

Supported by  日本 THE NIPPON  
財団 FOUNDATION

**MEGURI2040に係る安全性評価**  
**2020年度 船員スキル定量化事業**  
**成果報告書**

2021年3月

国立大学法人 東京海洋大学

# 目次

<b>1. 研究概要</b> . . . . .	1
1.1 背景と目的 . . . . .	1
1.2 開発目標と期待される効果 . . . . .	1
1.2.1 本研究の達成目標 . . . . .	1
1.2.2 期待される効果 . . . . .	1
1.3 研究内容 . . . . .	1
1.3.1 船員スキル定量化手法の開発 . . . . .	1
1.4 研究期間 . . . . .	2
1.5 研究体制 . . . . .	2
1.6 研究結果 . . . . .	3
1.6.1 船員スキル定量化手法の開発 . . . . .	3
(1) 操船者のタスクと分析 . . . . .	3
(2) 操船者の認知・行動モデル . . . . .	3
(3) OZT を用いたシナリオ策定 . . . . .	5
(4) 行動・生理指標による操船者の行動・ストレス評価 . . . . .	6
(5) 船員スキル定量化手法の開発と課題 . . . . .	9
1.6.2 FRAM モデルによる船長・航海士の操船安全評価に係る調査 . . . . .	10
(1) 船長・航海士の機能要件に関する調査 . . . . .	10
(2) 船長・航海士の法令上の要件に関する調査 . . . . .	10
(3) 機能要件に応じた技量の定量化及び定量化への課題抽出のための 汎用 FRAM モデル作成 . . . . .	10
(4) FRAM モデルと情報伝達のタイミング計測結果による分析 . . . . .	11
1.6.3 まとめ及び今後の展望 . . . . .	13
<b>2. 活動状況報告</b> . . . . .	14
2.1 船員スキル定量化検討委員会 . . . . .	14
2.1.1 第1回委員会 . . . . .	14
2.1.2 第2回委員会 . . . . .	17
2.2 船員スキル定量化検討 WG . . . . .	19
2.2.1 船員タスク分析・行動モデル策定 WG (WG1) . . . . .	19
(1) 第1回 WG1 . . . . .	19
(2) 第2回 WG1 (メール審議) . . . . .	19
(3) 第3回 WG1 (Web 審議) . . . . .	19
(4) 第4回 WG1 (Web 審議) . . . . .	19
(5) 第5回 WG1 (メール審議) . . . . .	20
2.2.2 船員スキル定量化シミュレーション・シナリオ策定 WG (WG2) . . . . .	20

(1) 第 1 回 WG2 . . . . .	20
(2) 第 2 回 WG2 . . . . .	20
(3) 第 3 回 WG2 . . . . .	20

## 1. 研究概要

### 1.1 背景と目的

最近の自動運航に係る技術開発の進展等に伴い無人運航船への期待が高まっており、日本財団の「無人運航船の実証実験にかかる技術開発助成プログラム」によって、その早期実現が加速された。無人運航船の早期実現を確実なものとするためには、無人運航船の安全評価をはじめとする社会基盤の早期整備が必要不可欠である。

従来型船舶は、航海計器等と船員のスキルによって運航されている。無人運航船とは、即ち、同船の操船等を行う無人運航システムが船員スキル（操船、見張り等）を代替できる船舶であることを意味するが、その基盤となる船員スキルの定量化（基準化）を早急に実施する必要がある。

本事業を行うことで、無人運航船の実用化を支え、社会の受容性を高め、我が国の海事産業の変革と発展の一助となることを目的とする。

### 1.2 開発目標と期待される効果

#### 1.2.1 本研究の達成目標

無人運航船とは、同船の操船等を行う無人運航システムが、船員による操船、見張り等の各種機能を代替し、その性能が船員と同等以上の安全性能を有している船舶である。船員が担っている各種機能に関して、人間の知覚・認知等に係る最新の測定機器を用いた実航海や操船シミュレータ等による実験を通して、船員の知覚・認知等に係る様々な生体データを取得し、これら生体データに基づく船員スキルの定量的解析手法の開発、船員スキルの定量化（基準化）を行う。

#### 1.2.2 期待される効果

船員のスキルを定量的に示し、無人運航システムの安全評価のための基準を定めることによって、これに伴い無人運航システムに係る各種技術の開発ポテンシャルが格段に高まることとなる。さらに、船員スキル定量化解析手法等を海外に発信することにより、無人運航に係る技術開発、これら技術の実用化等様々な分野において世界を大きくリードすることも可能となる。結果として、我が国が無人運航船分野において世界をリードし、我が国海事産業の変革と発展を促すこととなる。

### 1.3 研究内容

#### 1.3.1 船員スキル定量化手法の開発

「実証実験に係る技術開発共同プログラム」により、無人運航船の早期実現が加速されることとなった。実験を円滑かつ速やかに進めるためには、実証される船舶やシステムの第三者による安全評価

が必要である。

このため、「無人運航船に係る安全性評価等事業」により、個々の実証船舶に係る安全評価を行い、その際、安全レベルやその評価手法の開発を含む各種課題の解決も図る。本事業により、無人運航船の実用化を支え、その社会への受容性を高めることを狙いとしている。

## 1.4 研究期間

2020年度から2022年度までの3年計画。

<2020年度>

### (1) 船員スキルの定量的解析手法の構築

船長、航海士等船員の知覚・認知等に係る最新の測定機器を用いた操船シミュレータによる実験によって、船員の知的負担を含む様々な生体データを取得し、これら生体データを整理・分析することで、操船作業（離着舷を含む）に関する定量的解析手法を検討し、定量的解析手法（暫定案）を策定する。

<2021年度>

### (1) 船員スキルの定量的解析手法の確立

2020年度に策定した定量的解析手法（暫定案）の妥当性を検証するため、実際の状況である実船運航時における船員に係る生体データを取得・分析し、定量的解析手法を確立する。

### (2) 船員スキルの定量化

(1)の定量的解析手法に基づき、実船運航時やシミュレータ実験時における船員の操船等に係る大量の生体データを取得・整理し、これら操船等のスキルの定量化に関する分析を行う。

<2022年度>

### (1) 船員スキルの定量化

2021年度に引き続き、実船運航や操船シミュレータ実験を通じて船員の生体データの取得等を行い、船員スキルの定量化を行う。

## 1.5 研究体制

国立大学法人東京海洋大学および独立行政法人海技教育機構をプラットフォームとする研究開発チームを立ち上げ、船員スキル定量化検討委員会（TC）および二つのワーキング・グループ（WG）を組織した。今年度は、事務局主催の会議として、計2回のTC会議、計5回のWG1会議、計3回のWG2会議を開催した。また、各WGでは適宜、連携を取りながら研究活動を行った。参加した関係者は以下のとおりである。

## ●国立大学法人東京海洋大学

庄司るり (海事システム工学部門)  
村井康二 (海事システム工学部門)  
田丸人意 (海事システム工学部門)  
榎野 純 (海事システム工学部門)  
西崎ちひろ (海事システム工学部門)

## ●独立行政法人海技教育機構

堀 晶彦 (海技教育機構)  
織田陽一 (海技教育機構)  
前田 潔 (海技教育機構海技大学校)  
市川義文 (海技教育機構海技大学校)  
万谷小百合 (海技教育機構海技大学校)  
佐々木利章 (海技教育機構海技大学校)  
戸羽政博 (海技教育機構海技大学校)  
齊藤 学 (海技教育機構海技大学校)  
加藤由季 (海技教育機構海技大学校)  
道下裕子 (海技教育機構海技大学校)  
金井正文 (海技教育機構海技大学校)

## 1.6 研究結果

### 1.6.1 船員スキル定量化手法の開発

#### (1) 操船者のタスクと分析

操船者のタスクについては、ここでは自身の航海士経験を基に、航海当直に際して考えられるすべての考慮事項及び作業を明確にし、それらのうち無人運航船において必要なスキルとして整理した。ここでは、操船に必要な運航者の要素技術をタスクと呼んでおり、サブタスクと呼ばれる分類や関連要素も含めている。タスクは、(1) 法規遵守 (2) 計画 (3) 機器取扱 (4) 見張り (5) 情報交換 (6) 船位測定 (7) 操縦 (8) その他の考慮事項、の8項目に整理した。

#### (2) 操船者の認知・行動モデル

「船員スキルの定量化」を行うにあたっては、前項(1)でリストアップした船員のタスクが実行されるべき順番やタイミングを事前に整理しておく必要がある。つまり、船員の意思決定モデルに基づく船員のタスク分析が必要である。NK ガイドライン (NK: 一般財団法人日本海事協会 ClassNK) で示された船員の意思決定モデルを図1に示す。本モデルはとてもシンプルなモデルであり、「認知」「判

断」「対応」に具体的な船員のタスクを当てはめる必要がある。そこで本研究では、図2に示す一般的なヒューマンモデル（Endsleyの人間の意思決定過程における状況認識モデル）を基本に、船員の意思決定や状況認識のモデルを考え、モデルに基づいた船員タスク整理を行った。

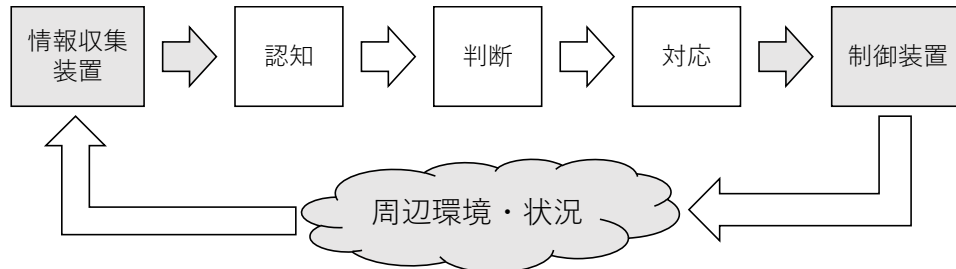


図1 NKガイドラインにおける船員の意思決定モデル

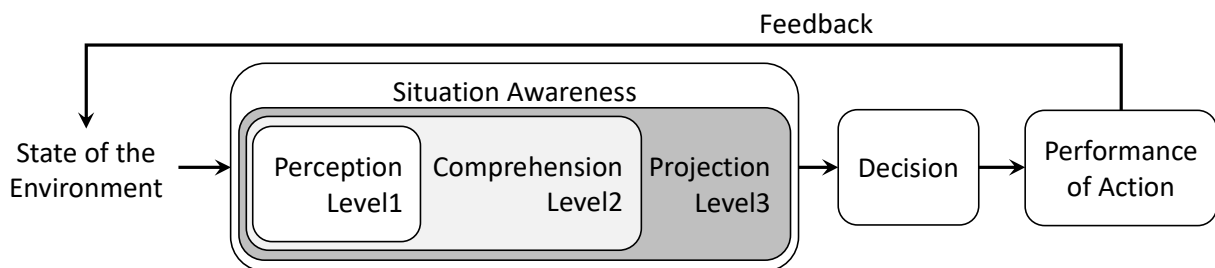


図2 Endsleyの人間の意思決定過程における状況認識モデル

他船に対する避航について船員の状況認識を考えると、まず他船を発見（認知）し、他船に対して様々な情報収集を行った上で、それらの情報を組み合わせて見合い関係などを理解し、他船の将来動向を予測することになる。その後、予測された他船の動静から、衝突の危険性の有無を判断し、もし衝突の危険がある場合には避航行動をとると考えられる。Endsleyの状況認識モデルを基にJMETS（海技教育機構）及びTUMSAT（東京海洋大学）の考える船員の意思決定モデルを図3に示す。NKガイドラインにおける船員の意思決定モデルとの対応は、“認知”が「情報収集・認知、理解、予測」に、“判断”は「行動決定・行動計画」、 “対応”は「行動」に相当する。情報収集から認知、理解、予測、そして行動計画及び行動決定、行動までの一連のタスクは、行動してから改めて情報収集のタスクに戻る場合や、情報収集、理解、予測までのタスクを実施し、もう一度情報収集に戻る場合など、ループ状に繰り返して実施されることが考えられる。

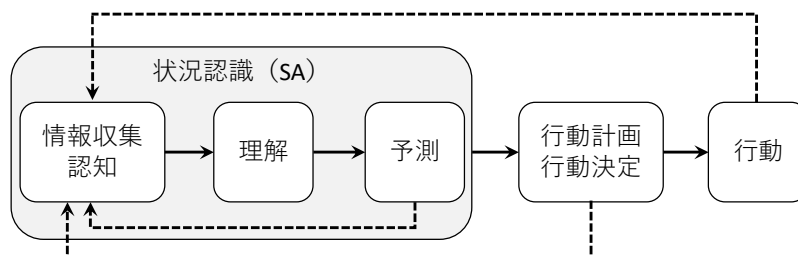


図3 Endsleyの人間の意思決定過程における状況認識モデル

### (3) OZTを用いたシナリオ策定

今年度は避航操船に係る「理解、予測、行動計画、行動決定、行動」に着目し、これらのスキルが評価できるシナリオ策定について検討を行った。

シナリオ策定を進めるにあたり、まずは策定根拠となるパラメータを決めておく必要がある。避航操船の危険度を評価するパラメータとして、距離と他船方位（ベアリング）の変化、DCPA（Distance of CPA）・TCPA（Time to CPA），CJ 値，SJ 値，CR 値等がある。これらは操船結果の最終的な良し悪しを評価する際の参考値として利用できるが、悪い操船結果に対して、悪いと判断された要因を表現するためには明らかに情報量が不足している。従って、これらをシナリオ策定の根拠に用いた場合、将来的に操船結果と操船評価の因果関係を明確に示すことが困難になると予想される。そこで本事業では、避航操船時の「理解、予測、行動計画、行動決定、行動」に係る操船者への支援情報として非常に有効である Obstacle Zone by Target（以下、OZT とする）を利用した。

OZT とは、図 4 に示すように、他船と衝突する可能性が高い危険領域を視覚的に表現する手法である。図 4 は、右斜め前方に DCPA が 0 海里、TCPA が 30 分の横切り船（No.1）と、自船の右側に DCPA が 1.2 海里、TCPA が 49 分の同航船（No.2）がいる状況である。自船の船速及び他船の行動変化が無ければ、危険領域の範囲はほとんど変わらないため、OZT を防波堤のような位置不変の障害物と同じように見なすことができる。現在の船舶運航で衝突危険の指標として使われている他船方位・距離の変化、DCPA・TCPA は相対運動をベースにしているが、そもそも、目的地や計画航路、自船の操縦運動（旋回径など）は、他船の操縦運動とは無関係であるため、自船の避航行動を決める際には相対運動～真運動の座標変換が必要となる。他方、OZT は真運動をベースとしていることから、自船の避航行動を決める際に目的地や計画航路、自船の操縦運動を考慮するための座標変換をする必要が無い。さらに、DCPA・TCPA は、あくまで最接近した時点での値であるため、特に同航に

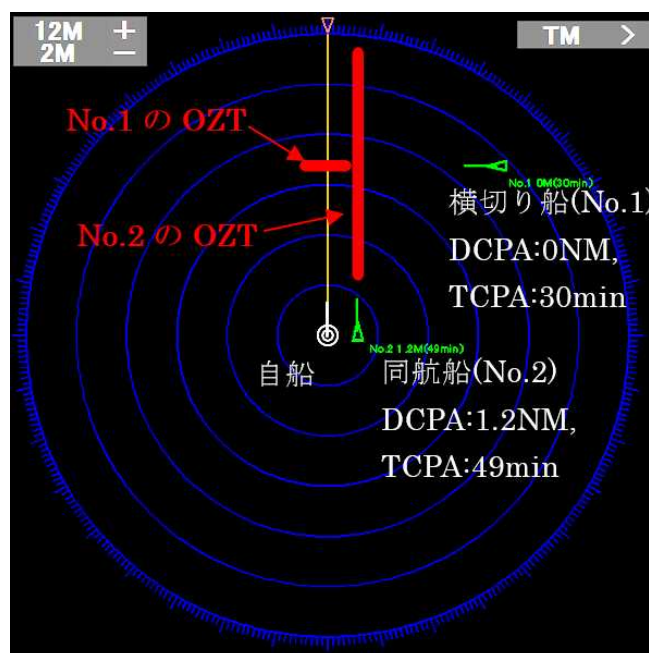


図 4 OZT のイメージ



近い状態の他船に対して使用する際に注意が必要である。図4において、No.2(同航船)はDCPA・TCPA共に比較的大きな値であり、これらの数値だけを見たら、直ちに大きな避航動作をとる必要は無いのでは、と誤解されるかもしれないが、OZT分布によれば、右側に避航する場合、この時点で約30度の大角度変針が必要であることが容易に分かる。このようにOZTは、最接近時に限らず、本当に危険な領域を的確に表示するとともに、どのような行動をとれば安全かつ効率的に避航できるかを操船者に分かり易く示す手法である。また、OZTは操船者の避航操船を支援するツールとしてだけでなく、航行警報システムの改善、海上交通流の解析、衝突海難事故の因子分析、さらには効果的な教育への利用など、多岐にわたって利用できることから、本事業のシナリオ策定でも有効であると考えた。そして、自船周りのOZT分布等を調べることにより、操船スキルの可視化に関する検討や避航操船をする際に考慮すべき事項の洗い出しを行った結果、避航操船に係るシミュレーション・シナリオに組み込むべき事項は、

- ・自船の近くに同航船が存在する状況
- ・自船の現針路上にOZTが存在し、そのOZTを避けるルートに第3船(針路・速力は変更しない)のOZTが存在する状況
- ・シミュレーション開始時には自船の計画航路上にOZTが存在しないが、他船が変針点で変針、もしくは避航のために行動を変化する事により、自船の計画航路上にOZTが現れる状況

であることがわかった。

#### (4) 行動・生理指標による操船者の行動・ストレス評価

図5に2名の被験者(B, C)に対する操船シミュレーション結果を示す。2名の被験者には乗船経験年数に差があり、果たして、どちらの乗船経験年数が長いかと問われると図5の航跡から大半の方は被験者Bと回答するであろう。その理由は、被験者Cは操船判断を行うための予測が直近の他船に対してのみであり、いわゆる行きあたりばったりの避航操船を繰り返すこととなっていると考えられ、それと比べて被験者Bはその予測がもっと先のところまで及んでいると考えるからである。結果としては、両者ともに衝突などの事故を起こしているわけではなく、問題が無いといえば、その通りかもしれない。しかしながら、船員の操船スキルにおいては、他船に危険を感じさせない、安心・安全を先取りの行動により獲得することが良いとされ、また、操船の自動化を目指す課題に対しては、どのような認知、判断によって、被験者Cや被験者Bの航跡となるのか?の認知のタイミング(モノサシづくり)や判断の閾値(見張り、操船に対する安心・安全の確保)を数式化は困難であるとしても座標空間に表現することが必要となる。

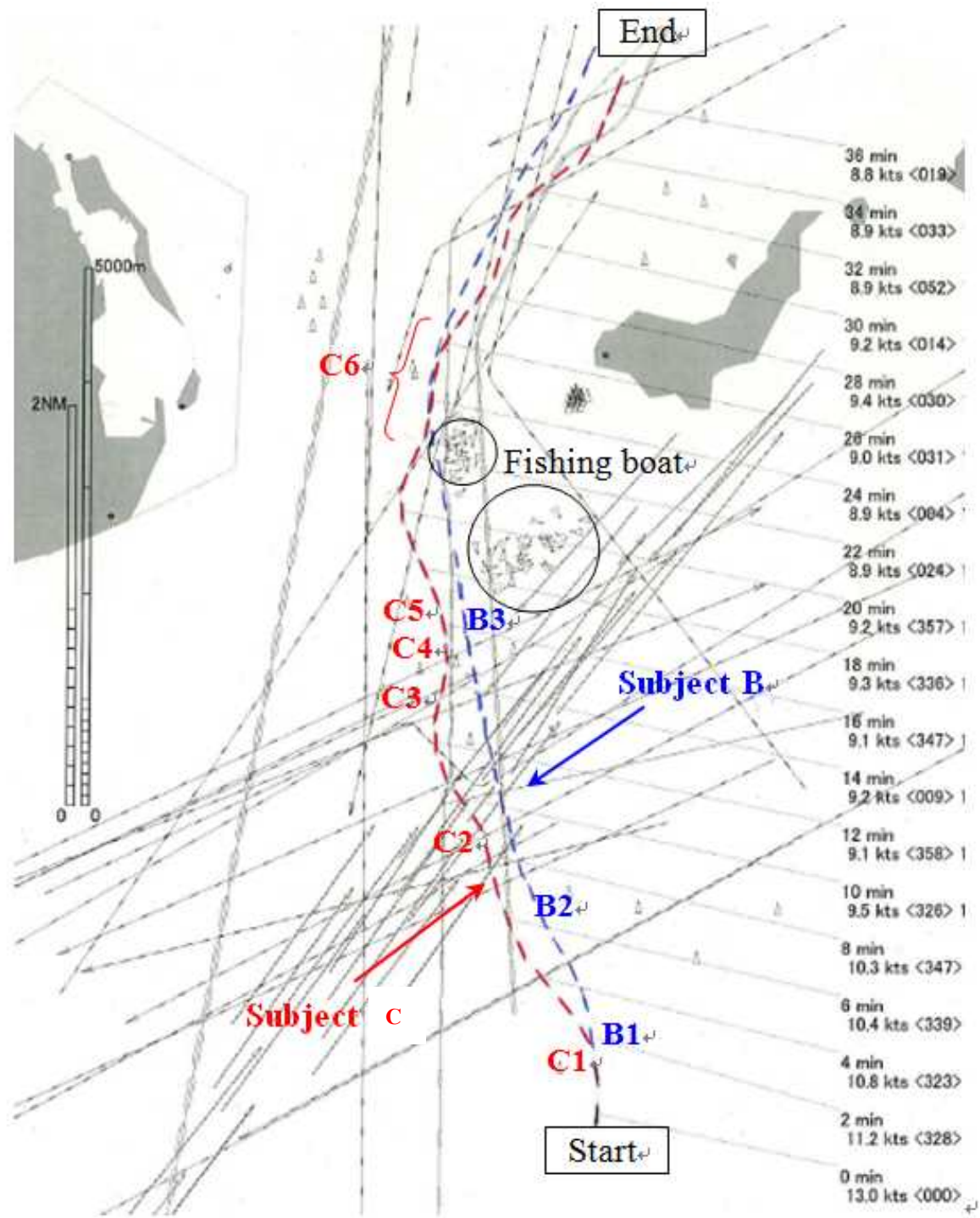
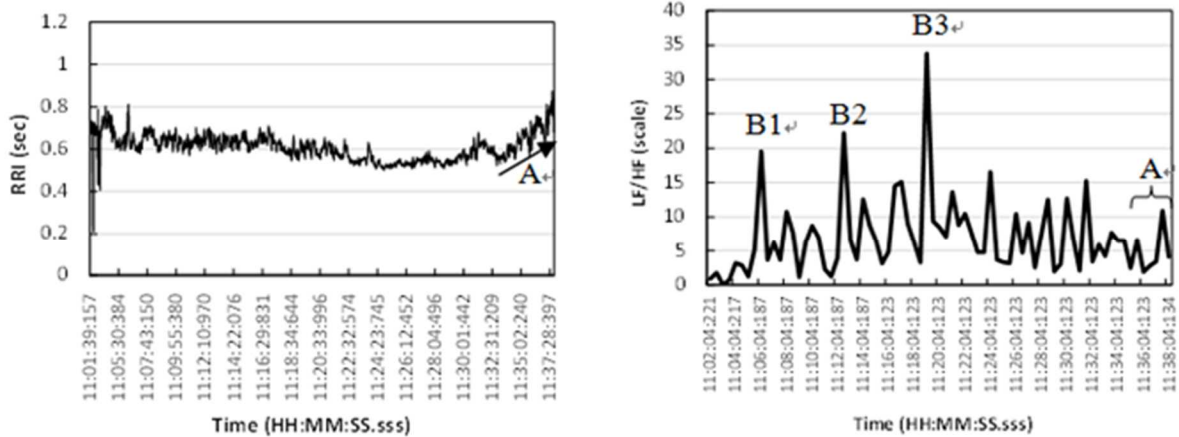


図5 シミュレーション結果（航跡）の一例

次に、図6に図5の操船シミュレーション時における被験者B、Cの心拍R波間隔（RRI：RR Interval）と心拍R波間隔変動の周波数成分比(LF/HF)の結果を示す。ここで、LF(Low Frequency)：0.04-0.15[Hz]、HF(High Frequency)：0.15-0.40[Hz]である。RRIは瞬時心拍数であり、“1”の値が60[bpm]に相当する。LF/HFは値が増加するほどストレス状態と考える。ただし、その評価は行動分析によるイベントとRRI、LF、HFなどの値と相互に比較することで行う必要がある。図

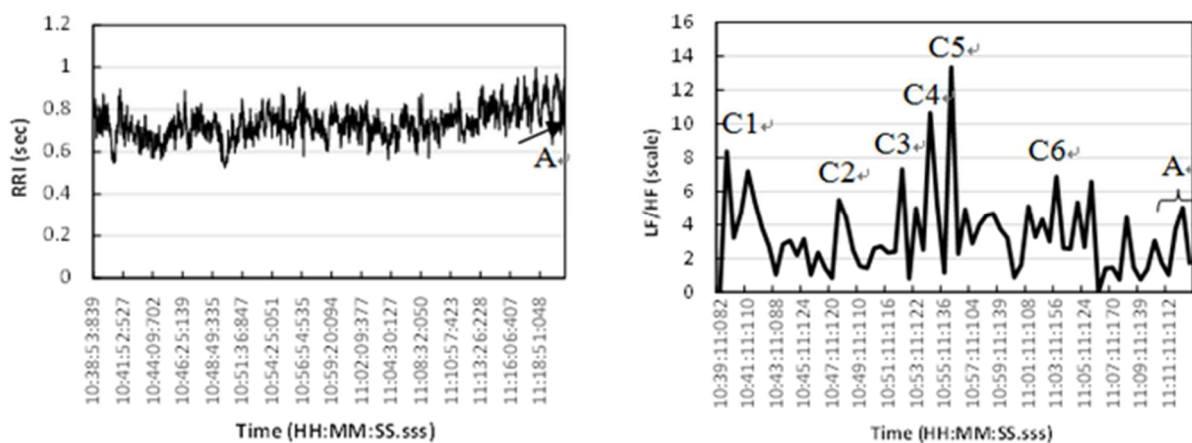
6より、各航跡の避航判断を行うところで顕著な応答が確認できる (B1-B3, C1-C6)。これらの応答を認知・判断・実行のヒューマンモデルをもとに見張り・操船タスクと照らし合わせることで、見張り・操船タスクと認知のタイミングや判断の閾値を定量的に抽出、評価できると考えられる。



(a) RRI

(b) LF/HF

(被験者B)



(被験者C)

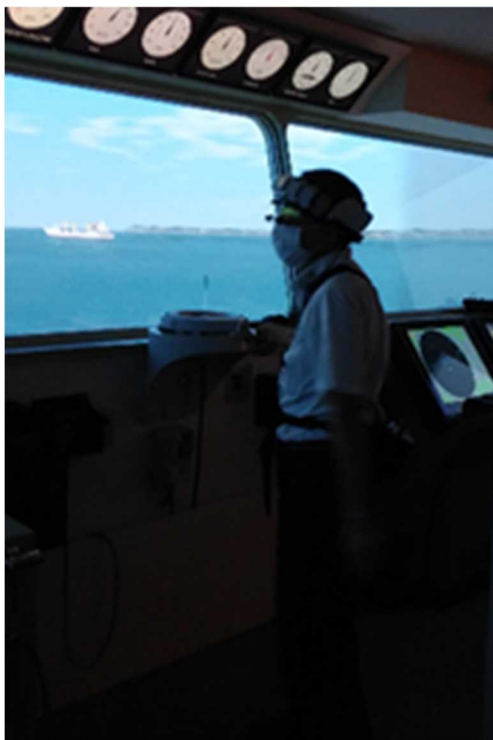
図6 シミュレーション時のRRI (左) とLF/HF (右)

さらに、乗船経験差により認知の部分となる視点 (見ているところ) が異なることは眼球運動装置を用いた定量的解析により、産・学ですでに明らかとされている。ただし、測定された視線データのみでは、意識的な注視か意識下 (サブリミナル) における経験により培われた自然的注視かまでは発話などにより操船意図を確認したとしても十分に精査することは困難と考えられ、意識下における認

知を抽出，推測することは困難である。そこで，人体活動の司令塔である脳の活動を評価データとして加味することで，より評価精度を向上させる。近年のセンサ技術の発達により小型化かつ測定精度のよい，取扱い便利な各種測定装置による行動・生体データを同時計測，モニタリングすることが実行可能となってきたことから，本研究においても実行が可能である。

本研究では，わが国の船員養成を学科教育と練習船による航海訓練を通じた一貫教育として実施している日本人船員養成の基盤である独立行政法人海技教育機構の船長を船員スキルの教師データ対象として位置付ける。そして，その船長の船員スキルの定量化の手法として，従来からの操船スキル評価手法である主観的な行動分析に加えて，眼球運動，脳血流，心拍変動，唾液などの行動・生体データを同時測定することで，相対的ではあるが定量的なデータを用いた操船タスクとの突合せによる船員スキル定量化手法の開発を行う。

図7に海技大学校で実施した予備実験風景を示す。操船者のみでなく，他船などを制御するオペレータの行動・生体データも同時解析することで船舶交通環境全体を対象とした総合的な分析，評価を行う。



(船橋室)



(オペレータ室)

図7 予備実験風景（眼球運動装置，脳血流測定装置，生体情報測定装置を装着）

#### (5) 船員スキル定量化手法の開発と課題

船員スキル定量化手法の開発では，“認知”「情報収集・認知，理解，予測」，“判断”「行動決

定・行動計画」, “対応” 「行動」の中で, 行動に至るプロセスとなる“認知”, “判断”の部分にあたるタスク分析と, そのタスク分析に対する行動・生体データの応答との関係を精査することで, 見張り・操船に対する必要タスクとその結果となる“対応”である操船行動結果の両者を分析, 評価することが主となる。そして, 操船者のタスクは非常に複雑であり, そのタスクの繋がりを十分に精査することが本研究の課題となる。そこで, タスク分析としては, 機能特性を評価するFRAM (Functional Resonance Analysis Method) を用いて行う。また, 操船者の感性評価によるタスク分析も評価グリッド法による構造化評価により合わせて行い, “人”に対する評価として, 十分なタスク分析を行うこととする。

### 1.6.2 FRAMモデルによる船長・航海士の操船安全評価に係る調査

船長・航海士の機能要件(タスク・サブタスク)を明らかにし, 機能要件等に応じた技量の定量化(自動化システム等の性能基準案として整理)を策定することにより, 人間としての船長・航海士と人間に代替する自動化システム等との同等性を評価するための基礎資料について以下の調査を実施した。

#### (1) 船長・航海士の機能要件に関する調査

本作業では, 以下2つの項目について検討を実施した。検討の結果として, 整理した船長・航海士の機能要件(タスク・サブタスク)は付録6.1項に示す。

- ① 熟練した大型船の船長・航海士に対するヒアリング調査等を行い, 東京海洋大学・独立行政法人海技教育機構が作成した船員タスクのリストをベースとして, 船長・航海士の機能要件(タスク・サブタスク)を整理
- ② 整理した機能要件に対して「認知」「判断」「操作」「その他」のどれに分類されるか識別

#### (2) 船長・航海士の法令上の要件に関する調査

本作業では, 付録4.1項により明らかになった機能要件(タスク・サブタスク)のうち, 法令上適合する必要がある要件を抽出した。法令上適合する必要がある機能については, 付録6.2項のFRAMモデルにおいて関係性を示した。

#### (3) 機能要件に応じた技量の定量化及び定量化への課題抽出のための汎用FRAMモデル作成

本作業では, 機能要件(タスク・サブタスク)に応じた技量の定量化(性能基準案策定), 定量化にあたっての課題抽出のために汎用性の高いFRAMモデルを作成することを目的として, 以下6つの事項を行った。作成したFRAMモデルを付録6.2項に示す。

- ① 付録 4.1 項により整理した機能要件に基づき、FRAM モデル素案を作成し、東京海洋大学・海技教育機構と議論し、FRAM モデルを更新
- ② 付録 4.2 項の調査結果を踏まえ、法令の規定に関する情報を FRAM モデルに追加
- ③ 事故事例の動画などを使い、エキスパート（熟練の船長・航海士）とのディスカッションをしながら、それぞれのケースで、どのように操船すれば衝突が防止できるのかという、「成功要因」の抽出を目的としたインタビューを 2 回実施
- ④ 上記③のインタビュー結果を踏まえ、FRAM モデルを更新
- ⑤ 海技大学の操船リスクシミュレータを使い、エキスパートの方からよりリアリティのある状況（衝突の危険性の高いシナリオ）での言動について分析
- ⑥ 上記シミュレーション結果を使い、FRAM モデルを更新

#### (4) FRAMモデルと情報伝達のタイミング計測結果による分析

分析の結果、付録 6.2 項のとおり FRAM モデルを作成した。作成した FRAM モデルは、以下の 7 つのサブネットワークで構成される。それぞれの特徴及び自動化に際しての課題を以下のように識別した。

##### ① 見張り・長期計画

- 見張りにおいては、一点測位情報を運動量へ変換するが、その際、船先を相手に向けるという操作が運動量を精度よく求める際に極めて有効であることが、ベテランキャプテンへのヒアリングで明らかとなった。これは、固定カメラを使用する自動運転においても、同様に有効であると考えられる。
- 長期計画は、あらかじめ定義された各種情報を計画通りに粛々と収集する作業となる（FRAM モデル上では、全てが Resource への入力）。したがって、自動化は比較的容易と考えられる。

##### ② 中・短期計画

- 中期計画は相対距離 4～5nm 程度における安全化計画、短期計画は相対距離 1～2nm 程度における避航操縦の実行計画である。ここでは、長期計画に従った予定航路を予定時間内に航行するという経済性と、衝突を避けるための安全性とのトレードオフという形で計画が作成・更新される。
- 中期計画は、大型船舶にとって最も重要な相対距離 4～5nm 程度における安全化計画である。すなわち、航法が適用されないこの相対距離において、航法に縛られず、大きく安全化のために意思表示を行うことにより、短期計画フェーズで困難な三体問題等に陥る可能性をいかに削減できるかが、安全のキーとなることが、ベテランキャプテンのヒアリングの結果明らかになった。
- 短期計画は、大型船舶にとって実行が比較的困難となる相対距離 1～2nm 程度における避航計画である。この相対距離においては、航法が適用となるため、自由な避航は行えない。また、小回りの利かない大型船舶にとっては、避航方法にも制約がある。このフェーズにおいては、

もし危険な状況に陥った場合は、基本的に減速・停止することが重要であることが、同じくベテランキャプテンとのヒアリングにより明らかとなった。

### ③ 危険予知・実行

- 危険予知・実行は、見張りから渡される他船・物標の位置・速度・方位という情報から早期の危険予知を行いつつ実際の操縦を行う。特徴は、その実行プロセスの中で、見張り、全体シーン理解、見合いシーン理解、衝突時刻予測、避航のためのフリースペースの確認、避航行動の効果の確認といった6つもの認知を、行動・判断とのフィードバックループを構成しつつ、並列に実行していることである。このアーキテクチャーは、操船に関して極めて複雑性の高いものであり、6つの認知を同期させながら巧みに実行してゆく高度な人間の能力が表れている箇所である。

### ④ 法規・各種ルール等に規定された航法

- 航法については、FRAMモデルから以下の2つの大きな特徴が識別された。

#### ◇ 横切り船航法における三段階の判断

この三段階の判断は、直列に行われるため、どこかで判断の停滞が起これば、避航のための余裕時間が急激に失われることとなる。

- 自身が避航船・保持船のいずれの立場になるかを判断する
- 相手の避航行動の有無を確認する
- 協力動作の必要性の有無を判断する

#### ◇ 追越航法と狭い水道等の航行

この2つの航法は、港則法と衝突予防法との間で競合関係にあり、港則法では大型船舶優先、予防法では被追越船優先の思想が適用される。したがって、被追越船となった場合の協力動作の取り方を自動化することの難易度が高い。

### ⑤ エンジン・推進系のトラブルシューティング

- FRAMモデルにおけるこのサブネットワークは、生物の神経系や血管に類似した構造、すなわち、直列につながったリソース提供ネットワークを構成している。これは、上記の「長期計画」のように、トラブルの種類ごとにすでに収集すべき情報が既知のものとなっており、物理的な「修理」を除けば自動化も可能であると考えられる。

### ⑥ 事故対応、転落者の救助

- 事故対応、転落者の救助に関しては、ともに現場に優秀な人間がいることが必要と考えられる極めて高度な判断力、及び柔軟さが求められるサブネットワークである。自動化においては、FRAMモデリングで識別された20項目について、地上オペレータを含む人間に対して適切な情報を提供するためのシステムを別途構築することが求められると考えられる。

### 1.6.3 まとめ及び今後の展望

本研究では、操船者の見張り・避航操船を主対象として、操船者である人の認知・判断の分析を行うために、まずタスク・要素を抽出し、操船者の行動モデルを重視することから状況認識の考え方を採用し、タスク分析を FRAM 解析により行った。そして、操船者の行動結果への過程であり、その行動結果に対する裏付けデータとして、FRAM 解析による機能分析とその機能過程に対応する行動・生体データを測定した。そして、タスク分析については、人の感性を含めた評価を加えた調整が必要と考えられ、避航操船については、その認知・判断部分で目標との方位変化、距離などとの各パラメータとの突合せによる精査が今後の展望となった。



## 2. 活動状況報告

### 2.1 船員スキル定量化検討委員会

「無人運航船に係る安全性評価等事業」の実施に当たり、第三者の観点から意見をいただくため、4件の外部委員会が設置され、その中で、①船員スキル定量化手法（タスク分析、シナリオ作成、シミュレータ実験等）の検討、②船員スキル定量化の検討、③ステアリング委員会への報告を目的として、本委員会を設置した。

#### 【構成メンバー】（敬称略）

委員長 庄司るり	国立大学法人 東京海洋大学 副学長 教授
川崎潤二	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産大学校 教授
川瀬 悠	一般社団法人 日本船主協会 海事人材部 係長
斎藤直樹	一般財団法人 日本海事協会 事業開発本部 海技部 部長
外谷 進	独立行政法人 海技教育機構 企画調整部 次長
長田典子	関西学院大学 理工学部 人間システム工学科 教授
本田直葵	東京湾水先区水先人 二級水先人
脇田慎一	産総研・阪大 先端フォトニクス・バイオセンシングオープン イノベーションラボラトリ 副ラボ長

#### 【委員会活動】

##### 2.1.1 第1回委員会

日 時：2020年10月28日

場 所：独立行政法人海技教育機構横浜本部（対面審議）＋オンライン（Web 審議）

資 料：

資料 20-1-0-1 船員スキル定量化検討委員会 委員等名簿

資料 20-1-0-2 秘密保持誓約書

資料 20-1-0-3 知的財産権技術資料リスト

資料 20-1-1-1 無人運航船安全性評価等事業の概要

資料 20-1-1-2 委員会構成及び TOR (委任事項) について

資料 20-1-2-1 タスクリスト及び見張りモデル

資料 20-1-2-2 船員スキル定量化事業の概要

参考資料-1 第 1 回無人運航船ステアリング委員会 議事概要

参考資料-2 船員スキル定量化事業の流れ (イメージ)

## 内 容 :

### 議題 1) 無人運航船安全性評価事業の全体計画について

【事務局より、資料 20-1-1-1、資料 20-1-1-2、参考資料-1 をもとに、無人運航船安全性評価等事業の概要、本事業で設置する委員会の構成及び TOR (Terms Of Reference) 等について説明があった。主な議論は次のとおり。】

- この委員会でも実証実験の詳細の内容に踏み込むのか。
- 実証実験の安全性評価は「安全評価等実施委員会」で議論する。この委員会は評価には直接関係しないが、間接的には関係する。

### 議題 2) 船員スキル定量化事業について

#### ① 船員タスク分析について

【事務局より、参考資料-2、資料 20-1-2-1 をもとに、船員スキル定量化事業の流れ (イメージ)、本事業におけるタスクリスト及び見張りモデル等について説明があった。主な議論は次のとおり。】

- ステアリング委員会 (2020 年 9 月 8 日) で有人宇宙システムの野本委員が「タスク分析」について発言し、「今年度は (有人宇宙システムの協力を) 組み込んでいない」と事務局が回答したが、この議題の「タスク分析」は同じ意味か。
- 野本委員の分析方法は細かい分析 (FRAM) であり (今後相談する予定だが)、ここで言う「タスク分析」はプリミティブな船員の作業を区別するもので、全く違うものではない。
- タスクとは「船員の作業」とのことだが対象範囲を説明してほしい。
- まず作業をもれなくリストアップしたが、揚投錨, 出入港など, 全てをシミュレータ実験で網羅できないので, 見張り作業を中心としたシナリオを想定してリストを作成した。
- 実証実験は既存航路で無人運航を目指すとのことだが, 既存航路を想定してシミュレータを使うのか。船種はどういう想定か。
- 実証実験の想定とは切り離してシミュレータ実験を行う。航路はスキル定量化しやすい海域を選ぶ。船種は, 一般的な船, 社船などを想定。
- 船員スキル定量化のシミュレータ実験の結果を反映して, 総合シミュレーションシステムを作るので, (混乱するかもしれないが) 区別して考えるべき。
- タスクリストは STCW 条約の能力要件がベースだとすると, 「タスク」でなく「能力」という方が近いのではないか。また野本委員のいう「タスク分析」は別のアプローチでないか。野本委員のタスク分析がマッチすれば信頼性の高いものができるだろう。

#### ② 船員スキル定量化について

【事務局より、資料 20-1-2-2 をもとに、船員スキル定量化事業の実施内容、実施計画等について説明があった。主な議論は次のとおり。】

- AI の自律航行プログラムに必要となる知見と、脳波・眼球運動などの生体データとの接点は。この事業は自律航行船やスーパー船長までいくのか。
  - この事業は安全評価の基礎データになる。操船のプロがどのように安心安全をキープするかマッピングする。生体データは精度をあげるためのもの。自律航行船は一気には無理だが、安全を確保しながら、ひとつひとつ自動化が進むと理解。
  - 船長が何をしているかを踏まえ、機械がどうするか、置き換えるという作業が「肝」だ。
- 安全性という点でいい評価方法だ。脳科学的に測る手法として AI やディープラーニングに将来的につながることを期待する。NIRS (脳機能測定装置) を採択したのはどういう観点か。
  - 唾液のストレスホルモンは情報提供のご協力をお願いしたい。脳波計測は個体差が拭いきれない。研究期間が短く、個体差を吸収するような観点から NIRS を選択した。NIRS は昔と比べて洗練され、データが取りやすいことも理由。
- 東京湾の水先業務では数秒の判断が多い。「チラ見」という感覚。安全確認ができたらずぐに次の情報を取得するくり返し。チラ見で脳血流は集中するのか。
  - この事業では、シナリオを作って見たことを認知・識別したか、という確認作業を行う。現実と我々の実験の想定は少し異なる。チラ見が反映されるかは、ストレス計測など、脳血流以外の指標も見て判定する。
- 被験者がこのような判断した、それが正解かはどう評価するのか。
  - 解はひとつではない。プロ中のプロの船長のデータを考慮する。
- 無人運航船事業全体への寄与として、この事業は総合シミュレーションシステムへどのように反映されるのか。
  - この事業のデータを集め、実証実験のコンソーシアムのデータも活用し、総合シミュレーションシステムに反映させるが、リンクした結果ができればいい。機械の操船は人より安全性が高くなければならない。
  - 知的所有権もあるので無人船をブラックボックスにしたいとのニーズがあり、DNV もそうだが、ブラックボックスのまま承認したいというトレンドがある。中身が分からずに判断しなければならないが、船員スキル事業のデータが使えれば良い。どうなれば危険かなどの境界条件 (ものさし) でブラックボックスの性能を判断できればいい。走りながら考えているが、1年2年ですぐに変化する。
  - ここで人間が危ないと判断する、などの閾値を見つけられないかと理解している。定量化できれば行動・判断などにつなぐため有人宇宙システムのタスク分析に組み入れると理解している。
  - 生体データは、船のルートを最適化するための境界条件を求めるため必要と考えている。
- BRM の観点から、ブリッジメンバー全員のデータと AI の比較ができればいい。
- 「評価グリッド法」による構造化・可視化の手法を使うのが良いのでないか。NIRS の計測も期待するが、脳波の方が良いかもしれない。ヒューマンモデルとして自動車の機会学習のモデルをファインチューニングして船に転用できれば良いのでないか。

## 2.1.2 第2回委員会

日 時：2021年2月15日

場 所：独立行政法人海技教育機構横浜本部（対面審議）＋オンライン（Web 審議）

資 料：

- 資料 20-2-0-1 船員スキル定量化検討委員会 委員等名簿
- 資料 20-2-0-2 知的財産権技術資料リスト
- 資料 20-2-0-3 第1回船員スキル定量化検討委員会議事概要
- 資料 20-2-1-1 船員スキル定量化事業ロードマップ
- 資料 20-2-1-2 操船シミュレータ実験（8月）の概要
- 資料 20-2-1-3 操船シミュレータ実験（1～2月）の実施状況
- 資料 20-2-1-4 OZT を用いたシナリオの検討
- 資料 20-2-1-5 FRAM モデルによる船長・航海士の操船安全評価に係る調査
- 資料 20-2-1-6 AI・ビッグデータによる感性価値創造
- 資料 20-2-2-1 2021 年度計画案

内 容：

議題1) 船員スキル定量化事業の進捗状況について

【事務局より、資料 20-2-1-1、資料 20-2-1-2、資料 20-2-1-3、資料 20-2-1-4、資料 20-2-1-5、資料 20-2-1-6 をもとに、本事業のロードマップ、操船シミュレータ実験の概要及び実施状況、OZT を用いたシナリオの検討、FRAM モデルによる操船安全評価、AI・ビッグデータによる感性価値創造等について説明があった。主な議論は次のとおり。】

- （8月シミュレータ実験の）「コルチゾール」は酵素ではなくステロイドの一種なので、「唾液酵素」ではなく「唾液分析」としたほうが言葉として無難。
- 実験により、生体の応答が得られたのは良かった。操船中にドキッとするなど、身体の変化を感じることがあるので、引き続き、どういう時にどういう反応がでるのかを見たい。ポータラジオの基礎実験は、無人運航船を監視する仕組みへの伏線かとも感じた。シミュレータ実験については、余裕点を見つけて評価基準を作るのだと思うが、実船の場合、船のサイズ、操縦性能、船速等により余裕点は変わる。ビデオやシミュレータについては、実際のものと距離感が違うので、実船実験により付き合わせてほしい。OZT については、ブイを回り込むなど、自船が制限される水域についてもさらに考慮すれば面白いと感じた。感性価値創造については、感情に左右される部分は結構あるので、どのように反映されるか興味深い。  
→ どの状況、どの船種、船型は何を選ぶか、何をクリアにするかをまず示して、そこから広げていけば良い。
- シミュレータ実験について、状況認識するところまで下がってスタートするとのことだが、自由度は広がることになり、危険になる前に先行避航できるので、場合分けして制限をつけることにより整合させていく、ということか。

- 例えば 12~13 マイルで（相手船を）見つけても反応がでないので、制限をつけなければデータがでない。
- OZT について、複合的な要件でよけていく状況で、どの条件がどう影響するか、分け方はどう考えるのか。
- 何隻もの船という、いろんな糸が絡まっている状態で、一つずつほぐすことはできていない。前回も理論武装すべきとのご指摘があり、今後突き詰めたい。
- （評価構造可視化システムについて）アンケートの取り方で具体的な提案はあるのか。
- アンケートの取り方で結果が変わることもあるが、自由記述が特徴なので、広くいろいろな意見をきいてそこから構造化していくことが大事。共通する構造が見えないとにならないので相談しながら進めたい。
- どの程度の数、回数が必要なのか。返ってくる答えがかなりたくさんあると思う。
- 例えば「香り」の研究では、STAYHOME のまっただ中でやったが、計 900 回のデータに対して、ひとつのグループで 10 個程度ないと有意差がでてこないが、4 グループに分けてそれぞれ分解すると 10 個に満たない。操船実験のときにどれくらいデータ数がとれるかによって考えながらやっていくが、一週間程度ならばどのくらいのデータ数がとれるのか。
- 例えば、同じような危険度、同じような状況、などで分類わけすると思う。
- JMETS に船員は多数いるが、データをどのように取得するか検討したい。
- 30 分ほどの同じ程度の難易度のシナリオがあれば、繰り返しシミュレータ実験するという方法もある。
- FRAM モデルの調査について「法令上の要件」とは具体的に何か。
- 条約については COLLEG（海上衝突予防条約）、国内法については海上衝突予防法・海上交通安全法・港則法である。
- 事業が順調に進められていることが見られた。評価構造可視化システムとのシナジーも期待している。
- OZT モデルはいい結果であり、この考え方はこの分野ではうまく使われていると、興味深かった。NIRS（脳機能測定装置）のデータについては、脳の部位によって活動度が違うのだが、その差が見られなかったので、まだ NIRS を使い慣れていないか、うまく特徴を生かせていないと少し心配した。
- 工夫して NIRS を使用していく。

## 議題 2) 船員スキル定量化事業の 2021 年度計画について

【事務局より、資料 20-2-2-1 をもとに、2021 年度の事業実施計画等について説明があった。主な議論は次のとおり。】

- 唾液分析は、新型コロナウイルスの感染が抑制された状況で行うことをお薦めする。
- 人間工学的な実験は注意しながら進める。被験者数を減らさざるを得ないかもしれない。

## 2.2 船員スキル定量化検討WG

### 2.2.1 船員タスク分析・行動モデル策定WG (WG1)

#### 【構成メンバー】

主査 西崎ちひろ（東京海洋大学）  
市川義文（海技教育機構 海技大学校）  
戸羽政博（海技教育機構 海技大学校）  
榎野 純（東京海洋大学）  
堀 晶彦（海技教育機構）  
村井康二（東京海洋大学）  
吉村健志（海上技術安全研究所）

#### 【WG1 活動】

##### (1) 第1回 WG1

日 時：2020年8月26日  
場 所：海技大学校（対面審議）  
内 容：  
研究ゴールの確認  
タスク分析表のたたき台  
実験シナリオに関する意見交換

##### (2) 第2回 WG1（メール審議）

日 時：2020年9月15日  
場 所：オンライン（メール審議）  
内 容：  
タスク分析表の修正  
実験条件および今津問題に関する意見交換

##### (3) 第3回 WG1（Web 審議）

日 時：2020年10月20日  
場 所：オンライン（Web 審議）  
内 容：  
タスク分析表の修正  
実験条件及び実験シナリオの絞り込み

##### (4) 第4回 WG1（Web 審議）

日 時：2021年1月12日

場 所：オンライン（Web 審議）

内 容：

実験日程の確定

実験条件及び実験シナリオの決定

実験計画書の作成

#### (5) 第5回 WG1（メール審議）

日 時：2021年1月22日

場 所：オンライン（メール審議）

内 容：

実験計画書及び実験趣旨説明書内容の修正

ヒアリング内容の調整

### 2.2.2 船員スキル定量化シミュレーション・シナリオ策定WG（WG2）

#### 【構成メンバー】

主査 榎野 純（東京海洋大学）

西崎ちひろ（東京海洋大学）

村井康二（東京海洋大学）

#### 【WG2 活動】

##### (1) 第1回 WG2

日 時：2020年8月11日(火)

場 所：東京海洋大学（対面審議）

内 容：

今津先生の避航問題

OZT 分布を利用した分析例

##### (2) 第2回 WG2

日 時：2020年9月15日(火)

場 所：東京海洋大学（対面審議）

内 容：避航問題の整理

##### (3) 第3回 WG2

日 時：2021年1月6日(水)

場 所：東京海洋大学（対面審議）

内 容：シミュレーション開始時の他船配置と OZT 分布

Supported by  日本 THE NIPPON  
財団 FOUNDATION

この報告書は日本財団の助成金を受けて作成しました

MEGURI2040 に係る安全性評価  
2020 年度 船員スキル定量化事業  
成果報告書

発行 国立大学法人 東京海洋大学

〒135-8533

東京都江東区越中島 2-1-6

TEL: 03-5245-7300 (代表)

URL: <https://www.kaiyodai.ac.jp/>

---

本書の無断転載・複写・複製を禁じます