	63.13
3	C/E	71.25	78.13	75.63	73.75	2/E	80.00	84.38	80.63	79.38
4	1/E	68.13	75.63	66.88	71.25	3/E	75.00	80.00	73.13	76.88

表 8.5 の結果は各実験の V,A,C,P,それぞれの認知資源の実験全体での合計を示しており、実験中のすべてのタスクにかかった客観的評価によるワークロードであり、各被験者の役割とタスクロケーション(制御室側と機関室側)のワークロードによる評価結果の違いが確認された。実験 1 の結果からは、制御室側のタスクを行った役割の違いとして、C/E の役割を行った被験者 1 と被験者 3 は実験全体を通して Auditory の認知資源のワークロードが一番高くなっており、1/E の役割を行った被験者 2 と被験者 3 は Visual 認知資源のワークロードが高くなった事が分かる。C/E と 1/E の制御室側での他の認知資源のワークロードの比較に関しては、Cognitive 認知資源と Psychomotor 認知資源に関しても C/E の結果の方が高くなっている。これらの評価結果の違いが確認された理由としては、実験中のリーダーシップを発揮し、各タスクの指示を行っている C/E がコミュニケーションの回数による影響が Auditory 認知資源のワークロードが高くなったと考えられる。それに比べ、1/E は船橋とのコミュニケーションを取りながら主機の Reset と Restart を行うといったタスクを行っていたが、コミュニケーションの回数は C/E に比べると少なく、それ以上に主機パラメーターの確認やプラント状態を示す PC 画面の確認といったタスクの実施により Visual 認知資源のワークロードが高くなったと考えられる。機関室側の認知資源毎のワークロードに関しては、全被験者が Visual 認知資源のワークロードが高くなっている。Psychomotor 認知資源のワークロードに関しても各被験者共に制御室側でのタスクと比較すると高くなっている事が分かる。これらの結果に与えた影響としては、機関室側での状況確認タスクである見回りによる Visual 認知資源のワークロードの増加と身体行動である Psychomotor 認知資源のワークロードが高くなったと考えられる。Auditory 認知資源に関しては、制御室側タスクに比べコミュニケーションが少ない事と、実験の設定として機関室側でのアラーム鳴動を行わなかった事が影響したのではないかと考えられる。

実験 2 に関しては、制御室側におけるワークロード評価では被験者全員の Cognitive 認知資源が高く、機関室では Visual 認知資源が高くなっていた。機関室側での Cognitive 認知資源のワークロードが高くなった要因としては、VACP Scale の Action Code に記載の Situation Evaluation や Condition Judgement の状況が影響していると考えられる。Cognitive 認知資源のワークロードに次いで高くなったワークロードは C/E は Auditory 認知資源であり、1/E は Visual 認知資源であり、実験 1 の結果と同様の影響であると考えられる。

実験 3 と実験 4 に関しても、制御室側タスクの結果は実験 2 と同様に Cognitive 認知資源のワークロードが高くなっており、その要因も同様の事であると考えられる。機関室側タスクの結果については Cognitive 認知資源のワークロードが一番高くなっている被験者が確認されるが、Visual 認知資源のワークロードとほぼ大差がなく、Visual 資源のワーク

ロードが高くなる要因は実験 1 と同様と考えられる。これらの認知資源毎のワークロード評価結果の要因について考察を行うと、リーダーシップ、コミュニケーションや状況認識といった ERM 要件として考えられている非技術的能力の評価が VACP 評価による認知資源毎のワークロード評価に関係していると考えられる。

ここで、表 8.9 の Evaluation Criterion 毎の非技術的能力評価結果を確認すると、すべての被験者で EC2 : Instruction, report,, answerback and other communication patterns の非技術的能力の評価結果が高くなっている。これは、客観的評価において、コミュニケーションが評価しやすい項目になって考えられるが、前述の認知資源毎のワークロード評価との関係性を考えると、実験 1 では被験者 1 と被験者 2 の Auditory 認知資源が高かったことへの影響があったと考えられる。実験 1 の 1/E の認知資源毎のワークロード評価では状況認識による Visual 認知資源のワークロードが高かったが、非技術的能力の評価において EC4 : Situational awareness and notification of any doubt は EC2 のコミュニケーションに次いで高い評価がされている。機関室側タスクに関しても、非技術的能力の評価はコミュニケーションの結果が一番高くなっており、認知資源毎のワークロード評価結果における Auditory 認知資源との整合性は取れていないと考えられるが、非技術的能力評価ではコミュニケーションの回数だけの評価では無く、コミュニケーションの質も評価対象となる為にこのような結果になったと考えられる。ワークロード評価における状況認識と関係すると考えられる、EC4 : Situational awareness and notification of any doubt が EC2 のコミュニケーションに次いで高くなっている被験者も確認された。非技術的能力の評価と認知資源毎のワークロード評価の関係をより発展的に評価する為に、非技術的能力評価の評価項目毎の評価とワークロード評価とのタスクロケーションによる比較を次節にて行う。

8.4 非技術的能力評価の評価項目毎の比較

前節において、非技術的能力と認知資源毎のワークロード評価の比較を被験者毎の比較で行ったが、本節では評価実験 1 の映像・音声記録を 17 名の評価者によって評価した結果を評価項目ごとに分類し、客観的ワークロード評価のタスク全体でのワークロードをタスクロケーション毎に比較する。

各評価項目の評価結果の平均を図 8.3 から図 8.6 に示す。タスクロケーション毎のワークロード評価に関しては前節の表 8.5～表 8.8 と第 6 章の表 6.8 も参考にして比較・検討を行う。

ERM 要件に関する非技術的能力の評価結果のタスクロケーションによる違いを確認すると、図 8.5 の EC3 : Leadership and assertiveness の評価結果が制御室側と機関室側の評価結果の差が一番大きい評価項目となった。この事は第 5 章において作成したブラックアウト対応シナリオの中で C/E がすべてのタスクの指示や対応行動の Judgement を行っているからであり、機関室側の機関士は C/E の指示のもとと行動することで、非技術的評価項目 EC3 の制御室側の評価結果が高くなり、機関室側との差が生じたと考えられる。評価結果のタスクロケーションの差が次に大きかったのは、EC2 のコミュニケーションに関する評価項目であり、前節の評価者毎の比較ではすべての被験者の評価結果が高いことが確認できた項目である。この結果は、C/E による指示やアンサーバックに加え、1/E の船橋とのコミュニケーション回数とその質について評価されたと考えられる。

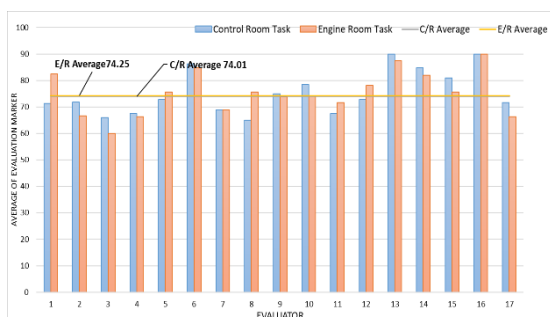


Fig.8.3 Average of evaluation marker score. EC 1

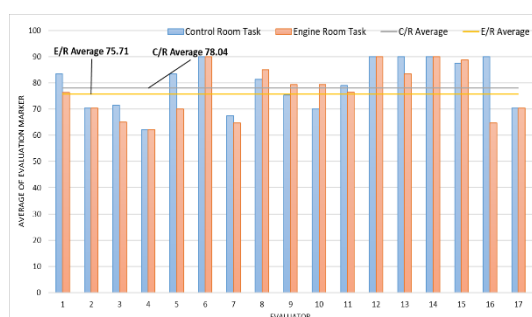


Fig. 8.4 Average of evaluation marker score. EC 2

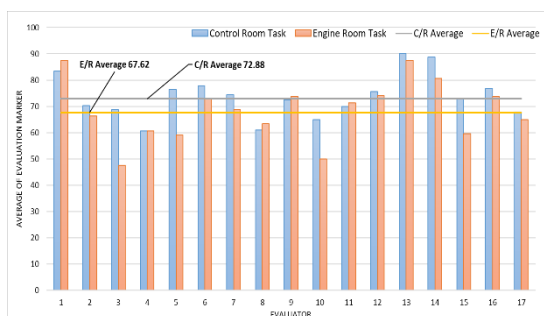


Fig. 8.5 Average of evaluation marker score. EC3

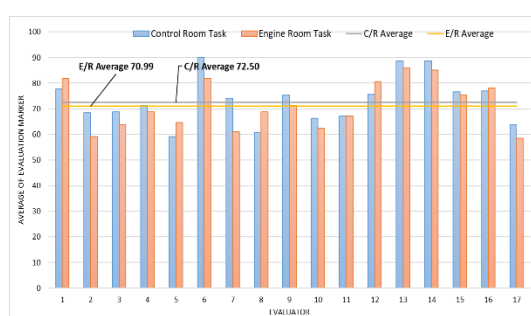


Fig. 8.6 Average of evaluation marker score. EC4

前節の認知資源毎のワークロード評価においても、制御室側のAuditory認知資源の評価結果が高かったことが、この結果に影響していると考えられ、機関室側のワークロード評価との違いが、本節の評価項目のタスクロケーション毎の違いを比較する事で確認できた。EC4: **Situational awareness and notification of any doubt** のタスクロケーションでの違いがEC3, EC2に比較すると小さい理由としては、前節の認知資源毎のワークロードにおいて考察を行った、機関室側での見回りタスク等で状況認識が機関室側と制御室側どちらにおいても求められ、その結果が非技術的能力評価の結果に反映されたと考えられる。最後にEC1: **Understanding of roles and responsibilities in operating plant machinery** の評価項目に関しては、各役割の理解度という非技術的能力の評価になり、客観的評価での理解度の評価を行うには難しさがあり、その結果がタスクロケーションでの評価結果に大きな差を生じなかったと考えられる。

前節では各被験者のVACP評価の認知資源毎のワークロードと、非技術的能力評価の結果を比較し、ERM要件として考えられている非技術的能力の評価がVACP評価による認知資源毎のワークロード評価に関係していることが確認された。第6章表6.8のVACP評価手法によるシナリオ全体のワークロードのタスクロケーションによる比較と、本節における評価項目毎のタスクロケーションでの非技術的能力評価を比較すると、制御室側タスクの評価が比較的高くなる結果が得られた。このことから、本研究で作成したブラックアウト対応シナリオにおいては制御室側の役割を担った被験者の客観的ワークロード評価結果が高くなり、複数の評価者による非技術的能力の評価結果についても同様の結果となり、両者の評価結果に対するある一定の整合性が示された。

8.5 結言

本章では、ワークロード評価手法の結果と非技術的能力の定量的評価の結果を基に、ワー

クロード評価と非技術的能力評価の関係性の検証を行った。その前段として、ワークロード評価手法の基盤となる VACP 評価指標の有効性を複数人の評価者により評価を実施した。評価者の評価結果の違いとして、Auditory 認知資源の評価に評価タイミングが影響している事が確認されたが、それ以外の認知資源の評価に関しては大きな違いは無く、評価指標の一定の有効性と普遍性を追加実験にて確認することができた。

認知資源毎のワークロード評価と非技術的能力の関係性に関しては、VACP 評価における認知資源毎のワークロード評価結果についてタスクロケーションの違いと各役割による比較を行った。比較結果の考察から認知資源毎のワークロード評価結果の要因について、リーダーシップ、コミュニケーションや状況認識といった ERM 要件としての非技術的能力評価が VACP 評価による認知資源毎のワークロード評価に関係していると考えられた。更に VACP 評価手法によるシナリオ全体のワークロードのタスクロケーションによる比較と、評価項目毎のタスクロケーションでの非技術的能力評価を比較すると、制御室側タスクの評価が比較的高くなる結果が得られた。このことから、本研究で作成したブラックアウト対応シナリオにおいては制御室側の役割を担った被験者の客観的ワークロード評価結果が高くなり、複数の評価者による非技術的能力の評価結果についても同様の結果となり、両者の評価結果に対するある一定の整合性が確認された。

これらの検討結果より、本研究において提案した ERM 訓練評価手法とワークロード評価手法を用いることで、背景と目的において示した船舶の機関運用管理を行う機関士のワークロードマネジメントを含むリソースマネジメント訓練評価を行うことができた。

第9章 総括

9.1 本研究の成果

近年の自動運航船の開発とERM強制要件化により機関運用管理現場の発展と対応が必要となっており、これらの変化に伴い、機関士のワークロード評価や非技術的能力の評価手法の検討が求められ、シミュレーターを用いたマネージメント訓練の需要ならびに実施及び評価手法を確立させる必要性が高まっており、本研究では機関運用管理現場を想定したシミュレーター環境下での機関士のワークロード評価手法の評価・検討及びERM訓練時の非技術的能力の評価手法の検討を行った。本研究において作成した評価指標の妥当性と評価の客観性について考察を行った。

本研究では機関運用管理現場を想定したシミュレーター環境下での機関士の行動特性をワークロードとして分析・評価を行い、その分析・評価結果を基に機関運用管理現場のより実船環境における緊急対応を模したシミュレーター環境下でのシナリオ作成とERM訓練実施方法の検討を行った。シミュレーター環境下でのERM訓練シナリオ及び評価方法についてIMO Model Course 2.07や国内のERM訓練実施機関のERM訓練シナリオ等のヒアリング調査結果を参考に、本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオ作成を行った。本研究において作成したシナリオを基に、主観的ワークロード評価及び客観的なワークロード評価手法の評価・検討を行った。客観的ワークロード評価に関してはVACP評価手法を機関運用管理現場に適応させる為に評価指標を作成し、その評価指標の妥当性と有用性を明らかにした。次に、ERM訓練時の非技術的能力の評価手法の検討を行う為に、前述のIMO Model Course 2.07に記載の評価方法を参考に評価指標の作成と評価方法の検討を行い、乗船経験を有する評価者による評価結果の比較を行う事で、評価指標の妥当性と評価の客観性について考察を行った。本研究において評価・検証を行った機関運用管理現場におけるワークロードと非技術的能力の両者の関係性を考察し、ワークロードを考慮したERM訓練評価手法の検討を行った。以下に本研究で得られた主要な結論と成果を述べる。

第1章では近年の機関運用管理の変化とそれに伴う機関士のワークロード評価や非技術的能力の評価手法の検討が求められていることを述べ、シミュレーターを用いたマネージメント訓練の需要ならびに実施及び評価手法を確立させる必要性をまとめ、本研究の重要性を示した。更に、機関運用管理現場や機関士の主観的・客観的ワークロード評価や非技術的能力の定量的評価の研究と機関運用管理現場におけるワークロード評価と非技術的能力の関係性の評価・検討を行った本研究の新規性を述べるとともに、本研究の目的を述べた。

第2章では海事業界をはじめ航空業界や自動車業界、鉄道や医療といった他業界におけるヒューマンファクターに起因するワークロード評価手法に関する国内外の研究業績の調査を行った。同時にシミュレーターを使用したERM訓練時の非技術的能力の評価・検討の為に、航空業界において発展したCRM (Cockpit Resource Management) にはじまり医療業界のCRM (Crew Resource Management) や原子力プラントにおけるN-CRMへの応用を調査し、BRM及びERM訓練時の評価手法に関する国内外の取り組みについての調査を行った。これらの調査結果から客観的ワークロード評価手法であるVACP評価手法の機関運用管理への適応可能性とERM訓練時の非技術的能力の評価手法となる定量的評価の適応例を明

らかにした。

第3章において実験装置として使用した，本学機関室シミュレーターと映像および音声記録装置について述べた。

第4章において機関士の行動特性の把握として，マルチタスク下となるシナリオの作成と客観的ワークロード計測手法の一つである，生理指標（心拍数及び脳波）計測を用いて，学生被験者と実務経験を有する機関士の作業精度の低下による定量的なワークロード評価実験を行った．評価実験の定量的評価結果よりマルチタスク下となるシナリオの作成には一定の成果が出せたが，作成したシナリオの難易度と生理指標計測においていくつか課題が明らかになった．その結果から機関運用管理のより実船環境に則した緊急事態等のシナリオを作成と計測装置を必要としない行動観察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。

第5章では機関運用現場のより実船環境に則した緊急事態対応のシナリオを作成の為，ERM 訓練実施機関において作成・実施されているシナリオと評価方法についてヒアリング調査を行った．ヒアリング調査の結果，定常作業を実施するシナリオと主機自動減速等や **Black Out** 対応シナリオの機関運用管理における緊急時対応といった2種類のシナリオを作成している事が分かった．IMO Model Course 2.07 の Sample Exercise 14 ERM Practice においても，機関プラントの定常作業のシナリオと緊急事態対応として **Black Out** 対応が記載されていることを確認した．これらのシナリオを参考に本学機関室シミュレーターにおいて **Black Out** 対応シナリオを作成する為にシミュレーターの特性を調査・確認を行い，その結果から，本学機関室シミュレーターにおいて実施可能なシナリオを検討し，実船環境に則した緊急事態対応のシナリオとして **Black Out** 発生から主機を再始動するまでの一連の流れを記載したシナリオを作成した。

本章で作成したERM訓練シナリオは第6章における客観的ワークロード評価実験と第7章におけるERM訓練の目的である非技術的能力の評価を目的とする評価実験のシナリオとしても活用した。

第6章では機関運用管理に適応する VACP 評価指標を作成し客観的にワークロードを推定する方法について検討し，第5章において作成したブラックアウト対応シナリオを評価実験シナリオとして様々なタスク実施時の映像と音声記録を用いて VACP 評価によるワークロードの推定を試みた。

被験者の VACP 評価による各認知資源およびワークロード量の時系列変化と心拍変動データとの相関分析を行った結果から，被験者のワークロードの時間追従における整合を確認し，作成した VACP 評価指標の妥当性を確認した。

評価実験シナリオ全体のワークロードを VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値を比較し，制御室側のワークロード推定値と機関室側のワークロード推定値の差を確認した．VACP 評価に基づく客観的ワークロード推定値と NASA-TLX に基づく主観的ワークロード推定値による結果が合致していることから，VACP 評価による客観的ワークロード評価手法の有効性を確認した。

第7章において機関シミュレーター環境下でのERM訓練評価を行う為に、作成したBlack Out 対応シナリオに基づくロールプレーを行い、非技術的能力の定量的評価を行った。定量的評価を行う為に2種類の評価尺度による4項目の評価指標を用いて、乗船経験の違う評価者14名による評価を実施し、評価結果の検証を行った。評価者毎の評価尺度の違いによる評価結果への影響を検証すると、評点間隔による評価傾向への影響は少ない事が分かった。Participant 毎の評価結果からは、本章で提案した定量的評価によりその意図した評価結果を適切に評価できた。乗船経験の違いによる評価結果では乗船経験1年未満の評価者と乗船経験が1年以上ある者の評価結果の差を明らかにすることができた。

4項目の評価指標を「大別した評価項目」とし、4つの評価項目それぞれに対して詳細な評価項目を設定した「細分化した評価項目」評価指標を策定し、評価実験を行った結果、評価者が被評価者の役割に影響されることなく、客観的に評価が行えることを明らかにした。

第8章ではワークロード評価手法の検討結果と非技術的能力の定量的評価の結果を基に、ワークロード評価と非技術的能力の関係性を検証し、VACP 評価における認知資源毎のワークロード評価結果についてタスクロケーションの違いと各役割による比較を行った。比較結果の考察から認知資源毎のワークロード評価結果の要因について、リーダーシップ、コミュニケーションや状況認識といったERM要件としての非技術的能力評価がVACP 評価による認知資源毎のワークロード評価に関係していると考えられた。更にVACP 評価手法によるシナリオ全体のワークロードのタスクロケーションによる比較と、評価項目毎のタスクロケーションでの非技術的能力評価を比較すると、制御室側タスクの評価が比較的高くなる結果が得られた。このことから、本研究で作成したブラックアウト対応シナリオにおいては制御室側の役割を担った被験者の客観的ワークロード評価結果が高くなり、複数の評価者による非技術的能力の評価結果についても同様の結果となり、両者の評価結果に対するある一定の整合性が確認された。

これらの検討結果より、本研究において提案した非技術的能力の評価手法とワークロード評価手法を用いることで、背景と目的において示した船舶の機関運用管理を行う機関士のワークロードマネジメントを含むリソースマネジメント訓練評価を行うことができた。

9.2 今後の展望と課題

9.2.1 客観的ワークロード評価手法の活用方法

国土交通省が発表した、2025年までに自動運航船の実用化を目指した取り組み⁽³⁾に基づき、各船社やメーカーが自動運航船の意義を明らかにし、技術の開発・発展、研究・調査の状況を発表している。自動運航船の意義については、背景に述べたとおり、安全運航の更なる向上のために、ヒューマンファクターの補完やワークロードの軽減があげられている⁽⁴⁸⁾。現在、これら自動運航船開発の発展としては、自動避航操船や自動離着岸等の操船に関する自動化技術の開発が主であり、機関運用管理としては機関遠隔監視技術の発展やCBM (Condition Based Maintenance) の研究・調査が進められている。更に、シミュレーターをコア技術とする遠隔機関監視システムの開発が行われ、将来的な船員減少への対応や、船員の労働環境の「離社会性」の低減を期待する研究が行われている⁽⁴⁹⁾。これらの技術的な発

展に対し、ヒューマンファクターの補完やワークロードの軽減といった研究に関しては、発表に至る成果は少なく、特に船舶の機関運用管理におけるワークロード評価に関する研究は未だ基礎的な発展段階であると考えられる。本研究における、ワークロード評価手法は他業界での認知工学や安全工学といった観点での研究を参考に、船舶機関運用への適応を試み、一定の成果を確認することができた。今後は、本研究で実施したブラックアウト対応のシナリオ以外での評価を実施し、作成した船舶の機関運用管理現場に適応したVACP評価指標の検証を重ね、更なる有効性の検証と評価手法の実用性を高めていきたい。

本研究では、記録された映像と音声データから客観的なワークロード推定の有効性が示されたことで、今後、ワークロードを遠隔監視下でリアルタイムに把握する研究の発展が考えられる。本研究が、将来的に自動運航船における、陸上からのモニタリングによる機関運用管理者のリアルタイムのワークロード評価に基づき、ワークロードに対応した安全維持と効率運用の両立を目指した高度な海陸複合体制の機関運用管理研究の発展につながると考える。

9.2.2 ERM 訓練シナリオと評価手法の発展

本研究では、ERM訓練シナリオの作成をIMO Model Course 2.07のSample Exercise 14 ERM Practiceを参考に、国内でのERM訓練実施機関のヒアリング調査の結果から作成した。IMO Model Course 2.07が発行されたことで、国内外のERM訓練実施機関がそれぞれの機関室シミュレーターに適応するようにシナリオを実施し、その評価に関する研究成果が発表されている。しかし、本研究で行った複数の評価者による評価の客観性についての研究は少なく、またシナリオの評価という観点での検討が十分になされていない現状にある。背景において述べたように、海事業界でのリソースマネージメントに関する研究では、BRMに関する研究に一日の長があり、シナリオの難易度に関する研究についても操船シミュレーターを用いて状況認識をするまでの時間により評価している⁽⁵⁰⁾。本研究では、行動特性としてのワークロード把握から評価実験の難易度を検討し、実験シナリオの作成に至った。また、本研究では実験の被験者への評価より乗船経験を有する評価者へ焦点を当て、その評価結果から訓練シナリオと定量的評価手法について検証を行ったため、実験被験者の乗船経験についてはあまり議論していない。今後は複数シナリオでの評価実験を行い、ワークロード評価を参考にした難易度設定や、実務経験を有する被験者を対象に、自由度の高いシナリオでの実験完了時間や状況認識に要する時間等による難易度設定が出来ればと考える。そして、現在ERM訓練を実施している船社をはじめ教育機関や、今後リソースマネージメント訓練の実施を計画している機関への訓練評価手法の共有とフィードバックが行えればと考える。将来的には、ERM訓練の有用性の把握の為に、ERM訓練を実施した学生や乗組員が実船環境での業務において非技術的能力向上の効果を確認し、その結果をPDCAサイクルにてリソースマネージメント訓練の発展を行うことで、実務教育訓練体系の改善策を導き、安全運航に貢献出来ればと期待する。

9.3 結言

本研究の目的としてあげたワークロード評価手法に関しては、機関運用管理に適応するVACP評価指標を作成し客観的にワークロードを定量評価する方法について示した。本研究において構築したブラックアウト発生シナリオの様々なタスク実施時の映像と音声記録を

用いてワークロード評価を試み、被験者のVACP評価によるワークロードの時系列変化と心拍変動データとの相関分析から、被験者のワークロードの時間追従における整合を確認した。シナリオ全体のワークロード評価では、VACP評価に基づく客観的ワークロード推定値とNASA-TLXに基づく主観的ワークロード推定値による結果が合致していることから、VACP評価による客観的ワークロード評価手法の有効性を確認した。これらのことから、機関運用管理者のワークロードの評価手法に本研究で提案するVACP評価を用いることで、客観的ワークロード評価における生体指標を得る計測機器の装着を課すことなく、遠隔によるワークロード把握の実現に向けて方向性を示すことができた。

また、ERM 訓練における非技術的能力の評価手法に関しては、定量的評価を行う為に本研究において作成した評価指標を用いて、複数の評価者による評価を実施し、定量的評価結果の検証を行った。評価結果から、評点間隔による評価傾向への影響は少ない事が分かり、複数評価者による乗船経験の違いによる評価では評価者の資質について明らかにすることができた。非技術的能力の評価をより細分化した行動指標による評価を行うために、評価指標を策定し、評価を行った結果から評価者が被評価者の役割に影響されることなく、客観的に評価が行えることを明らかにした。

最後に、ワークロード評価と非技術的能力の関係性を検証するために、ワークロード評価結果についてタスクロケーションの違いと各役割による比較を行った。比較結果からワークロード評価の要因について、リーダーシップ、コミュニケーションや状況認識といったERM 要件としての非技術的能力評価が関係している事を、両評価手法の定量的評価から確認した。更に、本研究で作成したブラックアウト対応シナリオにおいては制御室側の役割を担った被験者の客観的ワークロード評価結果が高くなり、複数の評価者による非技術的能力の評価結果についても同様の結果となり、両者の評価結果に対するある一定の整合性を確認した。これらの結果より、本研究において提案した非技術的能力の評価手法とワークロード評価手法を用いることで、背景と目的において示した船舶の機関運用管理を行う機関士のワークロードマネジメントを含むリソースマネジメント訓練評価を行うことができた。

本研究で得られた成果は、船舶の機関運用管理現場への適応にとどまらず、航空業界や自動車業界、医療業界等のリソースマネジメントに関する安全管理技術を必要とする、あらゆる業界への応用が可能であり、他分野での実践活用による発展が期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたり、多大なる御指導、御助言および御助力を頂きました神戸大学大学院海事科学研究科マリンエンジニアリング講座 内田誠教授に厚く感謝申し上げます。

本論文の審査にあたり、副査を御担当して頂きました神戸大学大学院海事科学研究科マリンエンジニアリング講座 段智久教授、神戸大学大学院海事科学研究科グローバル輸送科学講座 堀口知也教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり、多くの御助言と供に実験にも御協力頂き、更に学位論文審査の際にオブザーバーとして参加して頂いた同研究科マリンエンジニアリング講座 三輪誠准教授に厚く御礼申し上げます。

油木代一技術専門職員には、円滑な研究活動を実施するにあたりご支援を頂きました。厚く御礼申し上げます。

本研究にあたって試行錯誤の中、実験に快くご協力頂いた中村智彦氏、三原滉平氏（当時本学研究院院生）、森圭祐氏、関悠成氏、上野航太郎氏（当時本学学部生）ならびに **Adi Mas Nizar** 院生をはじめ、実験にご協力して頂いた院生・学部生の皆様には有益なご助言を頂き心より感謝申し上げます。

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委員会の皆様には、本研究に関連するアイデアやアドバイスを頂き感謝申し上げます。特に独立行政法人海技教育機構 山本訓史機関長には、練習船青雲丸での機関室シミュレーター見学の際に貴重なご意見を頂き御礼申し上げます。同機構海技大学校 吉原広太郎准教授および長谷川雅俊講師には、海技大学校で実施されているERM訓練に関連する貴重なご意見を頂き、また実験にも快くご協力頂き感謝申し上げます。MOLマリン&エンジニアリング株式会社 松下知豊機関長には前職での乗船時からのご縁にはじまり、同研究委員会での意見交換の際に貴重なご意見を頂き厚く御礼申し上げます。

研究の礎となったマリンエンジニアの素養を賜った株式会社商船三井には、在職時に博士課程への入学を許可して頂き感謝申し上げます。また、本船にて海技者の知識・経験をご教示頂き、大変お世話になった船長、機関長、航海士、機関士ならびに乗組員の皆様に御礼申し上げます。

海技大学校練習船海技丸乗組員の皆様をはじめ海技大学校の先生方には、研究活動へのご理解を頂き感謝申し上げます。

父の代からのご縁にはじまり、生まれも育ちも同じような境遇から学部生時代の先輩であり、大学院では同窓となり、ついには現在同じ職場で海事教育に携わる三原悠氏には研究の間の一杯に何度もお付き合い頂き、色々な相談に乗って頂いたことをここで感謝申し上げます。

これまで著者の健康をいつも気遣い温かく成長を見守ってくれた母と、人生の指針であり、学部生在学時の指導教員であり、常に海事教育への貢献を考え、勉学の難しさと楽しさを教えてくれた亡き父には言葉に尽くせない感謝をしております。深江の水脈を絶やさぬ為の努力と、勸学文に基づく自分を律する事の大切さを教えてくれた父の言葉のおかげで本成果を完成することが出来ました。本当に有難うございました。

最後に、いつも著者の心の支えとなり、相談相手となり、毎日を丁寧に生きましようと言ってくれた妻 綾子に心から感謝致します。また、毎日の癒やしと勇気をくれる長男 祥大朗と二男 之朗、これから生まれてくる子供に感謝するとともに、今後も元気に育ってくださることを祈ります。いつか父親の成果を手に取り、人生の指針の一つとなってくれればと思います。

付録1 実験協力に関する同意書

実験協力に関する同意書

船用機関プラントの運用・操作・管理について、MEPS (Marine Engine Plant Simulator) ならびに実験室装置で模擬的に再現した環境下にて生体反応計測 (視線, 心拍, 脳波, 行動など) を伴う実験や機関プラントに関連した意識調査などに対し, 被験者として協力するにあたり実験実施担当者より以下の項目について説明を受けました.

- ① 研究目的
- ② 実験方法
- ③ 実験参加は協力者の自由意思によるものであり, 参加は随時拒否・撤回出来ること.
また実験参加により協力者が不利な扱いを受けないこと.
- ④ 実験実施者らはデータ管理に細心の注意を払うこと.
- ⑤ 実験結果を活用した研究成果公表において, 実験協力者のプライバシーが保護されること.
- ⑥ 実験は神戸大学大学院海事科学研究科における「人を直接の対象とする研究」に関する内規に則ること.
- ⑦ 研究責任者の氏名, 職名, 連絡先.

上述の説明内容を十分に理解し承知した上で, 本研究に協力することに同意します.

同意年月日: 年 月 日

実験協力者: _____

説明年月日: 年 月 日

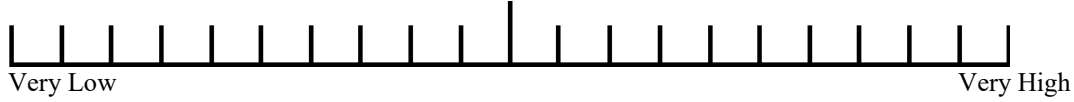
説 明 者: _____

付録2 NASA-TLX 記入用紙

●以下の設問について、適切なレベルに○を記して下さい。

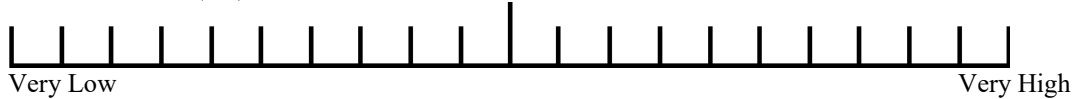
• Mental Demand (MD) How mentally demanding was the task?

知的/知覚的な要求(MD) 課題の知的・知覚的な要求値はどのくらいですか。



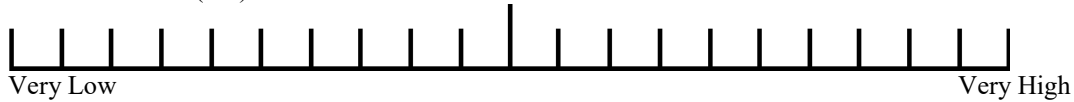
• Physical Demand (PD) How physically demanding was the task?

身体的な要求(PD) 作業の身体的な要求値はどのくらいですか。



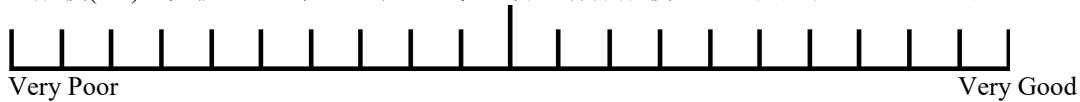
• Temporal Demand (TD) How hurried or rushed was the pace of the task?

時間的な要求(TD) 仕事のペースの 慌ただしさ/忙しさ はどのくらいですか。



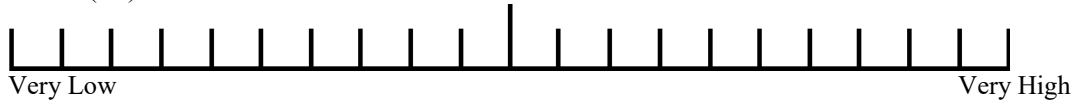
• Performance (OP) How successful were you in accomplishing what you were asked to do?

成績(OP) 依頼された仕事に関して、自分の作業成績にどの程度満足していますか。



• Effort (EF) How hard did you have to work to accomplish your level of performance?

努力(EF) あなたの成績レベルに到達するための努力は、どのくらい困難なものでしたか。



• Frustration (FR) How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?

不満(FR) 作業中に不安感、落胆したり、イライラしたり、緊張や悩んだり、どの程度感じましたか。



●Select the one of each pair that provided the most significant source of workload variation in these tasks.

これらの課題において、以下に挙げたペアから、作業負荷の変動に最も有意な要素を、どちらか1つ選んで下さい。

知覚 / 身体 知覚 / 時間 知覚 / 成績 知覚 / 不満 知覚 / 努力

身体 / 時間 身体 / 成績 身体 / 不満 身体 / 努力 時間 / 成績

時間 / 不満 時間 / 努力 成績 / 不満 成績 / 努力 努力 / 不満

Reference: Mental Demand (MD), Physical Demand (PD), Temporal Demand (TD), Performance (OP), Effort (EF), Frustration (FR)

参 考：知的要求量(MD)，身体的要求量(PD)，時間的要求量(TD)，成績(OP)，努力(EF)，不満度(FR)

参考文献

1. International Maritime Organization (2010) Standards regarding engine department. Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers. London
2. 船用機器におけるヒューマン・エレメントに関する研究動向調査, 日本船用工業会 2007.
3. 自動運航船の現状等. 国土交通省ホームページ,
<http://www.mlit.go.jp/common/001215815.pdf> (2021.12.21 最終確認)
4. 安藤昇, 近代化船の設備基準について —船舶安全法関係法令における規制の概要— 日本船用機関学会誌, Vol. 20, No. 9, 1985-9, pp34-37
5. 中尾正光, 自動化特集号発刊に関して, 日本船用機関学会誌, Vol. 5, No. 2, 1970, pp9-10
6. 山下勇, 自動化特集号発刊によせて, Vol. 20, No. 9, 1985, pp1-2
7. 稗方和夫, 他, 海事産業におけるIoT技術導入の意思決定支援に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 6, No. 25, 2017, pp175-182
8. International Labor Organization (2015) Maritime Labour Convention, 2006. Frequently Asked Questions. Fourth edition. Geneva
9. 椎原裕美, 他, 機関室内機関・機器損傷におけるヒューマンファクターの調査, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 36, No. 9, 2001, pp677-685
10. 橋本誠悟, STCW条約マニラ改正とERM, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 51, No. 3, 2016, pp316-323
11. 小林宏之, チーム医療に求められるノンテクニカルスキル, 日本集中治療医学会雑誌, Vol. 23, No. 1, 2016, pp13-20
12. 阿部幸恵, 医療におけるシミュレーション教育, 日本職業・災害医学会会誌, Vol. 61, No. 5, 2013, pp314-318
13. 石橋明, 他, 原子力発電分野における安全意識向上のためのCrew Resource Management 概念に基づく訓練手法, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 4, 2010, pp384-395
14. International Maritime Organization (2017), Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2017 Edition. London
15. Hart SG, et al., (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research, Advances in psychology, Vol. 52, pp139-183
16. Reid, G.B. et al., (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload, Human Mental Workload, P.A.M. Hancock, N. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), pp185-218
17. 三宅晋司, メンタルワークロードの主観的評価法* NASA-TLX'とSWATの紹介および簡便法の提案, 人間工学, Vol. 51, No. 6, 2016, pp391-398
18. 小林弘明, 他, 心拍変動データによる操船者の知的負担の研究, 日本航海学会論文集, Vol. 98, 1998, pp.247-255
19. 北村健一, 他, 唾液 NO による操船者の心的負荷評価に向けて, 自動制御連合講演会講演論文集, Vol. 54, 2011
20. 芳賀繁, 各種交通機関における操縦者のワークロードと状況認識に関わる諸問題, 国際交通安全学会誌, Vol. 30, No.3, 2005, pp8-13
21. McCracken JH, et al., (1984) Analyses of selected LHX mission functions: Implications for operator workload and system automation goals, Army Research Institute Aviation Research and Development Activity.

22. Bierbaum CR, et al., (1989) Task analysis of the UH-60 mission and decision rules for developing a UH-60 workload prediction model: Summary report, Vol. 1, US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
23. 津田宏果, コックピット・ワークロード推算プログラムの開発, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-07-048, 2008, pp1-19
24. 内田尚和, 他, VACPによるドライバ・ワークロード推定方法の研究, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 6, 2015, pp. 1171-1176
25. Melcher Z, et al., (2014) Development of future scenarios by prediction of mental workload in a traffic management control room, Proceedings of 11th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management (ODAM).
26. Pfeffer S, et al., (2013) Estimation of operator input and output workload in complex human-machine-systems for usability issues with iflow, In International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics(EPCE), Lecture Notes in Computer Science 8019, pp167-176.
27. 石橋明, ノンテクニカルスキル育成のためのCRM訓練ヒューマンファクターズの視点, 安全工学, Vol. 55, No.1, 2016, pp34-41
28. 尾原秀史, シミュレーション教育の現状と問題点, 日本臨床麻酔学会誌, Vol. 31, No. 5, 2011, pp762-770
29. International Maritime Organization (2002), Model Course 1.22 Ship Simulator and Bridge Teamwork 2002 Edition. London
30. International Maritime Organization (2002), Model Course 2.07 Engine-room Simulator 2002 Edition. London
31. 津田宏果, 他, 行動指標を用いたCRMスキル計測手法の開発, JAXA Research and Development Report 09-001, 2009, pp1-86
32. Barnett M, et al., (2006) Non-technical skills: the vital ingredient in world maritime technology? In Proceedings of the International Conference on World Maritime Technology, institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST)
33. Hetherington C, Flin R, Mearns K (2006) Safety in shipping: The human element, J Saf Res, Vol. 37, No. 4, pp401-411
34. 小林弘明, 他, 操船シミュレーターによる教育・訓練の評価手法に関する研究, 日本航海学会論文集, Vol. 98, 1998, pp.161-169
35. Saeed F, et al., (2017) A proposed quantitative methodology for the evaluation of the effectiveness of Human Element, Leadership and Management (HELM) training in the UK. WMU J Marit Affairs, Vol. 16, pp115-138
36. Tsoukalas VD, et al., (2008) Marine engineers' training: Educational assessment for an engine room simulator. WMU J Marit Affairs, Vol. 7, pp429-448
37. Kandemir C, et al., (2015) Investigation of an ERS functionality to conduct human error assessment studies comply with the STCW'2010 requirements, Proceedings of 12th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS12), pp101-106
38. Zincir B, et al., (2017) Scenario Based Assessment Method for Engine Room Simulator Courses, Proceedings of 13th International Conference on Engine Room Simulators (ICERS13), pp165-171
39. 野田悠太朗, 他, ERM訓練の訓練評価方法に関する予備調査の実施について, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 48, No. 1, 2013, pp116-123
40. 吉原広太郎, 他, 機関室シミュレーターを用いた教育訓練の紹介と今後の展望について, 日本マリンエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 89, 2019, pp181-182
41. 近藤宏一, 海技大ERM概要・機関室シミュレーター及び事故事例解析の有効活用-, 日

- 本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 51, No. 3, 2016, pp80-86
42. 松下智弘, 他, **Engine Room Resource Management 訓練**について, 第 90 回日本マリンエンジニアリング講演会講演論文集, 2020, pp143-144
 43. 三輪誠, 機関室シミュレーターを用いた授業, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 51, No. 3, 2016, pp69-73
 44. Wu Y, et al., (2015) Development of quantitative team performance evaluation method for ERM, *WMU Journal of Maritime Affairs*, Vol. 14, pp333-347
 45. Adrian M. Owen, (2005) N-Back Working Memory Paradigm: A Meta-Analysis of Normative Functional Neuroimaging Studies, *Human Brain Mapping*, No25, pp46-59
 46. Markl. Berenson, (1992) *Basic Business Statistics concepts and Applications*, PRENTICE-HALL International, Inc., No5, pp413-415
 47. Seber. G. A. F, (1984) *Multivariate Observations*, John Wiley Sons Inc., Hoboken, NJ
 48. 株式会社商船三井プレスリリース, 始動! 自律化実現への実証航海
<https://www.mol.co.jp/pr/2020/20036.html> (2021.12.21 最終確認)
 49. 日本郵船株式会社プレスリリース, シミュレーターをコア技術とする遠隔機関監視システムの開発プロジェクトを開始,
https://www.nyk.com/news/2021/20211105_02.html (2021.12.21 最終確認)
 50. 角田領, 他, チーム操船トレーニングのシナリオ難易度評価に関する研究, 人工知能学会第二種研究会資料, No. KST-01, 2007, pp4-8