

【指定テーマ2 自律運航船技術の開発進展状況について】

《招待論文》

自動運航船の実現とリスクへの対応

羽原 敬二
(神戸大学)

目 次

はじめに

1. 自動運航船の概念と技術開発
2. 海事産業におけるデジタル化と安全性向上への基盤形成
3. 自動運航船の動向と課題
4. 自動運航船の実用化に向けた取組みと対応
5. 自動運航船の開発とリスク処理

おわりに

はじめに

近年の衛星通信技術の向上によるデータ通信の大容量化と高速・高効率化、コンピューターの処理・解析能力の増大によって、あらゆる情報のデジタル化 (digitalization)¹⁾ が進展すると同時に、ビッグデータ解析、革新的な情報の共有・活用の仕組みである IoT (Internet of Things: 物のインターネット)²⁾ が出現し、このような新たな情報通信技術を基盤とした技術開発が推し進められている。さらに、各種センサーの解析性能の向上に伴い、これまで人間が行ってきた状況の認知に対し、分析・判断を行い、意思決定・行動に至る反応の過程に機械が関与・介入する自動化または完全に代替する自律化を促進する最先端技術が急速に開発されている。海事分野で海上輸送にかかわる領域でも、①ヒューマンエラーによって生じる事故を防止する安全管理システムの機能向上、②海上労働環境の改善、③海洋環境保全への対応、および④船舶の運航コスト削減を可能にする手段として、船舶の自律運航または陸上施設からの遠隔操船を実現する取組みが進展している³⁾。IMO (International Maritime Organization: 国際海事機関) は、MSC (Maritime Safety Committee: 海上安全委員会)⁴⁾ において、自動運航船の実現に必要な IMO 規則の改正や新規策定に関する検討を開始している。

こうした海事社会でのさまざまなデジタル化が進展・拡大していく中では、将来に向けて、新たな海事リスクとして対応に取り組むべき課題も種々認識される。具体的には、現在、AI (Artificial Intelligence: 人工知能) や IoT により自動化船または自律化船の実用化など、今後の海事デジタル化が進展することに向けた新しい船舶運航管理システムの構築と同時に海事産業を取り巻くハザードへの対応が求められる。

そこで、本稿では、自動運航船の開発動向に基づき、リスクマネジメントの観点から課

題について考察することとした。

1. 自動運航船の概念と技術開発

自動運航船（Maritime Autonomous Surface Ship: MASS, Auto-Shipping）は、自律運航船、無人化船、超自動化船などの名称も用いられている。自動運航船の概念は、船上の高度なセンサーや情報処理機能、セキュリティの確保された衛星通信、陸上からの遠隔操船支援機能を備えた船舶とその運航システムと考えられている。将来の自動運航船は、自律的な判断能力を有する船舶、セキュリティの確保された通信システム、陸上の運航支援ステーション・クラウドサーバーシステムが統合された総合的なシステムで構成されるものとなる。（「自動運航船に関する現状等」国土交通省海事局、平成 29 年 12 月）

自動運航船は自動運転車と比較されうるが、船舶は、海事技術者としての船員によって稼働される。船員は、高度な専門教育を受けており、その養成課程は、長年にわたって積み上げられた知財と技能や方法の上に成立している。この点が、自動車の自動運転とは本質的に異なる特質であり、周辺環境が全く異なる。自動運航船は、技術の開発と実用化に伴って段階的に発展していくと共に、機械による自律的判断の領域は次第に増加するとしても、人間の判断・支援は引き続き必要となる。

現在進行中の自動運航船にかかわる技術開発を担当している多くは、船舶の運航経験のない陸上の技術者である。優れた AI、制御理論、情報処理の知識を有して機器類の開発を実現しているが、船舶運航現場の多様性と複雑性が正確に理解されているかどうかについては、確証の方法がない。まずは、自動運航船に関与する技術者は、現実の船舶の運航状況に必要な機能を理解することが不可欠である。

第 4 次産業革命と呼ばれる、データが主導する経済成長と社会変革の実現は、ビッグデータの利活用が鍵を握るとされ（総務省『平成 29 年度版情報通信白書』）、ビッグデータを収集するための手段が IoT であり、ビッグデータを分析・活用するための手段が AI である。すなわち、海事産業における船舶ビッグデータの活用においては、通信機能を備えた船用機器（IoT）から収集した本船のビッグデータを陸上に送信し、AI で分析・活用することになる。本船から収集したビッグデータを安全運航や省エネルギー運航に役立てるデジタル化においては、アナログ情報をデジタルデータに変換することはデジタルイゼーション（digitization）であり、それらのデータを使用してビジネスモデルの変革を実現することはデジタルイゼーション（digitalization）である。海事産業のデジタルイゼーションへの取組みを進化させるプロセス上に自動運航船が位置付けられる。さらには、デジタルトランスフォーメーションの実現を目指すことになる。なお、「日本再興戦略 2017」の中にも、自動運航船を社会に取り入れることによる海上物流の高度化が盛り込まれている。

2. 海事産業におけるデジタル化と安全性向上への基盤形成⁵⁾

2. 1 海運事業における IoT の利活用

海事産業においては、すでに IoT がさまざまな形で活用され、不可欠な機能となっている。海上ブロードバンド通信の発達、センサー、AI、ビッグデータ処理技術の進歩により、

運航中の船舶からも、エンジン稼働データや航行海域の海象・気象情報などの多量かつ多様なデータを陸上に送信することが可能になったため、船舶と陸上管理部門、造船所、船舶用機器・機材メーカー等の修理業者、荷主、海事行政機関などとの間で、情報をリアルタイム（即時）に集約・共有する環境が整備されつつある。これまで無線が主要な通信手段であった海運業界でも、デジタル化が急速に進展し、既に船舶運航の効率化と安全性の向上が図られてきている。こうした海事デジタルイゼーションをさらに進展させるためには、サイバーセキュリティシステムの確保および検知装置（センサー）の信頼性の向上が前提条件となる。

2.2 (株)シップデータセンター (ShipDC) の設立と船舶ビッグデータプラットフォームの構築による整備⁶⁾

(一財)日本海事協会 (Class NK: Nippon Kaiji Kyokai) は、2015年12月7日に運航中の船舶から得られるデータを集約・蓄積する役割を担う完全子会社、株式会社シップデータセンター (ShipDC) を設立した後、2016年4月より船舶ビッグデータプラットフォームを構築して、稼働を開始した。

船上の航海機器、機関関係のセンサーなどの情報を活用したサービスは、その利用が船上に限定されていた。さらに、船上から陸上にデータを送信する仕組みを装備している場合でも、船陸間通信の速度やサービスに特化したシステムなどのために、その活動範囲や用途が限定されていた。こうした状況を改善する取組みは、陸上のIT技術の進展により、海事産業においても、船上の様々なデータを集約し、活用しようという動きが高まってきたことによる。

海上ブロードバンド通信の発達により、船舶の運航情報や船舶搭載機器に設置されたセンサーからの情報収集とモニタリングが可能となり、データを活用した省エネ運航や機器の故障診断などの取組みが進められている。ShipDC は、海事業界に広くデータ活用を促す共通プラットフォームとして、収集したデータを提供するシステムである。

船陸間の船舶運航データは、現在一般的に、VDR (Voyage Data Recorder: 航海情報記録装置) とデータロガー (Data Logger) を介して収集されている。VDR には、GPS、オートパイロット、エンジンテレグラフ、レーダーなどが接続され、位置、船速、針路、水深、舵角、エンジンオーダー等のデータが集まる。データロガーは、機関室機器のデータを記録するもので、得られるデータは、主として船主の意向により決定され、重要度の高い主機関係が中心となる。今後は、乗組員の負担軽減、機器の実運航時の性能把握、および自律船化への対応が進む中で、主機以外へも様々なセンサーが装備され、データが活用されることが想定されている。

ビッグデータの活用やビッグデータの解析は、さまざまな枠を越えて大規模で実施することにより、多様で信頼性の高い成果が得られる。しかし、利害関係のある企業の枠を越えることは容易ではない。そこで、中立性に信頼の厚い独立した公正な第三者機関かつ非営利法人として活動している NK がその役割を担う構想が業界の要望に応じて、実施されることとなった。

ShipDC では、さまざまな船舶から送られてくる運航データをデータのフォーマットや名称の違いにかかわらず受入れ、(一社)日本船用工業会スマートナビゲーション研究会の

目指す ISO 国際標準規格に合わせて変換・蓄積する。さらに、船主の認めるデータ利用者に、船主の認める範囲のデータのみを提供できるように、API (Application Programming Interface: アプリケーションとプラットフォームを繋ぐインターフェース) データを外部の他のプログラムから呼び出して利用するための手順やデータ形式を定めた規約を介してデータを提供するシステムを構築している。

2. 3 船舶のビッグデータ利活用への取組みとオープンプラットフォームの構築⁷⁾

海事 IoT のもととなるデータは、定型、非定型、定時、非定時、および大量のデータである点からビッグデータとなる。船舶ビッグデータとしては、自動・手動で収集された航海データ、保守管理報告、機械データ、AIS (Automatic Identification System: 自動船舶識別装置)、VDR 等が発する航海データ、気象データ、および積荷情報等を含む業務データなどが挙げられる。

海事 IoT の目的を達成するためには、機関部コンディションモニタリング、ビッグデータ分析、サービスエンジニア支援、自己診断等の機能が必要となり、これらはビッグデータをもとに解析を行うアプリケーションソフトを提供することになる。

デジタル化技術の展開においては、膨大なデータを安全かつ迅速に収集・蓄積・活用できる環境が必要となるため、これに対応するには、ビッグプラットフォームの開発が不可欠となる。つまり、船舶の運航データ利活用に関して、船社などのデータ提供者の利益を損なわずに関係者で共有し、造船所やメーカーなどへのデータ利用権および各種サービスの提供を可能とするための共通基盤を構築することが求められる。そのために、(一財)日本海事協会グループ会社であるシップデータセンター (Ship DC) をハブ (データ取引所) とした IoS-OP (Internet of Ships Open Platform) が 2018 年に稼働することとなった。

IoS-OP の基盤は、データを収集・提供するデータセンターと業界内で合意されたデータ流通の規則である IoS-OP 利用規約から構成されている。これにより、関係者が、データを活用したイノベーションや新規サービス開発などの競争領域に集中できるよう、データ流通にかかわる部分を協調領域とする環境が整備された。

3. 自動運航船の動向と課題

自動運航船を巡る最新の開発動向に関しては、Autonomous Ship Technology Symposium 2019 (25th to 27th June, 2019, Amsterdam, Netherlands) における内容から、並川俊一郎氏による調査報告⁸⁾に基づき、以下のような新たな認識が得られる。

自動運航船は、すでに研究開発段階を脱し、社会実装 (実用化を目指して開発するだけでなく、実際に利用される状態) の段階に入りつつあるという。具体的には、衝突回避システムに関して、実海域での実証試験や実航海がなされ、いずれもリスク評価またはリスクマネジメントに取り組んでいることが指摘されている。その方法論は、ほぼ同様で、まず事前に、FEMA (Failure Mode and Effect Analysis: 故障モード影響解析) を実施し、たとえシステムの一部が不具合を起こしても、機器類を含む全システムが確実に機能することを確認した後に、想定したシナリオごとにリスク分析を行って、当該シナリオごとに定めた基準を満足することを検証している。衝突回避の方法については、全て AI と ML

(Machine Learning: 機械学習) およびアルゴリズムを組み合わせていることが明らかにされている。これらの異なる方法をどのように組合せているのかについては、深い洞察と経験に基づく専門的独自技術手法であり、実際に取り組みながら試行錯誤しているものにしかならないことだと考えられている。

IT (Information Technology) の発展によって、IT 環境と共に船舶の運航も変化する中で、特に、サイバー攻撃を受けるリスクが大幅に増えている。とりわけ、自動運航船は、外部との通信接続量が増加するため、一層サイバーリスクに曝され易くなる。それに対応するには、ゼロトラスト (信頼せずに、必ず確認すること) の原則を守り、IT の使用状況を細かく領域に分けて、頻繁にリスクと信頼性の確認を繰り返すことが必要であるとしている。

自動運航船の法律および責任問題については、①自動運航のプログラムに原因がある場合に、誰が責任を負うのか、②リスク評価は、どのようにして、誰が行い、誰が承認するのか、③リスク評価で認識できなかったリスクが発生した場合には、どうするのか、④自動運航船の技術について、保険料をどのように算定するのか、⑤自動運航によって生じる膨大なデータをどのように取扱うのか、⑥AI が進化して、本来の能力を超えてしまった場合は、どう対応するのか、などの主要な予測される問題に対し、現実検討すべき課題とされている。

自動化の目的は、安全の確保と効率の向上にあるとし、自動運航船を考えると、船舶だけでなく、港湾、陸上を含めたロジスティクス全体の最適化を求める見解が示されている。さらには、本船の運航だけでなく、ターミナルを含むロジスティクス、自動化技術、保険、金融までを含む全体のバリューチェーンにかかわるものであるという主張もみられる。このシンポジウムの議論と関心の対象からは、自動運航船にかかわる技術面だけでなく、社会問題や機械と人間の住み分けなど、思考の範囲を広く深めて考えることの必要性も感じられる。

今後、日本が自動運航船の分野で先進的地位を占めるためには、セクショナリズム、自前主義、完璧主義を取り払い、オールジャパンにこだわらず、積極的に海外の先行企業や組織と対等な協力関係を築くことの重要性が指摘されている。特に、日本は、各社が技術を囲い込み過ぎて、秘密主義に陥っていることに加え、投資の仕方が貧しい点が問題だとされる。国土交通省の強力なリーダーシップや各企業の経営者の決意とガバナンスが決定的に必要であるといえる。

4. 自動運航船の実用化に向けた取組みと対応

自動運航船は、技術開発の進展に伴って段階的に実証と導入が実施されると考えられる。したがって、関連する国際条約を含む種々の基準、規則、および制度に関して、自動運航船の発展段階に応じ、適切な時期に法令改正等の措置が求められることになる。先端技術開発と対応する基準や制度の見直しを整合的に行うには、国際条約の改正が時間を要するため、国内法令を先行して見直すことを検討する必要もある。技術分野と関係法令の対応については、以下のような内容が主要な課題として挙げられる⁹⁾。

①船舶安全 (ハードの要件) においては、遠隔操船施設の位置付け、サイバーセキュリティ

対策、船舶ビッグデータの利活用などが主要な検討対象となりうる。国内法の船舶安全法の規定に関しては、SOLAS 条約（International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974: 「1974 年の海上における人命の安全のための国際条約」）の自動運航船への適用が主題となる。

②航行安全（海上交通規則）に関しては、船長の職務権限と責任、自動運航船の取扱いが、主な課題となる。国内法の海上衝突予防法について、COLREG 条約（Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea: 「海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約」）の観点から、特に、自動運航船によって実施される衝突回避技術と乗組み船員の行う衝突回避判断の相違は本質的な問題となる。

③船員資格・配乗の面からは、船長の職務権限と責任、遠隔操船者の職務権限と責任、船員教育の内容、船員労働環境の改善などが検討の対象となる。国内法の船舶職員法に関しては、STCW 条約（International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978: 「1978 年の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」）の見直しに対応することになる。

④法律上の責任については、損害賠償責任の処理（船長、船主、製造事業者などが対象）、保険管理が問題となる。国内法として、船舶油濁損害賠償保障法、PL 法、海商法など関連するものが検討対象となり、CLC 条約（International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage: 「油による汚染損害についての民事責任に関する条約」）等は考慮する必要がある。特に、責任者が乗組んでいないことによって発生する事故に対する法的責任が問題とされる。

⑤海洋環境保全に関しては、海洋汚染防止、海上災害の防止、省エネルギー性能の向上などが検討の対象となる。国内法の海洋汚染防止法は、MARPOL 条約（International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 relating thereto: 「1973 年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する 1978 年の議定書」）に対応する必要がある。

⑥事業規制の観点からは、新規ビジネスモデルへの対応や海上輸送の安全性・効率性の向上が問題とされうる。国内の海上運送法を改正する必要がある。

以上の主要な国際条約における新規則の創設または改正が必要とされる内容としては、以下の点が指摘される¹⁰⁾。

①遠隔機関監視、遠隔機関診断、遠隔機関制御

- ・ SOLAS 条約第 2-1 章 C 部機関および電気設備、第 5 章航行の安全
- ・ 国連海洋法条約第 94 条旗国の義務

②遠隔見張り

- ・ 国際海上衝突予防規則第 1 章総則、第 2 章操船規則および航行規則、第 5 章航行の安全
- ・ STCW 条約 A 部 STCW 条約付属書規定に関する強制基準

③機器による衝突回避

- ・ 国際海上衝突予防規則第 1 章総則、第 2 章操船規則
- ・ SOLAS 条約第 2-1 章 C 部機関および電気設備、第 5 章航行の安全

④遠隔船橋システム

- ・ SOLAS 条約の遠隔船橋システムに関する規格

⑤船隊管理

- ・ ISM コード 船上の安全管理
- ・ ISPS コード テロリズム、海賊などのリスク対策

⑥船員管理

- ・ 勤務体系、人員募集、および配置について、海上労働条約の関連部分

(ILO C179 Recruitment and Placement of Seafarers Convention, 1996, C180 Seafarers, Hours of Work and the Manning of Ships Convention, 199)

5. 自動運航船の開発とリスク処理

5. 1 自動運航船への期待と可能性の拡大

海上保安庁の『海難の現況と対策』によれば、海難事故の約 80%は、乗組員が関与する人為的要因（ヒューマンエラー）が原因である。したがって、乗組員の作業を自動化すること、または自律化のための信頼性の高い技術で置き換えることは、船舶の安全性を画期的に高めると主張されている。

海上物流は、将来的に着実に量的拡大が予想され、そのため、人為的要因による海難の減少対策が社会的に強く求められるようになった。自動運航船の技術は、人為的要因による海難発生を抑止に効果的に寄与すると想定されている。すなわち、大規模海難に伴う船舶の直接的損害や海洋汚染による第三者への損害は、大きな損失を招く。同時に、機関故障による船舶の不稼働は、巨額の財産価値を有する船舶自体と積載貨物を過密な運航計画に基づき処理する海運事業では、甚大な機会損失を生じ、船主事業に悪影響を及ぼすだけでなく、海上物流システムの安定性をも損ねる結果となる。したがって、自動運航船にかかわる先端技術開発によって、海難の発生を防止すると共に、機関故障の予知・予防を可能にし、船舶不稼働による経済的損失を軽減することは、海上物流システム全体の信頼性を向上させる効果をも生む革新的な取組みとして期待されだした。

5. 2 自動運航船の実用化と海事社会のハザード¹¹⁾

自律運航船について、マースクは、「船舶の自動化を最大限迫及してきたため、もうこれ以上の船員削減は困難であり、さらに船員を削減したとしても、コスト削減効果は低い。仮に無人化船の技術が開発されたとしても、港湾内のタグボートなどの小型船舶には適しているが、大型コンテナ船を無人で運航することは、安全規制の面から、近い将来に認められることは難しいため、無人コンテナ船の開発を継続する意思がないこと」を表明した（2018年2月16日、LRO ニューストピック、(公社)日本海難防止協会ロンドン研究室）。ロールスロイスは、自動運航船開発部門の人員削減によっても採算が取れないため、軍事部門を除く民用の自動運航船の事業部門を売却することを決定した。さらに、ICS（International Chamber of Shipping: 国際海運会議所）の事務局長は、自動運航船の議論が、船主や海運会社ではなく、製造企業や技術開発企業によって主導されていることに強い不安を感じると述べ、まずは、海事社会が直面するさまざまな問題や法的環境の整備に力を傾注しなければならないと指摘している（2018年3月31日、LRO ニューストピック、(公社)日本海難防止協会ロンドン研究室）。このように、最近では、自動運航船の開発に対

する状況については、慎重を期する動きも現れだしたといわれている。

自動運航船に関する議論は、EUの研究機関が主導しており、自動運航船は、EUの将来の海運事業にとって国際競争力があり、かつ持続発展可能な活動の手段であるとされている。EUでは、域内の物流を拡大し、効率化させることがEUの長期的な目標であり、大量の貨物輸送を海上物流に委ねるため、各国の政策により協働している。自動運航船の開発・利用は、機器供給者およびサービス提供者（システムサプライヤー）にとって新しいマーケットを生み出すことが期待される。しかしながら、これは、ユーザーである海運企業の実情によるものではないという。情報とコミュニケーション技術の高度なデジタル化時代の到来は、海事産業における船舶運航技術の変革を加速させ、社会をも大きく変化させる。

自動運航船は段階を経て進展するであろうが、どのように進化するのかを決定する要因は、自動運航船の経済性と安全性にある。経済性については、自動運航船の建造費用はいずれの段階においても、在来船より高額になると予測されている。陸上でのモニタリングと機器の制御、機器自体の信頼性と自律性確保のためのコストを算定する必要がある。海運事業は、本質的に資本集約型産業であることを認識しなければならない。

自動運航船の推進者は、将来の船員不足と資格要件を欠く船員の増加を指摘し、解決策として自動運航船による船員の削減に伴うコスト軽減とヒューマンエラーの排除を掲げる。しかし、自動運航船による新しい複雑なシステムに内在するリスク、コミュニケーションリンクにかかわる不測の故障、サイバーテロリズム、遠隔制御を行う要員が実際の本船、海象・気象、および船舶の輻輳状況などから隔離された状態に置かれていることによるリスクには、目が向けられていないことが指摘されている。この他に、自動運航船の問題については、技術的な問題、法律と規則の問題、リスクに対する最終的な責任負担者と補償の問題、ヒューマンファクターの問題、人間と機械のインターフェースの問題、ソフトウェアの信頼性、サイバーセキュリティの問題など、多種多様な問題が認識される。こうした技術の進歩とそれがもたらす海事産業および船員社会の変革については、十分に理解・検討されねばならない。

おわりに

自動運航船は、人間と機械の物的インターフェースにおいて、人間による安全の維持を第一に考えることが重要である。船舶の無人化または遠隔操作を可能にする航行および運用によって、自動運航と既存の船舶のインターフェースが混在することとなる。海事デジタル化による自動運航船の開発を推進するにあたっては、今後、ハザードの変化へ対応して、課題を認識、考慮、検討する必要がある。

自動運航船のリスクマネジメントシステムの整備に関して、現段階では、船舶の自動化設計の安全性確保が極めて重要な基盤となり、①自動化の対象とする機能および船上の業務の明確化、②自動化システムと人間の役割分担の明確化、③自動化システムが適切に機能するための範囲および条件（限定領域）¹²⁾の明確化、④自動化システムが正常に機能しない状態における対応（フォールバック）¹³⁾の明確化、が不可欠な要素となってくる。なお、デジタル化により自動化され、機器や支援プログラムの開発が進み、将来AIによる自律化船が登場するとしても、海技が不要になることはない。技能は、プログラムで表現

できるアルゴリズム化により初めて自動化・自律化できる。海事人材の育成は、社会の改革の中で新たな可能性が生まれることになり、それに対応することが求められる。

今後、量子コンピューターや量子暗号などの量子技術の開発に伴って、さらに自動運航船の機能がより高度なものになるとしても、新たに発生するリスクへの対応は続くこととなる¹⁴⁾。

(注)

1) digitization (デジタイゼーション) は、工程や作業を効率化するために、デジタル機器を用いてデジタル化することをいう。紙媒体が電子形態になったり、計測・観測が人間による読取りからセンサーによる自動計測になったり、業務や作業の部分的な効率化・最適化を指す。たとえば、紙海図から ECDIS (Electric Chart Display and Information System: 電子海図情報表示装置) に変化することを指す。具体的には、より精度の高い作業が可能となり、海図の改補作業の効率化も達成された。つまり、主に二等航海士の職務である海図情報の管理および選定した予定針路の安全評価について、機械が一部分の作業を支援・処理するが、最終的には、人間が判断と手直しを行うため、部分的な業務の効率化にとどまり、二等航海士の業務自体に変革は起きていない。これに対して、digitalization (デジタライゼーション) は、digital transformation をも含み、デジタル化、ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術)、IoT などを取り込み、部分的な最適化や問題解決を目指すだけでなく、デジタル技術により、産業界全体に変革を生じることが指す。究極的には、digital disruption (デジタル化による創造的破壊) をもたらすものとされる。(中山圭一郎「Ⅶ. 船舶に於けるデジタル技術導入の深度化と船員に求められる素養について」『海洋』(一社) 海洋会。)

2) IoT は、海事社会に存在するさまざまな物体に通信機能を持たせ、インターネットに接続または相互に通信することにより、自動認識、自動制御、遠隔計測などを行なうことをさす。

3) 『スマート SHIPPING 等における重要技術要素の開発・実用化動向の調査 (2017 年度特別調査)』日本船舶輸出組合、ジャパン・ SHIPPING ・センター、(一財) 日本船舶技術研究協会、2018 年 3 月。

4) MSC は、IMO 本部で 2 年間に 3 回開催され、①船舶の構造・設備、②航行援助、③安全の見地からの配員、④危険貨物の取扱い、⑤船舶衝突防止規則、⑥海上の安全に関する手続き・要件、⑦水路情報、⑧海難事故調査、および⑨その他の海上安全に直接影響のある事項を審議し、関連する国際条約の採択・改正、各国への通報、および条約の実施を促進する措置の検討などを実施する委員会である。なお、詳細な専門的技術事項の検討は、下部の小委員会 (subcommittee) に付託される。

5) コンピューターによるデジタル化に関しては、以下のような最先端技術が用いられる。

- ・ VR (Virtual Reality: 仮想現実、人工現実感) コンピューター上で現実にはない仮想空間を作り出し、実際にそこにいるかのような感覚を体験できる技術。
- ・ AR (Augmented Reality: 拡張現実) 現実環境にデジタル情報を付与し、CG (Computer Graphics: コンピューターグラフィックス) などで作成した仮想現実を現実世界に反映する技術。現実世界に 3D 映像を映し出せる。現実世界と組み合わせて利用できるため、事故のシミュレーションや安全運航のプログラムに活用可能。
- ・ MR (Mixed Reality: 複合現実) CG など人工的に作られた仮想世界と現実世界の情報を組み合わせて、仮想世界と現実世界を融合させ、両者を重ね合わせて体験できる技術。現実世界に 3D 映像を映し出して操作できる。
- ・ SR (Substitutional Reality: 代替現実) 現在見えている映像に事前にとっていた過去の映像を重ねることにより、過去に起きた出来事を現在進行形で起こっているように見せることができる技術。
- ・ XR (X Reality: クロスリアリティ、未知数現実) VR、AR、MR、SR 全ての技術を指す総称として利用される用語。個別の技術ではなく、多様な新しい現実の概念を表すもの。

第 5 世代移動通信方式 (5G) は、現在の移動通信方式 (4G) を発展させたものであるが、超高速 (eMBB: enhanced Mobile Broad Band)、多数接続 (mMTC: massive Machine Type Communications)、超低遅延 (URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communications) などの特徴を持つ。IoT では、人だけでな

く、センサーやさまざまなものがモバイルネットワークにつながることに加え、自動運転や機械・ロボットの遠隔操作のアプリケーションが期待されている（大槻知明「移動通信の未来」『日本機械学会誌』Vol.122、No.1207、2019、10-11 ページ.）。

ヒューマン・マシンインターフェイス設計では、人間が機械を操作するために必要な操作者の意思を機械へ反映させる接点となる部分、または機械の状態を操作者へ通知する接点となる部分をヒューマン・マシンインターフェイス（Human-Machine Interface: HMI）という。機械的なもの以外で、タッチパネル、音声認識、画像認識なども HMI である。HMI は、機械と人間の相互作用および機械を介した人間同士のコミュニケーションの他に、VR、IoT、AI などの技術と融合して、人間の知覚、認知、思考、判断、行動、感情を考慮したインターフェイスとして活用可能になってきた。（綿貫啓一「感性認知工学の新潮流」『日本機械学会誌』 Vol.122、No.1208、2019、8-11 ページ.）

海上における現在の利用可能なデータ通信回線については、以下のとおり整備・利用されている。

- ①Inmarsat（International Maritime Satellite Organization）FB（Fleet Broadband）のデータ通信：全世界規模、低速（32-256kbps（kilobits per second）程度）
- ②イリジウムデータ通信：全世界（海上）、低速（32kbps、64kbps、128kbps）
- ③KDDI Optima Marine サービス（非インマルサット制止衛星で Ku バンドを使用）：主要な大陸および海域、低速（16kbps、32kbps、64kbps）
- ④衛星携帯電話のデータ通信（ソフトバンク）：アジア、ヨーロッパ、低速（下り最大 60kbps、上り最大 15kbps）
- ⑤ドコモ・モバイルのデータ通信（船舶電話）：日本全土沿岸 200 海里程度、低速（上り 144kbps）
- ⑥携帯電話の回線を利用（3G、4G、LTE（Long Term Evolution）等）：沿岸のみ（陸から 10-20km 程度）、高速（スマートホンと同等であるが、一般に海上では通信速度が低下）
- ⑦デジタル簡易無線のデータ通信機能：1-2km 程度、低速（9.6kbps 程度）
- ⑧無線 LAN（Local Area Network）機器（WiFi：Wireless Fidelity）：数 10m 以内、高速（11Mbps-450Mbps（Megabits per second）程度）

（若林伸和「神戸大学海事科学部 深江丸の IoT」『海洋』 No. 904、2017 OCT、一般社団法人海洋会、16 ページ.）

6) 永留隆二「船舶 IoT オープンプラットフォーム構想と ShipDC が担う機能」(株) シップデータセンター、永留隆司「船舶運航データとシップデータセンター（ShipDC）」Ocean Newsletter No. 390、2016 年 11 月 15 日.

7) 諸野晋「船舶のビッグデータ活用～スマートナビゲーションシステム研究会の活動紹介～」、Ocean Newsletter No. 371、2016 年 1 月 20 日.

8) 並川俊一郎「自動運航船－世界の動向および日本の取り組みは？」『MATRIX 104 号 海上交通システム研究会ニューズレター』海上交通システム研究会、2019 年 4 月 25 日、66-73 ページ、並川俊一郎「自動運航船 世界の最新動向レポート～アムステルダムシンポジウムに参加して～」『KAIUN 海運』No. 1103、（一社）日本海運集会所、2019 年 8 月号、20-25 ページ、並川俊一郎「自動運航船－いよいよ現実のものに」アムステルダムシンポジウムに参加して（上）・（下）」日本海事新聞、2019 年（令和元年）8 月 1 日（木曜日）（5）、8 月 2 日（金曜日）（5）.

9) 国土交通省海事局「自動運航船に関する現状等」平成 29 年 12 月、国土交通省海事局「課題の整理と検討の方向性（自動運航船）」平成 29 年 12 月.

10) 藤本昌志「自律船の出現に伴う法的問題」『NAVIGATION』平成 29 年 4 月、24-27 ページ.

11) 赤塚宏一「IFSM 便り」NO. 52、NO. 57、NO. 61、（一社）日本船長協会.

George Quick, “Would Autonomous Ships Be Good for Society?”, The Maritime Executive, 6766, 2016-10-31. ([HTTPS://WWW.MARITIME-EXECUTIVE.COM/AUTHOR/CAPTAIN-GEORGE-QUICK](https://www.maritime-executive.com/author/captain-george-quick)).

12) 限定領域は、自動化システムが適切に機能すると設計段階で想定している範囲をいう。たとえば、限定短航路のような地理的制限や気象・海象の条件に加えて、輻輳海域における陸上からの海上交通管制システムの整備としての交通システムの支援環境、船舶に対する船外からの監視や支援環境、昼夜の別などが挙げられる。

13) フォールバックは、自動化システムの故障やサイバー攻撃による侵入、限定領域からの逸脱など、自動化システムが正常に作動・機能しない状態が発生した場合に、危険を最小化するために行う対応をいう。

(一財) 日本海事協会技術研究所『自動運航、自律運航の概念設計に関するガイドライン』2018 (<http://www.class.or.jp/>).

14) 自動運航船の実用化に関しする問題点は、船員の意識調査の結果からも明らかにされている。

- ・サイバーセキュリティ (サイバー攻撃対策)
- ・コミュニケーションとデータ処理リンクの信頼性 (迅速かつ安定した情報処理)
- ・法律と責任の問題 (事故が発生した場合の対応と処理)
- ・ソフトウェアの品質 (ヒューマンファクターの補完可能性)
- ・リスク評価とリスクの社会的受容性 (未知のリスク発生と対応)
- ・船員の労働環境の変化と対応
- ・法規制上の論争点 (公的規制の枠組み形成やガイドラインの対応)
- ・技術的可能性 (機械による高度支援の可能性)
- ・訓練と新技術の教育 (教育訓練方法の開発と認証方法)
- ・経済的可能性 (費用対効果と経済的合理性)

自動運航船の安全にかかわるリスクについては、次のようにとらえられている。

- ・日常保守点検および保守管理の課題 (海上および陸上での修理点検の実施と方法)
- ・設備機器およびシステムの故障 (機器の不具合、故障、誤作動の発生と緊急措置)
- ・船上の設備機器の冗長性と信頼性 (メンテナンスの方法と措置)
- ・ソフトウェアの欠陥 (未知または想定外の誤りやエラー発生時の対処方法)
- ・情報通信技術およびコミュニケーション上の問題 (セキュリティの確保と機能の保全)
- ・熱と振動によるセンサーの故障 (船舶の構造上の影響と処理対策)
- ・海賊とサイバー攻撃 (海上における船舶の脆弱性への対応)
- ・貨物のセキュリティ (センサーによる検知と監視機能の強化対策)
- ・想定外の海洋環境 (海上での異常な事態の発生と対応)
- ・変化する状況下における現場での意思決定 (危機的状況での船舶の指揮、監督、管理)
- ・自動化船と在来船の混在する過渡期の相互関係 (海上交通流の管制)

ハザードの変化への対応としては、以下のような課題を十分に認識・考慮・検討する必要があると考えられる。

- ・船上で実施する必要のある業務内容
- ・遠隔で操作される業務内容
- ・船上で常勤職員を必要とする業務内容
- ・乗組員によって処理される業務内容
- ・船種と作業内容の差異 (近海、深海域、港湾業務、フェリー、客船)
- ・船上での新規電子データ処理業務に対する既存船舶職員の適性と資格
- ・船舶職員に要求される新規技能の教育訓練または取得の方法
- ・技能の低下を回避するために、現在の技能を次世代へ伝承する方法
- ・多量のデータが収集される場所 (陸上または船上)
- ・運航者にとっての海上拘束時間の処理
- ・サイバーセキュリティに関する乗組員の注意義務負担と対応
- ・団体労働協約と労使関係への影響
- ・船員の給与水準および給与体系を再検討する必要性
- ・船員の福利厚生に関する措置
- ・乗組員数が減少した場合の船員のメンタルヘルスへの影響
- ・SOLAS 条約および MLC 条約 (Maritime Labor Convention: 海事労働条約) により示された安全なマンニング要件への対応
- ・海運会社により実際に要求または必要とされる自動運航船の機能と水準

- ・ 業界内で対処または変化しなければならない現在の考え方や環境

(‘Future Proofed? : What maritime professionals think about autonomous shipping’, Nautilus Federation (www.nautilusfederation.org) ; “Regulatory scoping exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)”: report of a survey on what maritime professional think about autonomous shipping, IFSMA、赤塚宏一 「海上自律運航船」に関する船員の意識調査:‘Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)’」 IFSMA 便り NO. 57、(一社) 日本船長協会、‘Seafarers and digital disruption’, The effect of autonomous ships on the work at sea, the role of seafarers and the shipping industry, Hamburg School of Business Administration for the International Chamber of Shipping, Hamburg/London, October 2018.)