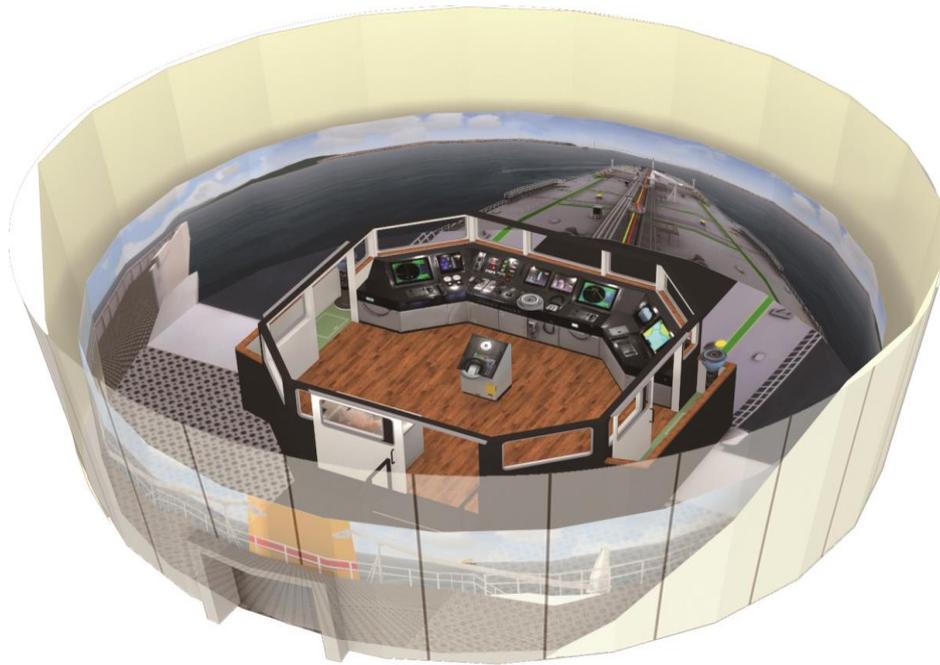


この冊子は、公益財団法人日本海事センターの補助を受け実施した調査研究を基に取りまとめたものです。

平成29年度

海難防止審議における操船影響把握のための操船シミュレーション手法の標準化に関する一方策



平成30年4月

公益社団法人 神戸海難防止研究会

はじめに

公益社団法人 神戸海難防止研究会は、公益財団法人 日本海事センターからの補助を受け、平成 27 年度から平成 29 年度の公益事業として、海難防止審議における操船シミュレーション手法に関する種々の調査研究を行った。

この冊子は、航行安全対策を検討する際に実施する操船シミュレータ実験において、留意する必要があると考えられる事項に関し、「海難防止審議における操船影響把握のための操船シミュレーション手法の標準化に関する一方策」としてとりまとめ、広く海事関係者等に周知し、活用していただくために作成し、巻末に過去 3 カ年の関連する調査研究報告書のデータを添付したものであり、ビジュアル操船シミュレータ実験のより一層の有効活用の一助となることを期待するものである。

平成 30 年 4 月

公益社団法人 神戸海難防止研究会

目 次

1	調査研究の目的.....	1
2	調査に至る背景.....	1
3	海防審議における操船シミュレーション手法を用いた評価方法標準化の検討.....	2
3.1	検討項目と検討手法の選択.....	2
3.1.1	案件ごとの検討項目と検討手法.....	2
3.1.2	操船シミュレーション手法の種類.....	13
3.2	操船シミュレータ実験における評価分析手法.....	15
3.2.1	評価の位置付け.....	15
3.2.2	評価分析手法.....	16
3.3	操船シミュレータ実験の実施計画・準備.....	18
3.3.1	操船計画把握の手順導入.....	18
3.3.2	実験操船者の選定.....	19
3.3.3	主観評価方法.....	19
3.3.4	質問票・評価票の準備.....	20
3.4	操船シミュレータ実験の実施.....	22
3.4.1	実験実施上の留意事項.....	22
3.4.2	評価に関する留意事項.....	22
3.5	操船シミュレータ実験結果の分析・評価方法.....	23
3.5.1	制御量・運動量分析におけるデータ処理の手順.....	23
3.5.2	操船結果の出力.....	24
3.5.3	操船計画と操船結果の比較.....	29
3.5.4	主観評価結果の処理.....	31
3.6	シミュレーション結果等の活用.....	34
3.6.1	課題の抽出と対策の検討.....	34
3.6.2	対策の検証.....	34

1 調査研究の目的

近年、海難防止審議における航行安全検証に取り入れられる機会が多くなっている操船シミュレーション手法の標準化を図り、海難防止対策検討の円滑、かつ、効果的な推進に資するため、平成 27 年度から平成 29 年度に、順次、次のようなことを目的として、多角的な検討を行った。

- ・ 平成 27 年度においては、海難防止対策における航行安全性の評価について、操船に及ぼす要因の評価項目を整理し、ビジュアル操船シミュレータを用いた操船状況ごとの影響評価項目を定量化することにより、危険要因を客観的に評価する手法を確立する。
- ・ 平成 28 年度においては、海難防止対策を検討するに当たり、操船シミュレーションを用いた検討案件に係る操船影響を定量化し、その度合いを評価する手法について研究する。
- ・ 平成 29 年度においては、これらの調査研究を踏まえ、操船シミュレーション手法における評価手法として実施されている操船者及び委員等評価者に対する質問票による主観評価における設問方法や分析方法等の検討を行い、これまでの研究成果と併せた総合的な操船影響評価手法の標準化を図る。

2 調査に至る背景

これまでの海難防止審議においては、各種のシミュレーション手法を用いることにより、船舶航行の安全性が検証され、その結果が対象案件の安全性を評価するために必要な判断の拠り所となってきた。

特に、ビジュアル操船シミュレータ実験においては、一定以上の技量を有する操船者が、与えられた船舶で模擬操船を行い、その結果から施設・環境条件を評価している。

しかし、ビジュアル操船シミュレータ実験による安全性評価は、操船者を含めた実験参加者による主観評価に偏りすぎる傾向があり、客観的データに基づく評価・検討が十分行われていないとの指摘があった。

今後は、ビジュアル操船シミュレータ実験において、実験参加者に対する主観評価手法の標準化を図るとともに、制御量・運動量分析手法で得られた客観的な評価手法と併せた総合的な評価手法を開発することにより、航行安全対策を検討するための操船シミュレータ実験結果を判断するために、より高い信頼性と公正性を担保することが必要であることから、海難防止審議における操船影響把握のための操船シミュレーション手法の標準化に関する調査研究を行うこととしたものである。

3 海防審議における操船シミュレーション手法を用いた評価方法標準化の一方策

平成 27 年度の「海難防止対策検討における操船シミュレーション手法の活用に関する調査研究報告書（平成 28 年 3 月）」、同 28 年度の「操船シミュレーション手法を用いた操船影響の把握に関する調査研究報告書（平成 29 年 3 月）」及び平成 29 年度の調査研究成果を踏まえ、海難防止対策検討審議における操船シミュレーション手法を用いた評価方法標準化について検討し、主に外力影響についての評価方法標準化の一方策を以下のように取りまとめた。

3.1 検討項目と検討手法の選択

3.1.1 案件ごとの検討項目と検討手法

表.1 は、過去の検討事例を参考に検討案件と検討項目の関係を示したものである。検討案件は①～⑩に分類することができ、各案件において検討すべき項目は(1)～(8)に整理できる。

表.2 は、過去の検討事例から、(1)～(8)の各検討項目に対して活用されるシミュレーション手法を整理したものであり、図.1～図.8 は、各検討項目の標準的な検討フローを示している。

これらの図表は、検討すべき案件が生じたときに、検討項目を整理するとともに活用できる検討（シミュレーション）手法を的確に選択するための参考とすることができる。

表.1 案件ごとの標準的な検討項目関係表

検討項目 検討案件・検討対象		(1) 水域施設検討 (航路・泊地計画評価)	(2) 航行援助施設評価	(3) 標準操船方法策定	(4) パス運用基準策定	(5) 航行管制基準検討	(6) 航行方式検討	(7) 地震・津波対策検討	(8) 工事中の安全対策検討	検討項目の分類
検討案件	① 港湾計画一部変更・改訂等	●		●						
	② 海上工事（浚渫等）		●				●		●	
	③ 海上空港等埋め立て		●				●		●	
	④ 海上橋梁計画		●	●					●	
	⑤ 新規設備の灯火影響調査		●							
	⑥ 受入れ船型大型化			●	●					
	⑦ 通航海域航行安全性検討		●				●			
	⑧ 夜間航行の安全性検討		●		●					
	⑨ 航行管制基準見直し					●				
	⑩ 航行方式見直し						●			
	⑪ 地震・津波対策							●		
検討対象	A 水域施設（航路・泊地）	●							●	1.施設に係る検討
	B 航行援助施設（ブイ等）		●							2.運用に係る検討
	C 航行・操船方法			●		●	●	●		
	D 自然条件（風潮流等）				●					

表.2 検討対象項目と活用すべき検討（シミュレーション）手法

検討項目	検討手法	待ち行列 (ネットワーク)	交通流	操船			係留動揺	検討内容
				数値操船	鳥瞰図式	ビジュアル 操船		
(1)水域施設検討 (航路・泊地計画評価)	—	△	○	△	◎	—	<ul style="list-style-type: none"> ・航路幅員、屈曲角の操船安全に及ぼす影響 ・航路からバースまでの距離と進入角度 ・必要な回頭水域の設定位置と規模 	
(2)航行援助施設評価	—	△	—	—	○	—	<ul style="list-style-type: none"> ・導灯等重視線の効果検討 ・ブイの灯質、設置間隔（位置）等の検討 	
(3)標準操船方法策定	—	—	—	◎	○	—	<ul style="list-style-type: none"> ・操船方法（針路、速力、タグ配置等）の標準化 	
(4)バース運用基準策定	—	—	○	△	◎	○ (◎)	<ul style="list-style-type: none"> ・入出港中止基準 ・タグボート配備条件 ・係留・荷役中止基準（危険物積載船の場合） 	
(5)航行管制基準検討	◎	○	—	—	△	—	<ul style="list-style-type: none"> ・管制（行き会い回避）の効果（安全寄与度） ・管制船・管制対象船の船型基準 ・管制信号の運用パターン 	
(6)航行方式検討	△	◎	—	—	△	—	<ul style="list-style-type: none"> ・航路・交通体系の検討 ・ブイ設置等による整流効果検証 	
(7)地震・津波対策検討	—	△	○	◎	△	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・津波来襲時の係留退避の可否 ・緊急離棧操船方法の検討 ・避難経路の検討 	
(8)工事中の安全対策検討	—	△	—	—	△	—	<ul style="list-style-type: none"> ・工事区域の範囲設定、表示方法、警戒船配備 ・工船用船舶の航行経路 ・工事作業の中止基準 	

◎◎ 実施する必要性が高い検討手法（◎は主要な検討手法） △ 必要に応じて実施する検討手法 — 実施の必要性が低い検討手法

出典：海難防止対策検討における操船シミュレーション手法の活用に関する調査研究報告書、平成 28 年 3 月、公益社団法人神戸海難防止研究会

(1) 水域施設検討（航路・泊地計画評価）

港湾計画の改訂や一部変更等により、航路・泊地等の水域施設計画に変更が生じる場合は、検討対象となる船舶の操縦性能面から、水域施設の規模（航路幅員、泊地の大きさ、確保すべき水深等）について検証する必要がある。

航路幅員や泊地の大きさが検証対象となることから、主として「操船シミュレーション手法」を活用し、当該海域における外力特性、対象船舶の種類や大きさ、操縦性能より、水域施設（航路・泊地計画）の妥当性を評価する。また、他船交通に及ぼす影響が大きいと想定される施設計画の場合は、船舶交通流の面から検証するため、「海上交通流シミュレーション手法」による検討を必要に応じて実施する。

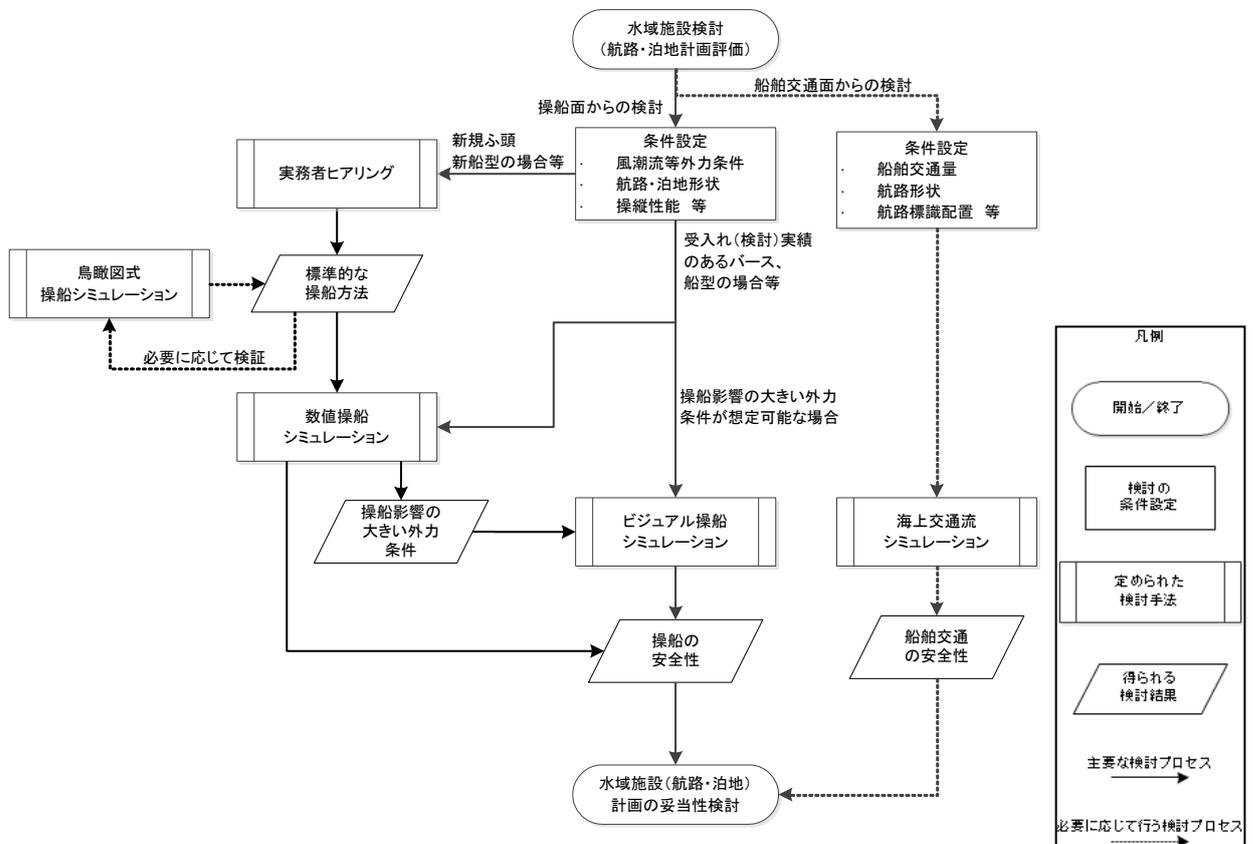


図.1 標準的な検討フロー（水域施設検討（航路・泊地計画評価））

(2) 航行援助施設評価

航路標識の設置位置・間隔、灯火（同期）のあり方やリーディングライトの効果、ヴァーチャルブイの設置効果等については、「ビジュアル操船シミュレーション」によって操船者視点からより効果的な方策について検討する。

また、ブイの設置等による交通整流化の効果については、「海上交通流シミュレーション手法」による検証を必要に応じて実施する。

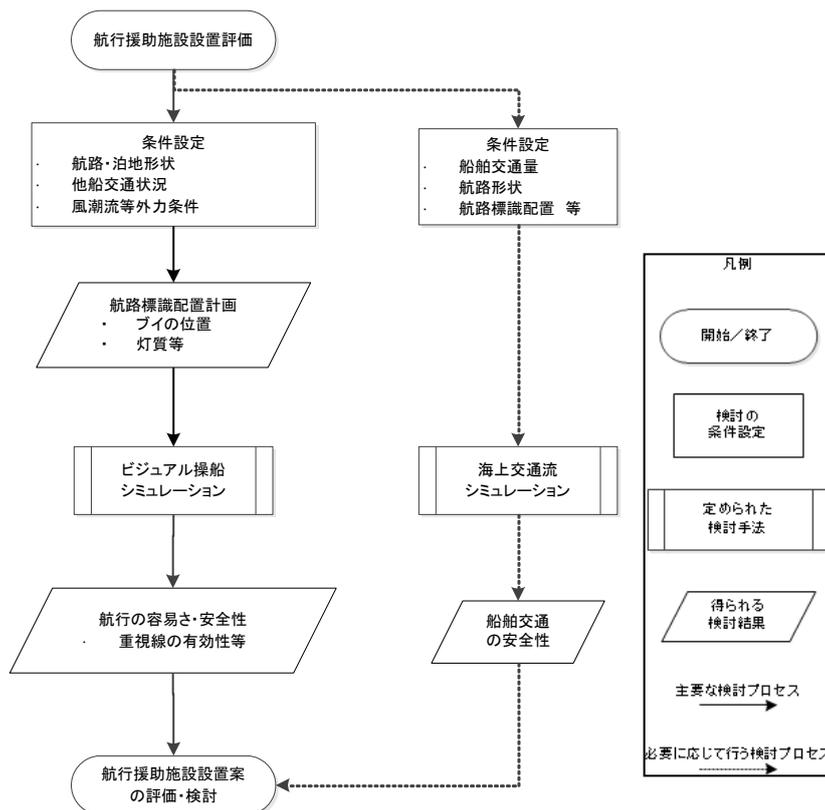


図.2 標準的な検討フロー（航行援助施設評価）

(3) 標準操船方法策定

新規ふ頭・バース計画について、新たに船舶を受け入れる計画をする際など、航路・泊地等の配置条件、当該海域の気象海象条件、対象船舶の操縦性能条件等を加味した標準的な入出港操船方法を定めておくため、「鳥瞰図式操船シミュレーション」で針路・速力の設定やタグボート配備条件等について検討する。

また、入港実績のない新たな船種や船型などは、必要に応じて操船者視点から検証を行うため、「ビジュアル操船シミュレーション」等を実施する。

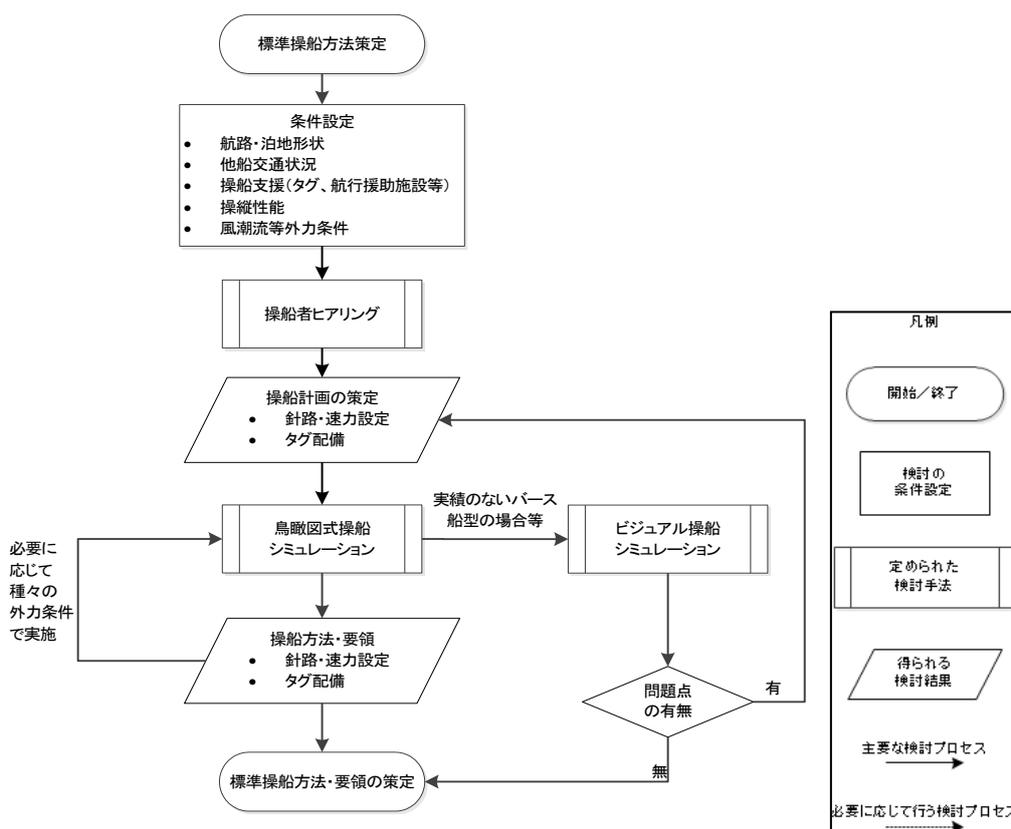


図.3 標準的な検討フロー（標準操船方法策定）

(4) バース運用基準策定

大型危険物積載船の受入れ施設等では、入出港中止基準やタグボート配備基準（配備隻数・能力等）について検討するため、「操船シミュレーション手法」に基づき検討を行う。必要に応じて「鳥瞰図式操船シミュレーション」により標準的な操船方法の検討を行う。また、「数値操船シミュレーション」によって事前に問題となる外力条件を絞り込んだうえで「ビジュアル操船シミュレーション」によって操船者視点で総合的な検証を行う。

一方、係留・荷役中の安全性についても、大型危険物積載船の場合は、外力による係留中の船体動揺量が荷役作業の安全性に影響するので「係留動揺シミュレーション」によって安全な係留・荷役の限界条件を検討する。

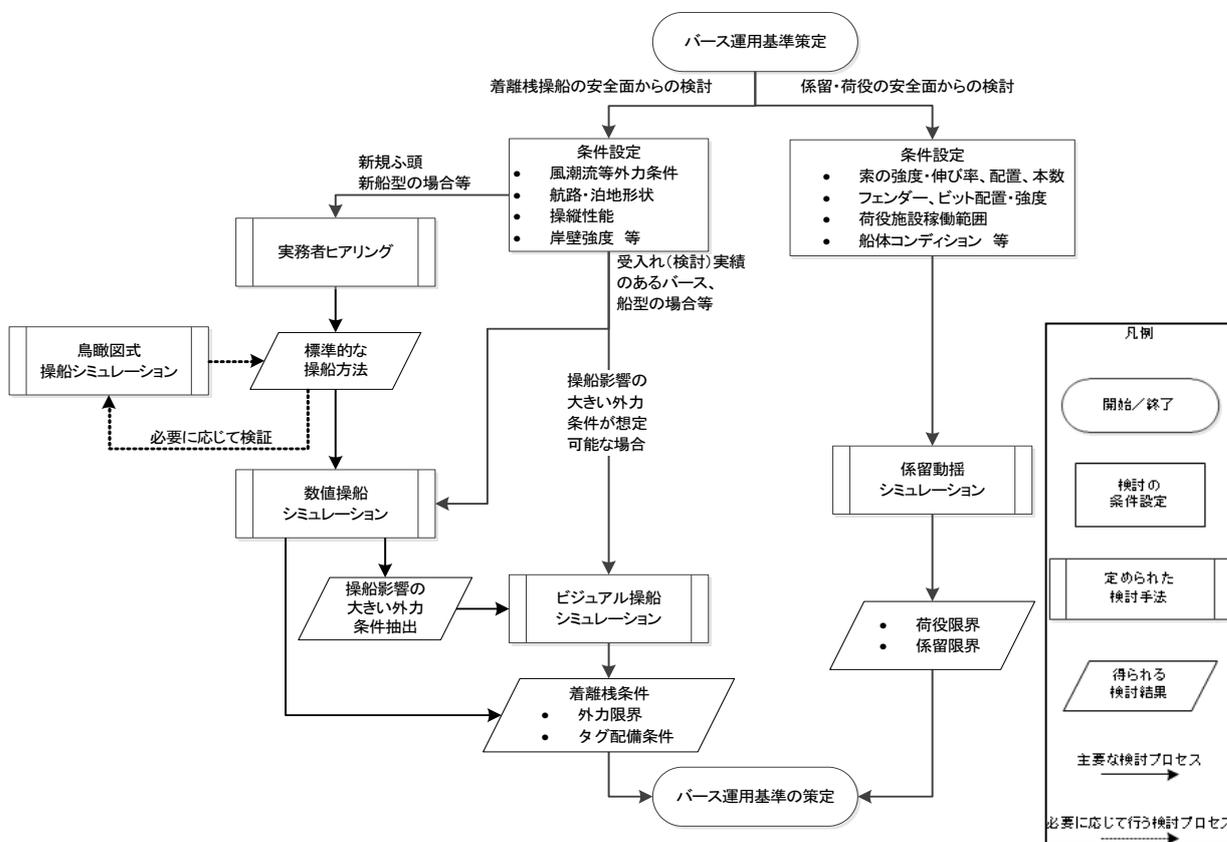


図 3.1.4 標準的な検討フロー（バース運用基準策定）

(5) 航行管制基準検討

航行管制が行われている航路において、船型の大型化や交通量の増加などの交通環境の変化や航路整備による航路幅員の拡大等の施設環境に変化が生じ、航行管制の運用基準（管制船、管制対象船の大きさ基準や信号運用方式等）に改良が求められる場合においては、「待ち行列シミュレーション」による船舶交通の円滑な流れへの影響評価を行うとともに、「海上交通流シミュレーション」による航路内での反航船同士の行き会いや航路出入り口付近での船舶同士の出会い状況等について、海上交通安全面からみた評価を行う。

また、必要に応じて「ビジュアル操船シミュレーション」を実施し、航路内での船舶同士の行き会い時の危険感の評価を行い、望ましい管制方式のあり方や管制船基準等について検討する。

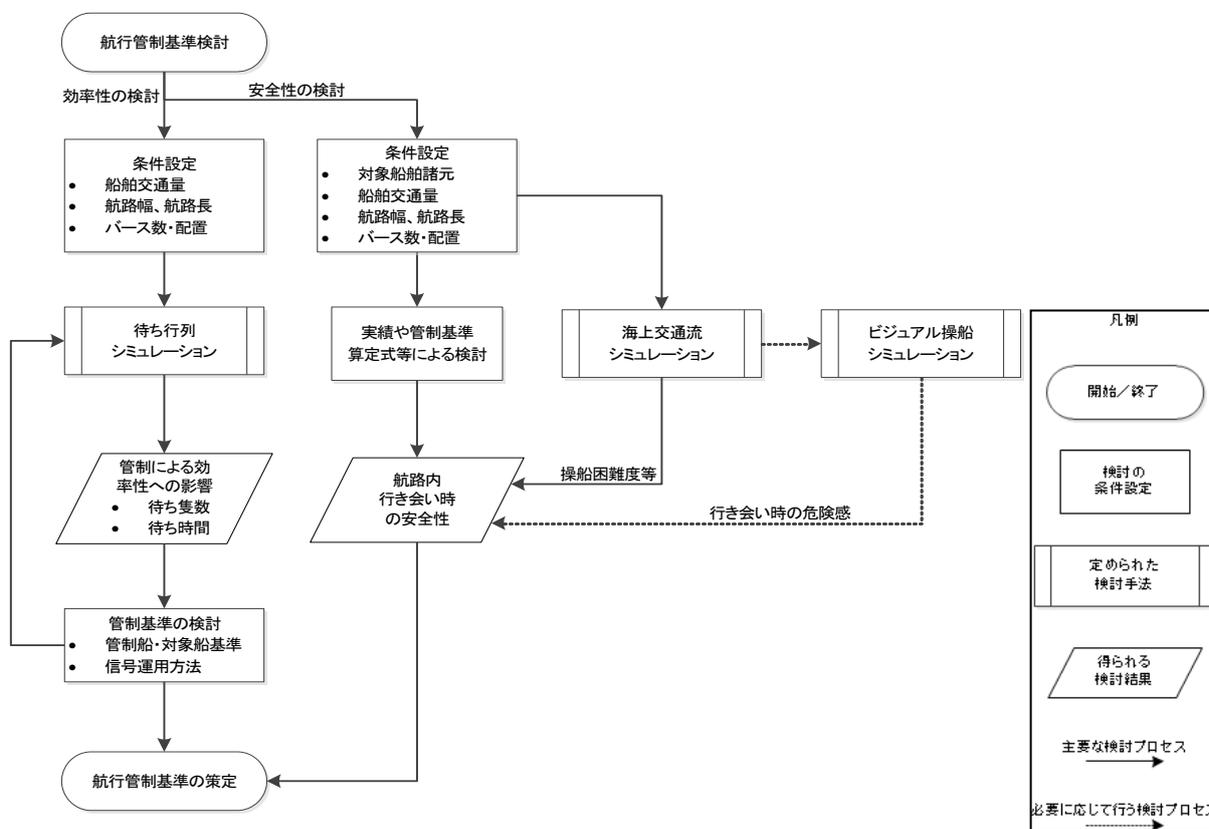


図.5 標準的な検討フロー（航行管制基準検討）

(6) 航行方式検討

船舶交通が輻輳する海域において、新たな航路の設定や標識によって交通体系を構築する場合は、対象となる海域の船舶交通量等の諸条件を基に「海上交通流シミュレーション」を実施し、船舶同士の出会い頻度等を解析し、衝突の危険性を評価する。

また、必要に応じて「待ち行列シミュレーション」による海上交通流の効率性の評価、「ビジュアル操船シミュレーション」による操船者視点での問題点の有無について検討する。

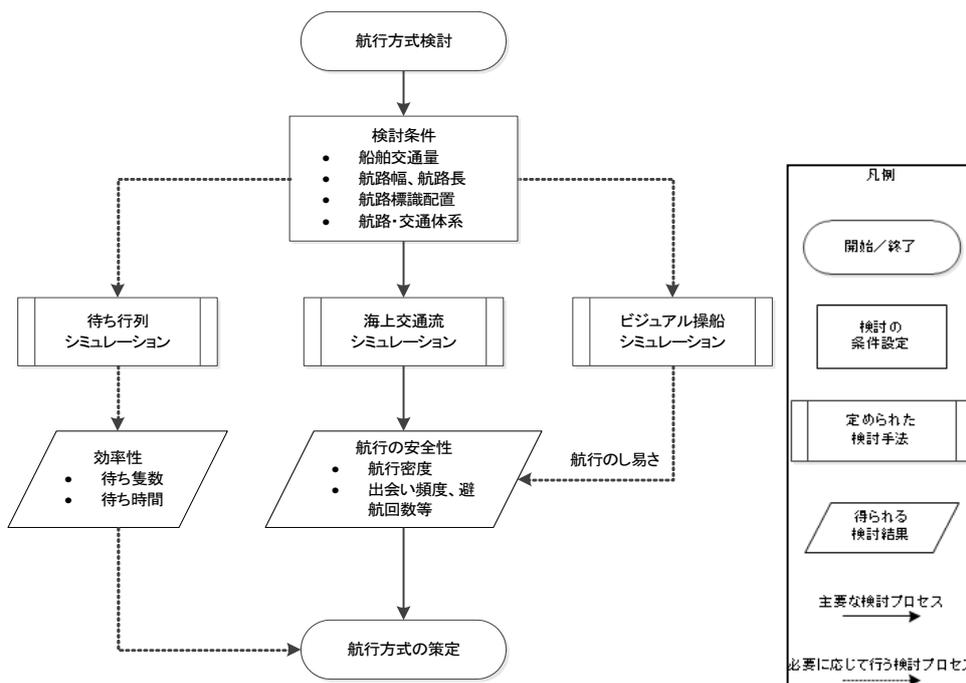


図.6 標準的な検査フロー（航行方式検討）

(7) 地震・津波対策検討

地震・津波発生時の安全対策として、特定の船舶とバースについては、「鳥瞰図式シミュレーション」による緊急離棧操船方法の検討や「数値操船シミュレーション」による離棧可能限界の把握を行う。必要に応じて「ビジュアル操船シミュレーション」により人間を介在させた検証を行い、港口に一度に多くの避難船舶が航行するような場合にあっては、必要に応じて「海上交通流シミュレーション」を実施し、避難する順序等について検討する。

また、津波来襲時において、離岸して港外に避難するか、バースにそのまま係留強化するかの判断基準を得るため、津波時を想定した「係留動揺シミュレーション」を実施して限界を把握する。

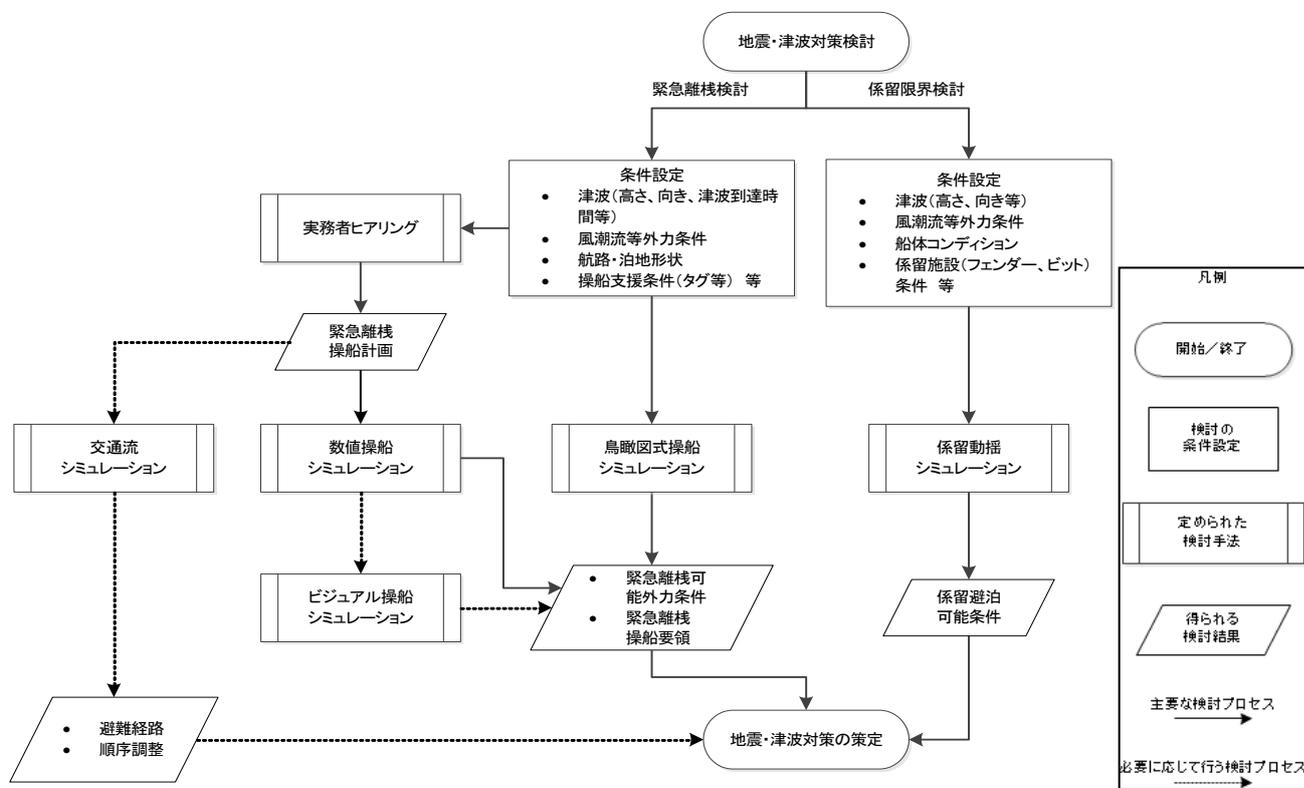


図.7 標準的な検討フロー（地震・津波対策検討）

(8) 工事中の安全対策検討

船舶交通が輻輳する海域において、航路・泊地整備（浚渫工事）やふ頭造成等埋め立て工事、あるいは、海上架橋工事等が行われる場合、船舶交通の安全性に及ぼす影響を検証するため、海上交通実態調査及び解析等を行い、必要に応じて「海上交通流シミュレーション」を実施する。

また、工事作業に必要な区域と一般船舶の可航水域の関係について図上で検討し、必要に応じて「ビジュアル操船シミュレーション」を活用して工事作業区域の明示方法や確保すべき可航幅について検討する。

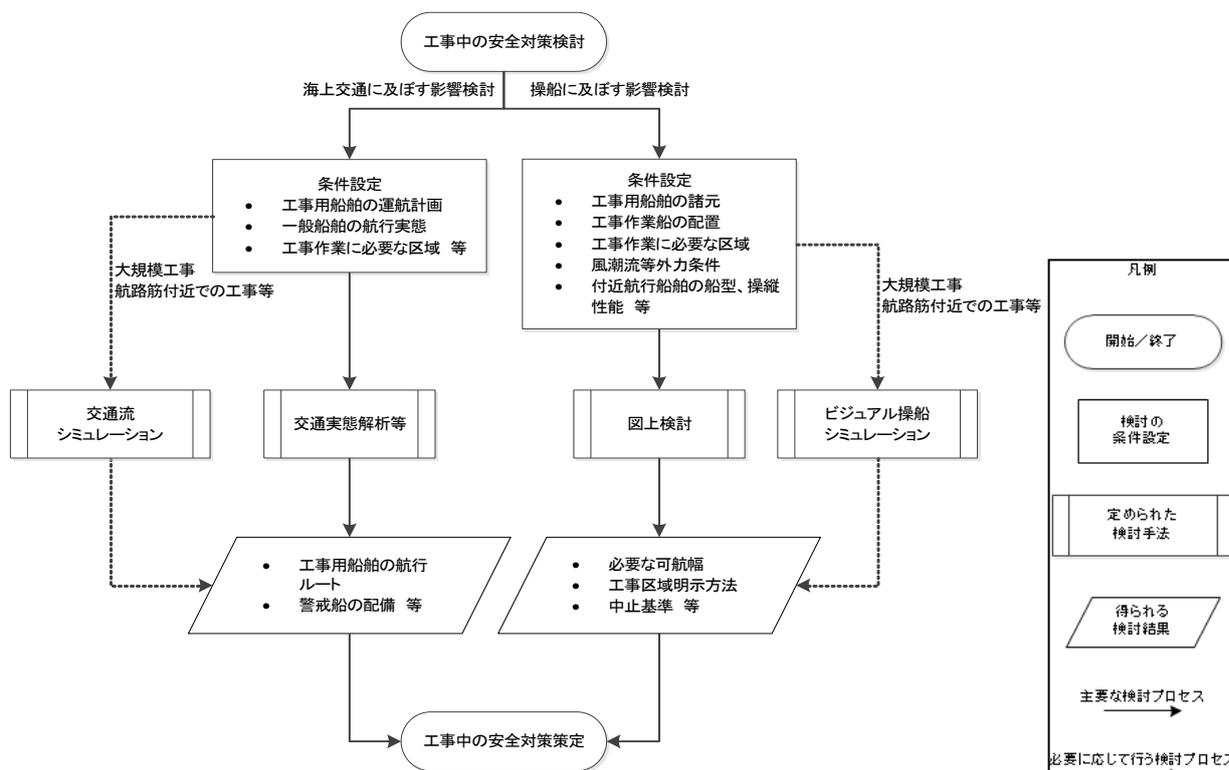


図.8 標準的な検討フロー（工事中の安全対策検討）

3.1.2 操船シミュレーション手法の種類

操船シミュレーション手法は、港湾計画に伴う航行安全対策策定等による「水域施設検討（航路・泊地計画評価）」や船型大型化による航行安全対策検討等による「バース運用基準策定」などの検討に操船シミュレーション手法が用いられる。

表.3 は、操船シミュレーションの種類を示したものである。

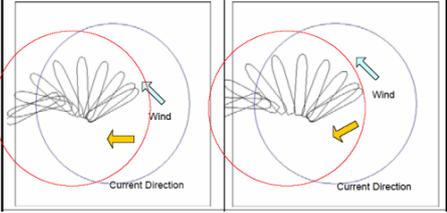
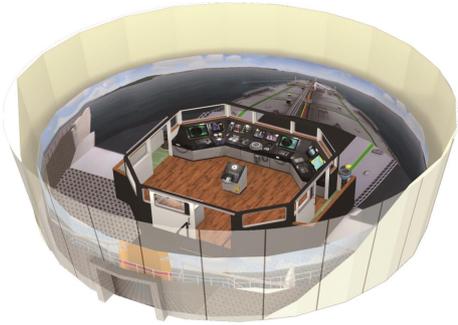
数値操船シミュレーションとは、一連の入出港操船を、保針・変針・減速（アプローチ等）／着離岸／回頭などの場面ごとに分け、あらかじめ設定した制御方法に基づいて、種々の外力条件下で船体運動計算を自動的・連続的に行うものである。リアルタイムで実施するビジュアル操船シミュレーション（RTS）では、実施できるケース数に限りがあるため、数値操船シミュレーションを予備的に実施してから検討すべき外力条件を効率的に絞り込む目的で用いられることが多い。しかし、自動制御によってコンピュータが自動操船するため、基本的な操船方法を決定した後で外力をパラメトリックに変化させることで外力影響を定量的に評価するのに有効であるが、操船者の経験に基づく予測行動や技量のばらつきといったヒューマンファクターは考慮されない。

鳥瞰図式操船シミュレーションとは、簡易型のシミュレータ装置によるリアルタイムで行う操船シミュレーションの一種である。船橋視野ではなくデスクトップ PC 画面上に鳥瞰図で船体運動の様子を表すことから、実際の操船場面のような高い臨場感は表現できないが、操船方法の標準化検討に活用できる。後述のビジュアル操船シミュレーションに比べると臨場感が乏しく、操船者が感じる不安感といった心理的な影響の評価を行うのが難しい。

ビジュアル操船シミュレーションとは、実船の船橋を模した室内において、主機、舵、タグボート等の操作を行うと、船体の動きに伴って刻々変化する周辺の景観映像を 3 次元コンピュータグラフィックスでリアルタイムに前面円筒形スクリーン上に投影され、実船さながらの操船状況を作り出すことのできる装置で行う操船シミュレーションである。操船者が実際に模擬操船を行うことにより、操船者への心理的影響を加味した評価が可能であり、より現実に近い操船状況を作り出すことによって問題点の最終確認、他船交通の影響やコミュニケーション環境を含めた総合的な検討が行える。ただし、リアルタイムでシミュレーション実施するため、実施できるケースには限りがある。

操船シミュレーション実施にあたっては、検討の目的に応じて適切な種類の操船シミュレーションを選択する。

表.3 操船シミュレーションの種類

分類	特徴	外観
<p>数値操船 シミュレーション</p>	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ操船（制御）方法を設定 デスクトップ PC で自動計算 一度に多数ケース実施可能 操船を局面ごとに単純化（モデル化）して実施 外力影響に着目した操船限界の目安を求めるのに適する 	
<p>鳥瞰図式操船 シミュレーション</p>	<ul style="list-style-type: none"> 人間（操船者）がリアルタイムで操船（制御） デスクトップ PC 上に操船の様子を鳥瞰図（平面図）でリアルタイム表示 標準的な入出港操船方法の検討に適する 	
<p>ビジュアル操船 シミュレーション</p>	<ul style="list-style-type: none"> 人間（操船者）がリアルタイムで操船（制御） 船橋からの視界を複数配置した大型モニターや円筒形スクリーンにリアルタイム表示 昼夜間、視界制限状態等を再現可能 レーダ、ECDIS、レピータコンパス、操舵スタンド等、実船の船橋を模した室内で実施（フルミッションの場合） 操船者の心理的影響（ヒューマンファクター）を考慮した総合的な安全検証に適する 	

3.2 操船シミュレータ実験における評価分析手法

3.2.1 評価の位置付け

図.1 は、安全かつ効率的な操船プロセスを確立するための主たる項目として、操船者、船、環境、管理（ひと、もの、まわり、きまり又はしくみ）の4つがあげられるが、それらの項目間の相互関係を示したものである。

海難防止対策検討における操船シミュレーション等による評価分析は、「操船者」及び「船」を与条件としたときの「環境」条件が安全に支障ないか、及び安全基準に適合させるためにはどのような対策（「管理」）が必要かを検討するためのものである。

「ひと」である操船者には、一定水準以上の技量が要求されるが、客観的な技術水準（一定の知識・技能を評価された海技に関する免許等の受有）に加え、操船者の操船意思決定プロセスにおける心理的影響を考慮する必要がある。この心理的影響は、操船者が操船目標を達成するための行動を判断するに際して、操船者を取り巻くあらゆる周辺環境における意思決定の心理的阻害因子を考慮しなければならない。「もの」である船の施設・設備関係では、船舶の操縦性能や船体等についての直接的な外乱としての操船影響項目の検討が必要である。言い換えれば、これは、船舶の性能等において操船目標の達成を阻害する項目をいかに適切に制御するかを検討することである。「まわり」である環境では、種々の環境条件が操船者に対しどのような心理的影響や物理的影響を与えるかを評価する操船シミュレーション手法の活用を検討することが必要となる。最後に、これらの操船システムや操船影響項目は、相互に関連し、それぞれに連鎖して操船目標達成に影響していることから、「きまり」として総合的にマネジメントする必要がある。

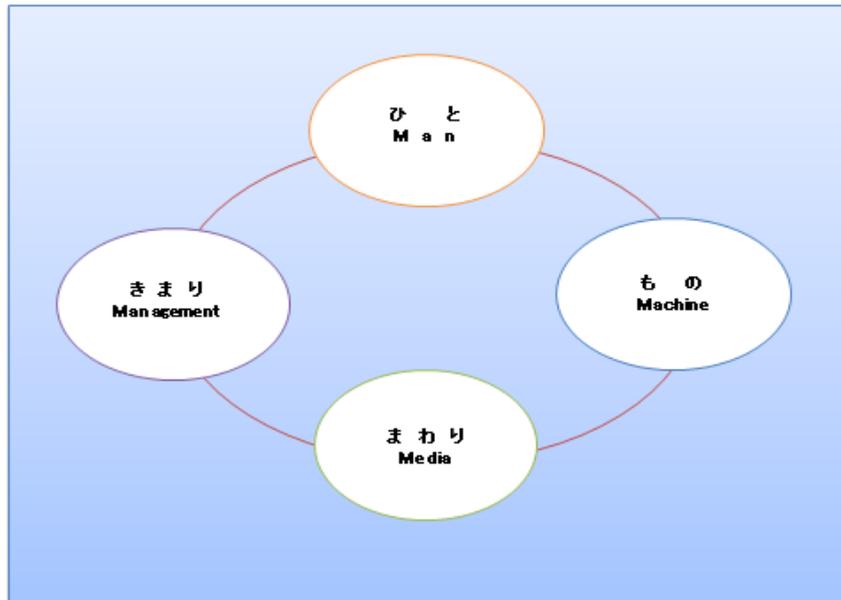


図.1 【操船者－船－環境－管理】で構成される操船の相互連環システム

3.2.2 評価分析手法

海難防止対策検討において実施される操船シミュレータ実験では、主として「主観評価」と「制御量・運動状態量分析」によって結果を分析・評価する。

(1) 主観評価

操船シミュレータ実験を行う場合、実験操船者が行った模擬操船を複数の「評価者」が観察し、対象船舶の大きさや操縦性能、風潮流等外力条件や航路幅員・水深等水域条件に応じて操船の難易度を事前に用意した尺度に当てはめて「評定」し、その条件下での操船を受け入れるかどうかを判断する。

主観評価は、単に航行環境の良し悪しを測るだけでなく、航行条件の問題点（潜在リスク）を抽出し、リスク軽減に効果的な対策を検討するために実施する。

(2) 制御量・運動量分析

操船シミュレータ実験での模擬操船結果について、表.1 に示すとおり、操船局面ごとに評価項目を設定し、数値を出力することにより、操船局面ごとに操船影響を定量評価する。

表.1 操船シミュレーションにおける影響評価項目

検証対象 操船局面	操船目標	主な 制御手段	影響要因	評価の着目点	具体的な評価項目
(1)保針	目標のコース（水域）から逸れないよう保針する。	<ul style="list-style-type: none"> 舵 主機関 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（形状、幅、水深） 他船交通 	<ul style="list-style-type: none"> 所要の操船水域で支障はないか 制御余裕をもって保針できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目標コースからの横偏位量 2. 他船との離隔距離 3. 保針のための当て舵角量（平均／最大） 4. ドリフトアングル
(2)変針	目標のコース（水域）から逸れないよう変針する。	<ul style="list-style-type: none"> 舵 主機関 タグボート 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（形状、幅、水深） 他船交通 	<ul style="list-style-type: none"> 所要の操船水域で支障はないか 制御余裕をもって変針できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目標コースからの横偏位量 2. 他船との離隔距離 3. 変針舵角量（平均／最大） 4. 回頭角速度（平均／最大）
(3)減速・アプローチ	目標のコース（水域）から逸れないよう、バース前面で行脚を制御する。	<ul style="list-style-type: none"> 主機関 タグボート 舵 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（バースまでの距離等） 	<ul style="list-style-type: none"> 所要の操船水域で支障はないか 制御余裕をもって停止できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主機の使用量／使用率 2. 主機の使用頻度（回数） 3. タグボートの使用量／率 4. 目標コースからの横偏位量
(4)着岸	姿勢を保ちつつ、安全な横移動速力を維持して制御する。	<ul style="list-style-type: none"> タグボート スラスト 主機関 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（バース水深・延長） 係留施設強度 	<ul style="list-style-type: none"> 安全な速度で接岸できたか 制御余裕をもって着岸できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 残存距離と接岸速度（船首尾の接岸速度差） 2. 接岸角度 3. タグボートの使用量／率 4. スラストの使用量／率 5. 主機使用頻度（回数） 6. 接岸に要した時間
(5)離岸	姿勢を保ちつつ、十分な横移動速力を得て制御する。	<ul style="list-style-type: none"> タグボート スラスト 主機関 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（バース水深・延長） 係留施設強度 	<ul style="list-style-type: none"> 速やかに離岸できたか 制御余裕をもって離岸できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. （一定距離）離岸に要した時間と横移動速度 2. タグボートの使用量／率 3. スラストの使用量／率 4. 主機使用頻度（回数）
(6)回頭	所定の位置（水域）から逸れないよう、その場回頭する。	<ul style="list-style-type: none"> タグボート スラスト 主機関 舵 	<ul style="list-style-type: none"> 風潮流等外力 水域（広さ、水深、位置） 	<ul style="list-style-type: none"> 所要の操船水域で支障はないか 制御余裕をもって回頭できたか 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 必要回頭水域広さ（円の直径、重心軌跡） 2. 回頭に要した時間 3. 主機使用頻度（回数） 4. タグボートの使用量／率 5. スラストの使用量／率

使用量＝使用推力×使用時間、使用率＝100×使用量／（最大推力×評価対象時間）

3.3 操船シミュレータ実験の実施計画・準備

3.3.1 操船計画把握の手順導入

操船シミュレータ実験実施において、事前に操船者の操船計画を把握する手順を導入した実験実施フローを図.1 に示す。

操船シミュレータ実験に複数の学識者及び操船実務者が評価者として参加する場合、実験操船者の操船計画・操船意図を把握しておくことが評価の精度において重要な要因となることから、従来の検討の流れに操船計画を事前把握するための手順を加える。

操船計画は実際の操船結果と比較することにより、外力による制御量、船体運動状態量への影響を把握することができる。

操船計画の適切な立案が操船結果あるいは操船結果の分析・評価に大きく影響することから、操船者に対しては、本船の基本要目、操縦性能、コンディションなどの本船情報のほか、水深や航進目標の有無等、海域の環境条件について正確な情報を提示しなければならない。

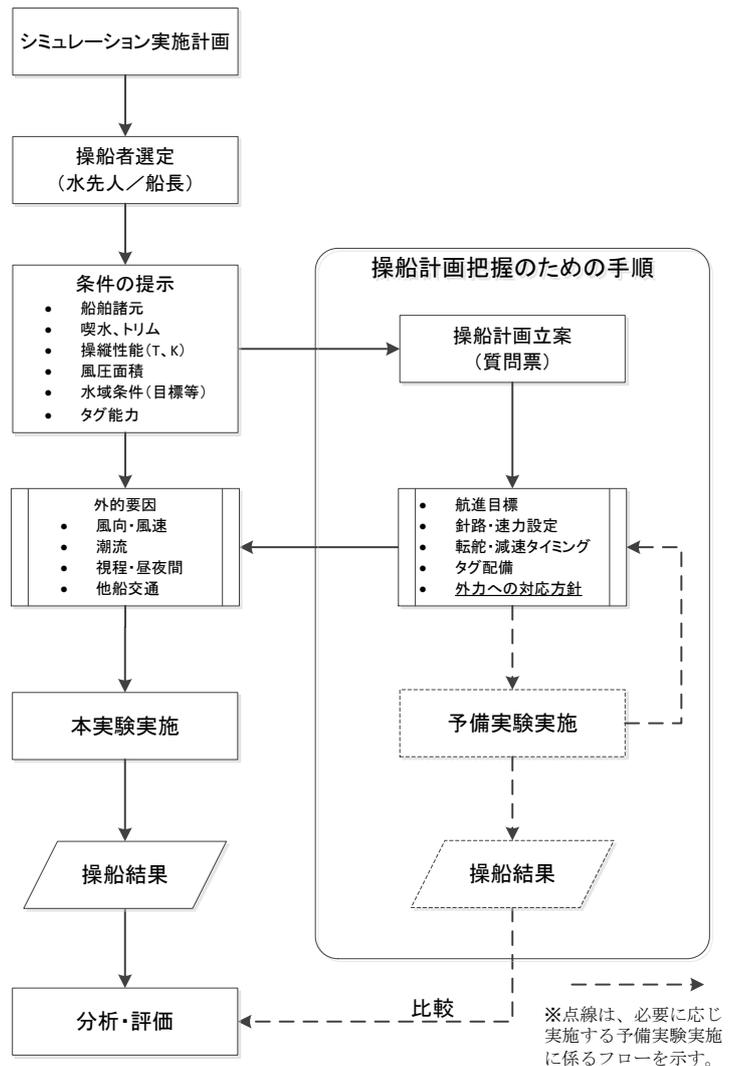


図.1 操船シミュレータ実験実施の流れ

3.3.2 実験操船者の選定

操船シミュレータ実験における実験操船者は、検討対象海域において検討対象船舶を実際に運航する操船当事者（水先人、船長）が実施する。

操船当事者を実験操船者として操船シミュレータ実験に召集できない場合は、当該対象海域での船舶運航実務経験を有する操船者あるいは当該対象船舶と同等の大きさ、性能の船舶を運航したことのある実務経験者に実施を依頼する。

実験操船者が1名の場合は実験を繰り返し実施することによる順応や疲労を防ぐため適当な間隔をおいて実施するか、結果の整合性を保つため一定の技量を有することが期待できる均質的な2～3名程度の実験操船者で実施する。

3.3.3 主観評価方法

(1) 評価者に求められる能力

主観評価を実施する評価者には一定の「評価能力」が求められる。

具体的には、

- ① 対象船舶の操船について十分な知識・経験を有し、実験操船者の意図が理解できること
- ② 航行安全検討に関する十分な知識・経験を有し、客観的な立場で実験結果の分析・評価が行えること

が必要である。

(2) 評価者の属性分類

操船シミュレータ実験では、実験操船者自身が評価者となる。

実験操船者以外にも対象船舶と類似した船舶の運航を経験したことのある船長等の操船実務経験者も評価者となり、長年にわたって航行安全に関する調査研究し、航行安全の分析・評価について知見を有した学識経験者も評価者となる。また、関係行政機関職員についても船舶運航実務経験を有する者については評価者に加えられる。

評価者は、「実験操船者」と「操船実務者」及び「学識経験者」に分類でき、これら各評価者グループの評価が分類できるよう、評価者の属性を区別する必要がある。

(3) 評価者数

評価者はいずれも船舶航行の安全性評価を学術的視点で分析した経験を有する学識者や操船実務経験者であり、分析能力を有する専門家と見なされる。操船困難度に関する主観評価は官能評価の「分析形官能評価」に類するものであり、そのため、評価者集団は少人数の均質集団として、評価者間の評価値の変動（評価のばらつき）は少ないものと想定される。

しかし、操船実務経験者は所属していた船舶運航会社によって大型船を運航してきた

もの、客船やフェリーを操船してきたものなどキャリアの違いなどが評価において想定外のばらつきを生じさせる可能性がある。

評価者数は評価精度と関係するため、できる限り多人数で実施することが望ましい。

そこで、海防審議における操船シミュレータ実験では、一般的に10名前後の評価者で主観評価が実施される。

3.3.4 質問票・評価票の準備

(1) 実験操船者への質問票

実験操船者に対して対象船舶の主要目やコンディション（喫水、貨物積載状態）、操縦性能（操縦性指数、旋回性能、停止性能等）などの船舶条件及び航路・泊地幅員や水深等の航行環境条件を提示する。

実験操船者は、提示された検討条件を踏まえて操船計画を立案し、評価者は、事前に実験操船者の操船計画・操船意図を十分理解したうえで主観評価を行う。

表.1 は、実験操船者に示す質問項目であり、実験操船者はその質問票にしたがって各操船局面で針路・速力の設定や舵・主機関、スラスト、タグボート等操船手段の使用法・使用範囲（使用量）等について具体的な設定をする。

表.1 質問票で設定する質問項目（例）

操船局面	質問項目	
保 針	目標針路の設定 目標設定速力 ドリフト角の範囲	横偏位量の許容範囲 保針舵角の目安
変 針	変針後の新針路 変針舵角の目安	横偏位量の許容範囲 回頭角速度の目安
減速・アプローチ	主機関の使用法 速力低減の目安	停止位置の目安
着 岸	着岸速度の目安 主機関の使用法 タグボートの使用法	接岸角度の許容範囲 スラストの使用法
離 岸	離岸時間の目安 スラストの使用法	主機関の使用法 タグボートの使用法
回 頭	回頭位置・範囲 主機関の使用法 タグボートの使用法	回頭時間の目安 スラストの使用法

(2) 評価者への主観評価票

① 評価票の準備

航行安全性や操船困難性を評価する場合は、評価者が記入するための「評価票」をあらかじめ作成しておき、実験時に評価者に配布する。

外力影響は、条件や操船局面ごとに異なることから、操船困難度に関する主観評価の設問は、実施ケースごと操船局面ごとに設定する。

② 評価尺度の設定

新規ふ頭計画においてバース運用基準を新たに策定する場合など、複数の外力条件をパラメータとして操船限界を検討する実験シナリオでは、評価尺度を単極尺度 5 段階として以下のとおり設定する方法が考えられる。

■操船困難度に関する評価尺度設定（例）

- 1 困難を感じない
- 2 わずかに困難
- 3 やや困難
- 4 かなり困難
- 5 非常に困難

一方、既設ふ頭において船型が大型化され、現行運用基準で問題ないかを検討する場合など、外力条件を現行運用基準上限値の 1 パターンで実施する実験シナリオにおいては、評価尺度を 3 段階と少なくし、具体的に評価のポイントとなる外力影響と制御の関係について問うため、以下のような設問を設定する方法も考えられる。

■外力影響と制御に関する評価尺度設定（例）

- 1 外力影響が大きく制御が難しいと感じた
- 2 外力影響はあるが制御できていると感じた
- 3 外力影響はあまり感じられなかった

評価尺度の数は多い方が評価は難しく 3 段階もしくは 5 段階とするのが一般的であり、実験の目的、実験シナリオの難易度、設定ケース数に応じて個別に判断する。

③ 評価者のコメントの収集

評価結果を分析し必要な対策を検討するため、主観評価においては、評価点とともにそれを選択した理由、許容できる理由や許容できるように必要な具体的な対策、あるいは余裕と感じた理由や操船困難と感じなかった理由など、評価者にコメントを求める。

3.4 操船シミュレータ実験の実施

3.4.1 実験実施上の留意事項

(1) 実験実施順序

操船シミュレータ実験によってバース運用基準等の検討を行う場合は、外力影響の差を把握しやすくするため、通常は事前に外力条件を提示したうえで、操船影響の少ない外力条件から操船影響の大きい外力条件の順序で実施することが多い。

一方、実験操船者や評価者は、直前に実施した実験結果の影響を受けることから、先入観や順序効果、学習効果の影響を排除する必要がある場合は、実験操船者や評価者に外力条件を提示せずに実験を開始したり、実験ケースの実施順序をランダムにしたりするなどの配慮が必要となることもある。

(2) 操船シミュレータ装置に対する実験操船者の慣熟

操船シミュレータ装置は再現性に限界があり、特に、スクリーンに映像を投影しているために距離間がつかみにくいなどの課題がある。

実験操船者は、操船シミュレータ実験に先立ち、学習効果等によって本実験に影響を及ぼさない範囲で慣熟用の予備実験を行って、事前に装置の取り扱いに慣れておくことが望ましい。

(3) 前提条件の共通認識と予断の排除

実験操船者及び評価者は、対象船舶の操縦性能、操船機能についての基本事項については、事前に十分確認し、共通認識を持つておく必要がある。

一方、風の影響による船の応答を操船者が把握し、対処できるかどうか等重要となる実験シナリオでは、外力条件を操船者に事前に提示せずに実験を行う方が適切な場合もある。

3.4.2 評価に関する留意事項

(1) 操船計画の共有

操船者が事前にどのような操船計画を立案しているのかを十分把握したうえで評価する必要があることから、評価者に対しては、操船計画の概要を事前に配布して操船シミュレータ実験に臨む必要がある。

(2) 評価値記入漏れの防止

主観評価結果の一貫性を確保するためには、各ケースで評価者及び評価回答数は同一とすることが望ましく、評価者に対して記入漏れが生じないよう事前に注意喚起をし、誤記入や記入漏れの発生しにくい評価票を作成するための工夫が必要である。

(3) 操船者所見の確認

行われた操船結果が操船者の想定範囲内であったのかどうか、操船者自身の所見も踏まえて結果を評価することが肝要である。

また、主観評価の実施にあたって、操船結果の映像を再生して様々な角度から状況を確認し、操船意図や操船上のポイントを検証するのも有効と考えられる。

3.5 操船シミュレータ実験結果の分析・評価方法

3.5.1 制御量・運動量分析におけるデータ処理の手順

操船シミュレータ実験結果において制御量・運動量分析を行うにあたっては、“1次解析”として、操船者が立案した操船計画とともに操船結果として航跡図や操船操作・運動状態量、タグボート使用状況図等基本出図を作成する（図.1参照）。

“2次解析”では、各ケースで比較すべき要素（地形条件や外力条件による舵角などの操作量等）を抽出し、条件と結果の関係を分析し、操船計画と操船結果を各操船局面で比較した評価を行う。

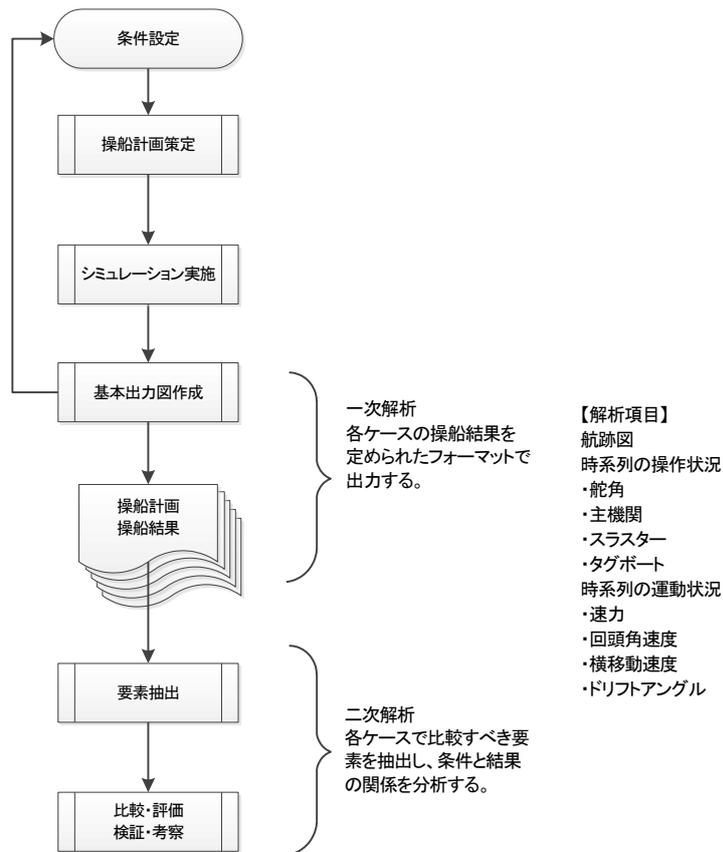


図.1 制御量・運動量分析の手順（イメージ）

3.5.2 操船結果の出力

操船シミュレータ実験結果の出力にあたっては、必要に応じて実際に行われた操船結果に操船計画を重畳表示する（図.2、図.3 参照）。

保針、変針及び減速・アプローチ操船は主として舵と主機関によって船体が制御され、回頭・着離岸操船局面では主機関とサイド・スラスト及びタグボートが主な操船手段となる。

操船局面によって制御の方法と着目すべき船体運動要素が異なることから、各操船局面において、図.4～図.9 に示すように、必要に応じて、制御（入力）と運動（出力）の関係が把握しやすい出力方法とする。

※赤字は操船計画を示す。

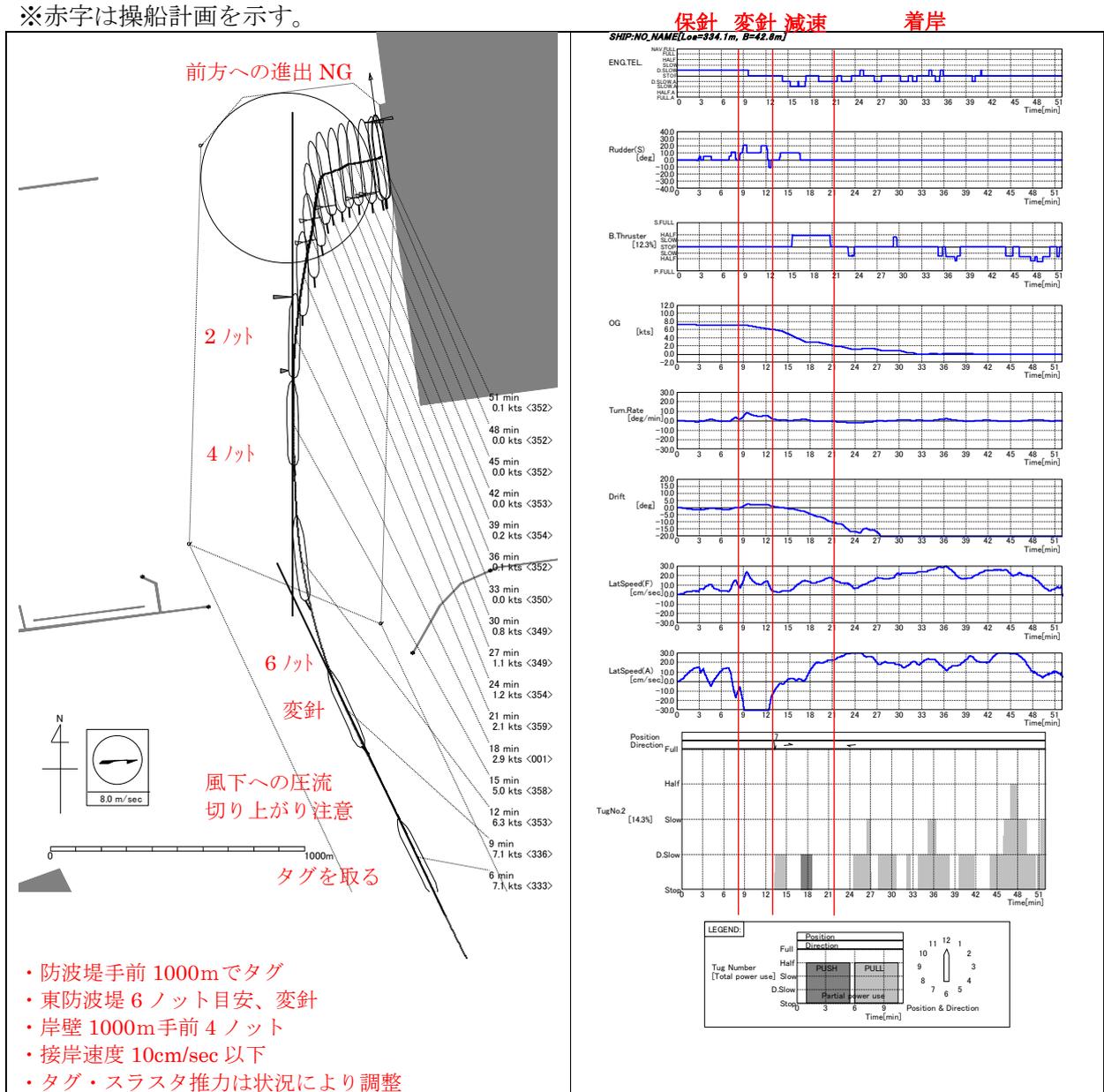


図.2 入港操船計画と実際の操船結果の出力（例）

※赤字は操船計画を示す。

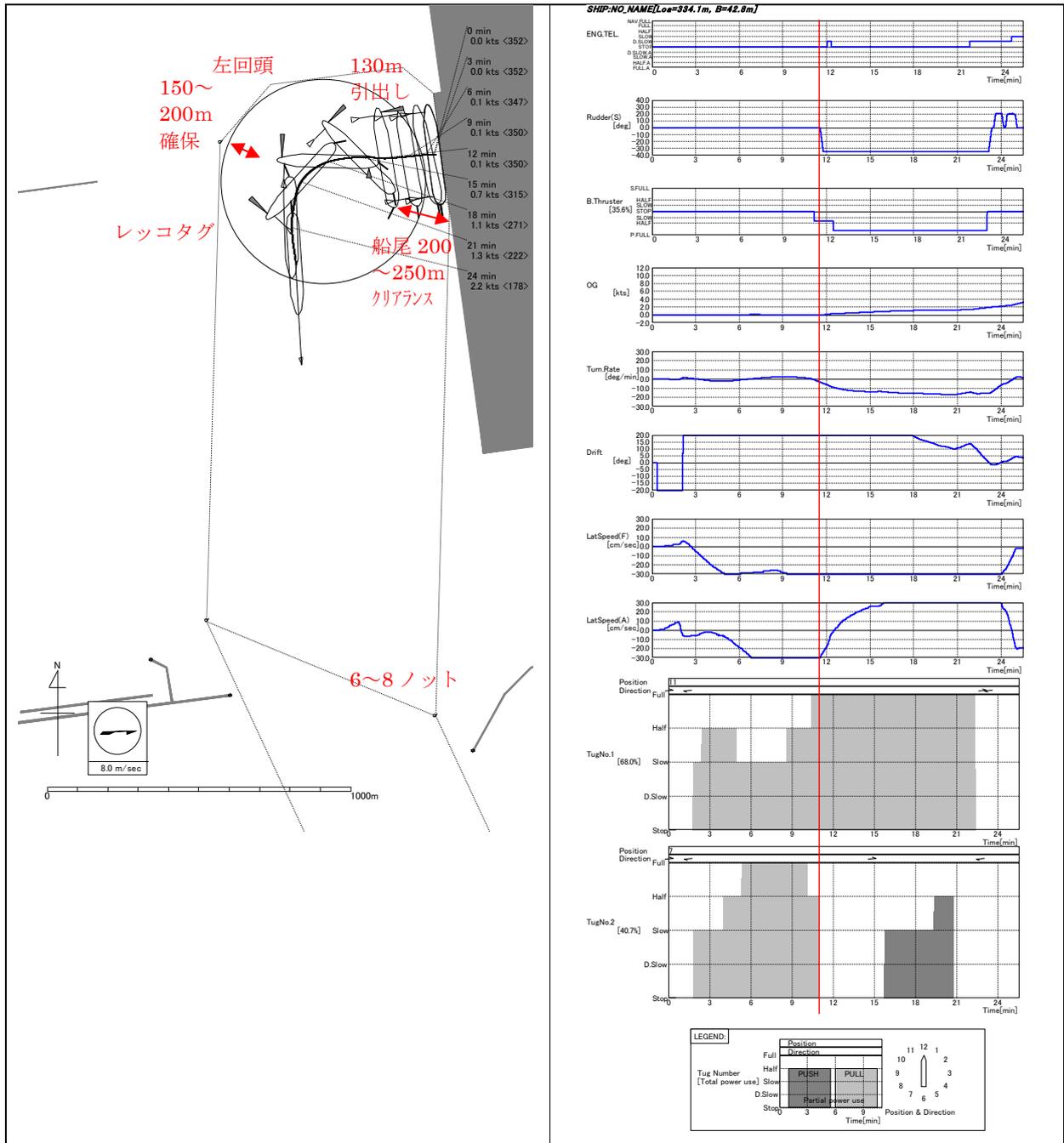


図.3 出港操船計画と実際の操船結果の出力 (例)

【保針】

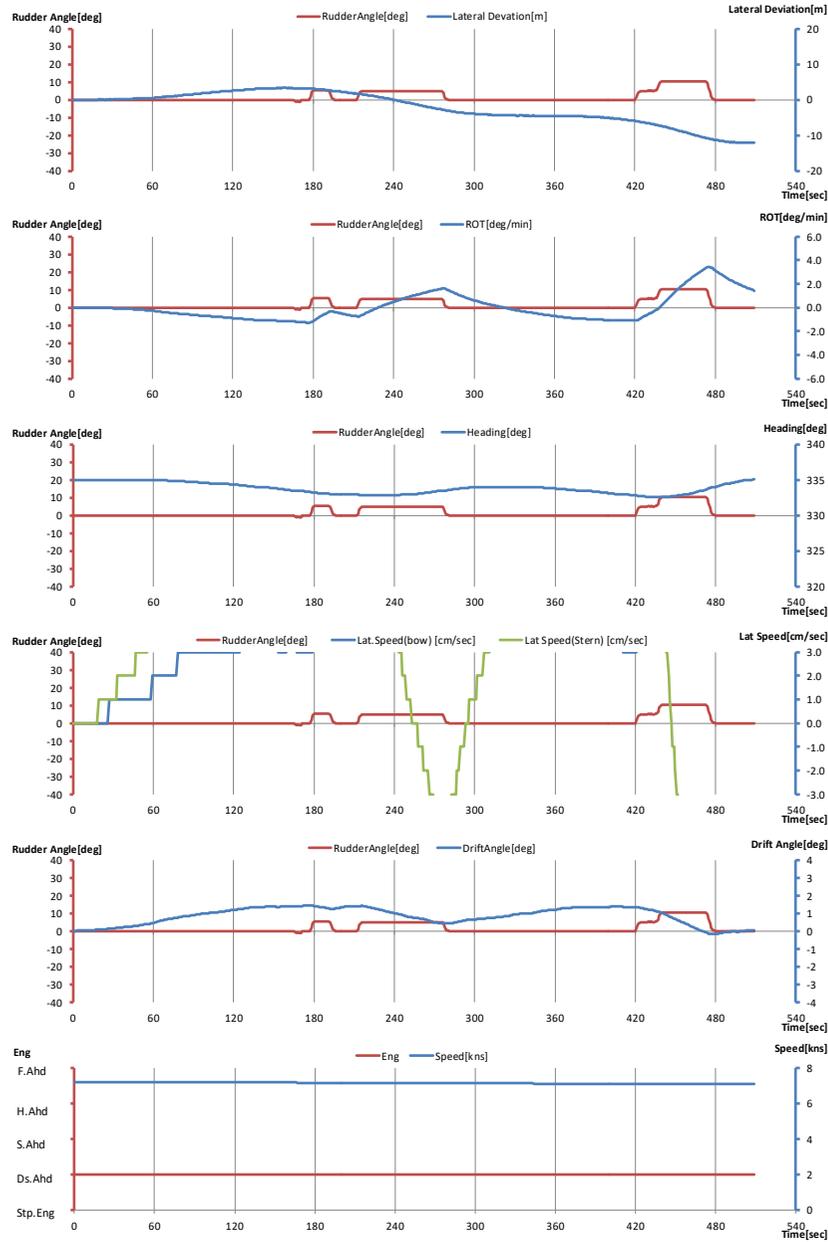


図.4 操船出力例 (入港：保針操船局面)

【変針】

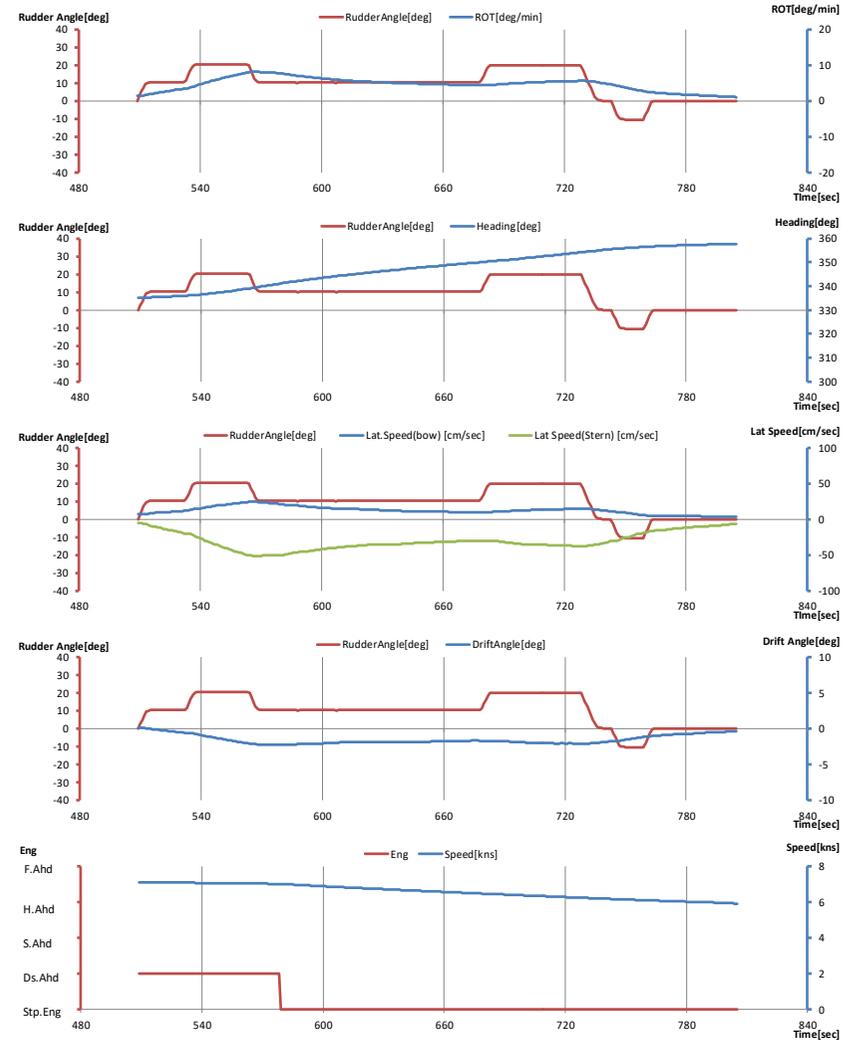


図.5 操船出力例 (入港：回頭操船局面)

【減速・アプローチ】

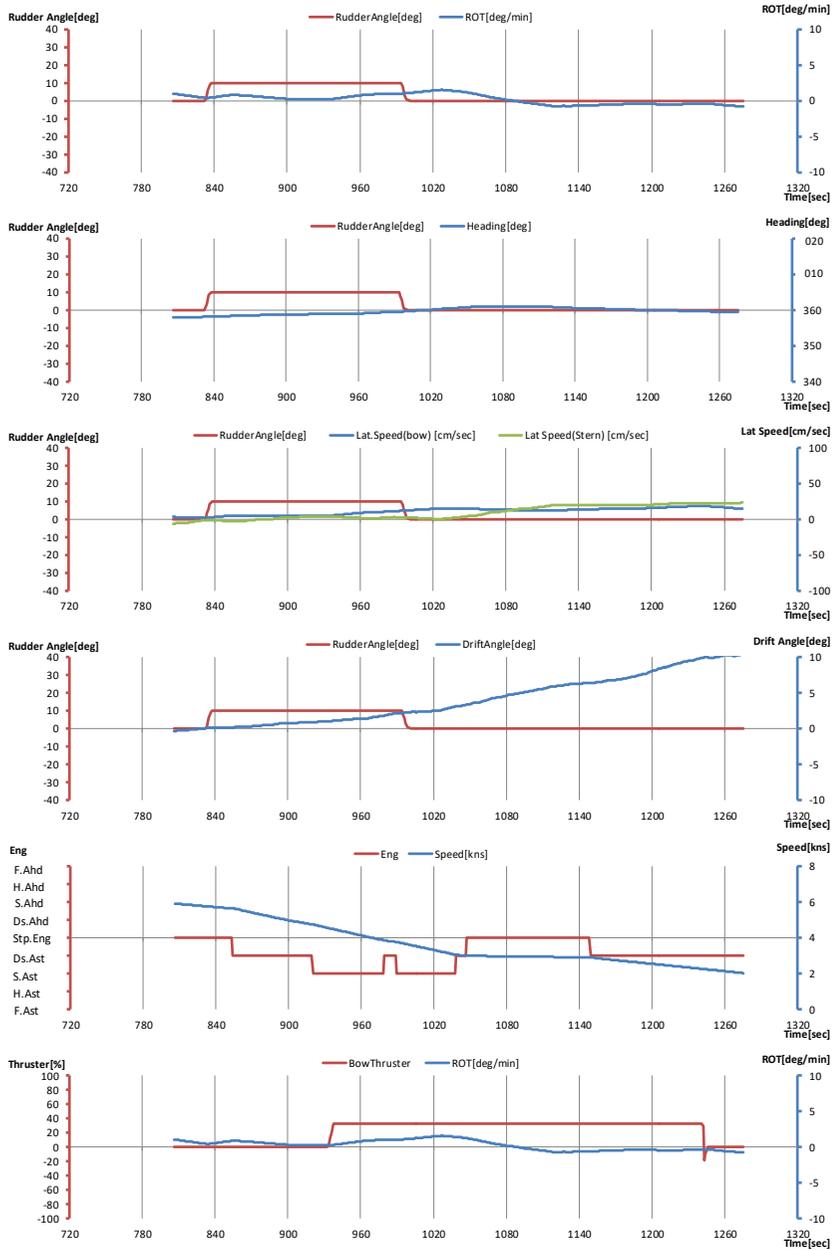


図.6 操船出力例（入港：減速・アプローチ操船局面）

【着岸】

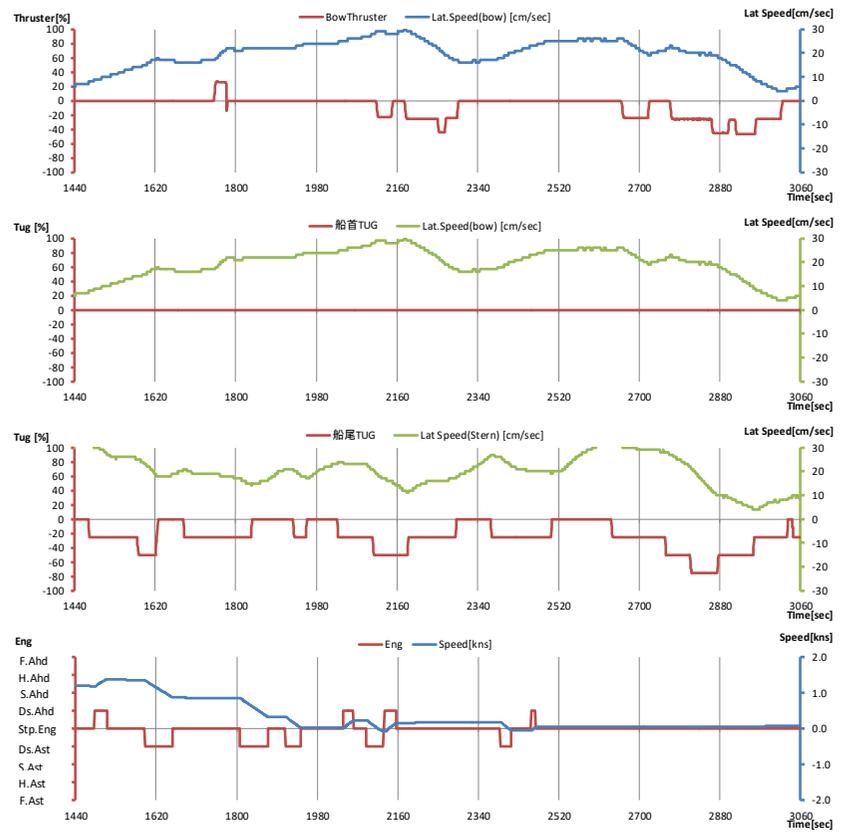


図.7 操船出力例（入港：着岸操船局面）

【離岸】

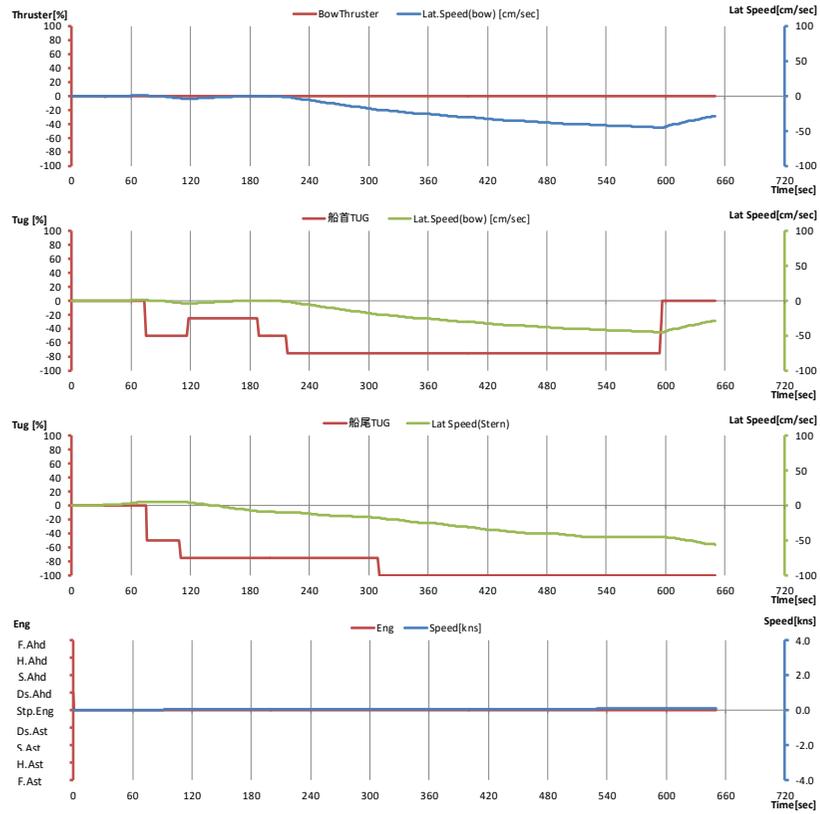


図.8 操船出力例 (出港：離岸操船局面)

【回頭】

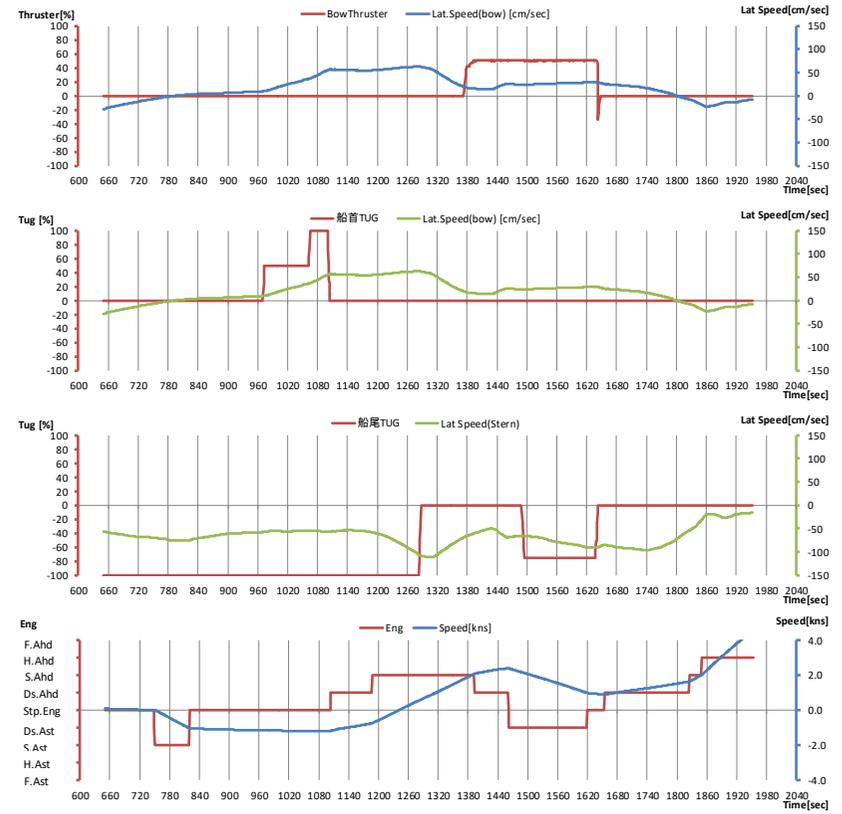


図.9 操船出力例 (出港：回頭操船局面)

3.5.3 操船計画と操船結果の比較

表.1 は、実験操船者があらかじめ設定した操船計画と実際に行われた操船結果を比較し、意図通りの操船が行えたかどうかを検証するための比較表である。

実験操船者への質問票より、各操船局面での針路・速力の設定や舵・主機関、スラスト、タグボート等操船手段の使用法・使用範囲（使用量）等、具体的な設定値を確認し、行われた操船結果が操船計画どおりであったかどうかを評価シートに基づき判定する。

表.1 操船計画と操船結果の比較・評価（イメージ）

操船局面	操船計画（質問票例）	操船結果（出力図例）	評価	
			評価基準（例）※	判定
保針	目標針路 : 330 横偏位量 : 圧流、切上がりに注意 目標速力 : 防波堤通過時 6 knots 保針舵角 : ±10deg 以内 ドリフト角 : ±5deg 以内	針路 : 330~333 横偏位量 : 5m 以下 速力 : 防波堤通過時 7.1 knots 保針舵角 : 最大右 10deg ドリフト角 : 左 2deg	±5deg 1B 以内 8knots 以下 ±10 deg 以内 ±5deg 以内	○ ○ ○ ○ ○
変針	変針後の新針路 : 002 横偏位量 : 圧流、切上がりに注意 変針舵角 : 10deg 回頭角速度 : 10deg/min 以上	変針後の新針路 : 001 横偏位量 : 5m 以下 変針舵角 : 10~20deg 回頭角速度 : 最大 10deg/min	±5deg 1B 以内 最大 35deg 10deg/min 以上	○ ○ ○ ○
減速	主機関 : 適宜使用、最大 Half 停止位置 : 前方への進出 NG 速力低減 : 1000m 手前で 4 knots	主機関 : 使用率 23%、最大 Slow 停止位置 : 前方余裕水域 150m 速力低減 : 1000m 手前で 5 knots	最大 Half 50m 以上 6knots 以下	○ ○ ○
着岸	着岸速度 : 接岸時 10cm/sec 以下 50m 手前 30cm/sec 接岸角度 : 岸壁と平行 主機関 : 適宜使用 船首スラスト : 適宜使用、最大 Half 船尾タグボート : 適宜使用、最大 Half	着岸速度 : 船首 10cm/sec、船尾 5cm/sec 船首 15cm/sec、船尾 10cm/sec 接岸角度 : 0deg 主機関 : 使用率 6%、最大 D Slow 船首スラスト : 使用率 9%、最大 Half 船尾タグボート : 使用率 22%、最大 Half	10cm/sec 以下 30cm/sec 以下 ±2deg 使用率 50%以下 使用率 70%以下 使用率 70%以下	○ ○ ○ ○ ○
離岸	離岸時間 : 15 分程度 主機関使用率 : 適宜使用 船首スラスト : 適宜使用、最大 Half 船尾タグボート : 適宜使用、最大 Half	離岸時間 : 12 分 主機関使用率 : 0% 船首スラスト : 使用率 52%、最大 Half 船尾タグボート : 使用率 65%、最大 Half	15 分以内 使用率 50%以下 使用率 70%以下 使用率 70%以下	○ ○ ○ ○
回頭	回頭範囲 : 端から 150~200m の余裕確保 回頭時間 : 5 分程度 主機関 : 適宜使用 船首スラスト : 適宜使用 船首タグボート : 適宜使用 船尾タグボート : 適宜使用	回頭範囲 : 端から 200m の余裕確保 回頭時間 : 4 分 主機関 : 使用率 26% 船首スラスト : 使用率 10% 船首タグボート : 使用率 6% 船尾タグボート : 使用率 78%	150m 以上の余裕 10 分以内 使用率 50%以下 使用率 80%以下 使用率 80%以下 使用率 80%以下	○ ○ ○ ○ ○ ○

※あらかじめ操船者又は実験評価者が安全な操船に支障ない評価基準を設定しておく。

（判定例 ○：許容の範囲内、△：許容の範囲内であるが基準値に近く余裕のない状態、×：許容の範囲外）

3.5.4 主観評価結果の処理

(1) 主観評価値の整理・集計

主観評価による各操船局面の操船困難度評定点を、実施ケースごと、操船局面ごとに整理し、各評価者の評価値、平均値、標準偏差、最大値、最小値、中央値、最頻値等を集計する。

最小値：最も小さい評価値
第1四分位点：小さい順から 25%目の評価値
第2四分位点（中央値）：小さい順から 50%目の評価値
第3四分位点：小さい順から 75%目の評価値
最大値：最も大きな評価値
平均値：すべての評価値の合計を有効評価者数で除した値
最頻値：最も数の多かった評価値
標準偏差：分散（評価値と平均値との差の2乗の和）の平方根

(2) 主観評価結果の一貫性検証

主観評価結果に一貫性があるかを検証するため、必要に応じて、クロンバック α 係数が用いられる。

クロンバックの α 係数の算出方法は以下のとおりである。

クロンバック係数 α は、一般に 0.7 以上で「許容」、0.8 以上で「良好」と判定される。

$$\alpha = \left\{ \frac{\text{評価者数}}{\text{評価者数} - 1} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{\text{各評価者回答値の分散の合計}}{\text{各設問評価値合計の分散}} \right\}$$

【参考：クロンバック α 係数の算出例】

- ① 各設問における評価値の合計を求める ()
- ② 評価値の合計の分散を求める ()
- ③ 各評価者回答値の分散を求める ()
- ④ 評価値の分散の合計を求める ()
- ⑤ クロンバック係数 α を算出する ()

設問 \ 評価者	A	B	C	D	E	合計
設問 1	1	1	1	1	1		14.00
設問 2	2	1	1	2	2		13.00
設問 3	3	1	1	2	3		17.50
設問 4	2	2	3	2	2		22.00
設問 5	1	1	1	1	2		12.00
.							
.							
.							
分散	1.42	0.08	0.61	0.45	0.91		29.43
							6.62
							0.8720

クロンバック α 係数	内的整合性
$0.9 \leq \alpha$	Excellent
$0.8 \leq \alpha < 0.9$	Good
$0.7 \leq \alpha < 0.8$	Acceptable
$0.6 \leq \alpha < 0.7$	Questionable
$0.5 \leq \alpha < 0.6$	Poor
$\alpha < 0.5$	Unacceptable

(3) 各ケースの評価値ヒストグラムの作成

各ケース、各操船局面について、評価尺度を横軸とした評価者数の積み上げ（評価者属性別棒グラフ）と累積相対度数（折れ線グラフ）を作成する（図.10）。

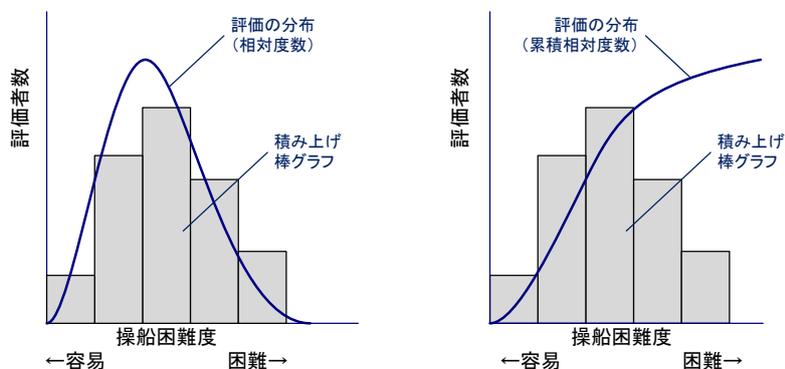


図.10 主観評価値の属性別積み上げ棒グラフと累積度数・相対度数（イメージ）

(4) 箱ひげ図等による外力条件と操船結果の関係把握

外力条件等の設定ケースを条件軸（横軸）、平均値などの代表値を評価軸（縦軸）とした散布図や箱ひげ図を作成して、外力条件の操船困難度への影響を把握する（図.11参照）。

なお、箱ひげ図は、評価尺度が多い（5段階以上）ほど有効である。

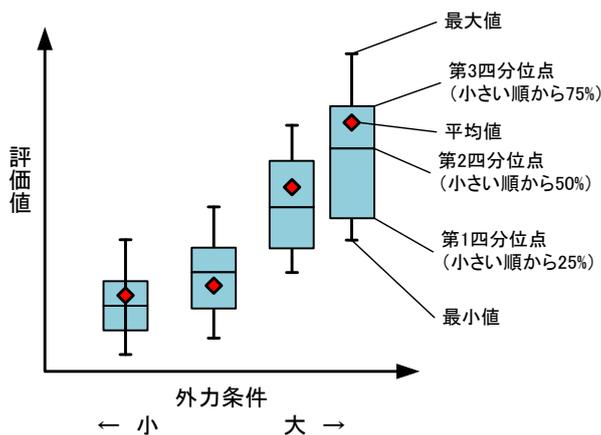


図.11 主観評価値の箱ひげ図（イメージ）

(5) 制御量・運動状態量と主観評価値の対比

評価者から評価票によって得た操船困難度に関する主観評価値について、必要に応じて操船シミュレータ実験結果に基づく制御量・運動状態量と比較して対応関係を調べる(図.12 参照)。

制御量・運動状態量が大きくなると操船困難度主観評価値も高くなることが予想され、仮に評価者の許容可否率を加えることができれば、操船結果から制御量・運動状態量を知ることによって許容可否を判断することも可能と考えられる。

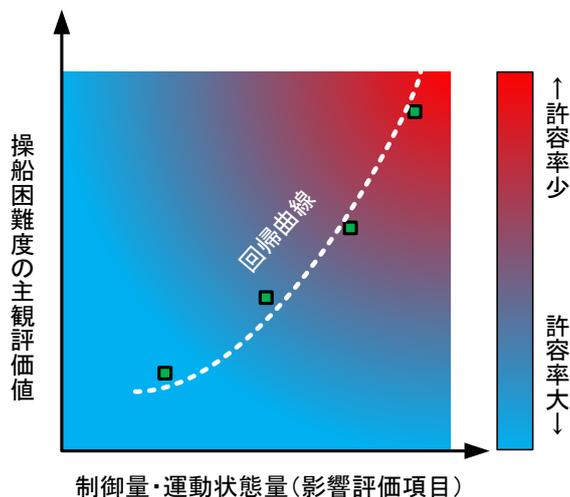


図.12 制御量・運動状態量（影響評価項目）と主観評価値の対比（イメージ）

3.6 シミュレーション結果等の活用

3.6.1 課題の抽出と対策の検討

操船シミュレータ実験等シミュレーション手法によって得られた評価結果を活用し、その案件についての安全上の課題を抽出する。

その際、少数意見に意味があることもあるため、これらについても必要な検討を行うことが肝要である。

抽出された安全上の課題について具体的な対策を検討する。

3.6.2 対策の検証

検討された具体的な対策については、必要に応じて操船シミュレータ実験等のシミュレーション手法によって再検証を行い、対策の効果について検証する。

