



## 2.2 評価手法

想定した操船形態について、現行操船形態と比較し、以下の観点から簡易的な経済性評価（自動運航船に伴う追加設備費、運用費および事故損失を踏まえた支出額変化の合計値の比較）を行った。なお、ここに記載のない項目に関しては、現行と同等レベルを想定する。

### (1) 設備費

自動運航船に追加が必要となる搭載設備費および陸上施設費について想定し、システムの信頼性・冗長性の強化も含めて費用を見積った。搭載する行動計画システムAPS(後述)を3段階に分け、APS-1は\$300K、APS-2、APS-3は追加カメラ・センサーも含めて\$500K、\$700Kと仮定した。遠隔操船センターは\$500K、遠隔モニターは\$50Kと仮定した。設備費は耐用年数20年として減価償却費を計算した。

また、追加設備の年間維持管理費について、耐用年数10年（陸上設備は耐用年数20年）として見積った。

Table 1 Additional equipment on board and on shore

操船形態	主な追加船上設備	主な追加陸上設備
現行操船	—	—
有人自律操船	行動計画システム (APS-1)	—
遠隔操船	行動計画システム (APS-2) 追加カメラ・センサー	遠隔操船センター
完全自律操船	行動計画システム (APS-3) 追加カメラ・センサー	遠隔モニター

### (2) 運用費（人件費）

有人自律操船の場合は、航海士（現行3名）のみで操船することを前提とし、甲板手については操船業務への従事なくなることで現行の3名から2名になると見積った。遠隔操船の場合は航海士・甲板手は乗船せず、遠隔での一人当直体制を仮定した（ILOの規定遵守のため遠隔操船者5人を配備）。完全自律操船の場合は航海士・甲板手・陸上操船員なしとした。なお、航海士・遠隔操船者は\$5K/月、甲板手は\$2K/月の一人当たり人件費がかかるものとした。

遠隔操船、完全自律操船の場合、離着桟・荷役時の作業にかかる費用（\$7K/回、月3回と想定）、および甲板メンテナンスにかかる費用（\$8K/月と想定）を追加的に見積った。

なお、船長および他業務に関与する船員は現行のとおり乗船しているものとして検討の対象外とした。

Table 2 Number of personnel for navigation tasks and additional cost items

操船形態	航海士	甲板手	遠隔操船者	(追加費用)
現行操船	3	3	0	—
有人自律操船	3	2	0	—
遠隔操船	0	0	5	離着桟・荷役時作業 甲板メンテナンス
完全自律操船	0	0	0	離着桟・荷役時作業 甲板メンテナンス

### (3) 運用費（追加通信費・サイバーセキュリティ対策費）

遠隔操船の場合は、船橋からの視界映像を高解像度で陸上に送信するため高速通信（契約通信速度10Mbps、ベストエフォート型）を行うものとし、\$40K/月を見積った。また、完全自律操船の場合も陸上からの監視に必要な通信量は現状より増加することを見込み、\$10K/月と仮定した。ただし、実際の通信速度は契約速度に満たない場合も多く、さらに高額になる可能性がある。

また、船上の搭載電子機器システムの増加およびシステムに依存する業務の増加、船陸間通信への依存度の増加に伴い、サイバーセキュリティ対策に関するガイドライン<sup>3)</sup>が発行されており、現行操船も含めて対策費用を見積った（現行操船は\$1K/月、有人自律操船は\$2K/月、遠隔操船、完全自律操船は\$10K/月とした）。

### (4) 事故による損失

2008～2017年におけるP&I保険等での保険金支払事例および支払額を基に、Navigationに関連する深刻な事故の発生頻度、損失額を評価したところ、一隻あたり発生確率0.2回/年、平均損失額\$300Kとなった。ただし、実際の損失額は保険金支払額より多い可能性がある。

事故の要因分析を行ったところ、人為起源の事故割合が操船事故のうち、被害額換算で95%程度であることが分かった。完全自律操船ではそのうちすべて、有人自律操船および遠隔操船ではそのうち90%が削減されると仮定した。なお、機器には十分な信頼性を持たせると仮定し、機器の不具合等に起因する事故の件数は変化しないと仮定している。

ただし、事故による企業の信用の低下、機会損失を含めたレピュテーションリスクについては想定に含めておらず、実際の損失よりは低く見積っていると想定される。

## 2.3 評価結果・考察

評価結果を以下に示す。「有人自律操船」が経済性として優れるという結果となった。

なお、本想定は現在の価格をもとに推定しており、今後の技術開発によって必要な経費が変動する可能性がある。また、今回は操船のみを自動化の対象としているが、離着桟や荷役時の自動化を含めることで、遠隔操船や完全自律操船の運用費が大きく抑えられる可能性がある旨を留意する必要がある。

また、自律化・遠隔化によって不要となる船上設備の削減、船員削減に伴うアコモデーションの減少に伴う積載量増加、船型の大幅な変更に伴う燃費改善の効果等は含まれていない。これらを含めると、遠隔操船や完全自律操船の経済性がさらに高まる可能性がある。

Table 3 Economical evaluation of Autonomous Navigation

大項目	小項目	単位	現行操船	有人自律操船	遠隔操船	完全自律操船
設備費	追加船上設備費	K\$	0	300	500	700
	追加陸上施設費	K\$	0	0	500	50
	小計	K\$/年	0	15	50	38
	追加維持管理費	K\$/年	0	30	75	73
運用費	追加通信費・セキュリティ対策費	K\$/年	12	24	600	180
	船上人件費（操船のみ、船長除く）	K\$/年	252	228	0	0
	陸上追加人件費（遠隔操船者）	K\$/年	0	0	300	0
	離着桟・荷役時の作業	K\$/年	0	0	252	252
	甲板メンテナンス	K\$/年	0	0	96	96
	小計	K\$/年	264	282	1323	601
	操船事故発生頻度	件/年	0.20	0.03	0.03	0.01
事故損失	操船事故平均損失	K\$/件	300	300	300	300
	小計	K\$/年	60	9	9	3
	合計	K\$/年	324	306	1382	641

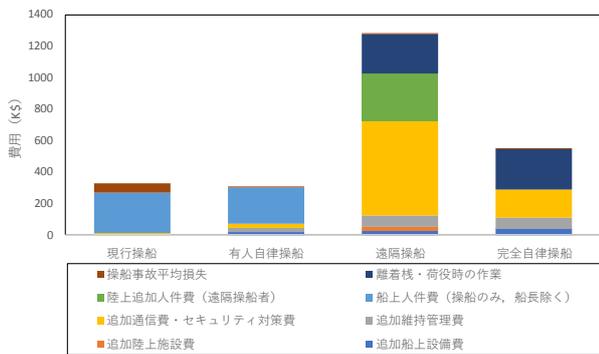


Fig. 2 Economical evaluation of Autonomous Navigation

### 3. 行動計画システムの提唱

#### 3.1 概念・機能

NYKグループが目指す自動運航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。行動計画システムは、情報統合・表示機能、分析・行動計画機能および操船機能を持つものとし、MSC.252(83)/IEC 61924-2 で規定されている統合航海システム (Integrated Navigation System: INS) の機能に加えて、動的な分析及び操船計画機能を持つものと位置付けている。

Table 4 Functions of Action Planning System

機能	概要
情報・統合表示機能	レーダー/ARPA/電子海図/GPS/AIS等の情報を統合・分析し、OZT等の危険度指標や安全水深線等と合わせて表示を行う。
分析・行動計画機能	統合された情報を動的に分析し、望ましい進路・速力・船体姿勢について操船者に提示する。
操船機能	信号をコントロールユニット (DPS 若しくはオートパイロット) に伝達し、舵、推進機、船体制御装置を作動させる。

行動計画システムによって、現行では船員が実施していた操船に関するタスクの一部を代替若しくは支援することができるかと想定している。

#### 3.2 種類

行動計画システムの大きな分類として、運航形態を想定し以下の3つ (有人自律操船用、遠隔操船用、完全自律操船用) を想定している。人間による承認の必要性 (必要な場合は遠隔地からの承認の可否)、およびそれに付随するシステムの信頼性・冗長性、およびフォールバックの形態が異なる。なお、本分類は暫定的なものであり、今後の見当次第で変更する可能性がある。

あわせて、システムの想定活用場面として限定領域 (Operational Design Domain: ODD) を想定する必要がある。操船支援を行う場面 (洋上航海、沿岸航海、幅員海域および離着岸時) や外部環境 (海象状況、通信状況等) 内部環境 (機器の稼働状況、人員体制等) 等によってシステムに持たせる機能は異なると考えられる。

なお、フォールバックおよび ODD の概念は、自動車の自動運転レベルの定義で現在主流となっている SAE J3016<sup>4)</sup> において提唱されており、前述の日本海事協会のガイドラインでも参照されている。

Table 5 Category of Action Planning System

分類	概要
APS-1 (有人自律操船用)	既存のセンサー・機器からの情報を統合・分析し、操船計画を行う。操船の承認は人間 (船上) が行う。 異常時のフォールバックも人間 (船上) が担う。
APS-2 (遠隔操船用)	既存のセンサー・機器のみならず追加カメラ・センサーを含めた情報を統合・分析し、操船計画を行う。操船の承認は人間 (遠隔地も可) が行う。 遠隔操船にも耐える信頼性、冗長性、異常時のフォールバック機構を持つ。
APS-3 (完全自律操船用)	既存のセンサー・機器のみならず追加カメラ・センサーを含めた情報を統合・分析し、操船行動計画・および操船を行う。人間 (遠隔地も可) からのオーバーライドも可能。 自律操船にも耐える信頼性、冗長性、異常時のフォールバック機構を持つ。

それぞれの APS に持たせる機器の冗長性も含めた要件については、他の機器の規格 (例えば Dynamic Positioning System 等<sup>5)</sup>) 等を参考に、船級協会や航海機器メーカーとともに検討する予定である。

Table 6 Minimum equipment requirements for Action Planning System (tentative)

Equipment	APS-1	APS-2	APS-3
Number of action planning computer	1	2	2+1
Number of analysis computer	1	2	2+1
Number of position reference system	1	2	2+1
Number of azimuth detection system	1	2	2+1
Number of Target detection system	1	2	2+1
Number of Uninterruptible power supply (UPS)	0	1	1+1
Back up control planning computer	No	Yes	Yes

#### 3.3 NYK の目指す方向性

NYK グループは、上述の経済性評価結果も踏まえ、現在、自動運航船の第一段階として APS-1 の実証を目指している。今後、APS-2 や APS-3 を目指す場合の技術的な通過点とも位置付けている。なお、ODD は現時点では特に限定せず、洋上航海、沿岸航海、幅員海域および離着岸時における操船を支援することを想定している。

NYK グループが 2019 年度に実船実証を目指す自動運航船の概念図を示す。APS-1 を軸とした船員の意思決定支援に加え、遠隔でのモニタリングと必要に応じた情報提供および操船提案 (リモートコンサルジュ) を通じ、船会社として船員の負荷軽減とさらなる安全・効率的な運航を目指す。

リモートコンサルジュについては、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) を段階的に変化させることを想定している。

今後、実証実験を通じて本システムの具体化を実施す

るとともに、船級協会の概念設計承認（AIP）の取得を目指す。

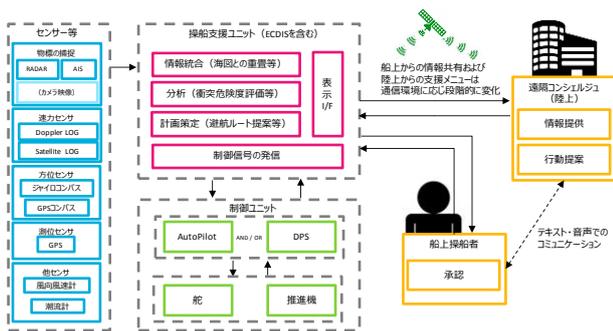


Fig. 3 Conceptual diagram of Action Planning System with Remote Concierge

#### 4. 結論

自動運航船の経済性評価を行い、有人自律操船という形態の経済優位性を示した。あわせて、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。

#### 謝 辞

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。

#### 参 考 文 献

- 1) 国土交通省ウェブページ（2018年9月13日閲覧）：  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07\\_hh\\_000109.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000109.html)
- 2) 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
- 3) BIMCO: The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships Version 2.0, 2017
- 4) SAE J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2016
- 5) American Bureau of Shipping: Guide for Dynamic Positioning System, 2014