

自動運航船の開発動向と展望 ーデジタル化の進展が変える船舶ー

2019/9

三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部 コンシューマーイノベーション室
割石浩司

Summary

- 船舶分野におけるデジタル化の進展を受け、欧州を中心に自動運航船の開発が先行しており、日本でも取り組みが始まっている。
- 自動運航船は、船舶の省力化・安全性強化のみならず、業界構造に変化を与え、海上輸送インフラ全体に影響を与える。
- 造船・海運・港湾・倉庫など船舶に関連する領域を高度に統合する役割として「自動運航船インテグレーター」の登場が期待される。

自動運航船は、船舶の高い安全性と効率性を実現し、海難事故防止や労働環境改善など船舶分野の課題を解決する可能性があるとして、急速に関心が高まっている。海外では早ければ2020年代前半には一部の内航船で自動運航船が実用化する予定となっており、IoTを活用した船舶を皮切りに高度な自動化機能が徐々についていくことで、将来的には完全に無人化された自動運航船（無人運航船）の実現も期待されている。

本稿では、大型船の自動運航船の開発動向を紹介し、それに伴う船舶分野における構造変化について述べる。

1. 自動運航船の概要

1-1. 自動運航船とは

自動運航船は、IoT、ICT、データ解析技術等の最新技術、各種センサーおよび広帯域通信により接続された陸上監視・制御拠点を使用することで、外部状況認識（見張り）、機器等の状態監視、操船、機関制御、貨物管理・荷役、離着舷、その他船舶の運航に伴う船上業務（タスク）の一部または全部を高度に自動化（自律化）、または遠隔制御化した船舶およびその運航システムといえる。自動運航船は、海上輸送の安全性・効率性向上、船員労働環境改善・職場魅力の向上、海運・造船・船用工業等の船舶分野の競争力向上に資するとされている。

2018年5月に開催された国際海事機関（IMO:International Maritime Organization）のMSC（Maritime Safety Committee）第99回会合において、自動運航船の暫定的な定義として4種類の自動化レベルが提示された（図表1）。

図表1：IMOによる自動運航船の暫定的な定義

自動化レベル1	自動化プロセスおよび意思決定支援船	船員が乗船し操船する。 一部自動化システムを搭載。
自動化レベル2	遠隔操縦船（船員の乗船あり）	遠隔地から操船する。 船員は乗船し、操船可能。
自動化レベル3	遠隔操縦船（船員の乗船なし）	遠隔地から操船する。 船員は乗船しない。
自動化レベル4	完全自動化船	システムが意思決定し操船する。

出所：IMO Press Briefings「IMO takes first steps to address autonomous ships」（2018年5月）を基に三井物産戦略研究所作成

また、英ロイド船級協会は、自動化レベル（AL：Autonomous Level）を0～6に分類した定義を提唱しており、各機能の高度化度合いや支援する場所、人の関与の度合いを考慮に入れることで、IMOより具体的な定義となっている（図表2）。

図表2 英ロイド船級協会が提唱する自動化レベル

自動化レベル		内容
AL0	自動化なし	—
AL1	On-ship decision support 船上での意思決定支援	船の運航は、船員が行う。船上の最適な航路表示等の支援ツールが船員の意思決定に影響を与える。
AL2	On and off ship decision support 船上および陸上での意思決定支援	船の運航は、船員が行う。船上または陸上の支援ツールから提供される航路計画等に関するデータが船員の意思決定に影響を与える。
AL3	Active human in the loop 積極的な人間参加型	船の運航は、人間の監視の下で自律的に実行される。船上または陸上から提供されたデータにより、重要な意思決定は人間によってなされる。
AL4	Human on the loop – operator/supervisory 人間監視型	船の運航は、人間の監視の下で自律的に実行される。重要な意思決定は人間によってなされる。
AL5	Fully autonomous(& rarely supervised) 完全な自律	船舶のシステムが決定したことについて、人間による監視がほとんど行われない。
AL6	Fully autonomous(& with no supervision) 完全な自律	船舶のシステムが決定したことについて、人間による監視が全く行われない。

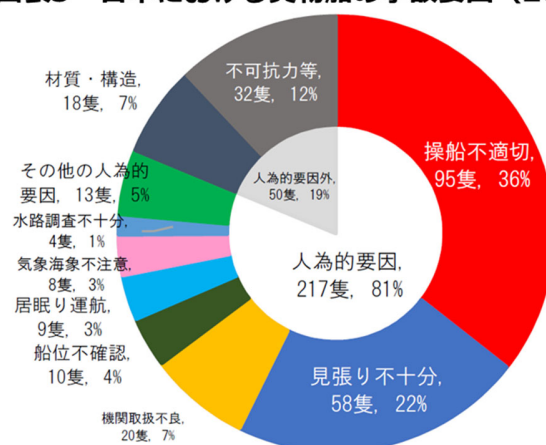
出所：英ロイド船級協会「Autonomous shipping 2019 and Beyond」（2019年1月）および国土交通省「課題の整理と検討の方向性（自動運航船）」（2017年12月）を基に三井物産戦略研究所作成

自動車の自動運転とは異なり、船舶は機関保守・貨物監視など操船以外の多くの作業を複数の人間が分担していることから、船員による操船のみを自動化しても完全に無人化された自動運航船が実現できるとは限らず、さまざまなバリエーションが想定される。

1-2. 自動運航船が期待される背景

海上保安庁によれば、近年、海難事故件数は減少しつつあるものの、その約8割が人為的要因（操船不適切、見張り不十分など）となっている（図表3）。European Maritime Safety Agency（欧州海上保安機関）が公表している「Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2018」によると、57.8%が人為的要因とされており、海外でも同様の傾向がある。センサーを活用した高度な操船により海難事故を抑止しつつ、海上輸送の信頼性を向上させる効果が期待されている。

図表3 日本における貨物船の事故要因（2018年）



出所：海上保安庁「平成30年海難の現況と対策」2019年4月

また、世界的な海上輸送量の増加傾向を踏まえ、今後、世界の船員需要が逼迫する可能性が指摘されている。特に内航船では船員の高齢化が進んでおり、自動化等による労働環境の改善が期待されている。

このような期待が高まるなか、AIS（自動船舶識別装置）、ECDIS（電子海図）等の普及に加え、海上ブロードバンド通信の発展、IoT・AI・ビッグデータ処理技術等の急速な進歩が、自動運航船の実現を後押ししている状況にある。

2. 世界・日本における自動運航船の取り組み状況

2-1. 海外の取り組み：先行する欧州勢

自動運航船の取り組みは、欧州が先行している。これまで実施された主要なプロジェクトと、各企業の実用化に向けた取り組みを紹介する（図表4）。

欧州では、Rolls-RoyceやKongsberg Maritime等が中心的な役割を果たしている。両社は、船舶の既存技術とセンサー、AI等の新しいデジタル技術を組み合わせ、それらを統合的に運用することで自動運航船の構築を主導している。なお、Kongsberg Maritimeは、2019年4月にRolls-Royce Commercial Marineの買収を完了しており、欧州の自動運航船開発を主導してきた両社の統合は注目されている。

図表4 欧州における自動運航船の取り組み状況

産官学連携によるプロジェクト（主にコンセプト検討を実施）	
MUNIN （Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Network）	● 2012年～2015年に実施。 ● EUの支援のもと、フラウンホーファー研究機構が主導して無人船の概念の構築と実証実験を実施。 ● 10%以上の燃費向上、衝突・沈没リスクの減少する効果を公表。
AAWA （Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative）	● 2015年～2018年実施。 ● フィンランド政府の支援の下、Rolls-Royceが主導。 ● 自動運航船の実現に必要な法規制・技術要素等を検討し、コンセプト検討を踏まえた調査研究を実施。
企業の取り組み（主に実用化に向けた取り組み）	
Yara International（ノルウェーの大手肥料メーカー）およびKongsberg Maritime（ノルウェーの半官半民複合企業の海事部門）	● 2022年に無人電動コンテナ船「Yara Birkeland」を就航させる予定。「Yara Birkeland」は、Kongsberg Maritimeが開発。 ● ノルウェー政府からの補助金（約18億円）を得て開発実施。
Rolls-Royce Commercial Marine （現Kongsberg Maritime）	● SVAN（Safer Vessel with Autonomous Navigation）プロジェクトとして、2018年12月にフィンランドのFinFerrisが所有する貨客フェリー（内航船）の自動運航実証を実施。
Wärtsilä （フィンランドの船用エンジンメーカー）	● 2018年11月に、ノルウェーのNorledが保有する貨客フェリー（内航船）の自動運航実証を実施。
出所：MUNIN、AAWA、各社プレスリリース等を基に三井物産戦略研究所作成	

2-2. 日本の取り組み

国土交通省は、2016年2月より海事イノベーション部会を開催し、海事産業の生産性革命を推進している。その中で自動運航船を主要施策として位置付けている。また、産業界でも実用化に向けた取り組みを行っており、主なものを紹介する（図表5）。

2-3. 予想される実現時期とそのレベル

日本財団が2019年4月に発表した「Future2040～無人運航船がつくる日本の未来～」によれば、日本国内の輸送を対象等として、2040年には新たに建造する船が無人運航となり、国内の船舶の50%が無人運航になることを想定し、無人運航船の経済効果は2040年で約1兆円になると推測している。

各国で自動運航船の取り組みが活発化しているが、技術開発の状況とニーズに合わせて、段階的に実証・導入が進むと考えられる。国・産業界が発表している各種のロードマップを元に、予想される実現時期とそのレベルを以下にまとめた（図表6）。

なお、以下の実現時期は、実用化へのハードルが最も高いとされる外航船における自動運航船を想定している。¹

¹ 海洋調査等を目的とした総トン数20トン未満の無線操縦の小型船舶や軍用船舶については実用化されている。内航船については実現時期が短くなると想定される。

図表5 日本における自動運航船の取り組み状況

政府の取り組み	
国土交通省	● 2018年6月の第7回海事イノベーション部会にて、先端的技術開発・実証の促進と国際基準・規格策定の主導を行い、2025年の自動運航船の実用化を目指すと発表。自動運航船を「i-Shipping^(注1)」「j-Ocean^(注2)」と並んで主要施策と位置付け、以下の実証事業を開始。 ・ 自動操船機能の実証：大島造船所、MHIマリンエンジニアリングなど ・ 遠隔操船機能の実証：日本郵船、MTIなど ・ 自動離着岸機能の実証：三井E&S造船、商船三井など ● 2018年10月に海事イノベーション戦略推進本部を設置。海事イノベーション実現に向けた具体策等を総合的かつ迅速に検討し、2025年の自動運航船の実用化に向けた取り組みを実施。 ● 2018年6月に発表された未来投資戦略2018において、「海上交通の高度化に向けた自動運航船の実用化への取り組み」が盛り込まれ、自動運航船の実現に向けた取り組みを強化。
産業界の取り組み	
商船三井、三井E&S造船 (海運・造船)	● 商船三井、三井E&S造船等で構成される研究コンソーシアムは「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」を2017年8月より開始。高度に自律化された船舶（自動運航船）の技術コンセプトを開発し、自動運航船の実現に必要な技術の開発ロードマップを策定する予定。 ● 商船三井は、2018年9月に、Rolls-Royceのアドバイス型障害物認識システム（IAS：Intelligence Awareness System）を同社が保有するフェリー「さんふらわあ」に搭載し、実証実験を実施。
日本郵船 (海運)	● 2016年6月より「船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究」を開始。他船との衝突リスク判断を容易にする機能の開発や、非常時における陸上からの遠隔操船、航海計器情報をAR化した機器に関する開発を実施。 ● 2018年7月に「人工知能をコア技術とする内航船の操船支援システム開発」を開始しており、国内の輻輳海域を対象として人工知能により船舶の避航操船を行うシステムの開発を行い、2021年に実海域での実証を予定。
三井物産 (商社／海外企業との連携)	● 2019年4月より、シンガポールの大手エンジニアリング会社であるST Engineering、英ロイド船級協会と共同で、大型商船向け自動運航システムの開発を開始。世界有数の混雑する港であるシンガポールで実証を実施。
(一財)日本海事協会 (船級協会)	● 2018年6月に「自動運航、自律運航の概念設計に関するガイドラインについて」を発表。自動運航船の安全性確保の観点から、概念設計において考慮すべき要素の取りまとめを実施。 ● 船員の行う船上作業は多種多様であり、また自動運航船も多種多様なコンセプトで検討されることを前提として、考慮すべき安全性に関する共通の基本要素を明確化し、自動運航船の概念設計が、適切かつ十分な安全性検討を踏まえて行われることを目的とする。

注1：i-Shipping：船舶の開発・設計、建造から運航に至る全てのフェーズで生産性向上を目指す取り組み

注2：j-Ocean：海洋開発分野において海洋開発市場の成長を日本の海事産業が獲得することを目指す取り組み

出所：国土交通省、各社プレスリリース等を基に三井物産戦略研究所作成

図表6 自動運航船の導入イメージと主な技術的課題

段階	【第一段階】 実証フェーズ ～2025年	【第二段階】 IoTを活用した船舶 (自動化レベル1～2) 2025～2030年	【第三段階】 自動運航機能を持った船舶 (自動化レベル2～4) 2030～2040年	【第四段階】 高度な自動運航機能 を持った船舶 (自動化レベル4～) 2040～2050年	無人船
想定効果	内航船・限定海域など一部実用化へ	船陸間連携強化による効率的な運航 予防保全の強化による保守効率化 部分的な自動化による安全性向上・船員負荷軽減	燃費向上や高い定時制など最適運航の進展 トレーサビリティ高度化による運航安定化 船陸間連携による省人化と安全運航の両立 省人化による船員待遇の改善	海上輸送の継続的な最適化の実現 海上輸送と港湾・倉庫・陸送との連携強化 個別化対応輸送や海上移動倉庫など新しい海上輸送インフラの実現可能性	
課題	導入効果算定 課題洗い出し 新たな技術開発	障害物検知・衝突回避技術 自動運航船用AIの開発 洋上通信の高速化・低価格化	高度な自動運航船用AIの開発 洋上通信の低遅延化 精密で高度な操船技術	メンテナンスフリーの動力 船内業務・船内作業の自動化	

出所：国土交通省「海事産業の生産性革命の深化のために推進すべき取組について～平成 28 年6月3日答申のフォローアップ～報告書」（2018年6月）を基に三井物産戦略研究所作成

第一段階では、自動運航船の実証フェーズとして、自動運航船に関わる課題の洗い出しを行い、必要となる技術の開発や導入効果の算定を行う。内航船や限定海域における利用など、一部実用化フェーズへ移行するケースも想定される。

第二段階では、各種センサーのデータの収集・分析を行い、最適航路の提案やエンジン異常の通知等の判断を支援する機能が備わった船舶（IoTを活用した船舶）の導入が進展し、船舶のリアルタイムモニタリングによる保守・運航の効率化や、運航支援システムの導入による安全性向上と船員負荷軽減につながるものが想定される。

第三段階では、自動運航機能を持った船舶の導入が行われ、各種センサーや操舵機器、機関などの船上機器が相互に通信しながら一体的に機能し、高度なデータ解析技術やAI技術によって、船員がとるべき行動の具体的な提案を行う機能が具備される。船員の判断に必要な情報を視聴覚的に提示するシステムや、陸上からの船上機器の直接的操作が可能となる船舶も登場。ただし、最終意思決定者は船員のままと想定される。

第四段階では、高度な自動運航機能を持った船舶の導入が行われ、離着岸時や各種の航路交通状況・気象海象条件下でも適切に機能するシステムを有した船舶で、自律性が高く最終意思決定者が船員でないケースが出てくると想定される。

3. 実現に向けた課題

自動運航船の検討・開発が進むにつれ、課題も出てきている。現時点の主な課題としては技術的課題と制度的課題の2つがある。

3-1. 技術的課題

①自動運航船を実現するための基礎インフラ：船陸間の通信インフラ

自動運航船の実現には、外部からの情報を常時取得することが必要であり、船舶と陸上との間の通信のブロードバンド化、低価格化が必須となる。また、遠隔操船等の陸上からの支援を安定的・効率的に行うには、低遅延化も重要となる。

②運航自動化のための技術：障害物検知と衝突回避

自動運航船の実現に向けた課題として、海上における障害物を検知するための自動運航船用の高精度なセンサー開発が挙げられる。すでに航海用レーダーは実用化されているが、より高精度で長距離対応かつ海上の厳しい環境に耐える周辺環境認識技術が必要とされる。レーダーのほかに、自動車分野で開発されているカメラやLIDARなどの利用が検討されており、各センサーの特徴をうまく組み合わせて使用すること（センサーフュージョン）が必要である。

また、障害物を検知した後に、衝突回避を行い安全な運航を行う高度なアルゴリズム開発（自動運航船用の人工知能の開発）や、自動運航船用の人工知能の開発を行うための海上ビッグデータの構築も必要となる。さらに、また、接岸時や離岸時におけるより精密な操船を実現する技術として、高精度測位技術や高性能舵なども必要とされる。

③完全無人化のための技術：自動化技術、ロボティクス技術

完全無人化された自動運航船を実現するには、機関部や甲板部などでの多種多様な業務や網取り等の陸上側の作業など、これまで人手で対応していた作業を自動化などにより代替する必要がある。例えば、機関部では現状、船員がエンジンを監視・メンテナンスしながら運航しており、メンテナンスの自動化あるいはメンテナンスフリー動力が必要とされる。

3-2. 制度的課題

これまでの船舶に関連する法制度は、船舶が、船長等が乗船する「有人船」であることを前提としており、遠隔操作船や無人運航船を実現するには、以下の国際条約やそれに関連する法制度の改正が必要となる。

- 海洋法に関する国際連合条約（UNCLOS）：船舶の航行の権利や義務を規定。自動運航船が同条約の「船舶」に該当するならば、同規定が適用されることになる。
- 海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS条約）：船舶の構造、救命設備、無線設備などハード面の安全性確保に関する条約。自動で運航するための設備要求についての検討が必要。
- 船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約（STCW条約）：船員の資格や訓練等のソフト面に関する条約。乗組員のいない自動運航船における本条約の取り扱いについて検討が必要。
- 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（COLREG条約）：海上における船舶の衝突

を防ぐために航行ルールを定めた条約（海の道路交通法）。自動運航船の適用について検討が必要。

- 1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書（73/78MARPOL条約）：海洋汚染を防止するための包括的な条約。乗組員のいない自動運航船舶における本条約の義務の履行について検討が必要。

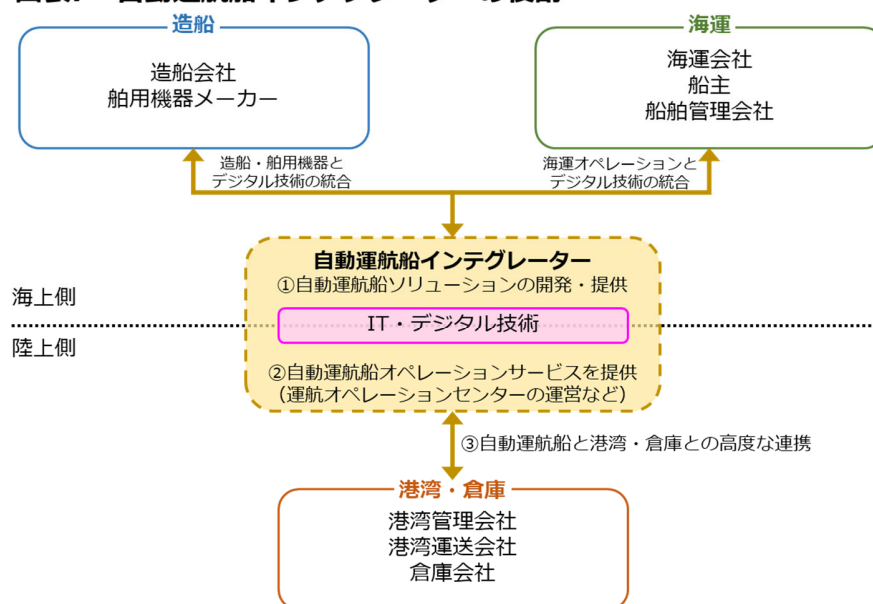
4. 船舶分野の構造変化と自動運航船インテグレーターの役割

自動運航船は、船舶におけるデジタル化の一環として位置付けられ、船舶における既存技術と他の産業で開発されたデジタル技術を相互に組み合わせることに加え、これまで造船・海運・港湾・倉庫など各領域で完結していた役割を、デジタル技術により高度に統合することで実現できる。ここでは、この高度に統合する役割を担うプレイヤーを「自動運航船インテグレーター」とし、その役割期待や今後の予想される展開を以下に述べる。

まず、自動運航船インテグレーターには、造船会社や船用機器メーカーが保有するハードウェアを中心とした技術と、自動運航船用AIなどのIT関連プレイヤーが保有するソフトウェアを中心とした技術を、自動運航船ソリューションとして1つにまとめ上げる役割が期待される。自動運航船の高度な設計・デザイン能力など上流工程の強化とともに、海運会社や船舶管理会社が保有するオペレーション技術も組み込むことで、より付加価値の高いソリューションを提供することが期待される（図表7の①）。

次に、自動運航船を陸上からサポートする運航オペレーションセンターの運営など、自動運航船を安定的・効率的にオペレーションする仕組みを提供する役割が期待される（図表7の②）。例えば、最適ルートの提供や、機関部・貨物の遠隔監視・メンテナンス、離着岸時の無人タグボートによるサポート、幅狭海

図表7 自動運航船インテグレーターの役割



出所：三井物産戦略研究所作成

域における遠隔操船によるサポート、電動化船舶向け充電インフラに加え、気象や海象の状況をリアルタイムに提供する仕組み（船舶版ダイナミックマップ）なども想定される。

最後に、倉庫自動化技術等のロボティクス技術を取り込み、港湾や倉庫などと高度に連携することで、海上輸送全体を高度に統合する役割へ拡大することが期待される（図表7の③）。その先には、陸上輸送との連携も行うことで、海上と陸上のトータルでの輸送サービス提供も視野に入ると考えられる。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

