

自動運航船関連技術に対する安全性評価について

山田 智章*

1. はじめに

1.1 背景

近年、センシング技術やAI、IoT（Internet of Things）等の技術が急速な進歩を遂げており、様々な分野で活用されている。

船舶の分野においても、ヒューマンエラー防止による安全性の向上や、乗組員の作業負担の軽減による労働条件の改善等を目的として、国内及び海外において、自動運航技術の開発が盛んになってきている。既に研究段階から開発段階へ移行しており、いくつかの具体的な開発プロジェクトが世界各地で立ち上がっている。日本国内においては、国土交通省による自動操船機能、遠隔操船機能、自動離着機機能の3つの機能を対象とした実証事業が2020年度で終了し、これらの実証実験から得られた知見の取りまとめが行われている。また、日本財団による無人運航船プロジェクトMEGURI2040に代表されるように、複数のプロジェクトが立ち上げられており、規則整備と技術開発の両面から、2025年までの自動運航船の実用化を目指している。

1.2 自動化・遠隔化の対象

自動車と異なり、船舶には多種多様の船上作業が存在している。そのため、まずはどの船上作業を対象とするのかの整理から始める必要がある。

船上作業は、甲板部、機関部の2つに大別できる（表1参照）。これらのうち、現在は甲板部の航海当直に関する船上作業の自動化・遠隔化に関する技術開発が中心に進められている。

最近では、機関部の船上作業についても、自動化・遠隔化の検討が議題に上がるようになってきた。機関部においては、船上保守管理作業の低減を目指しCBM（Condition Based Maintenance）に関する技術開発が先行して進められていたが、これらの技術の自動運航船への取入れが検討されている。

1.3 「船」のレベルと「システム」のレベル

自動運航船の自動化・遠隔化のレベルについても、様々な議論がなされている。船としての自動運航レベルについては、IMOでも暫定案（表2）が示されており、国土交通省が公表している自動運航船の実

表1 船上作業の概略

甲板部	航海当直（見張り、通信、操舵等） 入出港関連（準備作業、係船・解らん、投錨・抜錨、記録・報告等） 船体関連（船体保守・整備、船内巡検、清掃等） 貨物管理（積載計画、貨物状態管理、荷役準備作業、荷役コントロール、船体姿勢維持等）
機関部	機関当直（主機操縦、見回り（トラブル対応含む）、アラーム対応、記録、定期整備・点検） 入出港関連（準備作業（点検、作動確認、燃料切替、予備発電機始動等）、主機関負荷調整、主機減速中の潤滑油調整、燃料消費量最小化、水深に応じた海水取入口の切替、記録、主機手仕舞い作業等） 掃除

用化に向けたロードマップの中でも、自動運航船のフェーズがⅠ～Ⅲに分けて記載されている（表3）。

表2 MSC 100/20/Add.1 Annex 2

Degree one	Ship with automated processes and decision support
Degree two	Remotely controlled ship with seafarers on board
Degree three	Remotely controlled ship without seafarers on board
Degree four	Fully autonomous ship

表3 国土交通省による自動運航船のフェーズ

フェーズⅠ	IoT技術活用船
フェーズⅡ	陸上からの操船やAI等による行動提案を行い最終的な意思決定者である船員をサポートする船舶
フェーズⅢ	自律性が高く最終意思決定者が船員ではない領域が存在する船舶

システムの自動化・遠隔化のレベルについては、船級協会の発行しているガイドライン等にその考え方が示されている。それらと比較したものを表4に示す。なお、本会以外の船級協会についての記載は、便宜上、非公式な簡易和訳を当て込んでいます。

* 一般財団法人日本海事協会 技術研究所

表4 主要船級協会による自動化・遠隔化レベル¹⁾⁻⁵⁾

ABS	<p><System Autonomy Levels></p> <p>自律機能によるタスクはMonitoring, Analysis, Decision, Actionの4つに分けられ, どの範囲を機械が担うかにより, Smart, Semi-Autonomous, Autonomousの3つのレベルに分けられる。</p>
BV	<p><Level of autonomy></p> <p>レベル0: 人間がすべての決定を下し, 全ての機能を制御する レベル1: システムがアクションを提案し, 人間が判断と対応を行う レベル2: システムが機能を実行し, 人間が特定の時間内に決定を拒否する事ができる レベル3: システムが人間の反応を待たずに機能を実行する レベル4: システムが緊急の場合を除いて人間に通知せずに機能を実行する。</p>
DNV	<p><Levels of autonomy for navigation function></p> <p>M: 手動操作機能 DS: 意思決定支援機能 DSE: 条件付システム実行機能の付帯した意思決定支援機能 (ヒューマン・インザループ (人の関与), 実行前に人の確認が必要) SC: 自動制御機能 (システムが操作を実行するが, 人が動作を変更することができる。「ヒューマン・オンザループ」 (人の介入) と言われることがある) A: 自律型機能 (システムが操作を実行し, 通常人が介入する可能性はない)</p>
LR	<p><Autonomy level (AL)></p> <p>AL0: 人間がすべての決定を下し, 全ての機能を制御する AL1&2: 人間がすべての決定を下し, 全ての機能を制御するが, 意思決定支援機能を有する。 AL3: システムが人間の監視下で, 機能を実行する (人間の承認が必要) AL4: システムが人間の監視下で, 機能を自動で実行する (人間の承認は不要) AL5: システムが機能を自動で実行する (人間は監視のみ) AL6: システムが機能を自動で実行する (人間の監視が不要)</p>
NK	<p>下記①～③の組合せ</p> <p>①自動化の範囲の分類 レベル0: 人間が全ての意思決定サブタスクを実行 レベルI: 一部の意思決定サブタスクをコンピュータシステムが実行 レベルII: 全ての意思決定サブタスクをコンピュータシステムが実行</p> <p>②遠隔制御の範囲の分類 レベル0: 船上の乗組員が全てのサブタスクを実行 レベルI: 一部の意思決定サブタスクを遠隔で実行 レベルII: 全ての意思決定サブタスクを遠隔で実行</p> <p>③フォールバック実行主体の分類 レベル0: フォールバックを人間が実行 レベルI: フォールバックを人間とコンピュータシステムが分担して実行 レベルII: フォールバックをコンピュータシステムが実行</p>

各船級とも共通しているのは, 船上作業の自動化・遠隔化は, これまでに船員がシステムの一部として果たしてきた意思決定プロセスの部分が段階的に自動化・遠隔化されることによって進められるという考え方である。

システムによって, 船舶のどの機能 (操船, 推進, 電力管理, 貨物管理等) が, どのくらい (意思決定プロセスの一部なのか全部なのか) 自動化・遠隔化されており, 有事の際の対応をだれが行うのか (船員かシステムか) といったことを整理することが重要である。

なお, 意思決定プロセスの分け方には, 各船級協会でも個性があるが, 本会では図1のように, 認知, 判断, 対応の3つに分けている。

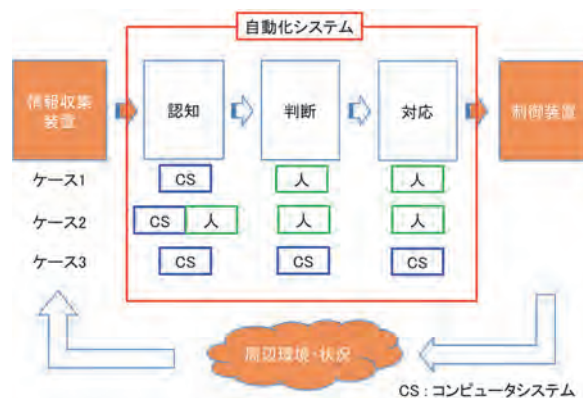


図1 自動化システムの概念図

1.4 運用の概念 (ConOps)

近年, ConOps (Concept of Operation) という

言葉を自動運航船関連の文書でよく目にするようになった。筆者が調べた限りにおいては、システム・エンジニアリングで用いられている言葉のようで、ISO/IEC/IEEE 29148の中に記載されている（図2参照）。ConOpsは、システムの利用・運用の概念、概要をまとめた文書のことを指しており、ステークホルダー要件、システム要件を引き出す上で重要な文書として位置づけられている。システムの要件定義は、必要とする能力や機能に目が行きがちなため、システムのライフサイクル全体を網羅した利用・運用のシナリオを描くことで、漏れのない（あるいは少ない）要件定義が可能になるとされている。

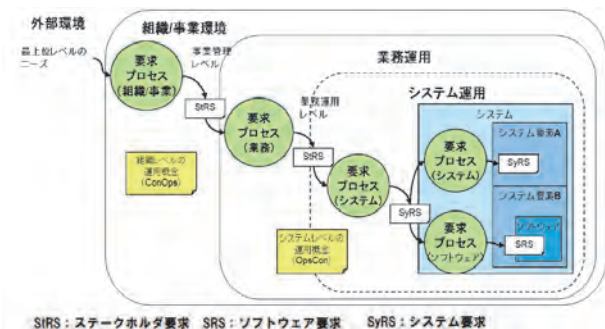


図2 要件定義プロセスの流れと対応する要件仕様の例（出典：ISO/IEC/IEEE 29148）

自動運航船の場合、高度に複雑化されたシステムが搭載されることになり、そういった大規模なシステムほど、一律の要件を設定することは難しい。同じ機能を有するシステムであっても、こういった状況下でこういった運用を行うのかによって、規定すべき要件や性能基準も異なってくるためである。この観点から、ConOpsを事前に明示したうえで、要件を設定するというアプローチは、自動運航関連のシステムの安全性を検証する際に、非常に効果的なアプローチといえる。

1.5 技術開発

自動運航関連技術の開発においては、いくつかのやり方がある。AIに代表されるような最新技術を持ち込む、船舶での使用実績はないが他業界で既に確立された技術を持ち込む、既に船舶でも確立されている既存技術をこれまでにない形で組み合わせることで新しい機能を実現させる等、アプローチは様々である。

対象とする船上作業の性質を考慮しながら、「自動化」と「遠隔化」の2種類の技術を、適宜選定もしくは組み合わせることで、自動運航の実現が目指されている。

1.6 規則整備

自動運航関連技術を社会実装するためには、規則

の整備も並行して進めなければならない。

IMOにおいて、2017年6月に開催されたMSC98から自動運航船が議題として取り上げられるようになり、自動運航船に関わるIMOの諸規制の論点整理（RSE：Regulatory Scoping Exercise）が開始された。2019年6月に開催されたMSC101では、自動運航船を開発する際のトライアルに関する暫定ガイドライン⁶⁾（以下、IMO暫定ガイドライン）が承認され、自動運航船関連のシステムやインフラの試験的な運用の際に考慮すべき基本方針が取りまとめられている。2021年5月に開催されたMSC103において、RSEが完了したことが報告された。RSEの結果、既存の条約要件と自動運航船に必要とされる要件に潜在的なギャップがあること、及び今後の作業の優先順位について、共通の認識が得られた。審議の結果、既存の条約とは独立した自動運航船のための要件を検討する方針が合意された。

本会では、2020年1月に自動運航、自律運航に関するガイドライン（Ver. 1.0）（以下、NKガイドライン）を発行した（図3参照）。当該ガイドラインは、自動運航技術に関する船級としての考え方や認証手順を示したものである。



図3 自動運航、自律運航に関するガイドライン

まずは、現在開発されている技術がどのようなものであるのか、既存技術からの「差分」を、概念設計の段階から正しく理解し、それを船級も含めた関係者で共有する。最初から一律に規範的要件を規定するのではなく、リスク評価等の手法を活用しながら、合理的に自動運航技術の評価を行う必要がある。このプロセスを踏むことで、船級は規則面の整備も進めることができ、システム所有者も具体的な使用イメージ（ビジネスイメージ）を構築することができる。システム供給者やシステム統合者も開発の方向性を明確化することができる。また、自動運航船の認証の手順を明確にしておくことで、システム供給者、システム統合者、システム所有者のそれぞれ

が、いつ、何をしなければならぬのかがわかりやすくなり、社会実装を加速させることにつながることを期待している。これからは、船級協会も含めた海事業界全体でのより一層の連携が重要になってくる。

2. 自動運航船の安全について

2.1 安全の定義

「安全とは何か」について、改めて整理をしておきたい。例えば、ISO/IEC GUIDE 51:2014では、安全とは「許容できないリスクがないこと」といった定義がなされている。

「リスクをゼロにする（絶対安全）」が理想ではあるが、現実的な観点で物事を考えると、前述のような定義になるのであろう。これを船舶に当てはめると、「許容できないリスクをなくす」ための手段が、既存船の場合は船員であり、自動運航船の場合は、システムと船員の協業ということになる。

船員の最低限の能力要件については、STCW条約に明記されている。この能力要件をそのままシステムに適用すべきかどうかについては議論が必要であるが、自動運航船において、システムが船員のタスクを部分的にでも代替する場合、これらの能力要件をどのようにシステムが達成するかについては、重要な視点となる。

2.2 機能安全

安全には、本質安全と機能安全がある。本質安全とは、機械が人間や環境に危害を及ぼす原因そのものを低減、あるいは除去することを言い、機能安全とは、機能的な工夫（安全を確保する機能：安全機能）を導入して、許容できるレベルの安全を確保することをいう。身近な例として、鉄道の立体交差は本質安全、踏切は機能安全といった整理となる。

機能安全の考えは、様々な業界で取り入れられており、鉄道だとIEC 62278、自動車だとISO 26262といったように、機能安全規格群が存在している。一例として、自動車の機能安全規格であるISO 26262は、機能安全の考え方により人的被害ゼロを目指す、安全性を軸に開発業務全体を見える化し、説明責任を果たすとともに、訴訟に耐える証拠をそろえる、といったことが制定背景にある。

船舶における機能安全規格はまだ存在していないが、自動運航船においても、機能安全の考え方は大いに参考になる。

2.3 同等性

自動運航船の安全性を議論する際、既存船が有する安全性との比較が1つの基準となる。船舶に高度

なシステムを搭載する目的は、安全性を向上する他にも、利便性を上げる、経済性を上げる、といった目的も存在する。そのため、自動運航船だからといって、既存船以上の安全性を求めるものではない。

既存船は船員（正規のトレーニングを受けた有資格者）が船上作業を行うことで、船舶を安全に運航しており、この仕組みは世界的に合意されたものである。この観点から、既存船は、船員によって「リスクを最小化された状態」ということができる。

自動運航船においては、この「リスクが最小化された状態」を自動運航技術（自動化・遠隔化）によって実現することになる。つまり、既存船と自動運航船の差分を確認し、その差分によって既存船の有する安全性が損なわれていないことを確認する必要がある。

2.4 平常時の安全と非常時の安全

安全については、「平常時」と「非常時」で分けて考える必要がある。「平常時」においては、事前に定義された最低要件を常に達成していなければならない。一方で、「非常時」においては、事前に定義された最低要件（平常時の安全条件）を下回った状態であることから、事態を「悪化させない」ことが重要な視点となる。

2.5 MRCとMRM

自動車の自動運転の場合は、Minimum Risk Maneuver (MRM) という言葉が用いられており、安全に走行できない事象が発生した場合の対処として、Minimum Risk Condition (MRC) (事故リスクが十分低い状況での停止状態) に至るまでの車両運動制御を指している。一方で、船舶においては、非常時における事故リスクが十分低い状態（非常時のMRC）を、一様に定義することは難しい。自動車と異なり、波や潮流の影響を受ける船舶においては、仮に主機を停止したとしても漂流してしまう。また、1か所にとどまるためにアンカーをうつという行為も状況によってはむしろ船舶の状態を危険にさらしてしまうこともありうる。周囲の状況、気海象、船舶に発生した異常モード等を考慮した上での柔軟な対応が必要となる。既存船の場合、船員が状況に応じて「事態を悪化させない」ための行動（自動車というMRM）を適宜判断しており、この船員の柔軟な対応力が船舶の安全運航を支えている。

自動運航船において、非常時におけるMRMをシステムが対応するとすると、技術的にも難しい。そのため、当面は船員がフォールバックする必要があるだろう。この非常時対応をシステムが自動で対応できるようになる、あるいは、発生確率を限りなくゼロに近づけることができた際に、完全自律船が

登場することになるのだろう。

2.6 リスク評価

自動運航船においては、様々な運用シナリオにおいて、予測される不具合が引き起こされないように十分な考慮が払われなければならない。その観点において、自動運航船の安全性を評価する手法として、リスク評価は非常に有効である。

本会も含め、複数の船級協会から自動運航船に関するガイドラインが既に発行されているが、その全てにおいてリスク評価が重要視されており、IMO暫定ガイドライン⁶⁾やいくつかの旗国から発行されているガイドライン⁷⁾⁹⁾でもリスク評価の実施が明記されている。国際的にも、自動運航船の安全性をリスク評価で行うという流れに疑いの余地はない。

2.7 安全性確保のための基本要素

NKガイドラインにおいて、概念設計の段階から以下に示す8つの安全性確保のための基本要素を明確化することが重要である旨記載している。

- ① 自動化・遠隔化の対象
- ② システムと人間の役割分担
- ③ 搭載に関する前提仕様
- ④ 限定領域（運航設計領域）
- ⑤ フォールバック
- ⑥ ヒューマンマシンインターフェース（HMI）
- ⑦ サイバーセキュリティ
- ⑧ コンピュータシステムの信頼性

本会においては、自動運航船の安全性は、これらの要素の組み合わせで考えることとなるが、ここに前述したMRCとMRMの考え方を加えると図4のようなイメージとなる。

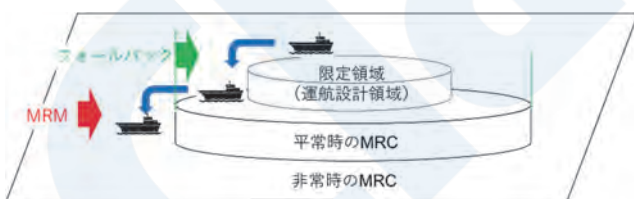


図4 限定領域（運航設計領域）とフォールバックとMRCとMRMの関係性

このように、地理的条件や環境条件、陸上支援の有無などを含めた限定領域（運航設計領域）をどのように定義し、どういった状況下でシステムを運用するのか（ConOps）、また、限定領域（運航設計領域）から逸脱するなどして、システムが正常に機能しなくなったときに、どうやって船員へタスクを委譲（フォールバック）するのかについては、安全性評価の上で非常に重要な視点となる。

2.8 課題

前述したとおり、自動運航船の安全性を評価する手法としてリスク評価が非常に有効であるが、課題も多い。

船上作業は多種多様であり、どういった状況下で、どの作業を、どの程度、自動化・遠隔化するのか、また、有事の際は誰（船員もしくはシステム）がどういったタイミングで対応するのか、によってリスクの大小は変動する。

そのため、リスク評価においては、非常に多面的な角度からハザードを抽出しなければならない。また、抽出されたハザードに対し、そのハザードが有するリスクを「許容可能なレベル」まで低減するための対策を講じることになるが、この「許容可能なレベル」を定量化することが難しい。当面は、先に述べた通り「既存船と同等」であるか否かを一つの指標としつつ、定量化のための知見を蓄えていく必要がある。

3. 操船業務を対象としたシステム例

3.1 対象

船舶には多種多様な船上業務が存在しているため、自動運航船の議論は発散しやすい傾向がある。また、抽象論の段階では、個人の知識レベルや用語の定義がそろっていないことも多く、建設的な議論を効率的に進めるためには、極力具体的な事例をあげ、共通の理解のもと、各々の専門性を持ち寄って議論を行えるような状況を整える必要がある。

そこで、現状では操船（甲板部の航海当直業務等）に関する自動化・遠隔化が先行して検討されていることに鑑み、「操船業務」の自動化・遠隔化に必要なシステムの構成について、理解共通化のためのサンプルとして活用できるよう、仮想的な整理を行った。ただし、船員の配員は現行規則に沿ったものを前提に考えており、無人船については対象外としている。

なお、類似の先行研究¹⁰⁾も実施されており、こういった研究を通じて、業界内の理解共通化が加速されることを期待している。

3.2 システム構成の一例

自動運航船における操船作業のイメージを図5に示す。ここでは、船舶内部の構成要素を、意思決定プロセスのフローをベースに、情報収集装置、認知、判断、対応、制御装置の5つのモジュールに分けている。また、遠隔制御施設は、制御装置以外のモジュールに対して、必要に応じた監視・支援・制御を遠隔オペレーターが行うと想定した。

(1) 情報収集装置

既設のセンサ群を活用することを前提に、航海当直者が実施している見張りの支援もしくは代替となるセンサ（便宜上、見張りセンサと表現した）が搭載されることになると想定。航海当直者の完全な代替となるような見張りセンサの開発は難易度が高いと考えているが、そういった見張りセンサが開発された場合には、航海当直者の見張りとの同等性を評価できるような性能基準も合わせて開発する必要がある。

(2) 認知

情報収集装置から得られた情報を統合することで、情報の信頼性を確認しつつ、正確に自船がおかれている状況を把握する必要がある。

センサフュージョン技術により情報の信頼性や完全性が向上し、船員が理解しやすいような工夫がなされたヒューマンマシンインターフェース（HMI：Human Machine Interface）を有する情報表示装置（他船との衝突リスクや座礁リスク等の重畳表示）や、与えられた情報から自船の状態を正確に分析することができるアルゴリズム等が開発されることを想定。

(3) 判断

航路を保持するか、避航行動に移るかを機械的に判断するためには定量的な指標が必要である。また、避航行動が必要な場合には、避航航路を計画する機能も必要となる。これらを考慮した上で信頼性の高い自動避航アルゴリズムが開発されることを想定。

運用は段階的に進むと考えており、システムが提案したものを船員が承認するスタイルから

導入される。実績が積まれ、システムのアルゴリズムに対する信頼性が高まったタイミングで、船員の監視下であれば人の承認なしで対応に移るようになる。

前述の認知の信頼性や完全性とも関連するため、自動操船における判断は、当面は船上の船員が担うものと考えているが、遠隔制御施設と連携する場合は、権限と責任の整理を船陸間で事前に行っておく必要がある。

(4) 対応

航路を保持するにせよ、避航行動を行うにせよ、指示された航路にそって自船を制御するための計算が行われる。既にHCS（Heading Control System）やTCS（Track Control System）が存在しており、これらの技術が適用されることも考えられる。一方で、要求される精度（オフトラック幅等）については、自船の運動性能や判断モジュールの避航航路計画で用いられるパラメータと相関があるはずであり、それらも考慮した上で適切に調整される必要がある。

(5) 制御装置

当面は既存の装置が使用されると想定。

(6) 遠隔制御施設

情報収集のモジュールに対しては、遠隔制御施設からは、最新の気海象情報や交通情報、中長期の航海計画の更新等の支援が行われると想定。

認知のモジュールにおいては、船舶から送られてくる情報の網羅性と適時性によって、遠隔制御施設における作業内容が大きく変わって

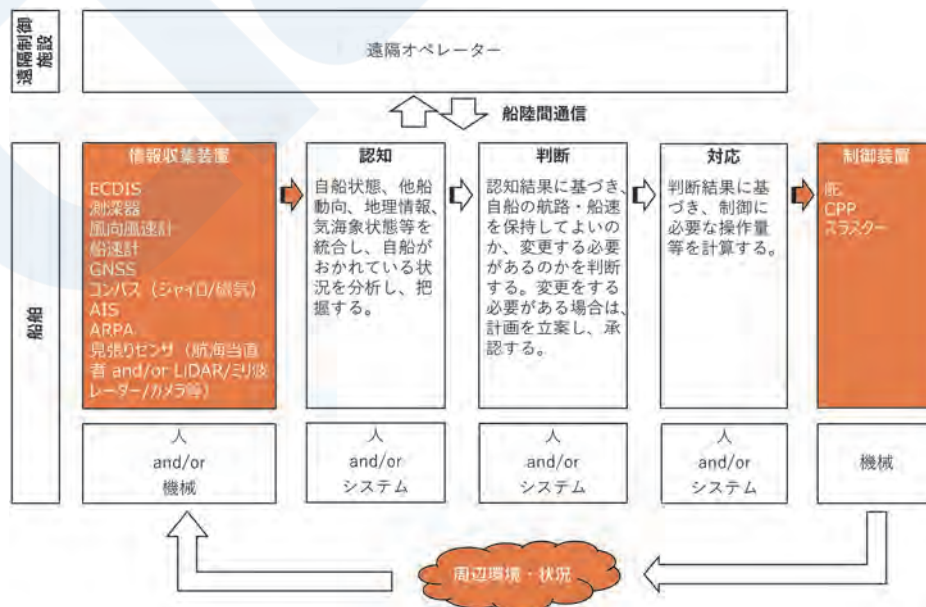


図5 操船業務の自動化・遠隔化のイメージ

る。例えば、遠隔オペレーターによる遠隔操船（目視外での操船）を行う場合は、視覚映像等も含めた認知が遠隔制御施設でも必要となり、船上とほぼ同等の認知品質が求められる。加えて、高品質な認知品質を安定的に再現できるかどうかは通信環境にも依存する。一方で、センサーデータ等の情報から、船上機器の状態監視や状態評価を行うことを目的とする場合は、求められる通信環境も緩和される。

判断のモジュールにおいては、計画立案やアドバイスといった支援が中心になると想定。

対応、制御装置のモジュールに対しては、支援対象外となることを想定。

操船関連の自動化・遠隔化を行うシステムの安全性を評価する際には、上記5つのモジュール単位でそれぞれの信頼性を確認したうえで、これらのモジュールを統合した状態で機能確認を行うといった2段階の検証を考えている。

なお、技術開発は継続的に進められ、各モジュールのアップデートも行われることになる。そういったときに、差分をとりやすくなることは、モジュール単位で検証を進めていくことの大きなメリットになると考えている。

4. NK技術研究所の取り組み

本会では、自動運航関連技術の安全性評価を行うための具体的な手法について研究を進めている。特に、リスク評価の際のハザードの抽出方法と定量的評価のためのコンピュータシミュレーションに注力している。

前述の通り、自動運航関連技術といっても多種多様であることから、自動化・遠隔化の対象を一旦操船に限定した上で詳細検討を行い、そこで得た知見を軸に、ほかの船上業務の自動化・遠隔化について

も検証を広げていくことを考えている。

4.1 網羅的なハザード抽出方法の検討

自動運転車でも予見可能な事故を防ぐというのが考え方にあるようだが、自動運航船でもそれは同じである。こういった状況下で、どの作業を、どの程度自動化・遠隔化するのか、また、有事の際は誰（船員もしくはシステム）がこういったタイミングで対応するのかについて考慮した上でハザードを抽出し、それらのリスクの大きさを見積もらなければならない。そのためには、既存船との技術の差分がどこに存在しているのかを正確に把握する必要がある。自動運航船を既存船と比較した場合、総合的なリスクは下がると考えているが、既存船にはなかった新しいリスクが発生する可能性はある。そういったところをきちんと見極め、適切な安全率を設けた上で運用することが当面は大事になるだろう。

そこで、本会では、まずハザードを網羅的に抽出するための手法について検討を進めている。具体的には、前述した8つの安全性評価のための基本要素をベースに、自動化・遠隔化する機能を明確にし、意思決定プロセスフローを考慮しながら整理することで、ハザードを抽出しやすくなるようなやり方を検討している。これまで本会が関わらせていただいた実証事業等から得た知見を表5に示すフォーマットで整理を進めている。統一的なフォーマットで複数の事例を比較検証することで、共通要件と特別要件の整理を図っていきたい。

自動運航船のリスク評価においては、機器故障に着目したハザードに加え、システム間連携やシステムと人間の協業に関するハザードについて検証することが重要となる。その観点から、以下のような視点で検証を進めているところである。

- ① システムと人の協業時に発生するハザード
- ② 情報収集装置→認知→判断→対応→制御装置の意思決定プロセスの流れの中に潜むハザード
- ③ 限定領域（運航設計領域）の妥当性検証

表5 安全性評価のための基本要素をベースとした意思決定プロセスフローの分析用フォーマット

タスク	モード	搭載に関する前提仕様								限定領域 (運航設計領域)	フォールバック
		情報収集装置 (Input)	認知		判断		対応		制御装置 (Output)		
			実行者	場所	実行者	場所	実行者	場所			
例)											
操船	輻輳海域	ECDIS 測深器 風向風速計 船速計 GNSS コンパス（ジャイロ/磁気） AIS ARPA 見張りセンサ	支援システム + 船員	本船	【計画】システム + 【承認】船員	本船	システム	本船	舵	地理条件： 環境条件： その他の条件：	船員

- ④ フォールバック発生シナリオの抽出
 ⑤ モードの切り替え時に発生しうるハザード

なお、HMIやサイバーセキュリティ、個々のモジュールにおけるコンピュータシステムの信頼性については、詳細設計が完了した段階において検証することになる。その際の検証方法としては、リスク評価というよりは、実機における接続試験やコンピュータシミュレーションといった手法が適していると考えている。

4.2 定量的評価方法の確立

リスク評価だけでは社会実装につなげることは難しい。船級協会としては、一定の基準を設け、それをクリアしてもらう必要がある。その視点から、コンピュータシミュレーションに注目している。現在検討を進めている定量的評価手法のイメージを図6に示す。

開発された自動操船のアルゴリズムの安全性を評価するためには、事故につながるシナリオに適切に対応できるかどうかの検証が必要である。様々な他船遭遇パターンと外乱の組み合わせをファストタイムシミュレーションで網羅的に検証することになる。

これに加え、フルミッション型シミュレータを用いたリアルタイムシミュレーションを行うことで、緊急時に船員へタスクを引き継ぐタイミングや必要なHMIについても検証を行うことを考えている。

シミュレーションの結果を定量的に評価するためには、評価指標を決める必要がある。そこで、日本の海技者に協力をお願いし、操船の定量的評価の手法^{11)・14)}についても開発を進めている。コンピュータシミュレーションを行う際のシナリオの作成や、シミュレーション結果を評価するための指標として何が適切かについて検討を進めており、本年度中には一度検討結果をまとめたいと考えている。

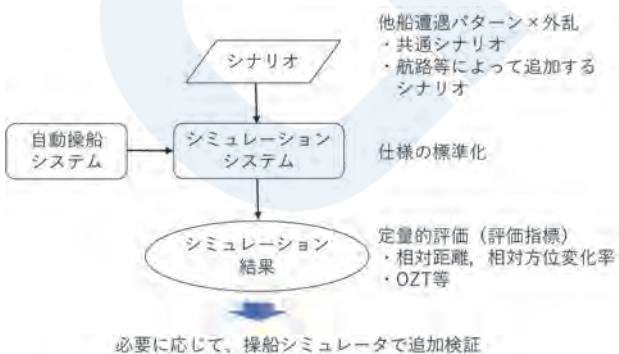


図6 自動操船システムの定量的評価方法

4.3 遠隔制御に関する要件の確立

自動運航船において、遠隔化の技術は、監視、支援（情報提供、計画作成支援等）、制御（直接的な

操作等）といった3種類の活用方法がある。遠隔制御施設において、どの性質の作業を担うのかによって、規定すべき要件は異なってくる。

また、遠隔特有の事情についても考慮する必要がある。具体的には、通信インフラや遠隔制御施設で使用する機器、従事するオペレーター等についても要件を整理しなければならない。本船だけでは完結しない。自動化技術の場合は、人と機械の連携の部分に注意する必要があったが、遠隔化技術の場合は、本船の船員と遠隔オペレーターの間意思疎通を、どのように、どの程度まで図るかといったことも整理しなければならない。ここでも前述のConOpsの明確化が重要となってくる。

本会では、こういった遠隔化技術特有の事情を考慮した上で、主に下記3つの視点から検討を進めているところである。

- ① 通信の安定性の評価方法の確立
- ② 遠隔制御施設の要件の具体化
- ③ 遠隔制御従事者の要件の具体化

5. おわりに

自動運航船の分野において、自動運航船に対する合理的な規則を作ることが船級協会の役割である。本会は、これまで2018年5月と2020年1月にガイドラインを発行するなど、日本のステークホルダーと協力しながら、準備を着々と進めてきた。今後も、技術開発に遅れることなく、必要十分な自動運航船の安全要件を設けることができるよう、しっかりとしたバランス感覚をもって進めていきたい。

参考文献

- 1) ABS : ADVISORY ON AUTONOMOUS FUNCTIONALITY 2020
- 2) BV : Guidelines for Autonomous Shipping December 2017 Guidance Note NI 641 DT R00 E
- 3) DNV : Class guideline — DNVGL-CG-0264. Edition September 2018 Autonomous and remotely operated ships
- 4) LR : Code for Unmanned Marine Systems (February 2017)
- 5) 日本海事協会 : 自動運航, 自律運航に関するガイドライン (Ver. 1.0) (2020年1月)
- 6) IMO : MSC.1/Circ.1604 (2019), INTERIM GUIDELINES FOR MASS TRIALS
- 7) 国土交通省海事局 (令和2年12月) : 自動運航

船の安全設計ガイドライン

- 8) VTMIS : EU OPERATIONAL GUIDELINES FOR SAFE, SECURE AND SUSTAINABLE TRIALS OF MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS)
- 9) Norwegian Maritime Authority, RSV 12-2020: Guidance in connection with the construction or installation of automated functionality aimed at performing unmanned or partially unmanned operations
- 10) 塩莉恵, 伊藤博子, 柚井智洋, 石村恵以子, 三宅里奈, 工藤潤一, 河島園子: システムモデリングによるリスク解析手法の自動運航船の概念設計への適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第32号, 令和3年5月-6月
- 11) Shinya Nakamura, Naoki Okada: Development of Automatic Collision Avoidance System and Quantitative Evaluation of the Maneuvering Results, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TRANSSNAV), Vol 13, No.1, pp 133-141, 2019.3.
- 12) 中村紳也, 岡田尚樹: 自動避航システムの安全性評価, 本航海学会論文集, 142巻, pp18-28, 2020年10月.
- 13) 田丸人意, 西崎ちひろ, 榎野純, 今津隼馬: OZT 分布を用いた避航アルゴリズムの構築に関する基礎的研究, 日本航海学会論文集 第139巻 pp. 1-9, 2018
- 14) 間島隆博, 南真紀子, 澤田涼平, 福戸淳司: 自動避航操船の計算アルゴリズムの開発, 第19回海上技術安全研究所研究発表会 講演資料, 2019

