解説
Explanation

有人自律操船のための行動計画システム（APS）の概念提案*

沓名弘二** 安藤英幸** 中島拓也**
桑原悟*** 中村紳也***

1. はじめに

近年，船舶の自動運航に向けた技術開発・実証が世界的に盛り上がっている．ノルウェーの Yara 社が 2022 年に無人運航船の実現を目指して開発を行っている[1]ほか，2018 年 12 月 3 日には，ロールス・ロイスとフィンフェリーが世界初の完全自律運航フェリーの実証試験に成功した[2]．同月 4 日には，ABB が砕氷型客船を用いて世界初の旅客船の遠隔操縦試験を実施したと発表する[3]など，主に欧州での技術実証が加速している．国内でも，国土交通省が 2025 年までの自動運航船の実用化に向けて 2018 年に実証事業を本格的に開始した[4]．

技術開発のみならず社会実装に向けた取組も進んでおり，2018 年 5 月に行われた国際海事機関（IMO）第 99 回海上安全委員会（MSC99）では，自動運航船（Maritime Autonomous Surface Ship: MASS）に関する制度面の議論が開始された．同年 12 月の MSC100 では，規制に関する論点整理のフレームワークが確定した（フレームワークには，MASS の定義，自動化の程度（Degree of Autonomy）や手法，タイム・スケジュール等が含まれる）ほか，MASS のトライアルガイドラインに関する議論が開始された．国内外の船級協会もガイドライン作成等に取り組んでおり，日本海事協会も 2018 年 5 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」暫定版[5]を発行するなど，技術開発に付随して規制の議論も進み始めている．

日本郵船（NYK）グループも，さらなる安全運航の実現に向けて，国土交通省「先進安全船舶技術研究開発支援事業（船舶の衝突リスク判断と自律操船に関する研究）」「操船支援機能と遠隔からの操船等を活用した船舶の実証事業」等の取組を通じ，造船所，舶用機器メーカ，船級協会などと協力しながら，自動運航船に関する技術開発・実証を行っている．

*原稿受付　平成 30 年 12 月 21 日．
** 株式会社MTI（千代田区丸の内2-3-2 郵船ビル）．
*** 株式会社日本海洋科学（川崎市幸区堀川町 580 番地 ソリッドスクエア西館）

本稿では，上記実証事業の中で取り組んでいる行動計画システムの概念について紹介する．

2. 行動計画システムの概念

2.1 前提

自動運航船は，船のサイズや利用目的，自動化される機能等により大きく形態が異なる．MSC100 では，暫定的な MASS の Degree of Autonomy を以下のとおり定義している．

1. Ship with automated processes and decision support（自動化プロセス，意思決定支援機能付船）
2. Remotely controlled ship with seafarers on board（有人遠隔運航船）
3. Remotely controlled ship without seafarers on board（無人遠隔運航船）
4. Fully autonomous ship（完全自動運航船）

操船業務を例に取ると，たとえば，以下のような形態が考えられる．

- 有人自律操船：船上機器が情報を収集・分析し，操船方法の提案を行う．承認は船上操船者が行う．（Degree 1 に該当）
- 遠隔操船：船上情報（カメラ映像，センサ情報等）を陸上に送り，現場の状況を再現することで，計画の検証・承認，バックアップ操船を遠隔操船者が行う．（Degree 3 に該当）
- 完全自律操船：情報収集から分析，計画立案，実行まで操船タスクをすべて船上機器が行う．（Degree 4 に該当）

図 1 に，これらの操船形態を整理したものを示す．

NYK グループは，これらの運航形態に対する経済性評価結果[6]を踏まえ，自動運航船の第一段階として「有人自律操船」の実証を目指しており，有人自律操船のコアシステムとして，行動計画システム（Action

Planning System: APS）の概念設計を行っている．

図１　自動運航船の操船形態の例

2.2 概念

APS は，センサデータ等を元に自船周りの状況を分析し，その結果に基づいて行動計画案を自動で策定し提示することで，乗組員の操船時の意思決定を支援することを目的としたシステムである．このシステムを用いることで，乗組員の負荷軽減のほか，陸上や他船を含めた遠隔地との状況の円滑な共有が可能となるという効果もある．提示された行動計画案の検証・承認後に，策定した行動計画案をもとにアクチュエータを制御する実行支援を行う機能も持たせている．

図2に，APSの概念図を示す．周囲の状況を分析し，行動計画を立案する本システムのコアとなる部分を，行動計画ユニット（Action Planning Unit: APU）と呼ぶ．なお，APS の情報は陸上にも共有され，必要に応じて陸上支援者（あくまで直接操船は行わず情報提供に徹することから，Remote Concierge と呼ぶ）が乗組員にアドバイスを行うほか，APS に直接追加情報が入力できるような形態を目指す．通信速度に応じて，船から陸への送信情報，送信頻度，および遠隔からの支援メニュー（最新の気象海象を踏まえた航海計画立案，避航ルートの提案等）は段階的に変化させることを想定している．

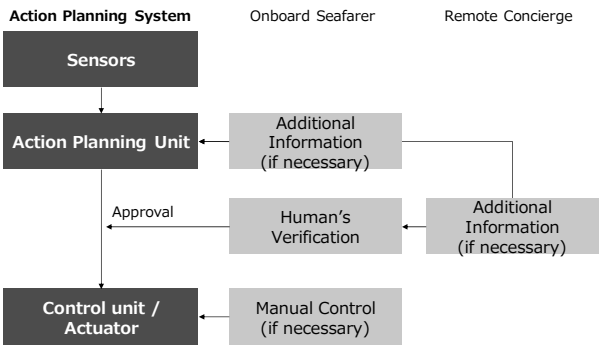

図２　行動計画システム（APS）概念図

以降，日本海事協会「自動運航，自律運航の概念設計に関するガイドライン（暫定版）」（以降「NK ガイドライン」）を参考にしながら，自動化，自律化設計における安全性確保のための基本要素を整理する．

3. 行動計画システムの基本要素

3.1 対象タスク・モード

APS は，操船者が船橋内で行う，操船実行のために必要な意思決定のための行動を対象としたシステムであり，具体的には以下の 3 つの機能を持つ．

① 衝突/座礁防止操船支援（避航操船支援）：通常航海において衝突/座礁防止の支援のための行動計画を策定・提示する．（大洋航海，沿岸航海，輻輳海域・峡水道によって，パラメータは異なることを想定．）
② アプローチ操船支援：着桟や着標，錨泊時の船を停止させるまでの操船，および停船状態から動き出す際の行動計画案を策定・提示する．
③ 離着桟操船支援：離着桟時における平行移動時（前後位置調整、スラスター及びタグ操作）の行動計画案を策定・提示する．（自船操縦性能による単独離着桟能力を持つ船においては、アプローチ操船支援モードと同じ機能となる．）

上記 3 つの機能によらず，操船意思決定に関連するタスクは，以下の 5 つに分ける事ができる．

① 情報収集・統合：センサ等の情報をもとに，自船（位置，船首方位，速力），他船（位置，船首方位，速力），地理情報，気象・海象（風向・風速，波向・波高，海潮流等）も含めた状況を把握する．
② 状況分析：得られた情報をもとに，現在及び将来の状況および付随するリスクを把握する．
③ 計画立案：分析結果をもとに，適切な行動計画を立案する．
④ 検証・承認：行動計画が妥当なものか総合的に判断し，必要に応じて修正を行いながら，実行を承認する．
⑤ 実行・制御：承認された計画に従い，アクチュエータの制御を行う．

NK ガイドラインの区分と対応付けると，情報収集・統合は「認知」，状況分析は「判断」，計画立案，検証・承認，実行・制御は「対応」に相当する．

操船意思決定におけるタスク，サブタスクの例を図 3 に示す．なお，特に状況分析における評価項目等は必ずしも明示的に実施される項目ではなく，船員が意

識的・無意識的に想定している項目を示している．また，追加的に挙げられるサブタスクも存在しうる．

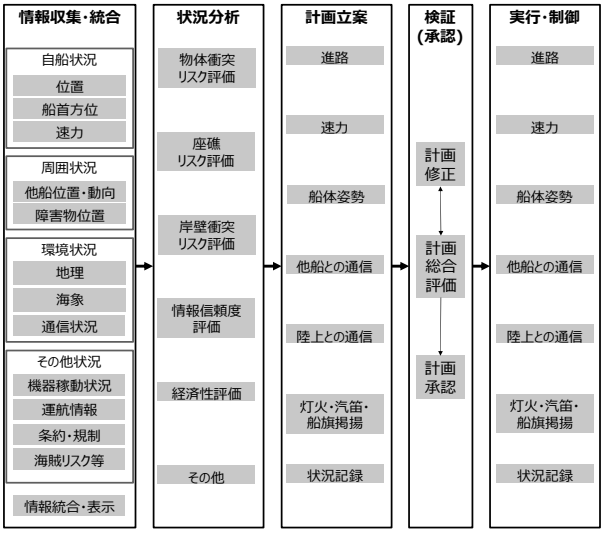

図３　操船意思決定に関わるタスク・サブタスク

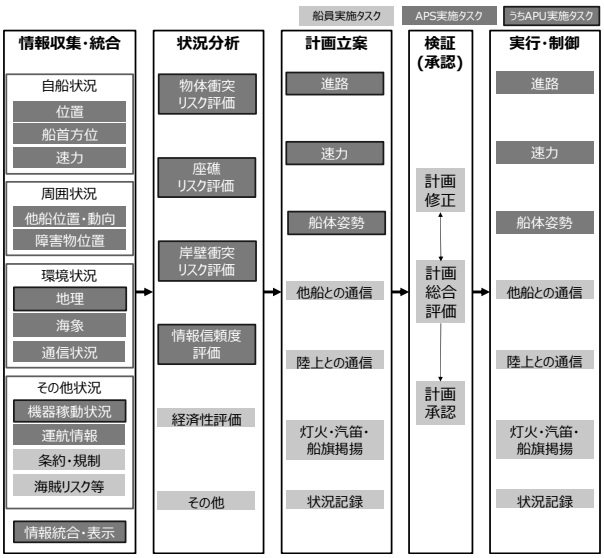

図４　行動計画システムが実施するタスク・サブタスク

3.2 役割分担

APS はマシンと人間の高度な協業がその特徴であり，自動化システム設計に置いて，タスク・サブタスクを実行する自動化システムと人間との役割分担を明確にしておくことは重要である．APS に関しては，避航操船，アプローチ操船，離着桟操船のいずれも，基本的には検証・承認部分以外はシステムが実施を主導することで，船員の負荷を大幅に削減するとともに，既存の安全対策では対応できなかったヒューマンファクターを補完しうると考える．

現時点で想定する APS がカバーするサブタスクについて色を分けたものを，図４に示す．なお，後述する AP Degraded ステータスの場合は，情報収集・統合の一部がシステムから人間に置き換わり（人間による追加情報入力が必要），AP Failed ステータスの場合は状況分析，計画立案（APU 担当）機能が作動しないことを想定している．

3.3 限定領域

限定領域とは，自動化システムが適切に機能する設計範囲をいう．地理的制限，気象・海象，交通システム支援の有無，時間帯（昼／夜）等が挙げられる．

限定領域は，以下のとおり大きく３つに分けられる．なお，システムによる結果の妥当性を人間が評価するため，APS を扱う人間は必然的に相応の能力が要求される．

- システムによる実行・制御可能な外部環境（地理的条件，気象・海象等）であること．他の航海計器等の機器（Dynamic Positioning System [7] 等）の規格に順ずる．
- システムが正しい挙動を示すこと．（モニターに正しく情報が表示されていること，タスクの実施結果について人間が妥当と判断できること．）
- 精度の高い情報が得られること．（情報分析・計画立案タスク）

「精度の高い情報が得られること」に関しては，表１のとおり，特に操船において重要な「自船位置」，「自船船首方位」，「自船速力」，「他船・障害物の動向」，「地理情報」の５つの情報収集サブタスク，および「情報統合」タスクに対し，それらを担う機器およびその網羅性，信頼性をもとに詳細な検討を行った．

表１　サブタスク別関連機器の網羅性，信頼性

No.	タスク／サブタスク	手動バックアップ	対象機器	Integrity	Reliability
1	情報取得／自船位置把握	Available	GPS	A	B
			GPS Compass	A	B
2	情報取得／自船船首方位把握	Unavailable	Gyro Compass	A	A
			GPS Compass	A	B
			Magnetic Compass	A	C
3	情報取得／自船速力把握	Available	Speed Log	A	B
			GPS	A	B
			GPS Compass	A	B
4	情報取得／他船・障害物把握	Unavailable	Radar	A	B
			AIS	B	B
5	情報取得／地理情報把握	Unavailable	ECDIS	A	A
			User Chart	B	A
			Echo Sounder	C	B
6	情報統合・表示	Unavailable	APU	A	B

Integrity：Sub Taskに対する機能の網羅性	Reliability：情報の信頼性
A：すべてを担う	A：非常に高い
B：一部を担う	B：高い（計画立案に活用可）
C：ごく一部を担う	C：低い（計画立案に活用不可）

これらをもとに，表２のとおり APS のコア機能で

ある「状況分析」「計画策定」タスクを実施するうえでのステータスを分類した．これらのうち，AP Normal，AP Degraded1 および 2 に関しては限定領域の範囲内となり，AP Failed はフォールバック（後述）の対象となる．図 5 にステータスの判定基準を示す．

表 2　APS ステータスの定義

ステータス	定義
AP Normal	システムが信頼性を保持した状態．すべてのタスクを実施するのに十分な情報の信頼性を有しており，基本的に検証・承認タスク以外への人間の補助・介入は不要．
AP Degraded1	システムの信頼性が低下している状態．人間のバックアップ（追加情報入力）により情報の信頼性を高め，すべてのタスクが高精度で実行可能．
AP Degraded2	タスクの情報源の一部が欠落しているものの，ある程度の網羅性・信頼性は担保されている状態．もしくは，一部タスクは人間のバックアップによる入力に依存している状態．
AP Failed	タスクの情報源の一部もしくはすべてが欠落し，人間による追加情報の入力・補正を行っても，適切な分析，行動計画の提示が不可能な状態．

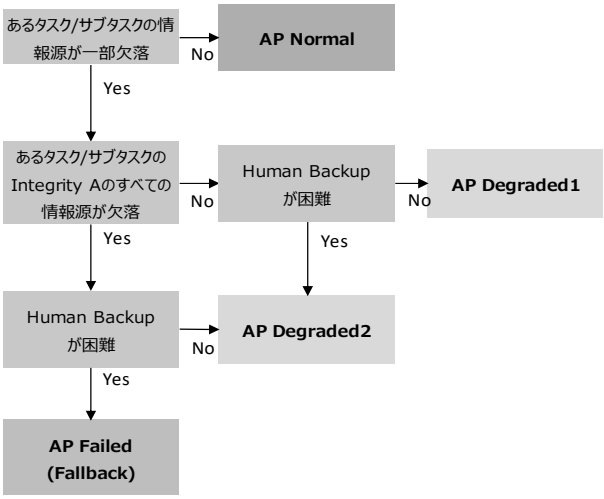

図 5　APS ステータスの判定基準

3.4 フォールバック

フォールバックとは，縮退運転とも訳され，自動化システムが正常に作動しない状態が発生した際に，危険を最小化する状態（Minimum Risk Condition）を担保するために行う対応のことをいう．APS については，基本的にはタスクを乗組員が行うことで担保されるものである．そのためには，適切なアラートが表示されるようにしておく必要がある．

限定領域，フォールバックの関係性も含め，APS のステータス推移を図 6 に示す．APS のステータスはインターフェースに適切に表示されることが必要である．

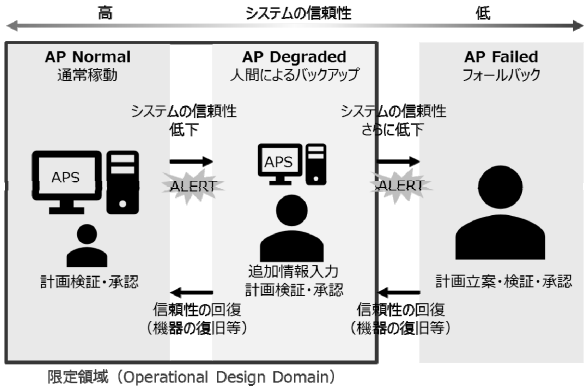

図 6　APS ステータス推移

3.5 リスクアセスメントによる安全性検証

リスクアセスメントおよび適切な対策の立案を通じ，適切なヒューマンマシンインターフェース，サイバーセキュリティに関する適切な対策，コンピュータシステムの信頼性の担保に関して検証を行う．

サイバーセキュリティについては，BIMCO (Baltic and International Maritime Council) らが作成したガイドライン[8]，ABS (American Bureau of Shipping) のガイドライン[9]，NIST (National Institute of Standards and Technology) の提唱するフレームワーク[10] 等を用いながら，リスクを回避，低減する対策を検討する．基本的には，実行・制御機能については，外部ネットワークと完全に隔離することにより外部ネットワークからの脅威を排除し、内部に対して実効的な対策を講じることを前提とする．

3.6 今後の発展

今回提案した APS は，将来的に遠隔操船もしくは完全自律操船を目指す場合においても活用可能であり，技術的な通過点であると考えられる．

遠隔操船を目指す場合は，追加センサ・カメラ等を設けて船橋からの視界情報も含めて再現可能な情報取得を行うほか，陸上への大規模な情報通信を可能としたものに拡張する必要がある．また，通信障害等も含めて冗長性，フォールバック機構を持たせる必要があるとともに，通信のリアルタイム性も非常に重要なファクターの一つになる．当然ながら，送信された情報を適切に表示しつつ，操船計画を検証・承認・実行す

る遠隔操船センターを設置する必要がある．
完全自律操船を目指す場合は，同じく追加センサ・カメラ等を通じて，人間による支援がなくとも総合的な判断ができるのに十分な情報を担保する必要があるほか，システム内に総合リスク評価，検証・承認機能を持たせる必要がある．また，あらゆる場合に備え冗長性，フォールバック機構を持たせる必要がある．あわせて，船橋の状況は必ずしも再現する必要はないが，オーバーライド操船が可能な遠隔操船センターを設置する必要がある．

4. 結論

NYK グループが想定する自動運航船を実現するコア技術として開発・実証に取り組んでいる行動計画システム（APS）の概念について紹介した．今後，本システムのコンセプトの具体化を通じて船級協会の概念設計承認（AIP）の取得を目指すとともに，段階的な実機構築および実験による効果検証を行う．

APS のコンセプト検討・実証を共同で実施している国土交通省「操船支援機能と遠隔からの操船等を活用した船舶の実証事業」実施事業者と実証事業に対する国土交通省の支援に謝意を表する．

参考文献

1) Yara International ASA, Corporate releases, https://www.yara.com/corporate-releases/yara-selects-norwegian-shipbuilder-vard-for-zero-emission-vessel-yara-birkeland/（参照日 2018 年 12 月 1 日）
2) Rolls Royce, Press Releases, https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx（参照日 2018 年 12 月 1 日）
3) ABB, Group Press Release, https://new.abb.com/news/detail/11632/abb-enables-groundbreaking-trial-of-remotely-operated-passenger-ferry（参照日 2018 年 12 月 1 日）
4) 国土交通省，報道発表資料, http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000109.html（参照日 2018 年 12 月 1 日）
5) 日本海事協会，自動運航・自律運航の概念設計に関するガイドライン（暫定版）, (2018)
6) 沓名ほか 4 名, 自動運航船の経済性評価と行動計画システム（APS）の概念提案，日本船舶海洋工学会講演会論文集，27 (2018), 151-154
7) ABS, Guide for Dynamic Positioning System, (2014)
8) BIMCO ほか 8 団体，The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships Version 3, (2018)
9) ABS, Guide for Cybersecurity Implementation for the Marine and Offshore Industries – ABS CyberSafety™ Volume 2, (2018)
10) NIST, Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity Version 1.1, (2018)

著者紹介

沓名　弘二
・1978 年生.
・株式会社 MTI.
・神戸商船大学商船学部航海システム学課程卒業.
・専門：品質保証.

安藤　英幸
・1971 年生.
・株式会社 MTI.
・東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学科修了 博士（工学）.
・専門：造船工学，システム設計，人工知能.

中島　拓也
・1989 年生.
・株式会社 MTI.
・東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻修了.
・専門：環境工学.

桑原　悟
・1971 年生.
・株式会社日本海洋科学.
・東京商船大学商船工学部航海学コース卒業.
・専門：船舶運用学.

中村　紳也
・1955 年生.
・株式会社日本海洋科学.
・東京商船大学大学院修了，広島大学博士（工学）.
・専門：海上交通工学.