

# PC版機関室シミュレータ環境下における眼球運動計測に基づく機関運転管理評価法に関する検討 - -

中村 真澄\*・内田 誠\*\*・引間 俊雄\*\*\*

## Study on the Evaluation Method of Engine Operation Based on Eye Movements by Utilizing Engine Room Simulator

Masumi Nakamura\*, Makoto Uchida\*\*, Toshio Hikima\*\*\*

### Abstract

A practical training method using an Engine Room Simulator (ERS) has been introduced as an effective training for the students of marine engineering course at maritime institutions. But technique and the evaluation method of the education training by ERS are uncertain. In this paper, we focus on an eye motion of ship engineers and students. Their eye motions and the operating condition were captured on Free View. By the first examination, we carried out the same examination to all the members. By the second examination, we divided the students into two groups and carried out the same examination. We gave advice about the outline of the plant for one group. On the other hand, we did not give advice. We compared the results of the two groups. Furthermore, we compared students with an expert.

**Keywords:** Engine Room Simulator, Maritime Education and Training

### 1. 諸言

我が国の海事教育関連機関では機関室シミュレータ Engine room simulator (ERS) を用いた訓練に対する必要性がそれほど高くない。この背景には、機関室シミュレータを用いた教育訓練の手法や評価方法が不明確であり、独立行政法人航海訓練所における1年間の乗船実習と口述・筆記試験により海技免状が発行されている現状である。1995年に国際海事機関(IMO)でSTCW(船員の訓練、資格及び当直維持の基準に関する国際条約)の大幅な改正が行われ、甲板部、機関部の船舶職員に必要な能力要件を証明する方法として、従来の実船を用いた実習方法に加えてシミュレータの使用が認められた。その上、本年6月にはマニラで開催された締約国会議において、ERM(Engine Resource Management)の強制要件化が採択され2017年1月に完全実施となる見込みである。本研究では、ERSの活用拡大のための一方策を試みた。PC版機関室シミュレータ(ERS)で種々

危急状況を再現したシナリオにおいて、熟練機関士と初心者を被験者として運転管理操作を行わせ、操作中の被験者の人間反応として眼球運動を計測し視点の動きを検出する事で、熟練者と初心者の相違点を客観的に同定すると共に、初心者被験者には、一定の助言を与えるグループと与えないグループに分けて実験を行い、教育・訓練手法の開発と機関運転管理評価手法の開発のための基礎資料を得ることを目的とする。

### 2. 実験装置

#### 2.1 PC版機関室シミュレータ要目

本研究では、PC版ERSとしてKONGSBRGMARITIME AS製のERS-L11 MAN B&W 5L90MC-VLCCを用いた。主要目を示す。

表1. ERS 主要目

Vessel's Main Particulars		
Length overall	305.00	m
Length between p.	295.00	m
Breadth moulded	47.00	m
Depth moulded	30.40	m
Summer Draught	19.07	m
CB	0.801	
Dead-weight	187997	tons
Speed	14	knots

Main Engine Data

Type	MAN B&W 5L90MC
Cylinder bore.	90 cm
Piston stroke	290 cm
No. of cylinders	5
No. of air coolers	2
No. of turbochargers	2
MCR	17400 kW
Corresp. Eng. speed	76 rpm
Mean indicated press.	13.0 Bar
Scavenge air press.	2.1 Bar
Turbocharger speed	8000 rpm
No. of propeller blades	5
Propeller pitch	1.2 P/D
Spec. fuel consumption	168 g/kwh
Fuel	DO/HFO 700 cSt

## 2.2 眼球運動計測装置

竹井機器工業(株)製の眼球運動計測装置 "Free View" を用いた。Free Viewは、据置型の近赤外線照射器・カメラにより、頭部運動を固定した被験者の左右一方の眼球上の近赤外線反射輝点と瞳孔中心を検出して、相対的な偏差からリアルタイムに眼球運動すなわち視点情報を得るものである。被験者に与える刺激としての ERS 画面ならびに視点の動きは DVD に記録すると共に座標数値データとして記録した。

## 2.3 被験者

被験者として、機関士、機関長ならびにその経験者4名(被験者S1~S4)と神戸大学海事科学部機関学系4学年学生8名(被験者B1~B8)、計12名の協力を得た。通算3ヶ月間の練習船実習を終えた後者8名は初心者としての特徴を、また、前者4名は熟練者としての特徴を備えたものとして、分析を行った。

## 3. 実験方法

被験者は、机上に固定された専用器具に顎を乗せると共に前頭部を接触させて、頭部の運動を抑止する。PC版ERSの画面を被験者の正面約2m前方に設置したスクリーンに投影し、被験者はスクリーンを見ながら手元に設置されたマウスを用いてERSのプラント運転操作を行った。実験中に、実験実施者が途中介入しないように、ERSの各種状況はあらかじめ仕組んでおいたプログラムと被験者の判断に基づく操作に従い進行する。いずれの実験シナリオも実施時間は約4分間である。

初心者8名の被験者を予備実験結果に基づいて、その特徴が概ね均等になるように2つのグループに分けた。8人全員に対し全く同一の異常発生を仕組んだシナリオによる実験を数日隔てて2度ずつ実施したが、一方のグループ(B5~B8)の被験者に対し、1度目と2度目の実験の間に当人の1度目の実験結果に基づき一定の助言を個々に与え、当該異常内容と対処法の理解が促進されるように導いた。他方のグループ(B1~B4)には助言を与えなかった。

## 4. 実験シナリオ

### 4.1 予備実験：ECCにおける船橋オーダー対応

初心者8名に対して予備実験を実施し、入港時のECC(機関操縦卓)における船橋オーダーに対応した減速・増速などの主機操縦を課す。表2は、船橋オーダーのシナリオを示す。図2は、増速受令を初心者の視点軌跡ならびに注視点の計測結果を示す。操縦に応じた主機ならびに各種状況の確認が適切に行えたか否かにより評価して、評価結果が均等になるように2つのグループに分けた。

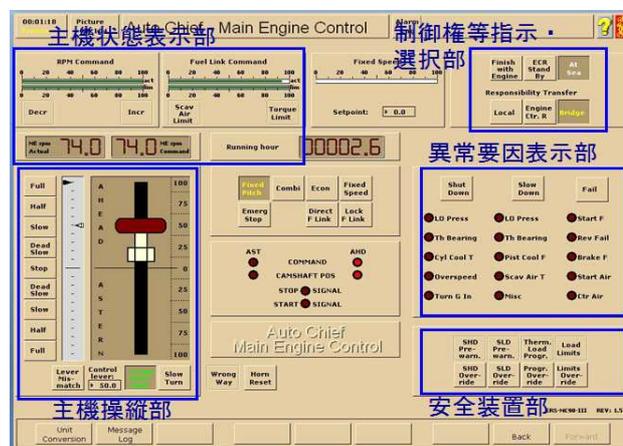


図1. ECC画面

表2. ECC における船橋オーダーシナリオ

Event	Time
開始	0:00
Half Down 発令	0:10
Slow Down 発令	0:30
Half Ahead 発令	0:50
Full Ahead 発令	1:10
Thermal Load Program	
Half Down 発令	1:30
Slow Down 発令	1:50
Half Ahead 発令	2:10
Full Ahead 発令	2:30
Thermal Load Program	
Half Down 発令	2:50
Slow Down 発令	3:10
終了	3:30

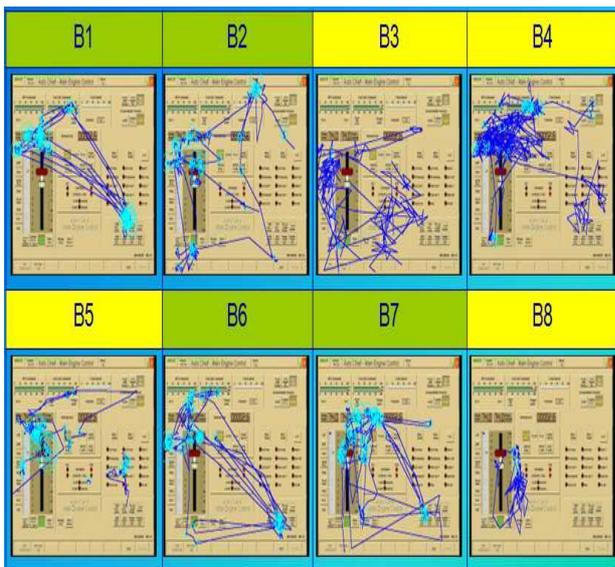


図2. 増速受令 (Thermal Load Program 作動時) 計測結果

図2の計測結果より実線は被験者の視点軌跡、円は注視時間である。初心者被験者8名は予備実験において発令対応と共に、比較的適切な状況把握を行った(B1, B2, B6, B7)と状況把握に於いて、一点集中や視点遊動など比較的不適切であった(B3, B4, B6, B7)が均等になるように、B1~B4, B5~B8の2グループに分けた。以後の本実験では、初心者被験者各々に対して同一シナリオを2度ずつ実施する際、B1~B4には、1度目も2度目も助言無しで実験を実施。B5~B8には、1度目は助言無しで実施するものの2度目の実験前に1度目の結果に基づき一定の助言を与え

た。(但し、助言内容は、プラント構成とその役割の確認に留めた。

4. 2 SW系統トラブル:異常対応が比較的容易なシナリオ

航海中のシーチェストフィルターの汚損過大と主海水ポンプの異常摩耗への対処を課す。前者異常は差圧増加を放置すればアラームが発生する状況であり、後者異常はアラーム発生には至らないが、圧力、温度に注意すれば感知可能な程度とする。前者異常だけに注意が払われると、後者異常には気づかない様な伏線がある。本シナリオは、熟練者には1度、初心者には実験方法に従い2度の実験を実施した。

4. 3 L0系統トラブル:異常対応が比較的困難なシナリオ

航海中の主機カムL0タンクのレベル低下と主機L0クーラー汚損への対処を課す。後者は主機入口圧力の低下に気づけば早期発見対処可能であるが、放置すると油圧低下アラーム、主機トリップに至る。主機L0クーラー汚損が徐々に進行している間に、カムL0タンクレベル低下アラームが発生して、これだけに注意が払われると、後者異常には気づかないという伏線がある。本シナリオも、熟練者には1度、初心者には実験方法に従い2度の実験を実施した。

5. 評価方法

実験で得た ERS 操作記録ならびに視点移動記録を基に、異常発生前のプラント状態確認の有無ならびに異常発生時に必要な対処ならびに確認の有無を判定し、重要度別に重み付けした得点を積算すると共に、不必要な操作を実施した場合には内容に応じて減点し、各人シナリオ毎の操作・管理内容を100点満点で評価した。なお、この100点満点評価は、各々、異常発生前、第1異常対応、第2異常対応の3つに部分に分割して評価した結果を積算して得たものである。

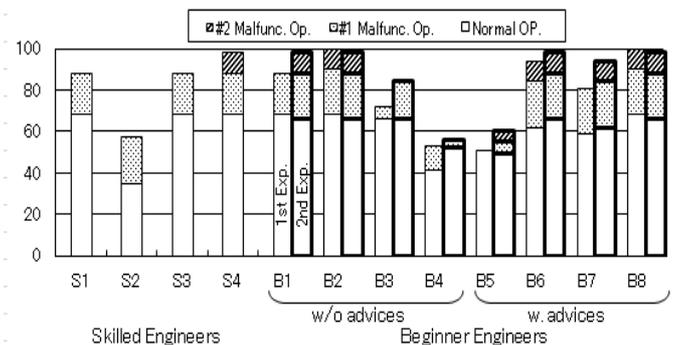


図3. 熟練者・初心者潤滑油系統実験結果

## 6. 実験結果と分析評価

### 6.1 助言効果

初心者8名のSW系統ならびにLO系統の2回各々の総合評価点数ならびに1回目から2回目の評価点数の伸びを図4および図5に示す。

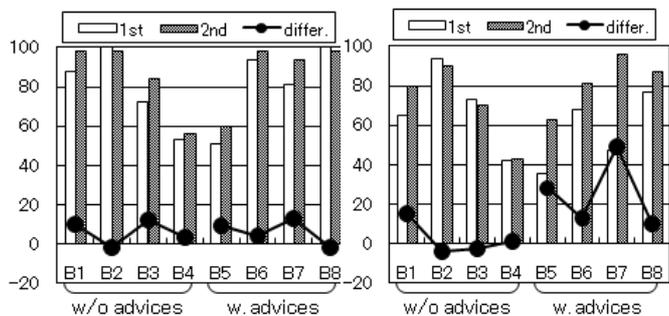


図4. SW 系統実験結果

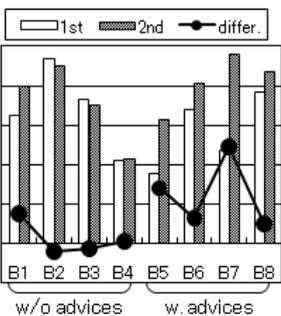


図5. LO 系統実験結果

図4, 図5中の折れ線は, 1回目と2回目の実験結果の得点差を示している。比較的対処が容易であったSW系統トラブル対応では, 1回目から2回目の得点差が小さく, 助言の有無による差は見られない。LO系統トラブル対応では, 助言を与えたグループの得点の伸びが顕著であり, より複雑あるいは困難な状況に於いて助言の効果が見られる。次に助言効果について、小標本を対象とした統計分析法「ノンパラメトリック分析」の内、関連2群差の検討法の1つである「符号検定」による有意性を検討する。

表3. 初心者1回目、2回目の差異による符号検定

被験者	SW#1	SW#2	Differ.	符号	LO#1	LO#2	Differ.	符号
B1	88	98	10	+	65	80	15	+
B2	100	98	-2	-	94	90	-4	-
B3	72	84	12	+	73	70	-3	-
B4	53	56	3	+	42	43	1	+

被験者	SW#1	SW#2	Differ.	符号	LO#1	LO#2	Differ.	符号
B5	51	60	9	+	35	63	28	+
B6	94	98	4	+	68	81	13	+
B7	81	94	13	+	47	96	49	+
B8	100	98	-2	-	77	87	10	+

助言無しのB1~B4のSW系統, LO系統計8組の結果に於いて2回目の得点が減少したケースが3つ, 助言有りの場合は1つである。各々この個数を帰無仮説と設定して発生確率を求めると, 36%と3.5%となり, 助言有りの帰無仮説は5%以下の発生確率であることから棄却され, 助言効果の有意性が確認された。

### 6.2 グループ間の差異について

独立2群(グループ)間の差異についてノンパラメトリック分析の「Mann-Whitney検定」を適用して評価を試みる。最初に, 熟練者4名のグループと初心者4名のグループでLOトラブル対応について評価を行う。全ての数値(得点)が大きい順に並べ, 各々の被験者において数値が上回る件数(人数)をカウントし, グループ毎に積算してU値を求める。本実験の場合, U値が小さいほど当該グループの評価得点が高かったことを意味する。

次に, 初心者の2つのグループ間の差異(均等分割・助言効果)について評価を試みる。ただし4名ずつのグループである為, 有意水準となるU値の限界は設定をしていない。表4は, 各々1回目の実験結果からU値を求めグループの均等分割を検定したものである。実験1回目の2グループ(B1~B4, B5~B8)の差は, SW, 共に顕著ではなく, 均等配分の程度が確認できる。表5は, 各々2回目の実験結果からU値を求め助言効果の有無を求めたものである。実験1回目の2グループ(B1~B4, B5~B8)の差は, 助言有りのグループ(B5~B8)の得点がより上位を占めており, 符号検定結果と同様に助言の効果が確認できる。また, この傾向は, 比較的容易なシナリオSW系統の場合よりも, 比較的困難なLO系統の方が顕著であることが, U値の差から確認ができる。

均等分割	実験1回目における被験者グループ間の比較			
実験名	SW		LO	
被験者番号	B1~B4	B5~B8	B1~B4	B5~B8
U値	8.5	7.5	6	10
U値差	-1		4	

表4. 実験1回目のMann-Whitney検定

表5. 実験2回目のMann-Whitney検定

均等分割	実験2回目における被験者グループ間の比較			
実験名	SW		LO	
被験者番号	B1~B4	B5~B8	B1~B4	B5~B8
U 値	9	7	11	5
U 値差	-2		-6	

最後に、熟練者4名と初心者8名の2グループ間の差違の検定を試みる。表6は、初心者実験1回目の結果を表している。表7. は、初心者実験2回目の結果を対象に、熟練者の結果との差違の検定を示している。熟練者と初心者実験1回目のグループの差は、シナリオ比較的困難である LO 系統で顕著である。熟練者と初心者実験2回目のグループの差は、SW, LO 系統共に1回目より減少し、初心者の成長が確認できる。しかし、シナリオが比較的容易な SW 系統では、確認が出来なかった。

表6. 熟練者と初心者実験1回目の比較

均等分割	実験1回目における被験者グループ間の比較			
実験名	SW		LO	
被験者番号	熟練者	初心者	熟練者	初心者
U 値	15	17	4.5	27.5
U 値差	2		23	

表7. 熟練者と初心者実験2回目の比較

均等分割	実験2回目における被験者グループ間の比較			
実験名	SW		LO	
被験者番号	熟練者	初心者	熟練者	初心者
U 値	19	13	14	18
U 値差	-6		4	

## 7. 結言

PC 版機関室シミュレータ環境下において、機関運転管理中の被験者の人間反応として眼球運動の計測を行い、分析評価した結果を以下のようにまとめた。

簡易な予備実験において、被験者の特性を把握し、目的に応じてグループ分けができる。

一定の制約下で、シナリオに応じた評価方法を開発した。

プラントの通常状態の把握が、早期異常検知と

適切な対応につながることで眼球運動計測結果により具体的に教示できる。

初心者に与える助言の効果は、より複雑な状況において、大きな効果が現れた。

プラントの理解力によって、初心者は迅速に異常に気がつき対処できた。

熟練者は初心者と比較して、その評価結果のばらつきが小さい。

熟練者は、実環境における豊富な経験が、シミュレータ固有の環境への適合を阻害する面が見られた。

統計検定において、小標本によるため5%有意水準では、帰無仮説棄却に至らなかったものもあるが、各標本グループ間の特徴を捉えることが出来た。今後、標本数の確立と種々シナリオの開発が必要である。

以上、少標本による実験結果の統計的信頼性については検討する必要があるが、機関室シミュレータを活用するにあたって教育・訓練手法と機関運転管理評価手法の開発のため必要な基礎資料の一部を得ることが出来た。今後、機関安全運転管理における教育・訓練の改善に役立てたい。

## 参考文献

- [1] Ali KUSOGLU: Professional Marine Engineer's Eye Movement in Case of Engine Operations by Utilizing Engine Room Simulator, 平成16年マリンエンジニアリング学術講演会, (第72回), p99-100
- [2] 中澤武他:機関室シミュレータ訓練の現状平成16年神戸大学海事科学部紀要 p.19-26
- [3] 松崎範行他:船舶機関士の熟達化に関する認知的研究, (社)日本マリンエンジニアリング学会誌 Vol.45 No.2 (2010) p112-120
- [4] 上田拓治:44の例題で学ぶ統計的検定と推定の解き方, オーム社, (2010)