株式会社商船三井殿

**無人運航船の実証実験に関するリスク評価**

**内航コンテナ船 “みかげ”　向け**

**HAZID報告書**

2020年11月

株式会社ClassNKコンサルティングサービス

**目次**

[1. 要旨 3](#_Toc55248089)

[2. 概要 3](#_Toc55248090)

[2.1 目的 3](#_Toc55248091)

[2.2 作業範囲 3](#_Toc55248092)

[2.3 制限及び仮定 3](#_Toc55248093)

[2.4 略語及び定義 4](#_Toc55248094)

[2.5 参考資料 5](#_Toc55248095)

[3. 対象船及び運用の概要 5](#_Toc55248096)

[3.1 みかげの仕様 5](#_Toc55248097)

[3.2 自律操船システム 6](#_Toc55248098)

[3.3 自律操船システムのタスク及びサブタスク 8](#_Toc55248099)

[3.4 自律操船システムの限定領域 10](#_Toc55248100)

[3.5 実証航海の航路 11](#_Toc55248101)

[3.6 切替手順 12](#_Toc55248102)

[4. HAZID手法 13](#_Toc55248103)

[4.1 手法 13](#_Toc55248104)

[4.2 事故シナリオ 14](#_Toc55248105)

[4.3 ガイドワード 14](#_Toc55248106)

[4.4 リスクマトリクス 15](#_Toc55248107)

[4.5 リスク評価会議(ワークショップ) 16](#_Toc55248108)

[4.5.1 HAZIDチーム 16](#_Toc55248109)

[4.5.2 リスク評価の流れ 16](#_Toc55248110)

[5. 結果 17](#_Toc55248111)

[5.1 HAZIDワークシート 17](#_Toc55248112)

[5.2 実証前の確認事項及び今後の検討事項 17](#_Toc55248113)

[6. 結論及び考察 24](#_Toc55248114)

[付録A　参考資料 25](#_Toc55248115)

[付録B　ハザードガイドワード 26](#_Toc55248116)

[付録C HAZIDチーム 29](#_Toc55248117)

[付録D HAZIDワークシート 32](#_Toc55248118)

# 要旨

株式会社ClassNKコンサルティングサービスは、**株式会社 商船三井殿**の申込みにより、同社が計画する無人運航船の実証実験に関わるリスク評価(HAZID)を実施した。

本HAZIDでは、通常の航海当直状態における無人運航システムの実証航海により生じる人員、環境、船体の構造又は保全性に対するリスクについて検証するため、無人運航システムの使用に関連する潜在的なハザードを洗い出し、必要に応じて作業手順及び本船設備に取り入れるべき安全対策を提案することである。

本HAZID会議で検討した結果、全体で59件のハザードが洗い出された。この内、危険性の高いハザードは0件、危険性の低いハザードは10件(そのほか7件はハザードが上げられたものの本システムの実証実験時において対象外とした)、ALARP領域のハザードは42件が同定され、それらのハザードに対する実施済み安全対策の妥当性及び実証実験までに確認すべき事項などが検討された。本検討結果により、無人運航システムの実証実験は、既存の安全対策が適切に実施される条件の下では危険性の高いハザードは特定されず、全てALARP領域若しくは危険性の低いハザードとして潜在することが確認された。

# 2. 概要

## 2.1 目的

本HAZIDの目的は、対象となる内航コンテナ船で実施される無人運航船実証実験の安全性を確認するため、想定される航行状態において、自動操船及び自動離着桟を行うことにより生じる人員、環境、船体の安全性に対するリスクについて検証することである。

## 2.2 作業範囲

本HAZIDでは、付録Aに掲げる技術図書に示されたコンテナ船において無人運航船の実証実験を実施するにあたり、潜在するハザードの同定及び安全対策の検討を行い、船舶の物理的特性や運航上の特性の(従来の有人運航船との)違いによる影響を考慮し、洗い出されたハザードにより人命、船全体の健全性及び環境に影響を及ぼすリスク(ハザードによりもたらされる影響・結果の起こりやすさとその被害度)を分析する。

本HAZIDにおける、主な作業は以下の通りである。

1. 無人運航船のオペレーション及び新技術のレビュー
2. 無人運航船に関わる潜在的なハザードの洗出し
3. リスク解析による現状の安全対策の有効性の確認
4. 必要に応じて追加のリスク制御対策の提案

## 2.3 制限及び仮定

本検討では、以下の制限及び仮定を設ける。

1. 本HAZIDは、付録Aに掲げる技術図書に示された船舶の範囲内で検討する。
2. リスクの種類は4章に記載のものを標準とし、リスクマトリクスに使用される起こりやすさと被害度は、リスク評価会議(ワークショップ)における参加者の判断により、最終的に評価される。
3. 株式会社ClassNKコンサルティングサービスは、本報告書で示されたリスク制御対策の実施について責任は持たない。
4. 本業務は、旗国の代行権限の下、船舶の承認を意味するものではない。

## 2.4 略語及び定義

略語及び略語を表2.4-1に示す。

表2.4-1 略語及び定義

| **略語** | **定義** |
| --- | --- |
| HAZID | Hazard Identificationリスク評価の対象システム等について、統計データ等の情報の体系的な利用、あるいはブレインストーミング等により、ハザードを同定すること |
| WS | Work Sheet |
| 危害 | 人命損失を含む身体的傷害や健康的傷害、あるいは財産や環境が受ける害 |
| ハザード | 人命、健康、財産又は環境などに対して、危害を及ぼし得る要因 |
| 事故 | 人命、健康、財産又は環境などに対して、危害を及ぼし得る予期せぬ出来事 |
| 事故シナリオ | 初期状態から、危害に至る一連の過程を想定したシナリオ |
| 被害度 | ハザードによってもたらされる不利益な影響又は結果としての事故の大きさ |
| 起こりやすさ | 上の影響又は結果が出る可能性 |
| リスク | 被害度と起こりやすさを掛け合わせたもの |
| ALARP領域 | 合理的に実行可能なリスク制御対策が必要となる領域ALARP：As Low As Reasonably Practicable |
| リスク制御対策 | リスクの低減のために実施する対策 |
| フォールバック | 自動化システムや遠隔制御システムの故障やサイバー攻撃による侵入など、自動化システムや遠隔制御システムが正常に作動しない状態が発生した際に、危険を最小化するために行う対応をいう。限定領域外の状態に陥った場合の対応を含む。 |
| OZT | 相手船による航行妨害ゾーンOZT：Obstacle Zone by Target |
| MMS | 統合操船システムMMS：Mitsui Maneuver control System |
| 井本商運 | 井本商運株式会社：本船のオペレータ |
| MOL | 株式会社　商船三井：本プロジェクトのコーディネータ |
| MES | 三井E&S造船株式会社：自律操船モジュール及びMMSの設計・製造者 |
| 古野電気 | 古野電気株式会社：航海計器及び自船周囲統合システムの設計・製造者 |
| NMRI | 国立研究開発法人 海上技術安全研究所：リスク評価の専門家 |
| NKCS | 株式会社 ClassNKコンサルティングサービス：本HAZIDの事務局 |
| NK | 一般財団法人　日本海事協会：規則専門家 |

## 2.5 参考資料

本HAZIDで使用する参考資料を付録Aに示す。

# 3. （非公表）

# 4. HAZID手法

## 4.1 手法

HAZID(Hazard Identification)とは、表2.4-1の通りシステム等に潜在するハザードを同定することであり、リスクアセスメントの手法として、工業及び産業の業界において、頻繁に実施されている。

本HAZIDでは、同手法に精通した会議進行役の下、対象システムの設計者、当該システムを搭載した船舶の運航者及び関連規則の専門家が参加するリスク評価会議(ワークショップ)において、What-if解析手法 (SWIFT法)によりハザードを同定する。SWIFT法は専門家チームで行うハザード同定のための体系的な手法であり、ガイドワードなどを基に通常の操作からの逸脱を想定し、ブレインストーミングによりハザードを同定する。

SWIFT法を採用した本リスク評価会議(ワークショップ)の進め方は、以下の通りである。

* 無人運航船を運用するオペレーションを定義する
* ハザードをブレインストーミングする 「もし○○だったら？」、「どのようにして○○が起こり得るか？"」
* 議論されたハザードを論理的に整理する
* 事故シナリオにより、起こり得る結果を想定する
* 事故シナリオが起こることを防ぐための実施済み安全対策を特定する
* 実施済み安全対策の妥当性及び追加安全対策が必要であるかどうか評価する
* これらの検討結果を記録する

本手法から以下の結果が得られる。

* ハザード及びそれらに関連する事故のシナリオの抽出
* リスクの高いハザード及び事故シナリオの特定
* 実施済み安全対策の有効性の確認
* リスクを低減するための追加安全対策の提案

## 事故シナリオ

本HAZIDでは、下記オペレーションにおいて想定される事故シナリオを検討する。なお、本HAZIDのワークシートでは、これらをオペレーションノードとして以下の表4.2-1のように分類する。

表4.2-1 オペレーションノード

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Node** | **オペレーション** | **特記事項** |
| 1 | 離岸 | 推進装置を前進方向で連続運転開始するまで |
| 2 | 出港 | 輻輳海域、挟水道、通常の航海状態への増速 |
| 3 | 通常航海 | 大洋航海中 |
| 4 | 入港 | 輻輳海域、挟水道、通常の航海状態からの減速 |
| 5 | 着桟 | 推進装置を前進方向で連続運転終了した後 |

## 4.3 ガイドワード

本リスク評価会議(ワークショップ)で使用するガイドワード(例)を付録Bに、ハザード(例)を付録Cに示す。ハザード(例)を付録Cに示す。ハザードとは、その一部が事故などの形で現れることで、人命、環境、財産などに害を与えるものである。潜在的な原因も含まれるものである。また、ハザードの同定では、ガイドワードと呼ばれる検討すべき項目を考慮して、ハザードを洗い出す。

## 4.4 リスクマトリクス

事故シナリオの起こりやすさ、被害度及びリスクランキングについては、IMOで安全基準の改正等に用いられるFSA(Formal Safety Assessment：総合安全評価)を基に以下の通り作成した。事故シナリオの起こりやすさ及び被害度は、表4.4-1及び表4.4-2に示された定義に基づいて検討し、図4.4-1に示されるリスクマトリクスを用いて同定された各ハザードに対応するリスクをランク付けする。リスクマトリスクに示されたリスクの領域及び分類を表4.4-3に示す。これらの定義及びリスクマトリクスは、本リスク評価会議において、参加者の合意を得て使用される。なお、各ハザードに対するリスクランキングを決定する際、被害度(SI)及び起こりやすさ(LI)に関する統計データが入手できない場合は、各分野の専門家の意見を参考に決定する。

表4.4-1 起こりやすさの定義

| **LI** | **定性的な表現** | **定義** | **単位：隻・年あたり** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 極めて起こり得ない | Extremely remote | 40、000隻で、寿命中に1回 | 　　　　　　　P　< 10^-4 |
| 3 | あまり起きない | Remote | 40隻で、寿命中に1回 | 10^-4 ≦　P　< 10^-2 |
| 5 | 起こり得る | Reasonably probable | 40隻で、寿命中に数回以上 | 10^-2　≦　P |

表4.4-2 被害度の定義

| **SI** | **定性的な表現** | **実証航海への影響** |
| --- | --- | --- |
| 1 | 小さな影響 | Minor | 実証航海継続可 |
| 2 | 大きな影響 | Significant | 実証試験が中断したとしても再開可能 |
| 3 | 深刻な影響 | Severe | 実証試験の中断が必要で、再開も不可能 |

|  | **起こりやすさ (LI)** |
| --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **被害度 (SI)** | **極めて起こり得ない** |  | **あまり起きない** |  | **起こり得る** |
| **1** | 小さな影響 | L | L | M | M | M |
| **2** | 大きな影響 | L | M | M | M | H |
| **3** | 深刻な影響 | M | M | M | H | H |

図 4.4-1 リスクマトリクス

表 4.4-3リスクの分類

|  |  |
| --- | --- |
| **許容できない領域** | 許容できないリスクを回避するため、リスク制御対策が必要 |
| **ALARP領域** | 合理的に実行可能なリスク制御対策が必要 |
| **広く許容される領域** | リスク制御対策は不要 |

## 4.5 （非公表）

# 5. 結果

本HAZID会議では、合計59個のハザードが同定され、それらに対する実施済み又は追加の安全対策が整理された。許容できない領域に分類されるリスクは0件、ALARP領域に分類されるリスクは42件、広く許容される領域に分類されるリスクは10件(そのほか7件はハザードとして挙げられたものの、本システムの実証実験時において対象外とされた)であった。本結果より、無人運航システムによる実証航海は現状の安全対策を講ずることで、許容される範囲内にリスクが抑えられていることが確認された。

## 5.1 （以下非公表）

# 6. 結論及び考察

本HAZIDの結果より、実施済みの安全対策を考慮に入れた場合、洗い出された全てのリスクはALARP領域、又は許容される領域に分類されることが確認された。

本HAZIDの対象である実証実験は、通常の航海当直体制かつ自律操船システムに精通する各メーカのエンジニアが乗船する船舶において実施される。本船に重大な事象を生じないため、操船者が自律操船システムの適切に作動できる範囲を把握し、自律操船システムが操船できる範囲外である場合は、操船者がそれを認識し、自律操船システムによる操船から通常の操船に切替が求められる。

今般、自律操船システムの実証航海に関する懸念事項及び確認事項を洗い出す中で、操船者が自律操船システムの適切に機能できる範囲を把握できない原因として、航海計器、センサの適切に作動できる範囲を把握できてないこと、自律操船システムの限定領域を把握及び、自律操船システム及び関連機器の異常を認知できないことが上げられた。そのような事象が生じないように、自律操船システムが適切に作動する範囲を把握すること及び、異常が生じた際の警報を確実に操船者に伝達できるヒューマンマシンインターフェースとし、自律操船システムの使用に関する教育/訓練を実施することが本実証航海前に確認すべき事項として求められる。

既存の安全対策を講ずることで、本実証航海のリスクは許容される範囲内に抑えられている結果となった。将来的に本システムを製品化する際、安全性の更なる向上に見ならず、経済的な航海も求められる。そのため、本実証航海を通じて、実際の操船で想定されるシナリオの把握、操船方法及び情報/警報表示などの適切なヒューマンマシンインターフェースなどの情報収集をじっしし、適宜フィードバックする必要がある。特に、経済的な操船に関する課題として、船舶の行き会いや横切りに対する余裕度の最適化については、自律操船システムの実証航海を通じて本システムの特性を理解し、安全性が確認された上で、関係者間の合意を得て、各種設定値(航行できる輻輳度の範囲)を調整し最適なシステムとすることが提案された。

# 付録A　参考資料

（非公表）

# 付録B　ハザードガイドワード

本リスク評価で使用するガイドワードを以下の表B-1に示す。

表B-1ガイドワード(例)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分類 | 対象 | ガイドワード |
| 出航前準備 | 長期航海計画 | 人 | 不適切な入力 |
| バージョン管理 | アプリケーション(ENCなど) | 未更新 |
| 自動化システム | 未更新 |
| 自動化システム接続機器 | 未更新 |
| パラメータ設定 | 自動化システム | 不適切な設定 |
| 航行 | 意思決定サブタスク | 認知 | 人センサ、航海計器 | 自動化システムへ無反応、未入力、誤入力 |
| 人 | 見張り不良 |
| センサ | 小さい物標の未検出検知限界の外にある物標 |
| センサ、航海計器 | 複数ある同一種類の入力値が異なる |
| 判断 | 自動化システム | 策定された計画航路が不適切計画航路の策定が不可能 |
| 人 | 航海計画承認に関わる判断ミス |
| 対応 | 人、制御装置 | 計画航路の実行ミス |
| フォールバック | 人 | 未対応 |
| 外乱 | 輻輳海域 | 他船 | 航行状態の急激な変化 |
| 自動化システム | 自動化システムの限界を超える状況 |
| 人 | 状況認識ミス |
| 挟水道 | 自動化システム | 計画航路の策定不良 |
| 環境 | 自動化システム | 気象海象の悪化 |
| 人 | 視界不良時の検知不良 |
| 装置 | 自動化システム | ---- | 自動化システムの異常 |
| 自動化システムの設定が不適切 |
| 情報収集装置 | センサ、航海計器 | 自動化システムへの入力値が異常 |
| 自動化システムへの入力値が異なる |
| センサー出力の異常 (レンジ外、出力無し) |
| 制御装置 | Auto pilot | 故障 |
| 電気設備 | ---- | 電源喪失 |
| サイバーセキュリティ | 自動化システム | マルウェア感染 |
| GNSS、AIS | 電波妨害書き換え |
| Radar | 電波妨害 |
| 非常事態 | 船舶 | 船舶 | 火災 (操船、堪航性への影響の考慮) |
| 浸水 (操船、堪航性への影響の考慮) |
| 人 | 人 | 落水 |
| 不十分な訓練 |

本リスク評価で使用するハザードを以下の表B-2に示す。

表B-2 ハザード(例)

|  |  |
| --- | --- |
| **ハザード** | **自動化システムの対象が「操船」の場合の例** |
| 外部環境の変化 | 悪天候、視界不良、輻輳船舶の出現等  |
| 想定外の他船の挙動、漁網や海洋生物等も含む |
| 自動化システム及び関連装置の不良 | 情報収集装置からの信号喪失 |
| 情報収集装置からの情報の信頼性や安定性の低下 |
| 自動化システム内の関連装置の故障 |
| 自動化システムのソフトウェアのバグ |
| 個船へのパラメータ等の調整が不適切（自動化システムへ本船の運動性能が正しく反省されていない等） |
| 自動化システム又は関連装置の電源喪失 |
| ヒューマンマシンインターフェースが不適切（警報発令の理由がわかりにくい、自動化システムから人間へ移行する際の時間的余裕が足りない等） |
| 自動化システムと他のシステムとのインターフェースが不適切（認知情報範囲の相違、運動モデルの相違、パラメータの不一致、システムの故障、通信不良など） |
| フォールバック実行主体の不良 | 当直操船者の体調不良、居眠り、疲労等 |
| サイバー攻撃 | GNSS及びAISなどのスプーフィング |
| RADAR等へのジャミング |
| 自動化システム及び関連システムへの不正アクセス/ハッキング |
| 自動化システム及び関連システムがマルウェアへ感染 |
| 非常事態の発生 | 船体の重大損傷 |
| 船舶設備（舵やRadar等）の故障 |
| 火災の発生や海賊の侵入 |
| ＊上記については，発生時の結果の重大性が従来船より増加しないことを確認できればよい。「非常事態の起こりやすさを従来船より下げるための対策」などは講じる必要はない。 |
| 運用時の不備 | 海図、気海象情報、関連ソフトウェア等の更新忘れ、誤情報 |
| 自動化システムへ設定データ、初期入力データの入力ミス（例えば、航行計画データ、避航判断のための基準値等） |
| 自動化システム使用者の習熟度や理解度が不足（アラームの意味を理解できない、自動化システムの使用環境が不適等） |
| 関連する装置や機器類を自動化システムと互換性のないものへ交換 |

# 付録C HAZIDチーム

（非公表）

# 付録D HAZIDワークシート

（非公表）