

《研究論文（査読付き）》

海上交通管制の機能的発展と展望

—自動運航船の普及に向けた VTS 機能の再検討と MTS の共進化—

鮫島 拓也

（海上保安大学校）

《アブストラクト（要旨）》

本稿では、海上交通管制としての船舶交通サービス（VTS）の将来的役割、特に自動運航船（MASS）と従来船舶が混在する海上交通システムにおける VTS の機能について考察を行った。まず、VTS の歴史的発展と法的枠組みの変遷を概観し、その機能が港湾における交通整理から包括的な海上交通管制へと拡張してきた過程を明らかにした。次に、MASS の実用化に向けた制度設計の動向を踏まえ、VTS を中心とした新たな海上交通システムの設計について文献調査に基づく理論的考察を行った。結果として工学的側面と法的側面の間に存在する乖離を埋める VTS 機能のさらなる検討及びシステムオブシステムズ（SoS）の概念を用いた海上交通システム（MTS）の共進化が、自動運航船の実用化に向けた重要な要因になることが示唆された。

《キーワード》 海上交通管制、VTS、自動運航船、社会技術システム、海上交通システム

目 次

1. はじめに
2. VTS の歴史と機能
3. VTS のこれから
4. おわりに

1 はじめに

海上交通の安全性と効率性の向上は、世界の海運業界における重要な課題である。近年、自動運航船（Maritime Autonomous Surface Ships; MASS）の実用化に向けた技術開発が急速に進展しており、従来の有人船舶（以下、従来船舶）と自動運航船が混在する新たな海上交通環境の出現が予想されている。この技術革新は、海上交通の安全性と効率性の向上、そして深刻化する船員不足問題への対応策として期待されている。しかしながら、自動運航船の実用化には、従来の船舶との共存や新たな法的・制度的枠組みの整備など、多くの課題が存在する。このような状況下で、船舶交通サービス（Vessel Traffic Service; VTS）の役割が改めて注目されている。

VTS は、海上交通の安全性と効率性の向上、および環境保護を目的として、管轄当局が実施する交通管制業務を指す。その歴史は 1940 年代に遡り、当初は港湾における交通整理機能として発展してきた。しかし、技術の進歩と社会的要請の変化に伴い、VTS の機能は拡大し、現在では広範な海

域における包括的な交通管理システムとして機能している。

本稿では、自動運航船と従来船舶が混在する将来の海上交通システムにおける VTS の役割について考察する。まず、VTS の歴史的発展と法的枠組みの変遷を概観し、その機能の拡張過程を分析する。次に、自動運航船の実用化に向けた制度設計の動向を踏まえ、VTS を中心とした新たな海上交通システムの設計に向けた課題と展望を論じる。特に、(1) 工学的側面と法的側面の間の乖離を埋める可能性を持つ VTS の役割、(2) VTS を社会技術システムとして位置づけ、システム理論のアプローチから複雑な海上交通環境の相互作用を包括的に分析することの重要性を指摘する。これらの考察を通じて、自動運航船が実装される社会における VTS の新たな役割と可能性を探求し、安全かつ効率的な海上交通システムの実現に向けた今後の課題を提示することを目的とする。

2 VTS の歴史と機能

2.1 海上交通管制のはじまり：港湾における交通整理機能

VTS は、その導入の初期段階において、船舶の「交通整理」としての機能が期待されていた。VTS の起源は 1946 年に遡る。当時、英国リヴァプール港において、レーダーと VHF 無線機を用いて水先人を自船に誘導・乗船させる世界初の交通管制システムが実験的に導入され、その後、1948 年にマン島のダグラス港で民間利用として初めて実用化された (Hughes, 2009; Martínez & Uya, 2021)。この交通管制システムにより、あらゆる気象条件下において陸上から船舶の航行を監視、または陸上と船舶間の双方向の情報交換が可能となった (Hughes, 1998)。その有用性が高く評価され、同様のシステムがカリフォルニア州ロングビーチ港 (米国)、ル・アーヴル港 (フランス) などの欧米諸国の主要な港に順次設置され (Hughes, 1998)、船舶交通が輻輳する港湾海域の交通整理機能を有するシステムとして認知度を高めていった。

1968 年には国際海事機関 (International Maritime Organization; IMO) の前身機関である政府間海事協議機関 (Inter-governmental Maritime Consultative Organization; IMCO) の海上安全委員会総会において、決議 A.158 (ES. IV) “Recommendation on port advisory services (港湾諮問業務に関する勧告)” が採択、同システムが港湾海域航行時の安全確保手段として公式的に認められた。決議 A.158 (ES. IV) の内容は、各国政府に対し、(1) 石油ターミナルや有害・危険物貨物の積み下ろしを行う港湾における港湾諮問業務の設置、(2) 関係当局への到着予定時刻の早期通知を勧告するものであり (IMO, 1968)、とくに船舶事故による二次被害など港湾への影響が大きい危険物積載船等の安全・円滑な交通整理手段の確保が各国政府に付託されたのである (IMO, 1968)。これにより各国で港湾海域における交通管制システムの構築が加速度的に普及していった¹。

2.2 VTS の確立：IMO による国際標準化

同システムが世界的に普及する過程で、船舶交通を追跡・監視する機器の技術的レベルおよび各国のシステム運用・手続き上のレベルで差異が生じ、とくに外航船舶に乗船する船長の判断に悪影響を及ぼす懸念が指摘されはじめた (Hebbar et al., 2024)。また、政府機関が実施する Port Advisory

¹ 日本については、1977 年 (昭和 52 年) 2 月に「東京湾海上交通センター」の運用が開始、その後も、「備讃瀬戸海上交通センター」(1987 年 7 月)、「関門海峡海上交通センター」(1989 年 6 月)、「大阪湾海上交通センター」(1993 年 7 月)、「名古屋港海上交通センター」(1994 年 7 月)、「来島海峡界交通センター」(1998 年 1 月)、「伊勢湾海上交通センター」(2003 年 7 月) といった交通管制システムの機能を有する 7 つの「海上交通センター」が設置されている (大山, 2023)。

Services（港湾諮問業務）が領海における「無害通航権」、あるいは船長の操船責任を侵害する可能性も指摘され、これらを整理する標準的ガイドラインの必要性が認識された。

その結果、決議 A.158 (ES. IV) が採択された 17 年後の 1985 年に、IMO 決議 A.578 (14) “Guidelines for vessel traffic services (船舶交通業務に関するガイドライン)” が採択され、交通管制システムやその業務内容に関する初の国際的ガイドラインが示された (IMO, 1985)。ここでは交通管制システムの概念が大きく拡張されており、Port Advisory Services (港湾諮問業務) として港湾海域の交通整理機能を有するシステムというこれまでの認識から、Vessel Traffic Services (船舶交通業務、以下「VTS」) として広く安全かつ効率的な海上交通の実現と環境保護を目的とした交通管理機能を有するシステムとして再定義されている。

A VTS is any service implemented by a competent authority, designed to improve safety and efficiency of traffic and the protection of the environment. It may range from the provision of simple information messages to extensive management of traffic within a port or waterway.

(VTS とは、交通の安全性と効率性の向上、および環境保護を目的として、管轄当局が実施するあらゆる業務を指す。VTS には、単純な情報メッセージの提供から、港湾や水路内の交通の広範な管理まで、さまざまなものがある) (IMO 1985, p.5, 筆者訳)

また、主に狭い水路、交通量の多い地域、危険物がある地域、港や領海に近づく際等に VTS 提供が適していることが挙げられ、また、船舶の航行と操船に関する権限は船長に属することが明示された (Hebbar et al., 2024)。このほかにも具体的な VTS 機能に関する基準も運用手順に沿った形で示された。まず、①データ収集 (data collection) を行い、レーダーや気象海象センサーなどの機器を使って水路や交通状況に関する情報を集める。この情報は、船舶の航行や操船の監視に活用され、適切な航行支援を提供するための基礎となる。次に、②データ評価 (data evaluation) を行い、収集した情報を分析して交通状況や水路状況を把握する。これにより、③VTS は船舶に対してリアルタイムの航行情報や安全情報を提供できる (information service)。例えば、他の船舶の動きや視界状態等に関する情報を周知し、船舶間のコミュニケーションを支援する。さらに、④VTS は航行支援業務を提供 (navigational assistance service) し、船舶が難しい航行条件や気象条件に直面した場合、適切な支援を行う。これには、位置情報の提供や航行ルートの提案が含まれる。また、⑤交通組織サービス (traffic organization service) として、船舶交通流を計画し、船舶間の相互作用を効率的に管理する。これにより、危険な状況の発生を防ぎ、船舶の安全な航行を確保する。最後に、⑥VTS は関連する海事活動の支援 (support of allied activities) を行う。これには、水先人を含む港湾サービスや救助組織との連携が含まれ、緊急時には迅速な対応が可能になる。これらの多岐にわたる交通管理機能を備えた交通管制システムとしての VTS は、海上交通の安全性と効率性を大幅に向上させることが可能となった (IMO, 1985; Uya & Martínez, 2020)。

2.3 VTS の変容：交通管理機能の拡張

初の VTS ガイドラインである決議 A.578 (14) は、技術の進展・社会情勢の変化など時間の経過に伴い 12 年後の 1997 年に改定されることとなる。決議 A.578 (14) では当時の技術に基づいて VTS の運用手順が定められていたが、その後の 12 年間で通信技術や監視技術が大きく進歩した。とくに、レーダーの性能向上など技術開発の進展により、より精度の高い船舶監視と情報提供が可能となっ

た (Uyà and Martínez, 2020)。また、決議 A.578 (14) は、実務的な側面において詳細な技術基準や国際的な調和が欠如していた。異なる国や地域間の交易手段である海上交通の安全性と効率性を確保するためには、VTS の運用手順が国際的に標準化されていることが重要である。国際的な調和をさらに進めるために、技術基準の詳細化、人材の資格と訓練基準の明確化が求められた (IMO, 1997)。

これらの点を含め決議 A.578 (14) の運用中に見つかった課題や改善点のフィードバックを反映し、1997 年に IMO 決議 A.857 (20) (Resolution A.857 (20) “Guidelines for vessel traffic services”) の採択、つまり VTS ガイドラインが刷新された。決議 A.857 (20) における従来からの大きな変更点としては、VTS の在り方について解像度の高い基準が設けられていることである。

まず、船舶の安全な航行と交通の効率的な管理を目的として、情報サービス (information service)、航法支援サービス (navigational assistance service)、交通組織サービス (traffic organization services) の VTS が実施する 3 つのサービス区分が明記され、特定の状況や目的に応じた適切な対応がとれる設計となった。Hebbar et al. (2024) は、これらを VTS における交通管理機能の戦略的および戦術的区分として包括的・機能的に捉えている。

戦略的交通管理機能は、長期的な視点で船舶の交通を組織し、全体の交通流を最適化することを目的としている。これには、まず空間の割り当て (allocation of space) が含まれる。これは船舶間の間隔を空間的または時間的に分けることで、事前の計画を策定する機能である。長期的な計画や全体的な船舶交通流の最適化に関連する。また、交通組織サービスの提供も戦略的機能の一部である。とくに船舶交通流の密度が高くなる時間や巨大船や危険物積載船など特殊な船舶の航行が他の船舶交通流に影響を与える場合に、事前にこれら船舶の動きを計画する。この中には優先航行、法定航路の遵守、速力制限などが含まれる。さらに、VTS 航海計画 (VTS sailing plan) の策定も戦略的機能であり、VTS 当局と船舶の船長の間で合意された航海計画を策定し、VTS エリア内での船舶の動きを計画する。例えば、港湾への入出港時間や通過時間を調整し、交通流の円滑化を維持し、あるいは港湾施設のリソース (栈橋や停泊施設) を最適に利用するための計画を立てることが含まれる。

一方、戦術的交通管理機能は、実際の船舶交通状況において発生する具体的な事態に対応するための機能であり、リアルタイムでの船舶の動きを監視し、必要に応じて迅速に行動することを目的としている。これには、まず船舶の日常管理 (routine control of vessels) が含まれる。これは船舶の位置、動き、識別情報を基に、航法的意思決定プロセスを支援する機能であり、その手段として必要な情報を適時に提供する情報提供サービスが用いられる。また、衝突回避のための操船 (manoeuvres to avoid collisions) も戦術的機能に含まれる。これは船舶間の具体的な見合関係において、衝突を避けるための操船支援を行うもので、緊急時や即時の対応が求められる。航法支援サービスの提供も戦術的機能の一部である。船舶が航行困難な外的状況や気象・海象状況にある場合、または技術的な欠陥や不足がある場合に、航法支援を提供する。通常、船舶からの要請によって提供されるが、必要に応じて VTS が自主的に提供する場合もある。

さらに決議 A.857 (20) には、これら VTS のサービス区分 (機能区分) に加え、港湾 VTS (Port VTS)、沿岸 VTS (Coastal VTS) という運用区分も示された。港湾 VTS の主な目的は、港内での船舶の安全かつ効率的な運航を確保することである。具体的には、入出港船舶の航行を監視し、港湾内での船舶の動きを調整する。また、港内の限られたスペースでの船舶交通を整理し、衝突や接触を防止する。危険物を積載した船舶や大型船舶の運航を特に監視し、必要に応じて特別な指示を

行うことも含まれる。沿岸 VTS の主な目的は、沿岸地域を航行する船舶の安全・効率的な船舶交通流を確保することである。具体的には、長距離にわたる沿岸海域の船舶交通を監視し、交通流を調整する。また、船舶に対して気象・海象情報、航行警報、航路情報などを提供し、航行の安全性を確保することも含まれる。当然、船舶同士の衝突を防止するために、航行指示や回避勧告を行うことも重要な役割となり。また、沿岸海域の環境保護を目的として、船舶交通の管理を行う場合もこれに含まれる。オーストラリア当局は、特別敏感海域（Particularly Sensitive Sea Area）として IMO から指定を受けたグレートバリアリーフ海域に、Great Barrier Reef and Torres Strait Vessel Traffic Service (REEFVTS) を設置し、船舶が浅瀬に向かって航行、あるいは推薦航路から逸脱しそうな場合など、交通上の潜在的な危険を事前に予測し、適切な対処方法を助言する機能を REEFVTS に持たせている² (Purvis, 2011)。もちろん、港湾 VTS と沿岸 VTS の運用区分は排他的なものではなく、両者が組み合わさっている場合もある³ (IMO, 1997)。このように VTS の形がより捉えやすくなり、各国での調和のとれた運用に焦点を置いていることが伺える。ただし、決議 A.578 (14) 同様、決議 A.857 (20) においても、船舶の航行と操船に関する権限は船長に属することが強調され、船長の航行に関する責任を侵害したり、船長と水先人の伝統的な関係を乱したりしないことが示されており、その権限を明確化する手段として VTS から船舶に送信されるメッセージには、情報 (Information)、警告 (Warning)、勧告 (Advice)、指示 (Instruction) の通信符号が付されることとなった (IMO, 1997)。

このように、海上交通管制としての VTS が単なる交通整理機能から、海上交通の安全性、効率性、環境保護を包括的に管理する重要なシステムへと進化してきた過程が確認できる。また、これに併せて国際的な標準化と法的枠組みの整備が、VTS の効果的な運用と発展に不可欠であることが明確に示されている。

3 VTS のこれから

3.1 海事分野における新技術への対応：法的枠組みの整理

1997 年に採択された IMO 決議 A.857 (20) によって、VTS のより詳細で明確な手順が確立され、20 年以上にわたって海上交通管制システムの基礎を築いてきた。しかし、この間の海事分野における技術的進化にガイドラインの技術基準や資格、訓練基準が対応できておらず、その影響が無視できなくなった。とくに自動識別装置 (AIS) などの新技術の普及により、VTS の運用には新しい技術基準が必要とされた (Uyà & Martínez, 2020)。結果、2021 年 12 月 16 日に開催された第 32 回 IMO 総会 (32nd session of the IMO General Assembly) において、IMO 決議 A.1158 (30) (Resolution A.1158 (32) “Guidelines for vessel traffic services”) が採択され、VTS ガイドラインが改訂された (これにより IMO 決議 A.857 (20) は廃止される)。決議 A.1158 (30) は、VTS の定義と役割がよ

² 特別敏感海域 (Particularly Sensitive Sea Area、以下 PSSA) は、生態学上、社会経済上、文化上、経済上、科学上 (ecological, social, cultural, economic, and scientific) 重要な海域を指し、IMO は各国の領海および EEZ において、該当の海域を PSSA として指定することができる。IMO は、1990 年にオーストラリア大陸北東岸に広がるグレートバリアリーフを世界初の PSSA に指定した。ある海域が PSSA に指定されると、沿岸国は IMO に対して、その海域で特定の保護措置を実施する許可を求めることができる。これには、航行の自由を制限するような厳しい規制も含まれる。ただし、これらの措置は IMO の承認を受ける必要がある (Purvis, 2011)。

³ 日本においては、7つの「海上交通センター」が VTS 機能を有しているものの、港湾 VTS、沿岸 VTS といった明確な運用区分は定義されていない。むしろ「海上交通安全法」(昭和四十七年法律第百十五号) 及び「港則法」(昭和二十三年法律第百七十四号) の適用範囲に基づいて決定されており、この法的枠組みが日本独自の VTS 運用体制を形成している。

り明確化され、VTS サービス区分や運用区分の設定は各国の実務的運用上で齟齬（解釈に違いによる誤解や運用の不一致）を生むという観点から削除されている。そのうえで VTS の目的を、海上での人命の安全を確保し、航行の安全性と効率性を向上させ、環境保護を支援することと捉え、これを達成するために、VTS は種々の戦略的・戦術的交通管理機能を果たすと再定義されている (IMO, 2021a)。さらに、VTS オペレーターの資格と訓練基準を国際的に統一し、最新技術である AIS や VHF データ交換システムを導入することによって、近年の海事分野における技術的進化への対応を図っている (IMO, 2021a)。

注目すべきは、国内法と整合性のある規制要件を確立することで、VTS の運用に対する法的枠組みを強化し、信頼性を向上させることを目指していることである。ここでは 1974 年の海上における人命の安全のための国際条約 (SOLAS 条約) 第 5 章第 12 条に基づく VTS を計画・実施する締約国政府は、可能な限り、当該ガイドラインに従うものと定め、当該ガイドラインではさらに国際航路標識協会 (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities; IALA) が作成した VTS の開発・実施・運用に関連する文書を考慮することが推奨されている。

1997 年 6 月、IMO の海上安全委員会は、国際条約である「海上における人命の安全のための国際条約」(SOLAS) の中で、VTS に実施条件に関する新規則を設けこれを採択している (タシット方式に基づき 1999 年 7 月 1 日に発効)。その後、2000 年 12 月に「航行安全 (“SAFETY OF NAVIGATION”）」に関する SOLAS 第 5 章で VTS の役割を明記する改訂が採択され、2002 年 7 月 1 日に発効した。具体的には、第 5 章第 12 条 “Vessel Traffic Service” の中で、締約国政府は、① 交通量やリスクの程度に基づき、VTS の設置が正当化される場合、VTS の設置を手配する、② 可能な限り、IMO (国際海事機関) が策定したガイドラインに従って VTS の計画と実施を行う、③ VTS に関する規定への参加と遵守を確保するよう努めることが義務付けられている。

決議 A.1158 (30) の付属書 (ANNEX) の “9 IALA STANDARDS” では IALA 文書の参照を推奨する勧告が規定されている。IALA は、海上における航行援助⁴ の世界的な調和と改善を主目的とする専門機関であり、1957 年に非営利の国際諮問技術機関として設立された。2020 年 2 月には「国際航路標識協会条約 (Convention on the International Organization for Marine Aids to Navigation)」が採択され、IALA は政府間国際組織 (inter-governmental organization) へと移行を遂げた。この組織的変革により、IALA の活動の重要性が一層増大している (Hebbar et al., 2024)。

この IALA が作成する VTS に関連する文書は、主に以下の 4 種類から構成される：

1. Standards (基準)
2. Recommendations (勧告)
3. Guidelines (ガイドライン)
4. Model courses (モデルコース)

IALA が策定する基準 (Standards) は、世界各国の沿岸国による実施を通じて、海上における航行援助サービスの国際的調和を実現するための包括的な枠組みを構成している。IALA 基準は主に技術的側面およびサービス提供に焦点を当てており、法的拘束力を持たない。しかしながら、沿岸

⁴ IALA の定款で言及されている “Marine Aid to Navigation” について、日本語では「航路標識」と表現されるが、船舶の安全かつ効率的な航行を促進するために設計・運用される、船舶外部の装置、システム、または海上における航行援助サービスを意味し、これには VTS も含まれている (IALA, 2023)。

国政府が IALA 基準への準拠を公式に表明する場合、当該基準内で言及されている具体的な勧告事項を参照し、遵守することが求められる (IALA, 2023)。

船舶交通サービス (VTS) に関連する IALA 基準としては、以下のものがある：

- (a) Vessel Traffic Service (S1040)：VTS の実施、運用、コミュニケーション等について規定
- (b) Training and Certification (S1050)：訓練と評価、認定、能力等について規定
- (c) Digital Communication Technologies (S1060)：デジタル通信技術に関する調和のとれた海事接続性 (Harmonized Maritime Connectivity) について規定
- (d) Information Services (S1070)：航行援助のデータモデルとデータエンコーディング、データ交換システム等について規定
- (e) Marine Aids to Navigation Planning and Service Requirements (S1010)：規範的および情報的規定、並びにリスク管理、品質管理、航行援助計画等について規定

IALA 基準以外のその他文書体系は、以下のカテゴリから構成されている：

- (a) Recommendations (勧告)：これらは特定の業務遂行に必要な要件を規定し、IALA 基準の全部または一部で参照される場合がある。勧告は、準拠すべき具体的な業務内容を明示している。
- (b) Guidelines (ガイドライン)：勧告で規定された事項の実施方法を詳述する文書である。これらは航行援助計画、運用、管理に関するより詳細な情報を提供し、最適な実践方法、実施のための提案、および選択肢を提示している。
- (c) Model courses (モデルコース)：IALA が定める能力レベルの達成に必要な訓練および知識水準を定義した教育文書である。船舶交通サービス (VTS) に関するモデルコースには、VTS 要員の資格取得に必須の特定知識およびスキル要件に関する体系的な研修プログラムが含まれている。

これらの個別文書を統合した VTS Manual が発行されるが、その更新周期が4年であることから、最新の動向を反映しきれない可能性がある。この課題に対応するため、新たな決議では、定期的に更新される IALA 基準および関連する勧告、ガイドライン、モデルコースを継続的に参照することが推奨されている。

以上のように VTS の国際的な法体系について、基本的枠組みは SOLAS 条約第5章第12条および決議 A.1158 (30) に規定され、さらに、IALA (国際航路標識協会) が策定する基準、勧告、ガイドライン、およびモデルコースに準拠した具体的な運用手順が確立されている。このように、海事分野における技術革新に対して、VTS の構築・運用、技術基準、資格要件、および訓練基準を迅速に更新できる法的枠組みが構築されていると捉えることができる。

3.2 自動運航船実用化に向けた制度設計の動き

海事分野において自動運航船 (Maritime Autonomous Surface Ships; MASS) の実用化と安全性確保が重要な課題として注目を集めている。この技術革新に伴い、IMO を中心として、自動運航船

の運用に関する新たな法的枠組みの策定が進められている。

IMO の海上安全委員会 (MSC) では、2017 年 6 月に開催された第 98 回海上安全委員会 (MSC 98) から「自動運航船の規制面での論点整理 (Regulatory Scoping Exercise on Maritime Autonomous Surface Ships; RSE)」に着手し、自動運航船がどのように規制され得るかについて、関連する条約等の評価を実施している。RSE を実施するにあたり、MSC では自動運航船 (MASS) を、「さまざまな程度で、人間の相互作用から独立して操作可能な船舶⁵ (筆者訳)」と定義し、RSE のプロセスを円滑に進めるため、自律性の度合いを人間の介入レベルに応じて 4 つの区分に整理した。その後、2021 年 5 月第 103 回海上安全委員会 (MSC 103) において、一連の RSE を完了し、その結果が報告されている (IMO, 2021b)。最終的には、4 つの自律性度合いすべてにおいて MASS が達成すべき目標を設定し、各目標に対する機能と要件を定義した目標ベースの法的文書 (MASS コード) の作成を通じて、MASS の実用化において生じる様々な問題に包括的に対処するための議論が進められている。つまり、自動運航船の実用化に向けた法的整備の方向性として、既存の海事制度を大幅に修正することはせず、自動運航船の運用に伴い生じうる既存制度との不整合を包括的に取り込んだ MASS コードの策定を通じて、制度間で生じ得る矛盾のリスクを最小化する戦略が採られている。特筆すべきは、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 (Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea; COLREGs) のような人間中心の制度に関しても、既存の制度内に存在する解釈や同等性の概念を活用することで対応可能とされている点である。これにより、自動運航船は従来船舶と同等の存在として位置づけられ、COLREGs に規定される航行及び衝突回避の原則の遵守が求められることになる (IMO, 2021b)。また、2024 年 5 月に開催された第 3 回 MSC/LEG/FAL 合同作業部会 (MASS-JWG 3)⁶では、MASS における「船長や船員」の役割と責任に関する議論が行われた。結果、MASS の技術的進歩や運用形態の変化に関わらず、船長の権限は船上または遠隔操作センター (Remote Operating Center; ROC) において確実に維持されるべきであるという見解が示された。これらの決定は、急速に発展する海事技術と従来の海事法規の調和を図る上で根幹をなす指針となるであろう。

今後は、MASS と従来船舶の共存を前提とした海上交通システムの構築に向け、工学的要件と法規制上の義務の双方を包括的に理解することが一層重要となる。特に、自動運航船 (MASS) の遠隔・自動運航技術には欠かすことができない重要実現技術 (Key Enabling Technologies : KETs) の詳細な分析と把握が、技術革新と海事政策の調和的發展を促進に寄与すると考えられる。自動運航船に関連する重要実現技術としては、①自律運航システム (Autonomous navigation systems; ANS)⁷、②遠隔操作センター (Remote Operating Center; ROC)、③通信およびサイバーセキュリティシステ

⁵ “MASS” was defined as a ship which, to a varying degree, can operate independent of human interaction.’ (IMO, 2021b, Annex, p.3)

⁶ RSE は Legal Committee (LEG)、FAL Committee (FAL) でも行われ、MSC/LEG/FAL が管轄する制度に共通する問題 (潜在的ギャップやテーマ) が同定された (IMO, 2021c; IMO, 2022)。こうした 3 つの委員会に跨る共通の問題について、見解の相違が生じないよう MSC/LEG/FAL 合同作業部会 (Joint MSC-LEG-FAL Working Group on Maritime Autonomous Surface Ships ; MASS-JWG) が設置され、各委員会間の橋渡しをする役割が期待されている。

⁷ 自律運航システム (ANS) について、自動運航船の実質的な操船を担うシステムであり人間による操船を代替する機能を有する。Miyoshi et al. (2021) によれば、船舶の操船・運航プロセスは一般に情報収集 (認識)、一定の基準に基づく判断 (決断)、船舶の操船 (行動) の三段階で構成される。自動運航船においては、この一連のプロセスを自律航行システム (ANS) が担うこととなる。ANS は更に、状況認識 (Situation Awareness; SA) サブシステム、運航計画・意思決定 (Navigation Planning and Decision Making; NPDM) サブシステム、およびアクチュエータ (Actuators) から構成され、これらが相互に連携しながら船舶の運航を行う (Viljanen, 2023)。

ム (Connectivity and Cyber-Security system; Con/CyS) が挙げられる⁸。

しかしながら、これらの技術にはそれぞれ大きな課題が存在しており、自動運航船の実装や安全性に疑念が生じている。例えば、①自律運航システムにおける大きな前提として、同システムが「人間が操船するのと同様以上」の安全性があることを証明する必要がある。その証明手段として、ANS とその構成要素の特性に対して一定の基準を設ける技術的規制が考えられるが、ANS は多数のハードウェアおよびソフトウェアを包含し、これらが複雑に連鎖的な関連を持っている。このため、個々のシステムに対する技術的規制のみでは自動運航船の全体的な安全性能の確保に十分でない可能性がある⁹。②遠隔操作センター (ROC)、③通信およびサイバーセキュリティシステム (Con/CyS) についても同様のことが言え、ANS—ROC—Con/CyS の個々の安全性および包括的な安全性の確保、さらには外的要因により安全性が損なわれるケースの同定が重要な研究課題になると考えられる。

したがって、上述の技術的課題の同定を基盤とした法的枠組みの構築が必要となる点を考慮すると、長期的かつ継続的に行われる技術開発とそれに対応する制度設計の動的な進化が、この分野における恒常的な状態となることが予想される。

3.3 VTS を中心とした新たな海上交通システムの設計に向けて

前述の観点から、短期から中期的な展望においては、自動運航船と従来型船舶の安全かつ効率的な共存を円滑に実現する一定の政策的介入が必要であると考えられる。この点については、IALA においても重要な政策アジェンダとして認識されており、VTS の機能拡張にも焦点が置かれ、自動運航船と従来船舶の相互作用を支援する機能を VTS に追加する検討がなされている (IALA, 2022)。また、Rødseth et al. (2023) は、の交通管理機能をより強調した概念として、Vessel Traffic Management (VTM) を提示し、この概念において、VTS は船舶間の相互作用を調整し、衝突回避行動の選択を整合させる重要な役割を果たすとされる。特に、自動運航船と従来船舶が混在する海上交通環境下での相互作用に関する課題解決において、VTM が中心的な機能を担うことが指摘されている。さらに、Guo et al. (2022) は、異なる自律性の度合いを持つ自動運航船に対する、交通組織サービス (traffic organization services) の提供に際して e-Navigation 技術を活用する MASS traffic organization service (MTOS) を提示し、その有効性を示した。

つまり、自動運航船と従来型船舶の安全かつ効率的な共存を実現する上で、VTS の存在は無視できない一方、既存の VTS の運用体制および制度的枠組みでの対応には限界があることが明らかになりつつある。このような状況下において、VTS の新たな機能や役割、特に「交通管理」に着目した革新的な海上交通システムの設計が求められている。

⁸ Ahmed et al. (2024) は、自律的運用を実現するための主要な実現技術 (KET) として、自律航行システム (ANS、航路計画と障害物回避を行う)、状況認識 (SA、センサーフュージョンによる環境把握)、遠隔操作センター (ROC、複数船舶の監視と制御)、通信およびサイバーセキュリティシステム (Con/CyS、安全な通信とサイバー攻撃防御)、Intelligent Machinery System (IMS、船内機械の最適化と予測メンテナンス) を挙げている。状況認識 (SA) 及び IMS については ANS の一部として機能するとされているため (Viljanen, 2023)、本稿ではこれらを ANS に包含して考察する。

⁹ このような背景を踏まえ、現状では「シミュレーション試験」が有効な検証手段として注目を集めている (Viljanen, 2023)。具体的には、ANS の性能限界を検証するためのエッジケースを再現した交通シナリオおよび環境シナリオを用いた試験の実施が提案されており、これらのシミュレーション試験を通じて ANS の包括的なパフォーマンスを評価することにより、自動運航システムが人間の船員と同等以上の判断能力を有することを実証することが望ましいと考えられている (Viljanen, 2023)。しかしながら、これらのシナリオ策定には、各地域の海上交通環境および状況に関する詳細なデータの検討が不可欠である。

とはいえ、Guo et al. (2022) が指摘するように、VTS を活用した MASS の合理的な船舶交通管理に関する研究は依然として限定的であり、この分野の研究は萌芽期にあるといえる。このことは、MASS の実用化に向けた技術開発が進展する一方で、それらを安全かつ効率的に運用する海上交通システムの設計に向けた動きが遅れていることを示唆している。

しかしながら、これらの複雑な要素間の相互作用を考慮し、最適なシステムの構築を検討するための手法として、システム理論 (Systems theory) のアプローチが注目を集めている (Nuutinen et al., 2007; Praetorius, 2014; Xu et al., 2017; Relling et al., 2019, 2021)。このアプローチは、VTS を社会技術システムとして位置づけ、海上交通を構成する多様なシステム間の相互作用に起因する多面的な課題を包括的に分析し、統合的な解決策を提案する可能性を有している。

ここでいう社会技術システム (Socio-technical systems) は、人間の社会的要素と技術的要素が相互に影響を及ぼし、協調的に機能するシステムと定義される (Praetorius, 2014; Relling et al., 2019)。社会的要素には、人的資源、組織構造、文化的側面、およびコミュニケーションプロセスが含まれる一方、技術的要素は、機械設備、装置、ソフトウェア、およびインフラストラクチャーから構成される。Vessel Traffic Service (VTS) は、このような技術的要素と社会的要素が緊密に連携して機能する社会技術システムとして概念化されている (Praetorius et al., 2014; Relling et al., 2019, 2021)。ここでの VTS の構成要素は以下のように分類される：

技術的要素：

レーダーシステム自動識別システム (AIS)、通信システム、監視システムなどの先端技術を統合し、船舶の位置、速度、航路をリアルタイムで監視する能力を提供する。これらの技術的要素は、VTS オペレーターに対し、航行の安全性確保に必要な情報を提供する役割を果たす。

社会的要素：

VTS オペレーター、管理者、規制当局、船員、港湾関係者などの多様なステークホルダーが、技術システムの操作、管理、および情報共有を通じて協働する。特に、VTS オペレーターは技術的要素やステークホルダーから得られる情報を分析・解釈し、適切な判断に基づいて船舶への指示を行う重要な役割を担う。

さらに、社会技術システムとしての VTS は、多層的な相互作用を考慮に入れることで、システム全体の機能最適化を図ることができるとされる (Relling et al., 2019)。この多層構造は以下のように分類される：

- (a) 現場レベル：現場の VTS オペレーターが船舶の監視と指示を担当する。技術的要素から得られる情報を基に、リアルタイムでの意思決定を行う。
- (b) 担当レベル：技術サポート担当者および管理職員が、技術システムの維持管理とオペレーションのサポートを提供する。
- (c) 管理レベル：VTS センターの管理者がオペレーション全体の監督と調整を行う。運用ポリシーの策定およびリソースの最適配分が含まれる。
- (d) 組織レベル：VTS を運営する組織（例：港湾管理局、沿岸警備隊）が、全体的な運営方針を決定し、必要なリソースを提供する。

- (e) 規制当局/団体レベル：IMO や国内の規制当局が、VTS の運用基準および規制を設定し、その遵守を監督する。

この多層構造アプローチにより、VTS システム内の各レベルにおける相互作用と、それらが全体的なシステムパフォーマンスに与える影響を包括的に分析することが可能となる。また、社会技術システムとしての VTS は内部および外部の相互作用を通じてその機能を遂行する。内部相互作用においては、VTS オペレーターと技術システムとのインターフェース、ならびに管理者とオペレーターとのコミュニケーションが主要な要素となる。これらの内部相互作用は、システムの内部効率と信頼性の向上に寄与すると考えられる。外部相互作用では、VTS は船舶、港湾施設、その他のシステムとの間で情報を共有し、協調して機能する。自動運航船と従来型船舶の共存を考慮する場合には、この外部相互作用の視点が特に重要となる。この点に関して、Relling et al. (2021) は、システムオブシステムズ (System of Systems, SoS) としての海上交通システム (Maritime Traffic System; MTS) を定義し、外部相互作用の体系化を試みている。SoS とは、複数の自律的かつ独立したシステムが相互に連携し、全体として高度に複雑な大規模システムを形成する概念であり (Relling et al., 2021)、以下の特性を有すると考えられる。

- (a) 独立性：各構成要素システムは独立して運用可能であり、自己完結型の機能を保持する。
- (b) 自律性：個々のシステムは独自の運用管理体制を有し、単独でも機能する能力を持つ。
- (c) 拡張性：新規システムの追加により機能が拡張され、SoS は段階的に進化する。
- (d) 連携性：各システムは相互に緊密に連携し、情報共有と協調的な機能を実現する。
- (e) 全体性：SoS 全体としての共通目標が存在し、各システムが相互に協調してその達成を目指す。

Relling et al. (2021) が定義する MTS においては、構成要素である「環境」としての従来船舶、自動運航船、そして「社会技術システム」としての VTS は個別システムとして独自の目的と機能

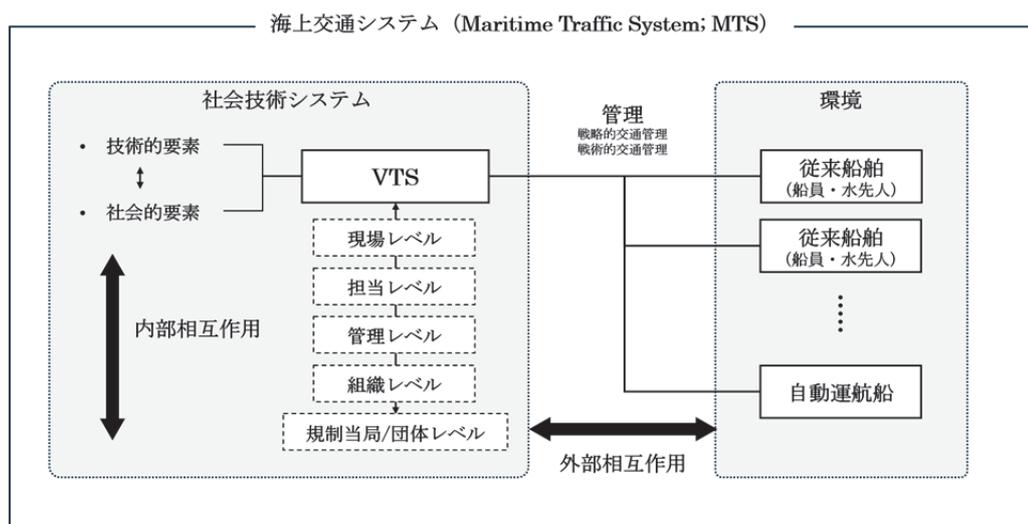


図1 社会技術システムとしての VTS と海上交通システム (MTS) の概観
(出典：Relling et al. (2021) を参考に筆者作成)

を有し、それぞれ独立・自律した運用がなされる。さらに、「従来の船舶—VTS」という交通システムから、「従来船舶—自動運航船—VTS」への拡張性、VTS の交通管理機能に基づく連携性により、全体性として、安全かつ効率的な海上交通の実現を目指しているのである（図 1）。つまり、MTS の枠組みの中で海上交通の安全性を検討する場合、個々の船舶や VTS などの独立性や自律性を持つシステムのみには焦点を置くのではなく、他のシステム間との相互作用（連携性）を網羅的に考慮していく必要があり、特に自動運航船という新規システムが追加された場合には、これらの新たな相互作用を考慮した MTS の拡張が不可欠となる。そのように構築・拡張された MTS においては、システム間の「安全な共存」を基盤とした全体的な分析が求められ、その結果として「安全で効率的な海上交通の実現」という一つのサービスが出力されることになる（全体性）。

このように、SoS の概念を MTS に適用することで、複雑な海上交通環境における各構成要素の相互作用と全体的な挙動をより深く理解し、システム全体の最適化と効率化を図ることが可能となるだろう。こと日本においては、COLREGs を国内法化した「海上衝突予防法（昭和五十二年法律第六十二号）」のほかに、「海上交通安全法（昭和四十七年法律第百十五号）」、「港則法（昭和二十三年法律第七十四号）」という海上交通法規が存在し、船舶交通量あるいは海域の特殊性が影響し船舶の輻輳する海域・港域において、特別の交通方法を設定している。国際的な議論の重要性は認識しつつも、国内の既存の制度的枠組みとの整合性を確保することが同様に重要な課題となる。当該課題に対しては、規制当局単独での対応には限界があり、多様なステークホルダーを包含した協働的アプローチ、すなわち「共創」の視点を導入することが不可欠であると推察される。この文脈において、MTS の活用が果たす役割は大きく、特に工学的側面と法的側面の間に存在する乖離を埋める VTS 機能に焦点を置いたさらなる検討が、自動運航船の実用化に向けた重要な要因になると考えられる。

4 おわりに

本稿では、自動運航船と従来船舶が混在する将来の海上交通システムにおける VTS の役割について考察してきた。VTS の歴史的発展と法的枠組みの変遷を概観し、その機能が単なる交通整理から包括的な交通管理へと拡張してきた過程を確認した。また、自動運航船の実用化に向けた制度設計の動向を踏まえ、VTS を中心とした新たな海上交通システムの設計に向けた課題と展望を論じた。

自動運航船は、従来の船舶の概念を根本的に変革する画期的な技術革新であり、現在も継続的な開発段階にある。こうした技術に対して、硬直的かつ画一的な安全性基準を設定する法規制には限界が存在する。この規制上の限界を補完する存在として VTS が着目され、その役割・機能の拡充に関心が高まっている。このような文脈において、VTS を社会技術システムとして捉え、システム理論のアプローチから複雑な相互作用を考慮した包括的な分析を行うことの意義は極めて高い。自動運航船と従来船舶の安全かつ効率的な共存を実現するためには、技術的要素と社会的要素の両面から海上交通システムを捉え直す必要がある。システムオブシステムズ（SoS）の概念を用いた海上交通システム（MTS）の再定義は、この複雑な課題に対する有効なアプローチの一つとなりうると考えられる。

日本の海運業、特に内航海運セクターにおいては、深刻な船員不足という構造的課題に直面している。この文脈において、自動運航船の導入は、船員不足の緩和策として注目されるとともに、日本の海事産業の持続可能性を支える革新的なソリューションとしての機能が期待されている。この

技術革新のモーメントを維持しつつ、自動運航船と従来船舶の安全な共存、そして安全で効率的な海上交通システムの実現に向けた検討を、多様なステークホルダーを包含した「共創」の視点から進めることが肝要である。最後に、本研究の限界と今後の展望について触れておきたい。本稿では主に文献調査に基づく考察を行ったが、実際の海上交通の現場における課題や、VTS オペレーターの実務的な視点からの分析は十分ではない。Relling et al. (2021) は、MTS のフレームワークを用いて、民主的プロセス（関係者間協議）を介した実践的な政策議論を実施している。今後は、これに類するフィールド調査やインタビュー調査を通じて、より実践的な知見を蓄積していく必要がある。また、自動運航船技術の進展は極めて急速であり、本稿で論じた内容も常に更新していく必要がある。

参考文献

- Ahmed, Y.A., Theotokatos, G., Maslov, I., Wennersberg, L.A.L., and Nesheim, D.A. (2024). Regulatory and legal frameworks recommendations for short sea shipping maritime autonomous surface ships, *Marine Policy*, 166, 106226. doi:10.1016/j.marpol. 2024.106226
- Guo, W., Zhang, X., Wang, J., Feng, H., & Tengecha, N. A. (2022). Traffic organization service for maritime autonomous surface ships (MASS) with different degrees of autonomy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1889. https://doi.org/ 10.3390/jmse10121889
- Hebbar, A. A., Schröder-Hinrichs, J. U., & Yildiz, S. (2024). Vessel traffic management in the era of maritime autonomous surface ships and digitalization: Experiences in European waters. In A. Chircop, F. Goerlandt, R. Pelot, & C. Aporta (Eds.), *Area-based management of shipping* (pp. 1-15). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3- 031-60053-1_8
- Hughes, T. (1998). Vessel Traffic Services (VTS): Are We Ready For The New Millenium? *Journal of Navigation*, 51(3), 404–420. doi: 10.1017/S0373463398007954
- Hughes, C. T. (2009). When is a VTS not a VTS? *Journal of Navigation*, 62(3), pp.439–442. doi:10.1017/S0373463309005396
- IALA. (2022). Implications of Maritime Autonomous Surface Ships from a VTS Perspective. *Discussion Paper, Working Paper Edition 0.3*, pp.1-16.
- IALA. (2023). Vessel Traffic Services [online]: S1040. Saint Germain en Laye: IALA, pp.1-6. Accessed October 15, 2024, from [IALA](#).
- IMO. (1968). Recommendation on port advisory services [online]: Resolution A.158 (ES.IV). London: IMO.
- IMO. (1986). Guidelines for vessel traffic services [online]: Resolution A.578(14) adopted on 20 November 1985. London: IMO.
- IMO. (1997). Guidelines for vessel traffic services [online]: Resolution A.857(20). adopted on 27 November 1997. London: IMO.
- IMO. (2021a). Guidelines for vessel traffic services [online]: Resolution A.1158(32). adopted on 15 December 2021. London: IMO. Accessed October 15, 2024, from IMO.
- IMO. (2021b). Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS). MSC.1/Circ/1638, 3 June 2021.
- IMO. (2021c). Outcome of the regulatory scoping exercise and gap analysis of conventions

- emanating from the Legal committee with respect to maritime autonomous surface ships (MASS), LEG.1/Circ.11, 15 December 2021.
- IMO. (2022). Outcome of the regulatory scoping exercise and gap analysis of the FAL convention with respect to maritime autonomous surface ships (MASS), FAL.5/ Circ.49, 1 June 2022.
- Nuutinen, M., Savioja, P., & Sonninen, S. (2007). Challenges of developing the complex socio-technical system: Realising the present, acknowledging the past, and envisaging the future of vessel traffic services. *Applied Ergonomics*, 38(4), pp.513-524. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.10.004>
- Martínez de Osés, F. X., & Uyà Juncadella, À. (2021). Global maritime surveillance and oceanic vessel traffic services: Towards the e-navigation. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 20(1), pp.3–16. <https://doi.org/10.1007/s13437-020-00220-0>
- Miyoshi, T., Fujimoto, S., & Rooks, M. (2021). Study of principles in COLREGs and interpretations and amendments COLREGs for maritime autonomous surface ships (MASS). *Transactions of Navigation*, 6(1), pp.11-18. https://doi.org/10.18949/jintransnavi.6.1_11, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jintransnavi/6/1/6_11/_article/-char/ja
- Praetorius, G. (2014). Vessel Traffic Service (VTS): A Maritime Information Service or Traffic Control System? Understanding Everyday Performance and Resilience in A Socio-Technical System under Change. [PhD-thesis].
- Purvis, C. (2011). Coastal state jurisdiction under UNCLOS: The Shen Neng 1 grounding on the Great Barrier Reef. *The Yale Journal of International Law*, 36(1), pp.207-217.
- Relling, T., Praetorius, G., & Hareide, O. S. (2019). A socio-technical perspective on the future Vessel Traffic Services. *Necesses*, 4(1), pp.112-129. <https://doi.org/10.21339/2464-353x.4.1.1>
- Relling, T., Lützhöft, M., Ostnes, R., & Hildre, H. P. (2021). The contribution of Vessel Traffic Services to safe coexistence between automated and conventional vessels. *Maritime Policy & Management*, 49(7), pp.990-1009. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1937739>
- Rødseth, Ø. J., Wennersberg, L. A. L., & Nordahl, H. (2023). Improving safety of interactions between conventional and autonomous ships. *Ocean Engineering*, 284, 115206. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115206>
- Uyà Juncadella, À., & Martínez de Osés, F. X. (2020). New international guidelines for vessel traffic services. Revision of IMO resolution A.857(20). Barcelona School of Nautical Studies, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Viljanen, M. (2023). How to ensure safe navigation: Navigation safety regulation in MASS. In T. M. Johansson, J. E. Fernández, D. Dalaklis, A. Pastra, & J. A. Skinner (Eds.), *Autonomous vessels in maritime affairs*. Studies in National Governance and Emerging Technologies. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24740-8_8
- Xu, G., Li, F., Chen, C.-H., Lee, C.-H., & Lee, Y.-C. (2017). Toward resilient vessel traffic service: A sociotechnical perspective. In C. Chen et al. (Eds.), *Transdisciplinary Engineering: A Paradigm Shift* (pp. 829-836). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-779-5-829>
- 大山 竜毅 (2023). 「海上交通センターと船舶交通の安全」, 『特集 船舶交通の安全を守る海上交通センター』, 海と安全 (日本海難防止協会).