

# 自動運航船の社会実装を支える新しい仕組みの必要性について

## — Vulnerabilityデータベースの構築とリスク評価への活用法検討 —

山田 智章\*, 梶田 憲之\*\*

### 1. はじめに

自動運航船の開発が世界的に進んでいる。例えば、日本財団事業の無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」<sup>1)</sup>では、5つのコンソーシアムによって、観光船/内航コンテナ船/大型フェリーによる実際の商業航路での実証実験が実施された。船員のシャドーイングによるBerth to Berthの自動運航も実施され、商業活動を行っている他船や漁船を自動で避航することにも成功した。

技術開発と同時に国際的な規則開発の動きも活発化しており、国際海事機関（IMO）の第105回海上安全委員会（MSC 105）では、2024年内に自動運航船に関する非強制の目標指向型のガイドラインを作成した上で、新規強制要件（MASS Code）を2028年1月1日から発効することを目標とした作業計画が合意されている。

自動運航船において、既存船の支援ツール以上の使い方（省人化、無人化）をする場合には、自動操船システムに対する安全性評価を適切に行うことが重要であり、そのための手法としてリスク評価が注目されている。実際に、IMOの暫定ガイドライン<sup>2)</sup>やいくつかの旗国から発行されているガイドライン等<sup>3-5)</sup>でもリスク評価の実施が明記されている。さらに、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おり<sup>6-9)</sup>、その全てにおいてリスク評価が重要視されている。

自動運航船のリスク評価を行う際、実績のない新技術のリスクをどのようにして網羅的に抽出し、どのようにして正確に見積もるかが大きなポイントとなる。実証実験等を通じて経験と知見を蓄積していくしかないが、「使ってみて初めてわかる」といった部分はどうしても残る。自動運航船の社会実装を考えるにあたり、ある程度の不完全性を許容した上で、運用の在り方を考えることが求められる。徹底した事前検証を行うことは大前提としつつ、実装後においても、自動運航船の安全性に関連する知見をアップデートし、安全評価を改善していくといったプロセスの構築が必要である。

船級協会のような規則開発・安全評価側にも、ロバストな規則を作ることを原則としつつ<sup>10)</sup>、実績のない新技術に対しては、作成した規則や基準には不完全性＝脆弱性（以下、Vulnerability<sup>11)</sup>）が残っている、という視点を持ち、ライフサイクルにおいて、柔軟に見直しを図っていくといった姿勢が重要である。そのためには、「使ってみて初めてわかった情報（特に不具合事例）」を、規則開発・安全評価側にタイムリーに報告してもらうための仕組みが必要となる。また、それらの情報を公的機関がデータベース化し、技術開発者側のみならず、規則開発・安全評価側へ適切に開示し、いわゆるPDCAサイクルを構築することで、より自動運航船の安全性を向上させることが期待できる。

### 2. 脆弱性（Vulnerability）の考え方

#### 2.1 脆弱性（Vulnerability）とは

Vulnerabilityという言葉は、日常生活でも、例えば、パソコン等の情報セキュリティ関連で耳にすることも多い。総務省の「国民のための情報セキュリティサイト」<sup>12)</sup>に情報セキュリティにおける脆弱性についてわかりやすい説明が記載されているが、「脆弱性は完全に対策を施すことが困難であり、次々と新たな脆弱性が発見されているのが現状」「一度脆弱性を塞いでも、また新たな脆弱性が発見される可能性があるため、常にOSやソフトウェアの更新情報を収集して、できる限り迅速にアップデートを行わなければならない」といった記述は、本稿で着目したいVulnerabilityの特徴である。

Vulnerabilityは、多くのセキュリティ関連文書を発行しているNIST（National Institute of Standards and Technology：米国国立標準技術研究所）でも採用されている考え方であり、例えば、Frame work for Critical Infrastructure Cybersecurity Version 1.1（2018年04月）<sup>13)</sup>においては、リスクを判断する際にVulnerabilityを考慮するように記載がなされるとともに、Vulnerability情報の開示サイクルについても言及がなされている。また、SP-800シリーズ<sup>14)</sup>

\* 技術研究所

\*\* デジタルトランスフォーメーションセンター

では、Vulnerability情報の再利用についても要求がなされており、Vulnerabilityの情報は、国有Vulnerabilityデータベース(NVD)を含む、公共および民間の様々なソースから入手できるようになっている点は大変興味深い。すなわち、NISTでは情報セキュリティは脆弱であるが故に、必ず脆弱な部分が破られることを前提としており、破られた場合の対応までがセキュリティの範囲となっている。

## 2.2 安全と脆弱性 (Vulnerability)

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。安全には、本質安全と機能安全があるが、システムが複雑化してくるに伴い、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機能安全の考え方が、様々な業界で取り入れられている。自動運航船においても、機能安全の考え方にに基づき、安全機能を駆使して安全を確保することになる<sup>15)</sup>。

この安全機能にVulnerabilityが残っていると大きなリスクとなるため、この安全機能のVulnerabilityに関する情報を迅速かつ的確に収集する必要がある。

## 3. 他業界での適用事例

### 3.1 自動運転車に関する米国カリフォルニア州の事例

米国では州政府が州内の道路行政を管轄しており、自動運転の公道試験についても、州政府の当局が許可を担当している。カリフォルニア州では、自動運転の導入推進の一環として、2018年4月2日に自動運転車のテストに関する規則(Article 3.7-Testing of Autonomous Vehicle)を改正(最新版は2022年4月13日発効<sup>16)</sup>)。以下が自動運転車の開発者に対して義務付けられている<sup>17)</sup>。

- ① 自動運転車の開発者が、車両が制御可能な、現実に近い環境の中でテストしたと証明する。
- ② 州・地方自治体の車両運行関連規則に則って、道路上の状況を検知し、対応できることを証明する。
- ③ 自動運転車のテストは、実施する地域の自治体にその計画を通知した上で、テスト状況は双方向通信リンクで監視する。
- ④ 事故発生時や自動運転モード解除が必要になったケースは州に報告する。

本稿では上記④に着目したい。公道試験の段階から、衝突事故発生時には10日以内の報告義務が課されており(§ 227.48参照<sup>16)</sup>)、事故を起こしていない場合においても、自動運転モードを解除しな

ければならなかったケースを年次報告書としてまとめ、カリフォルニア州に提出しなければならないことになっている(§ 227.50参照<sup>16)</sup>)。加えて、特定された安全に不当なリスクを及ぼしかねない欠陥についても、報告義務が課されている(3.8. Deployment of Autonomous Vehicle § 228.12参照<sup>18)</sup>)。このように、データを集める仕組みを試験実施の認可を与える段階から取り入れている点は大いに参考とすべきところである。

カリフォルニア州では、自動運転デリバリーの試験運用<sup>19)</sup>やロボタクシーの商業化<sup>20)</sup>が始まっており、自動運転車の分野で先進的な取り組みを前進させている。この取り組みを支えているのは前述した規則であり、規則開発・安全評価側へ提出しにくいように思いがちな不具合データを規則開発・安全評価側とタイムリーに共有することの重要性を示している。と捉えることができるのかもしれない。

### 3.2 民間航空業界の事例

第二次大戦後に急速な発展を遂げた民間航空機業界は「事故」を糧としてルールを改正し、安全を向上してきたあまり幸福ではない歴史を持つ。

民間航空業界は海事産業と同様に国連の下部組織であるICAO(International Civil Aviation Organization)が国際基準を制定し、加盟各国はこのルールに準拠した国内法を整備する義務を負う仕組みを導入している。(ただし、船級協会のような第三者組織は存在しない。)

このルールは1944年に採択された国際民間航空条約(通称シカゴ条約)の附属書(以下、ANNEX)として制定され、航空機の設計・製造・運航等に係る分野が1つの条約ANNEXとして網羅されているのが大きな特徴と言える。現在ANNEXは19種類整備されている。

ANNEX 13<sup>21)</sup>は“Aircraft Accident and Incident Investigation”(航空機事故及びインシデント調査)が定義されており、そのCHAPTER 3. GENERAL OBJECTIVE OF THE INVESTIGATIONには、“3.1 The sole objective of the investigation of accident or incident shall be the prevention of accidents and incidents. It is not the purpose of this activity to apportion blame or liability”と書かれている。

これは、航空機において事故やインシデントは不可避の事象であり、制定した規制が完全ではないことを認識し、実際に発生した事故やインシデントを教訓として次に同じ原因の事故やインシデントを発生させない、という思想を表したものであると言える。事実、米国では航空事故調査のために正確な事

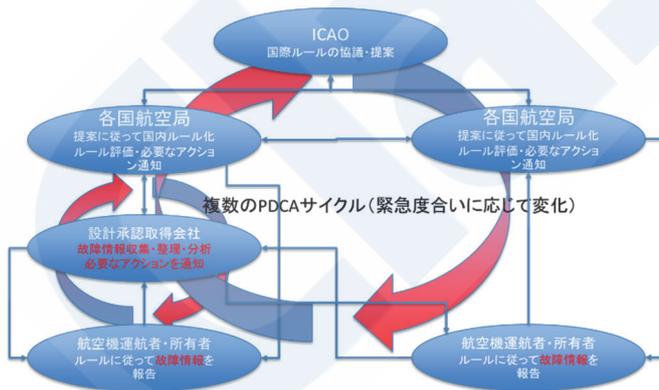
情報聴取を行えるようにするために、故意・悪質な過失でない限り刑事罰には問わない法律が制定されている。

この精神を元に民間航空機業界では業界の各ステークホルダー（各国の政府当局を含む）に対し、事故やインシデントに留まらず、様々な不具合報告・公開・分析／解析・対策立案の制度が導入されており、日々、航空安全の改善業務が行われる仕組みが整えられている。当然、情報の収集・報告のみならず、分析／解析／対策立案の役割分担（RAA：Responsibility, Authority, Accountability）も明確に規定されている。分析された結果に基づき様々な対策が講じられる。例えば、規制の変更、ハードウェアの改修、点検検査の追加等が代表的なものである。原因が運航している他の航空機に内在していることが判明した場合、強制的に対策を講じる制度が整えられていることも大きな特徴である。

この安全活動の重要な部分は、

- (1) 事故・インシデントは必ず発生し、対策を講じることで安全性の向上につながる。
- (2) 対策を講じるためには事故・インシデントを代表として様々な不具合情報を収集・公開することの2点に集約でき、本論文のテーマであるVulnerabilityが安全性向上に非常に有効であることを示す例であろう。

図1に民間航空機業界のVulnerabilityをベースとしたPDCAサイクルの概要を示すので参考にできれば幸いである。



ICAO: International Civil Aviation Organization

図1 民間航空機業界のVulnerabilityをベースとしたPDCAサイクルの概要

## 4. 自動運航船への応用

### 4.1 脆弱性（Vulnerability）データベースの構築

前述した通り、ある程度の不完全性を受け入れた上で、運用の在り方を考える。新しい技術と向き合っていくためには必要な考え方であり、それを社会に受容してもらえるための仕組みを整えなければならない。Vulnerabilityに関する事例を収集し、データベース化し、それを安全性評価の精度向上に役立てる、といった仕組みは、他業界では既に取り入れられている手法であり、自動運航船においても有効な手法であると考えられる。

自動運航船関連技術を対象としたVulnerabilityデータベースの構築にあたり、その分類・収集方法等の整理を行う必要があるが、Vulnerabilityは技術成熟度が上がってくれば、減少していくといった性質を持っている。そこで、Technology StatusとApplication Area<sup>22)</sup>の2軸でVulnerabilityのレベル分けを行い、そのレベルに応じた報告頻度を設定する、といったことを提案したい。表1や表2はあくまでも一例であるが、社会実装時の技術成熟度に応じたレベル分けと報告頻度を設定しつつ、技術成熟度の向上に応じて定期的に見直しを行っていくといったことも考えていく必要があるだろう。

表1 脆弱性（Vulnerability）のレベル分けの例

		Technology Status		
		Proven	Limited field history	New or unproven
Application Area		SOLAS mandatory	On-shore ISO/IEC	Others
Known	On-market products	1	2	3
Unknown	On-market products	2	3	4
New	Development / Update	3	4	5

表2 脆弱性（Vulnerability）の報告頻度の例

	Level of Vulnerability				
	1	2	3	4	5
A	Immediately				
B	Semi-annually	Quarterly			Monthly
C	Annually	Semi-annually	Quarterly	Monthly	

- A. Defects that caused an accident
- B. Defects that caused disengagement of autonomous mode
- C. Other defects found during operation

## 4.2 リスク評価での活用

自動運航船の実証事業においてもリスク評価が実施されており、既存技術との差分を検証しながら新技術そのものが有しているリスクやそれを船舶へ搭載したときのリスクについて分析を行い、自動運航船としての安全性の評価を行っている。しかしながら、未経験の技術に対し、机上検証の段階において全てのハザードを抽出するとともに、それらに起因するリスクを正確に見積もることは非常に難しい。そのため、実証実験において設定されている安全マージンの大きさと合わせて評価しているのが現状である。

一方で、真に社会実装を目指すためには、この安全マージンを最適化する必要がある。この点において、Vulnerabilityの考え方の取り入れは1つの選択肢になると考えている。例えば、Vulnerabilityデータベースを活用することで、常に最新の情報に基づいたリスク評価が可能となる。これにより、リスクのすり抜けを防ぐとともに、過度な安全対策の防止（安全マージンの合理化）につながる。

## 4.3 PDCAサイクルの構築と徹底

開発フェーズにおいては、実証実験の段階から、故障例やヒヤリハットといった情報や経験を規則開発・安全評価側と共有することで、技術認証時のすり抜けを防止する。運用フェーズにおいては、実績の少ない新技術は、使ってみて初めてわかることがあることを鑑み、ユーザーである船員からのフィードバックを、技術開発、規則開発、安全評価のそれぞれに適切に行きわたらせることで、技術、規則、評価それぞれの改善が行われることになる。Vulnerabilityデータベースを構築し、PDCAサイクルを適切に回していくことで、自動運航船の安全性が向上していくことにつながる。

Vulnerabilityデータベースを充実させる。技術開発、規則開発、安全評価のそれぞれの立場からVulnerabilityをベースとしたPDCAサイクルを構築する。そして、このPDCAサイクルを効果的に回し続ける。ハードウェアの故障やソフトウェアの不具合、オペレーション&マネジメントの問題等が複雑に絡み合ってくる自動運航船においては、こういった仕組みが必要と考える。

## 5. さいごに

自動運航船の社会実装が現実味を帯びてきており、従来の枠を越えた、真に新しい技術/ソリューションの社会実装を支える新しい仕組み（＝完全無欠ではない規制や制度を補完する仕組み）を考える時期に来ている。機能安全やシステムズエンジニアリン

グといった海事業界にとっては新しい考え方も定着させていく必要がある。その一つの手法として、本論文ではVulnerabilityの考え方を提案した。

新しい考え方を定着させるためには、業界内で進め方と役割分担を整理しなければならない。誰が旗を振るのか、報告義務を課す場合はどのような仕組みとするのか、Vulnerabilityデータベースをどこに構築するか等、業界内でしっかりと議論を行う場が必要である。この点において、中立的な立場である船級として担うべき役割は大きいと自認している。業界での議論が活性化するように、働きかけていきたい。

## 謝辞

本稿の執筆にあたり、国立大学法人東京海洋大学清水悦郎教授並びに梅田綾子氏より大変有益な助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本財団：無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」  
<https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/meguri2040>
- 2) IMO MSC.1/Circ.1604 INTERIM GUIDELINES FOR MASS TRIALS, 2019.
- 3) 国土交通省海事局：自動運航船の安全ガイドライン, 2022.
- 4) VT MIS : EU OPERATIONAL GUIDELINES FOR SAFE, SECURE AND SUSTAINABLE TRIALS OF MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS), 2020.
- 5) Norwegian Maritime Authority : Guidance in connection with the construction or installation of automated functionality aimed at performing unmanned or partially unmanned operations (No. RSV 12-2020), 2020.3) ClassNK, "DIRECTORY"
- 6) 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.
- 7) DNVGL : Autonomous and remotely operated ships, DNVGL-CG-0264, 2018.
- 8) Bureau Veritas : Guidelines for Autonomous Shipping, Guidance Note NI 641 DT R01 E, 2019.
- 9) ABS : ABS advisory on autonomous functionality, 2020.

- 10) IMO Resolution A.1103(29) : PRINCIPLES TO BE CONSIDERED WHEN DRAFTING IMO INSTRUMENTS
- 11) ISO 31073:2022, Risk management - Vocabulary
- 12) 総務省：国民のための情報セキュリティサイト  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/security/basic/risk/11.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/security/basic/risk/11.html)
- 13) National Institute of Standards and Technology : Frame work for Critical Infrastructure Cybersecurity Version 1.1 (2018年04月)  
<https://www.ipa.go.jp/files/000071204.pdf>
- 14) National Institute of Standards and Technology : Computer Security Resource Centre  
<https://csrc.nist.gov/publications/sp>
- 15) 山田智章：自動運航船関連技術に対する安全性評価について，ClassNK技報No.3, pp.55-63, 2021.
- 16) California Department of Motor Vehicles (DMV) : Article 3.7. Testing of Autonomous Vehicles  
<https://www.dmv.ca.gov/portal/file/adopted-regulatory-text-pdf/>
- 17) 総務省：海外ニュース（2018年5月1日号）  
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/02tsushin02\\_04000042.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin02_04000042.html)
- 18) California Department of Motor Vehicles (DMV) : Article 3.8. Deployment of Autonomous Vehicles  
<https://www.dmv.ca.gov/portal/file/adopted-regulatory-text-pdf/>
- 19) JETRO：ビジネス短信「米ウーバーイーツ，ロサンゼルス近郊で自動運転デリバリーを試験的に開始」（2022年5月24日）  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/05/578ce578db316856.html>
- 20) JETRO：ビジネス短信「米クルーズ，カリフォルニア州内で初の無人による自動運転配車サービスを開始，商業展開へ」（2022年6月7日）  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/06/5999353360945f70.html>
- 21) International Civil Aviation Organization: Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation, “Aircraft Accident and Incident Investigation”
- 22) IMO MSC.1/Circ.1455 “GUIDELINES FOR THE APPROVAL OF ALTERNATIVES AND EQUIVALENTS AS PROVIDED FOR IN VARIOUS IMO INSTRUMENTS”, Annex, page 9, Table 1: Categorization of new technology