

自動運航船の安全設計ガイドライン

令和2年12月

国土交通省海事局

1. ガイドライン策定の背景・目的

近年、世界的に自動運航船への関心が高まっており、各国において自動運航船の開発・実証が進められている。例えば、フィンランドにおいて、自律運航や遠隔操船の実証試験等が実施され、成功したことを公表するなど、世界各地で自動運航船の実現に向けた取組は着実に進んでいる。こうした動きを受けて、国際海事機関（IMO）は、2018年5月、自動運航船に対する規制の枠組みに関する検討を開始した他、2019年6月、国際航海を行う自動運航船の実証試験を安全に実施するための原則などを定めた暫定指針を策定した。

自動運航船への関心が高まってきた背景として、一つは技術革新が挙げられる。センシング技術やAI、IoT等の技術の急速な進歩により、自動車分野においては、世界各国で自動運転技術の研究開発や実証実験を官民が連携して積極的に実施しており、自動化技術への関心が高まっている。もう一つは、自動化システムによる安全面、労働面での改善が期待できることである。船舶事故の約7割はヒューマンエラーが原因とされているが、自動化システムの技術を導入することにより、船員の業務負担軽減や、ヒューマンエラーの減少が期待される。

我が国においては、自動運航船の実現には、最先端技術を用いた船舶の研究開発を推進する必要がある。このため、国土交通省は、2016年度より、「i-Shipping(Operation)」事業として、IoT技術やビッグデータ解析を活用した船舶・船用機器の技術開発を支援している。

また、国土交通省交通政策審議会海事分科会海事イノベーション部会報告書（2018年6月1日）において、自動運航船の実用化に向け、技術開発と基準・制度見直しの大枠を示したロードマップを策定した。同ロードマップでは、「陸上からの操船やAI等による行動提案で、最終的な意思決定者である船員をサポートする船舶」を「フェーズⅡ自動運航船」と類型化し、2025年までの実用化を当面の目標としているが、国土交通省はそのコア技術となる自動操船、遠隔操船及び自動離着棧の3つの技術の早期実証のため、2018年度より実証事業を実施している。

さらに、2020年5月に海事局がとりまとめた「海事産業将来像検討会報告書」では、当面、様々なレベルで自動運航船の実船検証等が進められると考えられるため、さしあたっては、実証事業の知見を生かしつつ、自動運航船の設計、自動操船システムの搭載、自動運航船の運航等において留意すべき事項などをガイ

ドラインとして整備し、我が国における自動運航船の実用化に向けた動きを加速していくこととしている。

今般、これまでの実証事業で得られた知見を活用しつつ、自動運航船の安全な設計において留意すべき事項等について、「海事イノベーション戦略推進本部（2018年10月設置）」の下に設置された「自動運航船安全検討WG（2019年1月設置）」において検討を実施し、「自動運航船の安全設計ガイドライン」を策定した。

なお、本ガイドラインは、現時点までに得られた知見や技術動向等に基づき、基本的な考え方を示したものであり、今後の技術の進展や国際基準の動向等を踏まえ、適宜見直すこととする。

2. ガイドラインの対象船舶

本ガイドラインの対象船舶は、「従来は船員が実行している操船に関するタスク¹を構成する意思決定サブタスク^{2,3}のうち、一部又は全てを自動化システム⁴により支援することが可能な船舶」とする。具体的には、操船（操舵、進路変更・保持、姿勢制御、推力制御、見張り、航海計画の策定 等）に関する船員が実行するタスクを支援するための自動化システムのみを対象とし、それ以外のタスク（係船作業、荷役作業、機関監視・整備 等）については本ガイドラインの対象外とする。

なお、遠隔制御システム⁵を搭載する場合においては、特別な注記がある場合を除き、「自動化システム」を「自動化システム及び遠隔制御システム」と読み替える。⁶

¹ 本ガイドラインにおける「タスク」は、操船業務を構成する操作や作業を、自動化システム又は遠隔制御システムの設計に応じて組み合わせたものをいう。（自動化や遠隔制御の対象や範囲、程度によって、「タスク」は異なる。）

² 本ガイドラインにおける「サブタスク」は、タスクを構成する操作や作業をいう。

³ 本ガイドラインにおける「意思決定サブタスク」は、サブタスクのうち、認知、判断、対応といった人間の意思決定に関わるサブタスクをいう。

⁴ 本ガイドラインにおける「自動化システム」は、コンピュータシステムあるいはコンピュータシステムと人間の組合せによって、意思決定サブタスクの一部もしくは全てを自動化するシステムをいう。

⁵ 本ガイドラインにおける「遠隔制御システム」は、意思決定サブタスクの一部もしくは全てを遠隔で制御可能とするシステムをいう。

⁶ 総トン数 20 トン未満の小型船舶（国際航海に従事する船舶を除く）であって、無線通信により遠隔操縦されるものについては、「遠隔操縦小型船舶に関する安全ガイドライン」（2019 年 4 月国土交通省海事局）に従うこととし、本ガイドラインの対象としない。

3. 自動運航船の設計における基本的な考え方

世界経済に欠かせない海上物流は、今後とも着実に拡大していくと見込まれているなかで、人的要因による海難事故を減少させる対策は喫緊の課題である。一方で、我が国の船舶事故隻数は、2019年は2,053隻⁷と依然として数多く発生しており、その約7割が人的要因によるものである。こうした状況の中で、人間が行う認知・判断・対応を自動化システムで支援する自動運航船を導入することは、人的要因による海難事故を減らす上で大きな意義を持つものとなる。

より安全な海上輸送の実現に向け、また、自動化システムの技術が発展途上にある現状を踏まえ、自動運航船の設計に際しては、当面、以下の事項を基本的な考え方とする。

- ① 船員は乗船し、緊急時に常時対応できる体制を整えておくこと
- ② 意志最終決定者は船員であること
- ③ 自動化システムが実行するタスクを明確にすること
- ④ 自動化システムが実行するタスクにおける人間とコンピュータシステムの役割分担を明確にすること
- ⑤ 自動化システムの運航設計領域⁸を特定すること

⁷ 海上保安庁調べ

⁸ ODD(Operational Design Domain)とも表現される。自動化システムが適切に機能する運用の範囲をいう。

4. 自動運航船の安全性確保のための留意事項

自動運航船の設計にあたっては、次の事項に留意し、その安全性を確保することが必要である。

(1) 運航設計領域の設定

現状、自動化システムは未だ開発段階の技術であり、あらゆる海域や海象条件等の下で自動運航船が完全に安全な航行を行える技術水準に至っていない。このため、自動化システムは個々の自動運航船あるいは自動化システムが有する性能及び使用の態様に応じた運航設計領域を定め、運用の範囲・条件を制限し、自動化システムの作動に起因した、合理的に予見される事故が生じないことを確保する必要がある。

例えば、次の運用の範囲・条件を設定する必要がある。

- ・ 地理条件（航行海域の航路幅、沿岸からの距離 等）
- ・ 環境条件（昼、夜、気象、海象、輻輳度、通信状況 等）
- ・ その他の条件（航行制限、港湾施設を含む外部からの支援度、信号情報等のインフラ協調の要否 等）

(具体的な留意事項)

- | |
|--|
| <p>① 運航設計領域は、少なくとも以下を考慮して設定すること。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 自動化システムの作動に必要な種々の情報を収集する機器や装置
(例：カメラ、センサー、航海計器 等)・ 自動化システムが収集した情報を分析した上で、航海計画を策定する機器や装置・ 自動化システムが実行するタスクに供される機器や装置
(例：操舵装置、推進装置 等)・ 船員へのタスクの引継ぎに要する時間 <p>② 自動化システムまたは船員が、自動運航船が、航行海域の航路幅等の地理条件、気象・海象等の環境条件等が事前に設定された領域の範囲内にあることを確実に認識し、同システムが当該範囲内で適切に作動するよう設計すること</p> |
|--|

(2) ヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI) の設定

本ガイドラインにおける自動運航船は、現時点において、無人を想定していないことから、タスクの実行のために自動化システムと人間との間において情報（データ）交換が発生する。HMIは、この情報交換を行うための手段や装置を指す。

自動化システムの運航設計領域を逸脱した場合や、自動運航船に障害が発生した場合等において、自動化システムによる実行継続が困難となったタスクは、船員に

よって確実に認知され引継がれる必要がある。また、平常時においても、船員の意図する時機に応じ、タスクの引継ぎが行われる必要がある。これらのタスクの引継ぎが確実に行われるため、HMI の設定においては、船員が理解しやすい表示や音声での提示方法等を考慮する必要がある。

(具体的な留意事項)

- ① HMI は、少なくとも以下の機能を考慮して設計すること。
- ・ 自動化システムの判断に関する情報を船員が容易かつ確実に認知することを可能とする機能
 - ・ 自動化システムからのタスクの引継ぎ要求を船員が確実に認知することを可能とする機能
 - ・ 一部のタスクのみを船員へ引継ぐ要求である場合を考慮して、船員が引継ぐべき対象のタスクを確実に認知することを可能とする機能
 - ・ 自動化システムから船員にタスクが引継がれたか否かを認識することを可能とする機能
 - ・ 自動化システムが解除された場合、タスクを引継いだ船員が、当該タスクについて確実に自動化システムが解除されていることを認識できる機能
- ② 複数の自動化システムが船上に搭載される場合には、HMI は、複数の自動化システムの状態を統合して管理及び表示することが可能な機能を考慮して設計することが望ましい。

(3) 自動化システム故障時等の船員の操船への円滑な移行措置

航行海域の環境の変化等により、自動化システムの状態が設定された運航設計領域の範囲外となる、又は範囲外となる可能性がある場合、並びに、自動運航船や自動化システムに障害が発生した場合等においては、事故が生じるリスクを最小化するための対応が必要である。

本ガイドラインにおける自動運航船では、船員が乗船し、緊急時等に常時対応できる状況を前提としていることから、船員が自動化システムから緊急にタスクを引継ぐ事態が想定される。よって、緊急の場合であっても船員が的確に対応できるよう、船員の役割を明確化する必要がある。また、特に複数の船員が関わる可能性がある場合、各自の役割、あるいは、船員の対応の順番等を整理しておくことが必要であるため、自動化システムの設計においては、タスク引継ぎのプロセスを明確にして設計する必要がある。

なお、自動化システムの故障時等において、最終的なタスクの請負者は船員であることが前提であるが、船員が自動化システムからタスクを請け負うまでの間において、他の手段やシステム等によるタスクの引継ぎが行われてもよい。

(具体的な留意事項)

- ① 自動化システムから船員へのタスクの引継ぎに関して、プロセスや制限を明確にし設計すること。
- ② 船員にタスクが引継がれるまでの間、自動化システムの機能を維持又は制限した状態で、自動化システムの稼働を継続させる設計とすること。
- ③ 自動化システムが正常に動いている事を確認する手段⁹、異常状態及びその認識手段、異常回復手段、停止手段、復帰手段、及び代替手段を明確に分別し設計すること。
- ④ 自動化システムの主電源が喪失した場合は、簡単な操作により船員にタスクが引継ぐことが可能な設計とすること。
- ⑤ 適切な船員へのタスクの引継ぎが可能となるよう、以下を考慮し設計すること。
 - ・ 船員がタスクの引継ぎ完了までに要する時間
(例：船員が自船及び自船周りの状況認識に要する時間、行動策定を行う時間的余裕、視覚暗順応に要する時間 等)
 - ・ 船の操縦性能において衝突回避等の対応が可能な範囲
- ⑥ 警報以外の通知や注意喚起を行う場合、船員が警報とは異なることを視覚的・聴覚的に認識することが可能な設計とすること。
- ⑦ 複数の警報を同時に発する場合においては、警報を要因毎に整理して表示する等して、船員が混乱せず適切に対応できる設計とすること。
- ⑧ 構成する装置が正常に作動していないおそれがある場合、可視可聴の警報が発せられる設計とすること。
- ⑨ 運航設計領域の範囲を逸脱することが事前に予想される場合は、事前に十分な時間的余裕をもって注意喚起を行い、船員が自動化システムからタスクの引継ぎ要求がある可能性があることを認識可能な設計とすること。
- ⑩ 設定された運航設計領域の範囲を逸脱した場合や自動運航船に障害が発生した場合等、自動化システムの作動継続が困難であると同システムが判断した場合、可視可聴警報を発し、船員に対しタスクの引継ぎ要求を行う設計とすること。
- ⑪ ⑨において、急激な天候の悪化その他の予測することができないやむを得ない事由により、自動化システムが事前に十分な時間的余裕をもって注意喚起を発することが困難なときは、当該事由の発生後直ちに、自動化システムが可視可聴警報^{*}を発し船員へのタスクの引継ぎを要求し、船員によりタスクが引継がれるまでの間は、リスクを最小化させるための制御が作動する設計とすること。

⁹ 正常に動いていることを確認する手段としては、コンピュータがフリーズしていない事を船員に知らせる表示等が考えられる。

※この場合において当該警報は、船員により対象のタスクが引継がれ、船員による当該タスクに関する正常な操作を検知した場合にのみ終了することができる。

(4) 記録装置の搭載

航海中に起こった海難事故等の原因調査に資するため、自動化システムの作動状況や船員の待機状況等をデータとして記録する装置を備えることが望ましい。

(具体的な留意事項)

- ① 自動化システムを搭載する船舶には記録装置を備え置くことが望ましい。
- ② 記録装置は、以下の項目を特定できる情報を保存できることが望ましい。
 - ・ 自動化システムが作動開始及び停止した時刻
 - ・ 自動化システムによる引継ぎ要求が発せられた時刻
 - ・ 自動化システムがリスクを最小化させるための制御を開始した時刻
 - ・ 自動化システムの作動中に船員が手動操舵などにより引継ぎを行った時刻
 - ・ 自動化システムが故障のおそれのある状態となった時刻
 - ・ 使用された航海計画
 - ・ 自船の時々刻々の状態量（船位、船速等）、各種指示値（指令舵角等）、操船意図を示す情報
- ③ データの保存期間は2年以上とすることが望ましい¹⁰。
- ④ 保存された記録は、通信を行うインターフェイスにより取得できることが望ましい。
- ⑤ 保存された記録は、改ざんされないよう、適切に保護されていることが望ましい。

(5) サイバーセキュリティの確保

自動運航船では、従来よりも多くの場面において情報通信技術を利用するため、船舶の制御系の乗っ取りや障害を引き起こすサイバー攻撃を受けるリスクが高くなる。したがって、自動運航船の安全性確保の観点から、自動化システムに応じたサイバーセキュリティを確保する必要がある。

(具体的な留意事項)

- ① IACS¹¹の「Recommendation on Cyber Resilience¹²」や日本海事協会の「船舶におけるサイバーセキュリティガイドライン」等を参考に設計すること。

¹⁰ IMO 決議 MSC.333(90)の VDR に関する性能基準を参照

¹¹ 国際船級協会連合

¹² IACS Recommendation No.166 「Recommendation on Cyber Resilience」

- ② 自動化システムに係るサイバーセキュリティに関する最新の情報を収集し、クラッキング対策等のサイバーセキュリティを考慮し設計すること。
- ③ 自動化システムのソフトウェア及びプログラムについて、運用過程においてサイバーセキュリティを確保するために必要なアップデート等に係る措置を講じることが可能とする設計とすること。
- ④ 外部からの船舶の制御系への不適切な干渉を防止するため、ファイアーウォールの設計等に係る措置を講じることが望ましい。

(6) 避航・離着棧機能を実行するための作動環境の確保

自動化システムの機能として、設定された航海計画に従い、センサー等によって取得された周囲情報、海図や気象情報等の情報を分析した上で、航海計画の策定や、運航設計領域内で自動運航船を航行させるための操船に関するタスク等を実行する機能が想定される。また、これらのタスクは、コンピュータシステムにより実行されるタスクと、船員により実行されるタスクに分別され、自動化システムの能力に応じて種々に組み合わせたタスクの分担があり得る。よって、船舶の安全な運航を実現するために、船員が実行しなければならないタスクを明確にするとともに、自動化システムにより実行できなくなったタスクを船員に引き継げるように設計することが必要である。

また、離着棧時等、低船速における操船においては、操縦性能の低下により風や潮流などの外乱の影響を受けやすくなる。これにより、衝突や座礁などの海難につながるおそれがあるため、低速時の操縦性能低下といった特性を考慮する必要がある。

なお、本ガイドラインでは、自船に備えられた装置を制御して離着棧することを前提としており、タグボート等との連携による離着棧は対象としていない。

(具体的な留意事項)

- ① 船員の意志により自動化システムの作動開始及び停止が可能とする設計とすること。
- ② 航海計画による運航が終了した後、船員へタスクが引継がれるまでは、自動化システムにより船舶の安全が維持される設計とすること。
- ③ 自動化システムを一時中断し、船員による操船が行われた後、再度自動化システムを使用する際は、当該システムの作動環境が運航設計領域内であることを確認した後に再開する設計とすること。
- ④ 離着棧機能について、岸壁へのアプローチにおけるコースの取り方、船速や岸壁からの離隔距離における制御余裕(マージン)を考慮し設計すること。特に、アプローチする際の進入角度、船速に応じた操縦性能の変化を考慮すること。

- ⑤ 避航操船機能について、避航対象（船舶、浅瀬、障害物 等）の状況や状態を考慮すること。
- ⑥ 航海計画策定時において、航海計画のうち自動化システムの運航設計領域の範囲外となる部分を明確に表示し、航海計画の途中で船員によるタスクの引継ぎが必要となることを船員が認知することが可能とする機能を有する設計とすることが望ましい。
- ⑦ 自動化システム停止時において、使用中であった航海計画等を含む重要データが自動的に保存されることが望ましい。また、一時中断後、再度自動化システムを使用する際には、保存データを呼び出すことが可能な設計とすることが望ましい。

（7）遠隔制御機能を実行するための作動環境の確保¹³

自動運航船において遠隔制御システムを作動させる場合は、遠隔制御施設と遠隔制御の対象船舶との間で通信を利用することから、通信装置の性能を考慮した設計とする必要がある。また、遠隔制御施設のオペレーター、船員及び自動化システム間でタスクの引継ぎが発生するため、自動運航船の安全性確保の観点から、タスクの引継ぎは確実に実施される必要がある。

（具体的な留意事項）

- ① 船員の意志により遠隔制御システムの作動開始及び停止が可能とする設計とすること。
- ② 遠隔制御を対象とする船舶の運航に関する意思決定サブタスクについて、オペレーターと船員との役割分担を明確にし設計すること。
- ③ 遠隔制御システムの運航設計領域は、以下を考慮して設定すること。
 - ・ 通信の遅延時間、通信路容量及び通信可能エリア
 - ・ 運航設計領域(航行区域)における通信状況
 - ・ 既存船の操縦性能¹⁴を参考とした制御余裕(マージン)
 - ・ 更新頻度(データのサンプリング周期、フレームレート 等)
- ④ 遠隔制御施設及び船内の操船場所のそれぞれにおいて、船舶を遠隔で制御する際に必要なリアルタイムの情報を、遠隔制御施設と船舶において許容される遅延時間内で確認することが可能な機能を有した装置を備え置くこと。
- ⑤ 遠隔制御施設及び船内の操船場所のそれぞれにおいて、操船権限の所在を表示する機能を有した装置を備え置くこと。

¹³ （7）は遠隔制御システムを搭載する船舶に適用する。なお「自動化システム」の読み替えは行わない。

¹⁴ IMO resolution MSC.137(76)や検査の方法 B 編第 1 章で求められる海上試運転で要求される基準を満たす性能

- ⑥ 遠隔制御システムの運航設計領域の設定に応じて、通信装置の種類や系統数を適切に組み合わせる等して冗長性を確保することにより、システムの信頼性を向上させることが望ましい。

(8) リスク評価の実施

自動化システムのシステム供給者¹⁵、システム統合者¹⁶及びシステム所有者¹⁷は、リスク評価を協力して実施することにより、設定された運航設計領域における安全性を事前に確認することが重要である。

リスク評価の実施にあたっては、対象となる船舶のハード面やオペレーション等のソフト面を考慮する必要がある。

(具体的な留意事項)

- ① 自動化システムのシステム供給者、システム統合者及びシステム所有者は、設定された運航設計領域においてリスク評価を行い、自動化システムの作動によって発生する、合理的に予見される事故が生じるリスクが、許容可能な範囲に収まっていることを確認すること。
- ② リスク評価の実施者は、許容できないリスクが確認された場合、追加の安全対策を講じ、リスクが許容可能な範囲に収まるまで対策を講じること。

(9) 自動化システムの手引き書作成

運用過程の自動運航船の安全確保の観点から、自動化システムのシステム供給者、システム統合者及びシステム所有者は、自動化システムの手引き書を協力して作成する必要がある。

(具体的な留意事項)

¹⁵ 本ガイドラインにおける「システム供給者」は、システムの設計及び供給を行う事業者をいう。(例：メーカー)

¹⁶ 本ガイドラインにおける「システム統合者」は、システム供給者より供給されたシステムを統合システムへと統合し、これを提供する事業者をいう。設計の段階においては、複数のサブシステムをシステムとして統合する役割を担う。システム供給者を兼ねることもできる。(例：メーカー、造船所)

¹⁷ 本ガイドラインにおける「システム所有者」は、自動化システムや遠隔制御システムを運用する船舶の所有者をいう。システムの所有者は、当該船舶の運航会社等にシステム所有者としての役割の一部を委譲することができる。遠隔制御システム（遠隔制御施設）の運用者が、船舶の所有者と異なる場合も考えられ、その場合も遠隔制御システムを運用する事業者がシステム所有者としての役割の一部を委譲することができる。システム統合者やシステム供給者と契約を締結する事業者でもある。(例：船主、海運会社)

自動化システムのシステム供給者、システム統合者及びシステム所有者は、自動化システムの運用者向けの、自動化システムの機能等の概要、運用方法、運航設計領域の範囲及びタスクの引継ぎ手順等をまとめた手引書を作成すること。

(10) 法令の遵守

自動運航船は、設定された運航設計領域の範囲内において、自動化システムの作動に起因した、合理的に予見される事故が生じないことを確保する必要がある。

また、自動運航船は自船及び周囲の安全を確保するため、自動化システムを搭載・作動する場合においても法令を遵守する船舶である必要がある。¹⁸

(具体的な留意事項)

- ① 自動運航船は、船舶安全法、海上交通安全法、海上衝突予防法、港則法等、船舶の航行・安全に関する法令を遵守する船舶であること。
- ② 自動化システムの作動停止中であっても、①を維持するための操船を可能とする設計とすること。