

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

公益社団法人 神戸海難防止研究会

ま え が き

本調査研究は、公益財団法人日本海事センターからの補助を受け、海難防止対策の検討におけるシミュレーション手法の活用について、操船影響の把握手法の有効性を実証的に確認し、案件ごとの標準的な検討項目について同手法を用いた操船影響の度合いを評価する方法を確立することを目的としたものである。

本調査研究に当たっては、学識経験者、海事関係者、関係官庁職員からなる「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委員会」を設け、水先人及び邦船3社の船長の協力の下、多くの操船シミュレータ実験を行って、貴重なデータを収集させていただき、これらを基に検討を進めた。

その結果、設定した評価項目・評価指標の実効性が確認でき、これを基に、海難防止審議の案件ごとの標準的な検討項目表を作成して、検討案件・検討対象のそれぞれに対する検討項目を整理した。

さらに、操船シミュレータ実験の実施に当たり、あらかじめ操船者の操船意図を把握し、操船が意図通りに行えたかどうかを確認することが重要であることに着目して、操船結果を分析・評価するための新たな手順や方法を提案した。

これらの成果を海難防止対策の検討に活かしていくとともに、同種検討において、広く活用されることを期待するものである。

本委員会において、真摯に御審議、御指導をいただいた委員長をはじめ、委員各位、関係者の皆様に心より感謝の意を表する次第である。

平成 29 年 3 月

公益社団法人 神戸海難防止研究会
会 長 松 浦 浩 三

目 次

まえがき

1	調査研究の概要	1
1.1	目的	1
1.2	背景等	2
1.3	調査研究の方法	3
1.3.1	委員会の設置	3
1.3.2	委員会の構成	3
1.3.3	調査研究内容	4
1.4	委員会等の開催状況	4
1.5	調査検討の流れ	6
2	検討案件の類型化と検討対象の整理	7
2.1	操船システムと操船影響項目	7
2.2	検討案件の類型化と検討対象の整理	8
3	試行的操船シミュレーションによる検証	11
3.1	目的	11
3.2	検討対象の設定	11
3.3	検討条件	12
3.3.1	船舶	12
3.3.2	操船者	17
3.3.3	操船支援条件	17
3.3.4	地形条件	17
3.3.5	自然外力条件	23
3.3.6	他船交通条件	23
3.3.7	対象操船局面	23
3.4	実施ケース	24
3.4	出力及び分析・評価結果	25
3.4.1	評価項目の設定	25
3.4.2	基本出力図の作成	27
3.4.3	操船意図と操船結果	32
3.4.4	操船局面ごとの出力項目の整理	49
3.4.5	各操船局面における評価値の出力	51

4	平成 28 年度成果のまとめ.....	67
4.1	評価項目の有効性、評価指標の妥当性	67
4.2	案件ごとの標準的な検討項目	69
4.3	操船シミュレータ実験結果の評価における操船計画・操船意図の確認の重要性	72
4.3.1	操船者による操船要領の特徴	72
4.3.2	操船計画・操船意図の確認の手順	72
4.3.3	操船計画の立案手順と操船意図の確認方法	75
4.4	分析・評価の手順の見直し	79
4.5	操船シミュレータ実験における操船結果の出力方法について	81
5	今後の課題.....	81

参考資料

参考資料 1：平成 27 年度調査研究結果の概要.....	85
参考資料 2：操船局面ごとの出力項目の整理図.....	105

あとがき

1 調査研究の概要

1.1 目的

本調査研究は、海難防止対策を検討するに当たり、船舶航行の安全性を検証するために、操船シミュレーションを用いて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を行うものである。

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、公益社団法人神戸海難防止研究会」（以下「平成 27 年度報告書」という。）において、「標準的な評価検討手法ガイドライン」が提案されたところである。平成 28 年度の調査研究は、案件ごとの標準的な評価項目を分類・整理したうえで、これらの評価項目を検討するために仮想の案件を設定して試行的に操船シミュレーションを実施し、評価項目の有効性と評価指標の妥当性に基づく操船影響について実証的に検証するとともに、案件ごとの標準的な検討項目を一覧表として取りまとめることにより、操船シミュレーション手法活用の標準化を図り、もって、今後の海難防止対策検討の円滑かつ効果的な推進に資することを目的とする。

【用語の定義】

検討案件	港湾計画改訂・一部変更、海上工事、既存施設における受入船型大型化等の調査検討の案件
検討項目	水域施設検討（航路・泊地計画評価）、航行援助施設評価、標準操船方法策定、バース運用基準策定等の具体的な検討の項目（内容）
評価指標	偏位量、離隔距離、舵角量、回頭角速度等（評価項目）の操船影響を評価するうえで着目すべき操船の要素
評価基準	評価指標ごとに設定する安全性判断の数値的な目安

1.2 背景等

近年、海難防止対策の検討対象となる案件においても各種モデルによるシミュレーションが活用されているが、これからの調査研究では、船舶航行の安全上の危険因子を的確かつ客観的に把握するため、案件の特徴に対応した評価モデルによるシミュレーションが必要であり、このようなニーズに対する技術やノウハウ等のシーズを結合し、最適な評価手法を探ることも重要になる。

操船シミュレーションは、多様な航行環境や海難につながる危険な状況を仮想的に体験できることから、海難防止対策の検討に取り入れられたものであるが、実施時間等の制約からケース数に限りがあるため、統計的解析が困難であり、被験者や評価者の主観的評価に偏りがちな面がある。

操船シミュレーションの活用を考えると、船舶航行の危険因子があると、操船に影響を与え、主機や舵、タグボートなどの操作量に通常と異なる変化が現れると推測されることから、これらの操作量の変化の有無や変化の様子に注目し、操船状況ごとに操作量の変化量を影響評価項目として定量化する手法を開発し、ビジュアル操船シミュレータ実験に取り入れることにより、操船に影響を与える危険因子を客観的に把握し、評価する手法が確立されることが考えられる。

「平成 27 年度報告書」においては、過去の事例から操船に及ぼす要因の評価項目を整理し、主としてシミュレーション手法や評価方法を類型化したうえで、操船シミュレーション手法の活用に関する評価検討手法ガイドラインを策定し、検討案件に対して適切なシミュレーション手法を示すことにより、そのシミュレーション手法を活用するための手順を明らかにした。

今後は、これらの成果を踏まえ、各種の案件から標準的な評価項目を盛り込んだ仮想の案件を設定し、試行的に操船シミュレーションを実施して、評価項目の有効性、評価指標の妥当性等を実証的に検証のうえ、海難防止対策検討における操船シミュレーション手法活用のための標準的な操船影響検討項目表を作成することとしたものである。

1.3 調査研究の方法

1.3.1 委員会の設置

学識経験者、海事实務者及び関係官公庁職員からなる「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委員会」を設置し、検討資料に基づき操船シミュレーション手法を用いた操船影響の把握について検討した。

1.3.2 委員会の構成

委員会の構成を以下に示す。（順不同・敬称略、※：海防研常任委員、（ ）内は前任者）

委 員	古 莊 雅 生	神戸大学大学院海事科学研究科教授※
〃	浅 木 健 司	海技大学校教授※
〃	松 本 宏 之	海上保安大学校教授※
〃	村 井 康 二	神戸大学大学院海事科学研究科准教授※
〃	堀 眞 琴	大阪湾水先区水先人会会長※
〃	末 岡 民 行 (大 泉 勝)	内海水先区水先人会副会長※ 〃 会長※
〃	今 西 邦 彦	(一社)日本船長協会技術顧問※
〃	堤 義 晴	日本郵船(株)関西支店支店長代理※
〃	宮 田 浩	(株)商船三井海上安全部部長代理※
〃	植 田 博 (松 島 豊)	川崎汽船(株)関西支店副支店長※
以上 10 名		
関係官公庁	村 松 一 昭	第五管区海上保安本部交通部長
以上 1 名		
オブザーバー	豊 島 伸 匡 (國 安 政 幸)	(株)MOL マリン主任研究員 (〃 マリン関西事務所長)
〃	原 大 地	(株)日本海洋科学神戸支店長
以上 2 名		
事 務 局	伊 藤 雅 之	(公社)神戸海難防止研究会専務理事
〃	江 頭 正 人	〃 研究部長
〃	藤 原 昇	〃 事業部長補佐
〃	高 橋 浩 子	(株)日本海洋科学神戸支店主任コンサル タント
以上 4 名		

1.3.3 調査研究内容

(1) 平成 27 年度の調査研究結果と評価項目の整理

平成 27 年度の調査研究結果をレビューし、検討案件の更なる類型化を図り、類型化された案件について評価項目を整理する。

(2) 仮想の案件設定と試行的操船シミュレーションの実施方案の策定

類型化された検討案件に係る評価項目が含まれるような仮想の案件を策定する。目的とする評価項目に係る操船影響把握のための評価指標値が得られるよう試行的操船シミュレーションの方策を策定する。

(3) 操船シミュレーションの実施

実施に際して、方案を適宜修正し、試行する。

(4) 試行的操船シミュレーション実施結果の検討

実施した試行的操船シミュレーションで得られた評価指標の値について解析し、操船影響把握のための評価項目の有効性と評価指標の妥当性を検証する。

(5) 案件ごとの標準的な操船影響検討項目表の策定

試行的操船シミュレーションによる検証によって、有効と評価された評価項目と妥当と評価された評価指標の検討案件ごとに整理してとりまとめて、標準的な操船影響検討項目表を策定し、その使用方法と使用上の留意事項をまとめる。

1.4 委員会等の開催状況

(1) 第 1 回委員会

1 日 時 平成 28 年 7 月 1 日（金）13：25～15：15

2 場 所 ラッセホール 地下 1 階 リリーの間

3 議 題

① 調査研究方針

② 平成 27 年度の調査研究結果の概要

③ 検討案件の類型化と検討対象の整理

④ 試行的操船シミュレーションによる検証の考え方

(2) 第1回検討会

- 1 日 時 平成28年7月28日(木) 09:25~10:50
- 2 場 所 ラッセホール 地下1階 リリーの間
- 3 議 題
 - ① 仮想案件の想定
 - ② 操船シミュレーションによる検証の試行について

(3) 試行的操船シミュレーションの実施

- 1 日 時 平成28年8月25日(木) 09:30~18:00
 - 2 場 所 神戸シミュレーションセンター
- 仮想の案件について試行的操船シミュレーションを実施した。

(4) 第2回検討会

- 1 日 時 平成28年9月26日(月) 13:30~15:30
- 2 場 所 ラッセホール 地下1階 リリーの間
- 3 議 題
 - ① 試行的操船シミュレーション実施結果
 - ② 評価項目の有効性、評価項目の妥当性について

(5) 第2回委員会

- 1 日 時 平成28年10月31日(月) 13:25~15:40
- 2 場 所 ラッセホール 地下1階 リリーの間
- 3 議 題
 - ① 試行的操船シミュレーションによる検証結果
 - ② 評価項目の有効性、評価指標の妥当性について

(6) 第3回委員会

- 1 日 時 平成28年11月28日(月) 14:55~17:15
- 2 場 所 ラッセホール 地下1階 リリーの間
- 3 議 題
 - ① 今年度成果のまとめ
 - ② 報告書の構成

1.5 調査検討の流れ

調査検討フロー図を以下に示す。

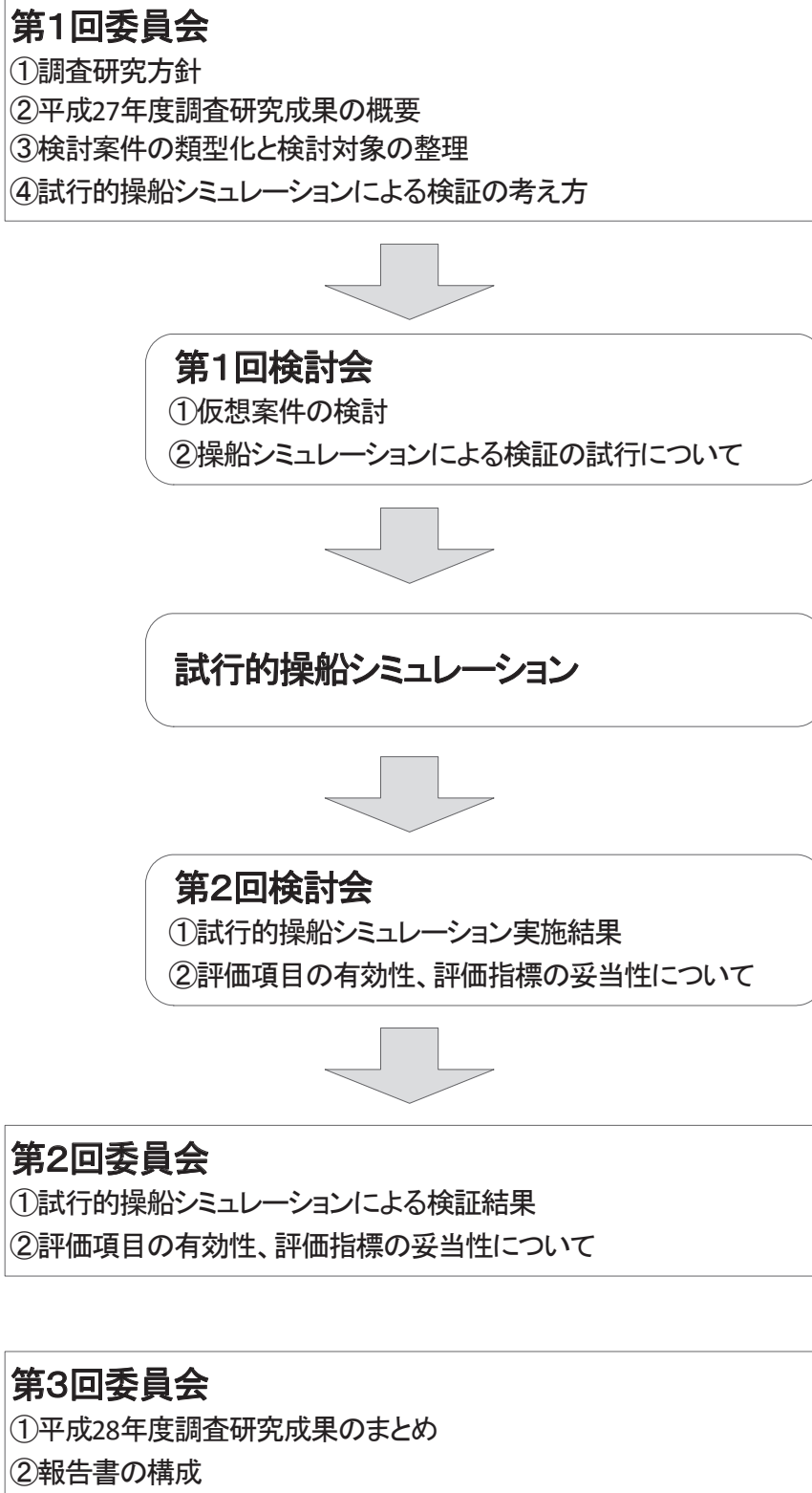


図 1.1 調査検討フロー

2 検討案件の類型化と検討対象の整理

2.1 操船システムと操船影響項目

図 2.1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。

「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。

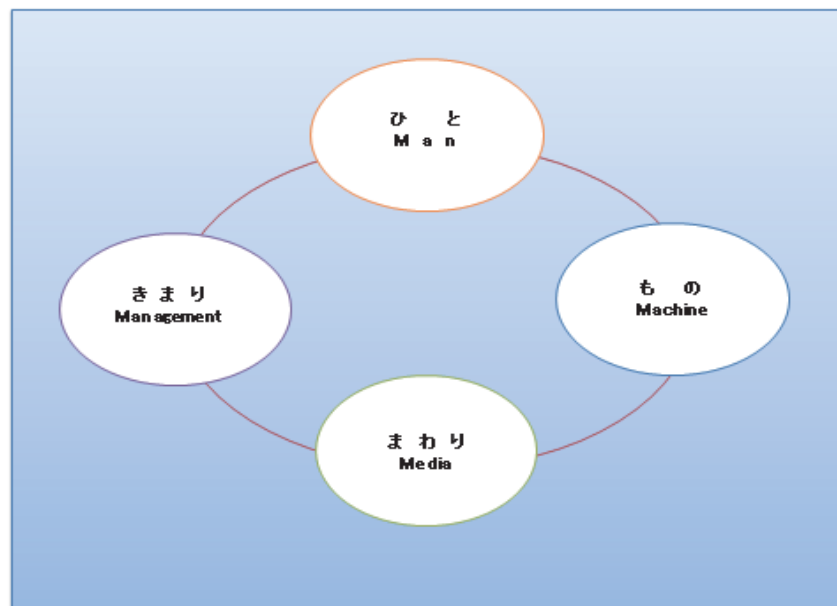


図 2.1 【操船者－船－環境－管理】で構成される操船の相互連環システム

2.2 検討案件の類型化と検討対象の整理

海難防止対策を検討するにあたっては、船舶航行の安全性を検証するため操船シミュレーション手法を用いて操船影響を定量評価して検討が行われる。前述の2.1に示すとおり、操船の相互連環システムで考えると、「ひと」である操船者と「もの」である船を与条件として、「まわり」である自然環境条件や「きまり」である航行安全対策を検討対象としていることとなる。

平成 27 年度の調査検討結果によるシミュレーション活用事例と類型化及び検討対象項目と活用すべき検討（シミュレーション）手法（案）（表 2.1参照）から、検討案件と検討項目の関連性を整理した。

「平成 27 年度報告書」によると、航行安全に関する調査検討事業は過去の検討実績から 11 の「検討案件」に分類されており、それを「検討項目」ごとに分類すると、表 2.1に示すとおり 8 つに区分することができる。

「検討案件」と「検討項目」の関係を整理し、さらに「検討項目」を「検討対象」に分類すると図 2.2に示すとおりである。8 つの「検討項目」は、評価の対象として「水域施設（航路・泊地）」、「航行援助施設（ブイ等）」、「自然条件（風潮流）」、「航行・操船方法」の 4 つに分類することができる。

したがって、検討案件を検討対象に分類すると、航路・泊地等の水域施設やブイ等航行援助施設のあり方など「施設に係る検討」と、風潮流等自然条件や航行・操船方法等「運用に係る検討」に分けることができる。

「施設に係る検討」は、風潮流等外力などの自然環境条件や対象船舶の操縦性能など船舶条件、経験や技量等の操船者条件は一定のもと、航路や泊地形状等水域条件のあり方をするものである。一方、「運用に係る検討」は、航路・泊地等の水域条件は一定とし、安全に航行・操船が行えるための外力条件や操船支援条件（タグボート配備条件）等のあり方を検討するものである。

表 2.1 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	—	△	○	△	◎	—	・航路幅員、屈曲角の操船安全に及ぼす影響 ・航路からベ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	—	△	—	—	○	—	・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	—	—	—	◎	○	—	・操船方法（針路、速力、タグ配置等）の標準化
(4) ベース運用基準策定	—	—	○	△	◎	○ (◎)	・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	◎	○	—	—	△	—	・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	△	◎	—	—	△	—	・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	—	△	○	◎	△	◎	・津波来襲時の係留退避の可否 ・緊急離陸操船方法の検討 ・避難経路の検討
(8) 工事中の安全対策検討	—	△	—	—	△	—	・工事区域の範囲設定、表示方法、警戒船配備 ・工事中船舶の航行経路 ・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

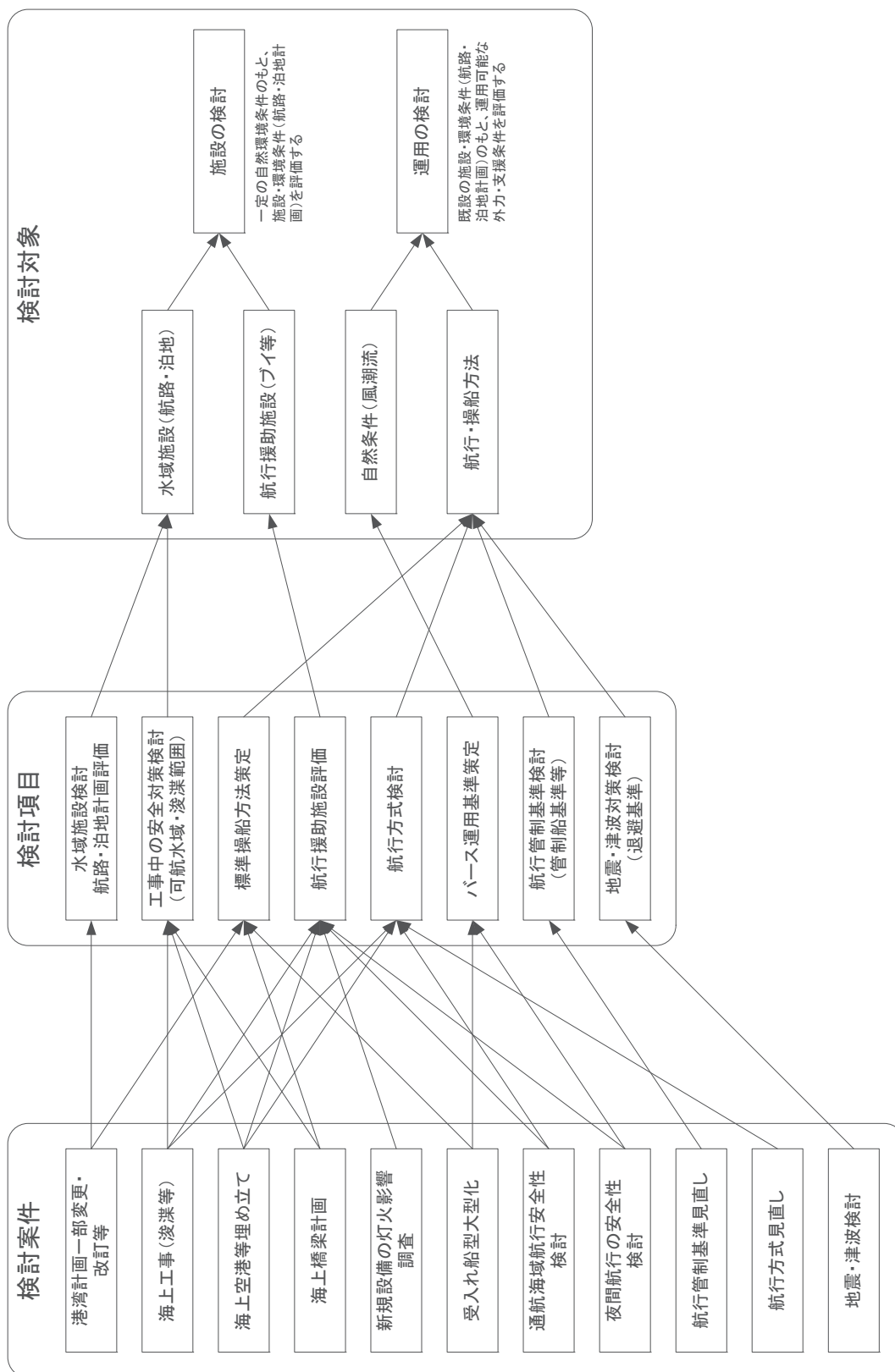


図 2.2 類型化された検討案件ごとの検討項目及び検討対象の整理

3 試行的操船シミュレーションによる検証

3.1 目的

類型化された検討案件に係る検討対象が含まれるような仮想の案件を策定し、過年度の検討結果を踏まえて設定した評価項目に係る操船影響把握のための評価指標値が得られるよう操船シミュレーションを試行した。

本検討は、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ついて検討を行うとの視点から、以下に示す操船の相互連環システムでいう「まわり」である環境に相当する港湾施設のあり方、あるいは、「きまり又はしくみ」といったマネジメントに相当する運用条件（操船限界外力条件）のあり方についての検討を目指すものである。

3.2 検討対象の設定

2.2で示したとおり、検討案件は「施設に係る検討」と「運用に係る検討」に分類することから、ここでは以下2つの案件モデルを構築して検討する。

パターン①	仮想の港湾において新たな埠頭計画と複数の航路・泊地計画案を示した『港湾計画改訂案件モデル』を構築し、一定の外力条件、対象船舶のもと妥当な水域施設計画について検討する。
パターン②	仮想の港湾において既設の施設に大型船舶を受け入れる場合を想定した『運用基準検討案件モデル』を構築し、一定の施設環境・地形条件のもと安全に運用可能な基準（外力条件、支援条件）について検討する。

3.3 検討条件

3.3.1 船舶

対象船舶は、公共ふ頭を利用する船舶で近年大型化の傾向が著しい大型コンテナ船とする。
具体的には表 3.1に示す2 船型（大型モデルと標準モデル）とした。

各対象船舶のパイロットカードをそれぞれ表 3.2と表 3.3に、操縦性能をそれぞれ図 3.1と図 3.2に示す。

表 3.1 対象船舶の主要目及び主機関速力設定

諸元等	コンテナ船（大型モデル）	コンテナ船（標準モデル）
総トン数（GT）	170,000GT	89,800GT
載貨重量トン数（DWT）	158,000DWT	100,000DWT
排水トン数（Disp）	206,020MT	130,278MT
コンテナ積載数（TEU）	15,550TEU	8,204TEU
全長（Loa）	397.71m	334.07
垂線間長（Lpp）	376.00m	319.00m
幅（B）	56.40m	42.80m
喫水／満載喫水（d）	14.50m／16.02m	14.50m／14.5m
バウ・スラスター	1,750kW×2	2,500kW×1
スタン・スラスター	1,750kW×2	—
主機関	80,170kW×1	68,667kW×1
コンテナデッキ上積載状態	デッキ上最大5段	デッキ上最大5段
水面上投影面積（正面）	2,800m ²	1,608m ²
〃（側面）	10,460m ²	6,932m ²

表 3.2 パイロット・インフォメーションカード（コンテナ船（大型））

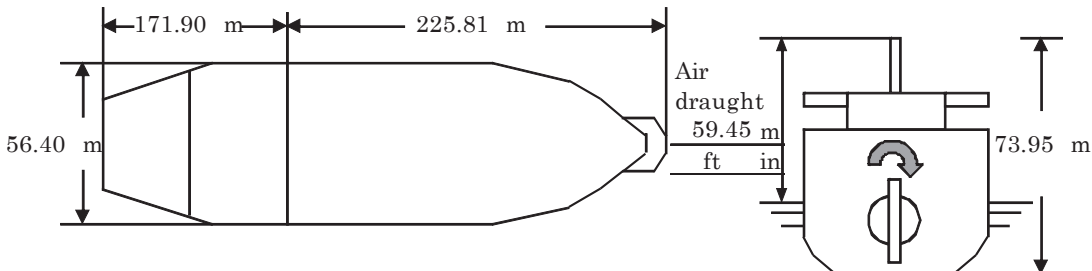
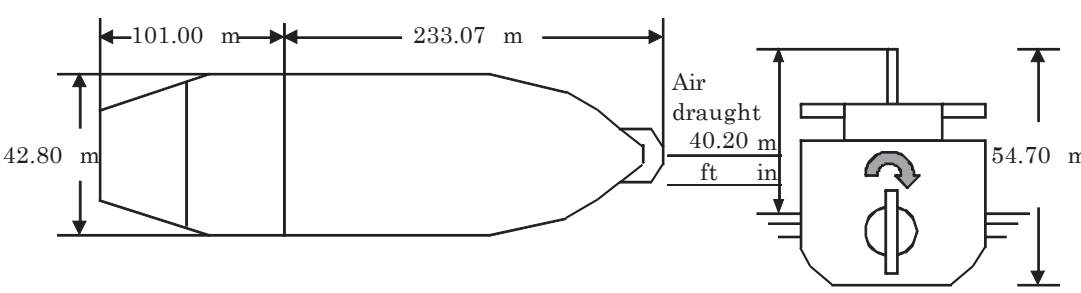
PILOT CARD			
Ship name Container 10,000TEU (FULL)		Date 2016/8/10	
Gross Tonnage 170,000 ton		Deadweight 158,000 ton	
Year built _____		Displacement _____ ton	
Draught aft 14.50 m/ ft in, Forward 14.50 m/ ft in, Displacement _____ ton			
SHIP'S PARTICULARS			
Length overall 397.71 m		Anchor chain: Port 16 shackles, Starboard 16 shackles	
Breadth 56.40 m		Stern _____ shackles	
Bulbous bow Yes / No		(1 Shackle = 27.5 m/ _____ fathoms)	
STEERING			
Rudders 1 (number)		0 ° (maximum angle)	
Propellers 1 (number)		Direction of turn Left / Right	
Thrusters 2 (number)		Bow power 55.0 ton	
		Stern power 55.0 ton	
			
Type of engine: Diesel		Maximum power: 80,170 kW	
Type of propellers: Fixed Pitch			
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed(knots)	
		Loaded	Ballast
Navigation Full	104	25.0	
Full ahead	65	16.2	
Half ahead	50	12.4	
Slow ahead	35	8.6	
Dead slow ahead	25	5.9	
Dead slow astern	28	Time limit astern (No limit) min	
Slow astern	39	Full ahead to full astern sec	
Half astern	55	Max.no.of consec.starts	
Full astern	72	Minimum RPM , knots	
		Astern power % ahead	

表 3.3 パイロット・インフォメーションカード（コンテナ船（標準））

PILOT CARD			
Ship name Container 8,000TEU (FULL)		Date 2016/8/4	
Gross Tonnage 89,800 ton		Deadweight 100,000 ton	
Year built _____		Displacement _____ ton	
Draught aft 14.50 m/ ft in, Forward 14.50 m/ ft in, Displacement _____ ton			
SHIP'S PARTICULARS			
Length overall 334.07 m		Anchor chain: Port 15 shackles, Starboard 15 shackles	
Breadth 42.80 m		Stern _____ shackles	
Bulbous bow (Yes) / No		(1 Shackle = 27.5 m/ _____ fathoms)	
STEERING			
Rudders 1 (number)		35 ° (maximum angle)	
Propellers 1 (number)		Direction of turn Left / (Right)	
Thrusters 1 (number)		Bow power 34.2 ton	
		Stern power _____ ton	
			
Type of engine: Diesel		Maximum power: 68,667 kW	
Type of propellers: Fixed Pitch			
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed(knots)	
		Loaded	Ballast
Navigation Full	99	25.7	
Full ahead	65	17.8	
Half ahead	50	13.7	
Slow ahead	40	10.8	
Dead slow ahead	27	7.2	
Dead slow astern	27	Time limit astern (No limit) min	
Slow astern	40	Full ahead to full astern sec	
Half astern	50	Max.no.of consec.starts	
Full astern	65	Minimum RPM , knots	
		Astern power % ahead	

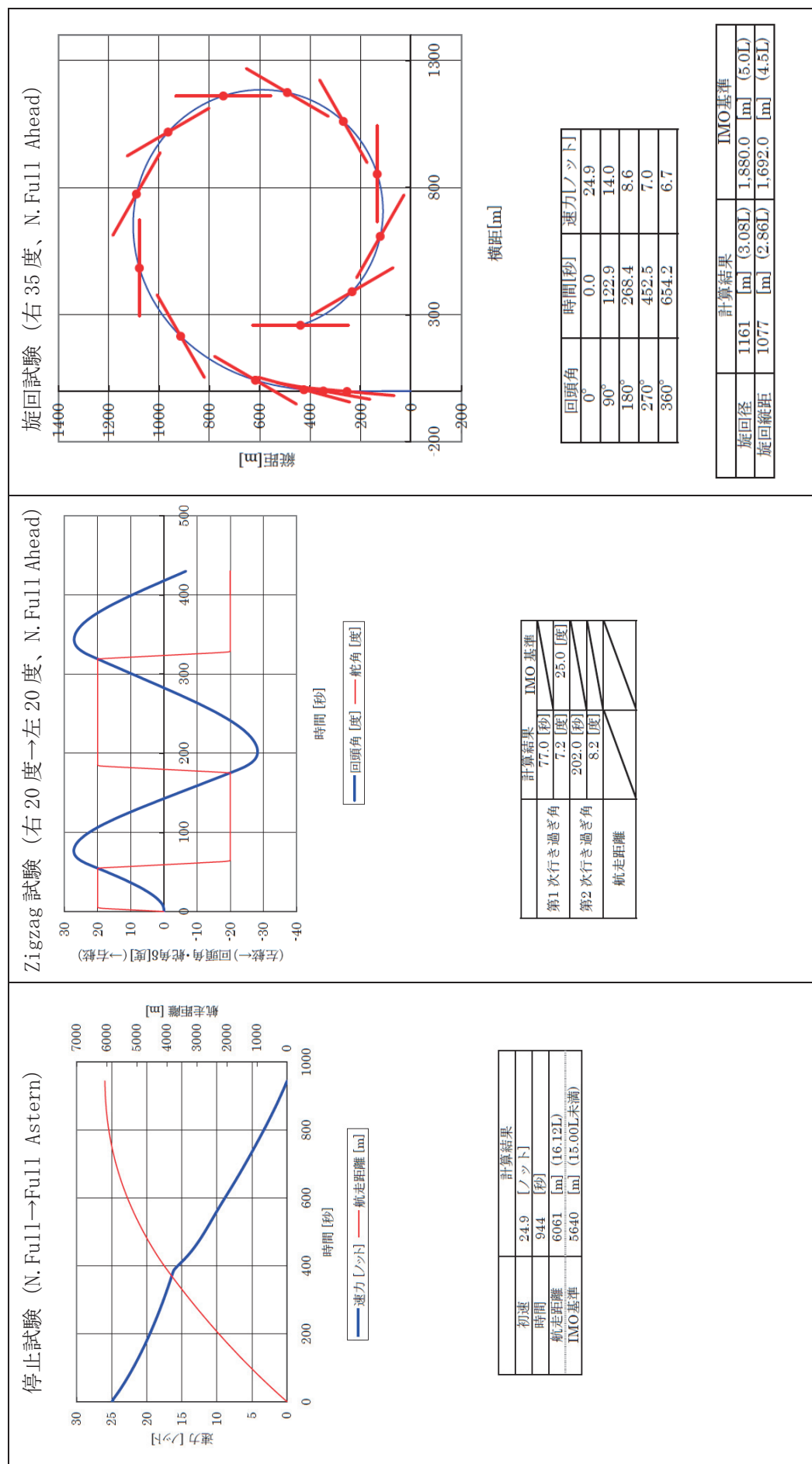


図 3.1 対象船舶（コンテナ船（大型））の操縦性能モデル

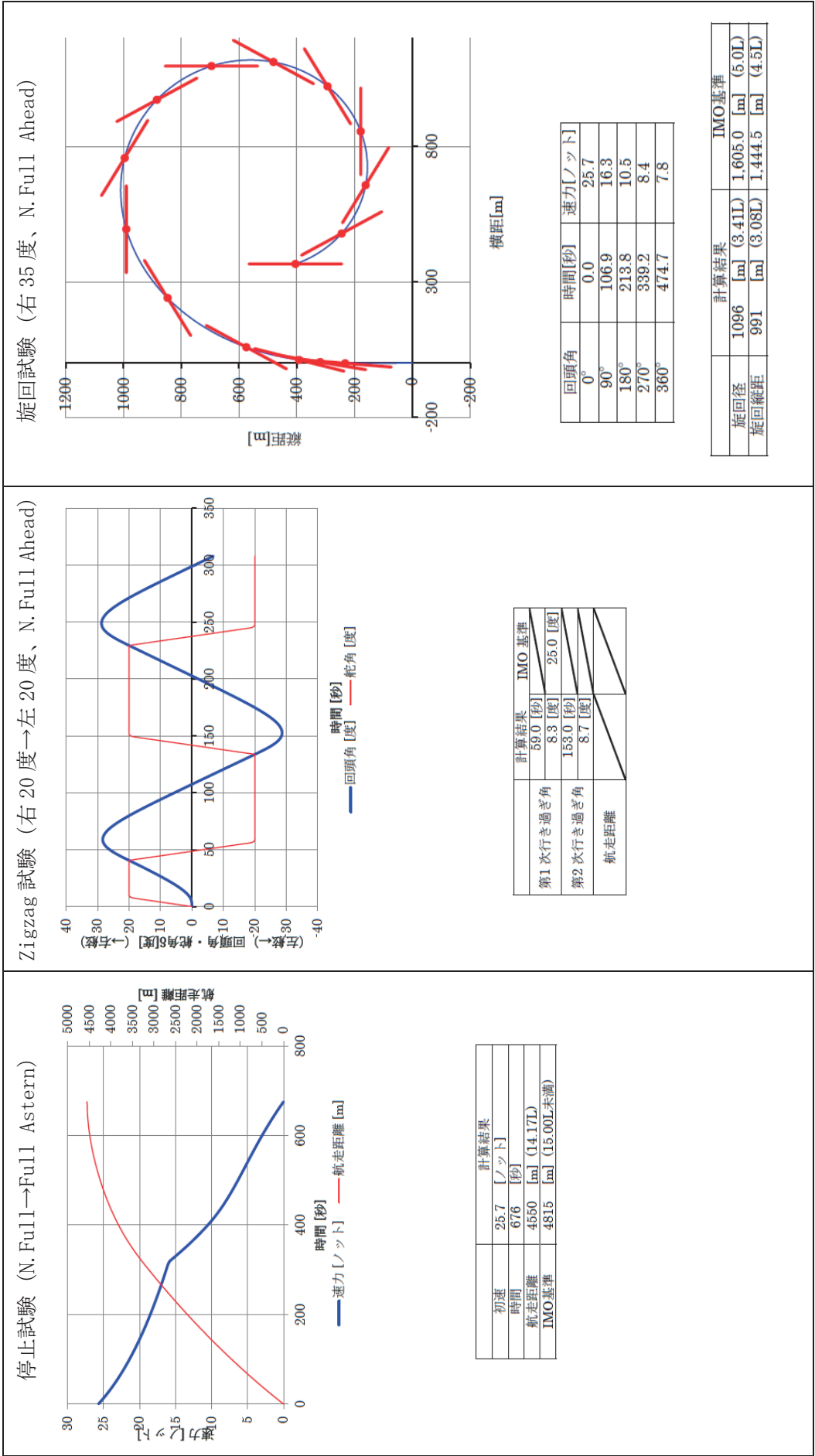


図 3.2 対象船舶（コンテナ船（標準））の操縦性能モデル

3.3.2 操船者

操船者は、大型船舶の乗船・操船経験を有する水先人2名及び船長3名の合計5名（水先①、水先②、船長①、船長②、船長③）に依頼して実施した。

なお、1 ケースにつき 3 名の操船者により実施したが、できる限り学習効果を排除するため、他の操船者が同じケースの操船をする場合は、当該操船者以外の操船者は、別室で待機しておくこととした。

3.3.3 操船支援条件

神戸区引船使用基準より、Ⅲ型（3,600 PS）のタグボート2隻を配備するものとした。

タグボートの推力は、神戸区に在籍するタグボートの実態を踏まえて表 3.4に示すとおり設定し、船首側は「白鳳丸（はくほうまる）、船尾側は「桜丸（さくらまる）」とした。

表 3.4 タグボートの推力設定

（単位：ton-f）

		Full（4/4）	Half（3/4）	Slow（2/4）	D.Slow（1/4）
3,600 PS 型	前進	43.0	32.3	21.5	10.8
	後進	40.5	30.4	20.3	10.1

※曳航力の90%を常用出力とする。また、HalfはFullの3/4、SlowはFullの2/4、Dead SlowはFullの1/4の推力とする。

3.3.4 地形条件

地形条件（港形モデル）は、神戸港中央航路から六甲アイランド西側海域をベースに構築した。

(1) 対象岸壁

対象岸壁は、六甲アイランド西側のRC-1とし、対象船舶10万DWT級コンテナ船については、標準的な岸壁諸元の延長400m、前面水深16mとした。

対象船舶16万DWT級コンテナ船については、岸壁の標準諸元は定められていないため、全長400mに船幅の2倍程度を確保した延長500mとし、水深は16mのままとした。

表 3.5 仮想の対象岸壁

名称	延長	水深	対象船舶
RC-1	400 m	16 m	100,000 DWT
	500 m		160,000 DWT

(2) 地形条件（港形モデル）

入出港操船においては、航路幅員と屈曲角及び船廻し場の大きさと位置が問題になることが多い。

そこで、航路屈曲角・航路幅員及び船廻し場(回頭円)の位置を変えて港形モデルを表 3.6 及び図 3.3～図 3.6に示すとおり構築した。

図 3.3～図 3.5は、パターン①「施設に係る検討」の地形条件、図 3.6は、パターン②「運用に係る検討」の地形条件である。

表 3.6 港形モデル

パターン①	A 案	● 船廻し場は、岸壁前面に設定するのが理想的であるが、水深等地形的な制約から岸壁から少し離れたところに設定されることがある。A 案では、船舶のその場回頭水域を対象岸壁前面ではなく、約 600m 離れた箇所に全長 340m の船舶の船廻し場（直径 680m）を設定する。 ● 航路から泊地の接続部屈曲角は 35 度、航路幅員は 500m、泊地幅員は 680m とする。 ● 航路・泊地水深は-16m とし、航路・泊地外は一律に水深-12m とする。
	B 案	● 全長 340m の船舶の船廻し場（直径 680m）を岸壁前面に設定する。 ● 航路から泊地の接続部屈曲角は 32 度、航路幅員は 500m、泊地幅員は 760m とする。 ● 航路・泊地水深は-16m とし、航路・泊地外は一律に水深-12m とする。
	C 案	● 全長 340m の船舶の船廻し場（直径 680m）を岸壁前面に設定する。 ● 航路西側の副防波堤を撤去して航路幅員を拡幅するとともに航路法線角度を変更する。 ● 航路から泊地の接続部屈曲角は 27 度、航路幅員は 560m、泊地幅員は 760m とする。 ● 航路・泊地水深は-16m とし、航路・泊地外は一律に水深-12m とする。
パターン②	D 案	● 全長 400m の船舶の船廻し場（直径 800m）を岸壁前面に設定する。 ● 航路西側の副防波堤を撤去して航路幅員を拡幅するとともに航路法線角度を変更する。 ● 航路から泊地の接続部屈曲角は 27 度、航路幅員は 570m、泊地幅員は 880m とする。 ● 航路・泊地水深は-16m とし、航路・泊地外は一律に水深-12m とする。

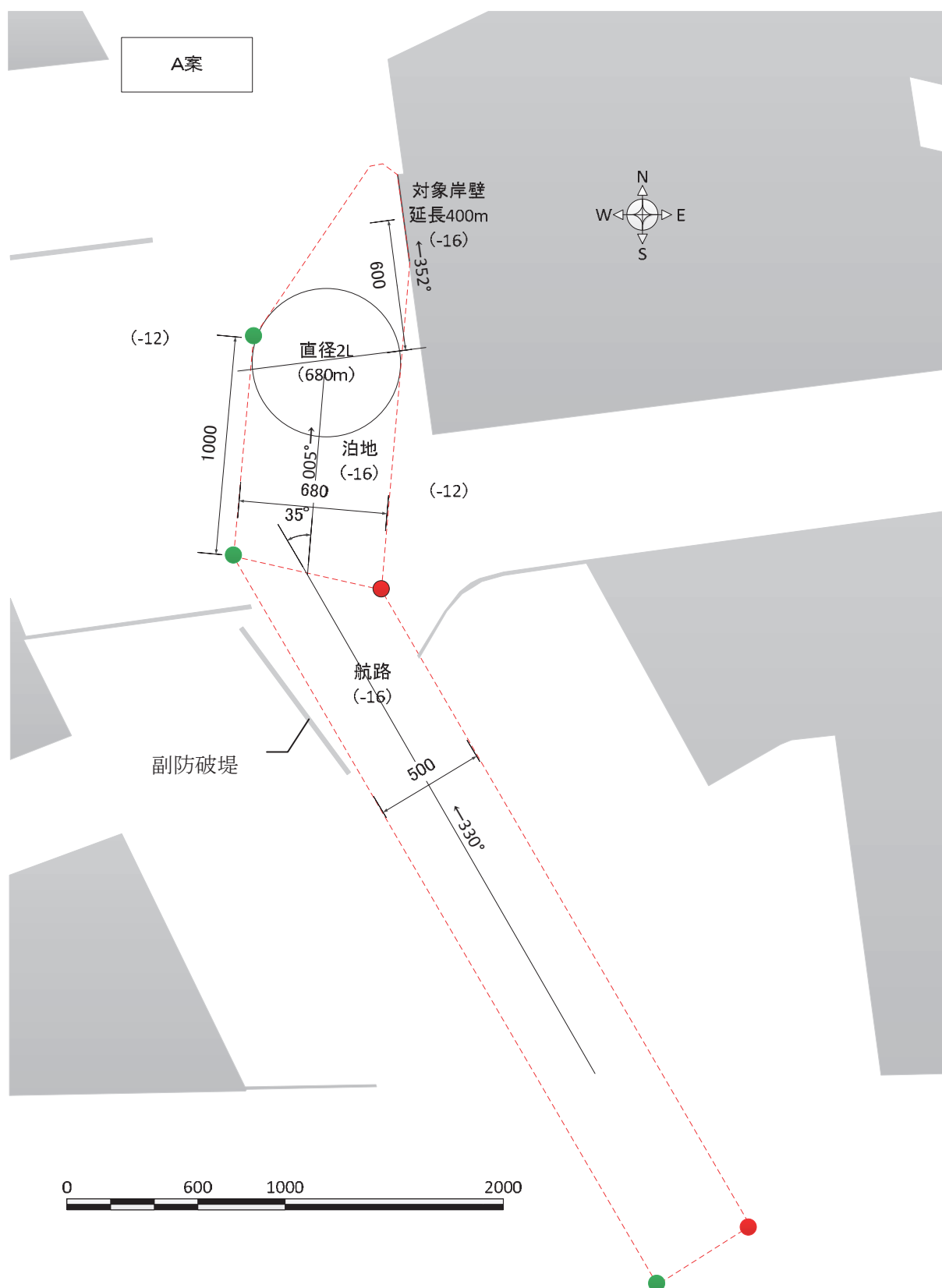


図 3.3 仮想検討案件における港形モデル A 案

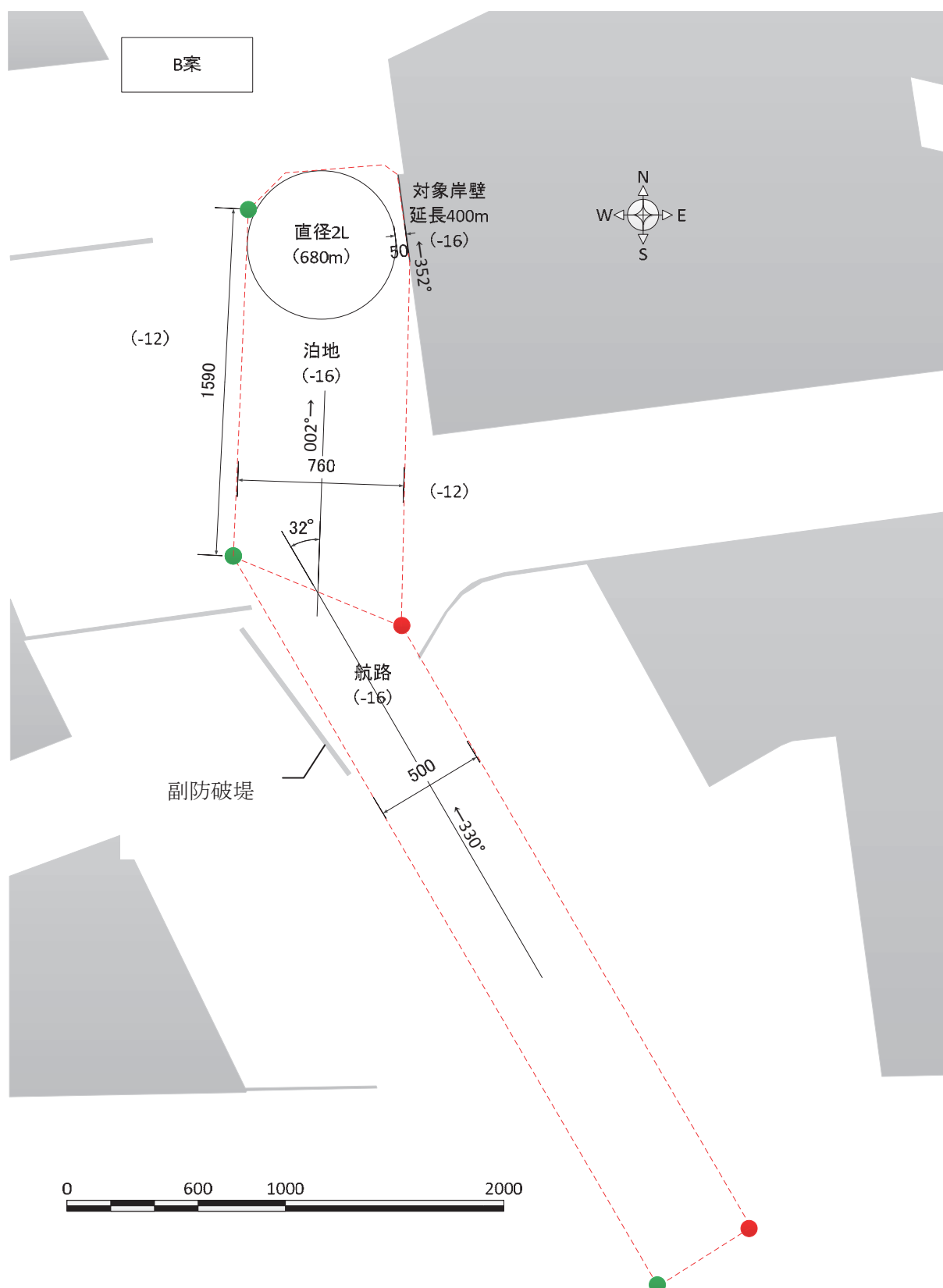


図 3.4 仮想検討案件における港形モデル B 案

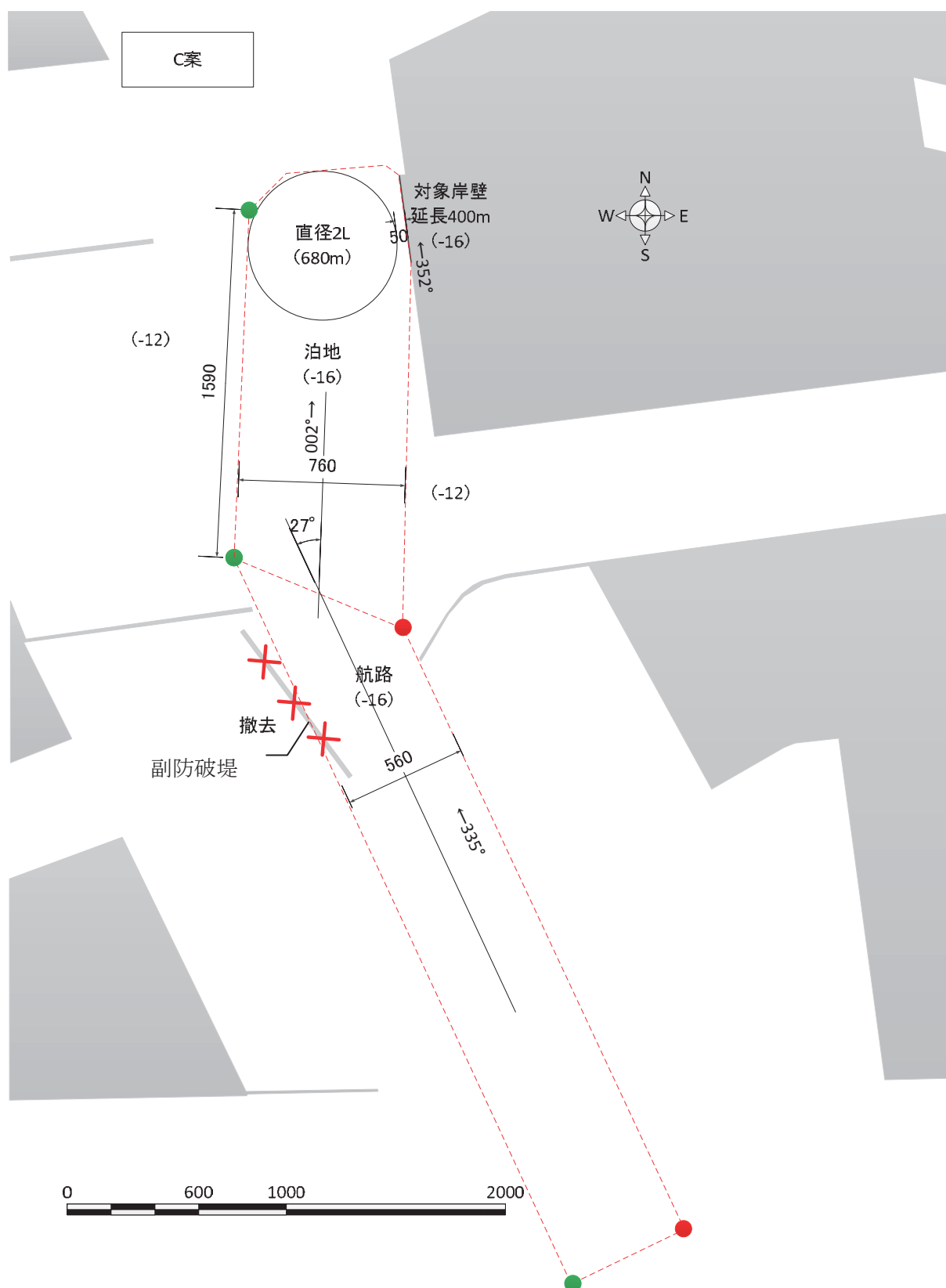


図 3.5 仮想検討案件における港形モデルC案

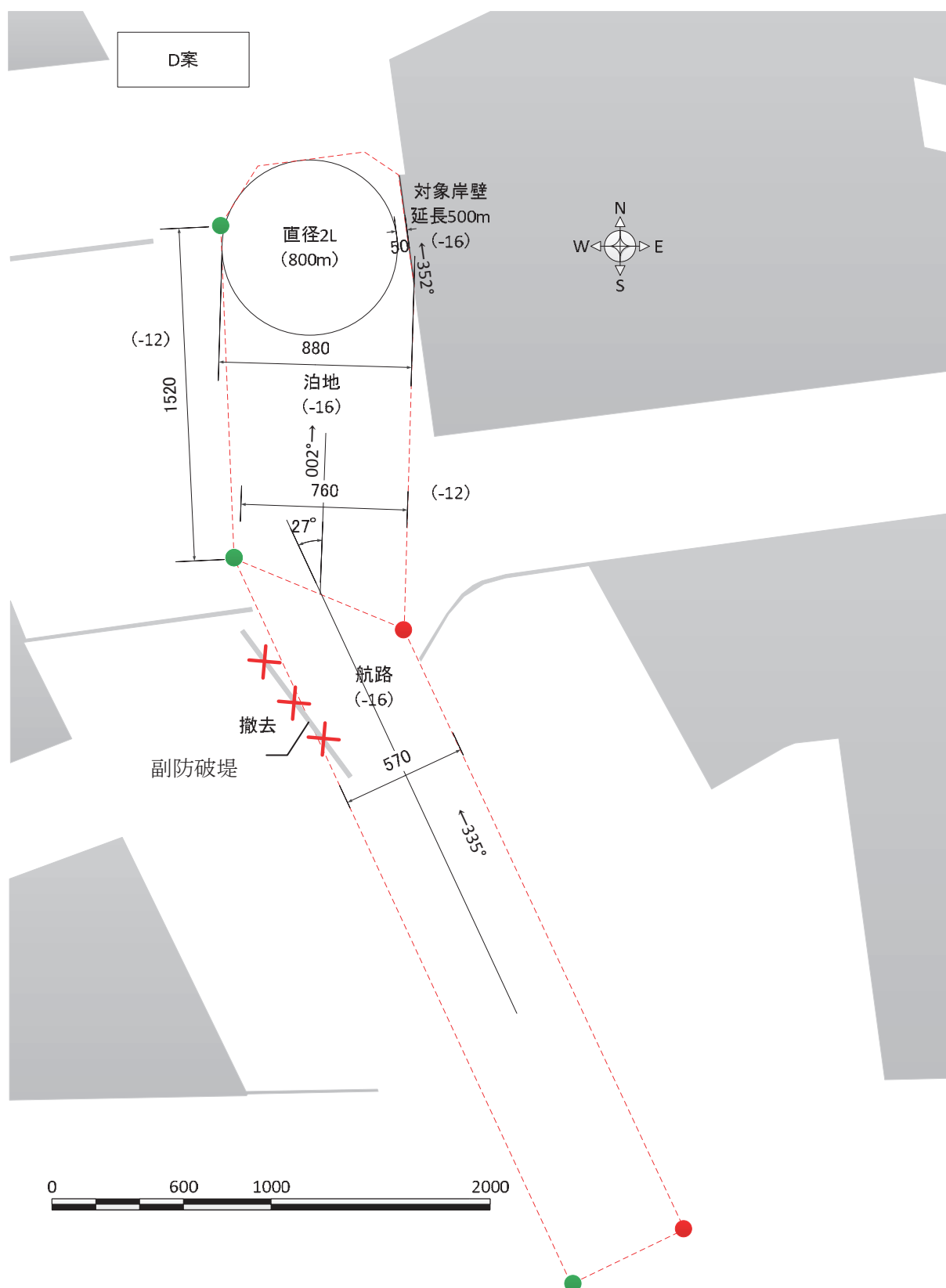


図 3.6 仮想検討案件における港形モデルD案

3.3.5 自然外力条件

港内操船に及ぼす影響が最も大きい風況を評価の対象とした。

(1) 風況

風向は、航路・泊地航行中及び着離岸操船に最も影響が大きいと考えられる横風（West：向岸風）を設定した。

風速は、パターン①（施設に係る検討）においては、平均的な風速条件として風速 8m/sec（ダーベンポートの周波数スペクトルに基づく変動風）を設定し、パターン②（運用に係る検討）においては、平均的な風速（8 m/sec）に加え、やや強い風速 10m/sec、さらに強い風速 12m/sec を設定した。

(2) 流況・波浪

港内なので操船に及ぼす影響は少ないものとして設定しないこととした。

(3) 視界・昼夜間

地形影響及び外力影響を検討するため、昼間の視界良好な状態を想定した。

3.3.6 他船交通条件

地形影響及び外力影響を検討するため、他船交通及び係留船舶は設定しないこととした。

3.3.7 対象操船局面

(1) 入港操船

航路中央付近からスタートし航路内を「保針」する。

泊地に向けて「変針」し、岸壁前面に向けて「減速・アプローチ」し、タグボート、スラスターにより横移動して「着岸」する。

なお、港形モデル B 案と港形モデル C 案は、「減速・アプローチ」と「着岸」局面は、ほぼ同じ地形条件なので、港形モデル B 案については、「保針」及び「変針」局面までとする。

(2) 出港操船

入船右舷着けの状態からタグボート、スラスターで「離岸」し、回頭円に移動して防波堤間に向首するまで「回頭」する。

なお、港形モデル B 案と港形モデル C 案は、「離岸」と「回頭」局面は、ほぼ同じ地形条件なので、港形モデル B 案については実施しない。

3.4 実施ケース

実施ケースは、表 3.7に示すとおり、各ケース 3 人（回）実施した。

パターン①「施設に係る検討」では、港形モデル A 案、B 案、C 案それぞれの地形条件に基づく操船結果を局面ごとに比較することを目的とし、パターン②「運用に係る検討」では、外力（条件）条件に基づく操船結果を局面ごとに比較することを目的とするものである。

表 3.7 実施ケース

検討条件					
Case No	案件モデル	港形モデル	船型	入出港	外力（風）
1	パターン① 「施設の検討」	A 案	標準	入港	West 8m/sec
2		B 案	〃	〃	〃
3		C 案	〃	〃	〃
4		A 案	標準	出港	West 8m/sec
5		B 案	〃	〃	〃
6		C 案	〃	〃	〃
7	パターン② 「運用の検討」	D 案	大型	入港	West 8m/sec
8		〃	〃	〃	West 10m/sec
9		〃	〃	〃	West 12m/sec
10		D 案	大型	出港	West 8m/sec
11		〃	〃	〃	West 10m/sec
12		〃	〃	〃	West 12m/sec

3.4 出力及び分析・評価結果

3.4.1 評価項目の設定

過年度の検討結果を踏まえ、試行した操船シミュレーション結果については、各操船局面で表 3.8に示す具体的な評価項目を出力し、パターン①については港形モデル(A 案、B 案、C 案)ごと、パターン②については外力条件ごと(風速 8~12m/sec)、船舶条件ごと(全長 340m 級と全長 400m 級)に比較する。

なお、パターン①「出港局面」case4~6 での比較は、case5 (B 案) と 6 (C 案) との出港局面での地形条件が類似しているため、case5 は省略した。

また、パターン②の外力条件ごと(風速 8~12m/sec)の比較については、より有意な差が得られ易いと考えられる「出港局面」case10~12 について実施することとし、「入港局面」case7~9 は省略した。

表 3.8 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。	・ 舵 ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	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。	・ 舵 ・ 主機関 ・ タグボート	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	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、バース前面で足を制御する。	・ 主機関 ・ タグボート ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バースまでの距離等)	・ 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	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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 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	1. 接岸速度(船首尾の接岸速度差) 2. タグボートの使用量/率 3. スラスタの使用量/率 4. 主機使用頻度(回数)
(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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 速やかに離岸できたか ・ 制御余裕をもって離岸できたか	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. スラスタの使用量/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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関 ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(広さ、水深、位置)	・ 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	1. 必要回頭水域の広さ(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. スラスタの使用量/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)

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

3.4.2 基本出力図の作成

操船シミュレーションによる操船結果については、通常、対象船舶の操船・制御状態及び運動状態を示すものとして、表 3.9に示すとおり航跡図及び操船状況を示す出力項目を図化して操船状況を説明する。図 3.7～図 3.10 は、基本出力図の例を示している。

操船結果の出力項目は、「制御量」と「運動状態」に関する項目に分類することができる。速力を制御するために用いられる主な制御手段は、“エンジンテレグラフ（主機・プロペラ回転数）”あるいは低速時には“配備タグボートの使用状況（配備位置、方向、推力）”であり、針路を制御するために用いられる主な手段は、一定以上の速力で前進しているときは、“舵”あるいは“ポッド推進器の方向角”であり、低速で航行しているときは“スラスターの出力”及び“配備タグボートの使用状況”が「制御量」として示される。

エンジンテレグラフによる主機操作や配備タグボートの使用による速力制御の結果及び風潮流等外力影響を船体が受けた結果、“前後方向速力”が結果として示される。舵や低速時のスラスター、タグボートの操作による針路制御の結果及び風潮流等外力影響を船体が受けた結果、“船首方位”や“回頭角速度”の変化あるいは“斜航角（ドリフトアングル）”といった運動状態がもたらされ、着離岸等船体横移動時は“船首尾の横方向速度”の運動状態が示される。

表 3.9 操船結果の出力項目

航跡図	本船の位置・船形を一定時間間隔（1～3 分ごと）に描画する。
操船状況図	本船に対する操船・制御状況（●）及び運動状態（○）の様子を時系列で表したグラフを出力する。 【制御量に関する出力項目】 ● エンジンテレグラフポジションもしくはプロペラ回転数[rpm] ● 舵角もしくはポッド推進器の方向角[deg] ● スラスターの出力 ● 配備タグボートの使用状況（配備位置、方向、推力等） 【運動状態に関する出力項目】 ○ 前後方向速力[knots] ○ 船首尾の横方向移動速度[cm/sec] ○ 船首方位[deg] ○ 回頭角速度[deg/min] ○ 斜航角（ドリフトアングル）[deg]

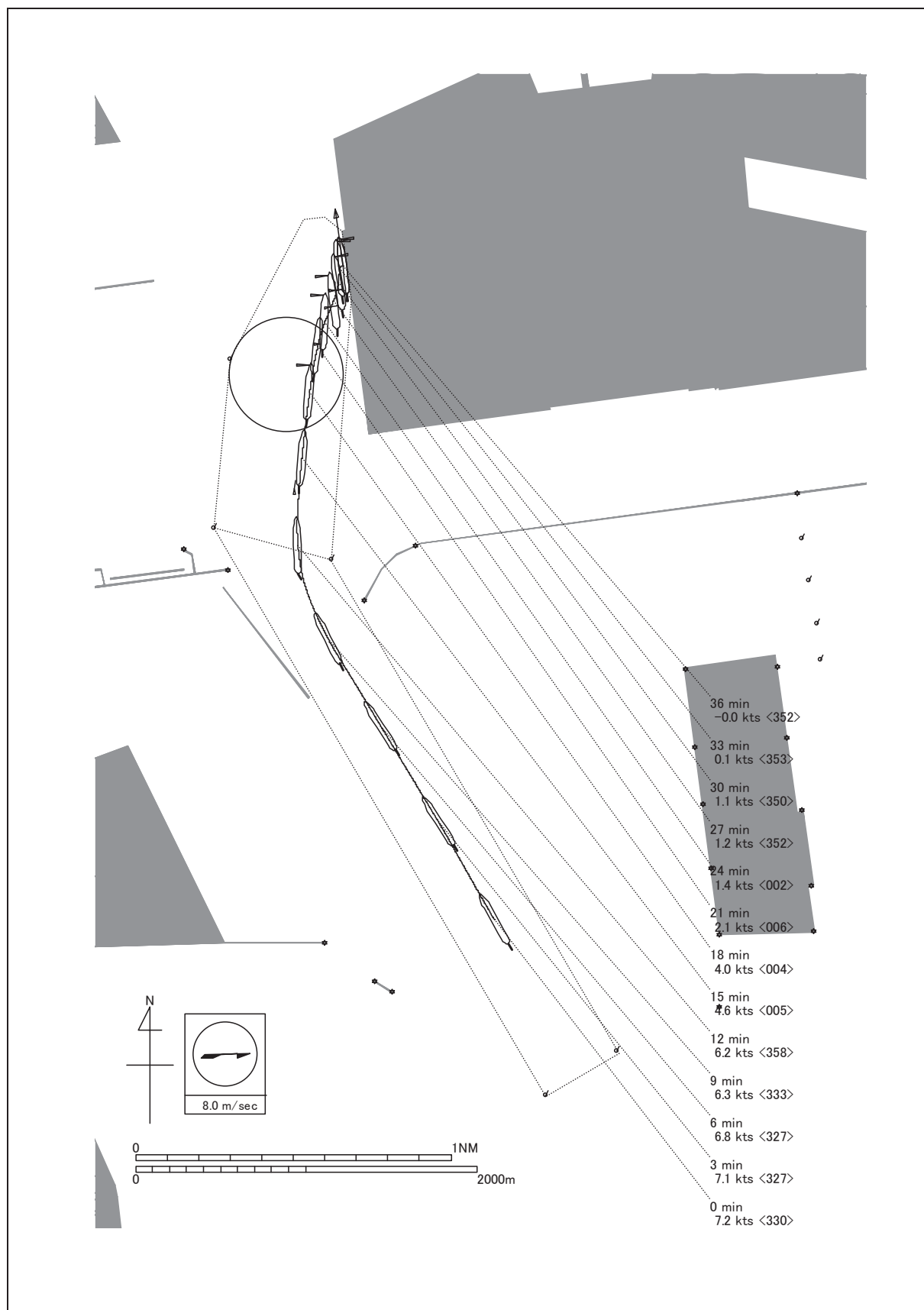


図 3.7 基本出力図（航跡図：全体図）

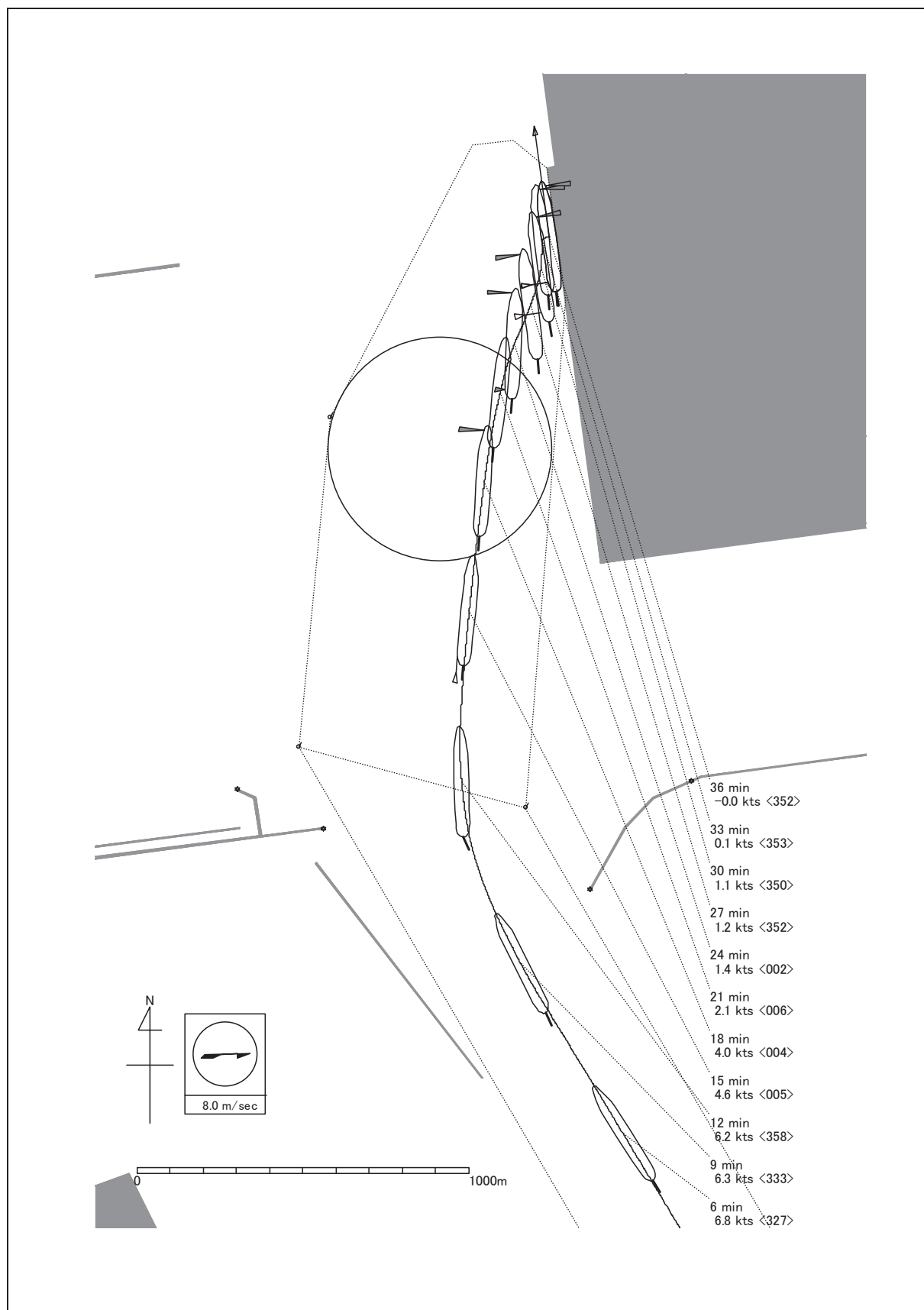


図 3.8 基本出力図（航跡図：部分拡大図）

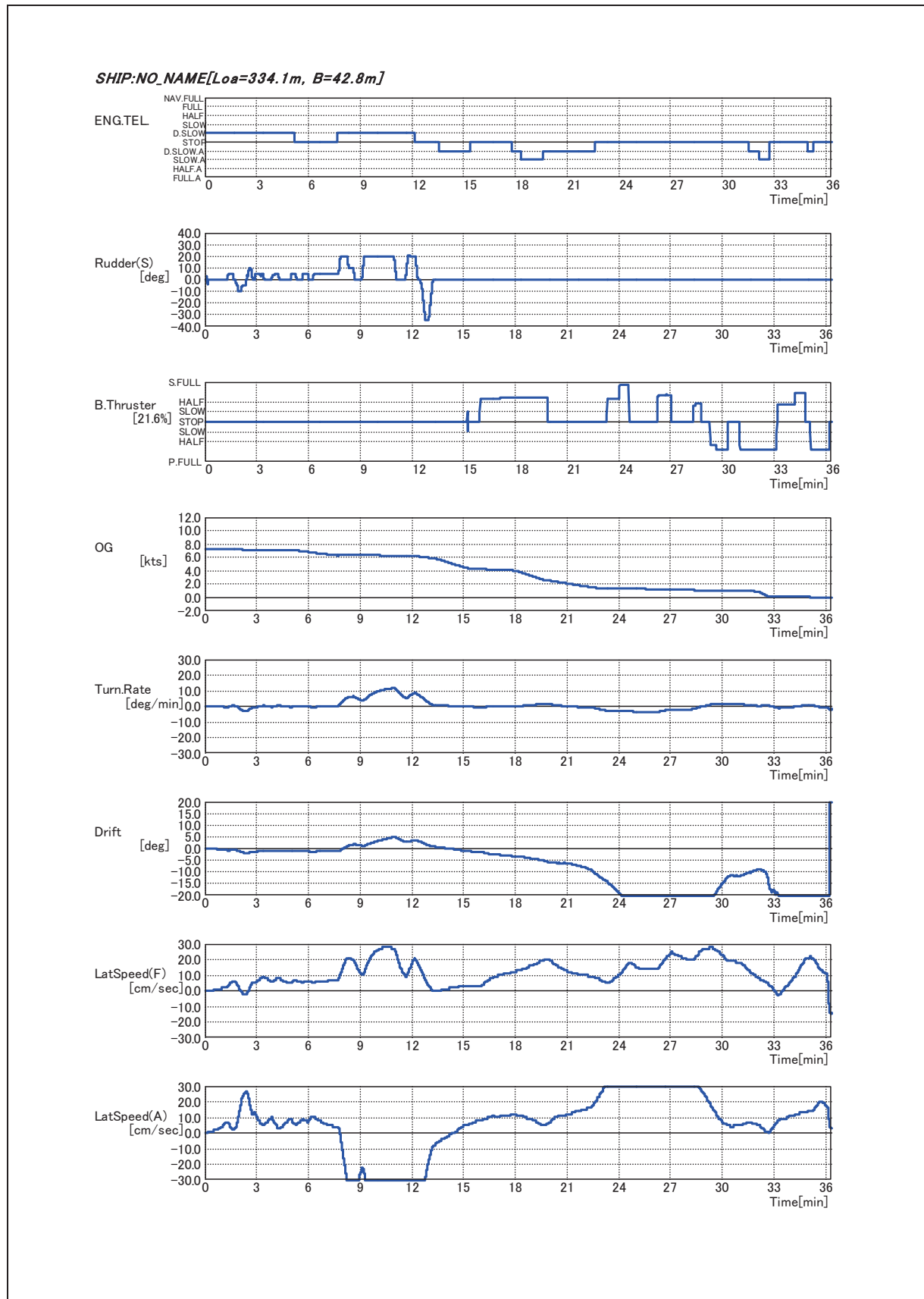


図 3.9 基本出力図（操船状況図）

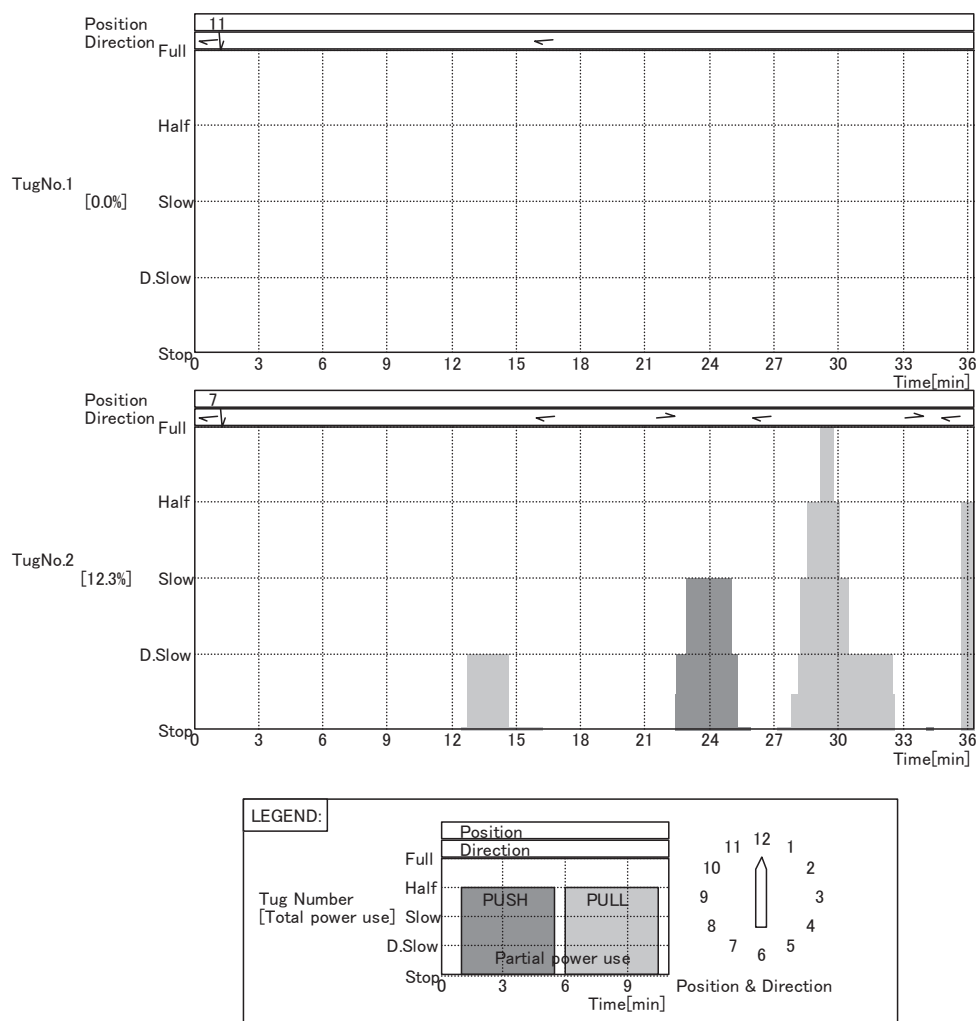


図 3.10 基本出力図（タグボート使用状況図）

3.4.3 操船意図と操船結果

操船シミュレーション結果については、航跡とグラフによる操船状況の図示のみでは操船者の意図が分からず、なぜそのような結果になったのかについて操船当事者以外は理解しにくい。

各ケースの操船実験開始前に操船者に操船プランを示してもらい、実験の結果プラン通りの操船が行えたのかどうかや、操船実験中に操船者に操作の目的・意図をコメント・解説してもらいながら実験を進めて分析に反映することなどが有効と考えられる。

試行的シミュレーションにおいても、事前に操船者に質問票を配布し、操船計画を記入してもらうとともに、操船結果について意図どおりに行えたのかどうかについて回答してもらった。

そこで以下のとおり、操船結果と操船計画・意図を対比させて出力図を作成した。

(1) 施設に係る検討：パターン①

① 入港操船ケース（Case1、2、3）

地形A、B、Cのそれぞれで、風向West8m/secの条件のもと、各ケース3人で実施した入港操船結果と操船計画、また、操船者が意図通りに行えたかどうかの自己評価を図 3. 11～図 3. 13 に示す。

② 出港操船ケース（Case4、6）

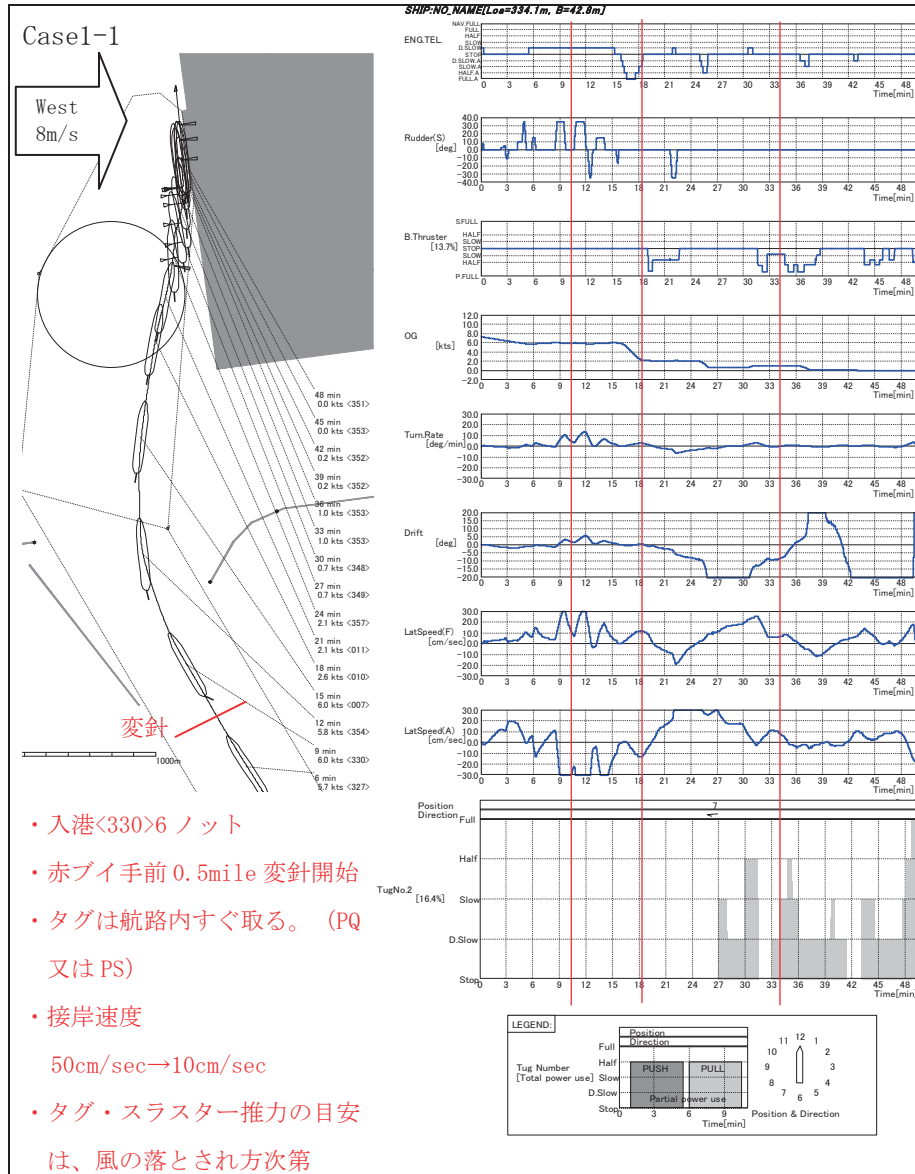
地形AとCにおいて、風向West8m/secの条件のもと、各ケース3人で実施した出港操船結果と操船計画、また操船者が意図通りに行えたかどうかの自己評価を図 3. 14、図 3. 15 に示す。

(2) 運用に係る検討：パターン②

① 出港操船ケース（Case10、11、12）

地形Dにおいて、風向West8、10、12m/secの条件のもと、各ケース3人で実施した出港操船結果と操船計画、また操船者が意図通りに行えたかどうかの自己評価を図 3. 16～図 3. 18 に示す。

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。 保針 変針 減速 着岸



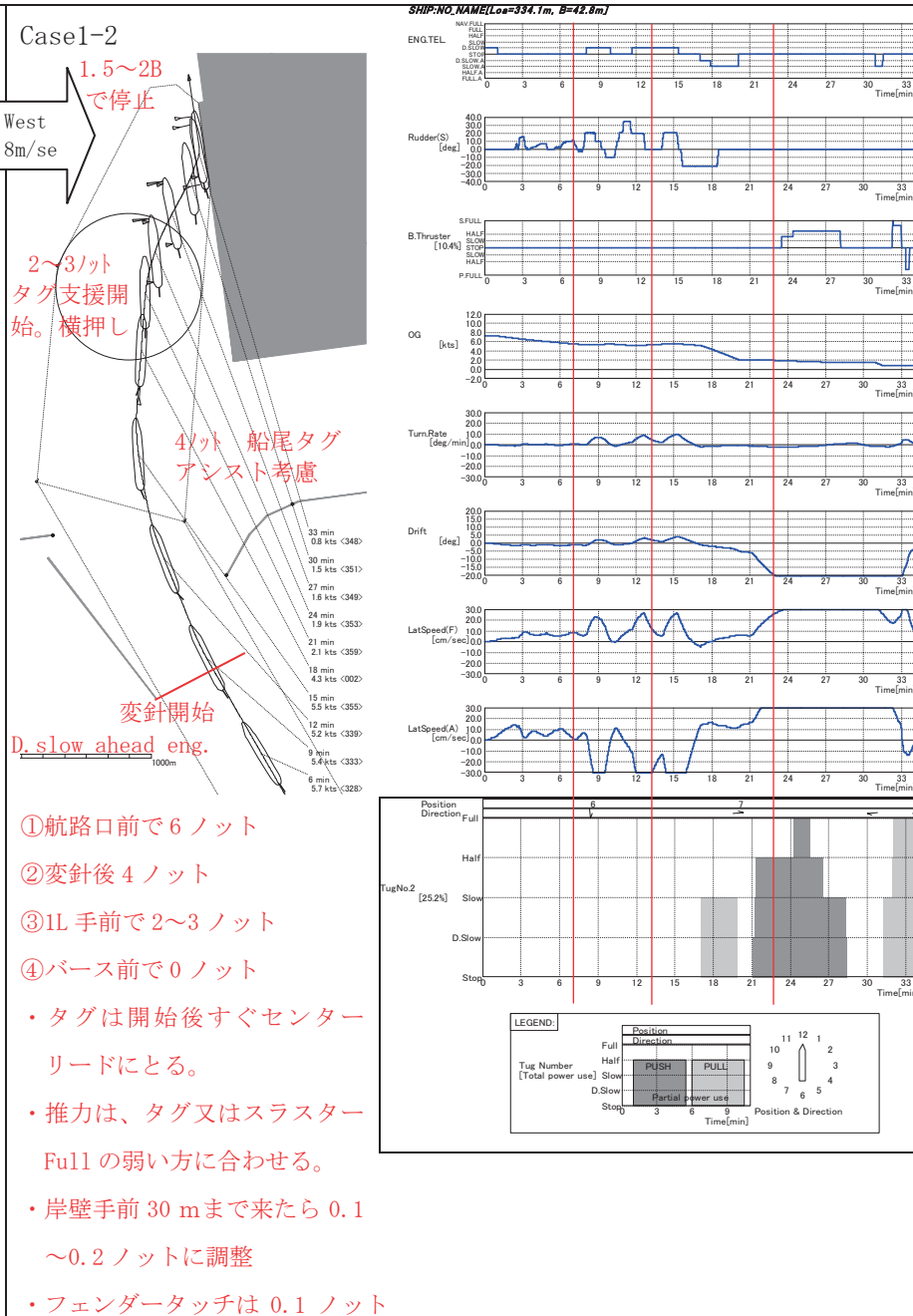
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

- ・風に落とされ前後位置を決める前に岸壁に寄りすぎた。

○操船はやや難しかった。

- ・平行に寄せていくのが難しかった。
- ・風に対する切り上がりはあまり感じなかったが、風に落とされるのは予想以上であり、風圧面積の大きさを感じた。



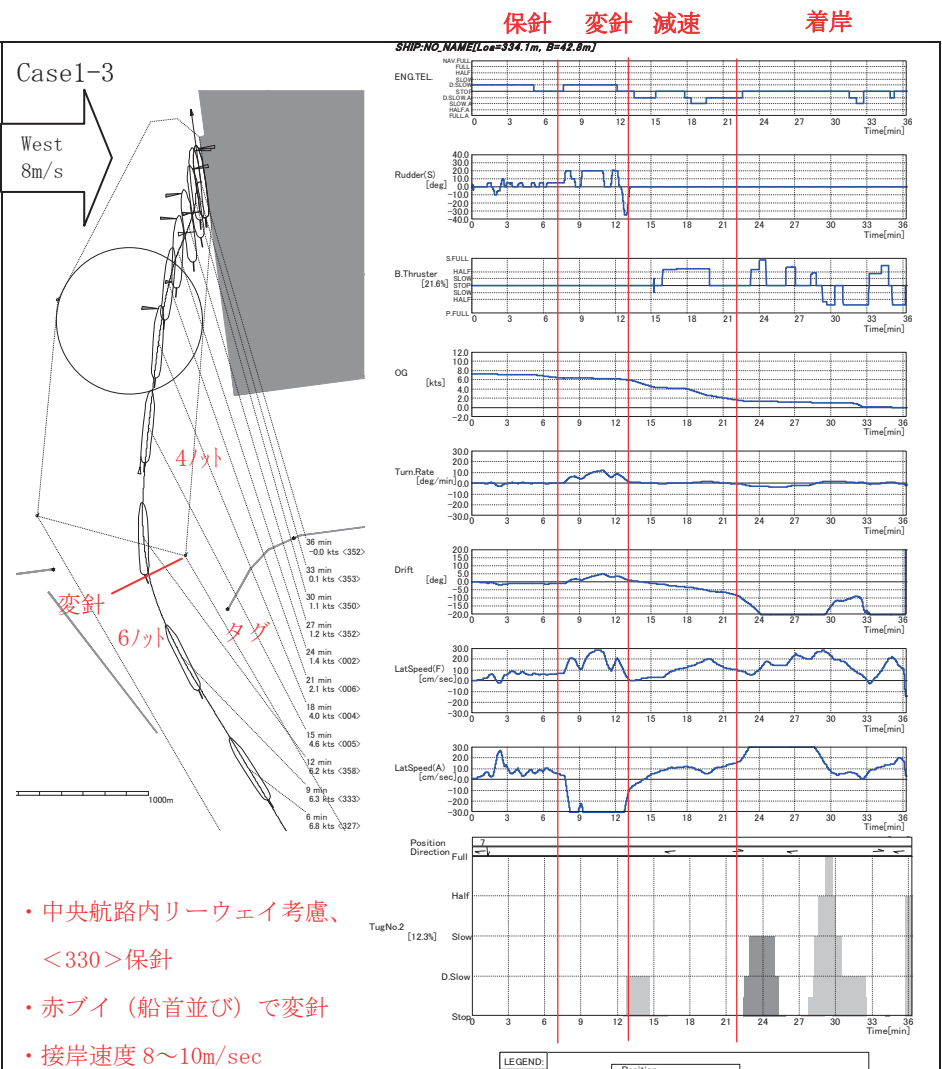
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

- ・岸壁クリアランス 1.5~2.0 Bで STOPとし、その後に接岸速度を調整しようと考えていたが、このままでもタグとスラスターで制御できるのではと思い、STOPせずに作業を続けたため速力制御、バランス調整を失敗した。(接岸速度過大)

○操船は難しかった。

- ・岸壁への接岸操船は難しい事が良く分かった。



【操船者の自己評価】

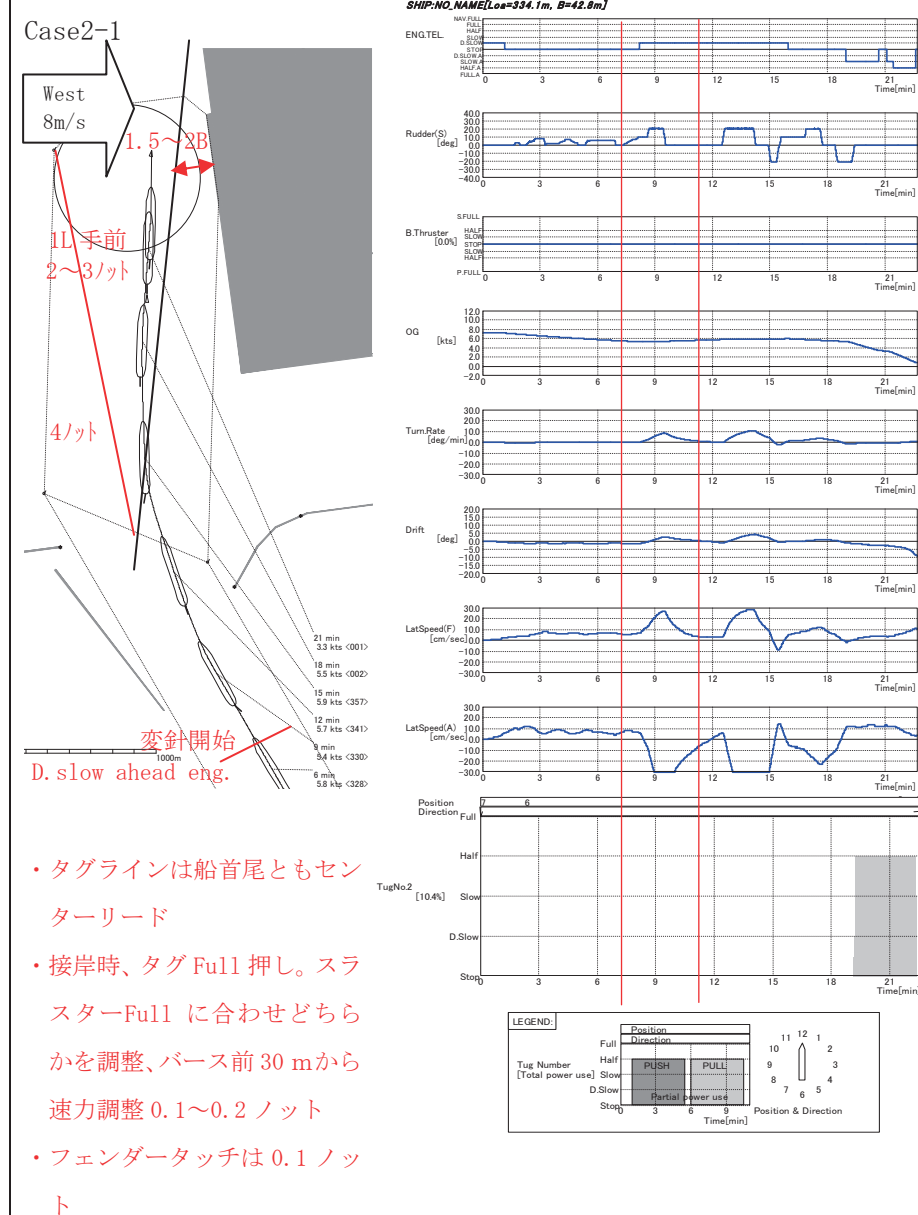
○計画どおりの操船がおおむね行えた。

- ・アプローチスピードと岸壁への寄り脚が早かった。

○操船は容易であった。

図 3.11 入港操船ケース (保針／変針／減速・アプローチ／着岸、Case1)

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。



- ・タグラインは船首尾ともセンサーリード
- ・接岸時、タグ Full 押し。スラスタ Full に合わせどちらかを調整、バース前 30 m から速力調整 0.1~0.2 ノット
- ・フェンダータッチは 0.1 ノット

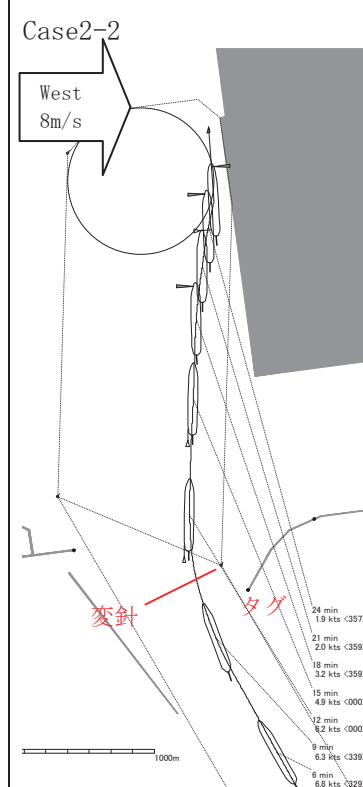
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

- ・回頭後の速力調整 (STOP ENG) とすべきところを STOP とせず。
- ・主機・タグを使用して速力を制御した。これによりバースへの接近距離が離れてしまった。

○操船は容易であった。

- ・失敗はしたが容易であった。航路幅、バースアプローチについては問題ない。
- ・バース前面北側の水深が 12 m であることを考えるともっと早めの減速が必要かとも思ったが、タグ・主機使用で速力制御は可能と考えた。

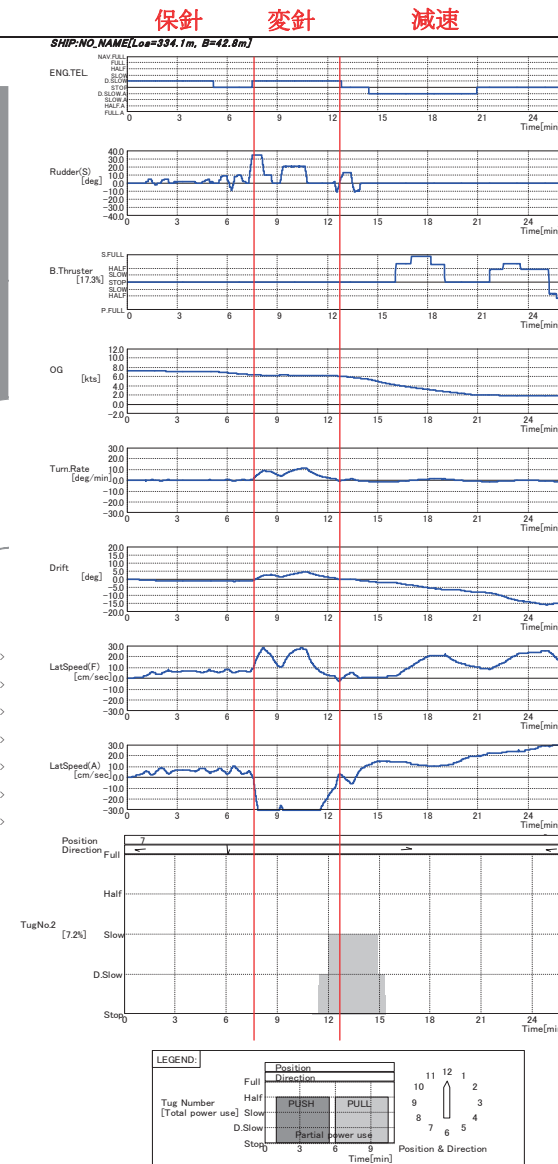


- ・船首が赤ブイ並行で変針
- ・7 防付近でタグを取る。
- ・接岸速度 2B で 8~10m/sec
1B で 8m/sec 以下

【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。



- ・関門でタグラインを取る。

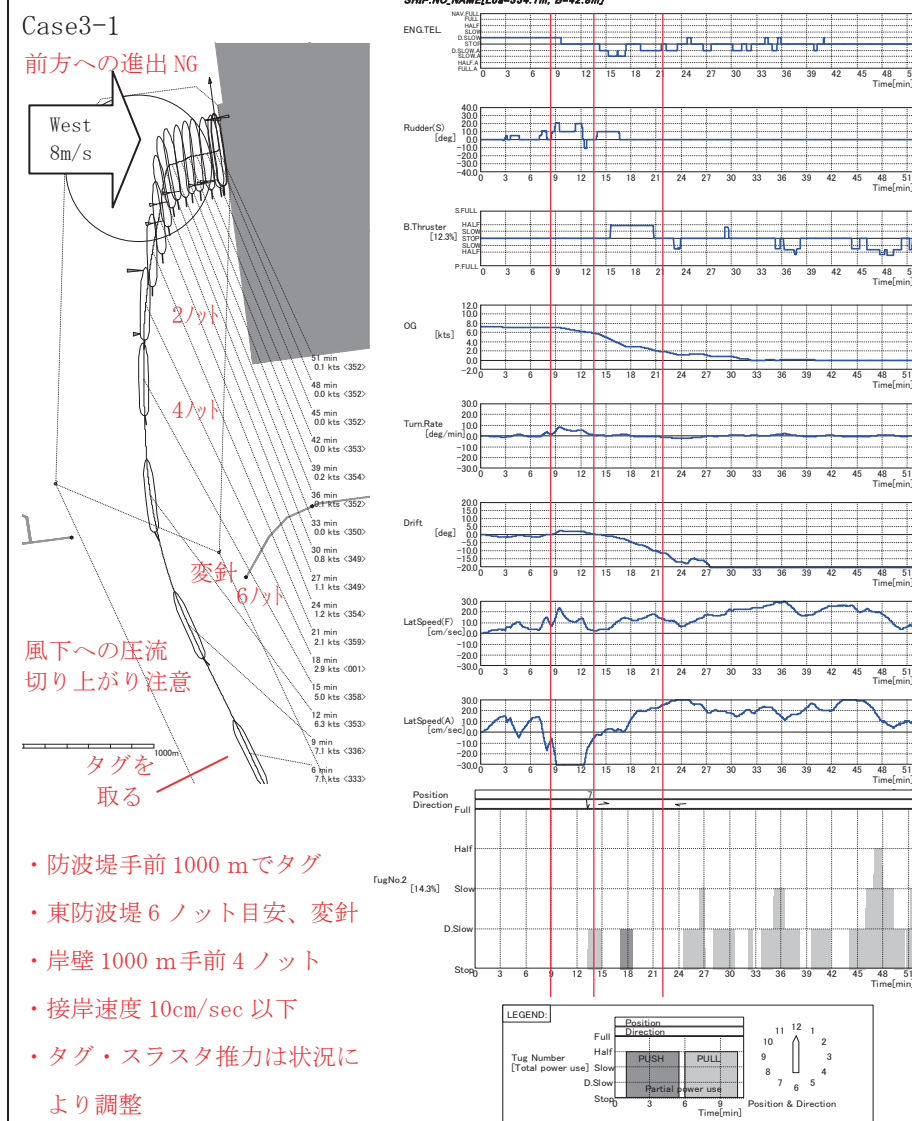
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

- ・2 回目なので要領がつかめた。
- 操船は容易であった。

図 3.12 入港操船ケース (保針/変針/減速・アプローチ/着岸、Case2)

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。保針 変針 減速 着岸



【操船者の自己評価】

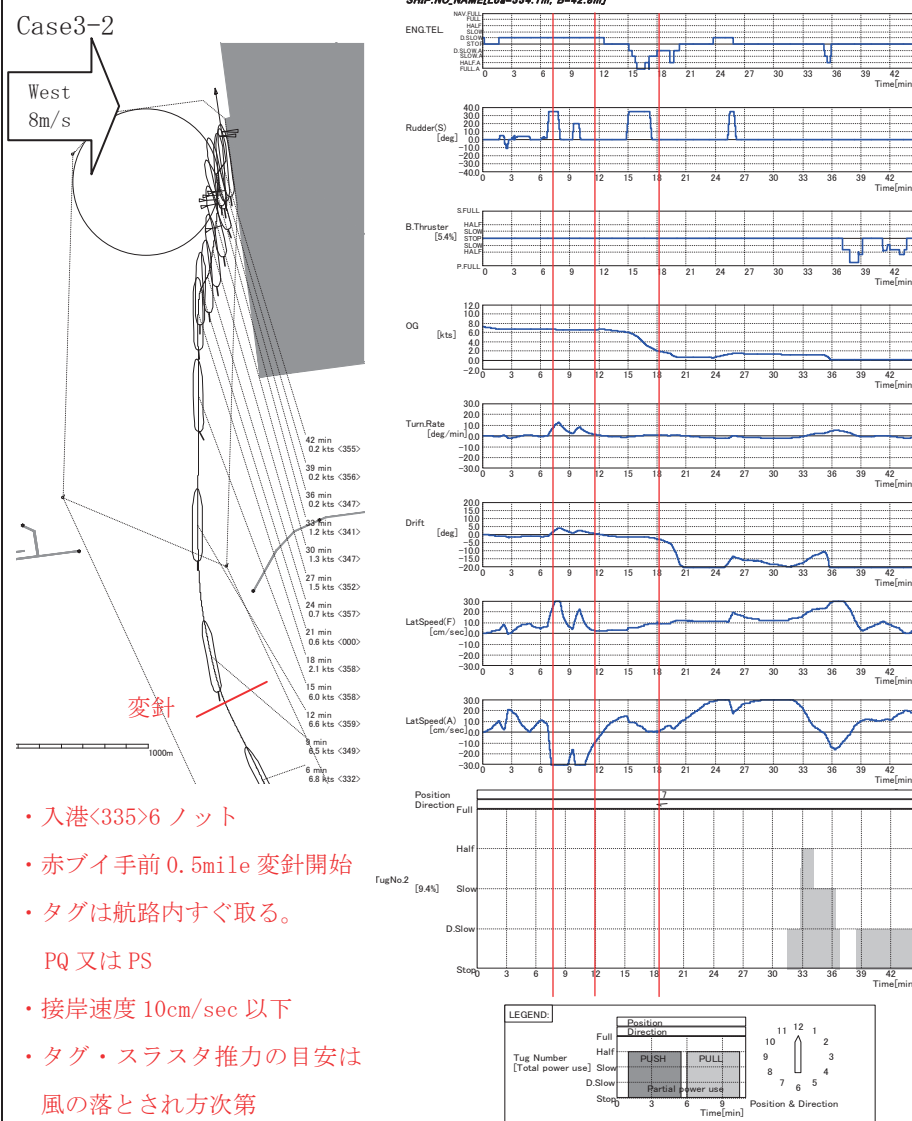
○計画どおりの操船がおおむね行えた。

• 六甲アイランド東端コーナー付近で速力 4 ノットを目安にしていたが、少し残速がありすぎた。

• 風下への圧流を気にし過ぎ、離岸距離を取りすぎた。幅寄せに慎重になりすぎて時間がかかった。

○操船は容易であった。

• 思ったより風上への切り上がりや圧流が少なかった。



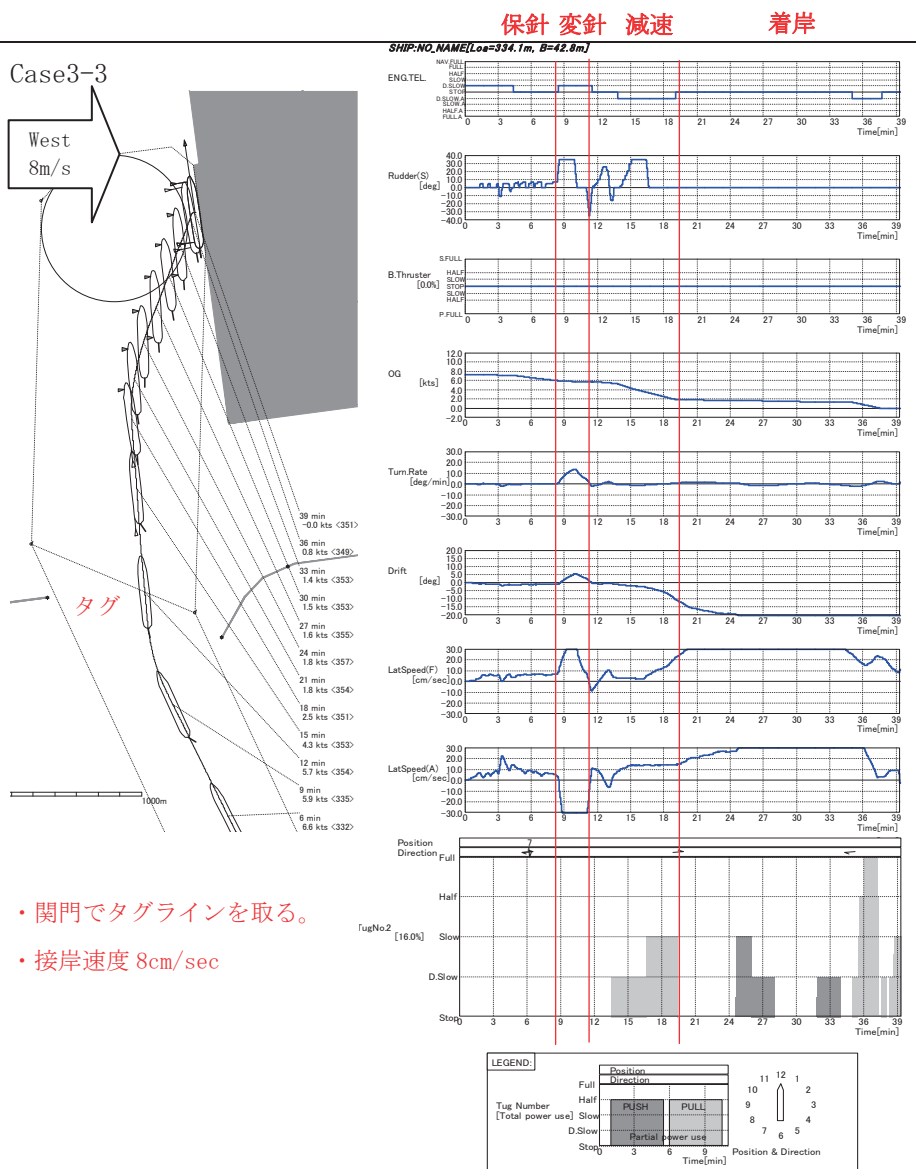
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

• 最後の寄り脚が 10cm/sec 以下にできなかった。

○操船はやや難しかった。

• 寄り脚制御が難しい。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

• 接岸速度の制御がまずかった。

○操船はやや難しかった。

• 接岸速度をもう少しうまく制御したかった。

図 3.13 入港操船ケース（保針／変針／減速・アプローチ／着岸、Case3）

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。

離岸

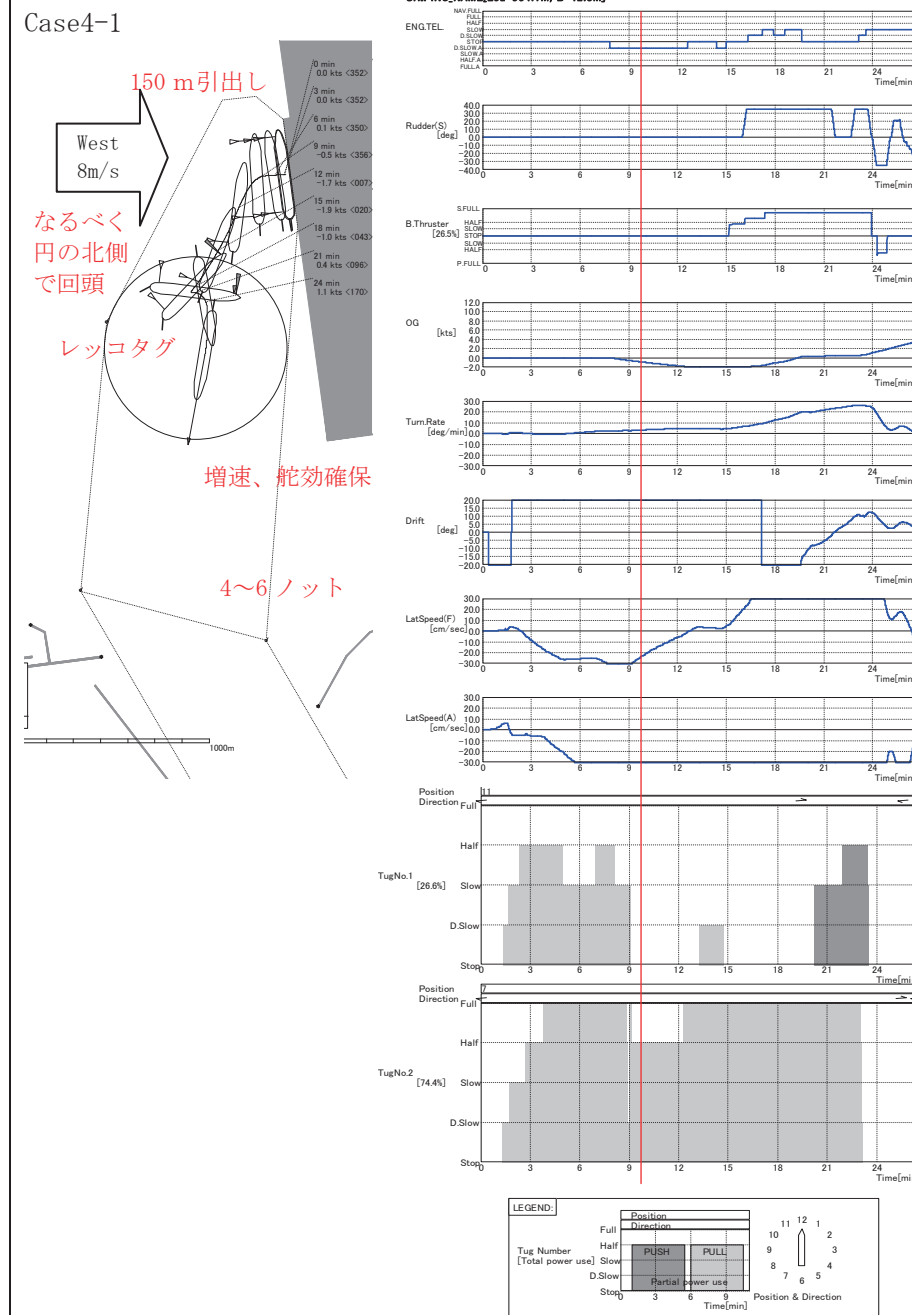
回頭

離岸

回頭

離岸

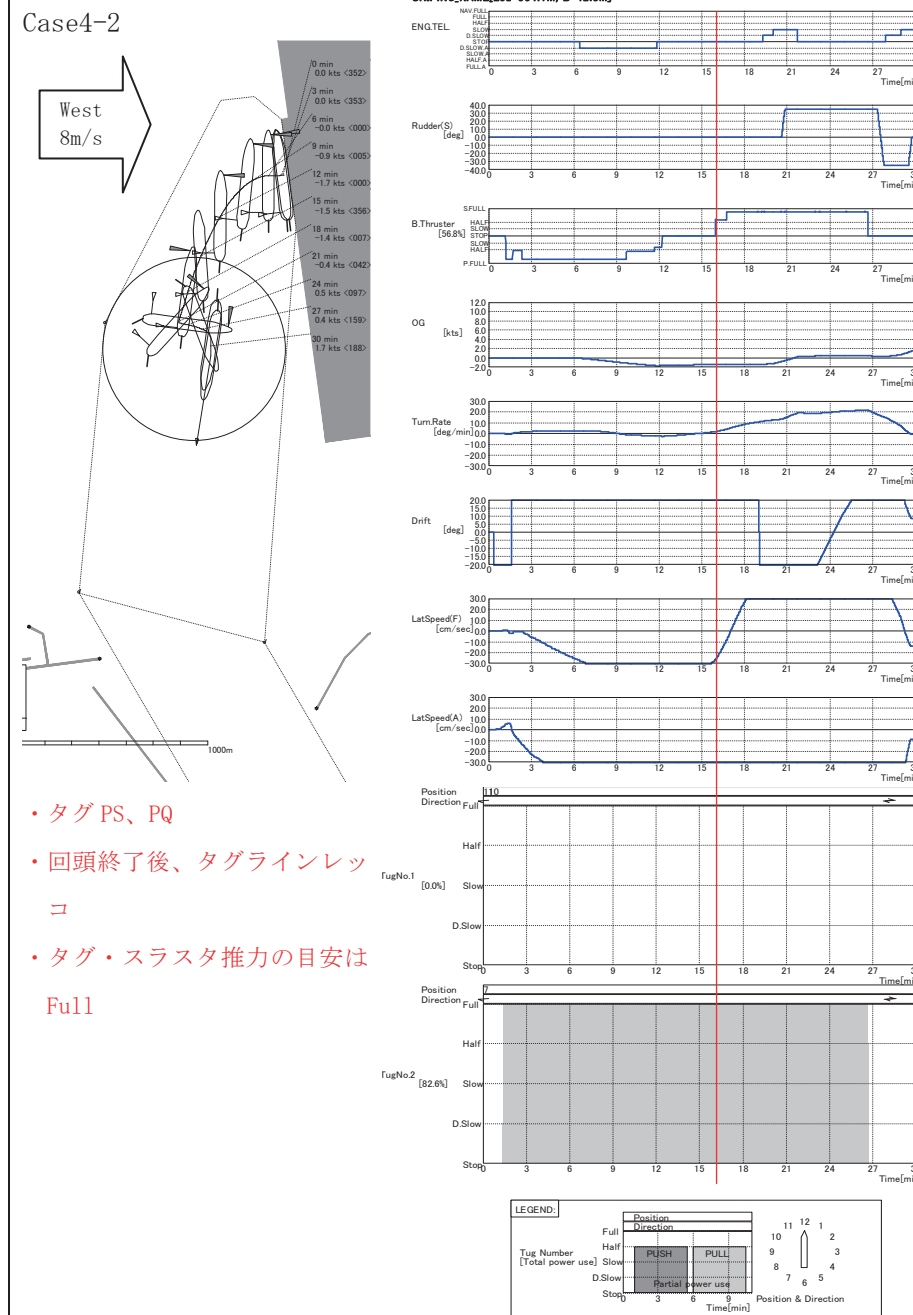
回頭



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えた。

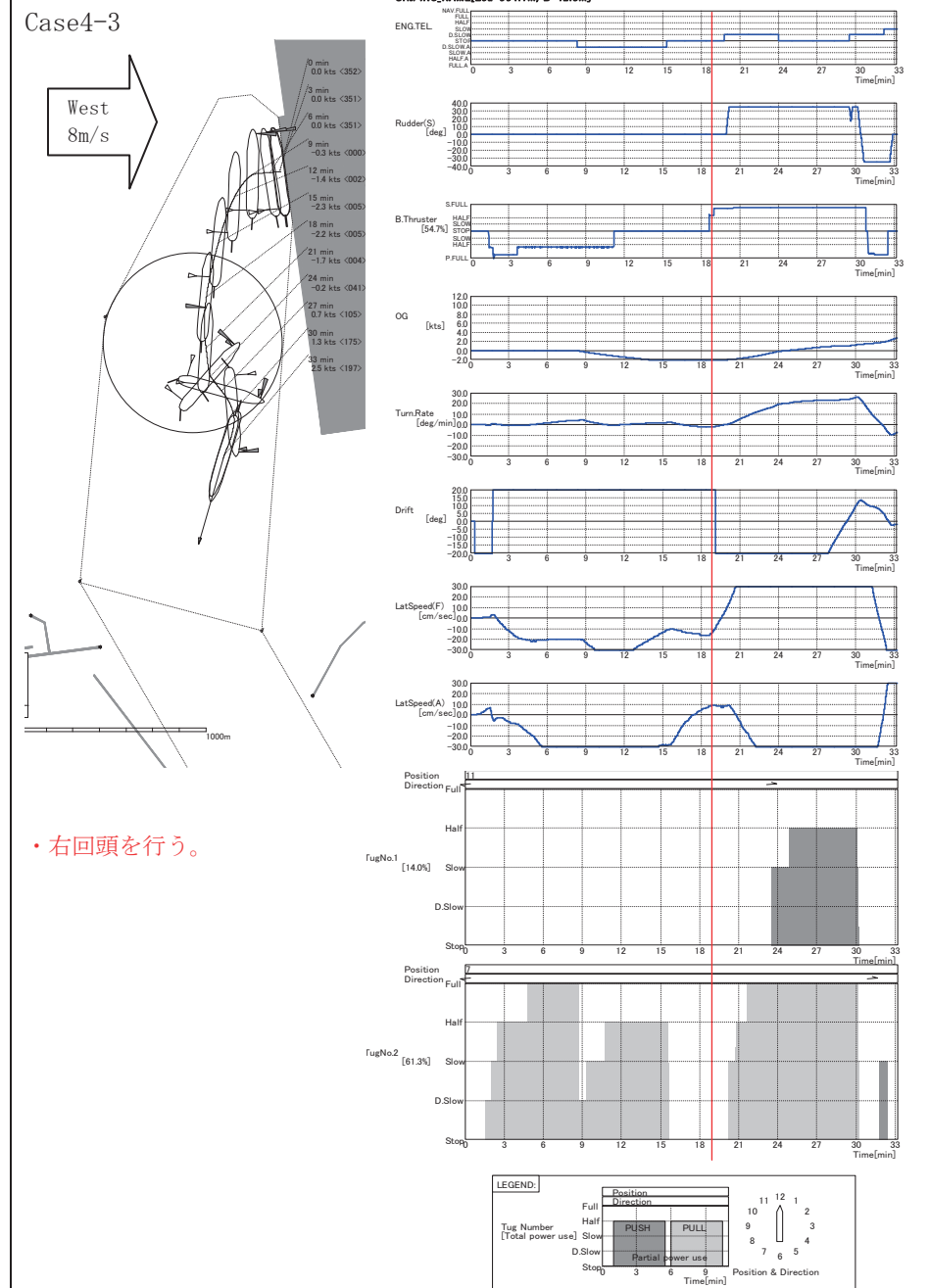
○操船は容易であつた。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であつた。



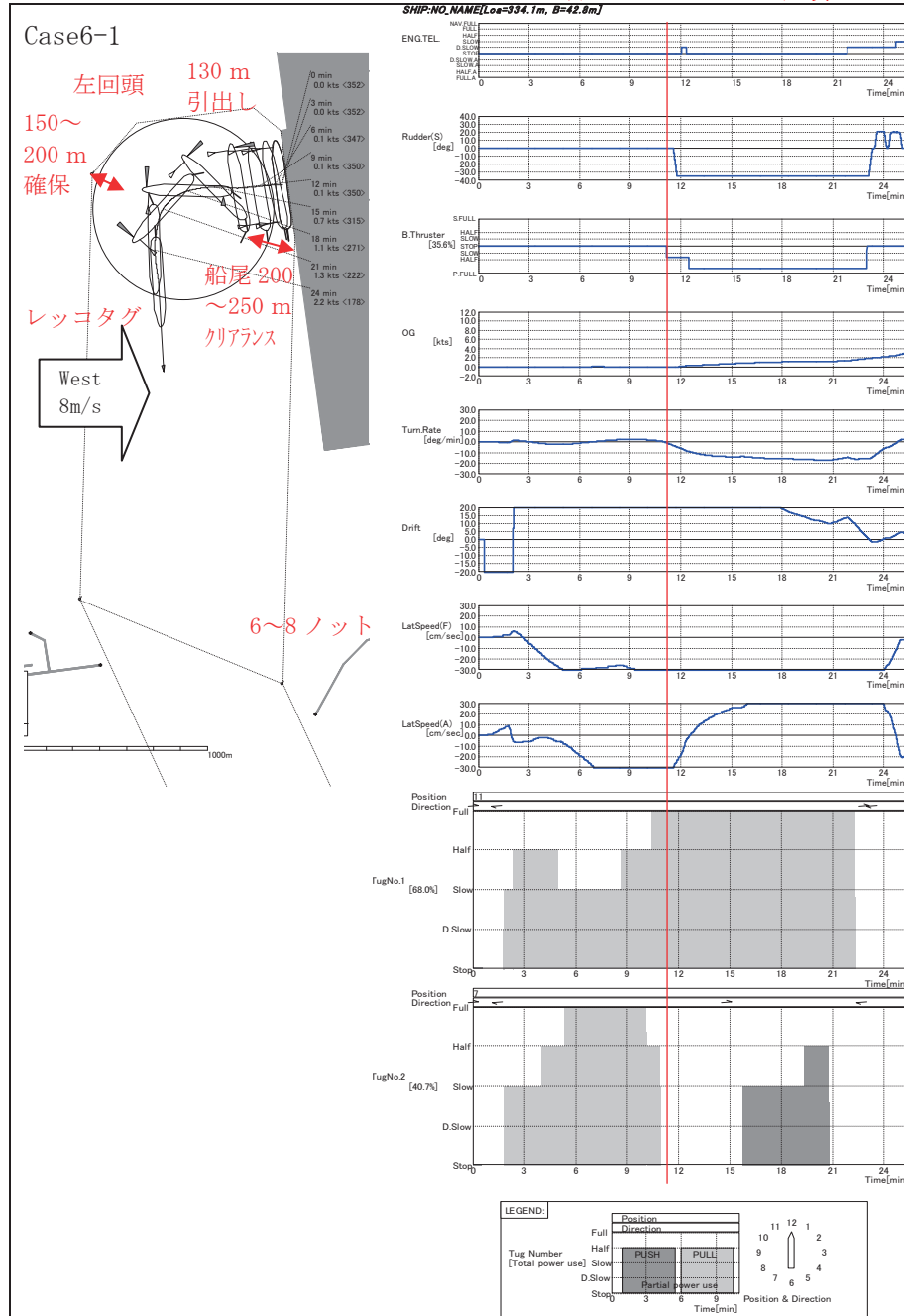
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

- ・船首が泊地線の内側 60 m でかわった。計画は 100 m 以上であった。
- 操船はやや難しかった。
- ・離岸はし易かったものの回頭域で停止回頭中に圧流された。

図 3.14 出港操船ケース（離岸／回頭、Case4）

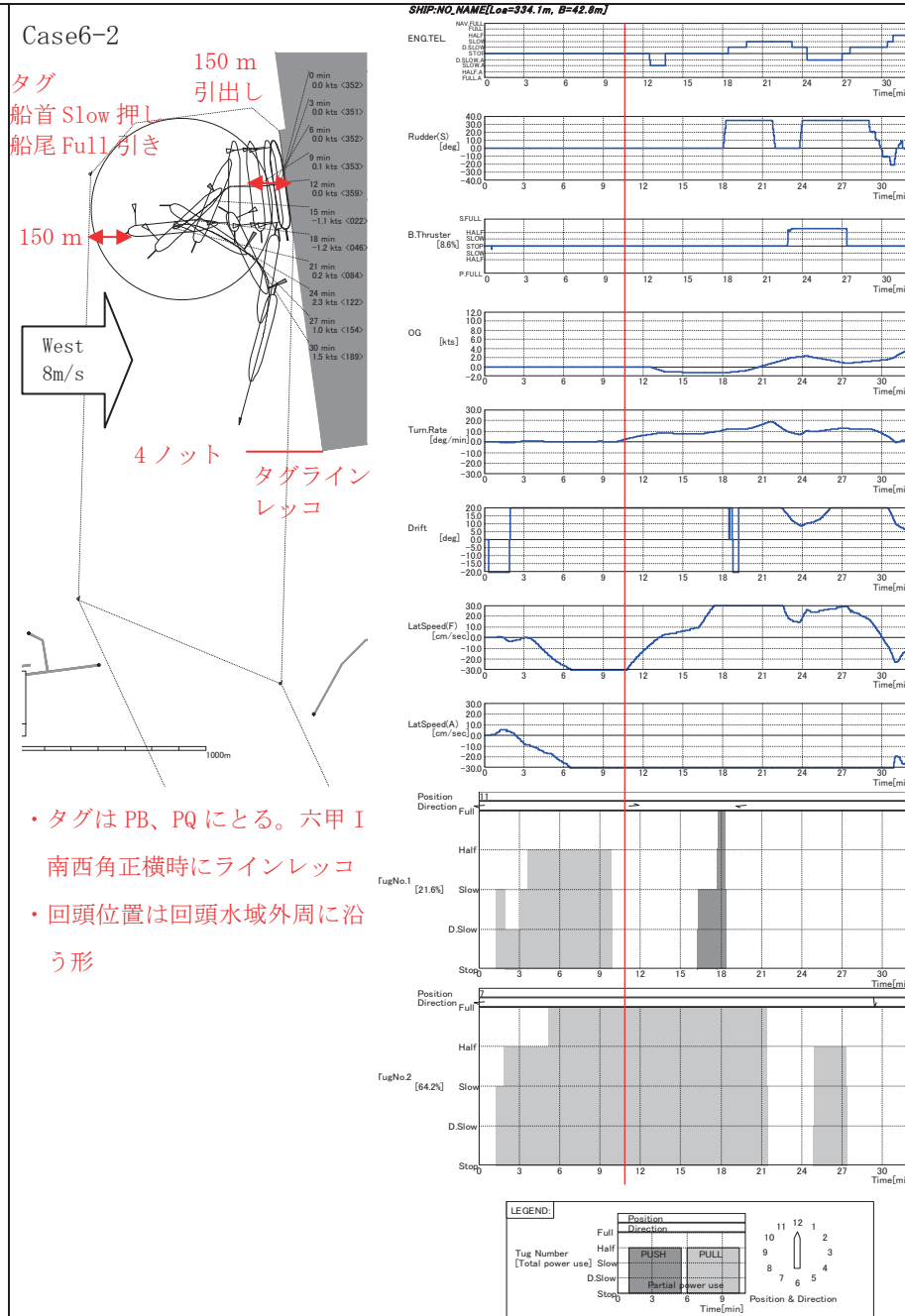
※航跡図中の赤字は操船計画を示す。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えた。

○操船は容易であった。



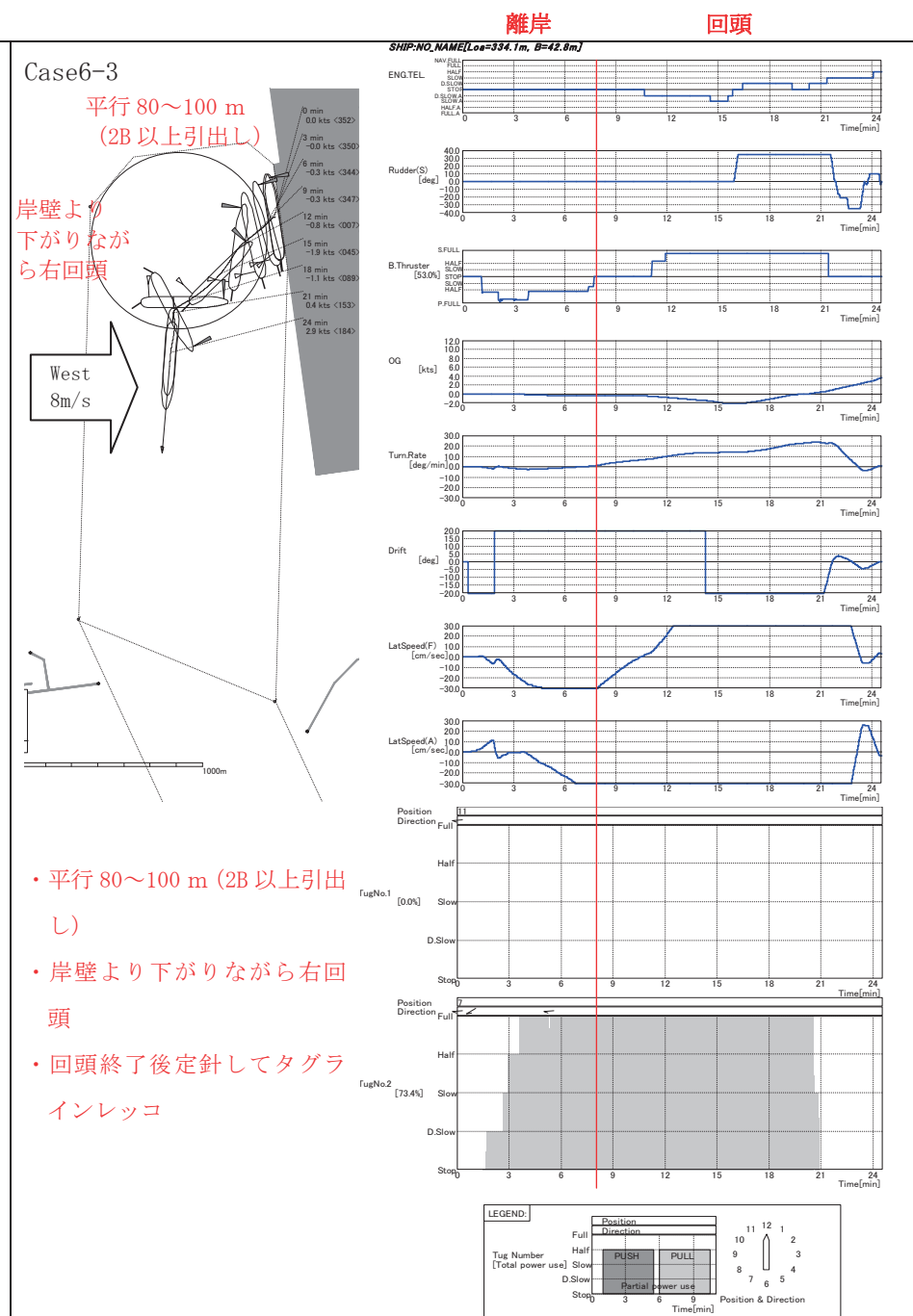
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

- ・タグレッコの後の回頭速度の読みが違った。
- ・風により回頭速度が落ちること、回頭中のリーウェイをもう少し考える必要があった。

○操船はやや難しかった。

- ・船首が 090 度になってからの回頭速度の調整
- ・タグラインは回頭終了までキープして調整に使用する。



【操船者の自己評価】

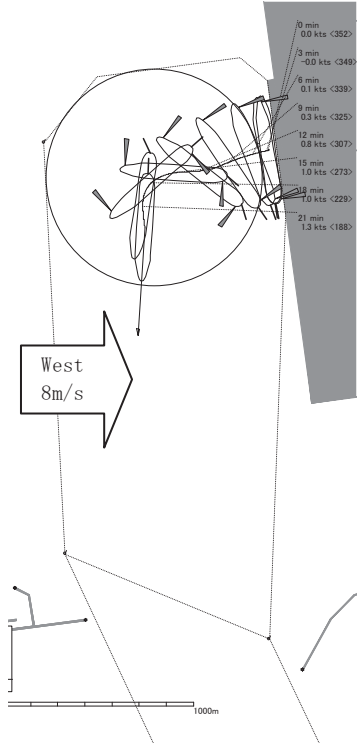
○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。

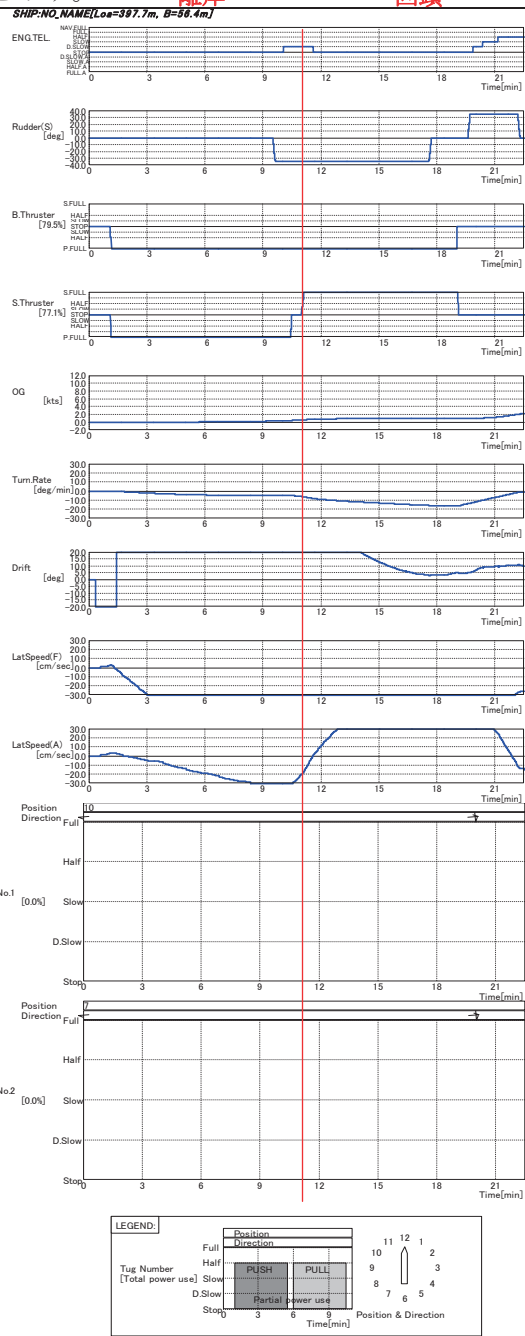
図 3.15 出港操船ケース（離岸／回頭、Case6）

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。

Case10-1



- ・タグ PS、PQ
- ・回頭終了後、タグラインレッコ
- ・タグ・スラスト推力の目安は Full



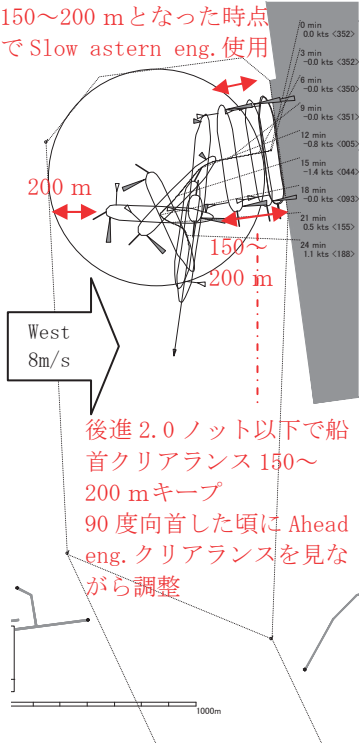
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船はやや難しかった。

- ・回頭後、速力が上がりにくい。

Case10-2



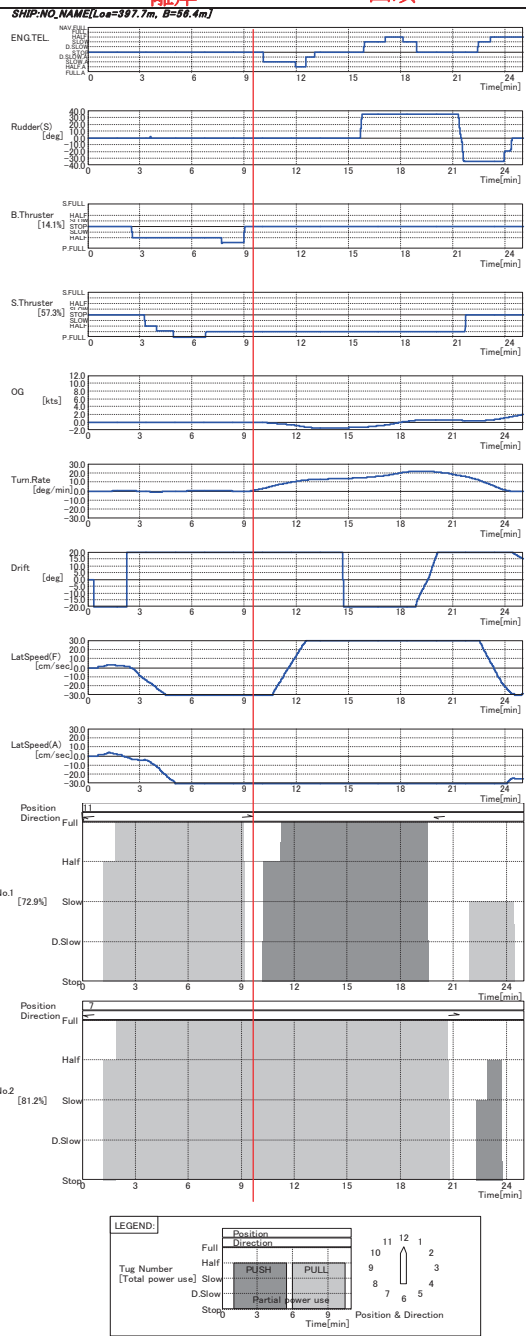
- ・タグ PB、PQ
- ・回頭円の縁を回るイメージで右回頭
- ・針路 090 まで
タグは Full 使用、スラスタは Half を基準に調整で使用
- ・針路 090 以降
タグは Full 使用、スラスタも Full まで。

【操船者の自己評価】

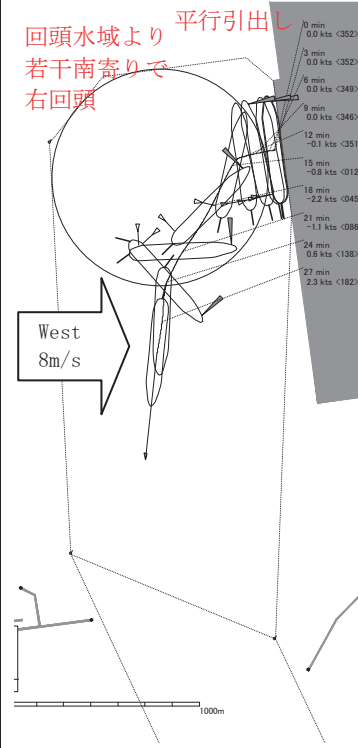
○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。

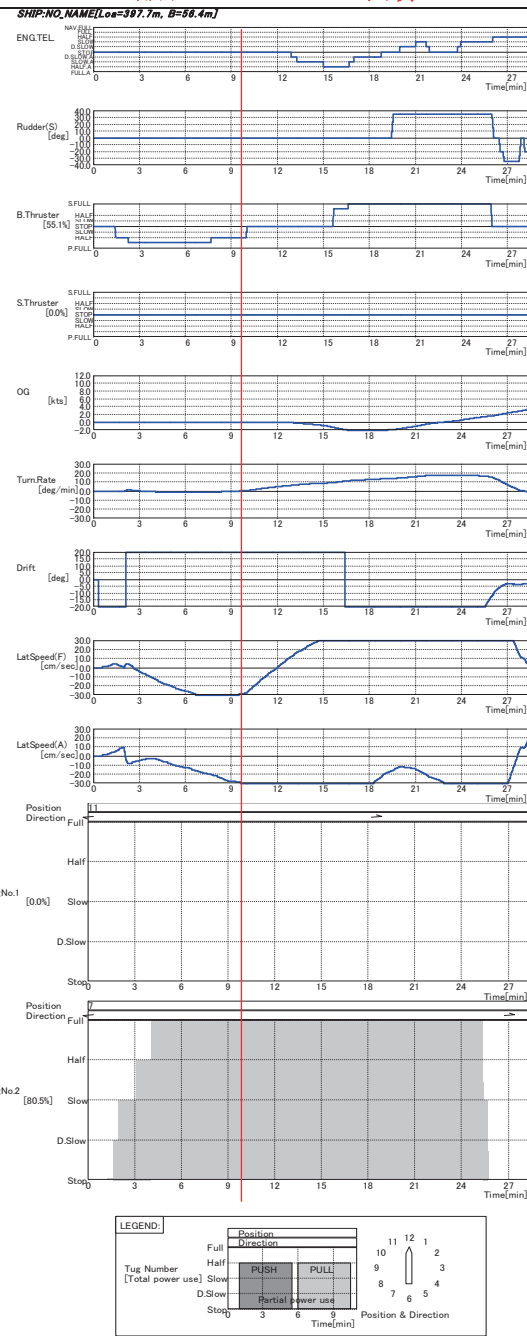
- ・三回目となり計画どおりの操船が行えた。



Case10-3



- ・2B 以上平行引出し。
- ・回頭水域より若干南寄りで右回頭
- ・回頭終了し、定針後タグラインレッコ



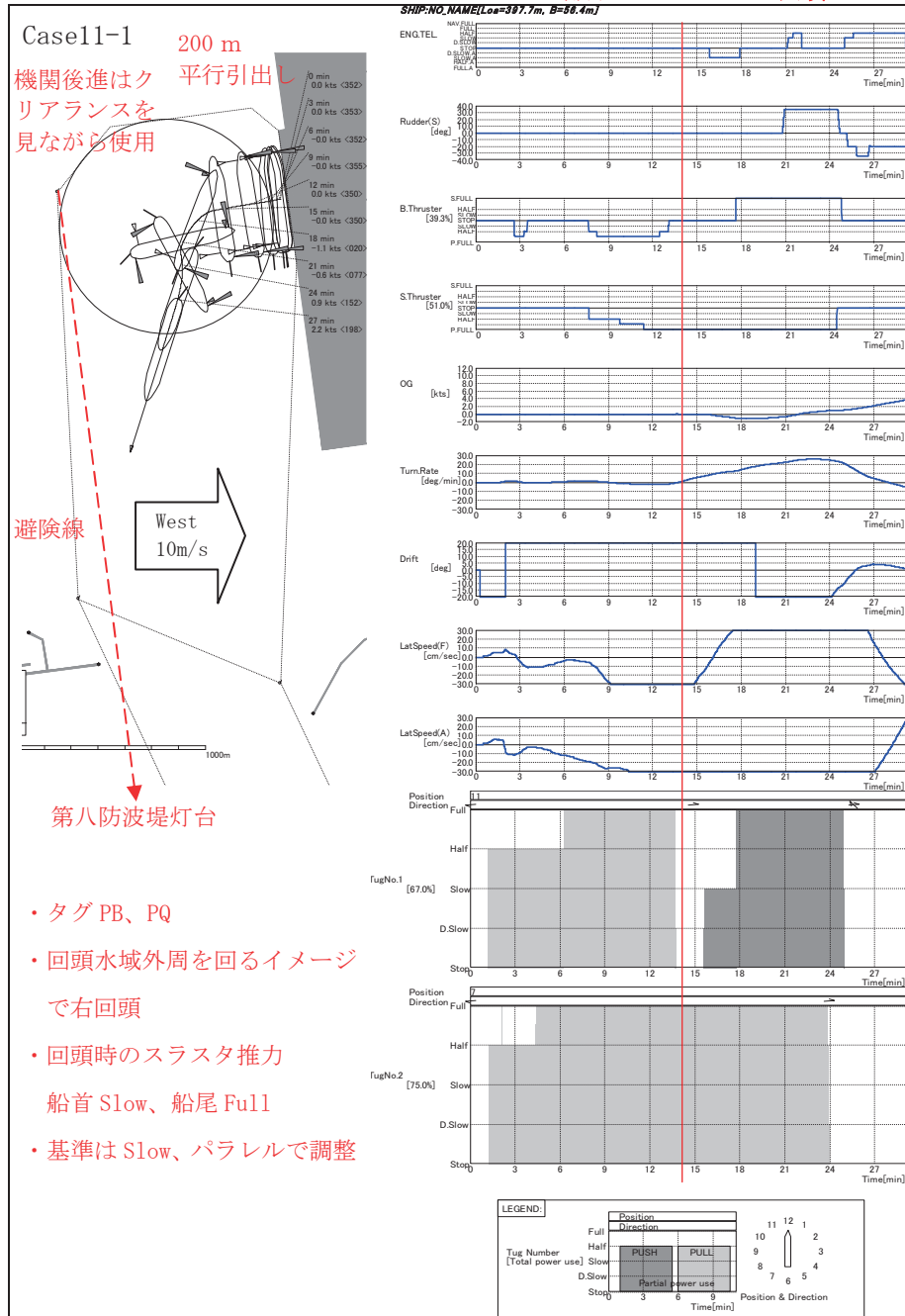
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。

図 3.16 出港操船ケース（離岸／回頭、Case10）

※航跡図中の赤字は操船計画を示す。



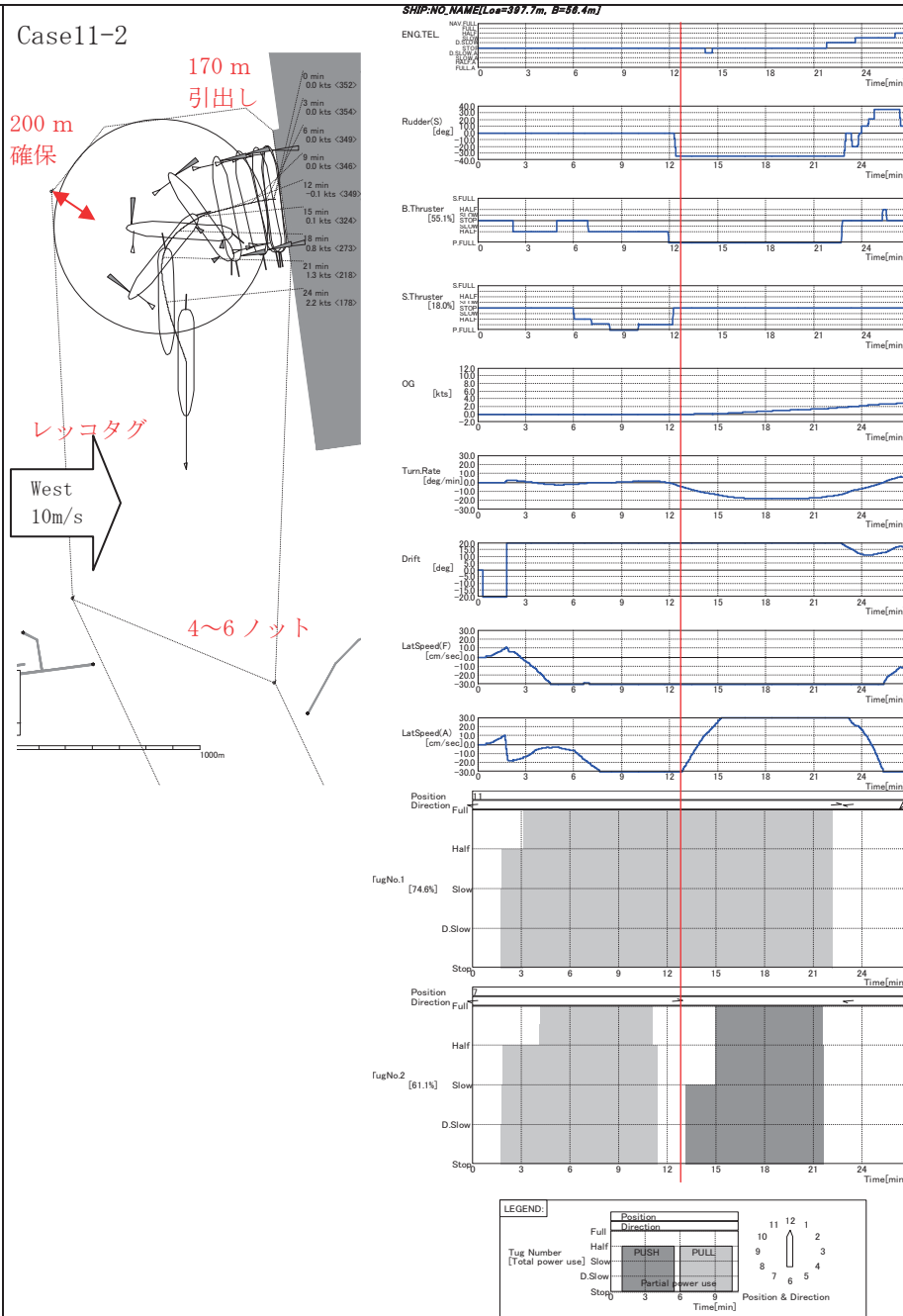
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えなかった。

- ・回頭速度の制御(後半の出港針路設定)ができず、針路が右に大きく外れた。他はおおむね行えた。

○操船はやや難しかった。

- ・回頭速力の通減方法/維持。特に回頭して横風を受ける場合が難しい。



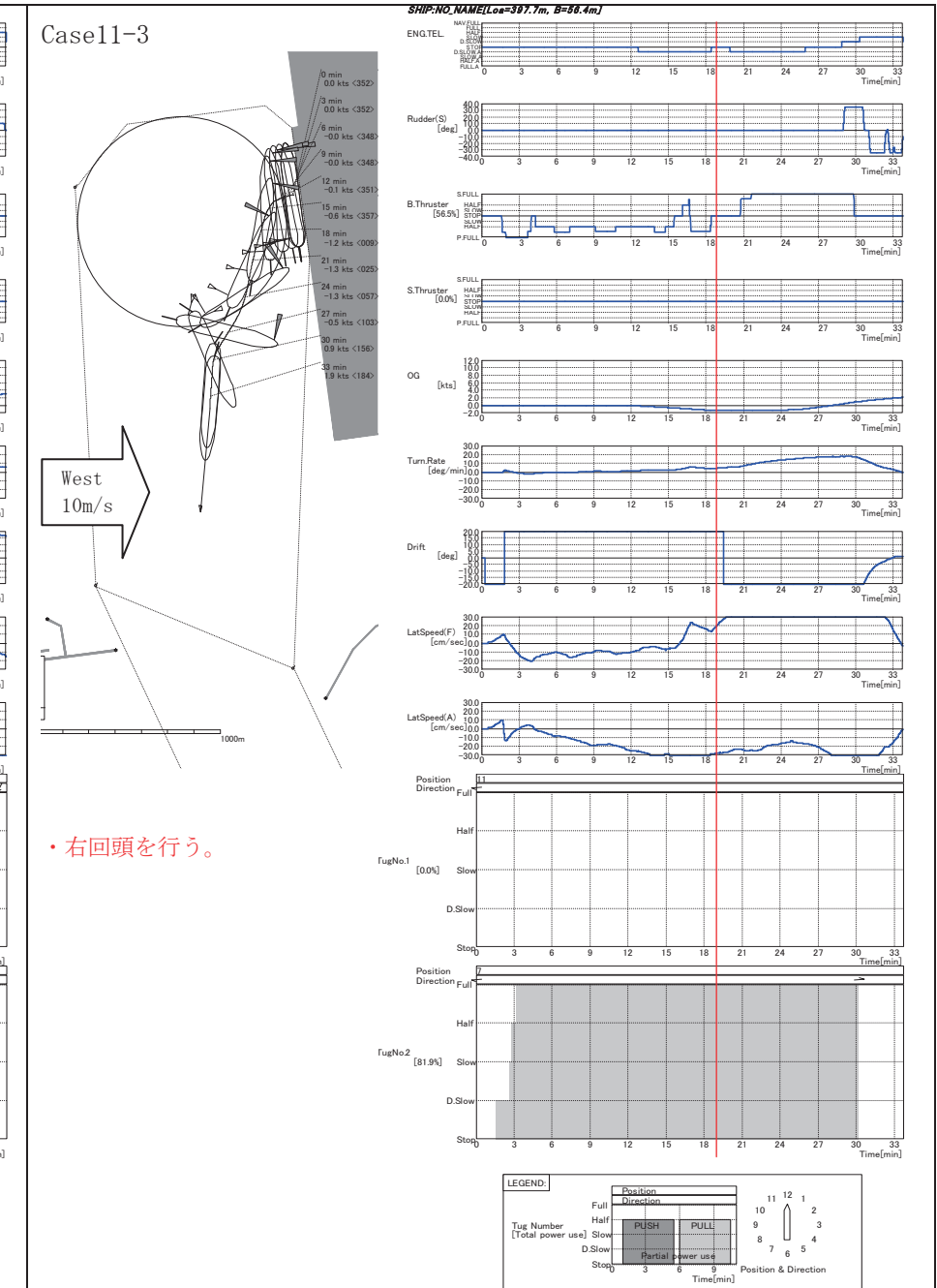
【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

- ・回頭後の風下への圧流が大きかった。回頭までは略計画どおり。

○操船はやや難しかった。

- ・回頭後、スピードの上がりが遅く、定針させるのが難しかった。



【操船者の自己評価】

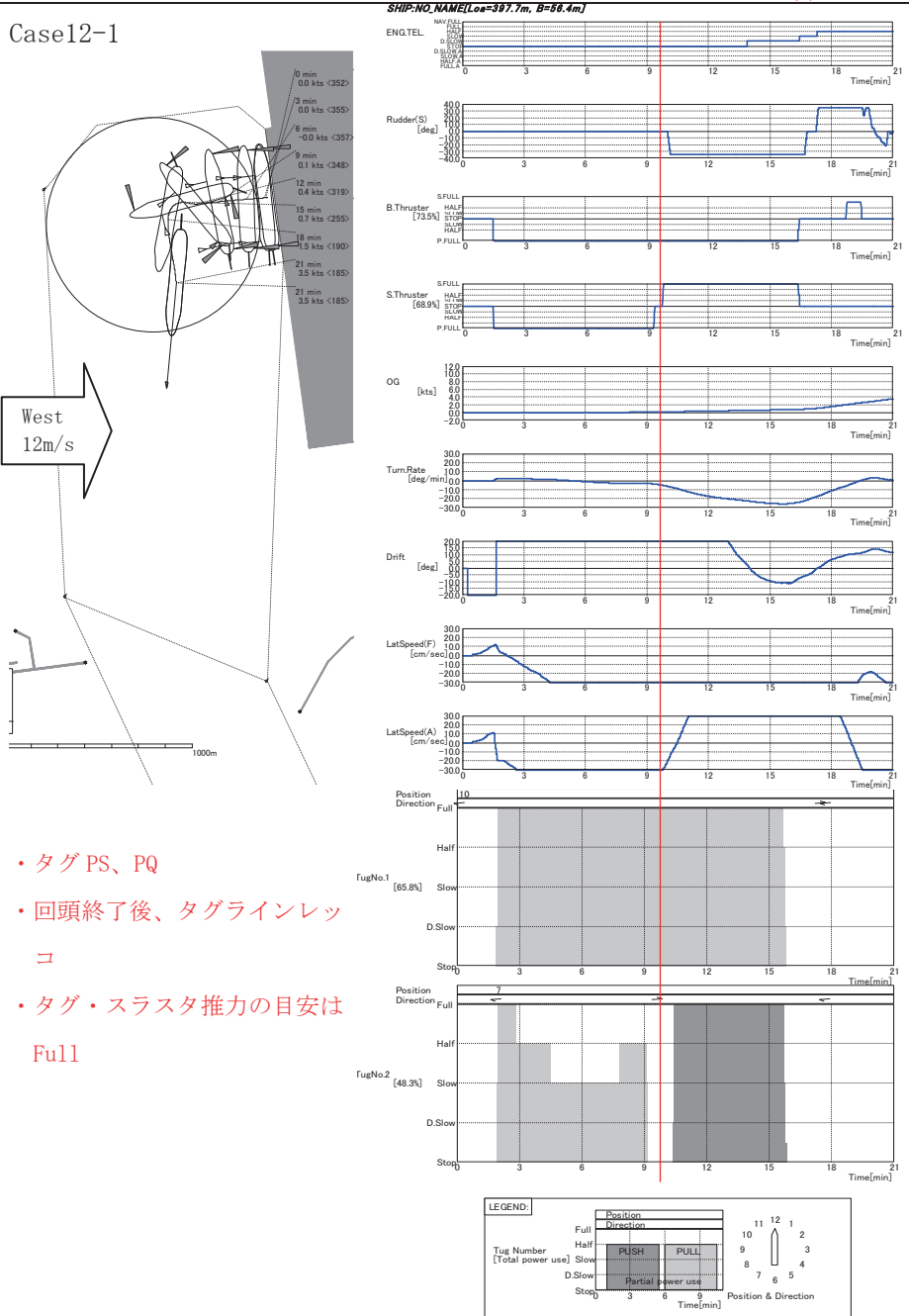
○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船はやや難しかった。

- ・船首スラストのみ、船尾タグのみとして、両方併用するより難しい。

図 3.17 出港操船ケース (離岸/回頭、Case11)

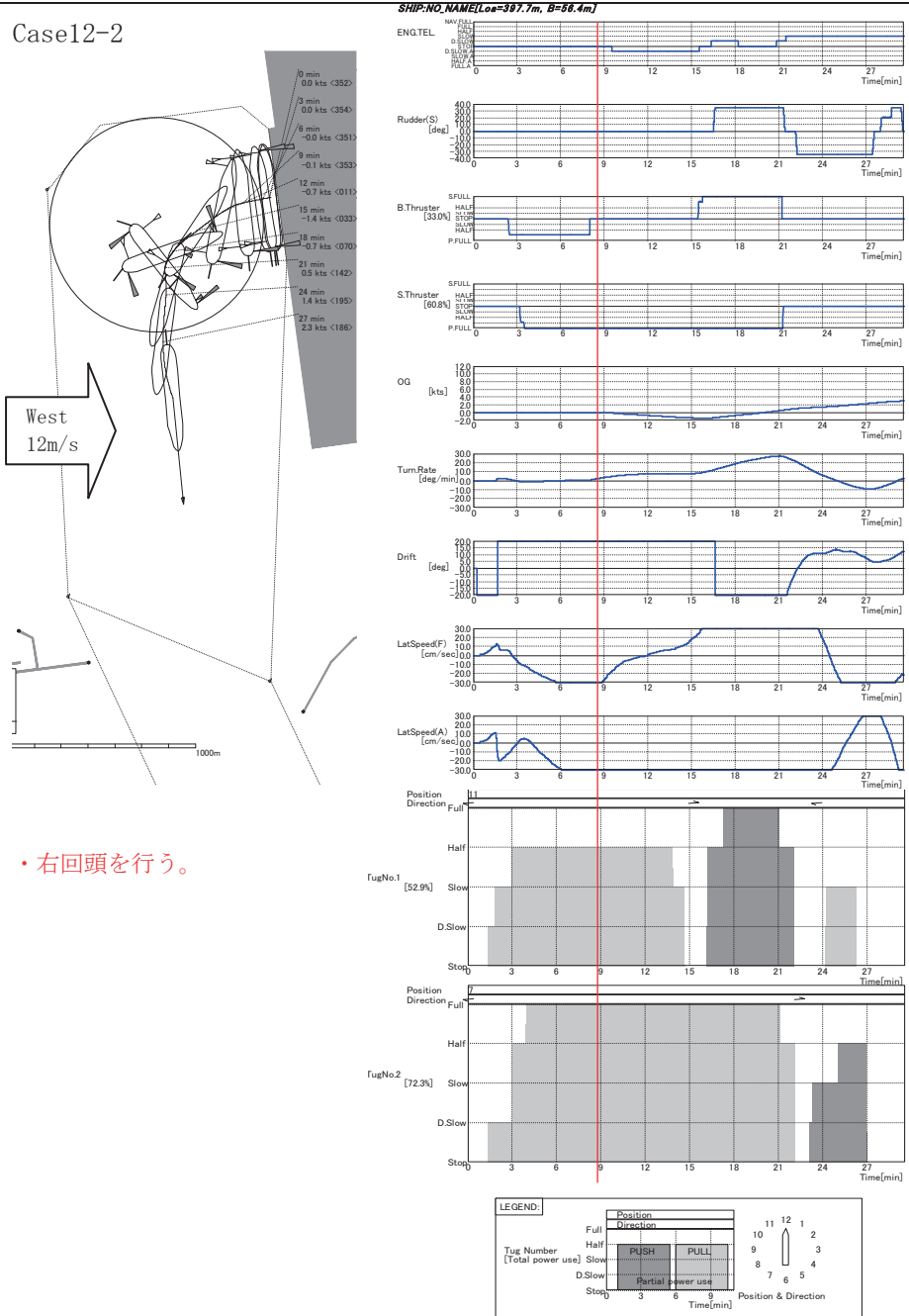
※航跡図中の赤字は操船計画を示す。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船が行えた。

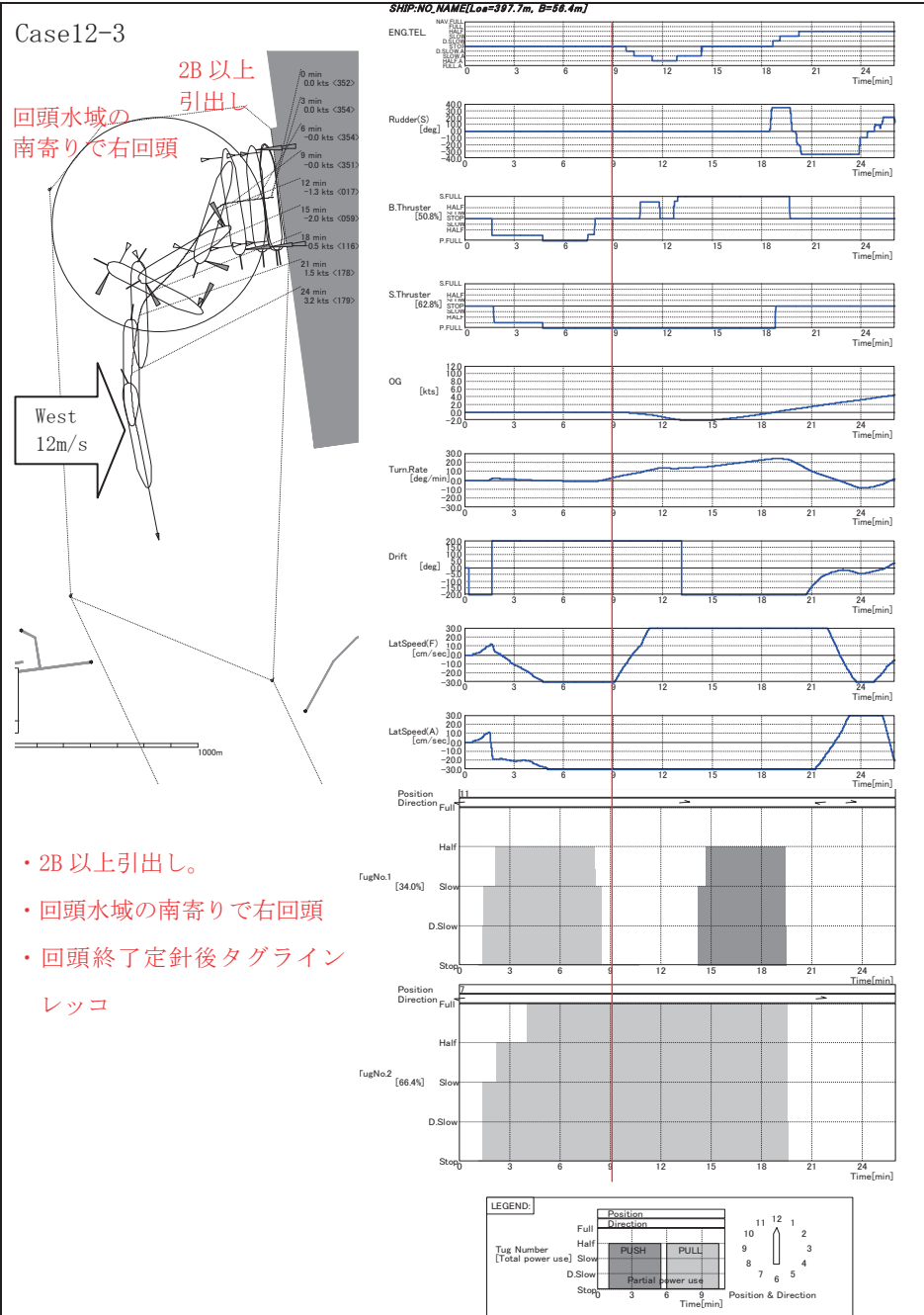
○操船は容易であった。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。



【操船者の自己評価】

○計画どおりの操船がおおむね行えた。

○操船は容易であった。

図 3.18 出港操船ケース（離岸／回頭、Case12）

3.4.4 操船局面ごとの出力項目の整理

（「巻末資料 2 操船局面ごとの出力項目の整理図」参照）

港内で行われる船舶の入出港・着離岸操船は、操船目標や操作形態ごとに区分すると、(1) 保針操船、(2) 変針操船、(3) 減速・アプローチ操船、(4) 着岸操船、(5) 離岸操船、(6) 回頭操船の局面に分けることができる。

表 3.10は、各操船局面でその操船結果を評価・検討する際に重要な着目点として挙げられる「制御量」と「運動量」を示す出力項目を整理したものである。

“保針”及び“変針”の操船局面では、所定の針路を維持するという操船目標のため、針路制御がより重要な位置付けとなり、舵による制御量が特に重要な出力項目となる。

また、その結果として現れる船首方位やその変化率である回頭角速度、風潮流等外力影響によるドリフトアングルが重要な出力項目となる。

なお、“変針”の場面では、船の種類や大きさや操船条件によってはタグボートも針路・速力制御の手段となり得る。

“減速・アプローチ”の操船局面では、所定の針路を維持しつつ着岸バースで前進速力を制御するという操船目標となるため、舵、主機関の他、タグボート及びスラスターが制御量で重要な出力項目となり、これら針路・速力制御の結果及び風潮流の影響を受けた結果、船体の運動状態として前進速力、ドリフトアングル、回頭角速度の運動量が重要な出力項目となる。

“着岸”及び“離岸”の操船局面は、船体を横方向に移動して制御するのが操船目標であるため、タグボート使用状況やスラスター出力が重要な制御量の出力項目となり、運動量としては船首尾の横移動速度が重要な出力項目となる。

“回頭”の操船局面は、船首をその場で 180° 回頭させるのが操船目標であり、“着岸”と“離岸”と同様、タグボート使用状況やスラスター出力が重要な制御量の出力項目であり、回頭角速度及び風潮流等による圧流の様子を知るため、前後方向の速力と船首尾の横移動速度が運動量の重要な出力項目となる。

操船は、針路制御と速力制御に大別でき、前者は舵、タグボートやスラスターがその手段であり、後者は主機関・タグボートが手段となる。

さらに、それぞれは結果として、前者は針路、回頭角速度といった結果に、後者は速力という結果に出力されることから、制御量と運動量の関係がわかるような出力とする必要がある。

今回実施した各ケースの操船結果を比較したところ、外力条件や水域条件によって生じる変化を検出し、確認することができるとともに、各操船者の特徴も認められた。

表 3.10 検証対象となる操船局面と出力項目の整理

検証対象 操船局面	制御量	運動量
(1)保針	1. 舵角[deg] 2. エンジンテレグラフポジション	1. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg]) 2. ドリフトアングル[deg] 3. 前進速力[knots]
(2)変針	1. 舵角[deg] 2. エンジンテレグラフポジション 3. タグボート使用状況 (位置、方向、推力)	1. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg]) 2. ドリフトアングル[deg] 3. 前進速力[knots]
(3)減速・ アプ ローチ	1. エンジンテレグラフポジション 2. 舵角[deg] 3. タグボート使用状況 (位置、方向、推力) 4. スラスター推力	1. 前進速力[knots] 2. ドリフトアングル[deg] 3. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg])
(4)着岸	1. タグボート使用状況 (位置、方向、推力) 2. スラスター推力 3. エンジンテレグラフポジション	1. 船首尾の横移動速度[cm/sec] 2. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg]) 3. 前進速力[knots]
(5)離岸	1. タグボート使用状況 (位置、方向、推力) 2. スラスター推力 3. エンジンテレグラフポジション	1. 船首尾の横移動速度[cm/sec] 2. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg]) 3. 前進速力[knots]
(6)回頭	1. タグボート使用状況 (位置、方向、推力) 2. スラスター推力 3. エンジンテレグラフポジション	1. 回頭角速度[deg/min] (方位[deg]) 2. 前進速力[knots] 3. 船首尾の横移動速度[cm/sec]

3.4.5 各操船局面における評価値の出力

(1) 施設に係る検討：パターン①

① 入港操船ケース（Case1、2、3）

- ・目的：港形モデルA案、B案、C案の違いによる操船影響を比較する。

（図 3.19 参照）

- ・同じ外力条件＜風向 West、風速 8m/sec＞で実施した入港ケース（Case1、2、3）の評価指標値を表 3.11に示す。

- ・各操船局面での評価値の平均値（操船者 3 名の結果の単純平均）及び操船者別の比較を図 3.20～図 3.29 に示す。

表 3.11 操船シミュレーションにおける影響評価項目（パターン①：入港操船）

操船局面	項目	Case1			Case2			Case3		
		Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case3-1	Case3-2	Case3-3
(1)保針	平均横偏位量[m]	5.2	2.2	5.0	2.8	8.3	9.1	3.8	3.1	3.6
	平均舵角[deg]	3.2	3.6	2.9	2.9	2.5	6.5	1.7	1.9	2.9
	平均ドリフトアングル[deg]	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.9	1.0	1.0
	平均回頭角速度[deg/min]	0.9	0.4	0.5	0.3	0.2	1.0	0.9	0.6	0.4
	平均船首横流れ[cm/sec]	4.9	5.0	4.9	5.0	5.3	5.7	5.4	4.4	4.7
	平均船尾横流れ[cm/sec]	7.9	6.5	7.5	6.6	5.4	9.2	8.2	7.8	7.6
	最大横偏位量[m]	11.0	3.5	17.1	3.9	19.8	30.8	12.2	9.3	7.7
	最大舵角[deg]	35.0	16.2	10.0	7.8	9.4	27.4	10.5	10.9	10.5
	最大ドリフトアングル[deg]	2.0	1.5	1.9	1.4	1.3	3.1	1.4	1.7	1.8
	最大回頭角速度[deg/min]	3.1	1.1	3.1	0.9	0.6	6.8	3.4	2.4	2.4
	最大船首横流れ[cm/sec]	15.0	9.0	9.0	8.0	8.0	17.0	15.0	9.0	7.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	19.0	14.0	27.0	12.0	10.0	51.0	17.0	21.0	22.0
(2)変針	平均舵角[deg]	20.7	10.2	14.3	6.7	11.8	16.0	10.9	10.7	18.9
	平均ドリフトアングル[deg]	2.8	1.2	2.6	1.3	2.3	2.6	1.6	1.9	2.8
	平均回頭角速度[deg/min]	7.1	3.3	6.7	3.2	6.0	6.5	4.6	5.3	6.8
	平均船首横流れ[cm/sec]	19.3	13.4	17.4	11.9	15.9	17.4	12.1	14.1	19.5
	平均船尾横流れ[cm/sec]	47.3	20.4	45.6	20.3	40.7	43.6	30.8	35.7	45.6
	最大舵角[deg]	35.0	20.3	35.0	20.3	35.0	35.0	20.4	35.0	35.0
	最大ドリフトアングル[deg]	5.8	2.0	4.9	2.6	4.5	5.2	2.3	4.2	5.5
	最大回頭角速度[deg/min]	13.3	6.8	11.6	8.5	11.3	13.3	8.1	12.4	13.7
	最大船首横流れ[cm/sec]	33.0	23.0	28.0	27.0	28.0	36.0	24.0	34.0	36.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	92.0	41.0	81.0	52.0	78.0	89.0	52.0	82.0	92.0
	平均舵角[deg]	3.3	10.8	0.0	8.4	1.5	0.2	3.4	13.0	12.7
	平均ドリフトアングル[deg]	2.5	3.4	3.0	1.5	3.9	7.2	4.0	1.3	2.7
(3)減速・アプローチ	平均回頭角速度[deg/min]	2.7	2.8	0.5	2.6	0.8	1.0	0.6	0.7	0.8
	平均船首横流れ[cm/sec]	7.2	9.4	9.3	8.2	9.1	15.6	10.6	4.9	6.6
	平均船尾横流れ[cm/sec]	18.1	22.6	7.9	18.1	12.0	14.2	9.7	6.5	10.7
	最大舵角[deg]	35.0	35.0	1.5	20.5	13.3	6.7	10.0	35.0	35.0
	最大ドリフトアングル[deg]	9.0	17.7	6.6	4.2	8.4	15.6	10.4	2.9	9.6
	最大回頭角速度[deg/min]	6.8	9.9	1.6	10.7	1.4	2.8	1.5	1.3	2.1
	最大船首横流れ[cm/sec]	19.0	27.0	20.0	28.0	22.0	30.0	18.0	10.0	21.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	45.0	66.0	12.0	72.0	22.0	32.0	23.0	15.0	14.0
	主機関使用率[%]	21.3	17.8	20.3	24.6	18.6	10.6	22.8	34.0	17.5
	バウ・スラスター使用率[%]	9.3	0.0	22.5	0.0	21.8	0.0	21.0	0.0	0.0
	船首タグボート使用率[%]	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2
	船尾タグボート使用率[%]	0.0	19.7	18.8	19.8	14.5	42.5	9.7	0.0	25.2
(4)着岸	主機関使用率[%]	4.8	2.6	5.7	-	-	-	5.6	6.3	3.4
	バウ・スラスター使用率[%]	15.7	23.5	29.4	-	-	-	8.6	6.9	0.0
	船首タグボート使用率[%]	0.0	71.3	0.0	-	-	-	0.0	0.0	44.2
	船尾タグボート使用率[%]	32.8	52.6	49.6	-	-	-	21.6	15.9	21.3
	平均船首横流れ[cm/sec]	8.6	42.3	14.4	-	-	-	18.3	13.1	30.9
	平均船尾横流れ[cm/sec]	8.9	48.1	23.0	-	-	-	20.4	17.7	30.9
	最大船首横流れ[cm/sec]	25.0	69.0	28.0	-	-	-	30.0	32.0	40.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	32.0	70.0	50.0	-	-	-	32.0	34.0	50.0

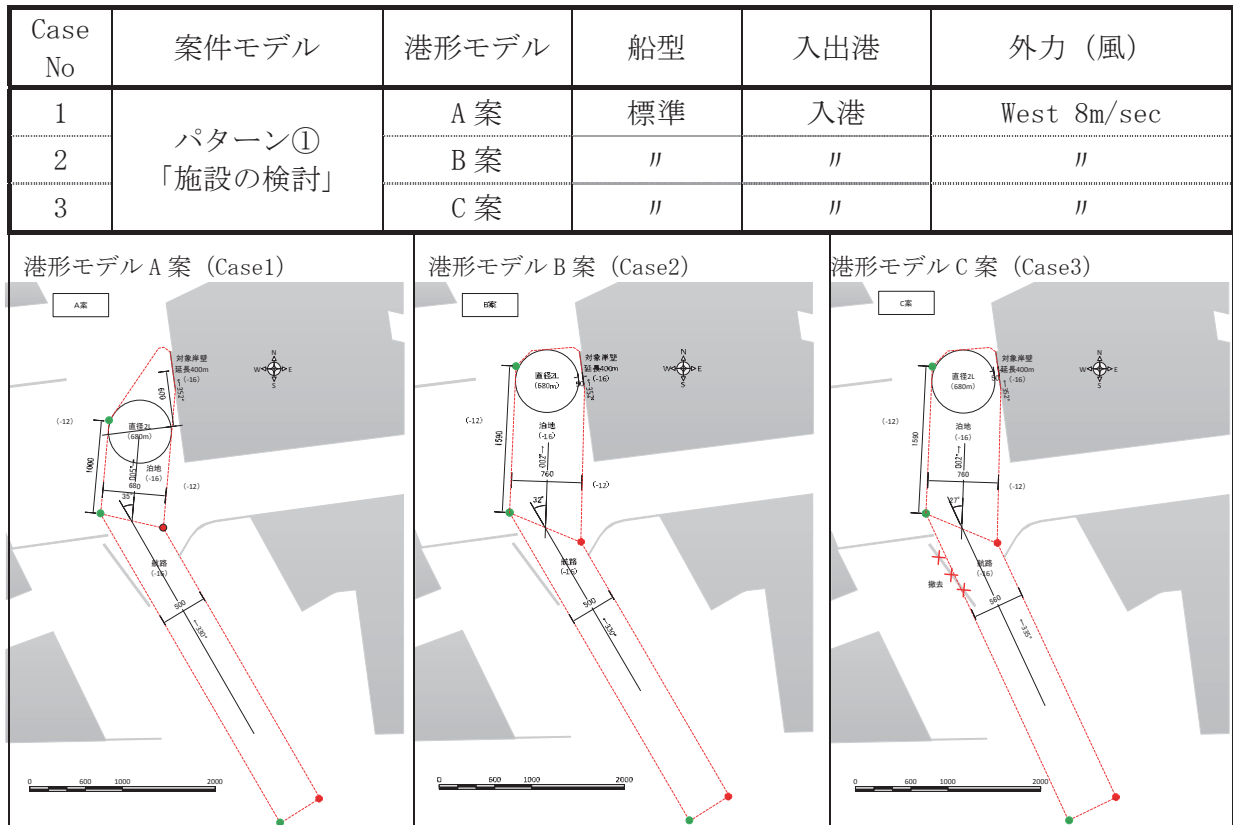


図 3.19 港形モデル

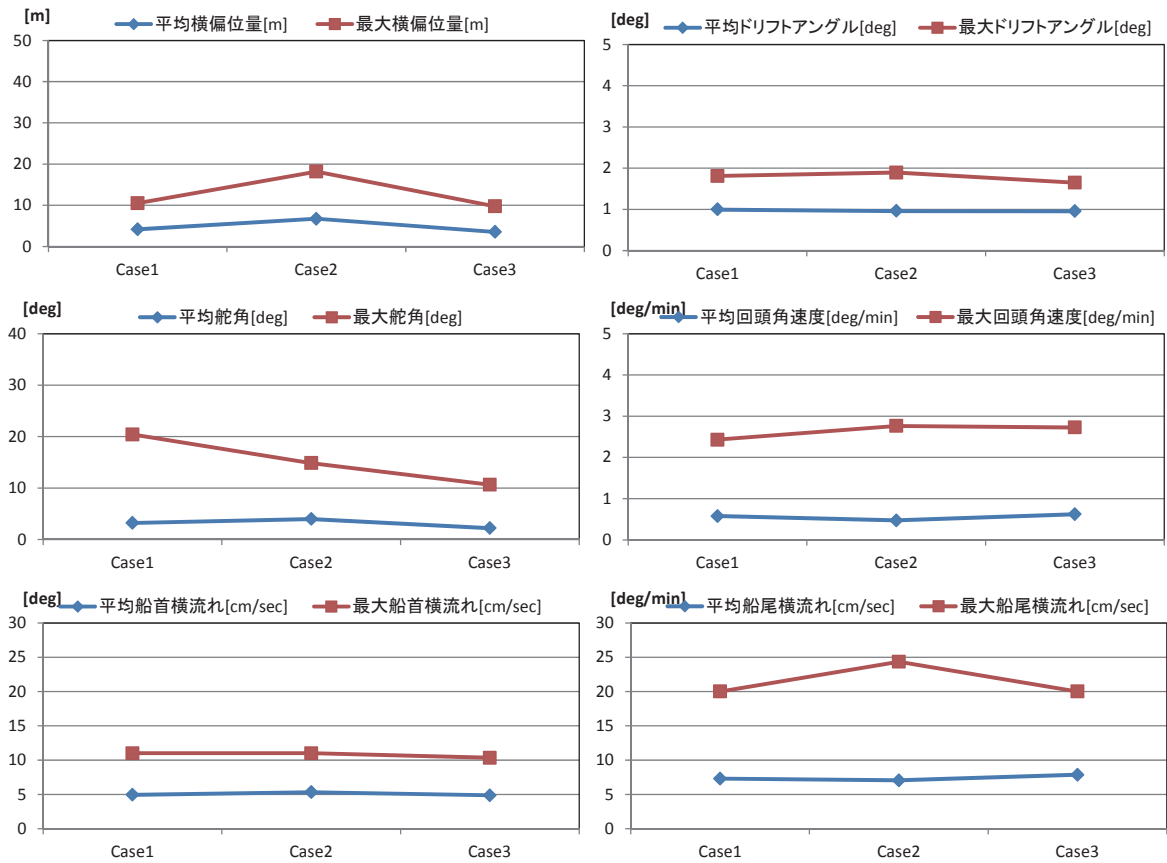


図 3.20 評価値の比較（パターン①：保針操船—平均値）

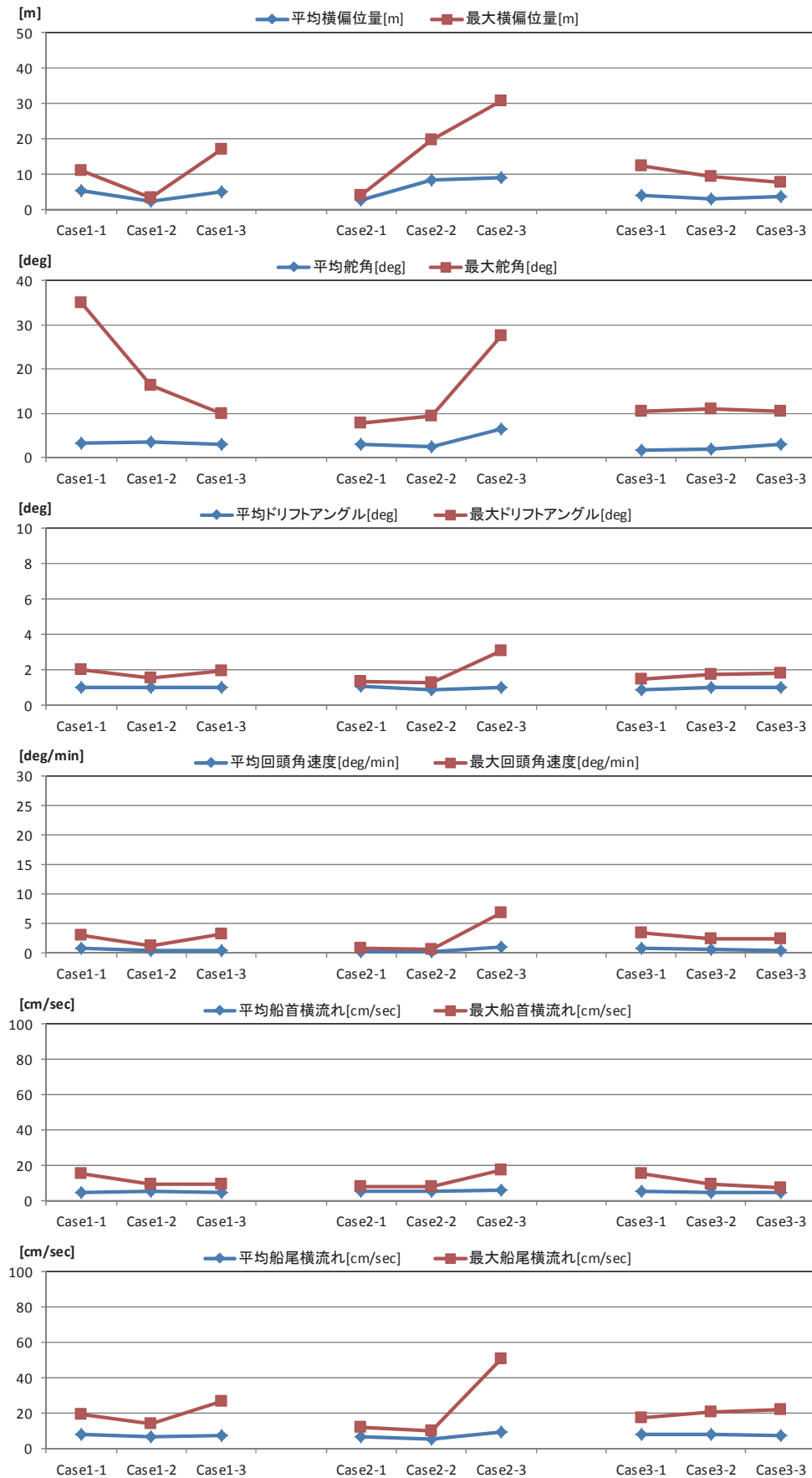


図 3.21 評価値の比較 (パターン①：保針操船—操船者別)

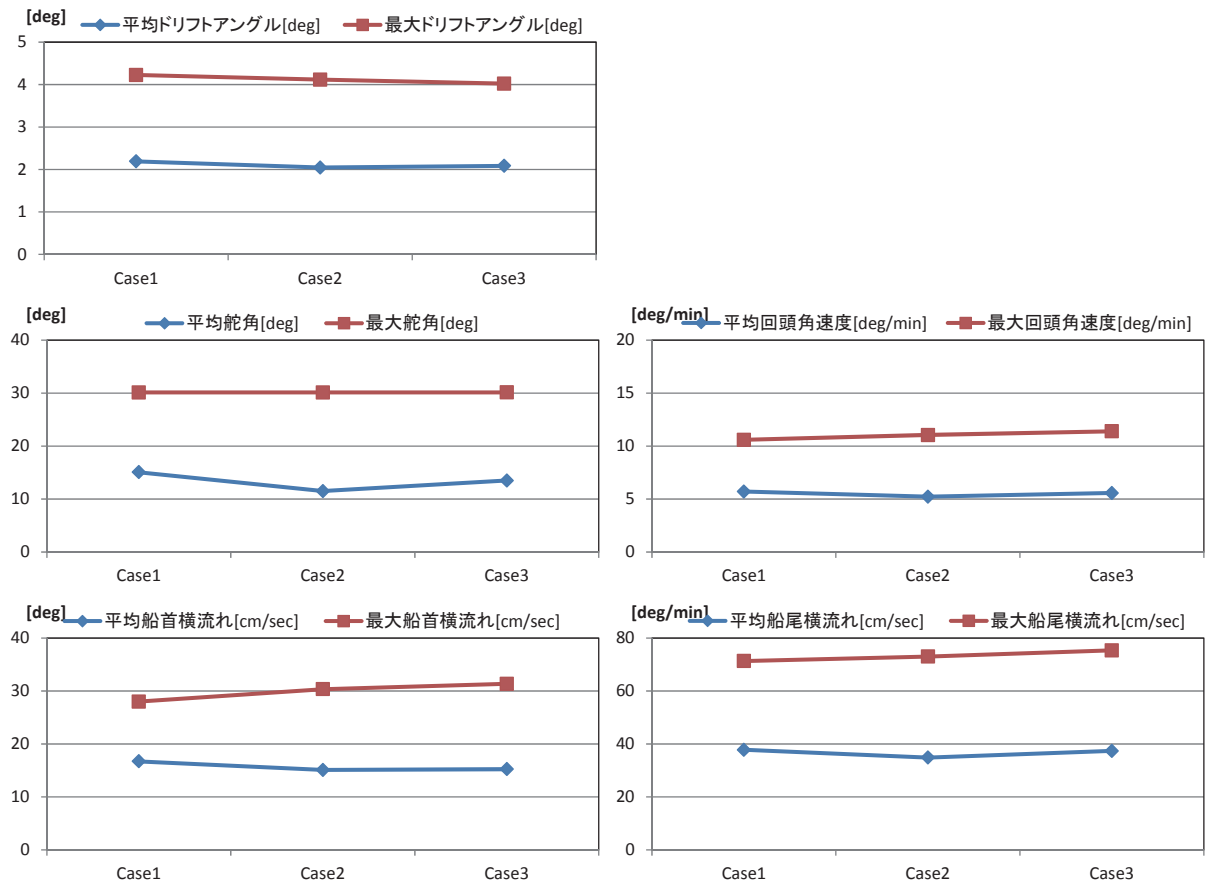


図 3.22 評価値の比較 (パターン①：変針操船—平均値)

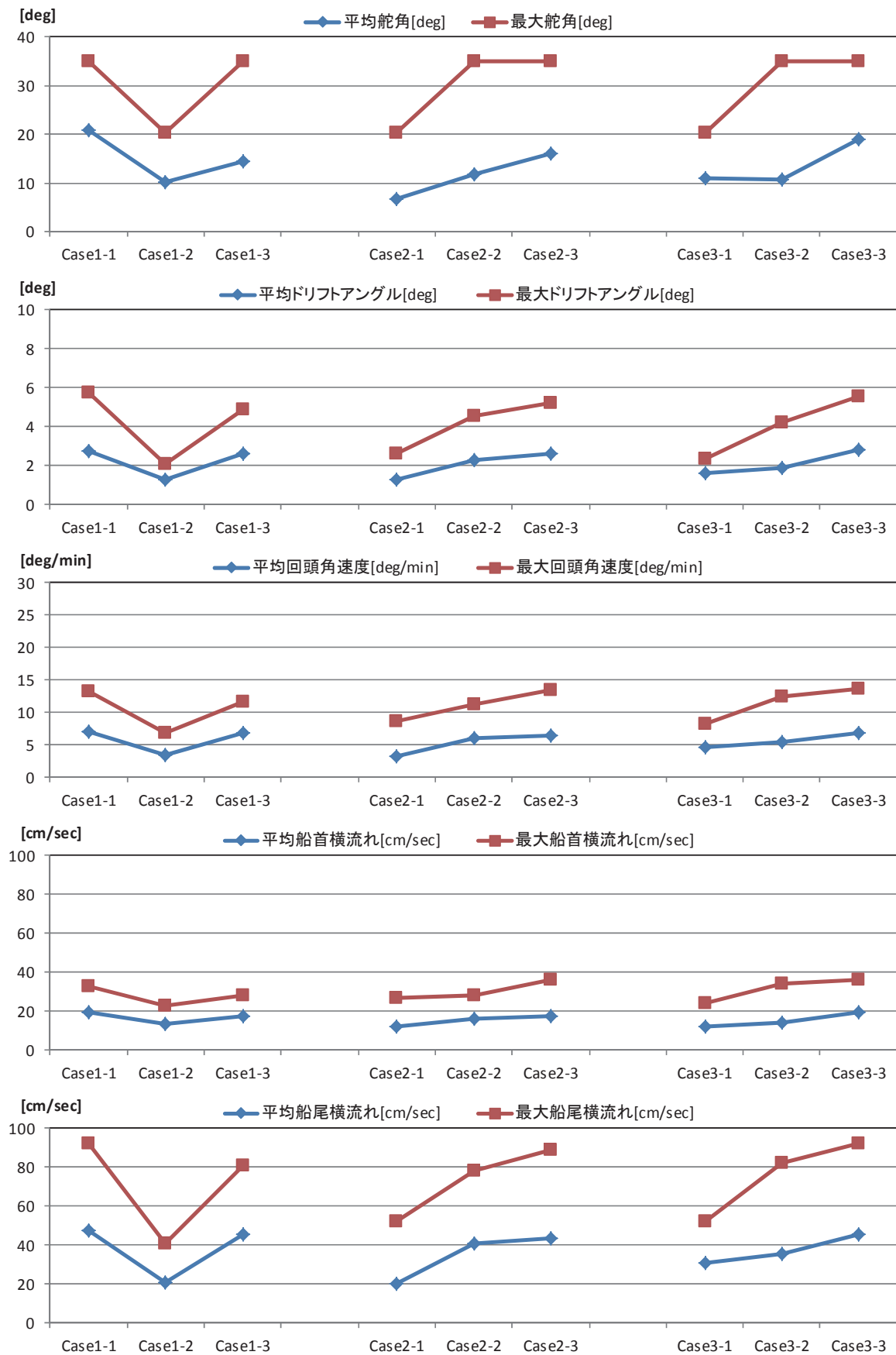


図 3.23 評価値の比較（パターン①：変針操船—操船者別）

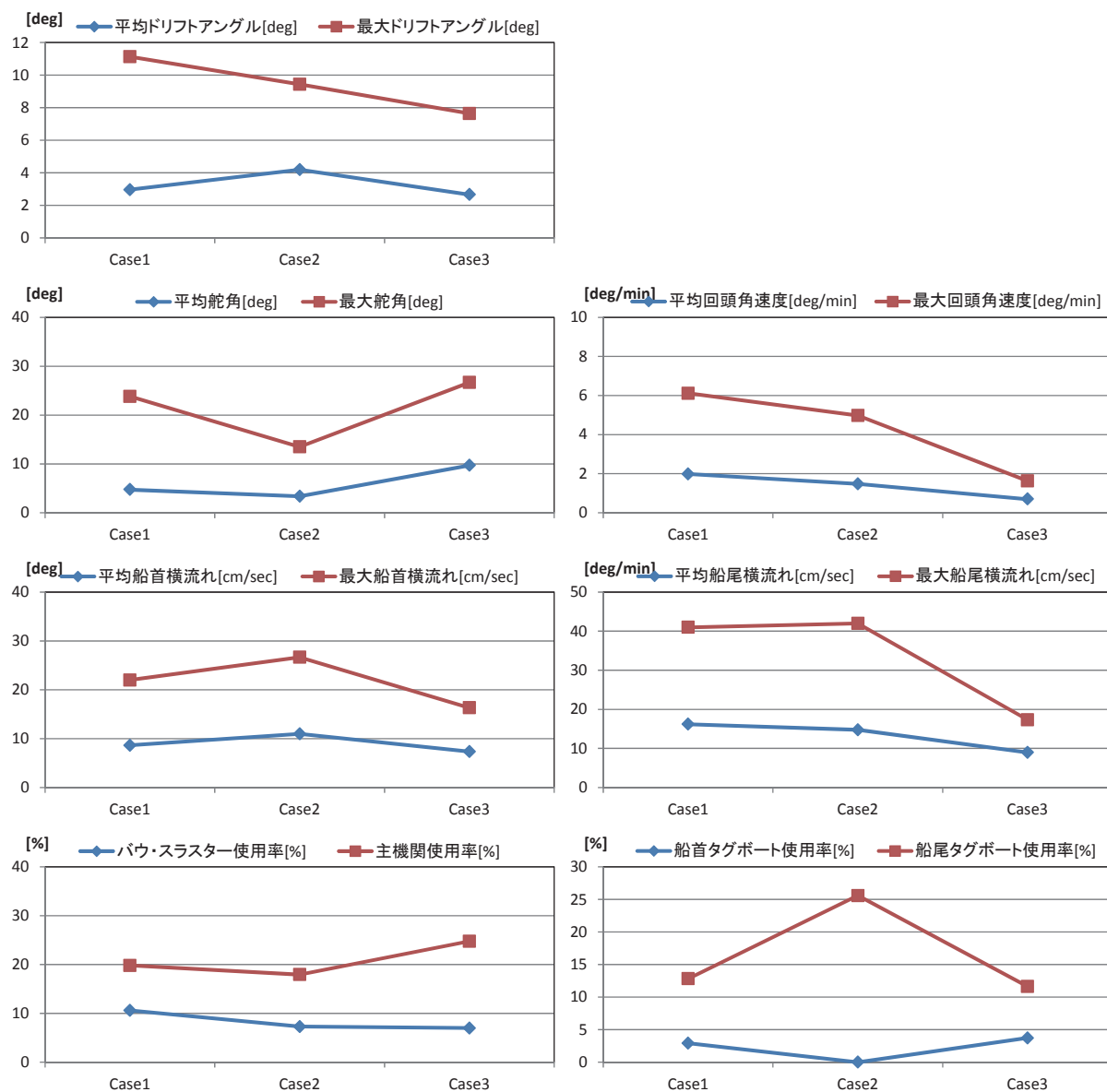


図 3.24 評価値の比較 (パターン①：減速・アプローチ操船—平均値)

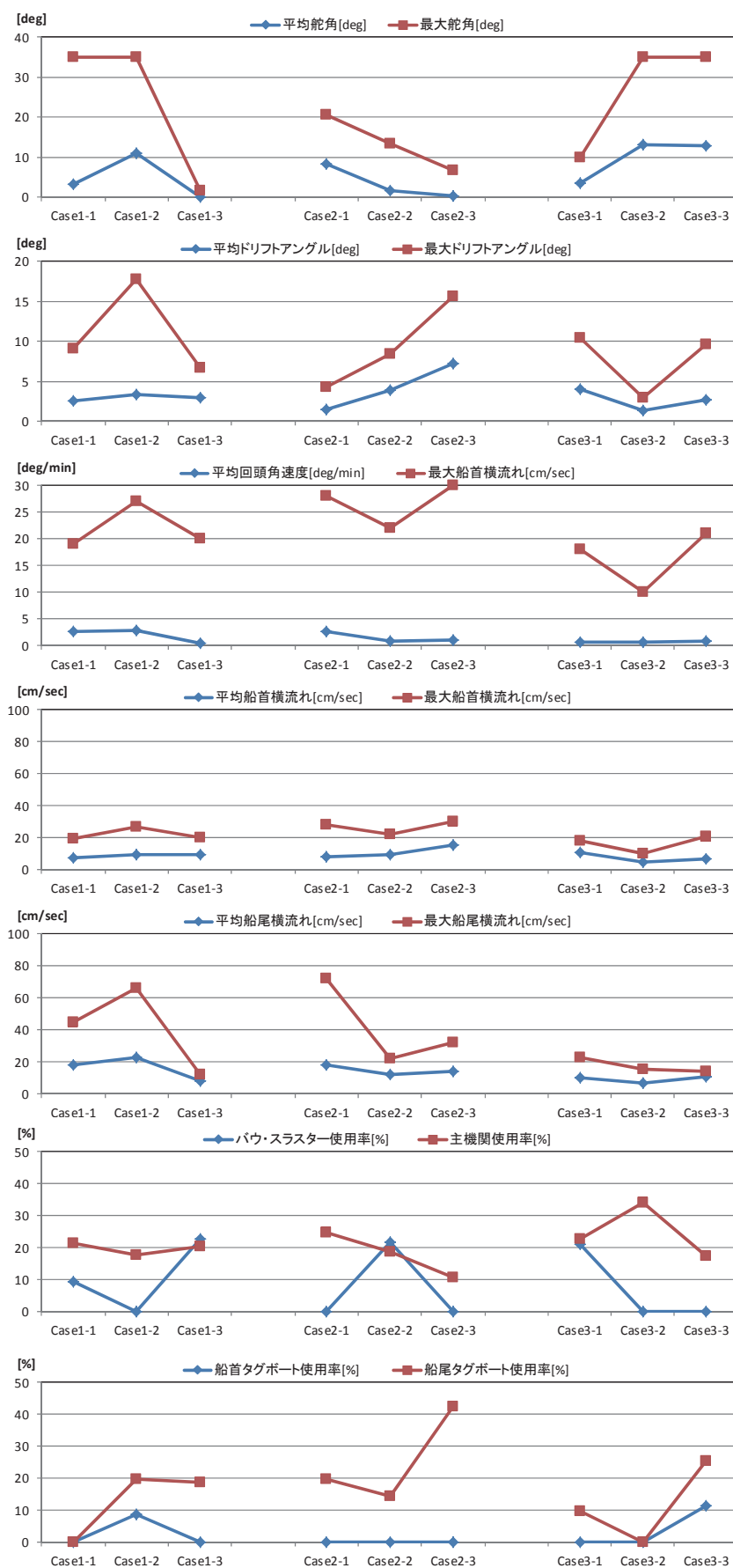


図 3.25 評価値の比較 (パターン①：減速・アプローチ操船—操船者別)

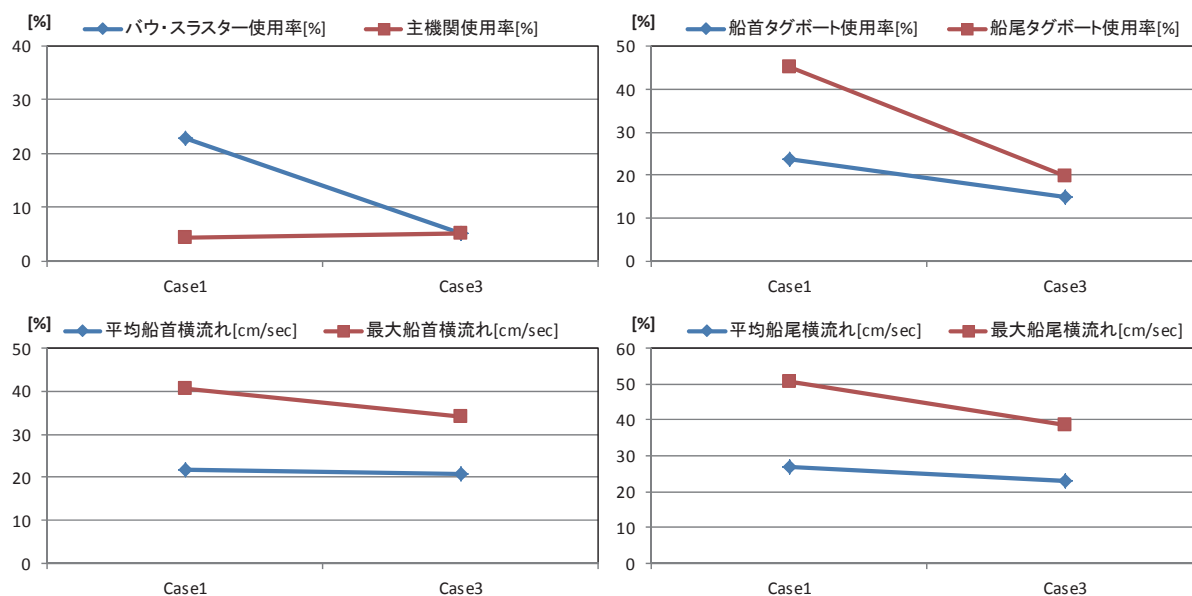


図 3.26 評価値の比較 (パターン①：着岸操船—平均値)

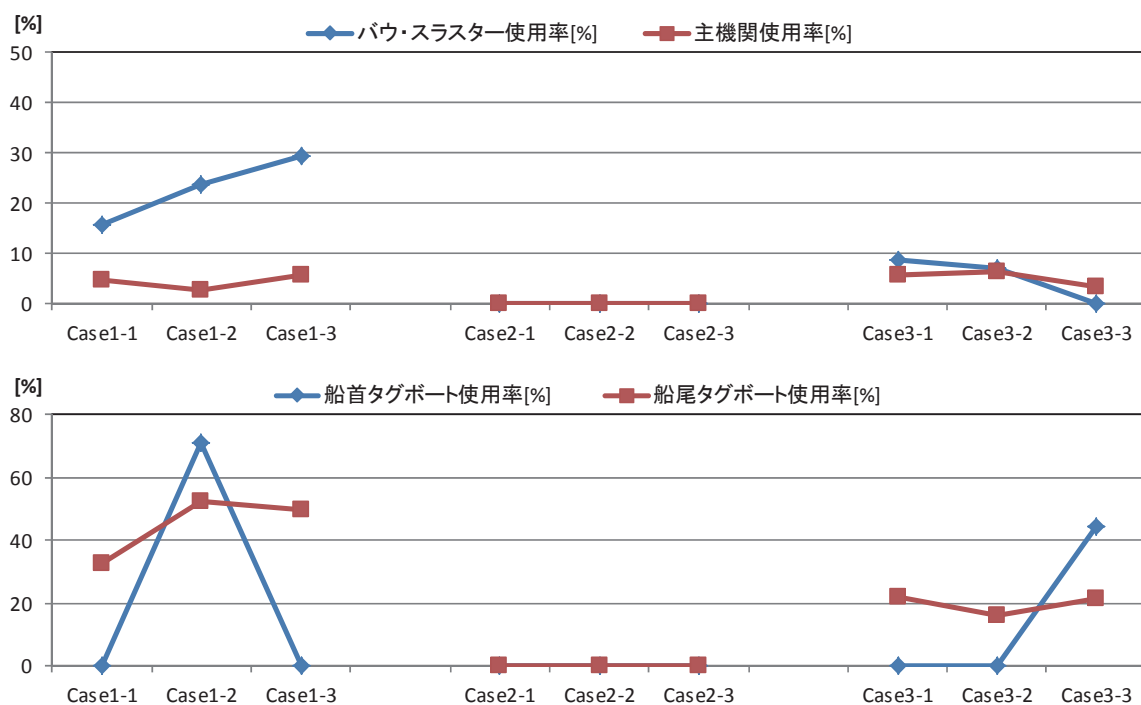


図 3.27 評価値の比較 (パターン①：着岸操船—操船者別)

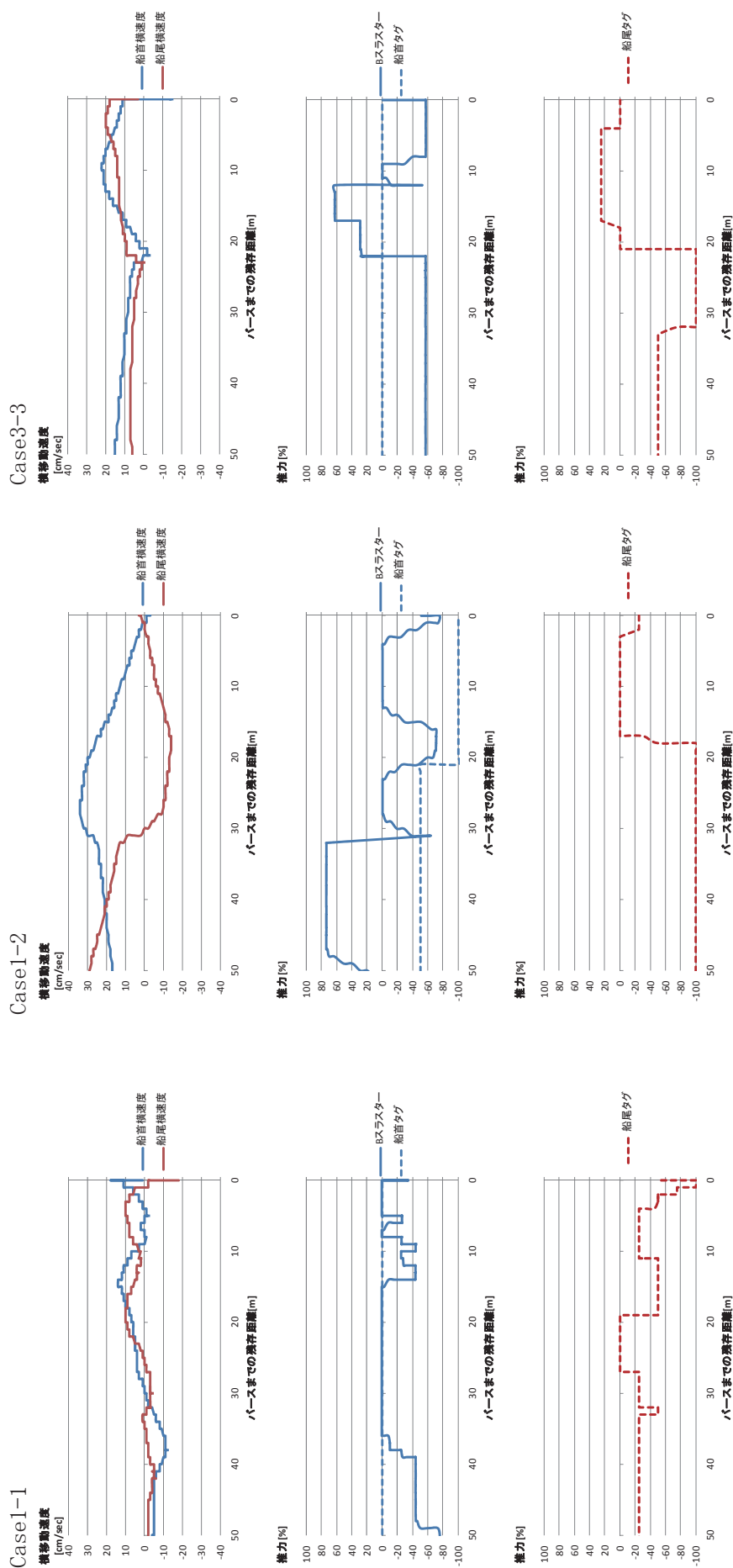
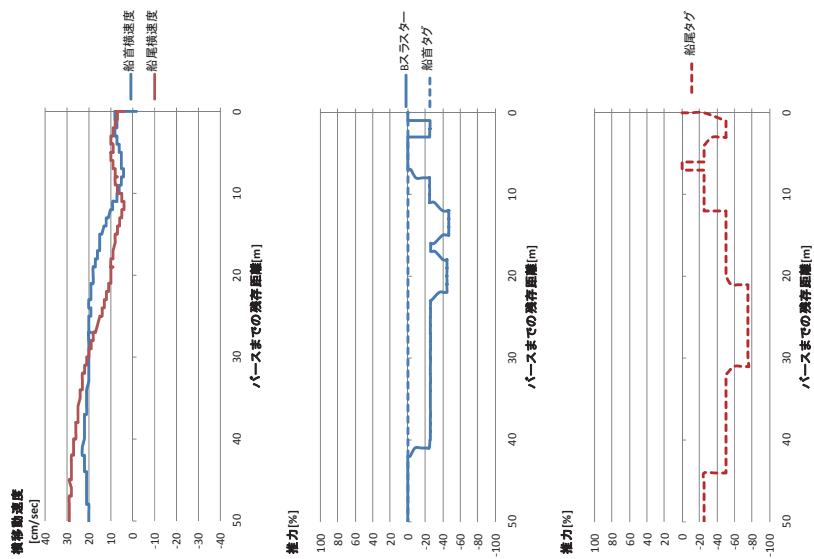
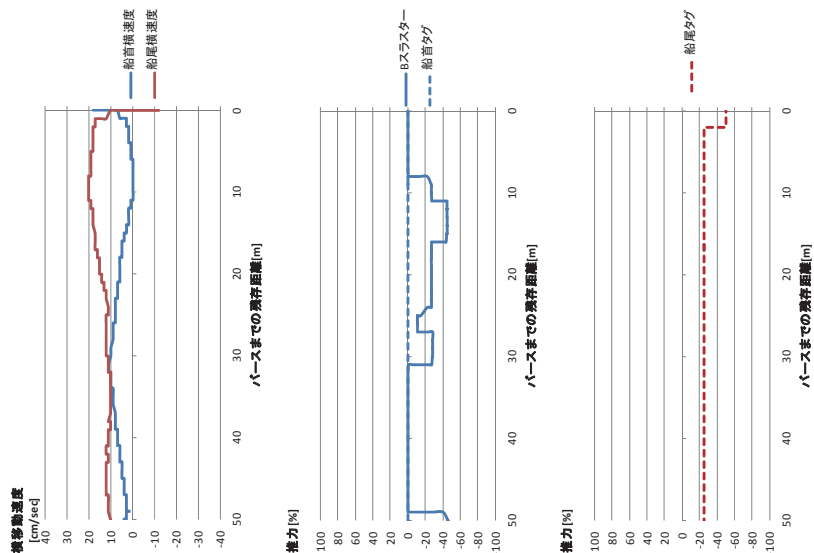


図 3.28 評価値の比較 (パターン① : Case1 着岸操船—着岸時の距離と接岸速度)

Case3-1



Case3-2



Case3-3

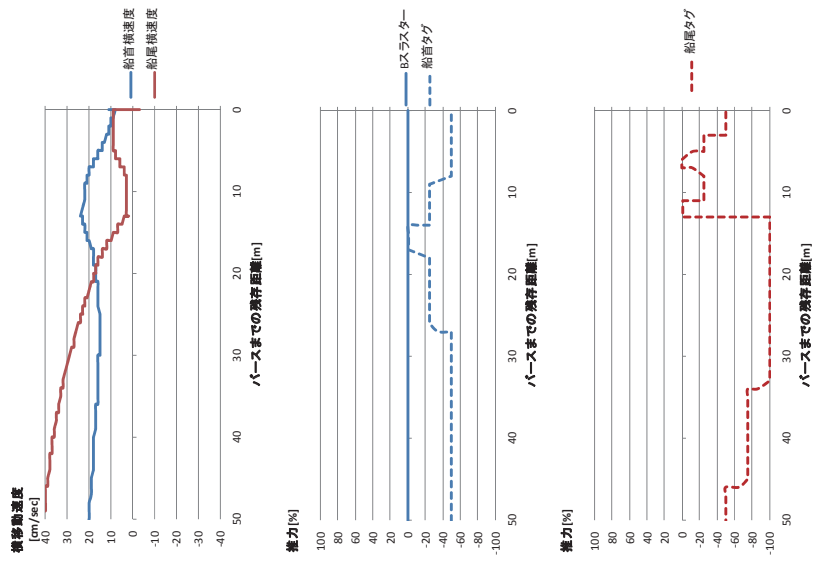


図 3.29 評価値の比較 (パターン① : Case3 着岸操船—着岸時の距離と接岸速度)

② 出港操船ケース (Case4、6)

- ・ 目的：港形モデル A 案、B 案、C 案を比較する。
- ・ 同じ外力条件＜風向 West、風速 8m/sec＞で実施した出港ケース (Case4、6) の評価指標値を表 3.12に示す。
- ・ 各操船局面での評価値の平均値（操船者 3 名の結果の単純平均）及び操船者別の比較を図 3.31、図 3.34 に示す。

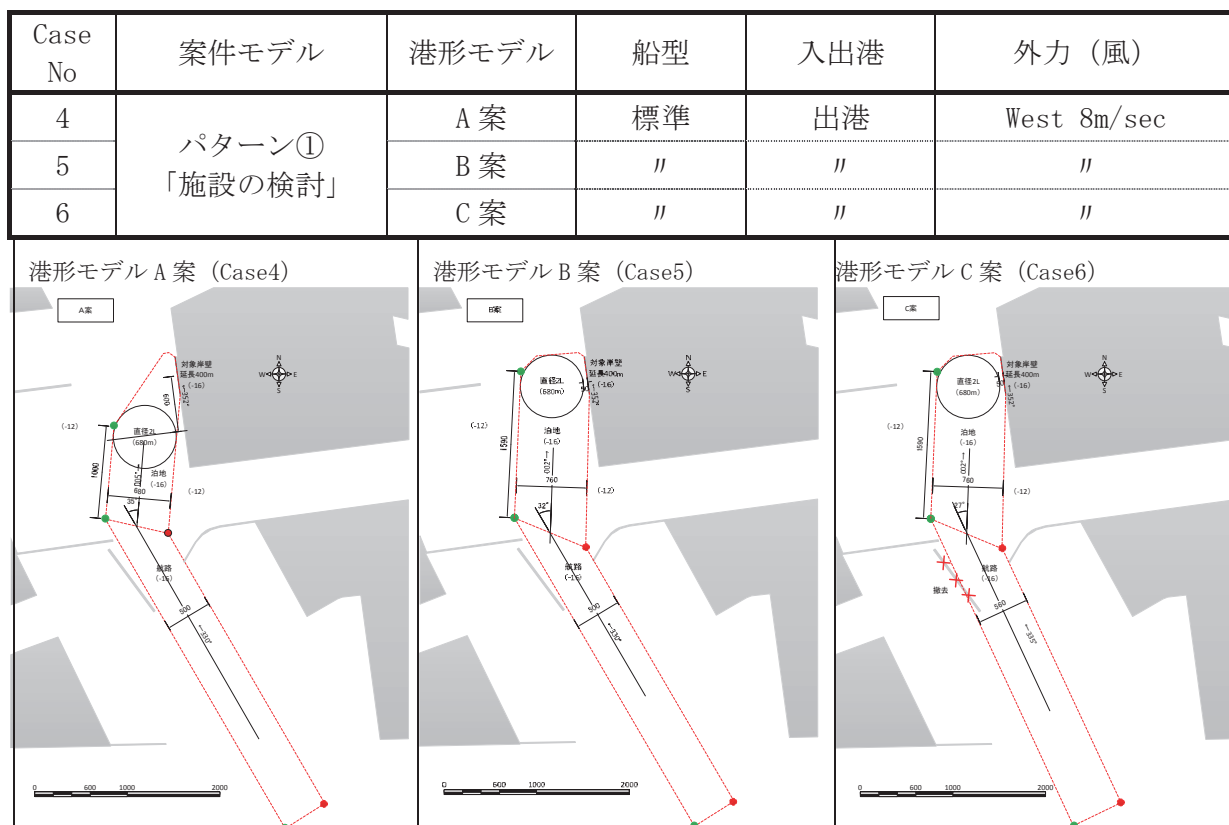


図 3.30 港形モデル

表 3.12 操船シミュレーションにおける影響評価項目（パターン①：出港操船）

操船局面	項目	Case4			Case6		
		Case4-1	Case4-2	Case4-3	Case6-1	Case6-2	Case6-3
(5)離岸	主機関使用率[%]	4.6	8.2	10.3	0.0	0.0	5.3
	バウ・スラスター使用率[%]	0.0	44.4	34.0	0.0	0.7	37.3
	船首タグボート使用率[%]	49.1	0.0	0.0	51.9	56.6	0.0
	船尾タグボート使用率[%]	73.5	91.5	53.2	78.0	65.4	80.0
	平均船首横流れ[cm/sec]	17.8	31.3	19.3	20.3	21.7	19.5
	平均船尾横流れ[cm/sec]	24.1	35.4	23.0	23.5	22.6	33.3
	最大船首横流れ[cm/sec]	32.0	61.0	61.0	45.0	59.0	52.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	56.0	56.0	61.0	57.0	50.0	72.0
(6)回頭	主機関使用率[%]	22.0	15.0	16.0	25.9	5.6	18.1
	バウ・スラスター使用率[%]	37.2	59.3	76.2	10.0	36.7	33.2
	船首タグボート使用率[%]	14.2	0.0	36.8	6.3	49.9	0.0
	船尾タグボート使用率[%]	73.5	91.5	53.2	78.0	65.4	80.0

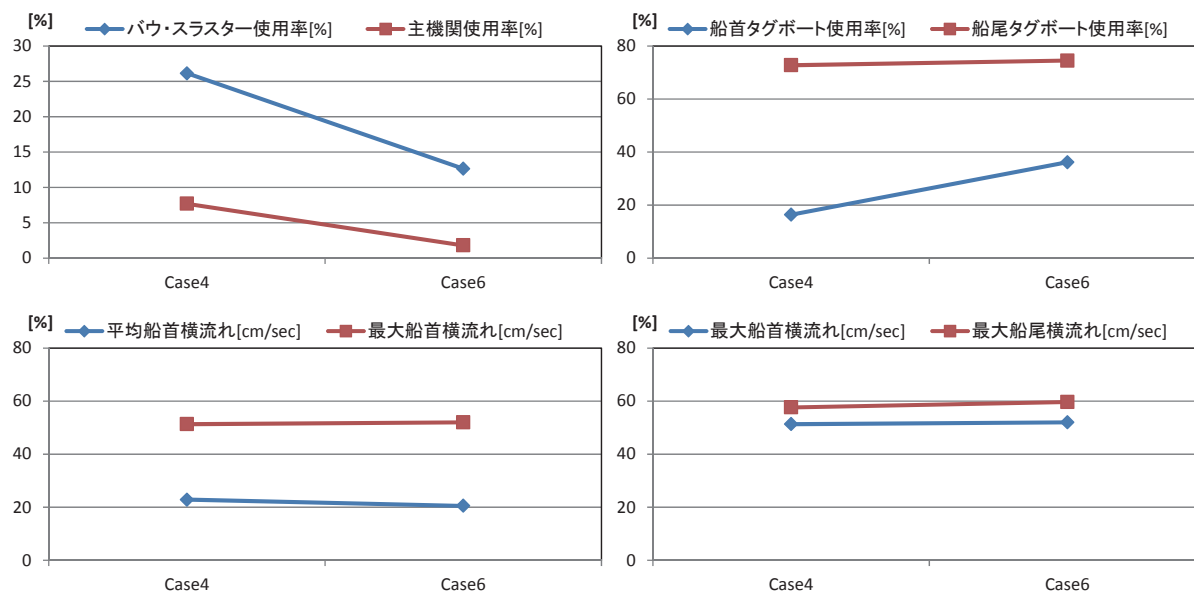


図 3.31 評価値の比較（パターン①：離岸操船—平均値）

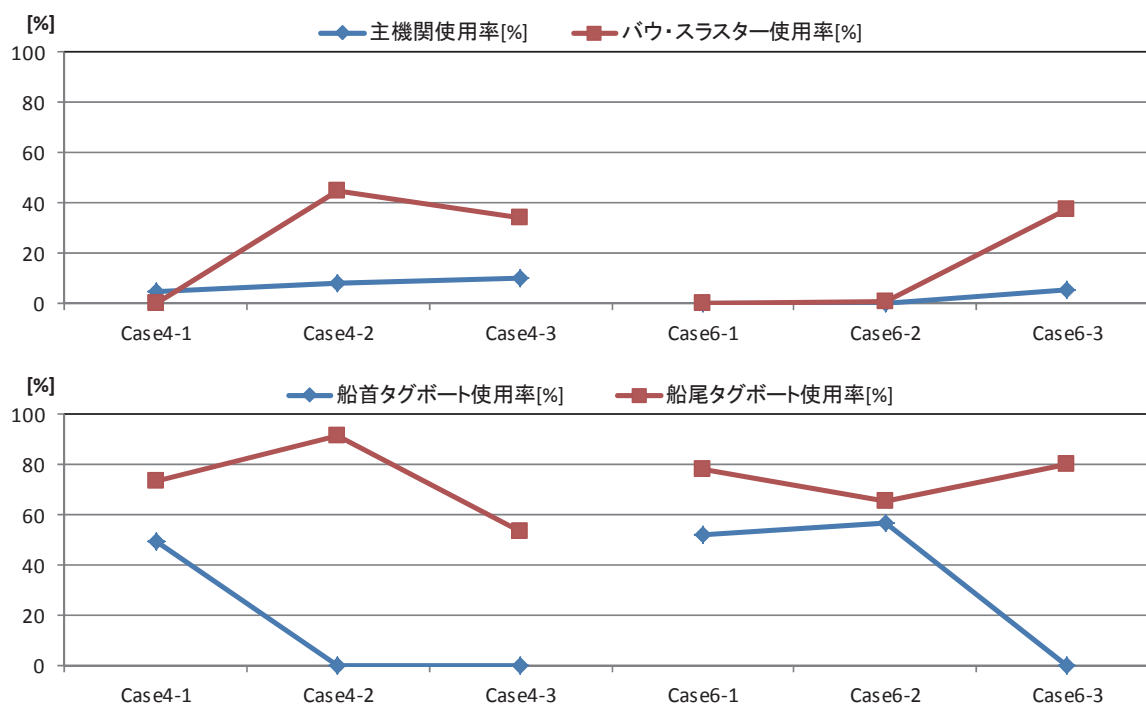


図 3.32 評価値の比較（パターン①：離岸操船—操船者別）

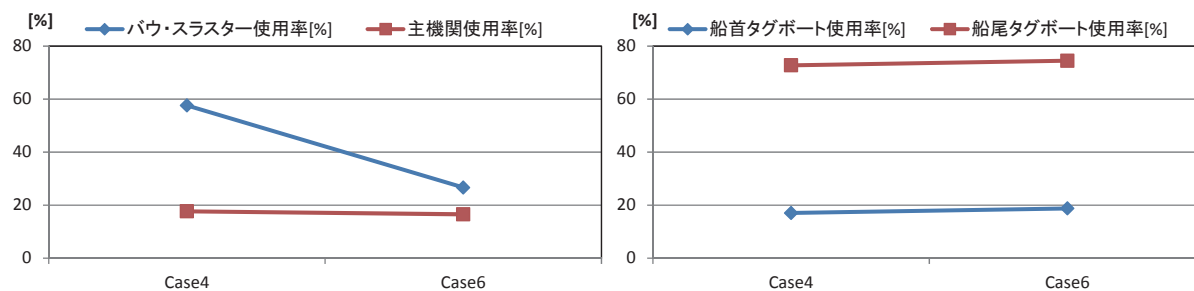


図 3.33 評価値の比較（パターン①：回頭操船—平均値）

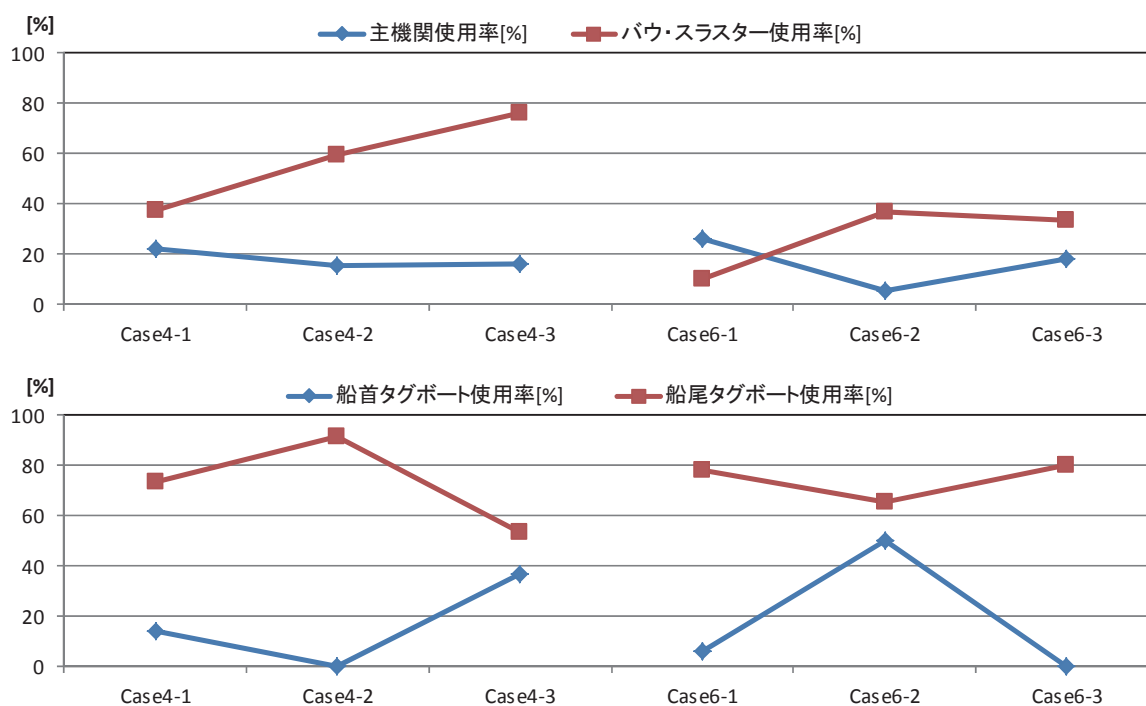


図 3.34 評価値の比較（パターン①：回頭操船—操船者別）

(2) 運用に係る検討：パターン②

- ・ 目的：外力条件（風速 8、10、12m/sec）の違いによる操船影響を比較する。
- ・ 同じ港形モデル＜D 案＞で実施した出港ケース（Case10、11、12）の評価指標値を表 3.13 に示す。
- ・ 各操船局面での評価値の平均値（操船者 3 名の結果の単純平均）及び操船者別の比較を図 3.36 と図 3.39 に示す。

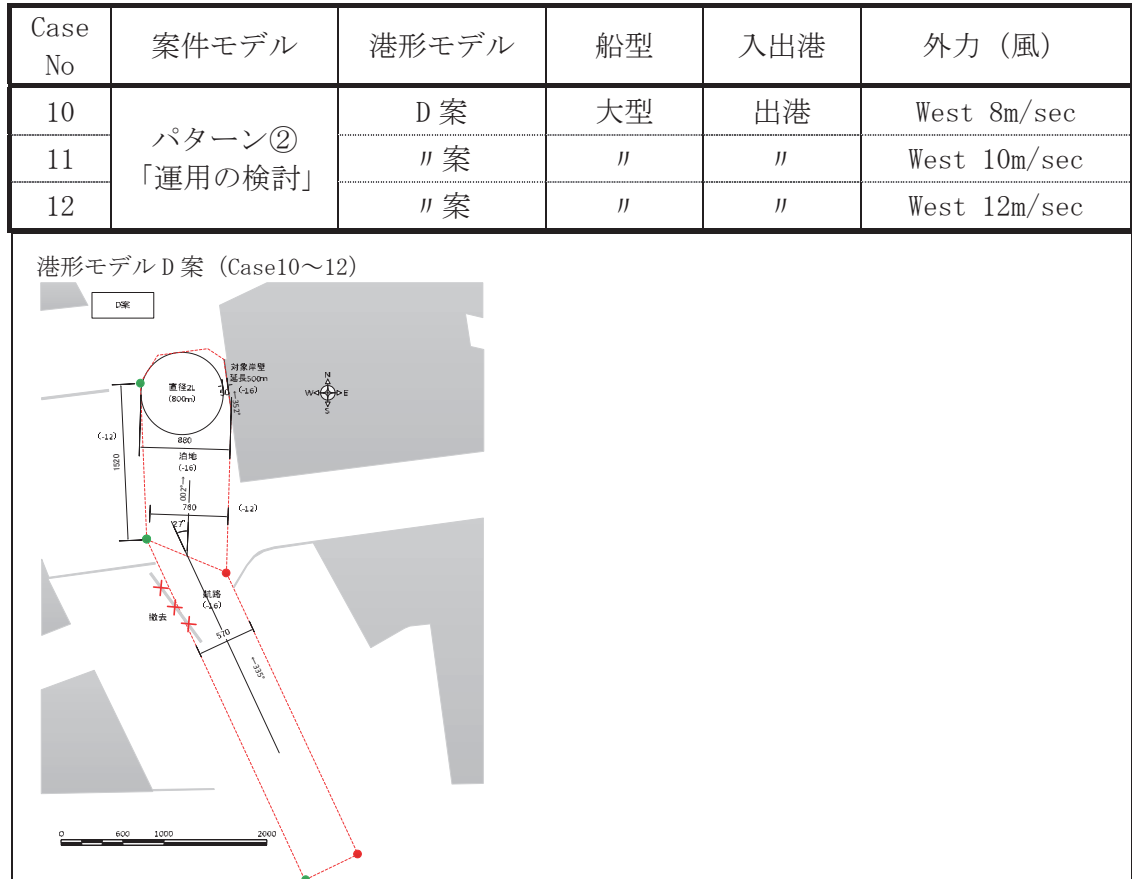


図 3.35 港形モデル

表 3.13 操船シミュレーションにおける影響評価項目（パターン②：出港操船）

操船局面	項目	Case10			Case11			Case12		
		Case10-1	Case10-2	Case10-3	Case11-1	Case11-2	Case11-3	Case12-1	Case12-2	Case12-3
操船者		船長②	船長③	水先①	船長③	船長①	水先②	船長②	水先②	水先①
(5)離岸	主機関使用率[%]	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	5.1	0.1	0.0	0.0
	パウ・スラスター使用率[%]	68.6	26.1	40.4	24.8	25.7	45.5	78.7	39.4	55.7
	スタン・スラスター使用率[%]	68.2	48.8	0.0	31.9	35.0	0.0	78.5	61.9	69.0
	船首タグポート使用率[%]	0.0	77.5	0.0	77.9	83.0	0.0	74.1	57.6	55.6
	船尾タグポート使用率[%]	0.0	86.3	75.9	86.0	71.8	84.0	48.5	67.9	74.9
	平均船首横流れ[cm/sec]	14.1	33.5	18.1	25.9	29.8	9.5	28.0	20.2	28.9
	平均船尾横流れ[cm/sec]	2.6	33.8	14.8	22.5	25.8	14.8	30.1	21.0	28.3
	最大船首横流れ[cm/sec]	40.0	75.0	36.0	74.0	75.0	21.0	74.0	42.0	64.0
	最大船尾横流れ[cm/sec]	7.0	79.0	44.0	75.0	64.0	34.0	45.0	63.0	66.0
(6)回頭	主機関使用率[%]	10.2	30.4	35.4	26.3	10.7	23.3	21.6	19.1	36.1
	パウ・スラスター使用率[%]	81.7	0.0	60.2	53.6	81.2	56.8	78.6	34.4	57.1
	スタン・スラスター使用率[%]	78.8	56.2	0.0	72.2	0.0	0.0	72.2	100.0	73.2
	船首タグポート使用率[%]	0.0	73.4	0.0	62.4	76.4	0.0	70.0	66.6	28.8
	船尾タグポート使用率[%]	0.0	86.3	75.9	86.0	71.8	84.0	48.5	67.9	74.9

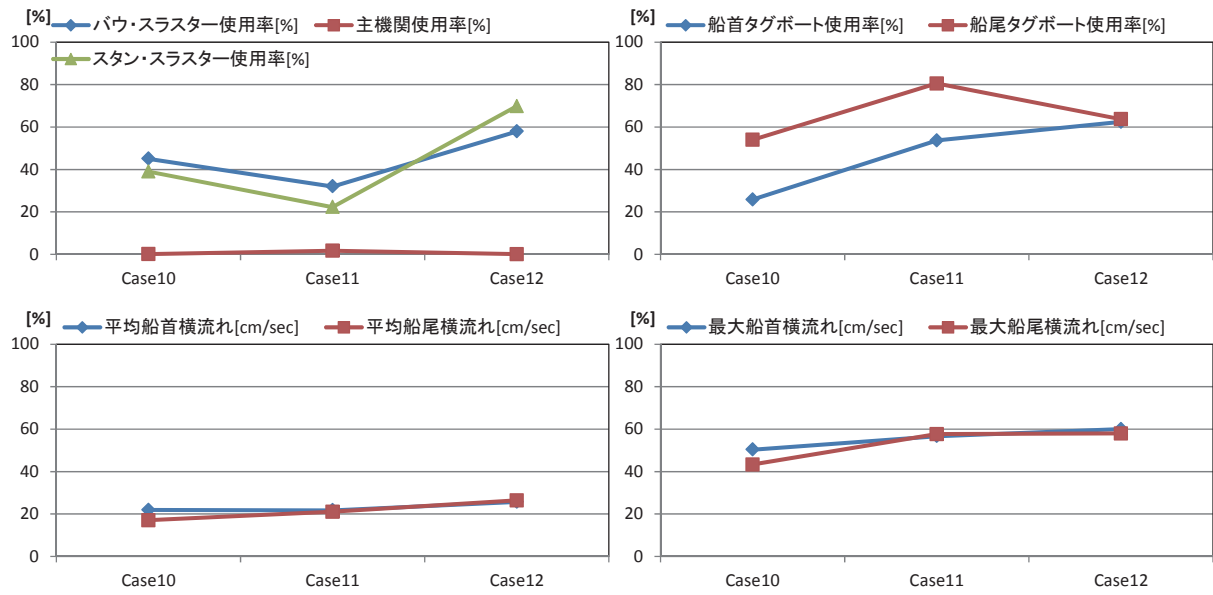


図 3.36 評価値の比較 (パターン②：離岸操船—平均値)

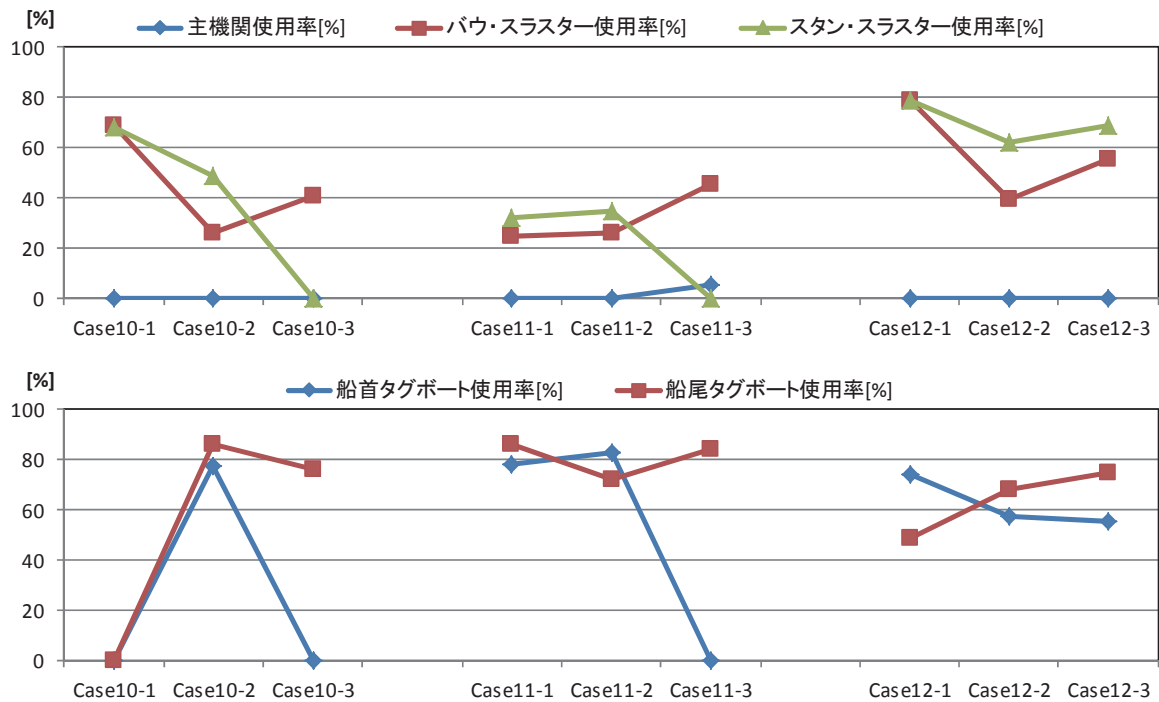


図 3.37 評価値の比較 (パターン②：離岸操船—操船者別)

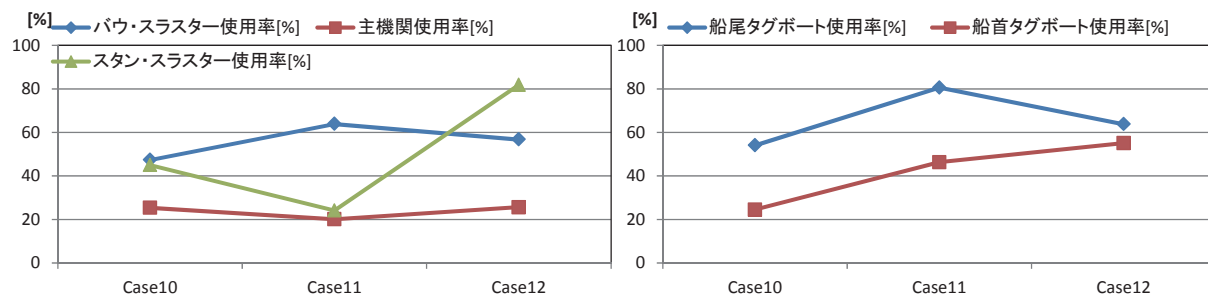


図 3.38 評価値の比較（パターン②：回頭操船—平均値）

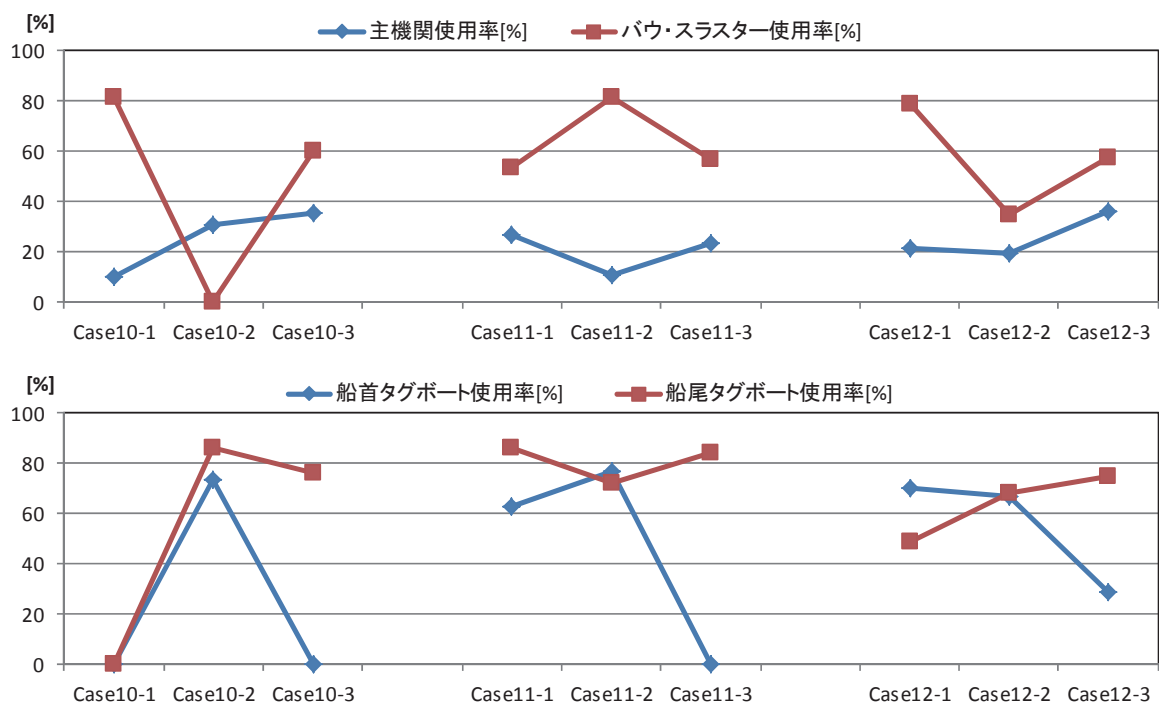


図 3.39 評価値の比較（パターン②：回頭操船—操船者別）

4 平成 28 年度成果のまとめ

本調査研究は、操船シミュレーション手法の活用方策を検討するものである。

平成 27 年度の調査研究では、次のような成果が示されている。

1. 過年度におけるシミュレーション手法活用事例の調査
2. 海難防止検討における役割（ニーズ）の整理とシミュレーション技術（シーズ）の動向調査
3. 案件ごとの操船シミュレータ手法の活用手順
4. 操船シミュレータ結果における制御量・運動量分析における評価指標の設定

平成 28 年度調査研究は、操船シミュレーション手法を用いた操船影響の把握方法について調査することを目的として、仮想のモデル案件（パターン①：施設に係る検討、パターン②：運用に係る検討）を構築して操船シミュレーションを試行的に行った。

試行的操船シミュレーションは、ビジュアル操船シミュレータを用い、地形条件や外力条件の異なるシナリオで、各ケースそれぞれ 3 人の操船者による操船結果を得て、過年度の成果を活用した分析・評価を実施した。

分析・評価は、個々の操船者の特徴があり、操船計画や操船者の意図を踏まえる必要があるといった意見が示された。これらの意見を踏まえ、今後、操船シミュレータを活用した評価・検討を行うにあたって留意すべき事項について考察した。

4.1 評価項目の有効性、評価指標の妥当性

評価項目・評価指標については、過年度の研究成果に基づき表 4.1 に示すとおり操船局面ごとに設定した項目を出力した。

試行的操船シミュレーションを実施した結果、着岸操船局面において、具体的な評価項目として設定されている接岸速度については、防舷材接触時のみならず岸壁との残存距離に応じた接岸速度とすること、接岸時の船体姿勢を示す接岸角度（船体船首尾線と岸壁法線の角度）、及び接岸に要した時間を加えることにより、評価項目・評価指標の選定についてはおおむね妥当であることが確認された。

また、回頭操船においては、できるだけ短時間で回頭しようとスラスターやタグボートを Full で使用することも考えられることから、単純にタグ使用率等の指標値のみで制御不足であったかどうかを評価することは適切ではなく、そのときの操船者の意図を踏まえた分析・評価が必要となると考えられる。

表 4.1 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。	・ 舵 ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	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。	・ 舵 ・ 主機関 ・ タグボート	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	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、バース前面で足を制御する。	・ 主機関 ・ タグボート ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バースまでの距離等)	・ 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	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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 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	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. スラスタの使用量/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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 速やかに離岸できたか ・ 制御余裕をもって離岸できたか	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. スラスタの使用量/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。	・ タグボート ・ スラスタ ・ 主機関 ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(広さ、水深、位置)	・ 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	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. スラスタの使用量/率

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

4.2 案件ごとの標準的な検討項目

図 4.1に示すとおり、過去の検討事例を参考に案件を分類すると 11 に分けることができ、各案件については 8 つの検討項目に整理できる。図 4.1における検討案件ごとの検討項目を表 4.2に示す。

8 つの検討項目は、「1. 施設に係る検討」と「2. 運用に係る検討」の 2 つに大別される。

航路幅員や水深といった水域施設条件や風潮流等外力影響についても、操船に及ぼす影響としてはともに船の運動量や制御量に反映されることから、操船シミュレーション手法による客観的な影響評価においては、互いに共通の表 4.1に示す評価項目を設定すればよく、両者を区別する必要はないと考える。

なお、航行援助施設（ブイ等）の検討については、今回実施した試行的操船シミュレーションの対象外である。この評価・検討については、航行援助施設の配置が操船の支障となるかどうか、航行援助施設として、より効果的な配置や性能（灯質等）のあり方の検討が必要となる。

前者については、航路・泊地計画検討と同様、操船シミュレーションによって操船操作量や運動状態量に及ぼす影響として評価することができる。後者については、視覚的に検討するツールとしてビジュアル操船シミュレータを活用することが考えられる。

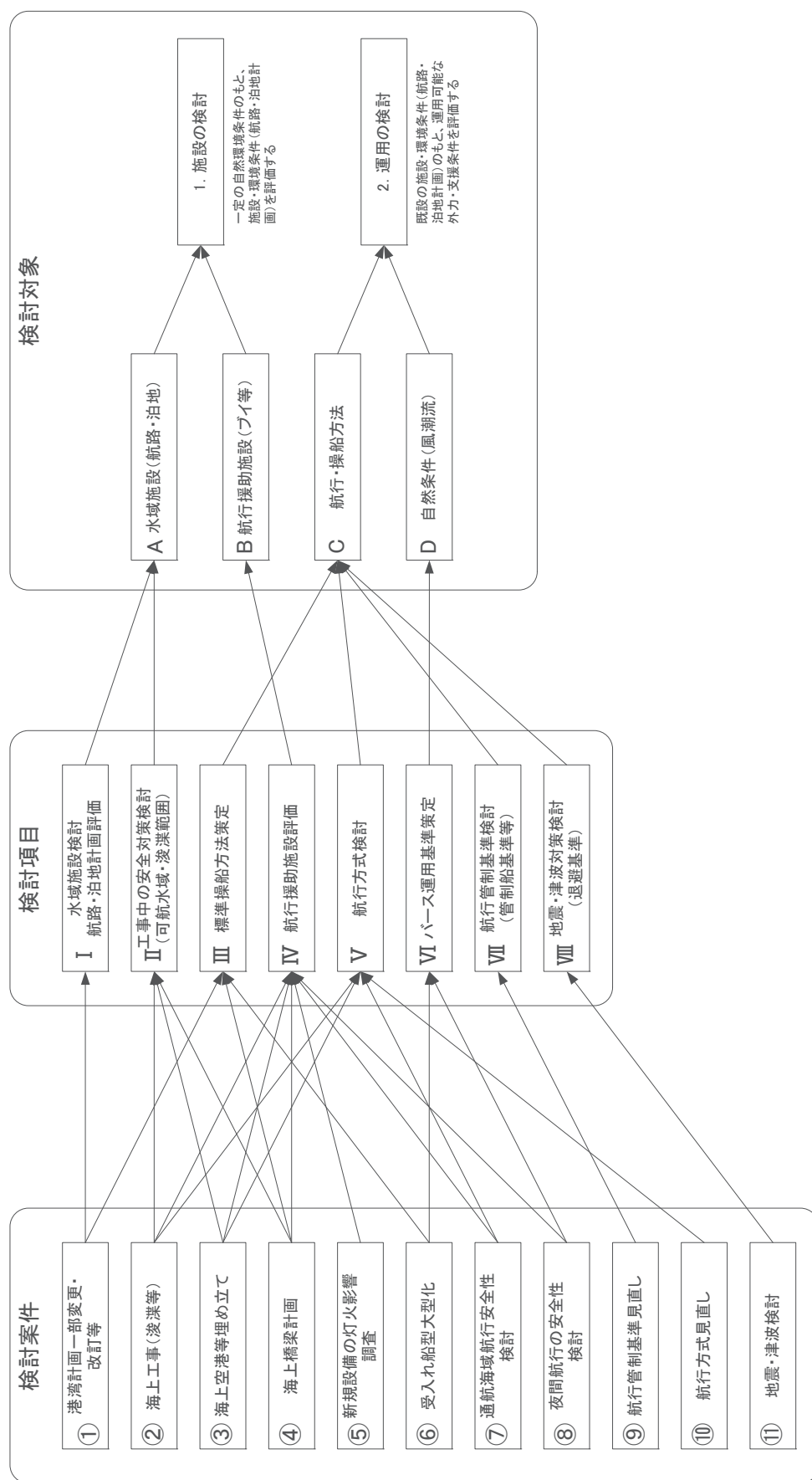


図 4.1 類型化された検討案件ごとの検討項目及び検討対象の整理

表 4.2 案件ごとの標準的な検討項目関係表 (案)

検討項目	検討項目の分類										
	I (航路・泊地計画評価) 水域施設検討	II (可航水域・浚渫範囲) 工事中の安全対策 検討	III 標準操船方法策定	IV 航行援助施設評価	V 航行方式検討	VI ベース運用基準策定	VII (管制船基準等) 航行管制基準検討	VIII 地震・津波対策検討			
検討案件・検討対象	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)	●	●								
	B 航行援助施設 (ブイ等)			●							
	C 航行・操船方法		●		●		●	●			
	D 自然条件 (風潮流等)					●					

※③・④については、決定された計画についての安全対策等を検討する場合である。

4.3 操船シミュレータ実験結果の評価における操船計画・操船意図の確認の重要性

4.3.1 操船者による操船要領の特徴

今回実施した試行的操船シミュレータ実験により、操船者に個々の特性があることが改めて明らかになり、操船計画・操船意図そのものに大きな特徴があることがわかった。

従来、航行安全評価・検討で行う操船シミュレータ実験は、対象水域を熟知した水先人が操船者となることが多く、1 ケース 1 名の操船者による操船結果で評価・検討が行われている。1 ケース複数名の操船結果を得ることは理想的ではあるものの、時間的な制約等から 1 ケース 1 名の操船結果で検証せざるを得ないのが実情である。

したがって、1 ケース 1 名の操船結果からバース運用基準等の結論を得ようとする場合は、得られた操船データには操船者の意識のばらつきが含まれていることを考慮する必要があり、操船結果が操船者の意図どおりであったかどうか、操船計画と操船結果の関連性に着目した分析を行うことが肝要である。

4.3.2 操船計画・操船意図の確認の手順

前述のとおり、操船方法は操船者によって個々に特徴があり千差万別である。入港操船において岸壁から十分距離を離れたところで前進速力を一旦停止し、船体を岸壁に平行にしてからスラスターやタグボートで横移動する操船方法や、岸壁に対して 15～20 度程度の進入角を持ってできるだけ岸壁に近づけて短時間で接近しようとする方法などがある。

操船結果の分析・評価にあたっては、単にタグボートやスラスター、主機関の使用量・使用率を出力・グラフ化して条件別に比較するだけでなく、操船者がどのような意図を持ってその操船を行おうとしたのかを把握する必要がある。

操船者の“操船意図”の確認については、操船者に対して質問票を準備し、意図どおりの操船が行えたかどうかを確認することなどが考えられるが、実際に水先人や船長が入出港前に行うように、シミュレータ実験を行う操船者が、「操船計画」を事前に立案し操船者だけでなく実験に立ち会う委員等評価者すべてに提示したうえで実験に臨むことにより、操船意図と操船結果を比較することが容易に行えることなどが考えられる。

なお、「操船計画」とは、操船者が水路幅や水深、泊地の広さ等の航行環境条件と風潮流等の外力条件、本船の大きさやコンディション(喫水、トリム、風圧面積)、操縦性能を踏まえ、針路・速力設定、タグボートの配備位置や使い方などについて事前に計画するもので、従来の実験では質問票によって実験終了後に実験評価者にもその内容を伝えるものである。

図 4.2は、操船シミュレータ実験において、操船者の操船計画を把握し、操船結果が意図どおりに行えたのかどうかを確認するための手続きを加えたものである。操船者が実際に行うように、海図等に予定針路や変針開始点、機関停止・減速開始予定地点、タグボート配備地点・配備場所・使用方法、活用する航進目標や各操船局面における留意事項等を記入してもらう。また、必要に応じて予備的に操船シミュレーションを実施し、無外力や平均的な外力条件下での操船データを得ておくことも考えられる。このデータは、本実験で行われる、風潮流の影響

を受けるとき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にも利用できる。

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。

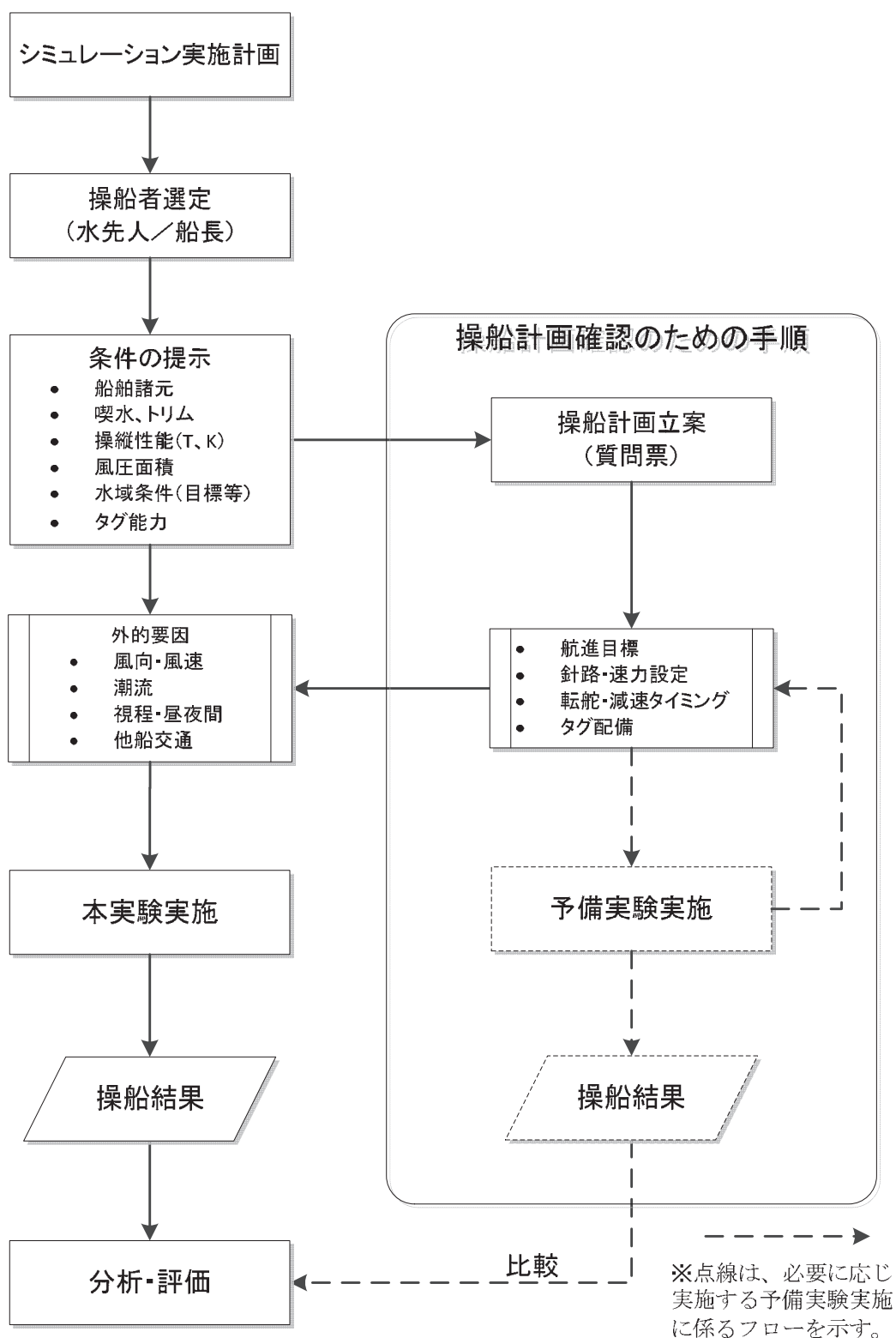


図4.2 操船シミュレータ実験における「操船計画」把握のための手順

4.3.3 操船計画の立案手順と操船意図の確認方法

表 4.3は、入港から出港までの一連の操船を各局面に分類し、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評価シートをイメージしたものである。

図 4.3と図 4.4は、それぞれ入港と出港の操船シミュレータ結果の一例であり、航跡図には操船者が行おうとした操船計画が赤字で記入されている。

表 4.3に示す「操船計画」の縦列は、操船者が操船目標として針路や速力をどのように設定するか、また、操船目標達成のための操船手段、言い換えれば制御手段（舵、主機関、スラスター、タグボート等）をどのように使用し、変化させるかをあらかじめ記入する欄である。「操船結果」の縦列は、実際に操船者が行ったシミュレータによる操船結果を示しており、「評価」の縦列は、操船計画と操船結果を比較し、操船結果が目標である操船計画どおりに行えたかどうか、許容範囲に収まっていたかどうかを操船者自身又は実験評価者が基準を設けて判定する欄である。

あらかじめ操船者に操船計画・操船意図を確認する際には、各操船局面で針路・速力の設定や舵・主機関、スラスター、タグボート等操船手段の使用方法・使用範囲（使用量）等について具体的な設定値を確認し、行われた操船結果が操船計画・操船意図どおりであったかどうか、評価基準内であったかどうかを表 4.3のような評価シートに基づき判定する方法が考えられる。

表 4.3 操船計画と操船結果の比較・評価のイメージ

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

※赤字は操船計画を示す。

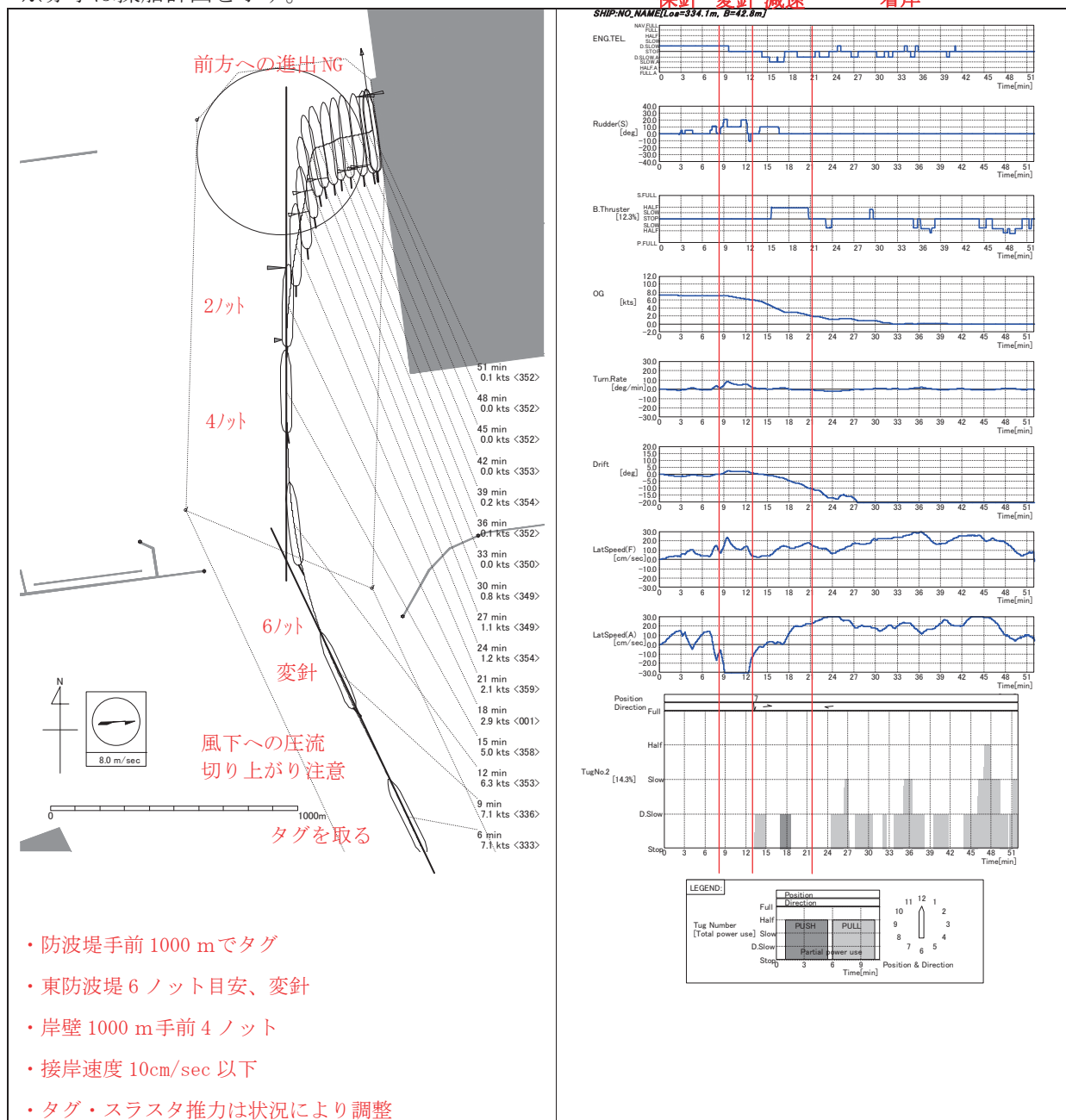


図 4.3 入港操船（保針・変針・減速・着岸局面）の計画と結果の比較及び評価（例）

※赤字は操船計画を示す。

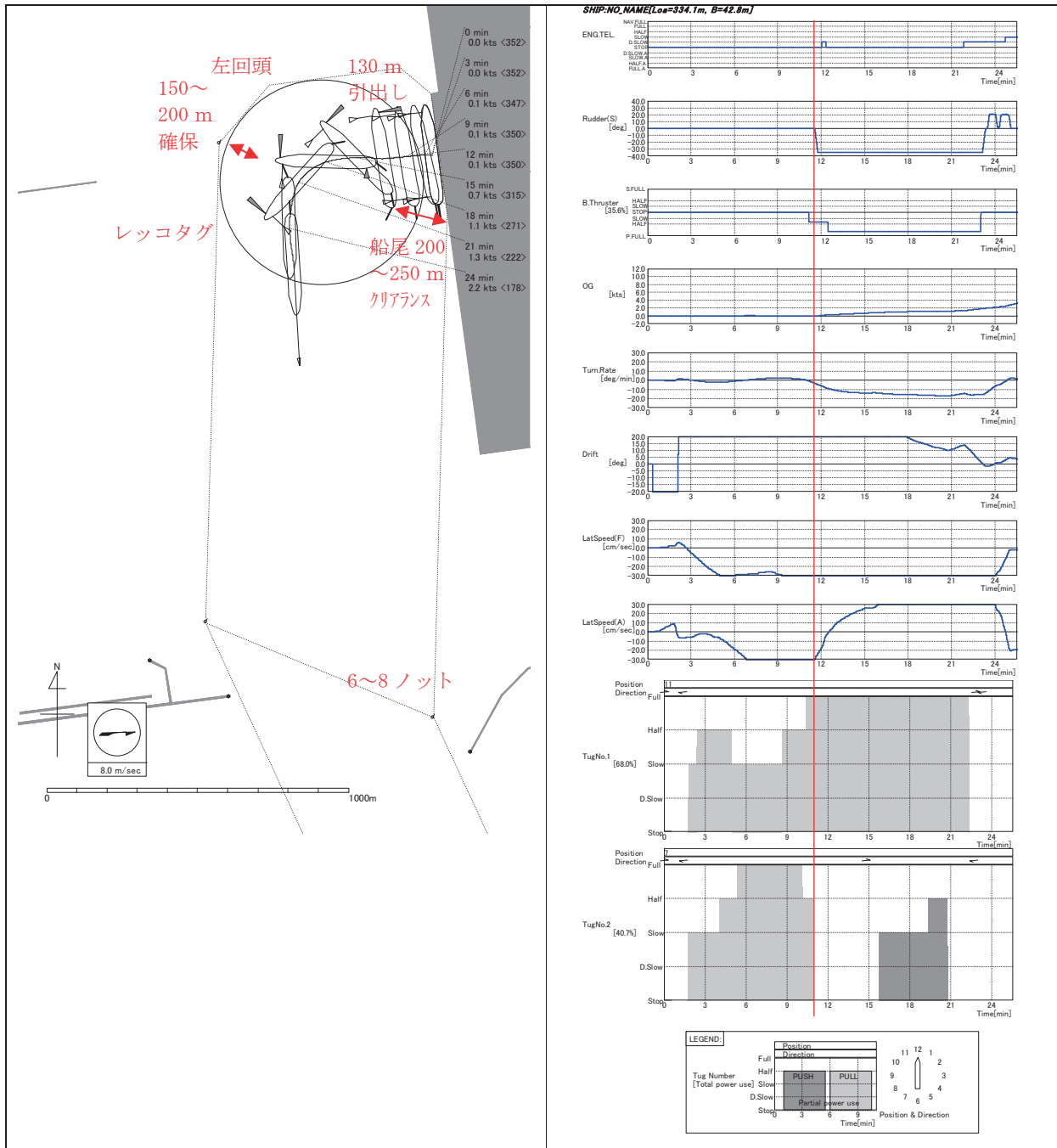


図 4.4 出港操船（離岸・回頭局面）の計画と結果の比較及び評価（例）

4.4 分析・評価の手順の見直し

今回の試行的操船シミュレーションを行った結果、平成 27 年度に検討したシミュレータ実験結果の分析・評価手順を図 4.5に示すとおり改めることとする。

操船シミュレーションの分析・評価にあたっては、外力条件や船舶条件の設定に引き続き、操船者が操船計画を立案するステップを加え、“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。

“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。

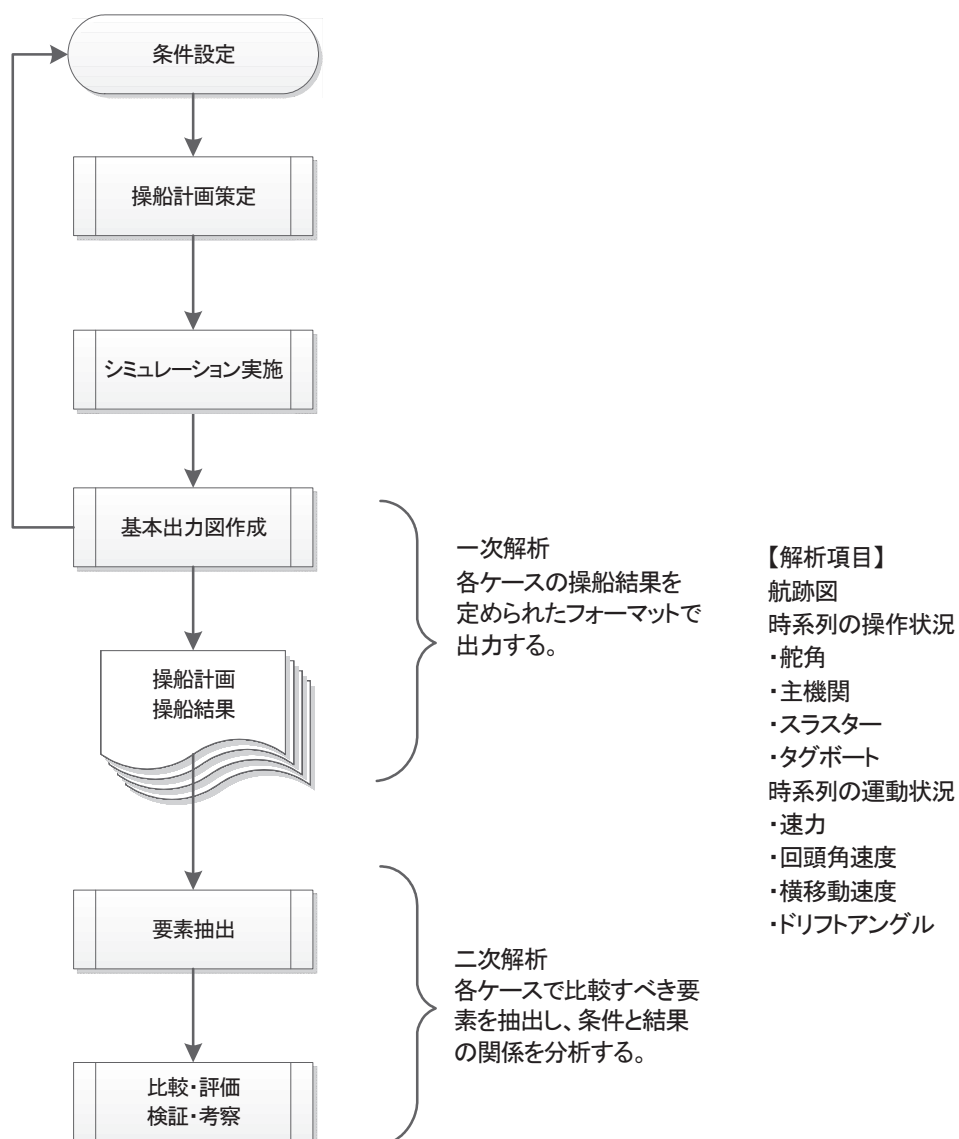


図 4.5 分析・評価の手順

4.5 操船シミュレータ実験における操船結果の出力方法について

航跡図や操船状況グラフのように、従来どおりの紙上での操船結果の出力と評価指標値を比較したグラフの出力のみでは、操船状況を十分に理解するには難しく、操船の安全性を適切に評価するには更なる工夫が必要との意見がある。

操船の結果は、ひとつの場面に限定した舵角やドリフト量などの物理量の比較だけではなく、時系列的に一連の操船の流れを理解する必要があることから、例えば、タブレット型 PC 等によって操船結果（航跡や舵角等の操作量・運動状態量）をリプレイしたり、操船計画と操船結果を時系列的に同一画面で比較したりすることができるようなシステムを開発し、評価者にとってより検討しやすい環境を整備するのが望ましい。

5 今後の課題

本調査研究は、操船結果の制御量・運動量に着目してこれを定量的に分析し、安全性を客観的に評価する手法を検討してきた。検討の結果、シミュレータ実験における操船者の個々の特徴について考慮することが重要と指摘がなされた。

今後、従来から行われている操船シミュレータ実験の参加者（操船者及び実験に立ち会う委員等）が行う主観的評価結果について、制御量・運動量分析手法で得られた客観的評価結果との関連性を分析し、評価基準を策定するなど、主観的評価手法の適正化を図るとともに、客観的評価と主観的評価を併用した総合的な評価手法を開発していく必要がある。

また、操船シミュレータ実験結果を用いた航行安全性の評価を適切に行うためには、評価者（特に操船者以外）が操船状況をよく理解する必要がある。これまで、操船結果は紙上に航跡図やグラフ等として示されてきたが、操船状況を十分理解するには不十分との意見もあり、上述のとおり、タブレット型 PC 等によって操船結果をリプレイする等のシステムの開発等、さらなる工夫が求められている。

参 考 資 料

参考資料-1

平成 27 年度調査研究結果の概要

1 平成 27 年度調査研究結果の概要

過年度調査研究結果の概要を以下に示す。

1.1 過年度検討事例調査

神戸海難防止研究会が受託または自主事業として実施した調査研究事業について、平成 14 年度から平成 26 年度までのおおよそ過去 10 年間のものを整理し、検討対象とされた案件ごとに、使用された検討手法（主としてシミュレーション手法）や評価方法を類型化した。なお、航行管制の基準見直しについては、過去 10 年間で検討事例がなかったため、別の海防団体の検討事例を参考とした（平成 7 年度には大阪湾の管制に関する調査検討が行われている）。

表 1.1 シミュレーション活用事例調査と類型化

検討内容 案件分類		検討対象							整理・調査				検討シミュレーション			特長
		水域施設 評価	航行援助 施設評価	標準操船 方法策定	運用基準 策定	計画の安 全性評価	航行安全 対策検証	影響調査	検討 件数	資料整理・ 検討	実態調査 (実施)	海上交通流 シミュレーション	数値操船 シミュレーション (FTS)	ビジョン/機船 シミュレーション (RTS)	係留動揺 シミュレーション	
港湾計画一部変更、改訂等 (新規ふ頭計画)		○				○			11	9	2	3		4	1	大規模な改訂、大型化船型を対象とする変更時にはシミュレーションで検討される場合が多い。 ・資料による検討（水域の可航幅や水深等の施設基準が満足されているか）が殆どである。 ・全てRTSによる検討が行われている。 ・FTSは近年導入されてから全て用いられている。
海上工事（浚渫、泊地整備、航路整備、防波堤新設・撤去）		○				○			30	28	6			3		
既存施設における受入船型大型化 着離棧基準の検討、標準操船要領検討		○		○	○	○			12	12			4	12	8	
通航海域における航行安全性検討						○			1	1						
夜間航行の安全性検討						○			1	1	2			1		
海上空港等埋立地							○		3	1	2					
海上橋梁計画			○	○		○			2	2	1			1		
航行管制基準見直し						○			2	1				2		
航行方式見直し		○	○			○			2	1	1	1				
地震・津波検討		○						○	10	8		1			5	
新規設備の灯火影響調査								○	2	2	1					

(単位：件数)

(単位：件数)

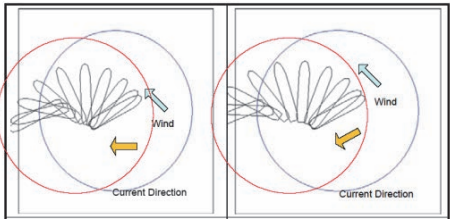
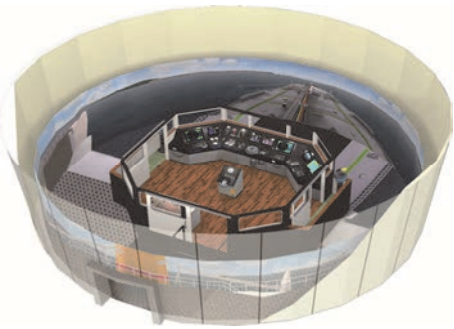
1.2 ニーズの整理とシーズの動向調査

海防審議の観点からシミュレーションのニーズについて整理を行い、特に検討項目ごとの種々シミュレーションの使われ方、また検討対象について整理した。さらに、操船結果データの評価方法の整理、また、評価すべき項目について整理した。

1.2.1 シミュレーションの概要

検討に用いられる操船シミュレーションについては以下の種類に分けられる。

表 1.2 操船シミュレーションの種類

分類	特徴	外観
数値操船 シミュレーション (FTS)	- 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	
鳥瞰図式 操船 シミュレーション	- 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	
ビジュアル 式操船 シミュレーション (RTS)	- 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	

1.2.2 操船影響評価手法の分類

操船シミュレーションは、ある外力条件の下、入出港操船状況を模擬的に再現するものであるが、その結果が安全であったかどうか、操船が困難であったかどうかの評価については、これまでの海難防止対策検討において、また、今後の検討において使用できるとされる評価手法を分類すると表 1.3に示すとおりである。

表 1.3 評価手法の分類と概要

分類	概要	評価項目	課題
主観 評価法	操船者及び立会人に対して、通常 5 段階で危険度や困難度に関する回答を得て（統計的に）解析する方法	危険感 困難感 (直観的)	統計的に有意なサンプルが得にくい 回答にばらつきが生じる
数学的 評価モデル	自船の運動状態や自他船の相対関係から、避航操船の難易度や航行危険度を数値化する方法	危険度 困難度 (論理的)	評価算定過程が見えにくい
生理指標 計測	心拍数、血圧、皮膚温度（発汗量）、瞬目、唾液中特定成分分泌量等、操船者の生理指標を計測して心的負荷を測定する方法	心的負荷 (心的余裕)	統計的に有意なサンプルが得にくい 海防審議では未使用
制御量・ 運動量分析	当て舵量や横偏位量等、操船・操作（制御）量や運動状態量を分析する方法	制御余裕	可否基準が不明確

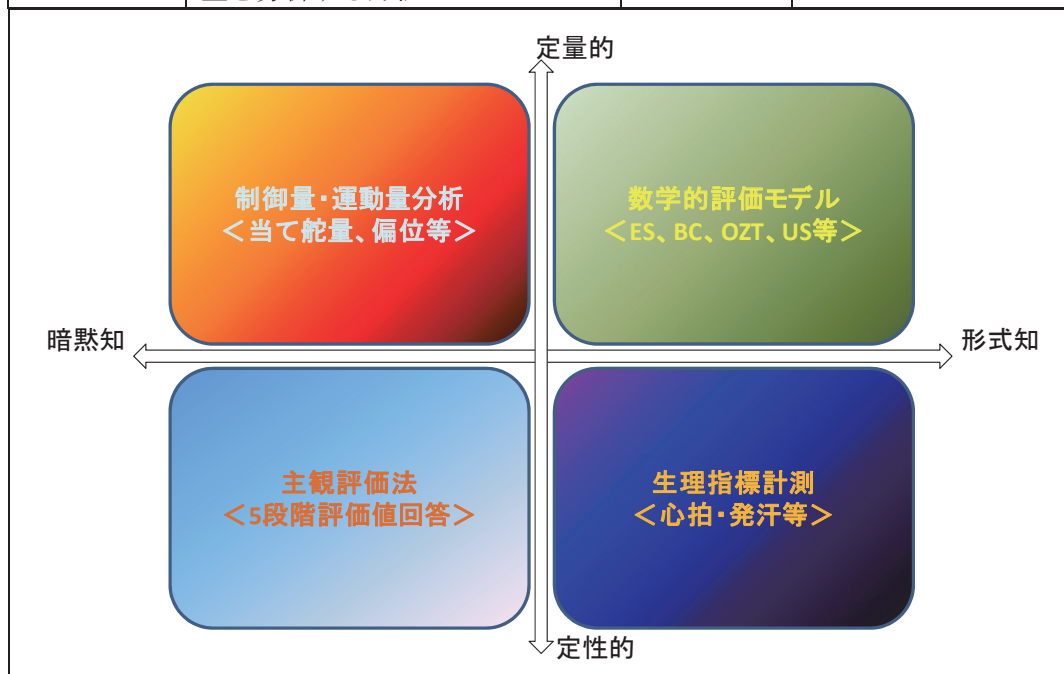


図 1.1 操船評価手法の分類

1.3 操船シミュレータ手法の活用に関する検討

1.3.1 検討対象項目と活用すべき検討（シミュレーション）手法（案）

これまでの海難防止対策検討の実績を踏まえ、検討対象とする項目ごとに活用すべき検討（シミュレーション）手法を類型化して表 1.4に示す。

表 1.4 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	ヒューマン 操船		
(1) 水域施設検討 航路・泊地計画評価	—	△	○	△	◎	—	・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	—	△	—	—	○	—	・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	—	—	—	◎	○	—	・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	—	—	○	△	◎ (◎)	○ (◎)	・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	◎	○	—	—	△	—	・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	△	◎	—	—	△	—	・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	—	△	○	◎	△	◎	・津波来襲時の係留退避の可否 ・緊急離陸操船方法の検討 ・避難経路の検討
(8) 工事中の安全対策検討	—	△	—	—	△	—	・工事区域の範囲設定、表示方法、警戒船配備 ・工事中船舶の航行経路 ・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

1.3.2 標準的な検討フロー

(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。

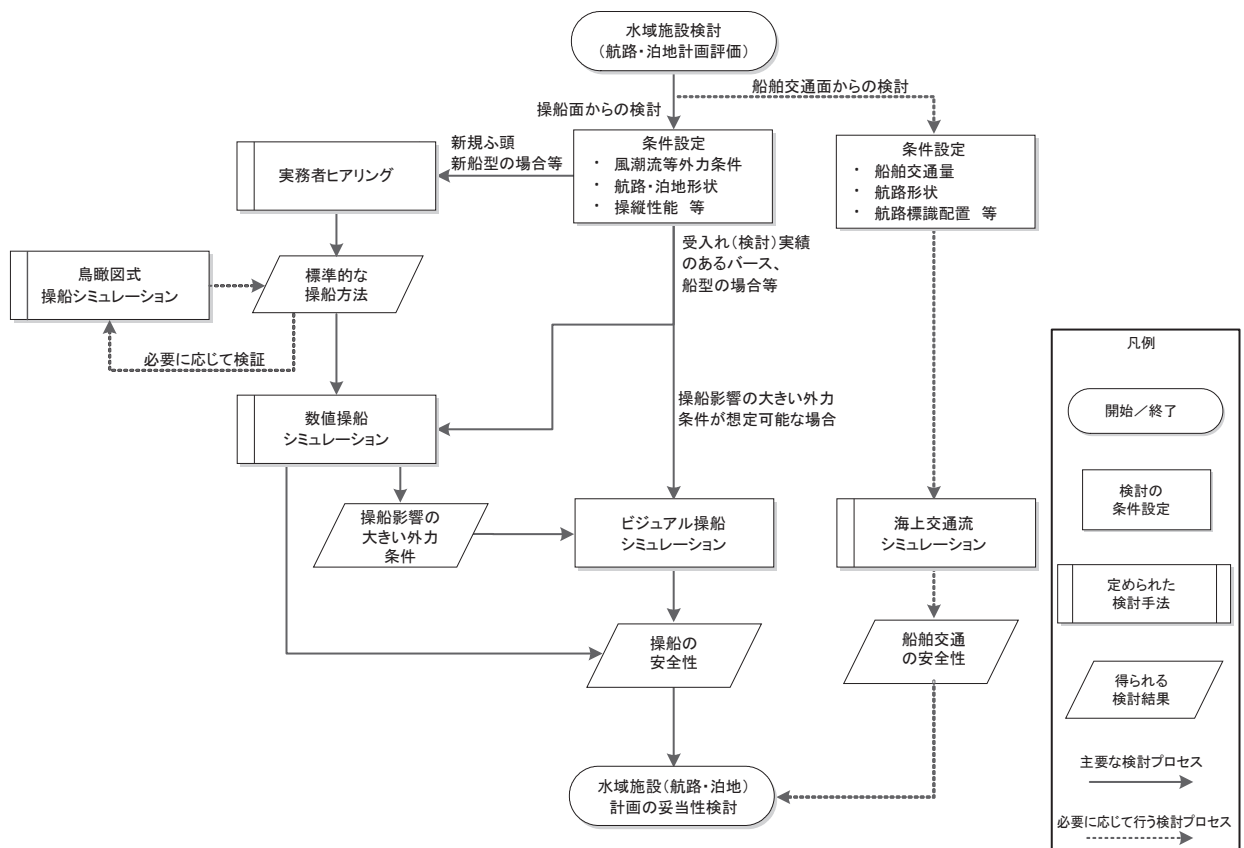


図 1.2 標準的な検討フロー（水域施設検討（航路・泊地計画評価））

(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。

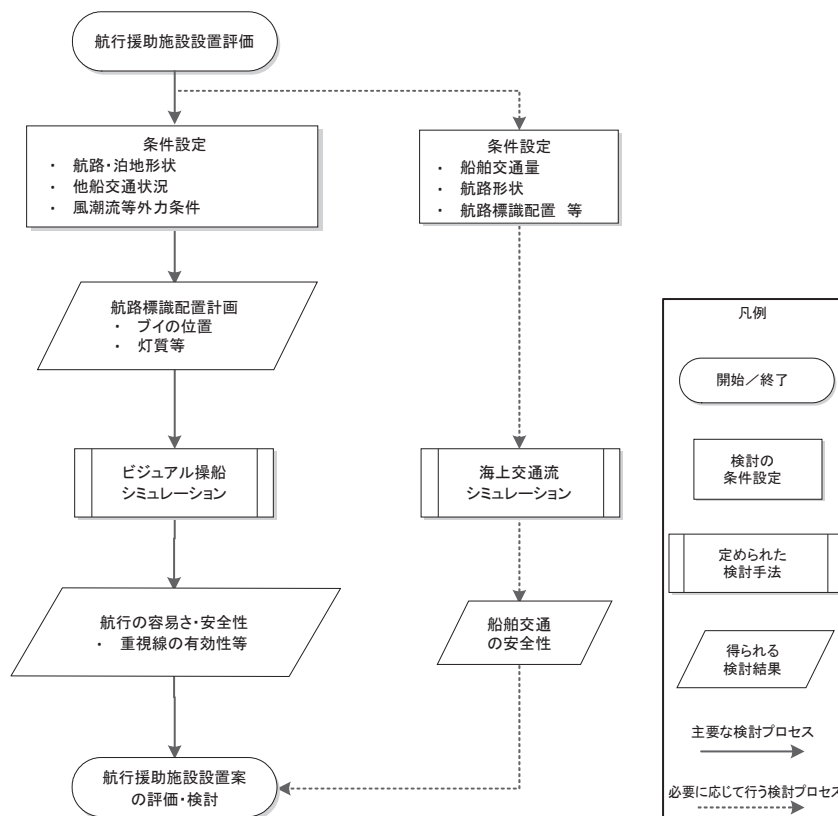


図 1.3 標準的な検討フロー（航行援助施設評価）

(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。

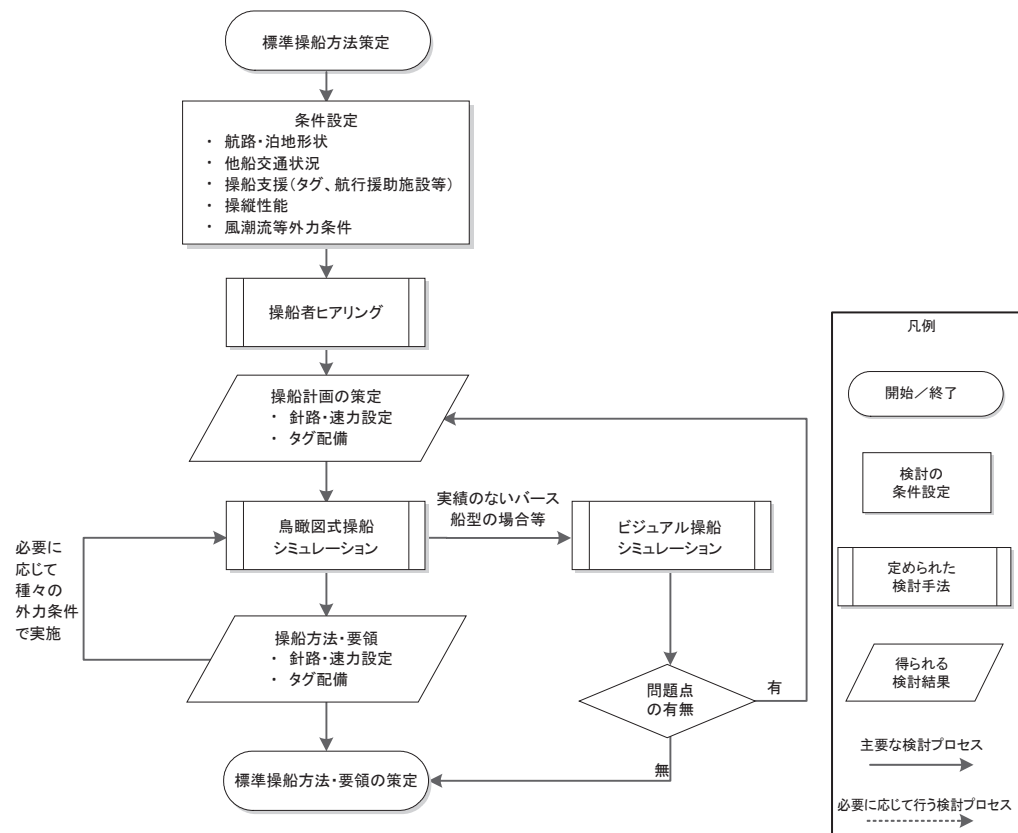


図 1.4 標準的な検討フロー（標準操船方法策定）

(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。

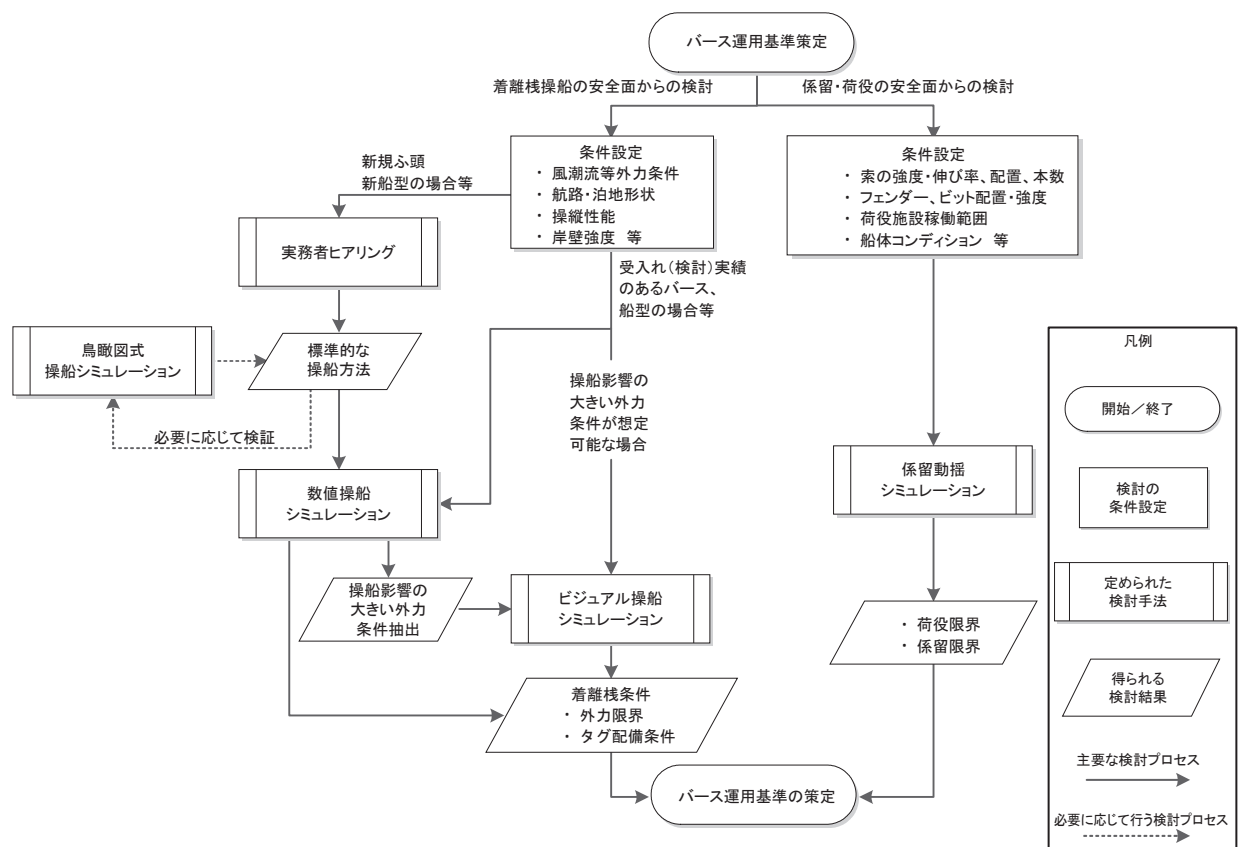


図 1.5 標準的な検討フロー（バース運用基準策定）

(5) 航行管制基準検討

航路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あっては、「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。

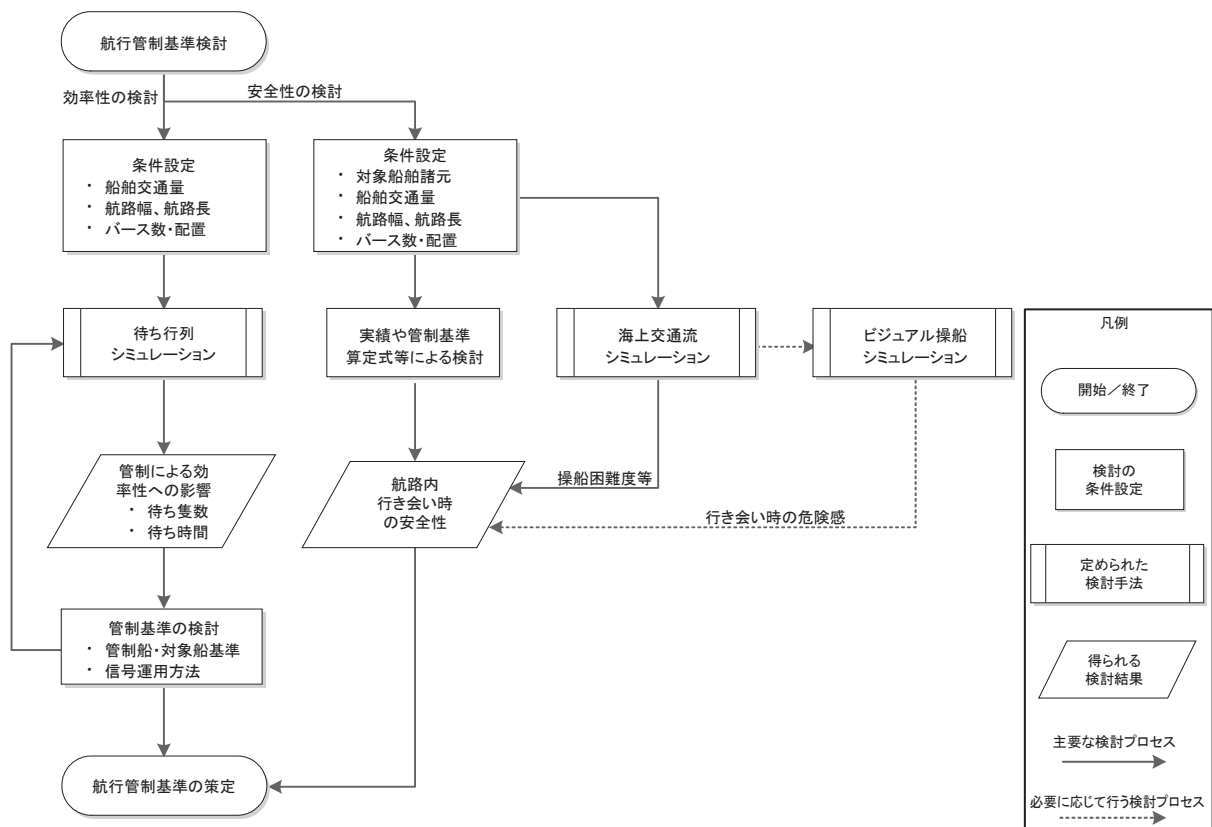


図 1.6 標準的な検討フロー（航行管制基準検討）

(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。

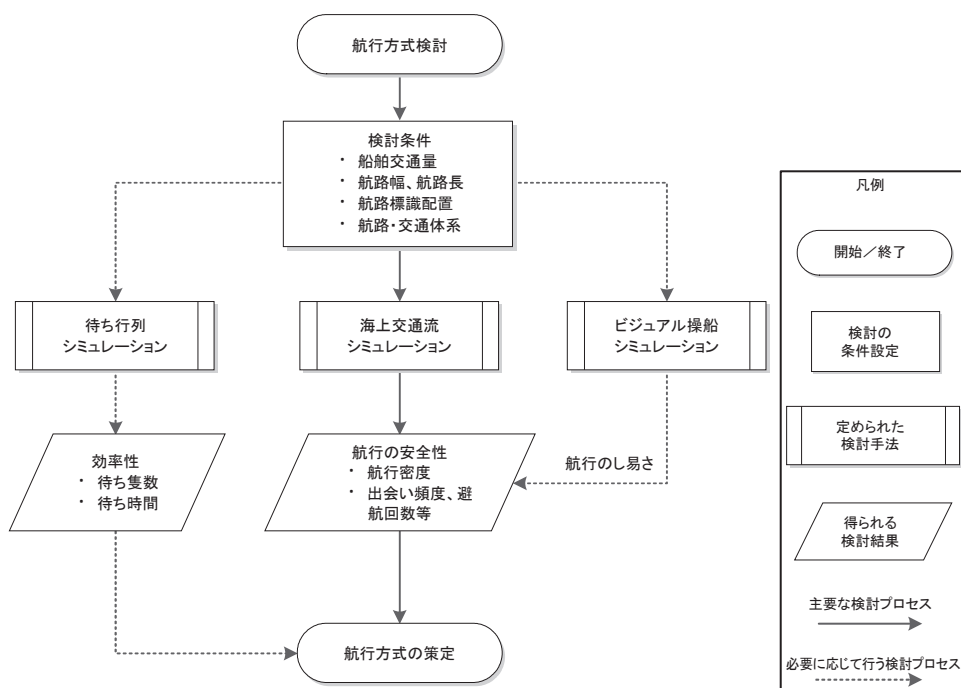


図 1.7 標準的な検討フロー（航行方式検討）

(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。

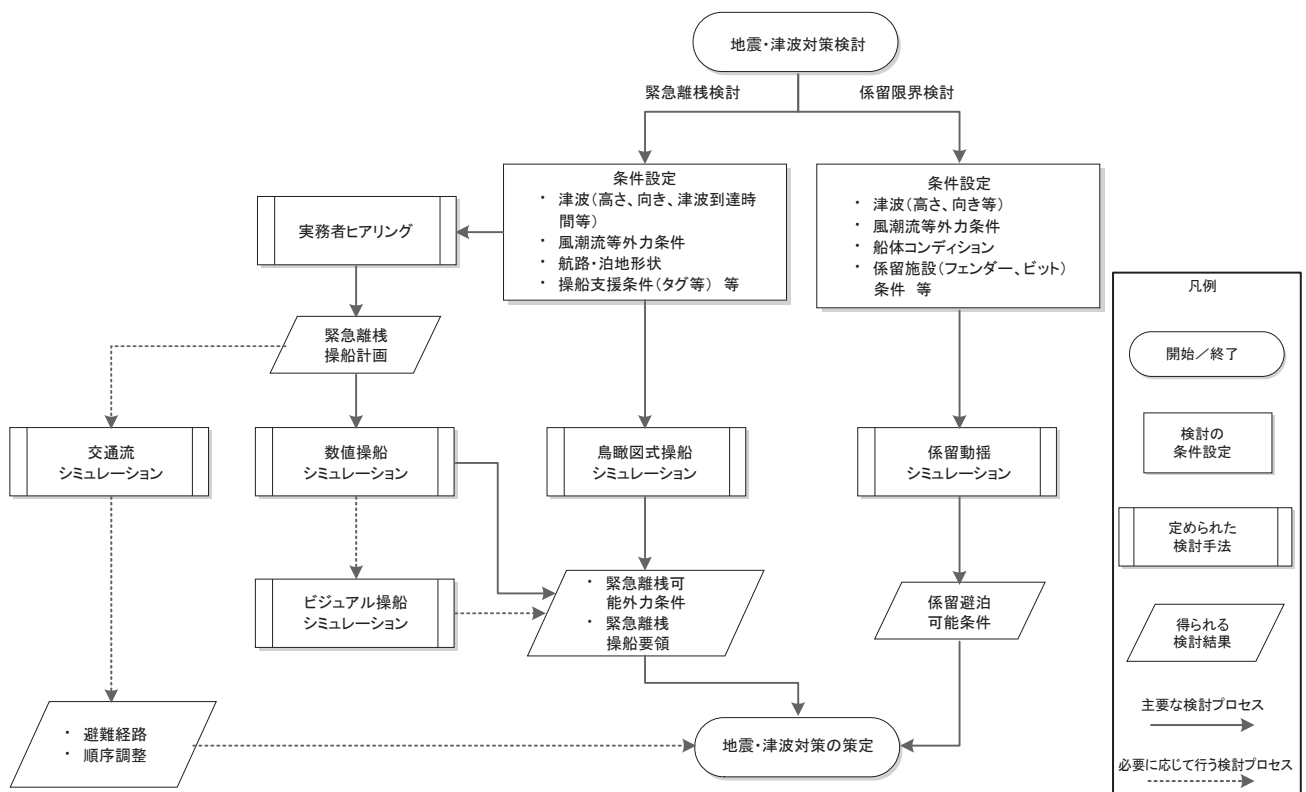


図 1.8 標準的な検討フロー（地震・津波対策検討）

(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。

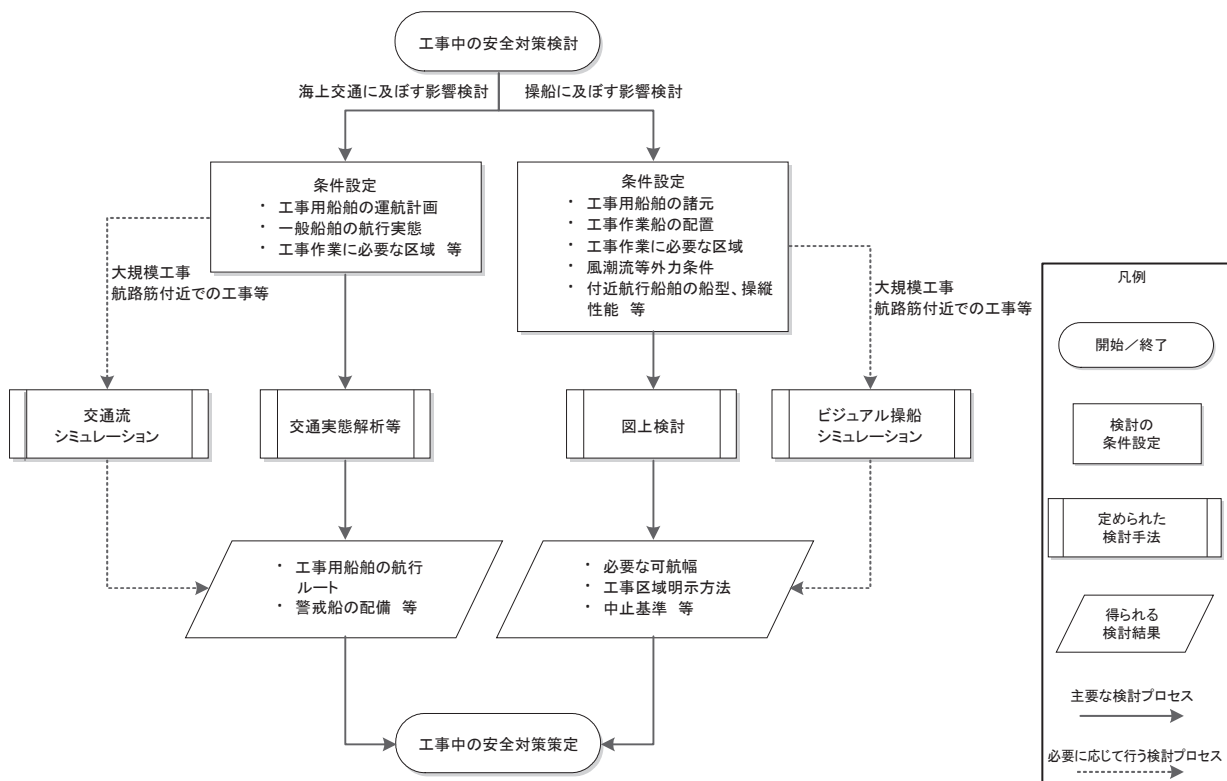


図 1.9 標準的な検討フロー（工事中の安全対策検討）

1.4 制御量・運動量分析における評価指標の設定

操船シミュレーションにおける影響評価項目を整理すると表 1.5のとおりである。

「目標コースからの横偏位量」あるいは「他船との離隔距離」は、操船計画（意図）どおりに操船できたかどうかという点において重要な評価項目である。

また、「当て舵量」や「変針舵角量」、「タグボート、スラスター、主機関の使用頻度・使用量・使用率等」の制御量は、その操船自体に余裕があったかどうかを示す指標である。制御余裕は、他船等との衝突回避や突風等、予期しない外力影響に対処するために必要となる。

「離岸や回頭に要する操船時間」についても操船計画（意図）どおりの操船が行えたかどうかを示す指標のひとつであり、思った以上に時間のかかる操船は、その後の急激な気象変化に対応できずに危険な状態となり得るリスクを含んでいる。

表 1.5 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。	・ 舵 ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	5. 目標コースからの横偏位量 6. 他船との離隔距離 7. 保針のための当て舵角量(平均/最大) 8. 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。	・ 舵 ・ 主機関 ・ タグボート	・ 風潮流等外力 ・ 水域(形状、幅、水深) ・ 他船交通	・ 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	5. 目標コースからの横偏位量 6. 他船との離隔距離 7. 変針舵角量(平均/最大) 8. 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、バース前面で足を制御する。	・ 主機関 ・ タグボート ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バースまでの距離等)	・ 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	5. 主機の使用量/使用率 6. 主機の使用頻度(回数) 7. タグボートの使用量/率 8. 目標コースからの横偏位量
(4) 着岸	姿勢を保ちつつ、安全な横移動速度を維持して制御する。	・ タグボート ・ スラスター ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 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	5. 接岸速度(船首尾の接岸速度差) 6. タグボートの使用量/率 7. スラスターの使用量/率 8. 主機使用頻度(回数)
(5) 離岸	姿勢を保ちつつ、十分な横移動速度を得て制御する。	・ タグボート ・ スラスター ・ 主機関	・ 風潮流等外力 ・ 水域(バース水深・延長) ・ 係留施設強度	・ 速やかに離岸できたか ・ 制御余裕をもって離岸できたか	5. (一定距離) 離岸に要した時間と横移動速度 6. タグボートの使用量/率 7. スラスターの使用量/率 8. 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。	・ タグボート ・ スラスター ・ 主機関 ・ 舵	・ 風潮流等外力 ・ 水域(広さ、水深、位置) ・ 係留施設強度	・ 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	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. スラスターの使用量/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)

1.5 課題の整理

操船の事前計画、実施した際の操作の意図、また、意図通りの操船が行えたかどうかの確認等の操船結果は、操船者の操船意図が検討の重要な情報となり得ることから、操船シミュレータ実験の進め方を含めて、今後、検討する必要がある。

「操船シミュレータ実験結果出力フォーマットの設計まとめ」で示した各操船局面における影響評価項目は、操船の安全性からみた許容可否の判断基準、例えば、保針操船時におけるドリフトアングルや当て舵角の限界値等を設定する必要があるが、これらに関しては、船の種類や大きさ、操縦性能といった船舶条件、水域の広さやバース配置といった水域施設条件によっても異なるものと考えられる。

従来のビジュアル操船シミュレータ実験においては、操船者及び実験立会人に対して主観的評価を行うが、ここで示した操船結果に対する制御量・運動量分析手法で得られた客観的評価結果と主観評価を関連付けることによって評価基準を策定する方法等を、今後、検討する必要がある。

参考資料-2

操船局面ごとの出力項目の整理図

1 操船局面ごとの出力項目の整理図

操船局面ごとの出力項目の整理図を以下にとりまとめる。

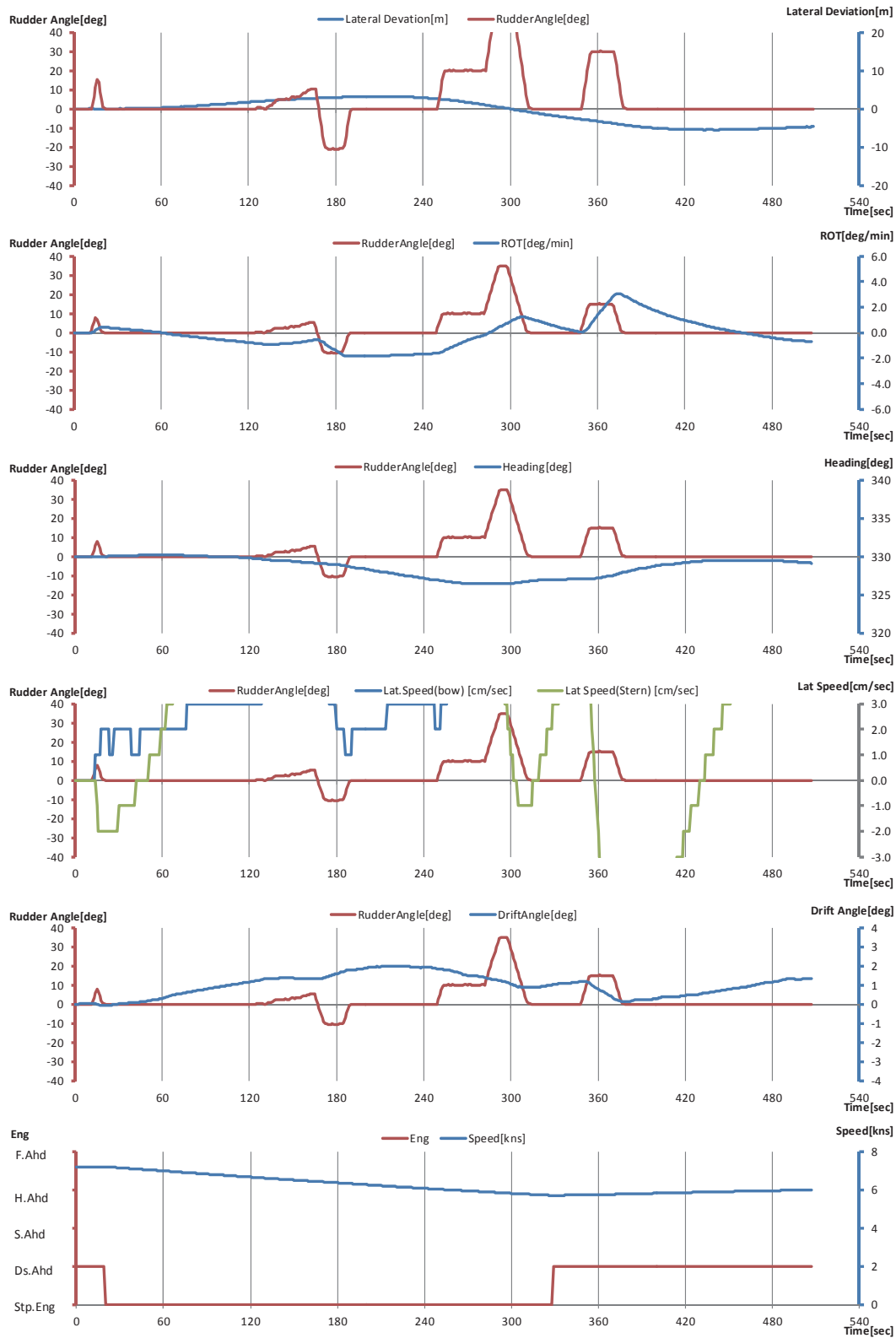
なお、グラフ中の凡例を以下に示す。

舵角[deg]	Rudder Angle[deg]
エンジンテレグラフポジション	Eng
回頭角速度[deg/min]（方位[deg]）	ROT[deg/min]
ドリフトアングル[deg]	Drift Angle[deg]
前進速力[kns]	Speed[kns]
横偏移量[m]	Lateral Deviation[m]
船首方位[deg]	Heading[deg]
船首尾の横移動速度[m/sec]	Lat Speed (Lateral Speed)
船首の横移動速度[m/sec]	Lat Speed (FORE) [cm/sec]
船尾の横移動速度[m/sec]	Lat Speed (STERN) [cm/sec]
スラスター使用状況（推力）	Thruster[%]
タグボート使用状況（推力）	Tug [%]

2 入港ケース（パターン①）

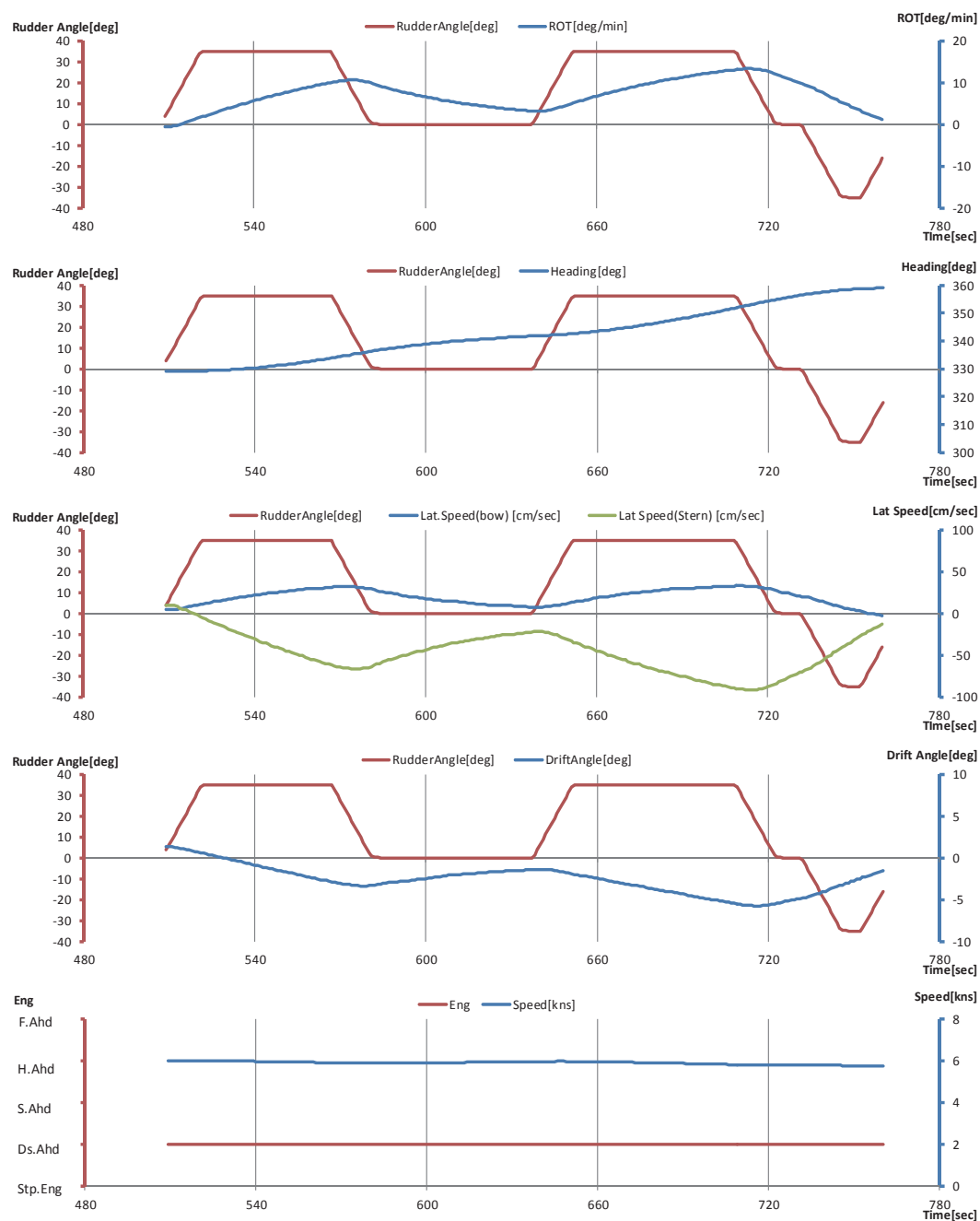
2.1 Case1-1

【保針】



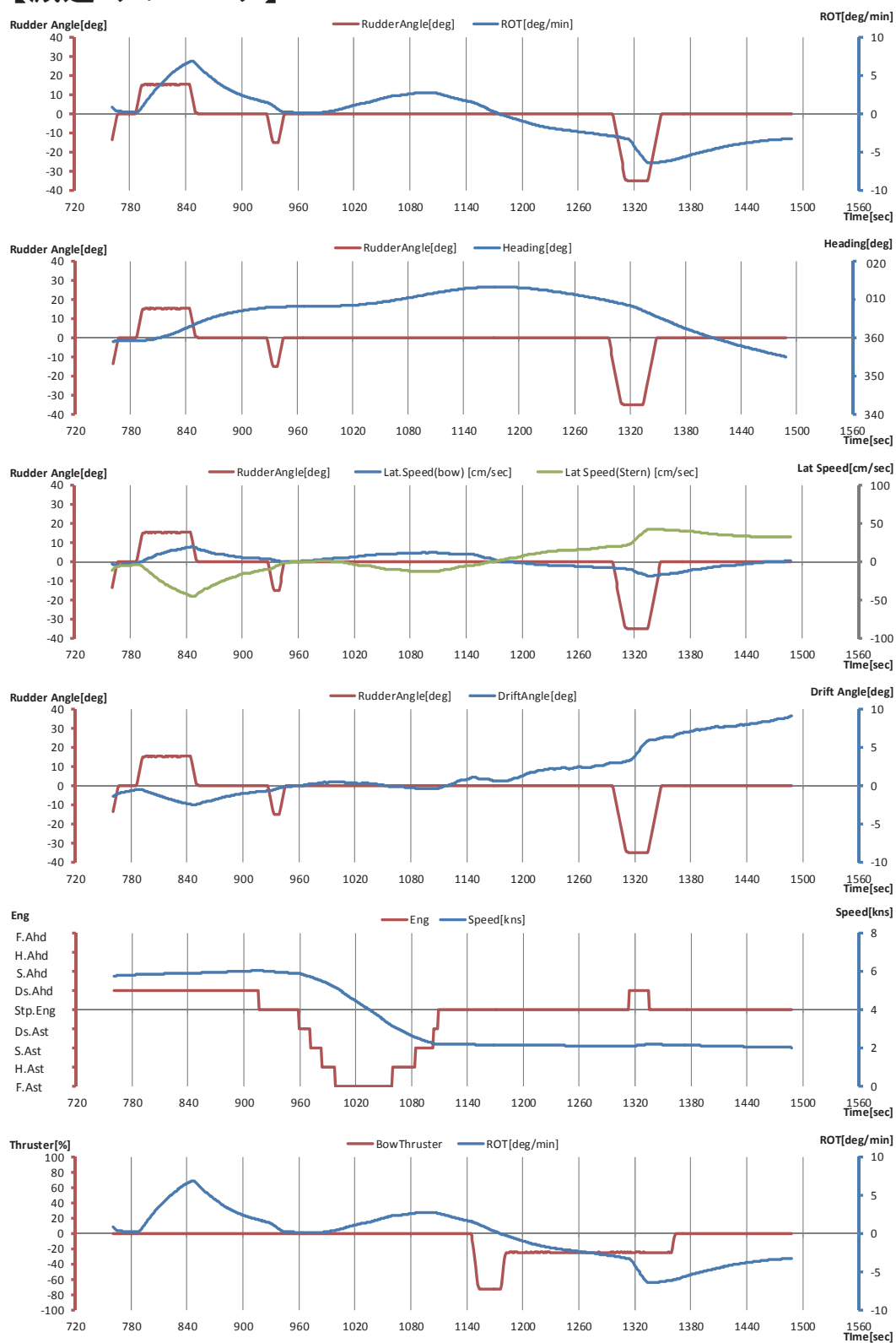
資図 2.1 出力項目整理図①

【変針】



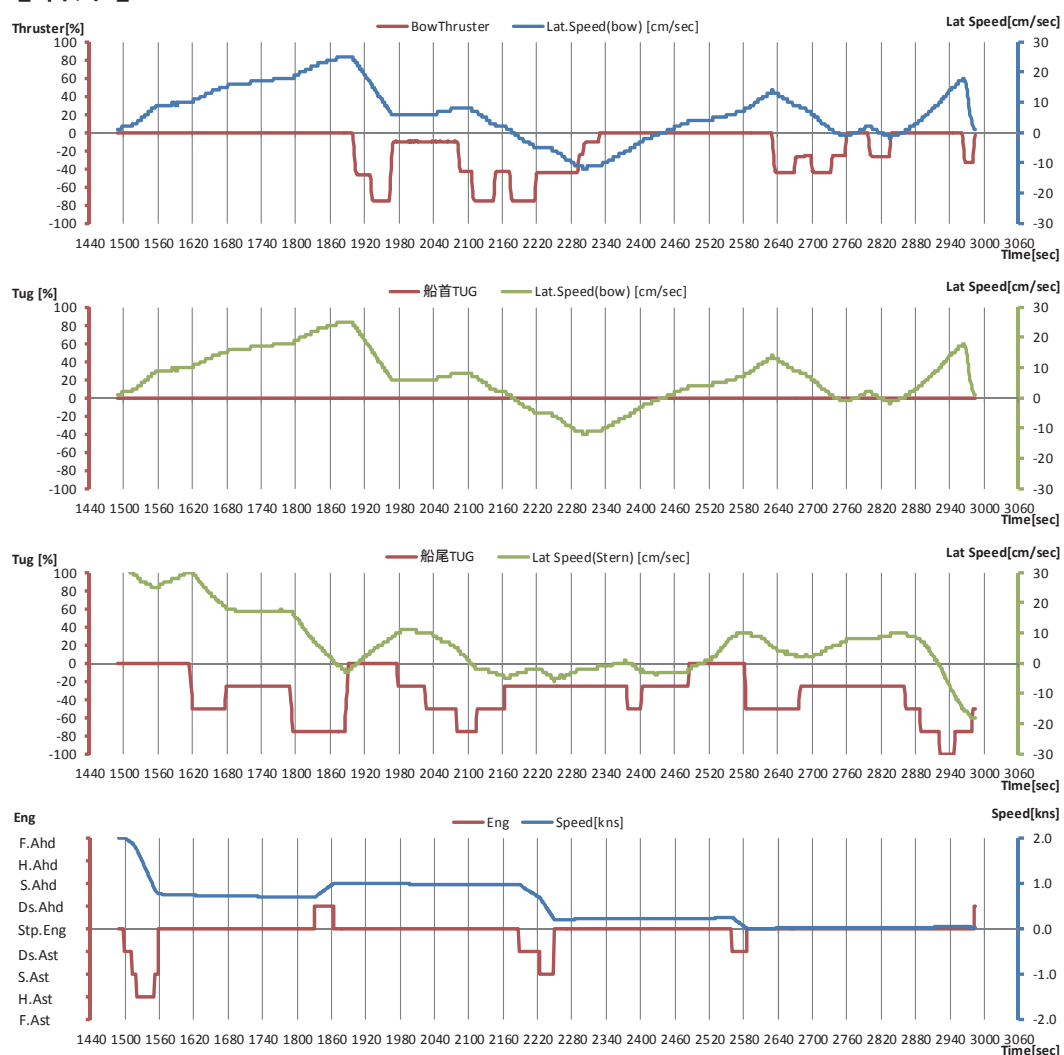
資図 2.2 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.3 出力項目整理図③

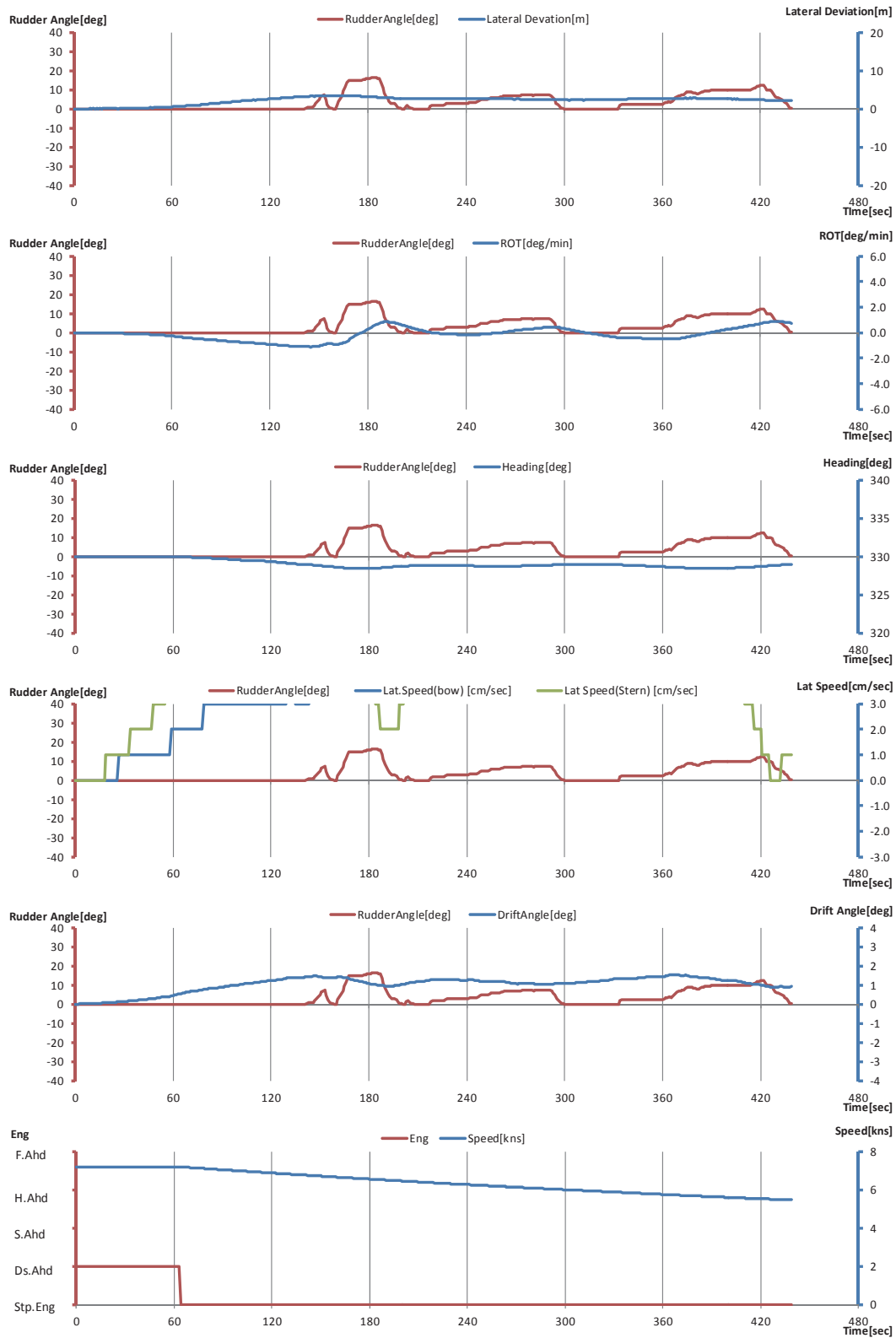
【着岸】



資図 2.4 出力項目整理図④

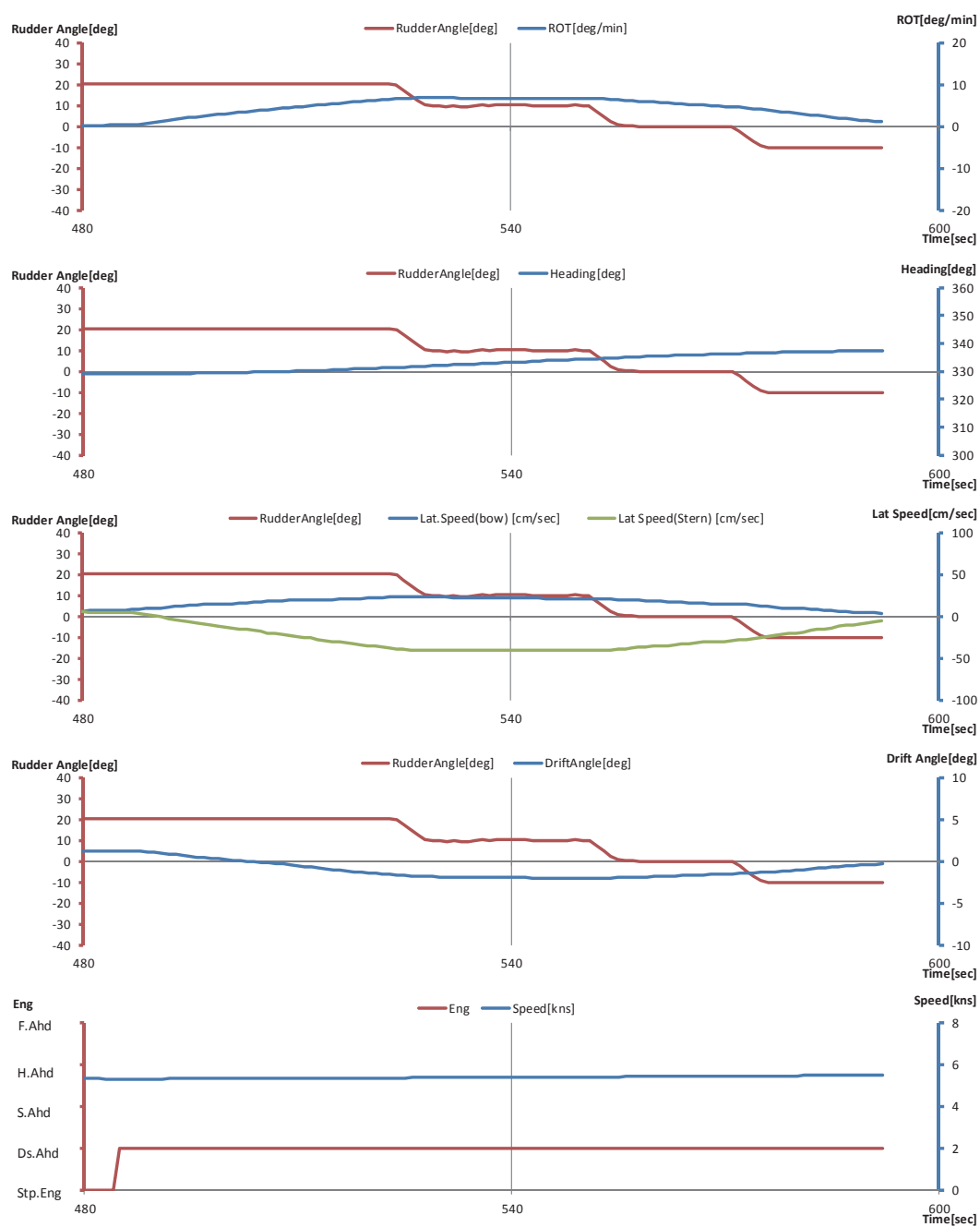
2.2 Case1-2

【保針】



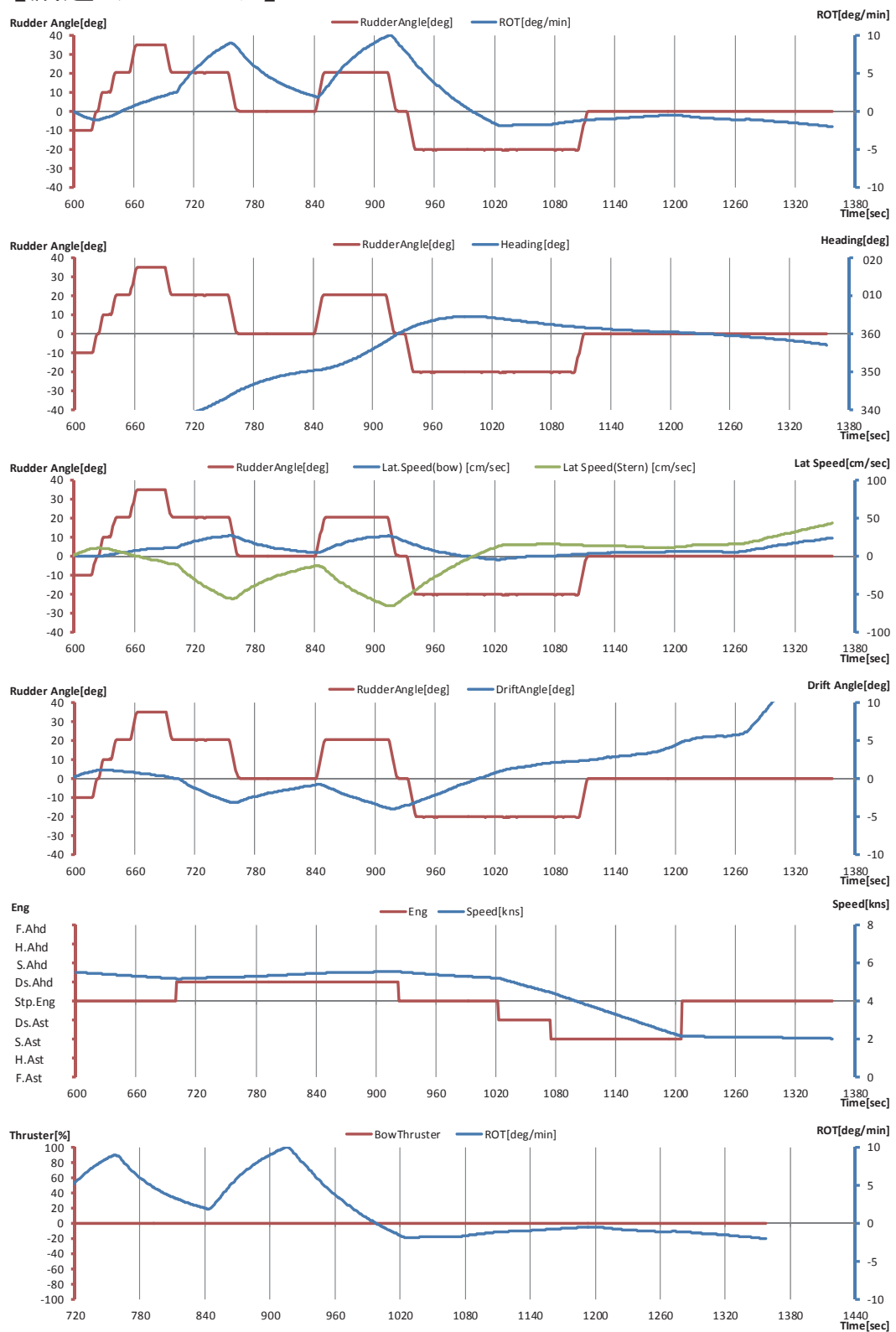
資図 2.5 出力項目整理図①

【変針】



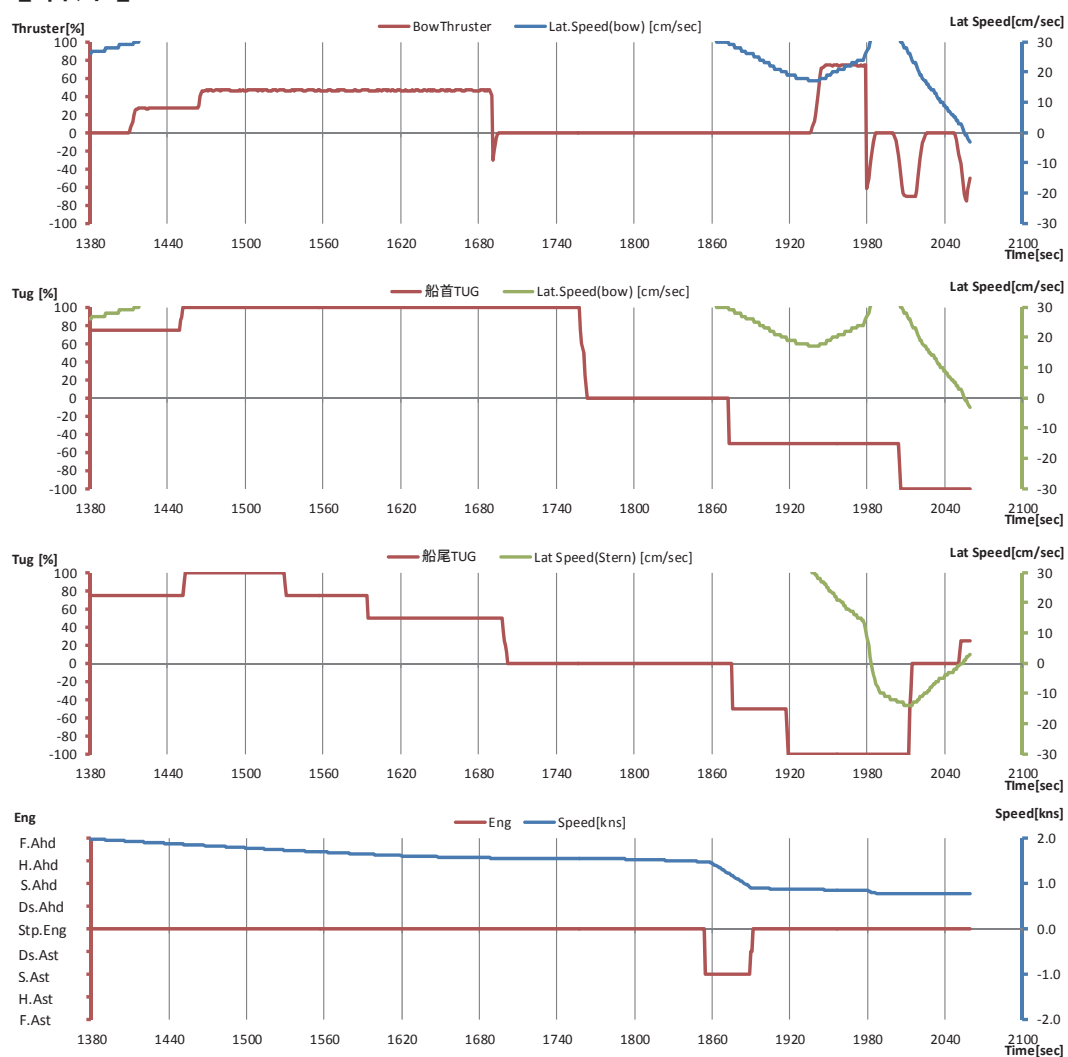
資図 2.6 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.7 出力項目整理図③

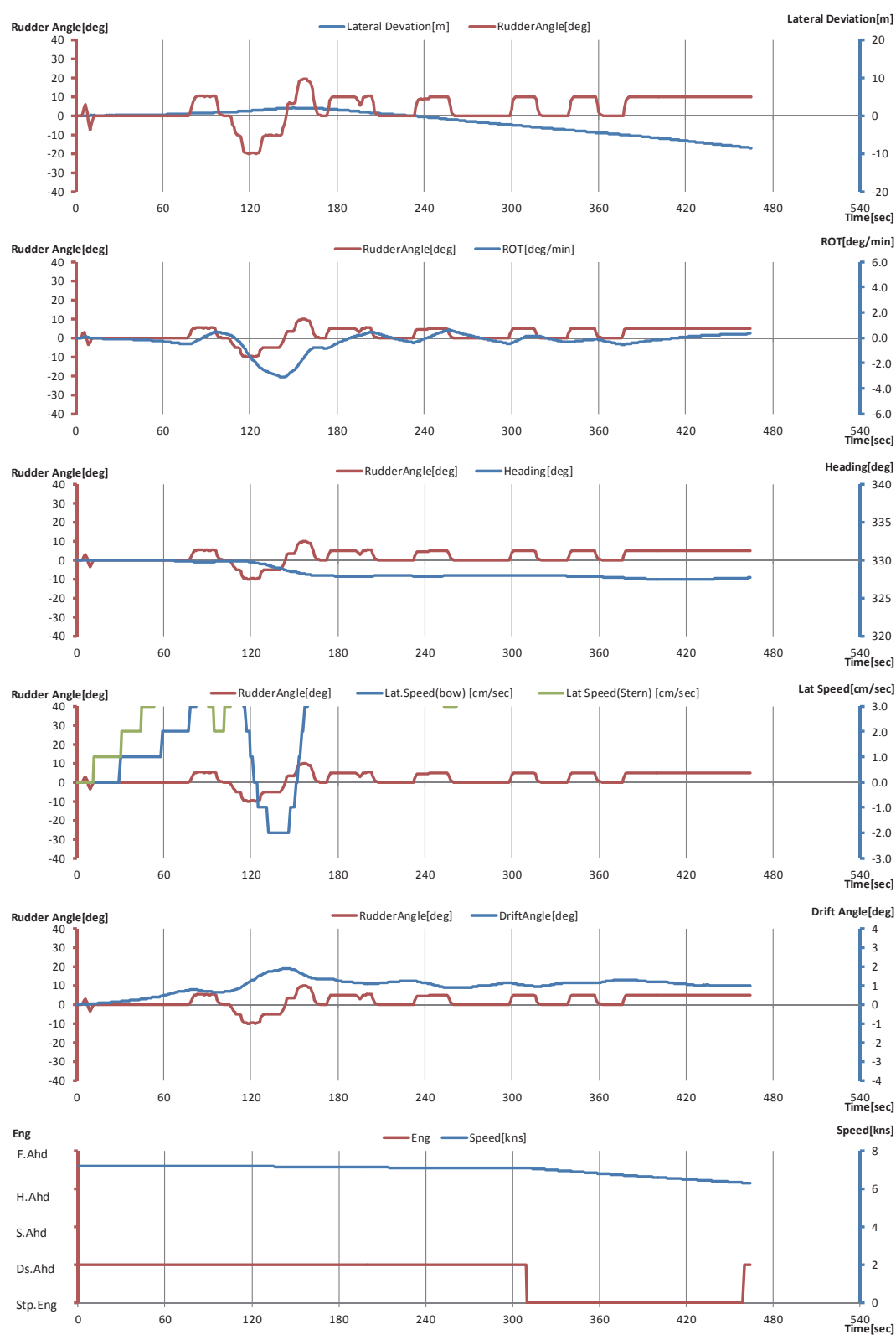
【着岸】



資図 2.8 出力項目整理図④

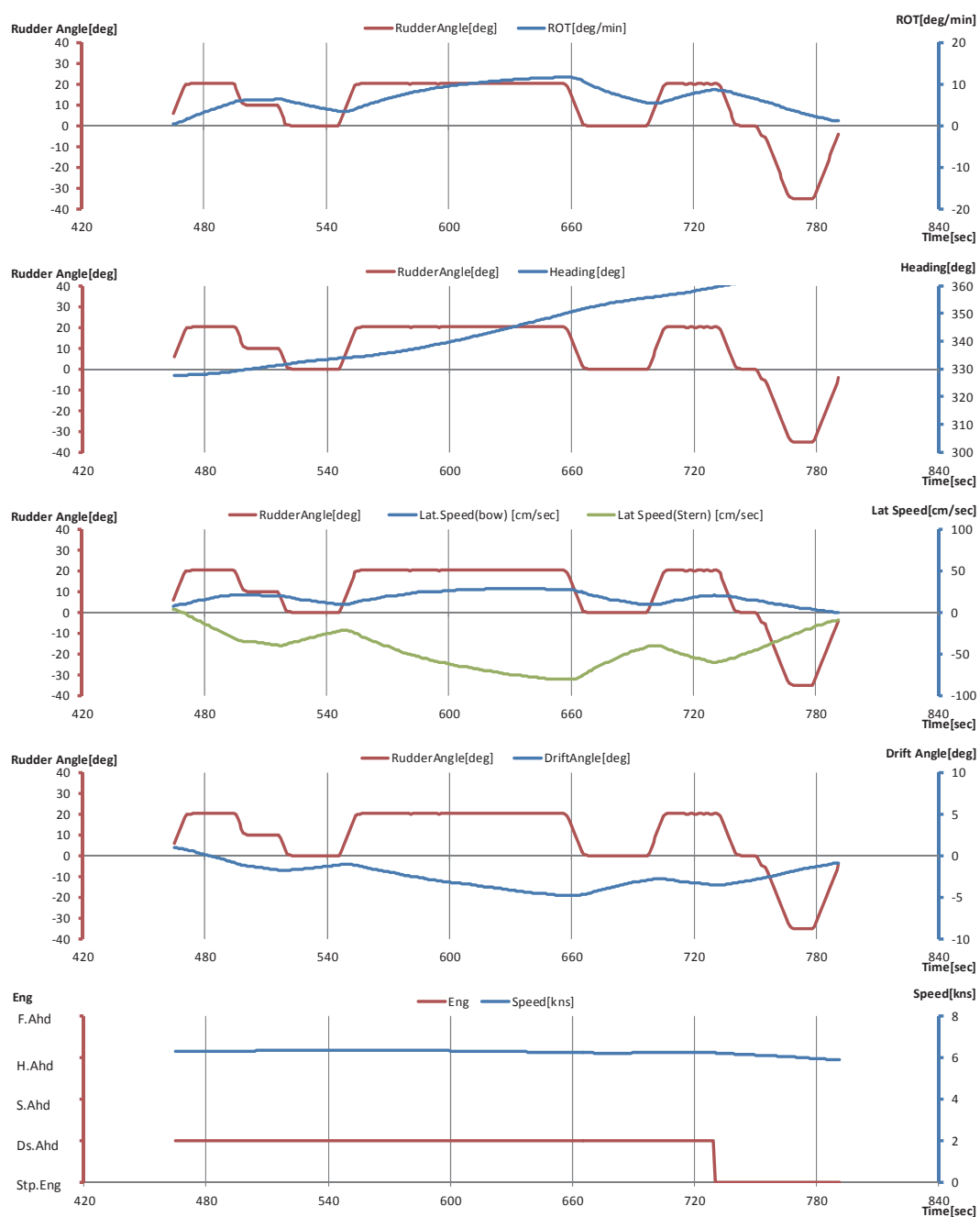
2.3 Case1-3

【保針】



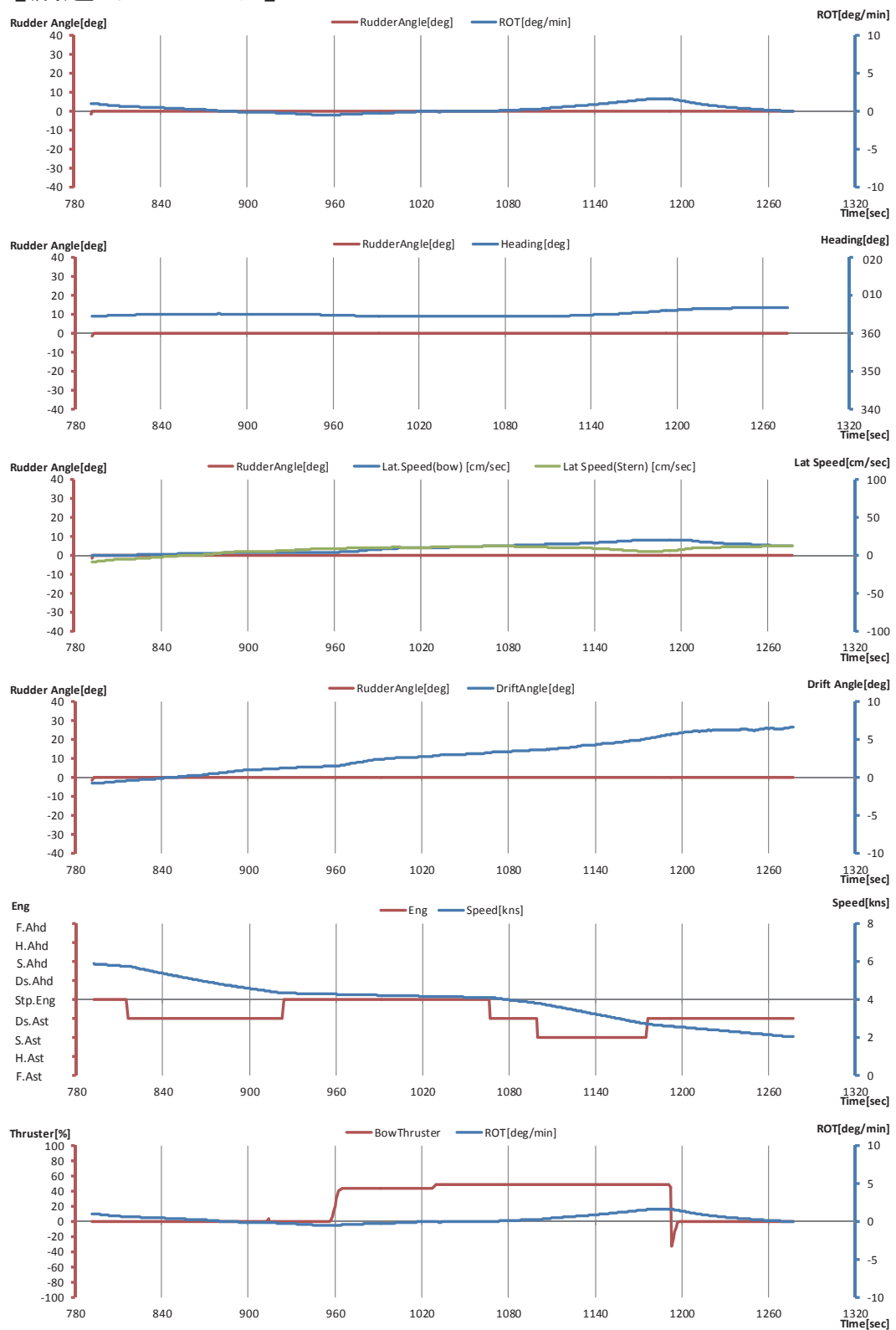
資図 2.9 出力項目整理図①

【変針】



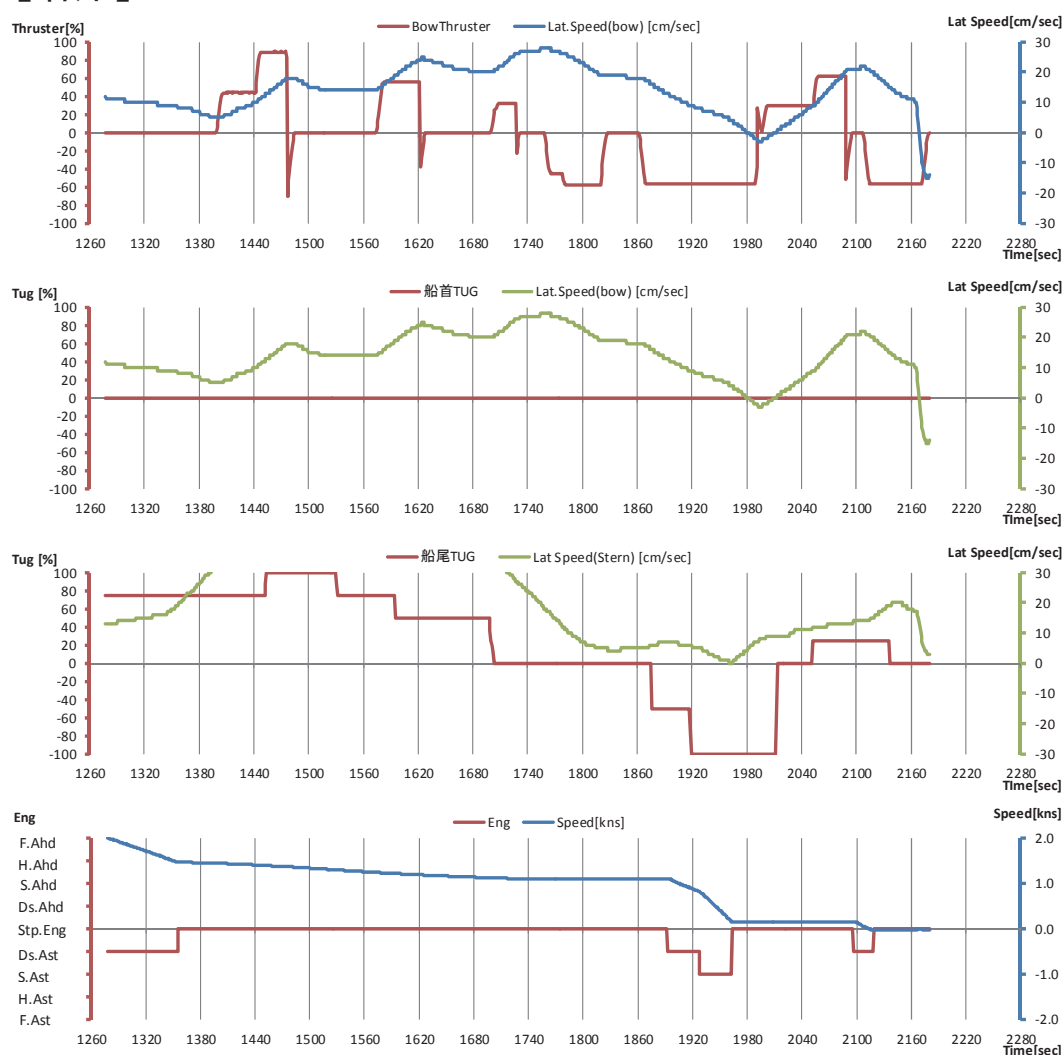
資図 2.10 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.11 出力項目整理図③

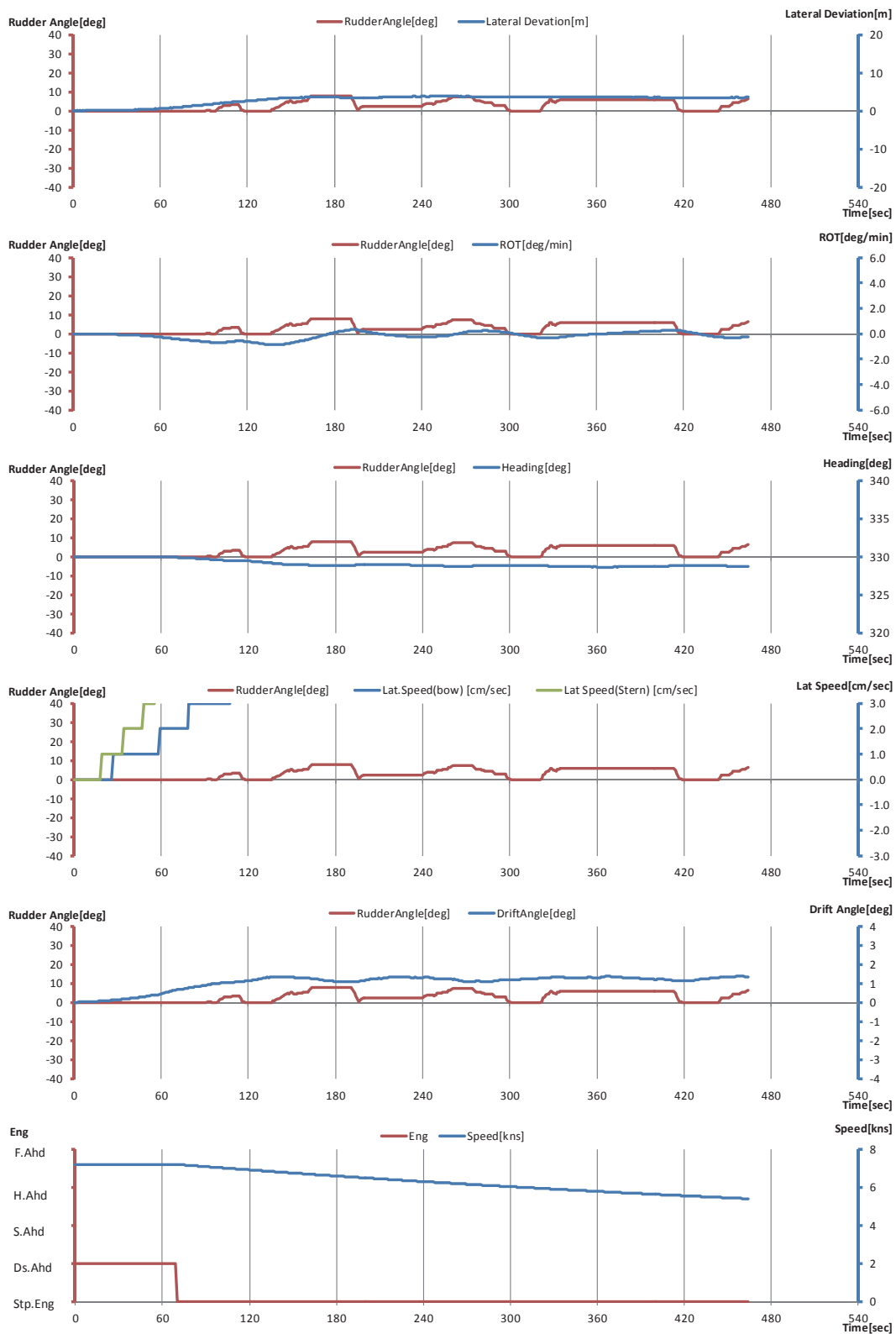
【着岸】



資図 2.12 出力項目整理図④

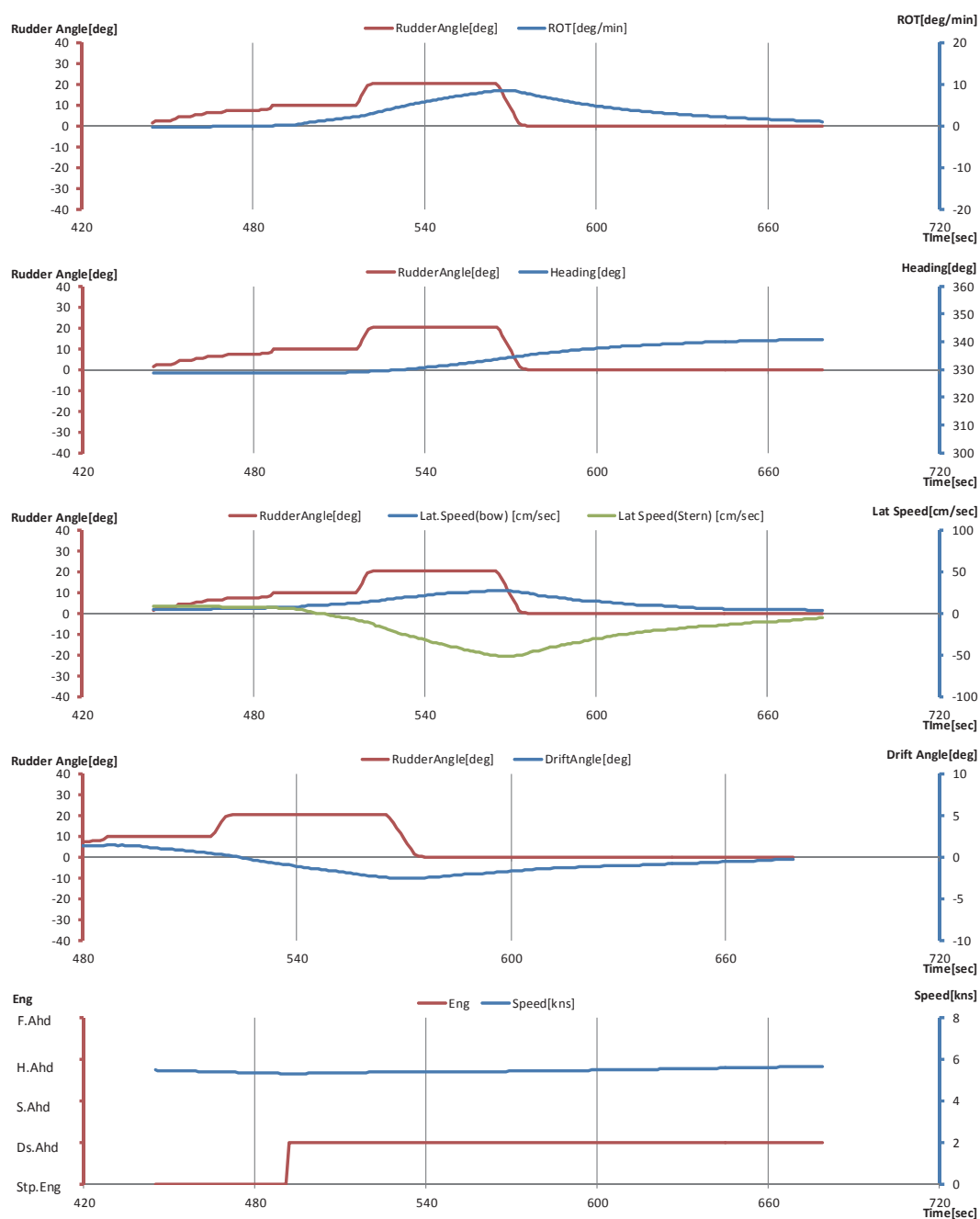
2.4 Case2-1

【保針】



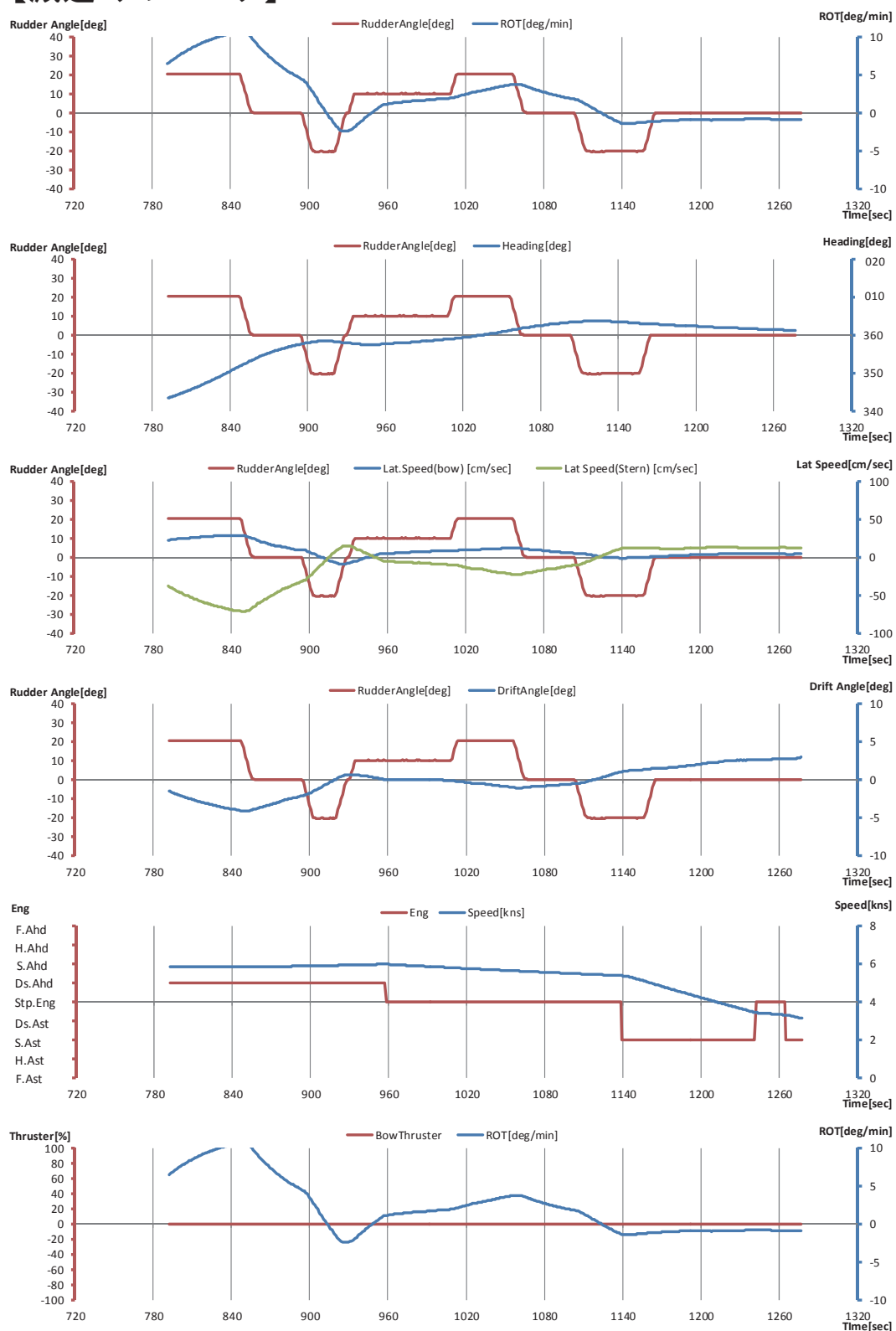
資図 2.13 出力項目整理図①

【変針】



資図 2.14 出力項目整理図②

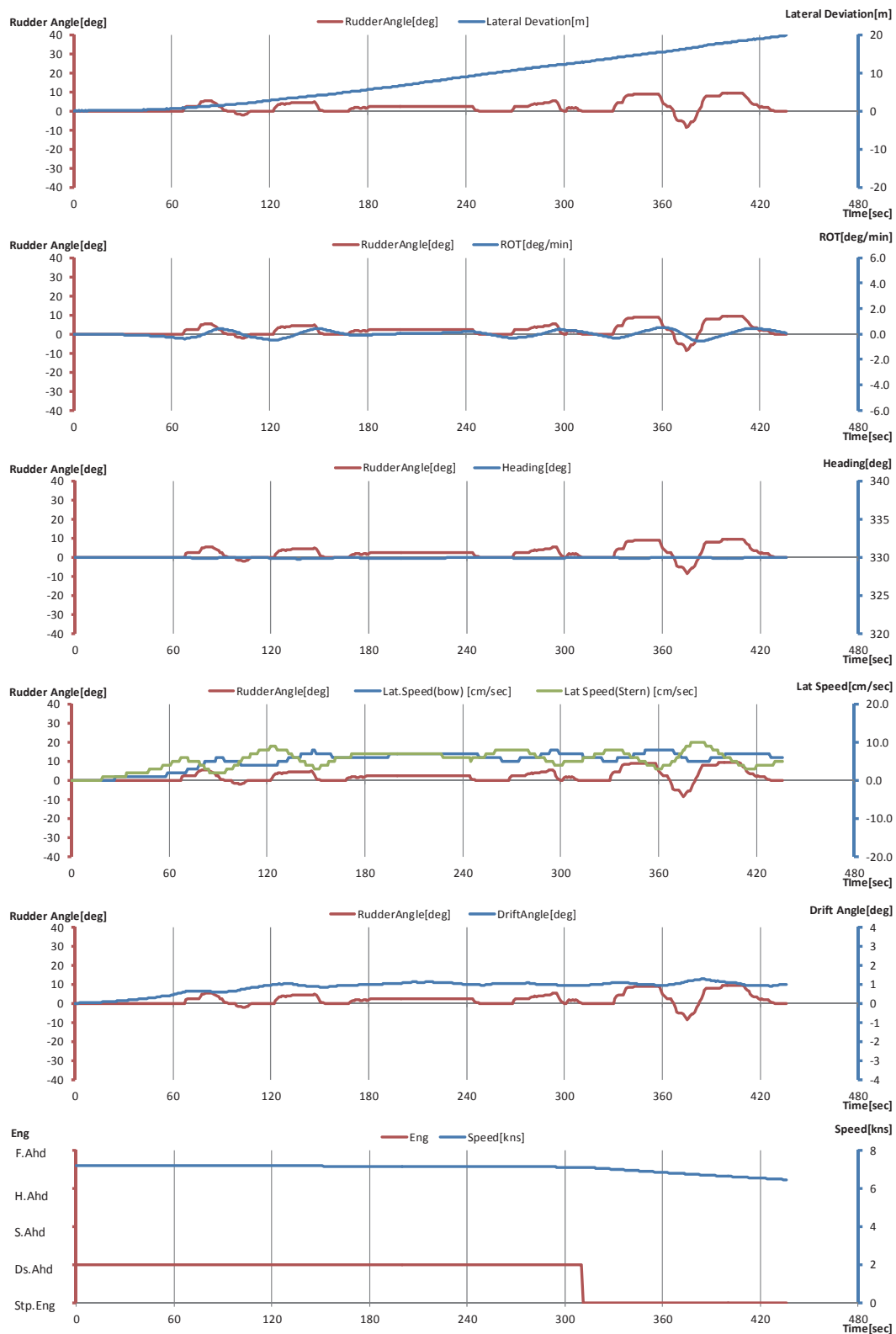
【減速・アプローチ】



資図 2.15 出力項目整理図③

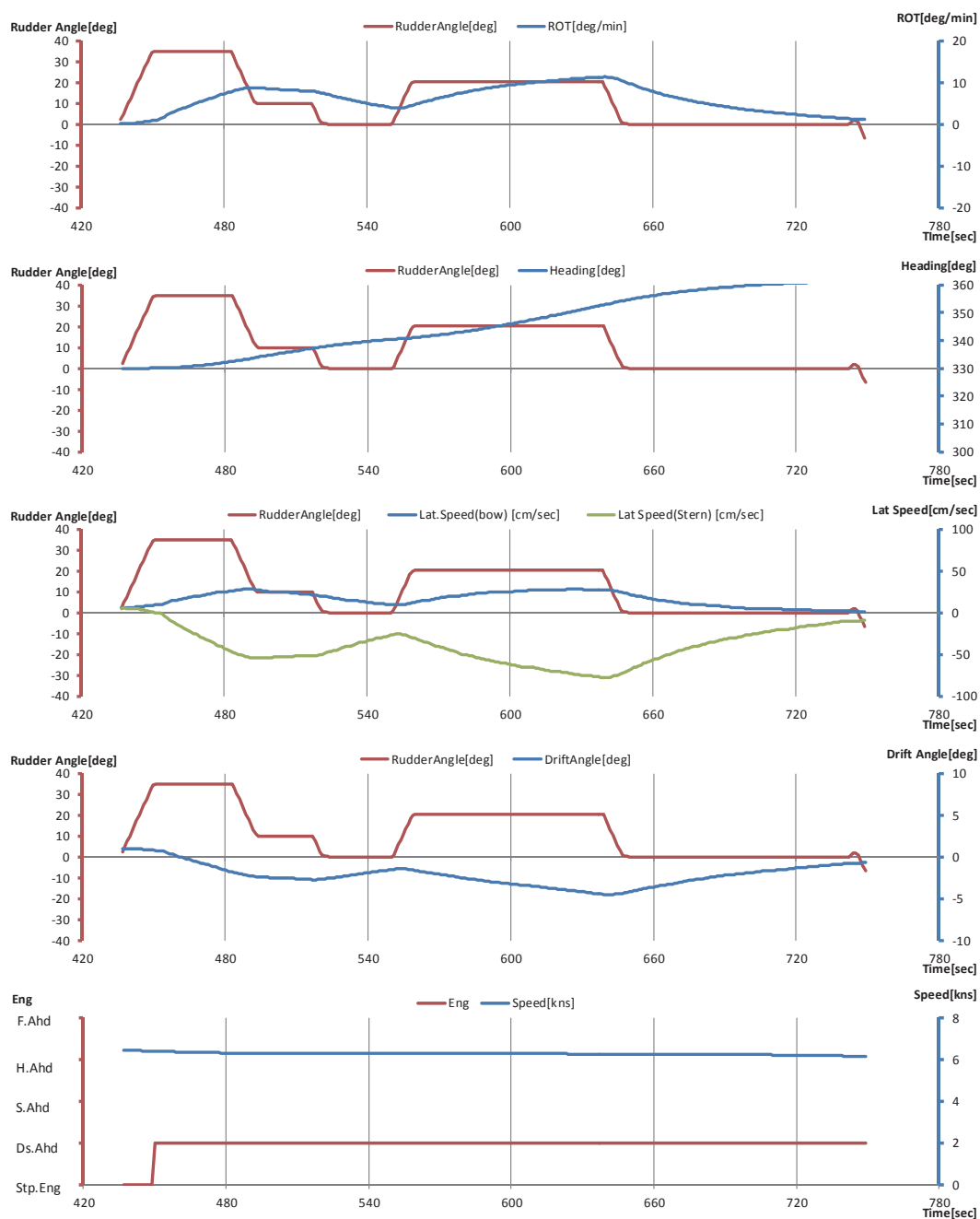
2.5 Case2-2

【保針】



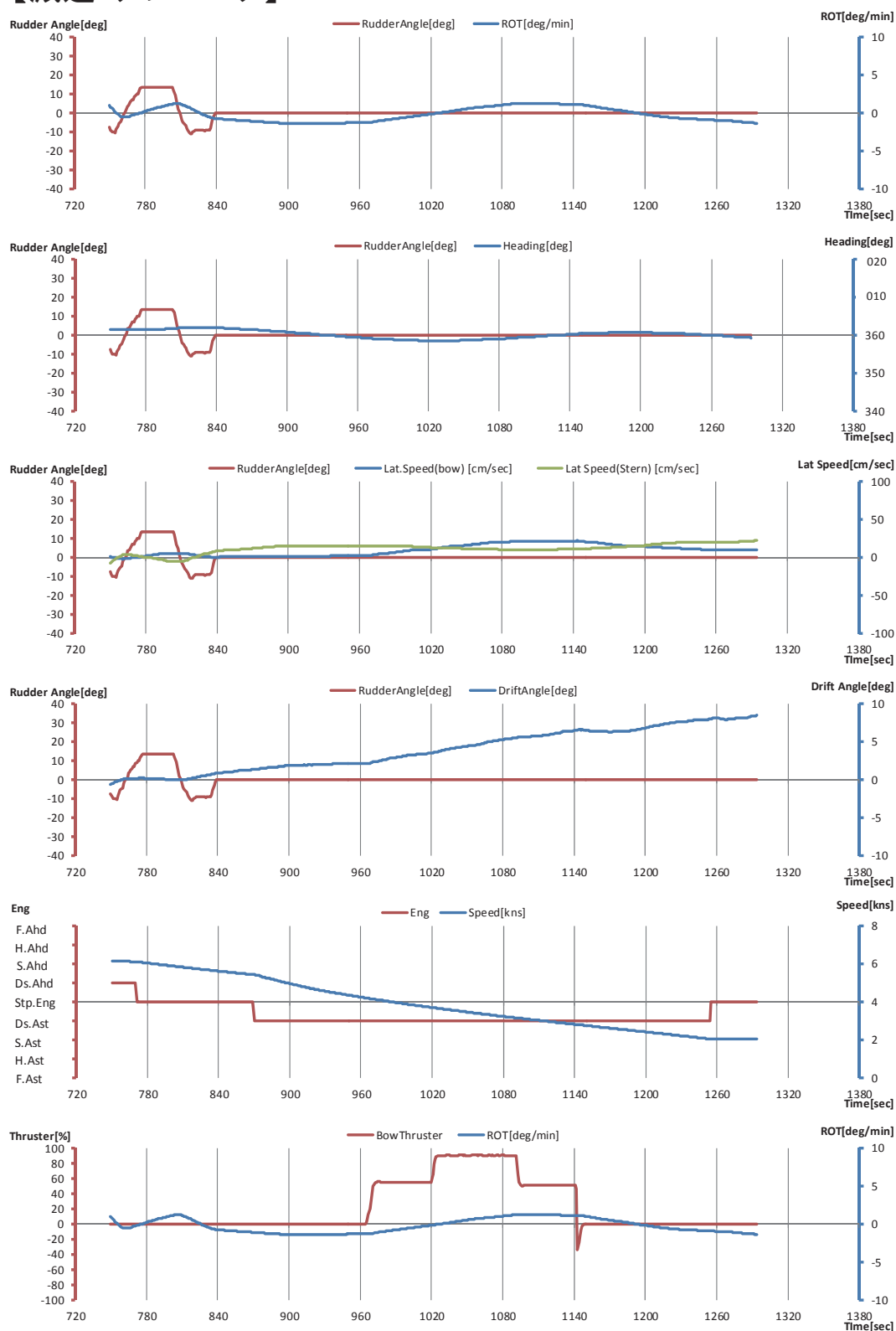
資図 2.16 出力項目整理図①

【変針】



資図 2.17 出力項目整理図②

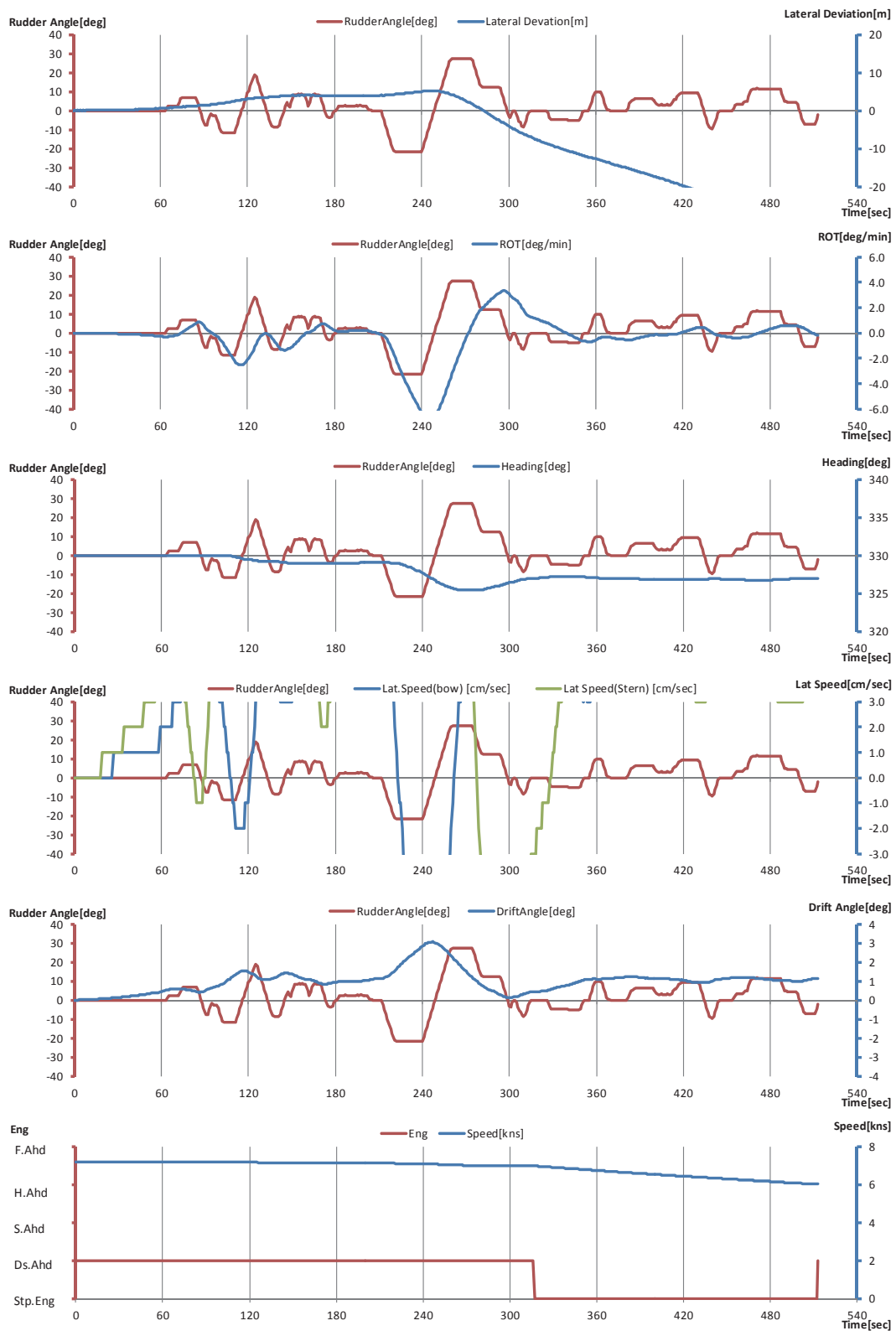
【減速・アプローチ】



資図 2.18 出力項目整理図③

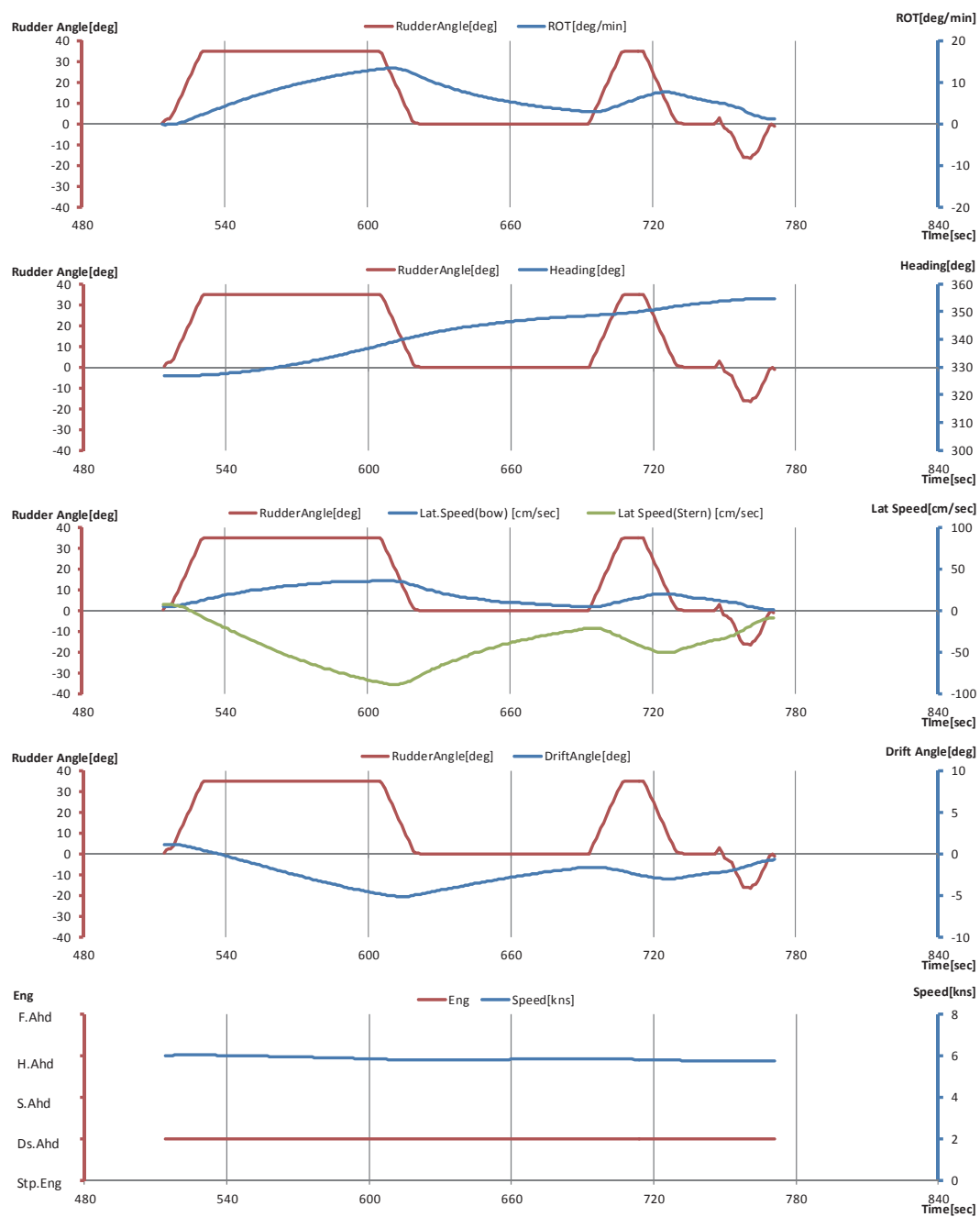
2.6 Case2-3

【保針】



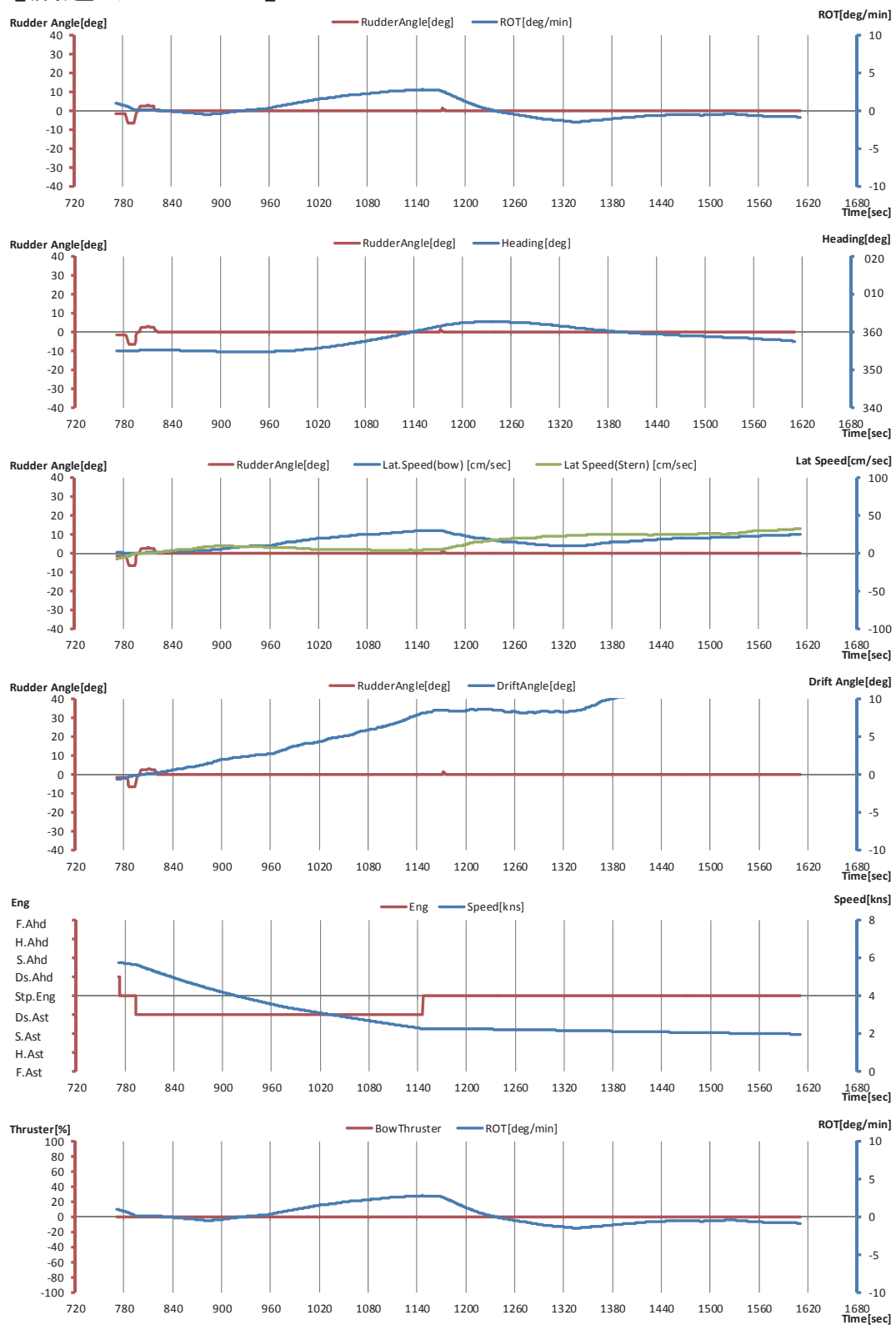
資図 2.19 出力項目整理図①

【変針】



資図 2.20 出力項目整理図②

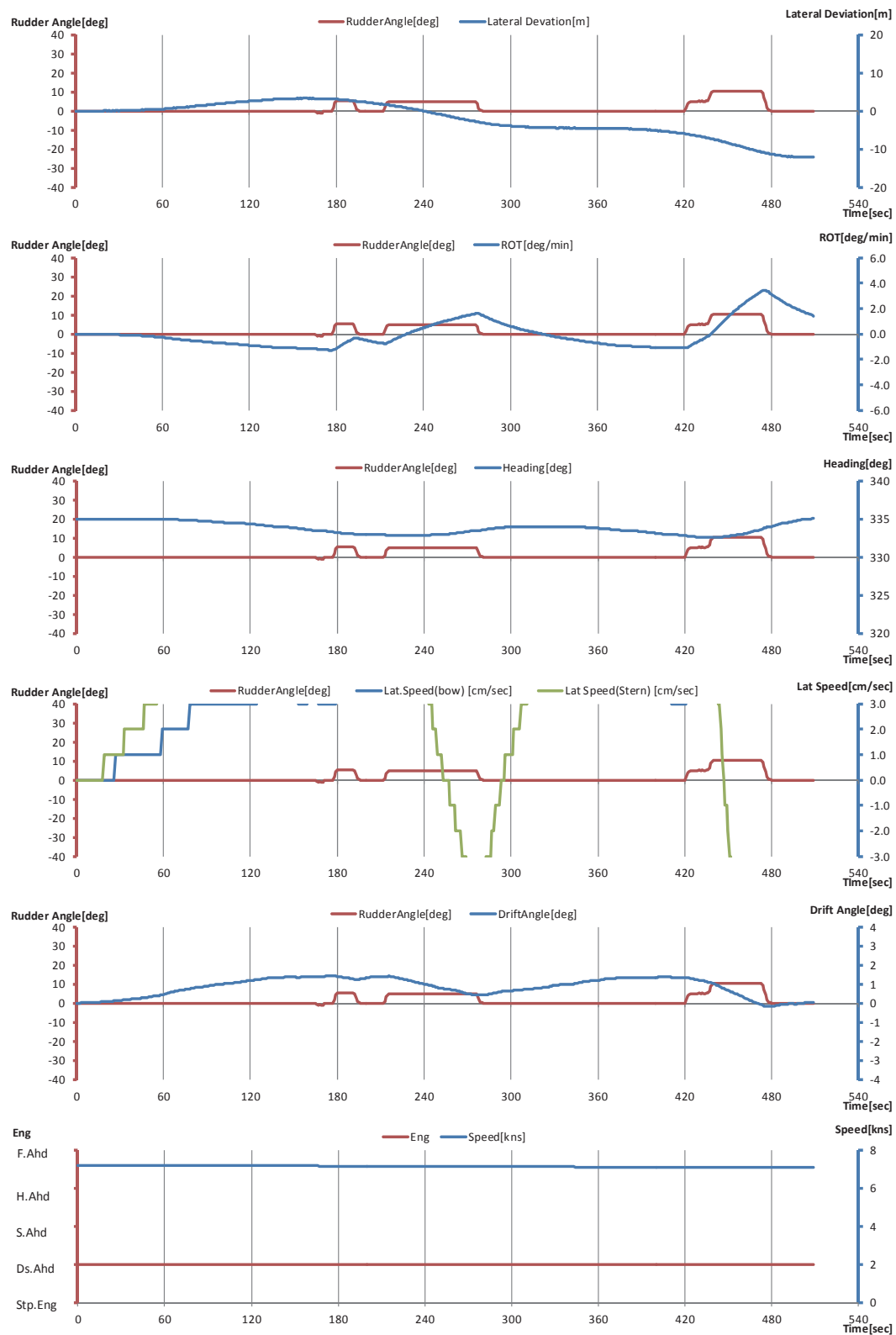
【減速・アプローチ】



資図 2.21 出力項目整理図③

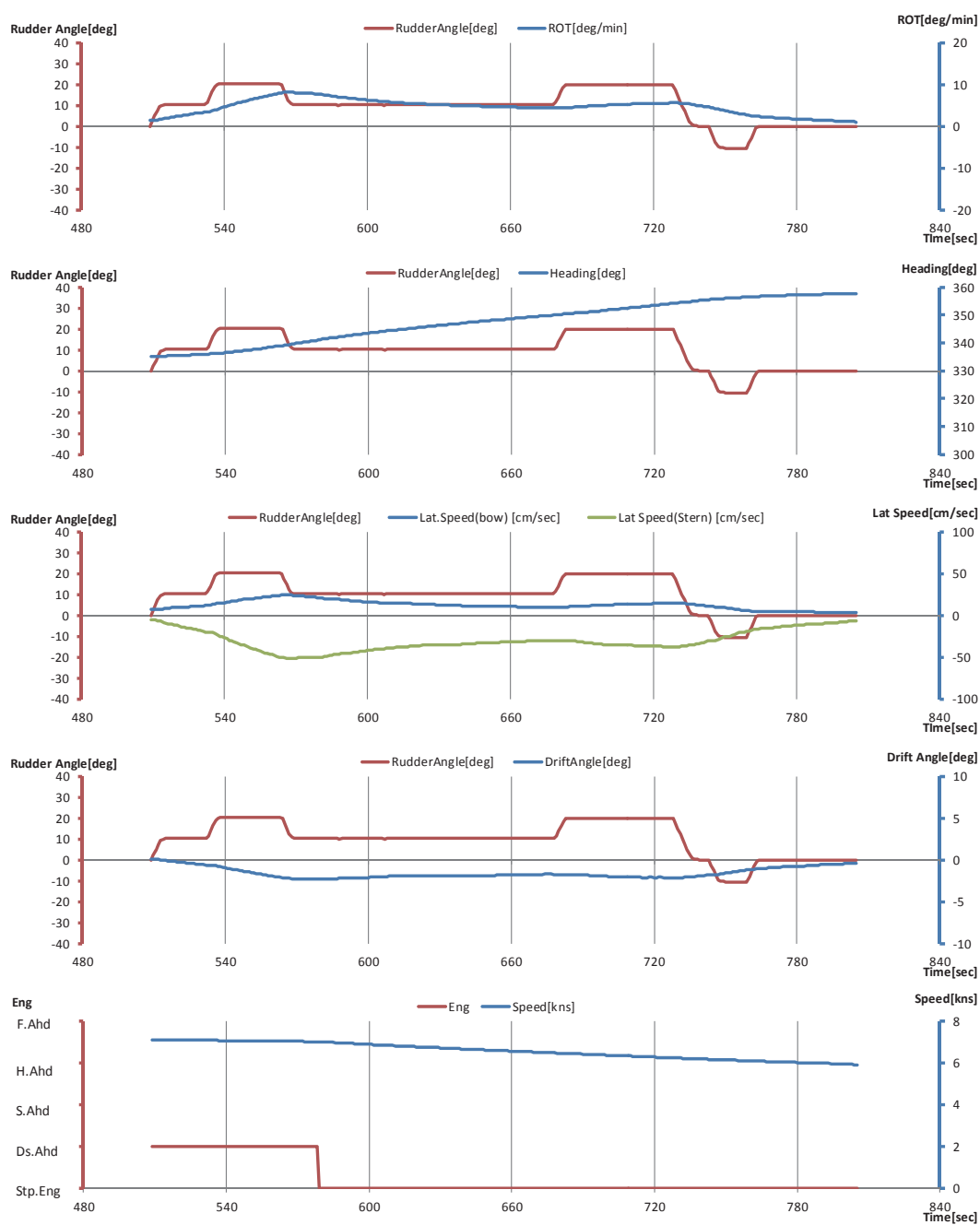
2.7 Case3-1

【保針】



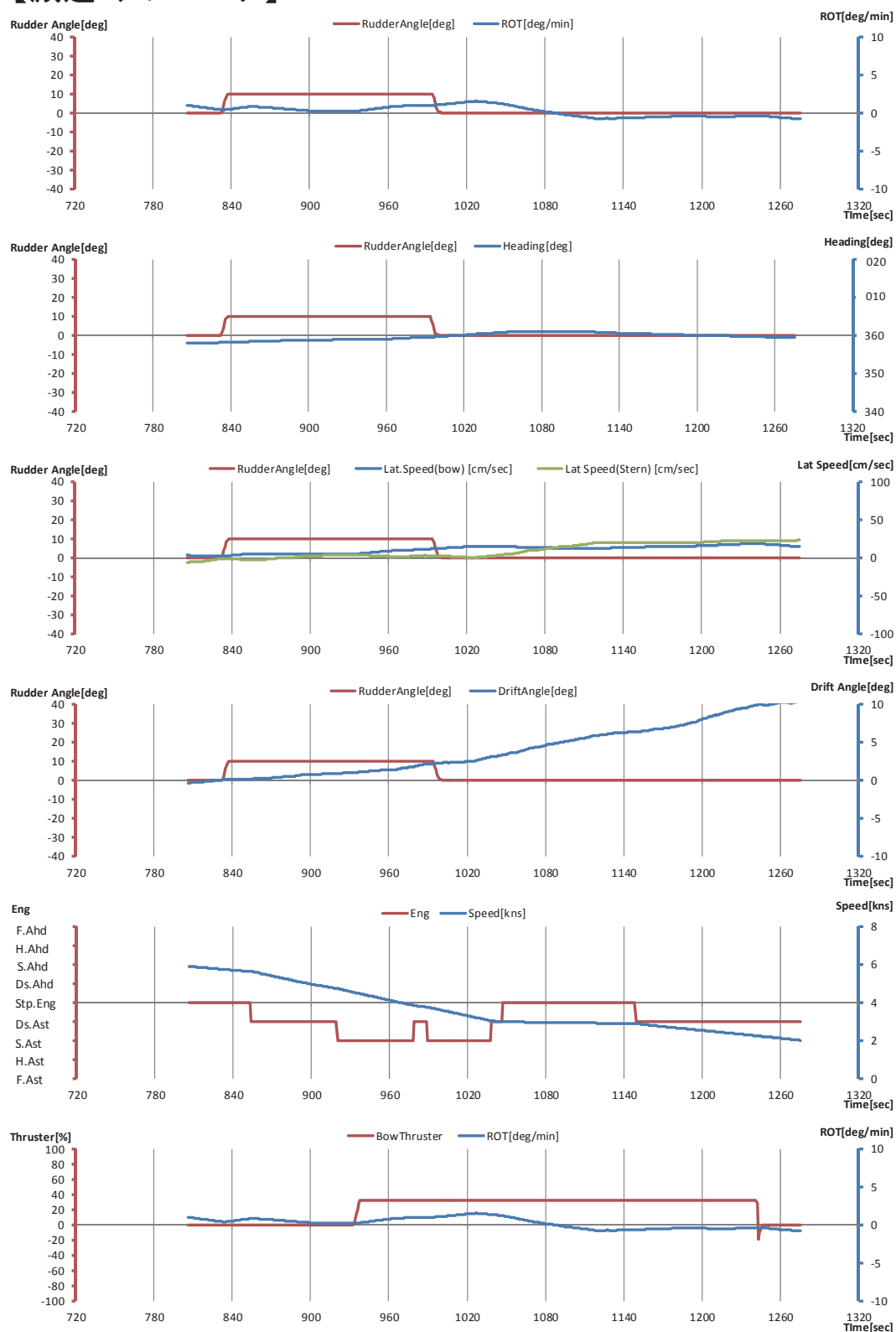
資図 2.22 出力項目整理図①

【変針】



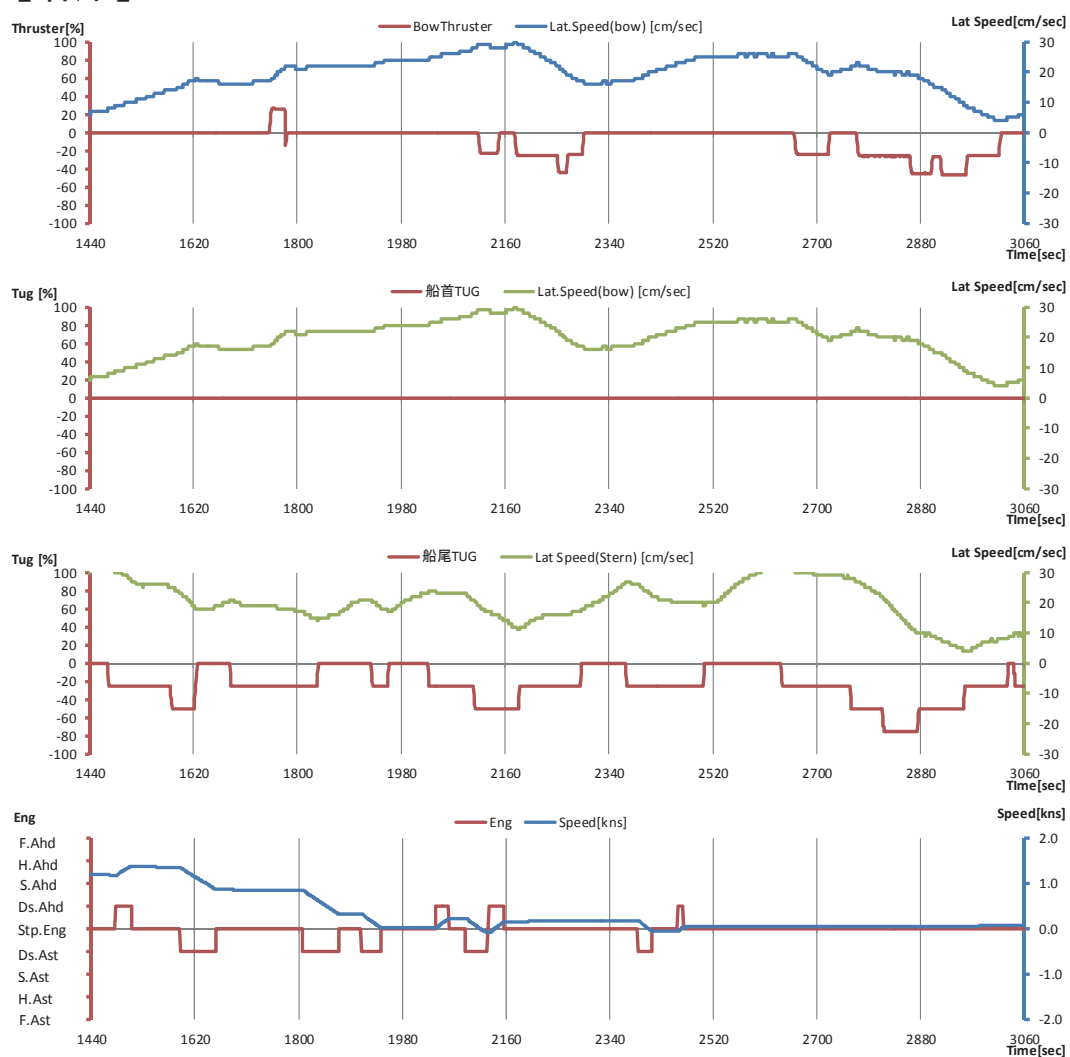
資図 2.23 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.24 出力項目整理図③

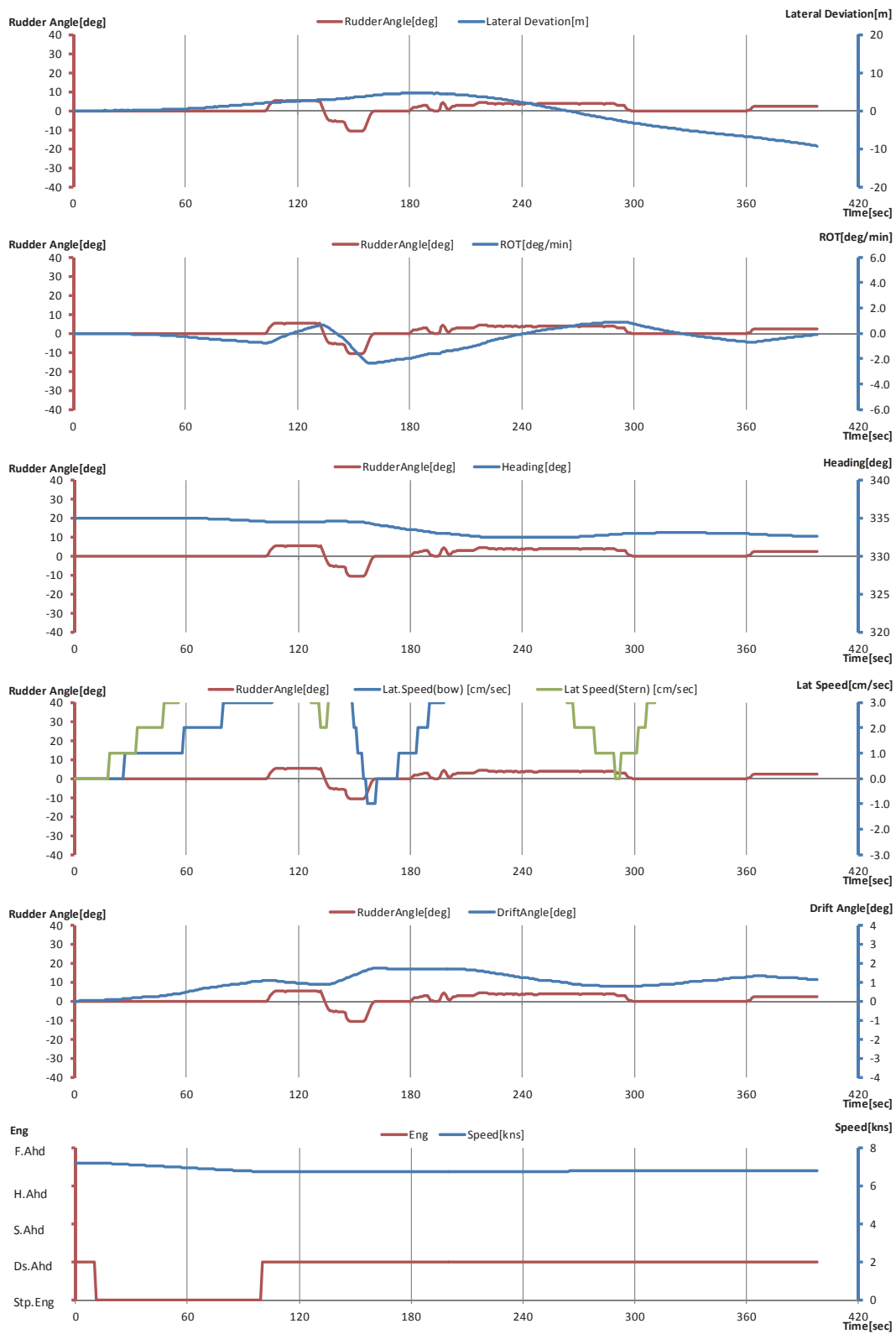
【着岸】



資図 2.25 出力項目整理図④

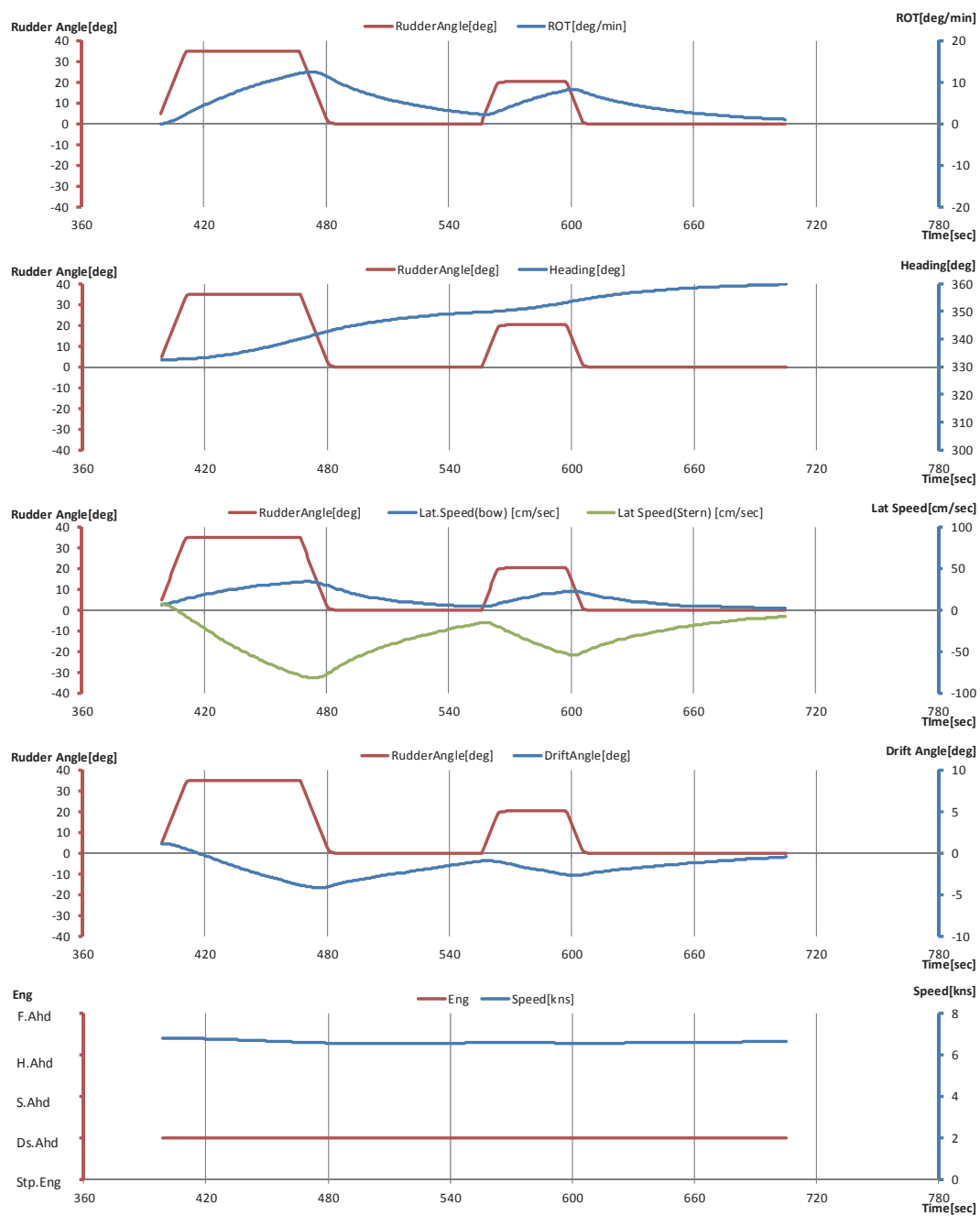
2.8 Case3-2

【保針】



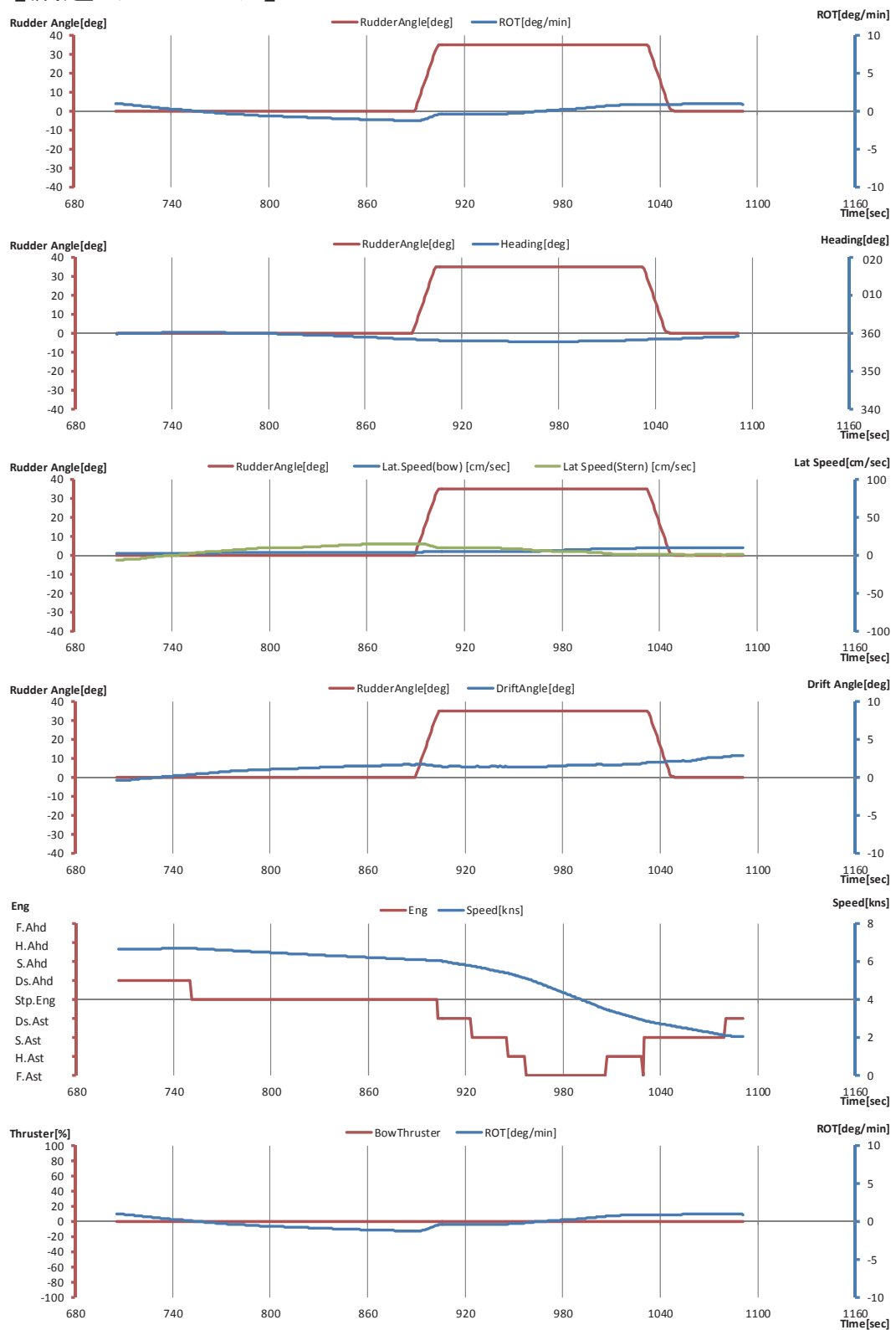
資図 2.26 出力項目整理図①

【変針】



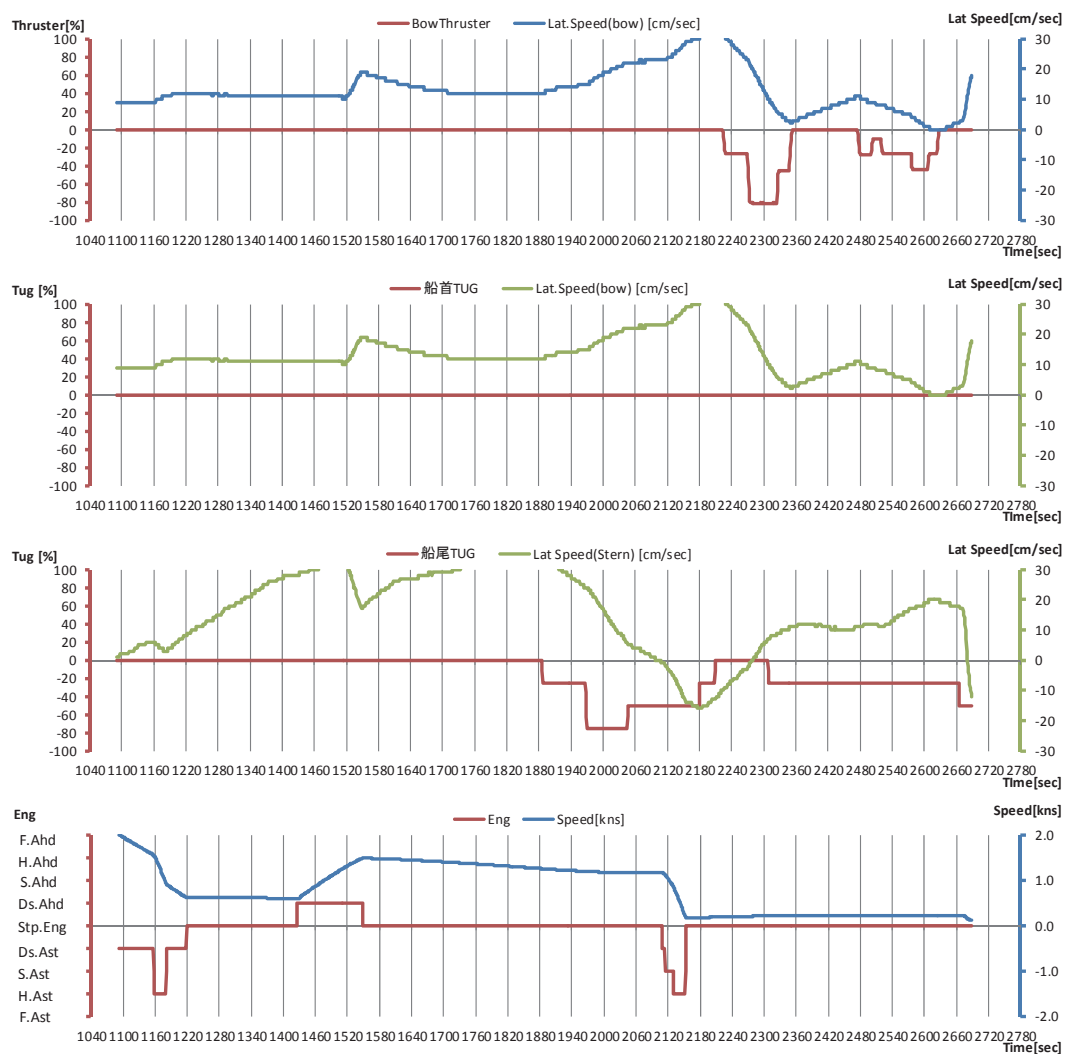
資図 2.27 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.28 出力項目整理図③

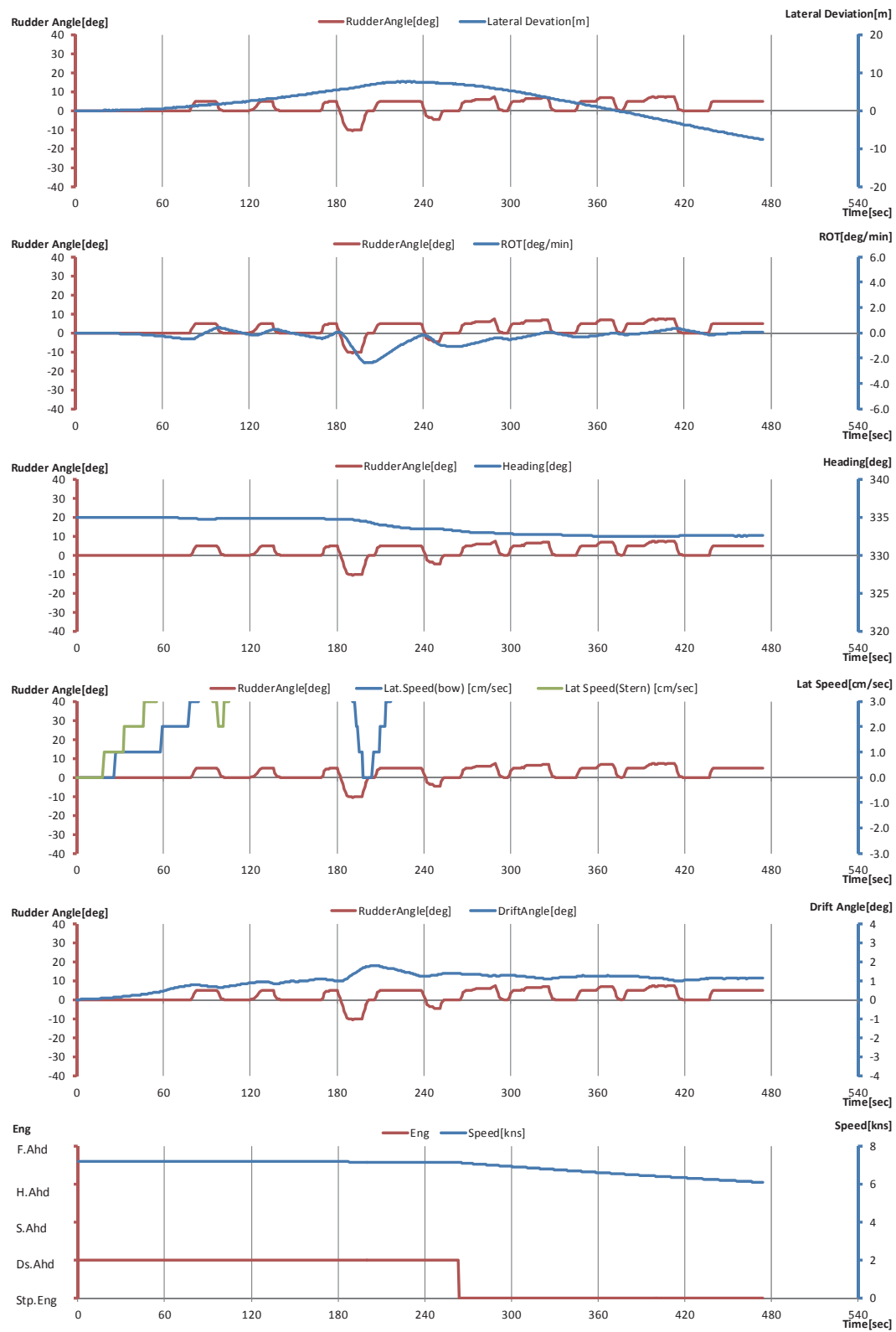
【着岸】



資図 2. 29 出力項目整理図④

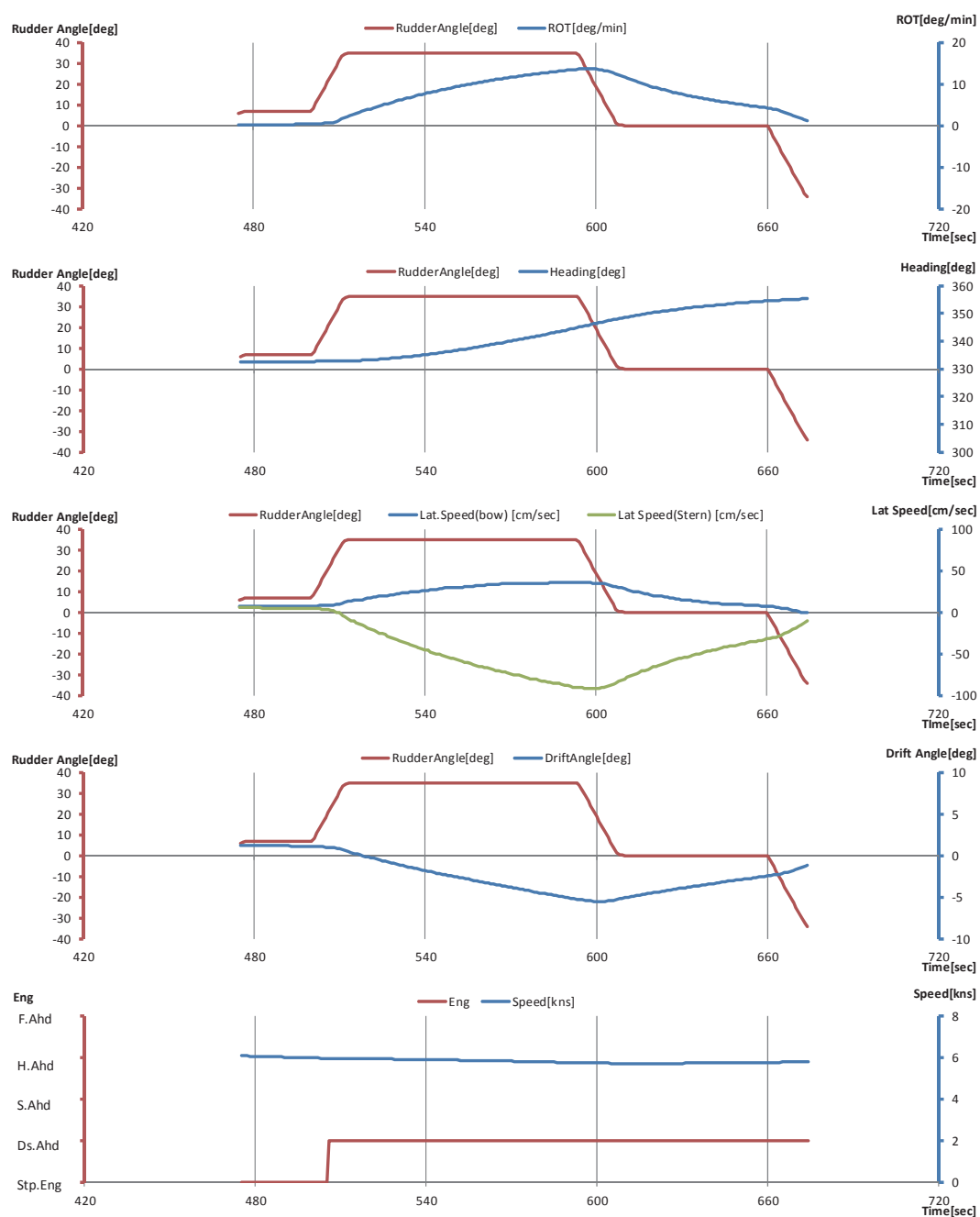
2.9 Case3-3

【保針】



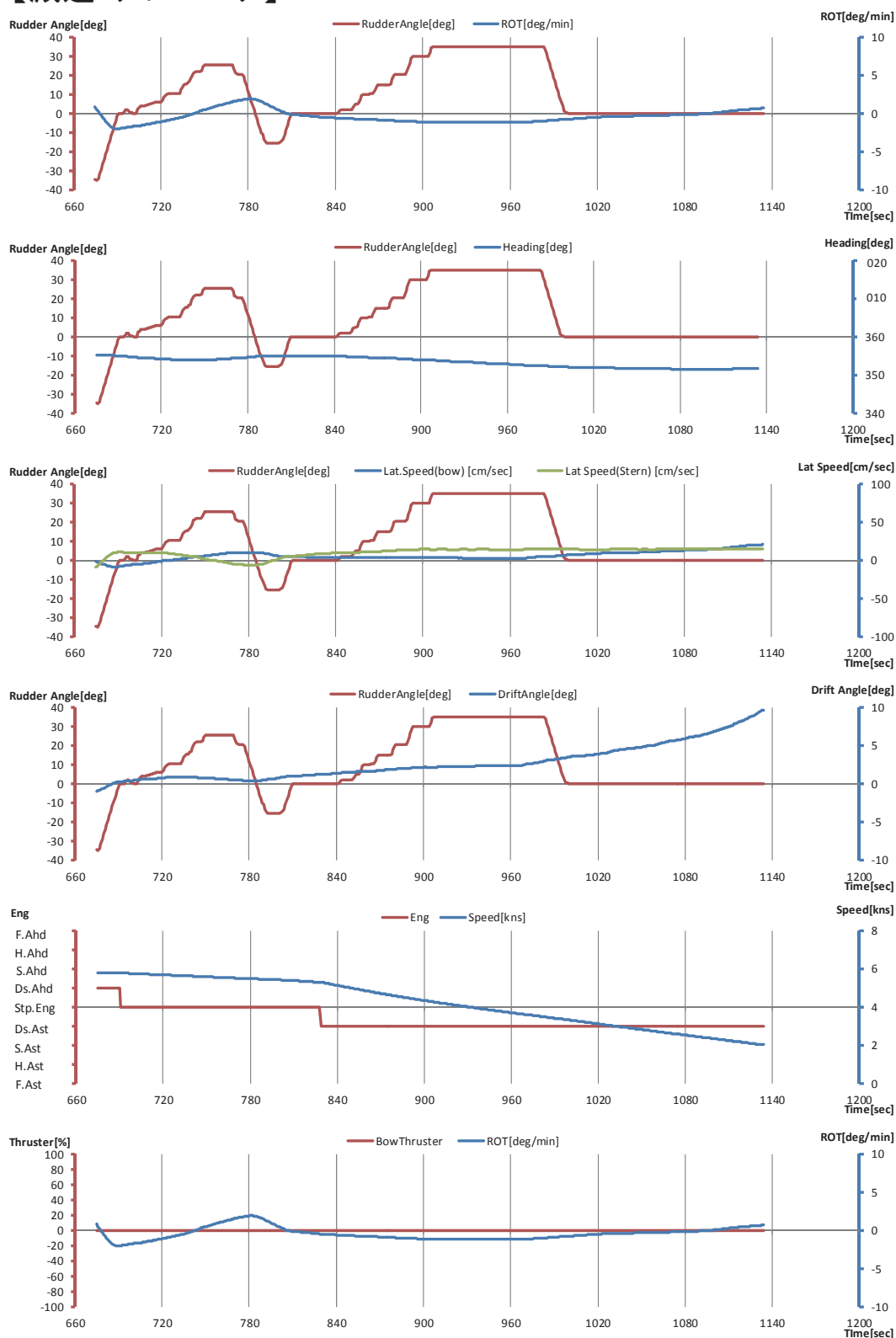
資図 2.30 出力項目整理図①

【変針】



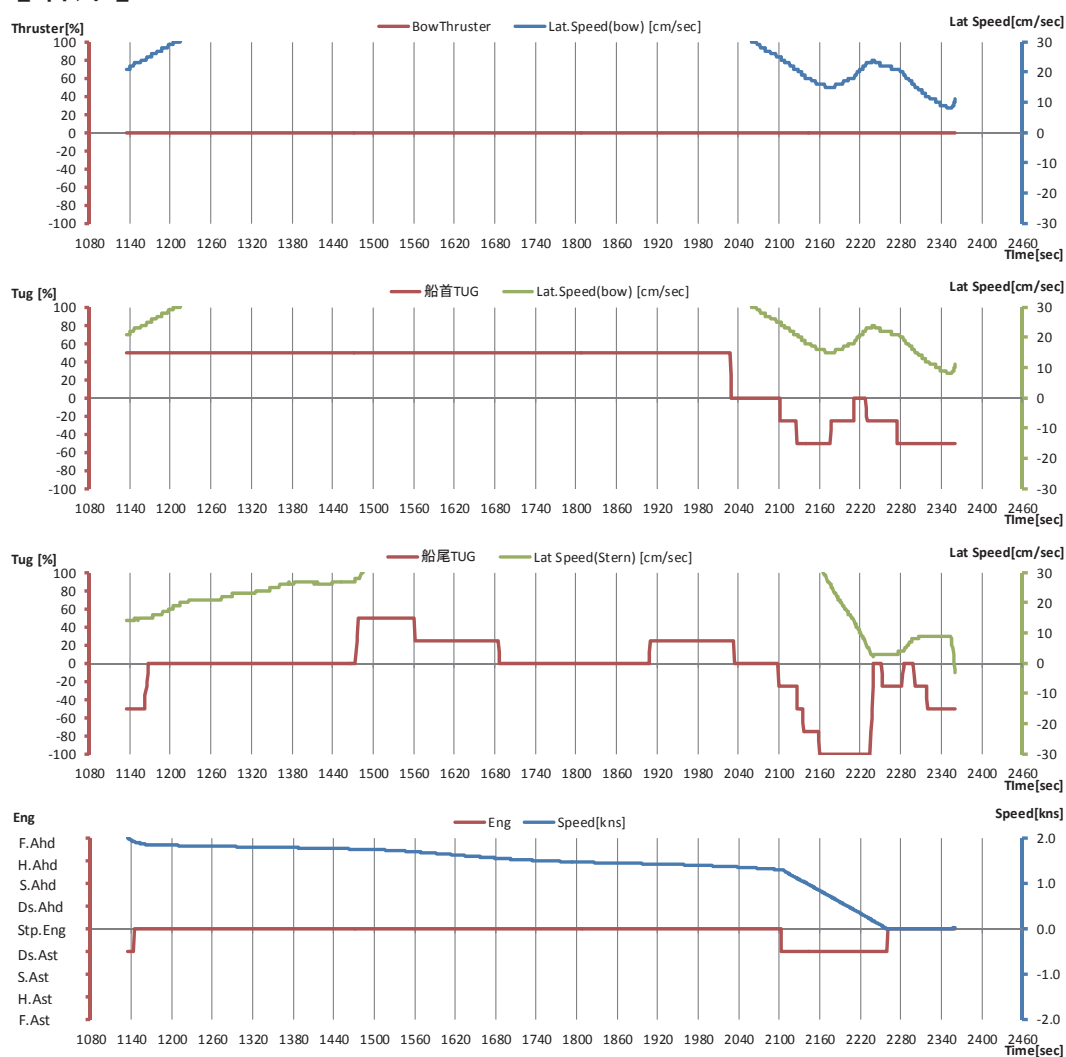
資図 2.31 出力項目整理図②

【減速・アプローチ】



資図 2.32 出力項目整理図③

【着岸】

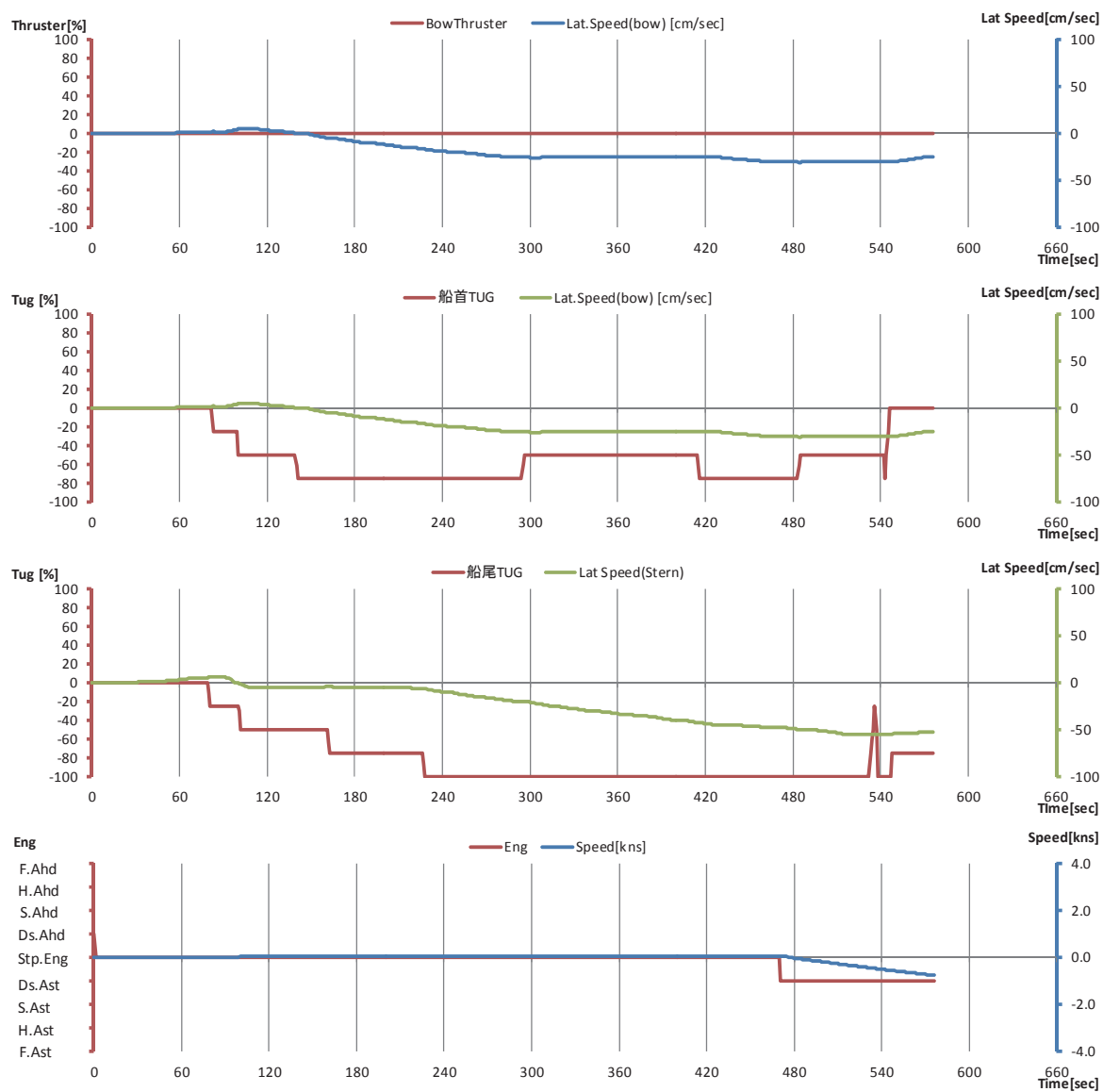


資図 2.33 出力項目整理図④

3 出港ケース（パターン①）

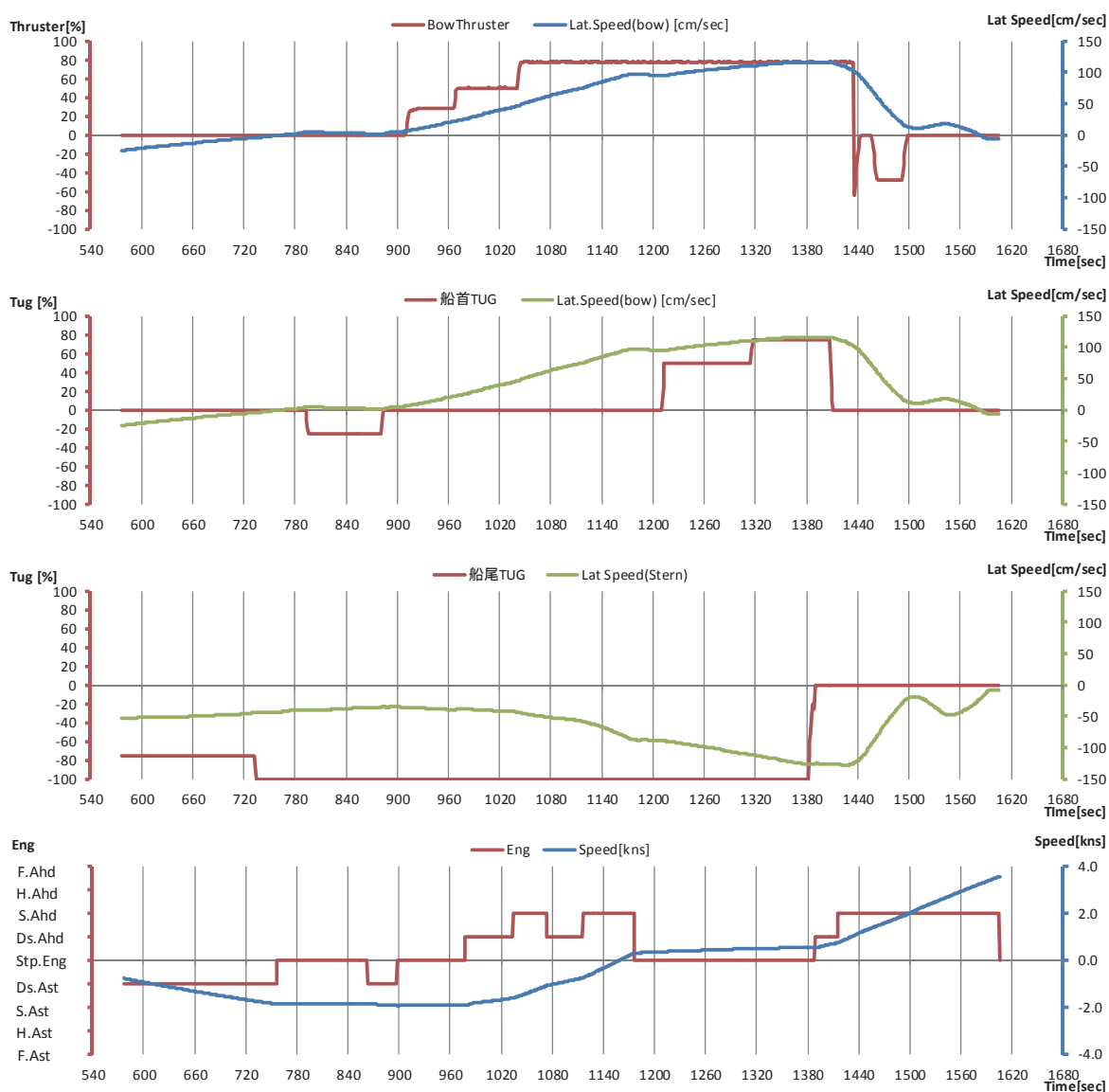
3.1 Case4-1

【離岸】



資図 3.1 出力項目整理図①

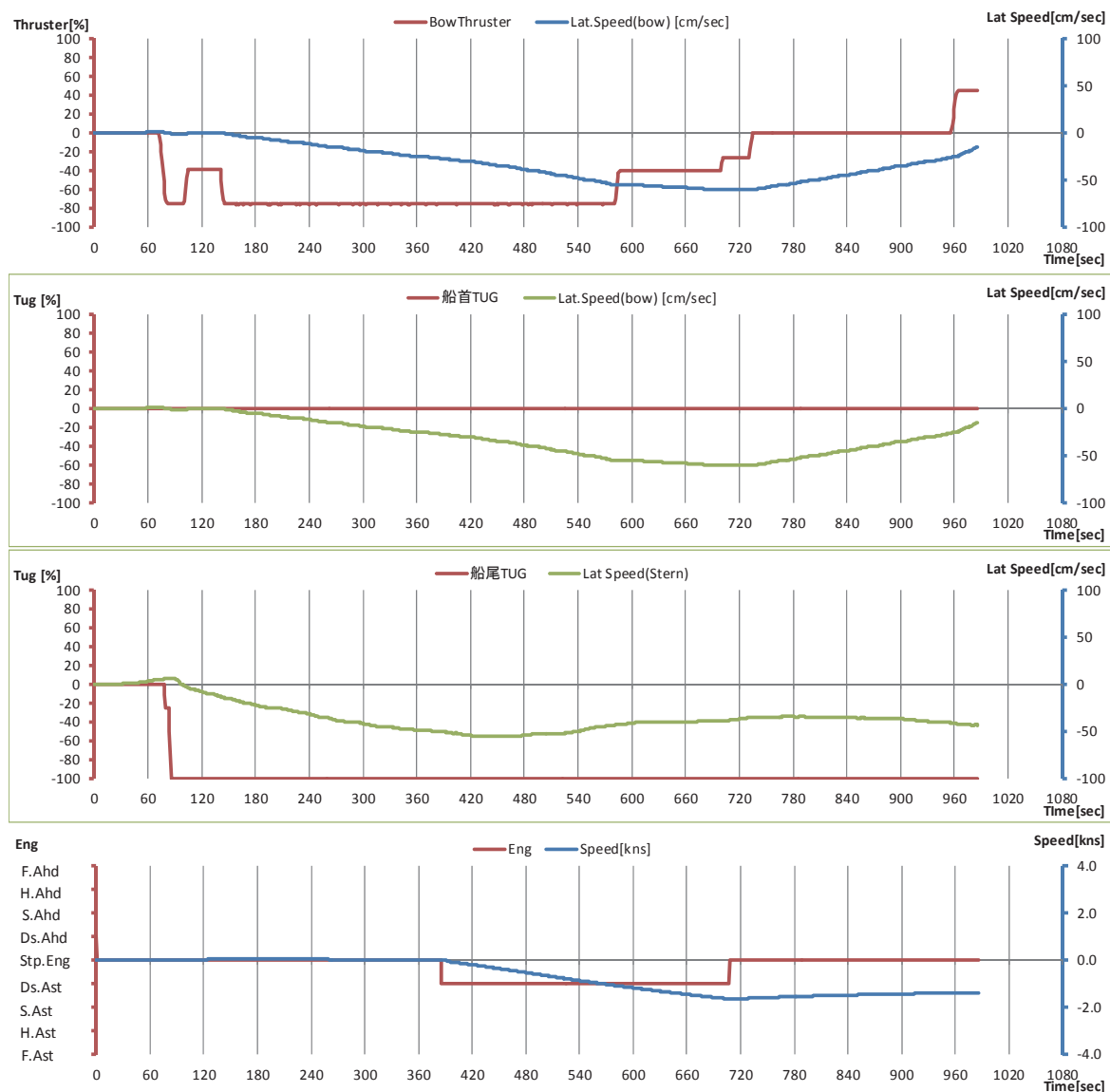
【回頭】



資図 3. 2 出力項目整理図②

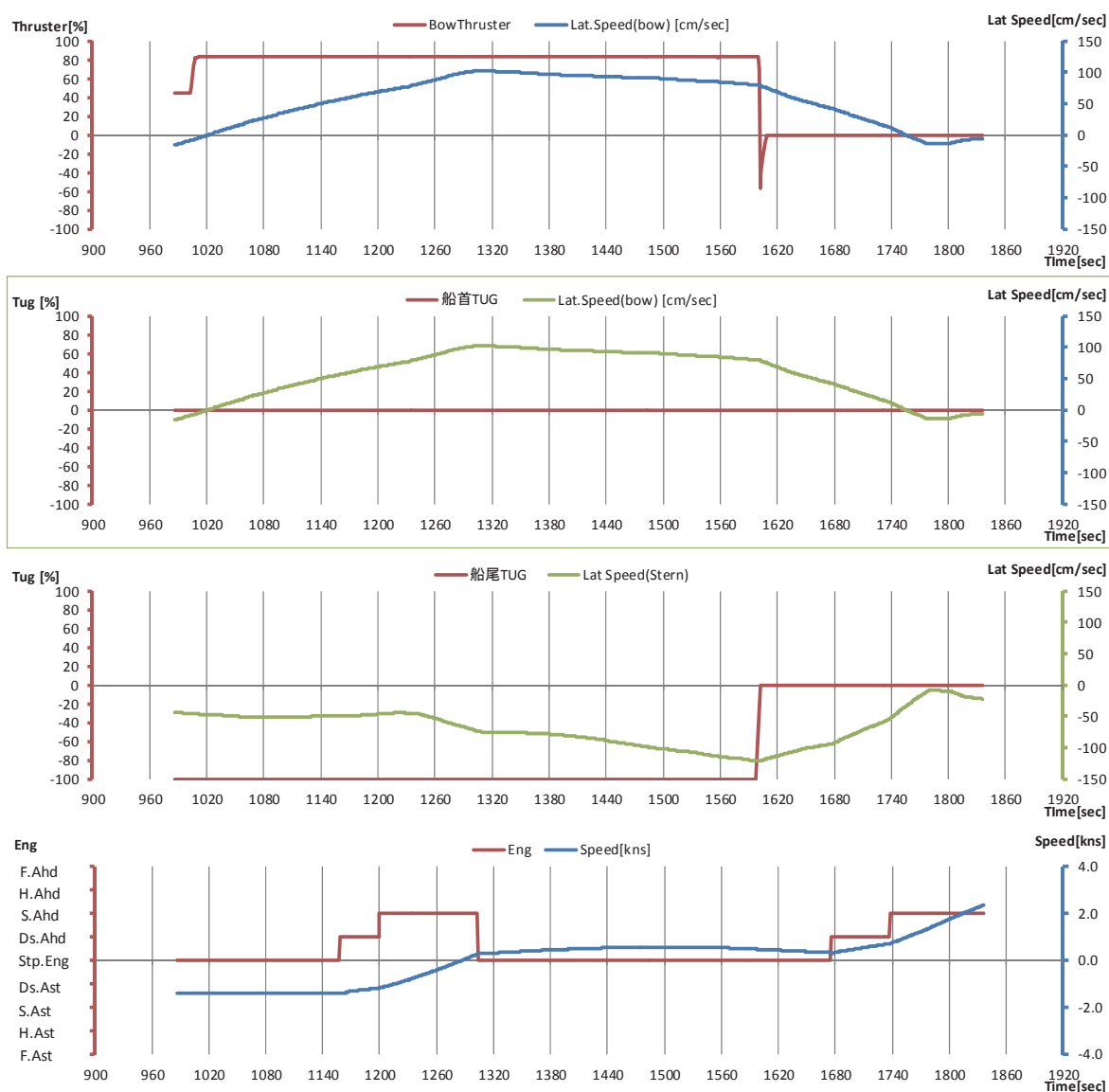
3.2 Case4-2

【離岸】



資図 3.3 出力項目整理図①

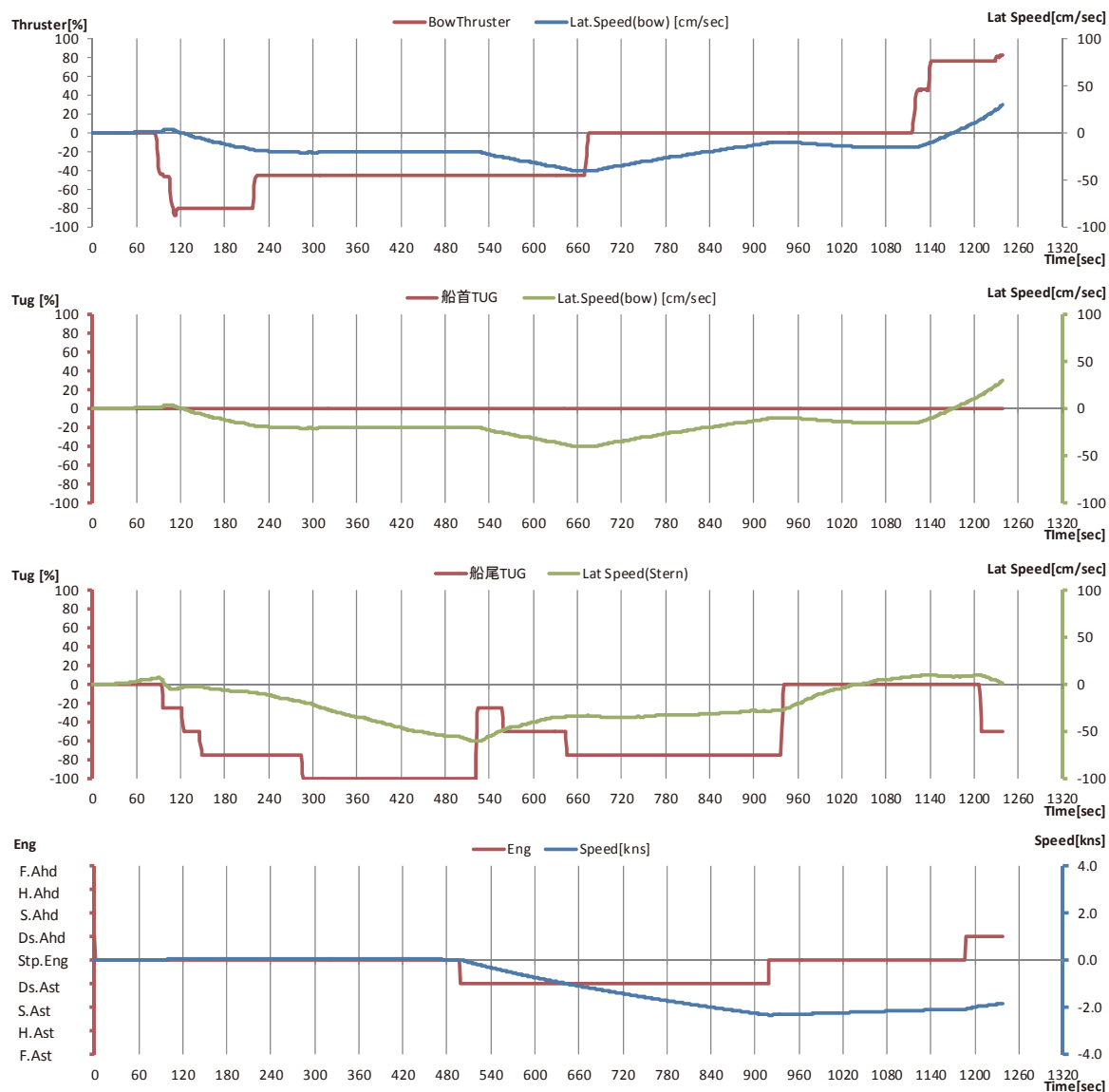
【回頭】



資図 3.4 出力項目整理図②

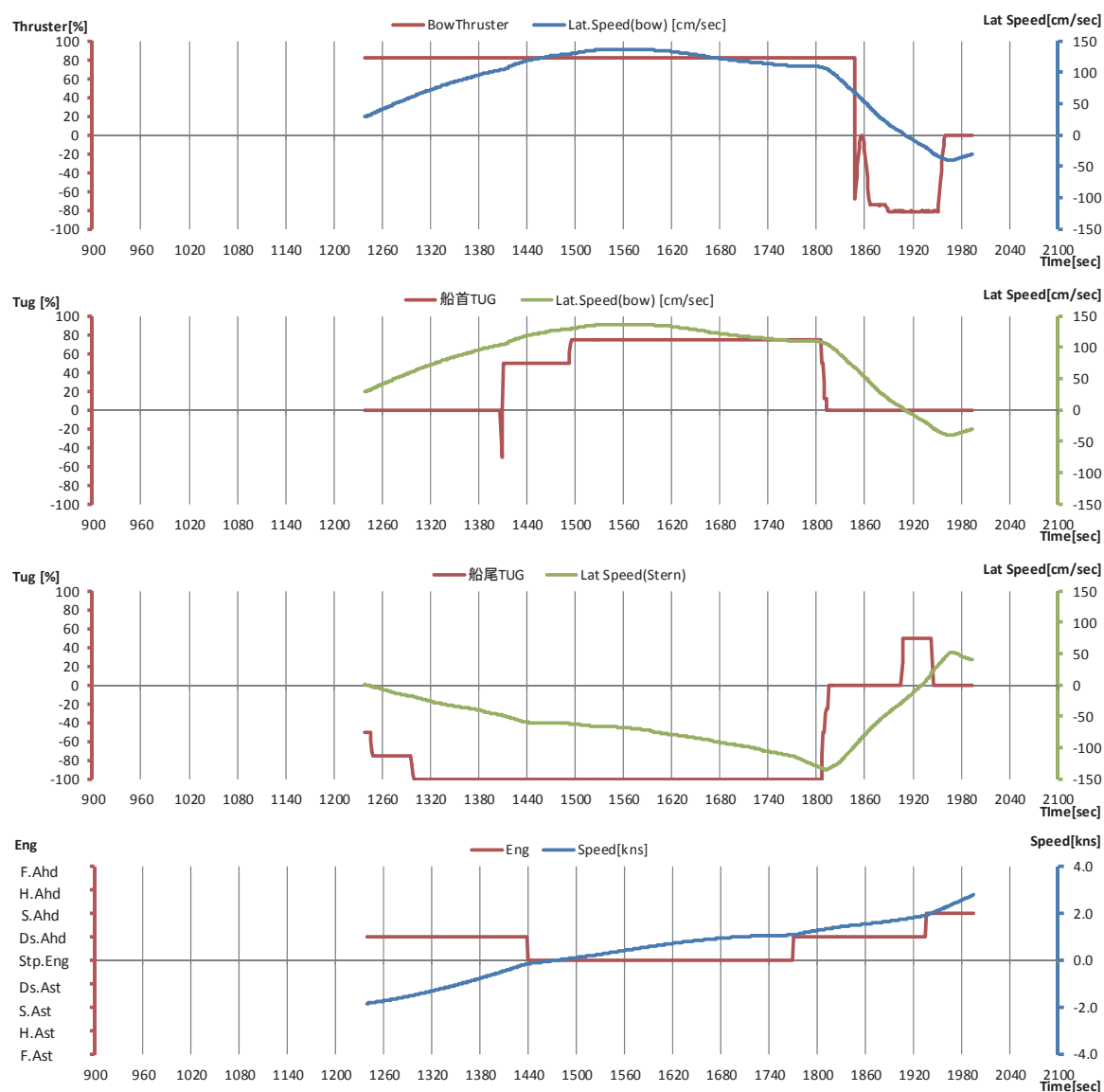
3.3 Case4-3

【離岸】



資図 3.5 出力項目整理図①

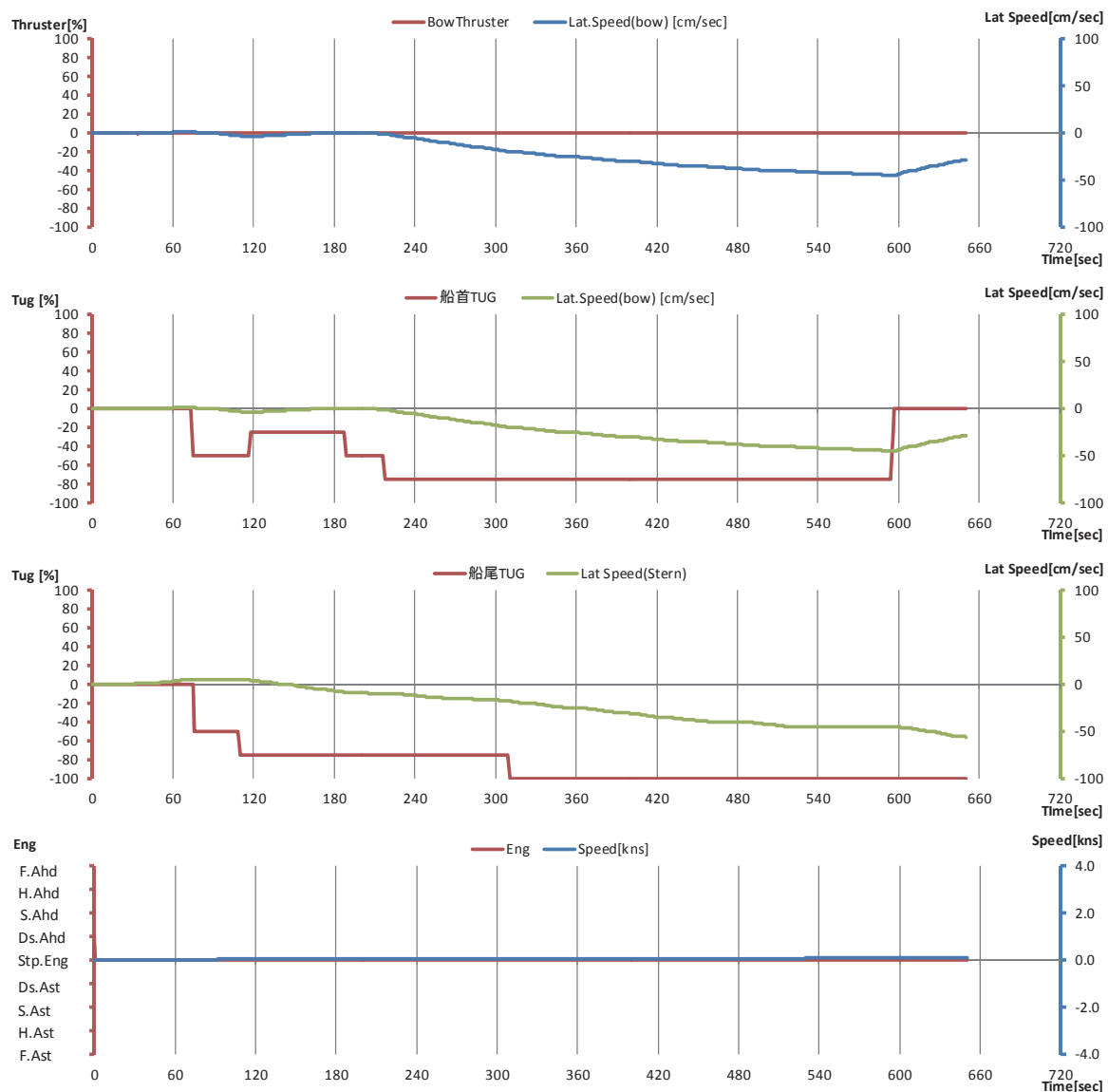
【回頭】



資図 3.6 出力項目整理図②

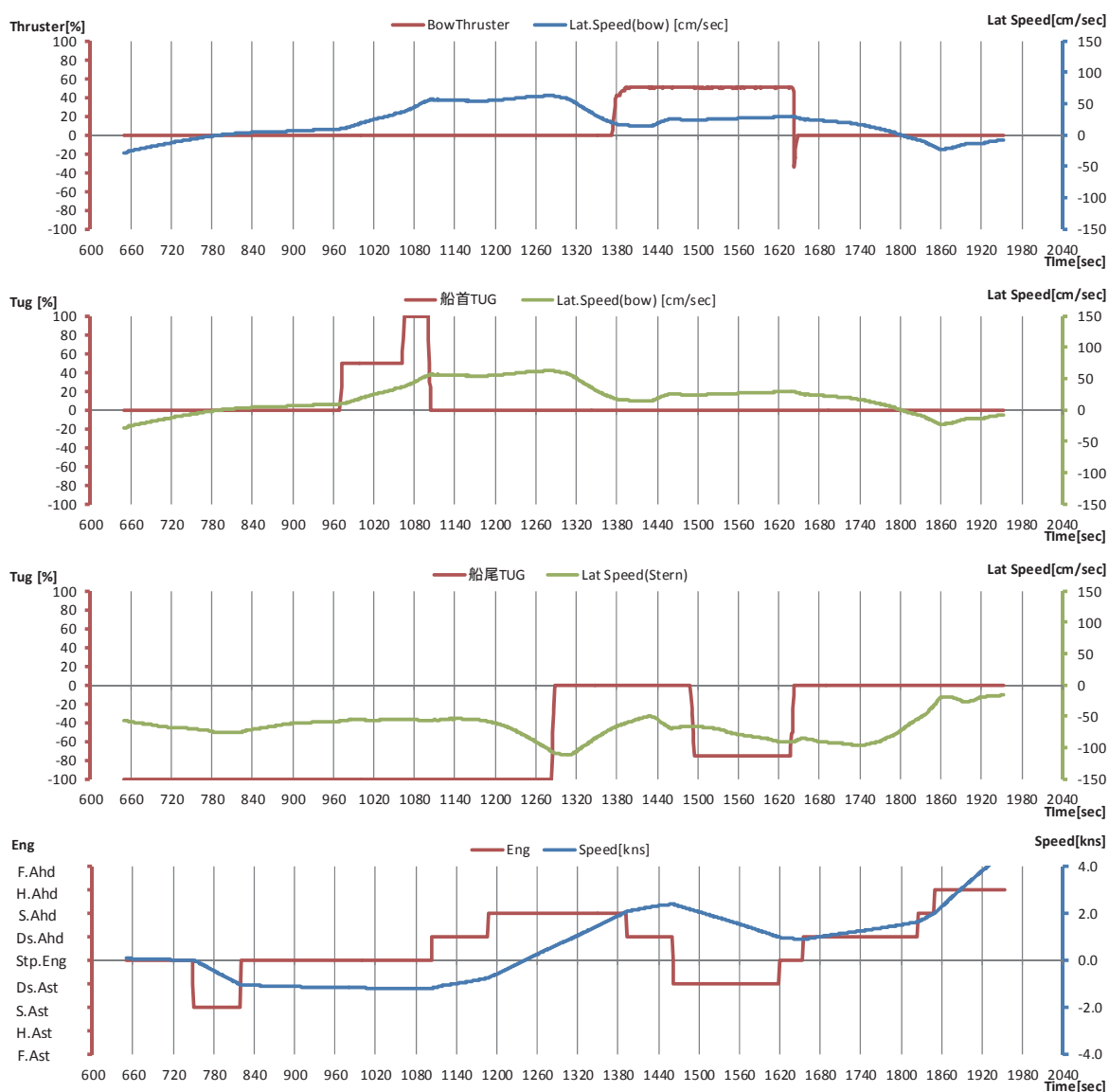
3.4 Case6-1

【離岸】



資図 3.7 出力項目整理図①

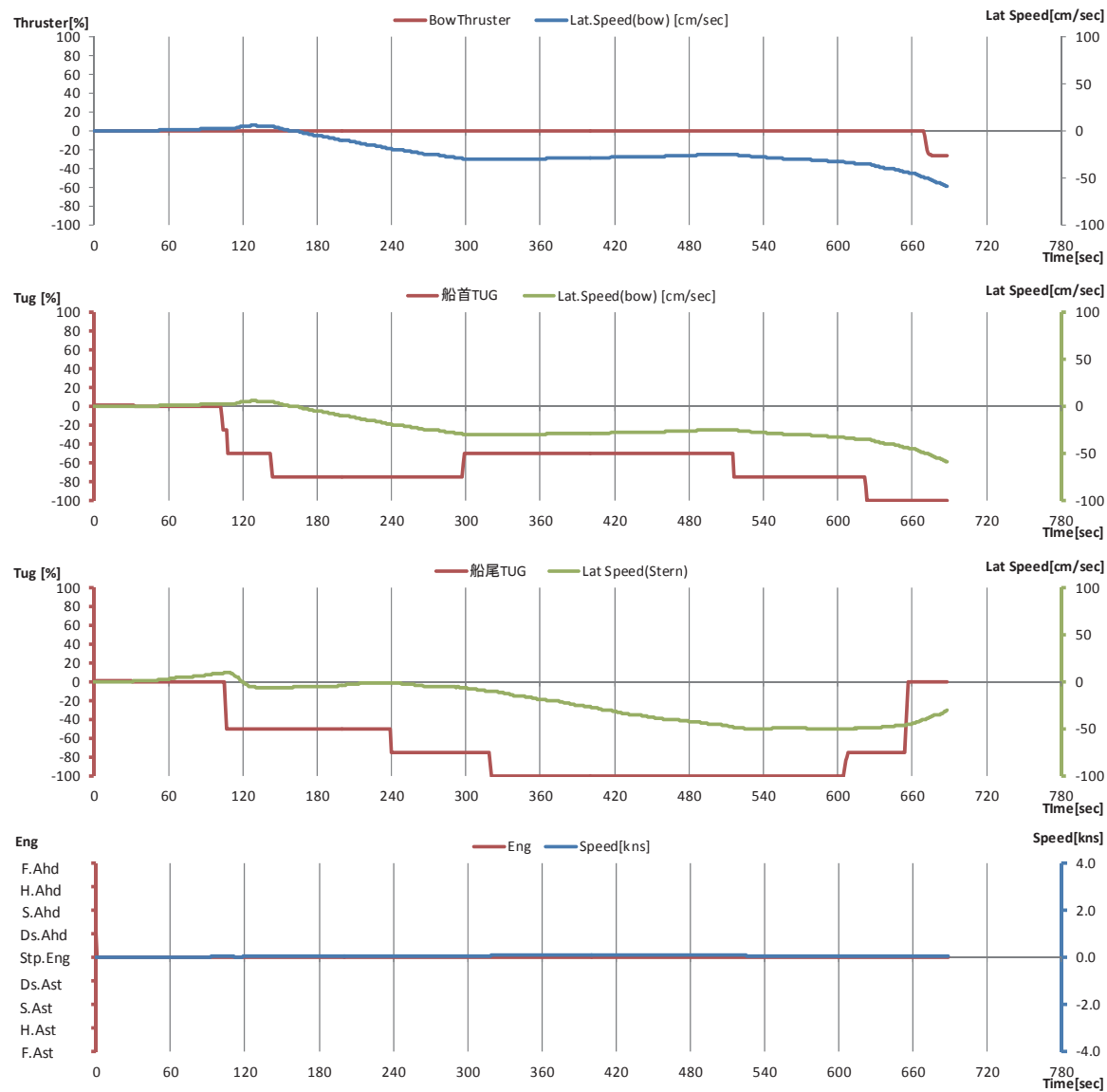
【回頭】



資図 3.8 出力項目整理図②

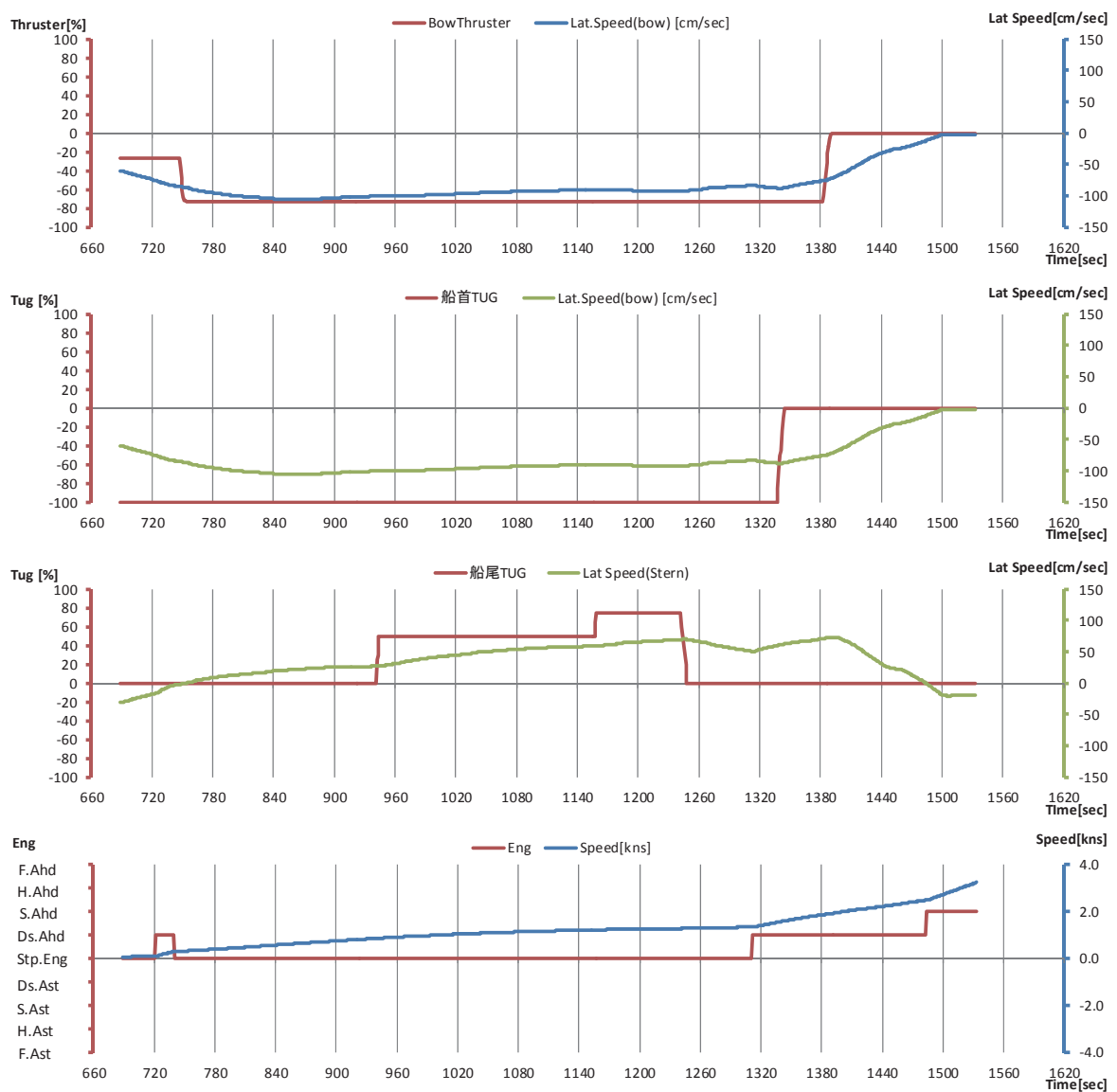
3.5 Case6-2

【離岸】



資図 3.9 出力項目整理図①

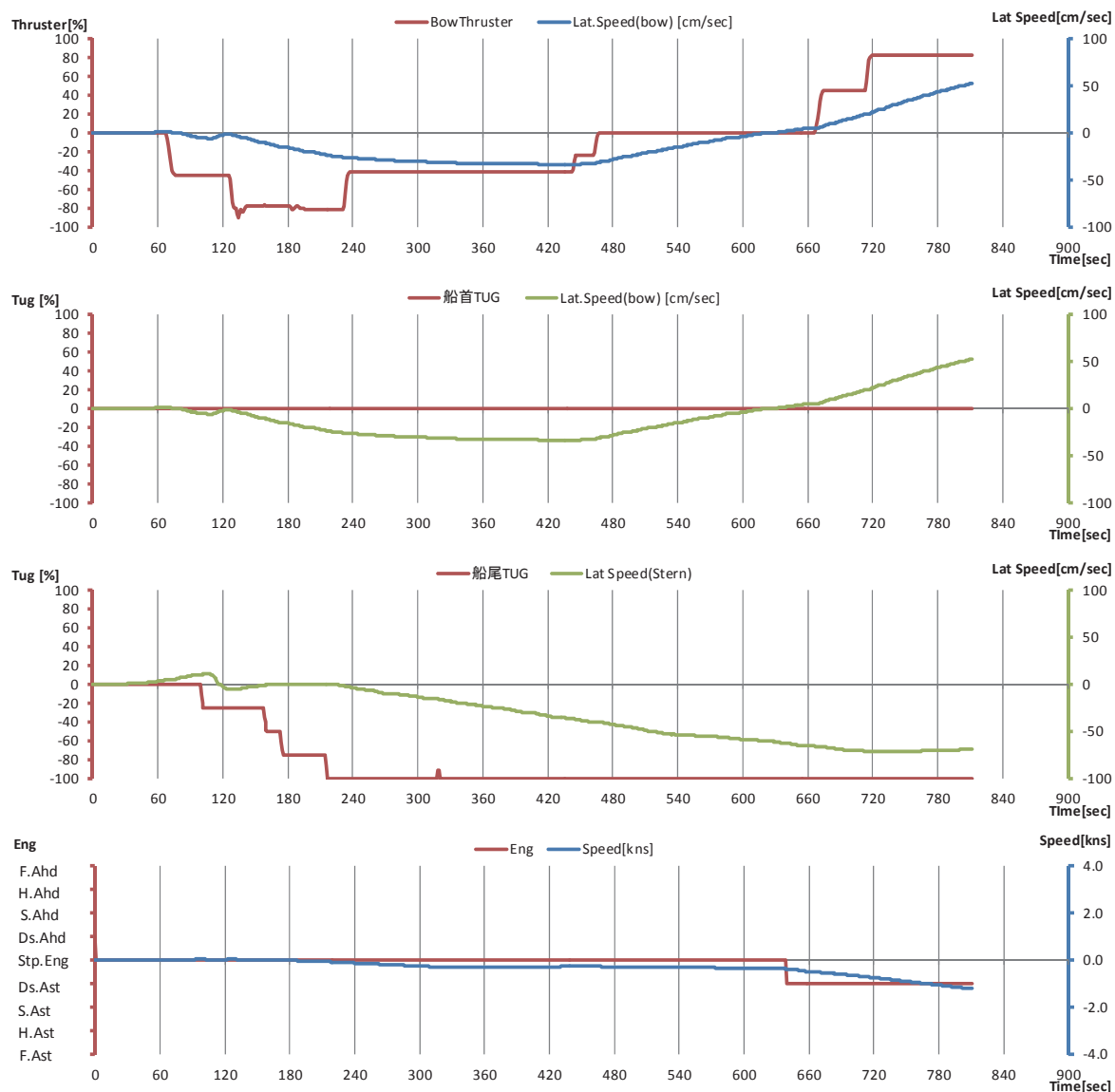
【回頭】



資図 3.10 出力項目整理図②

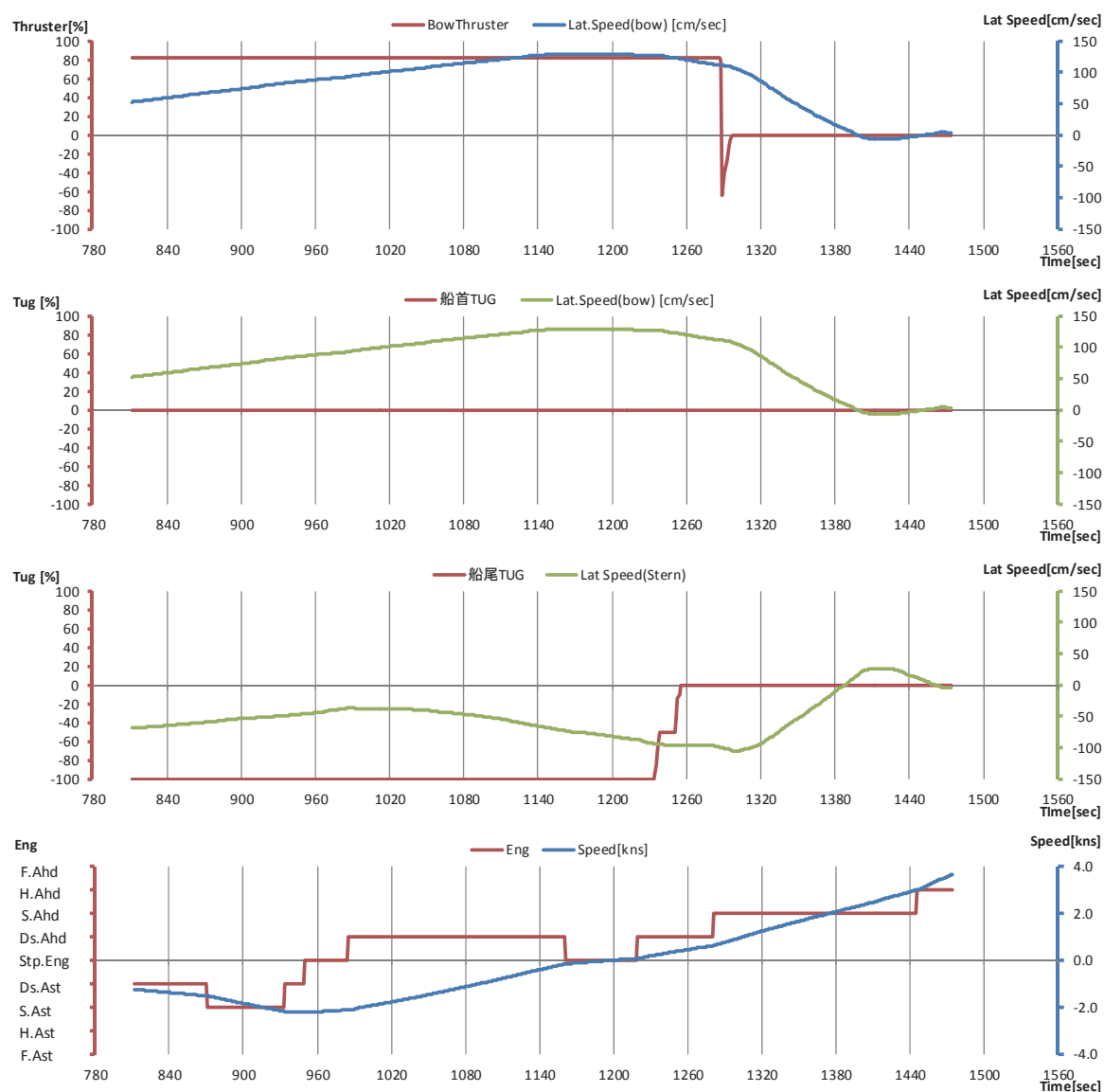
3.6 Case6-3

【離岸】



資図 3.11 出力項目整理図①

【回頭】

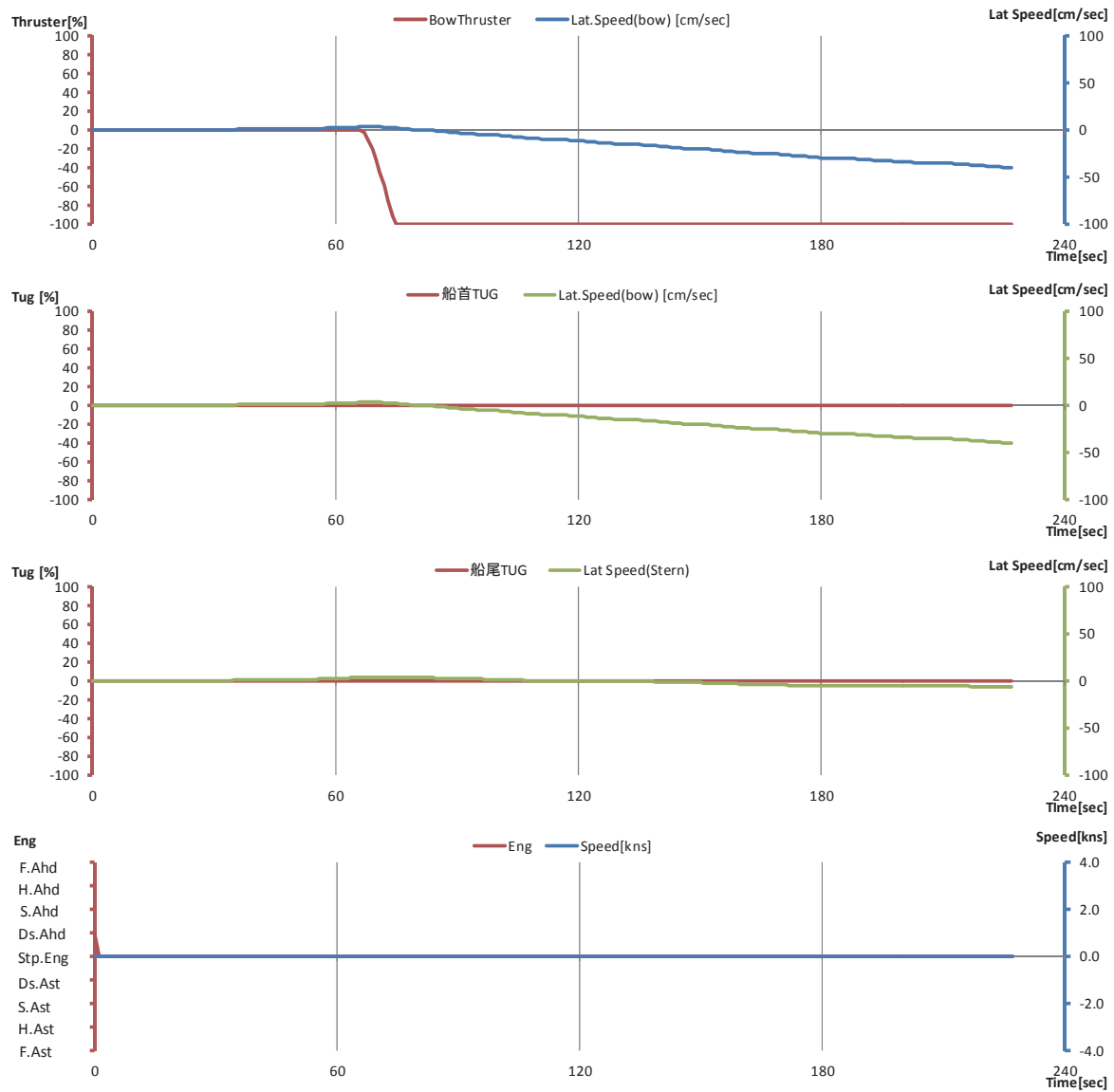


資図 3.12 出力項目整理図②

4 出港ケース（パターン②）

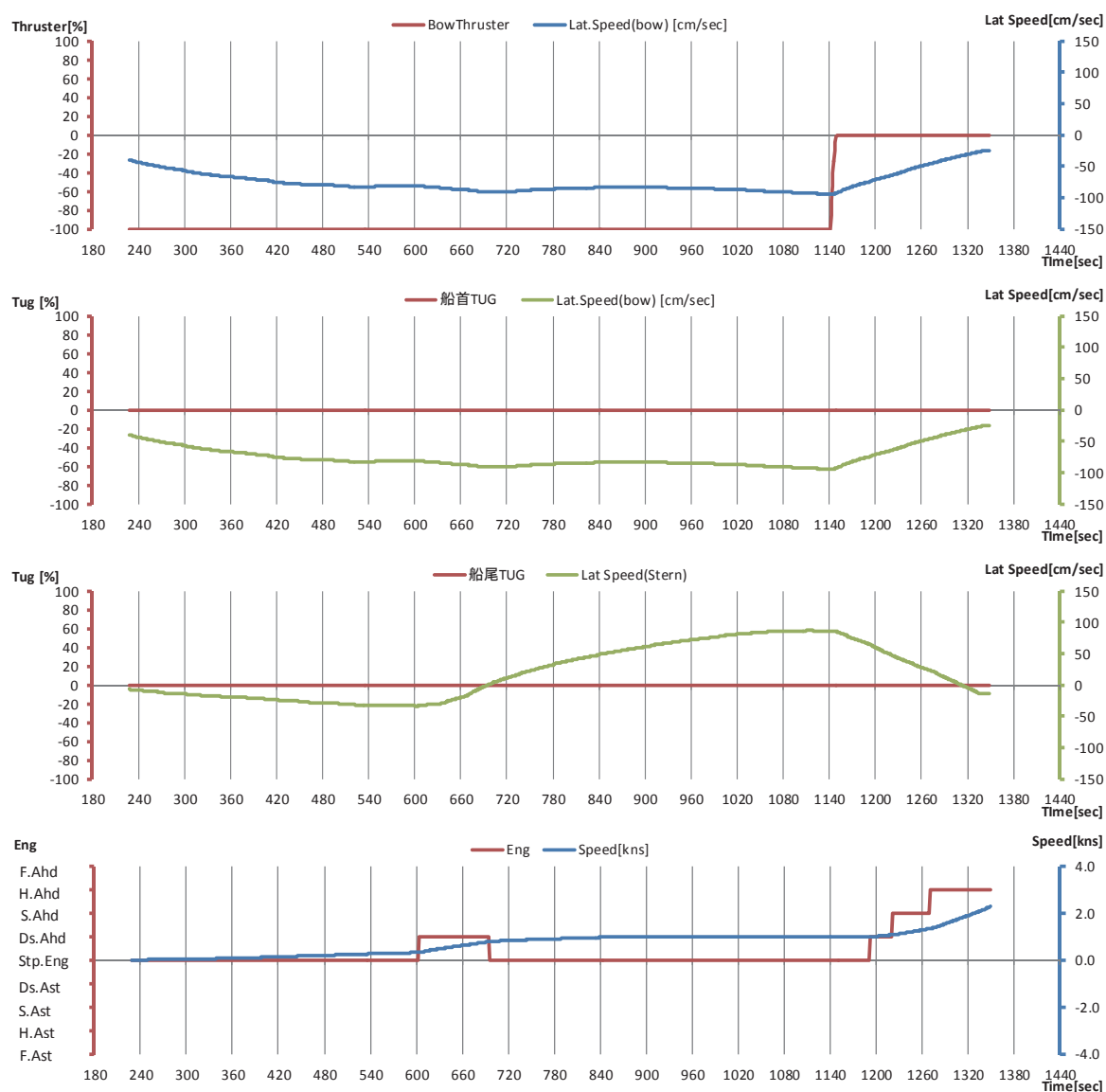
4.1 Case10-1

【離岸】



資図 4.1 出力項目整理図①

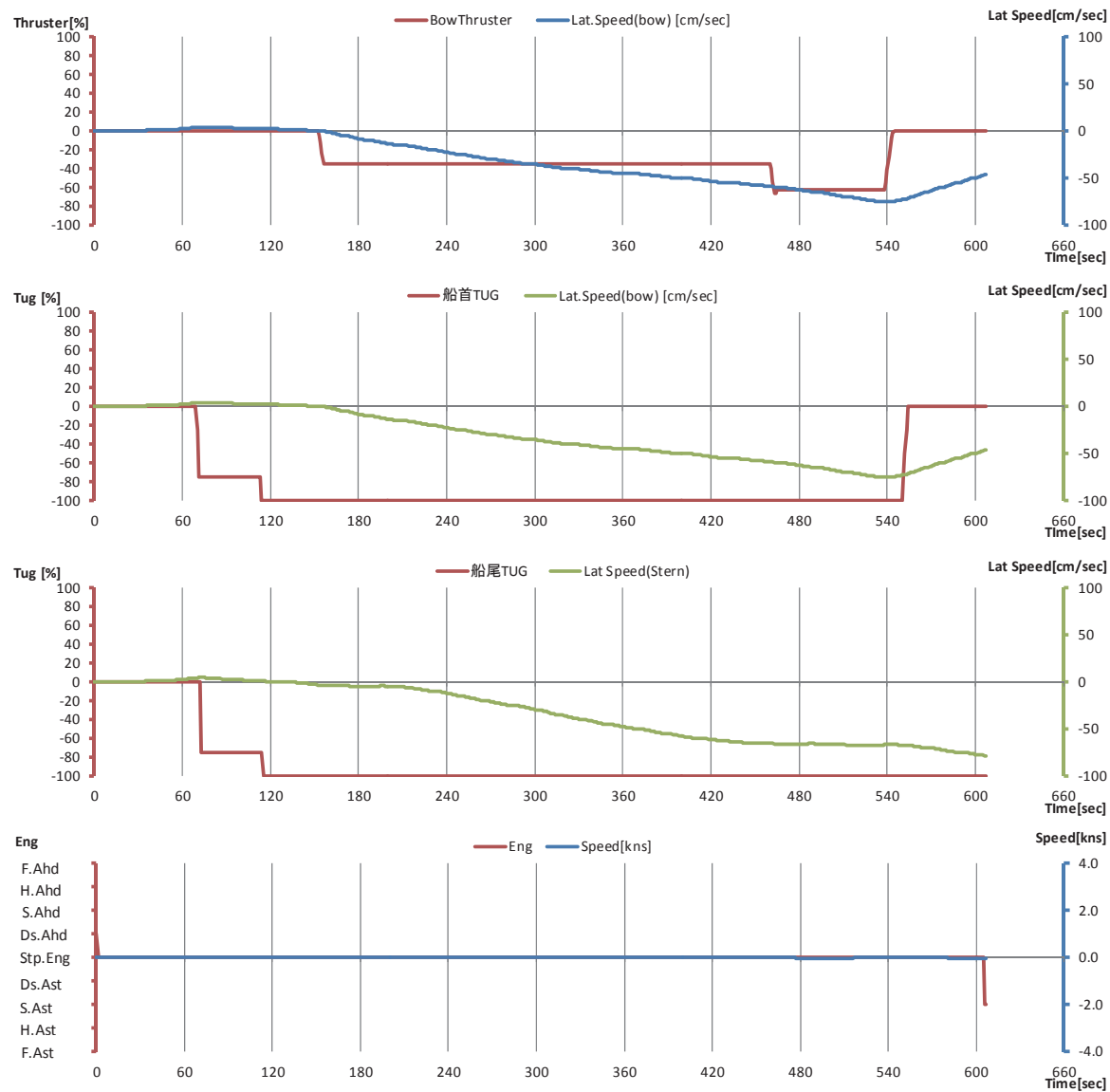
【回頭】



資図 4.2 出力項目整理図②

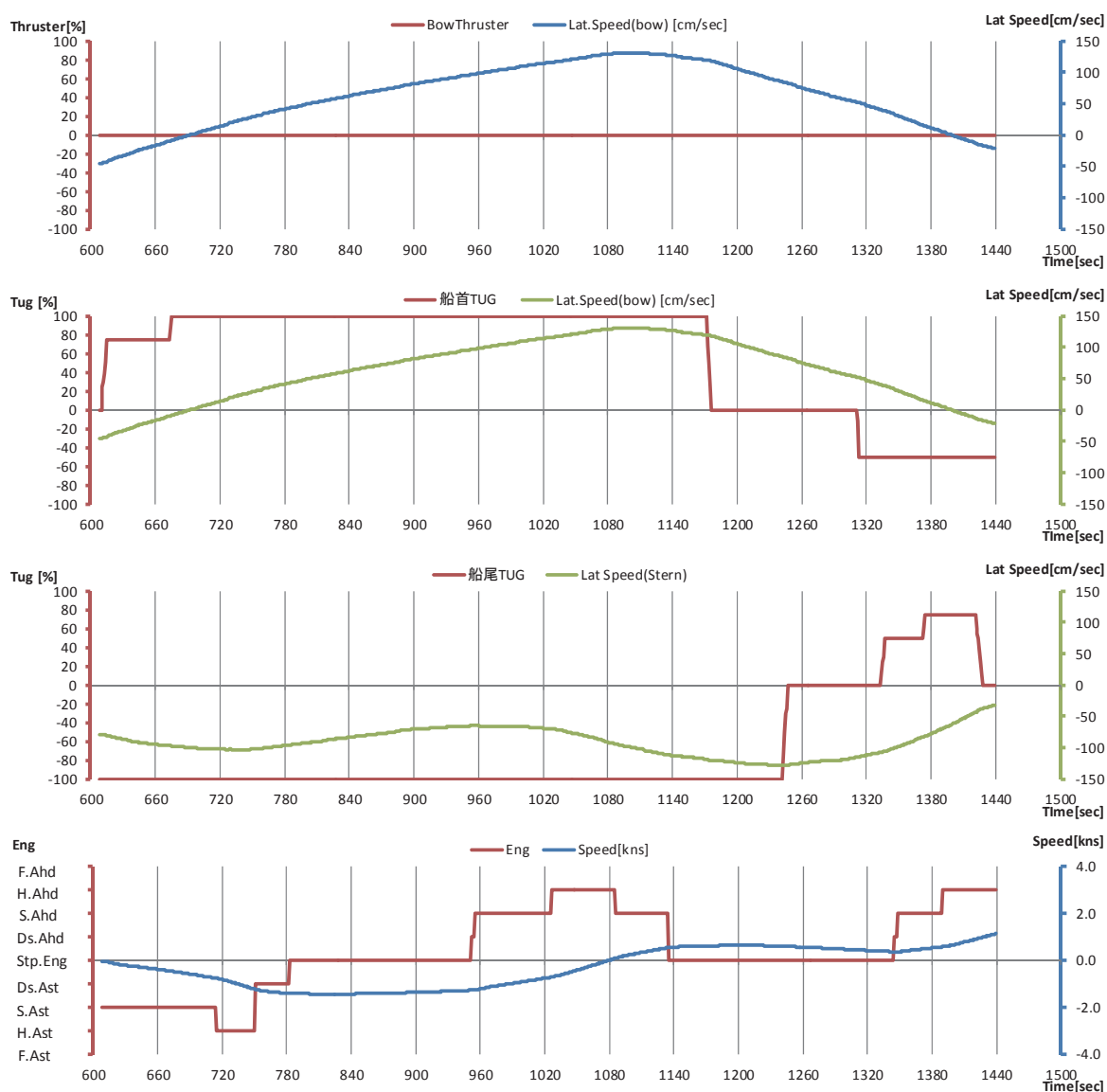
4.2 Case10-2

【離岸】



資図 4.3 出力項目整理図①

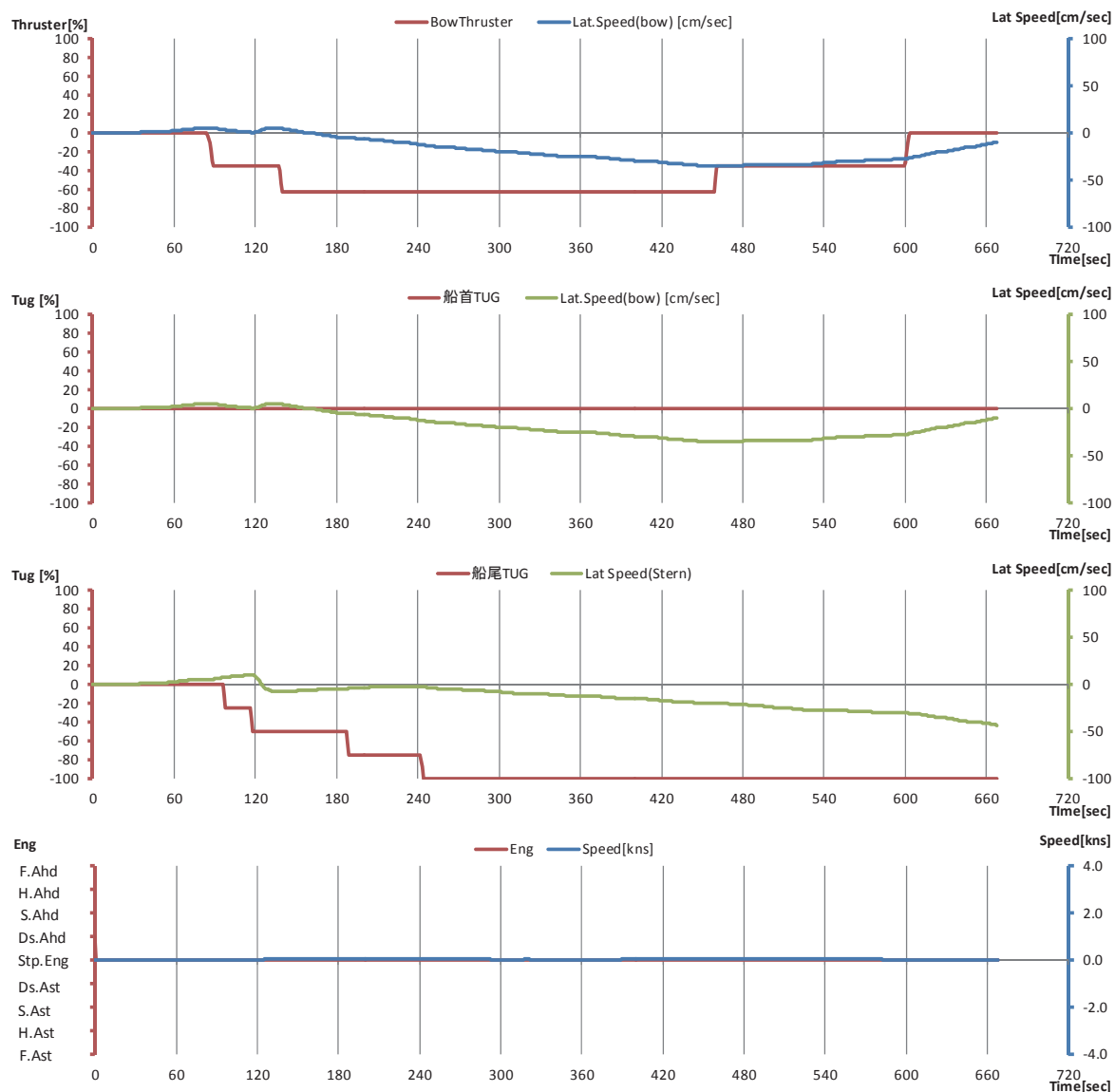
【回頭】



資図 4.4 出力項目整理図②

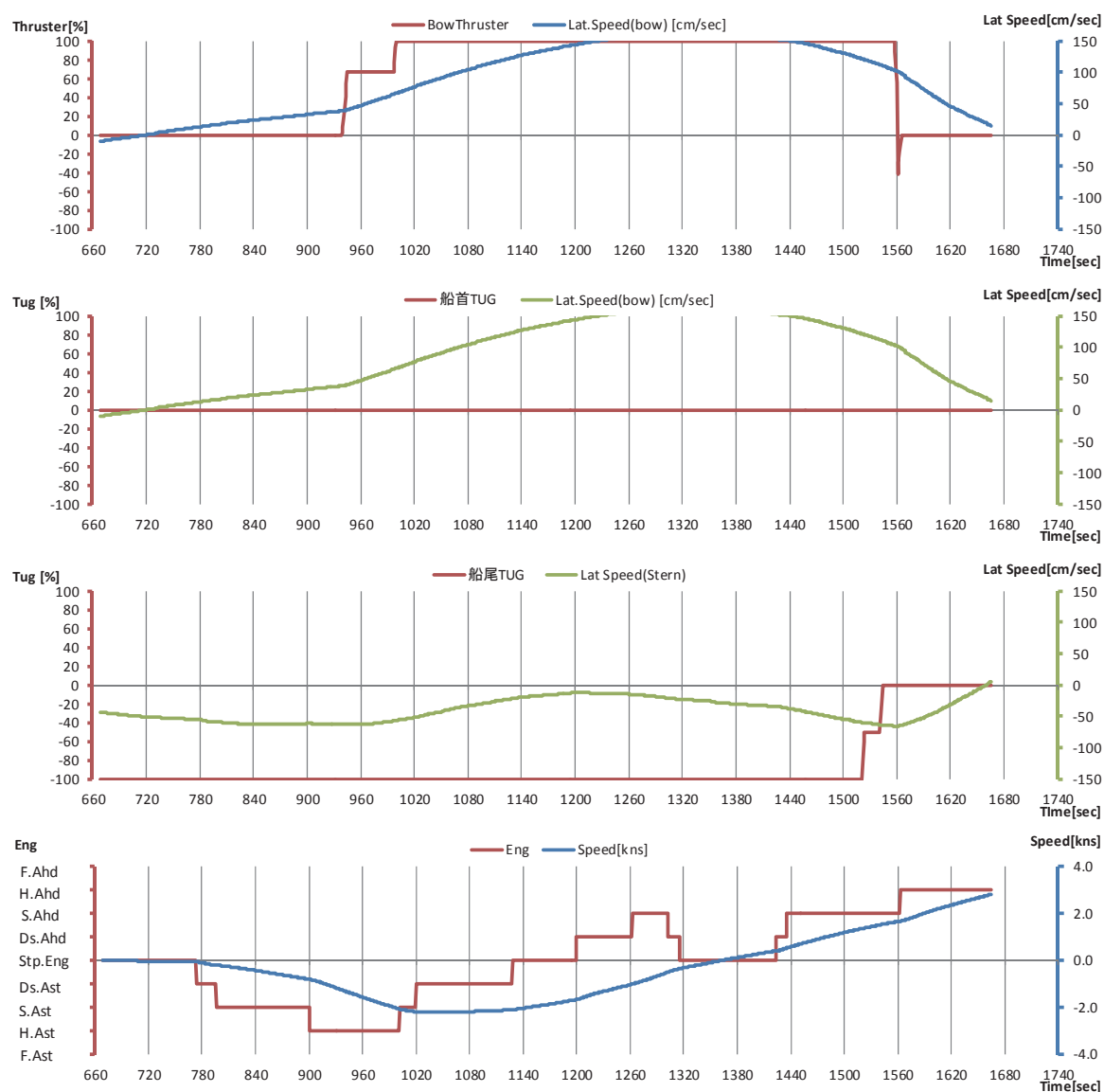
4.3 Case10-3

【離岸】



資図 4.5 出力項目整理図①

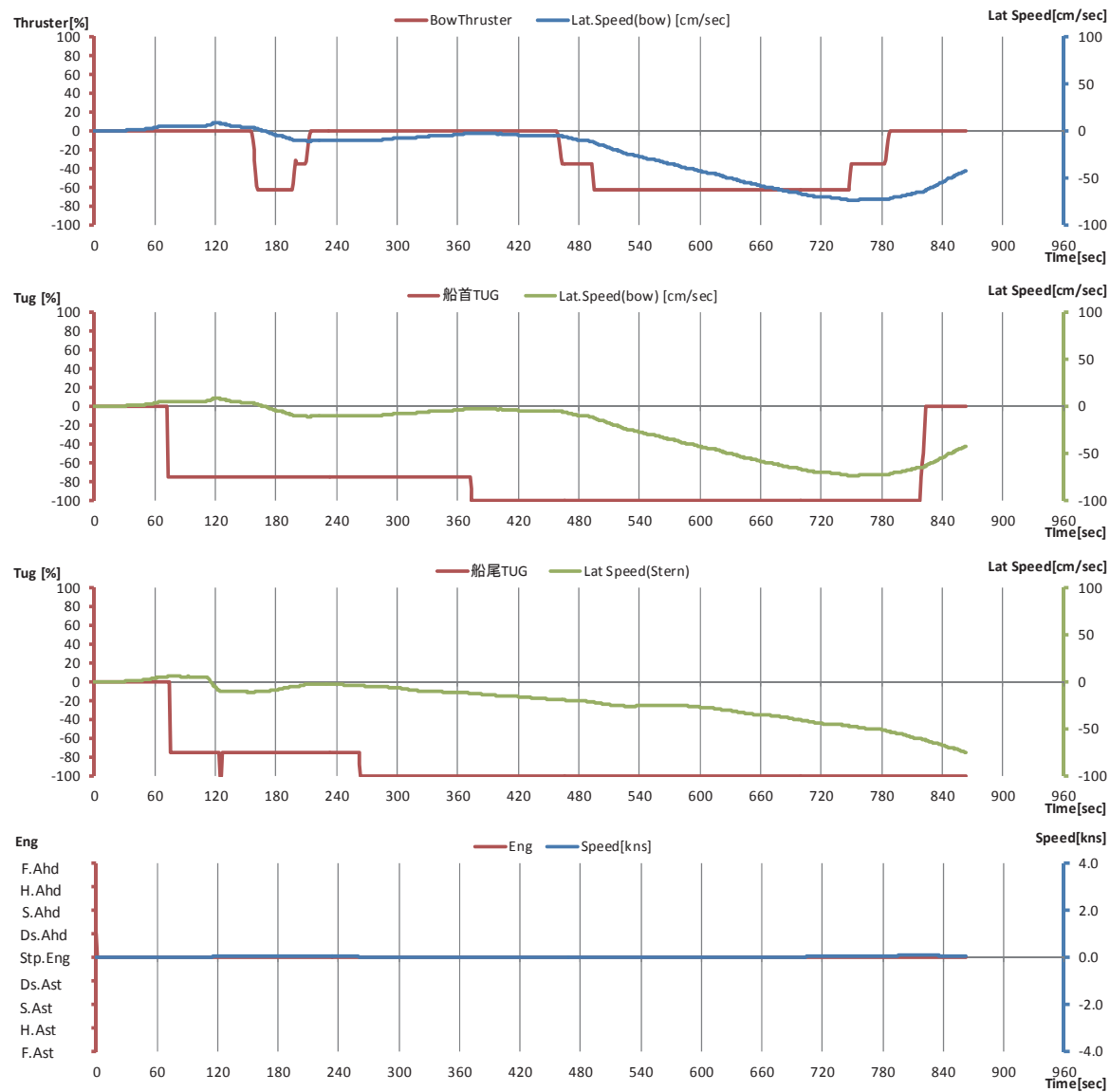
【回頭】



資図 4.6 出力項目整理図②

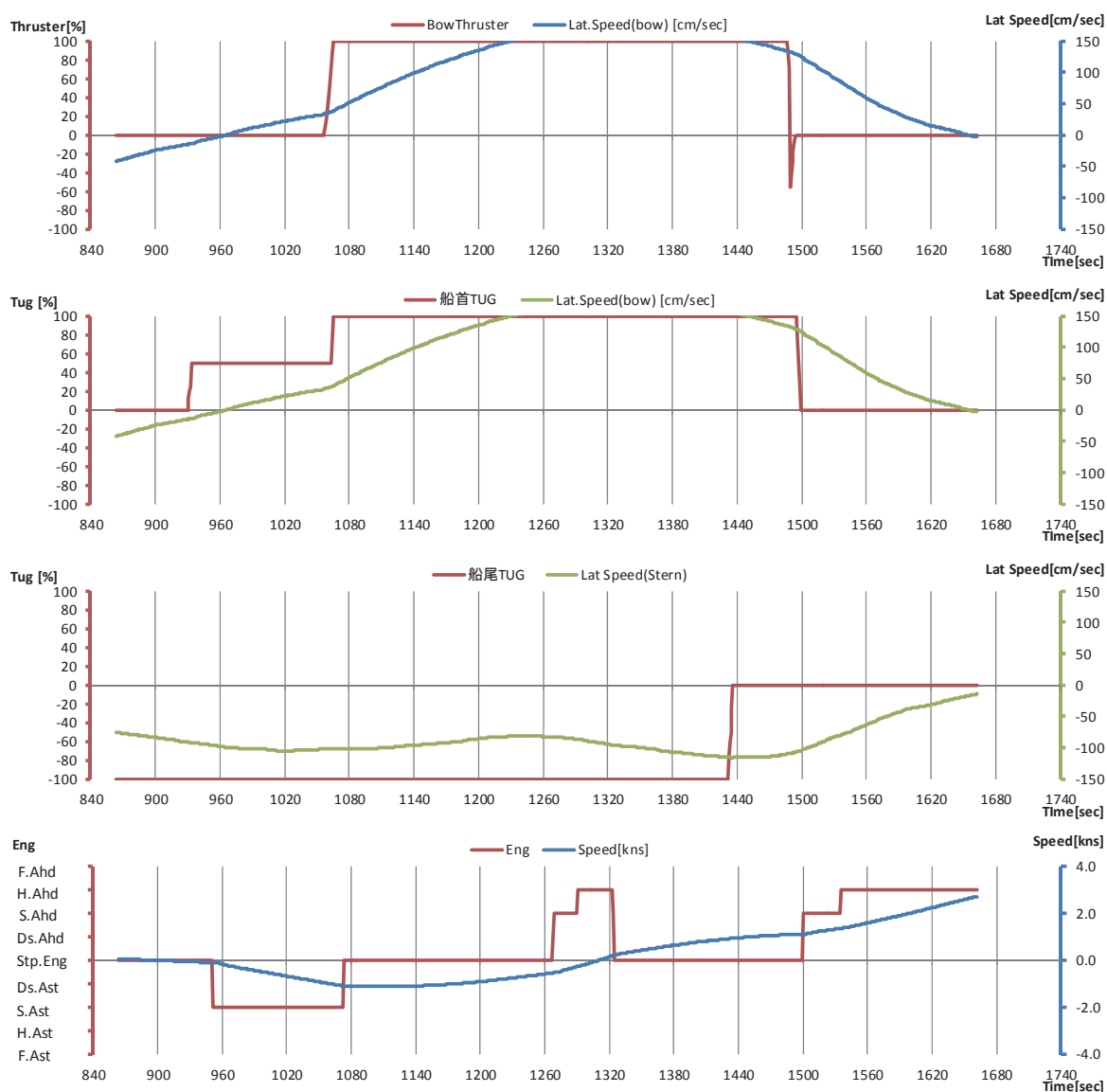
4.4 Case11-1

【離岸】



資図 4.7 出力項目整理図①

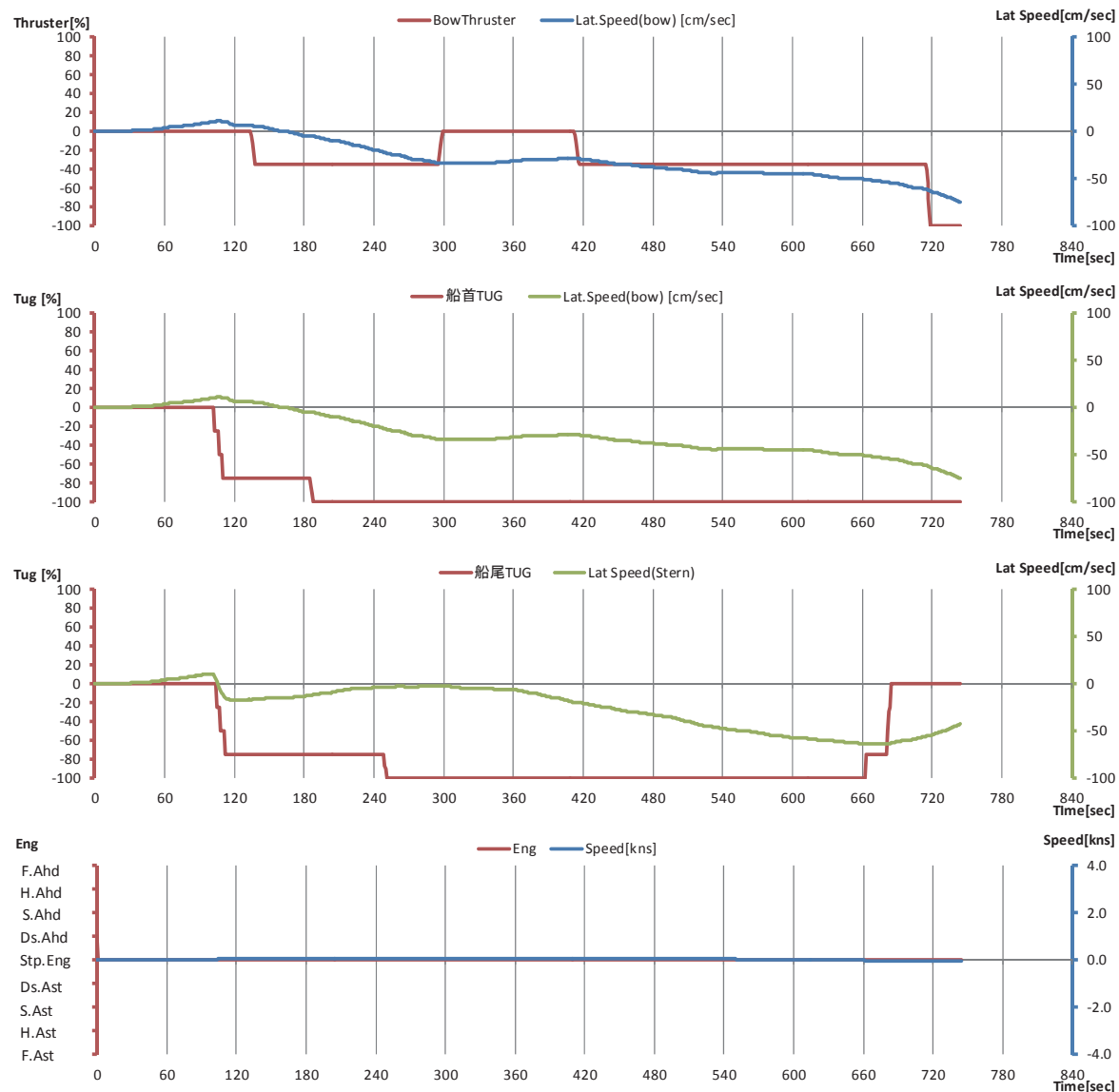
【回頭】



資図 4. 8 出力項目整理図②

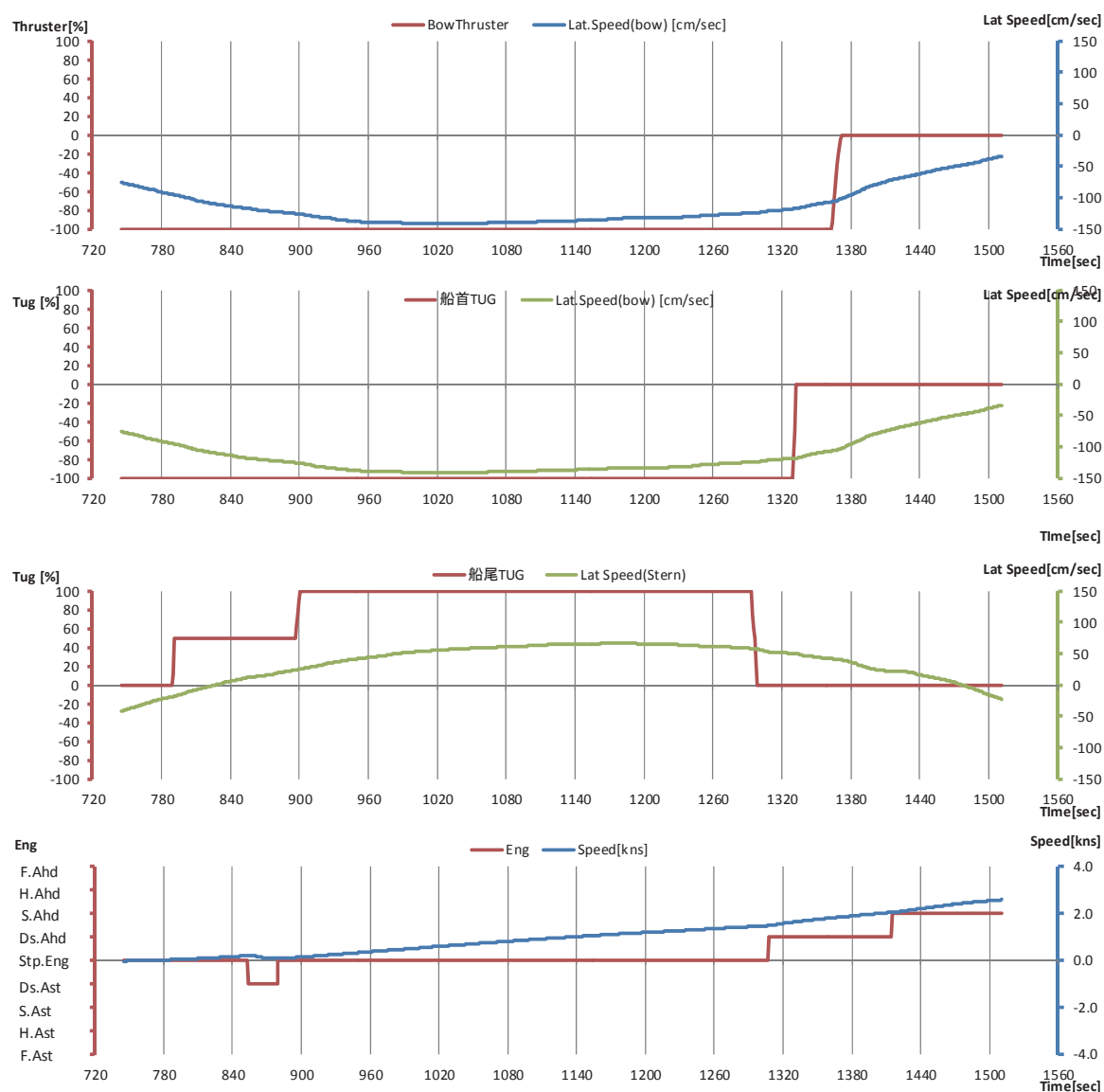
4.5 Case11-2

【離岸】



資図 4.9 出力項目整理図①

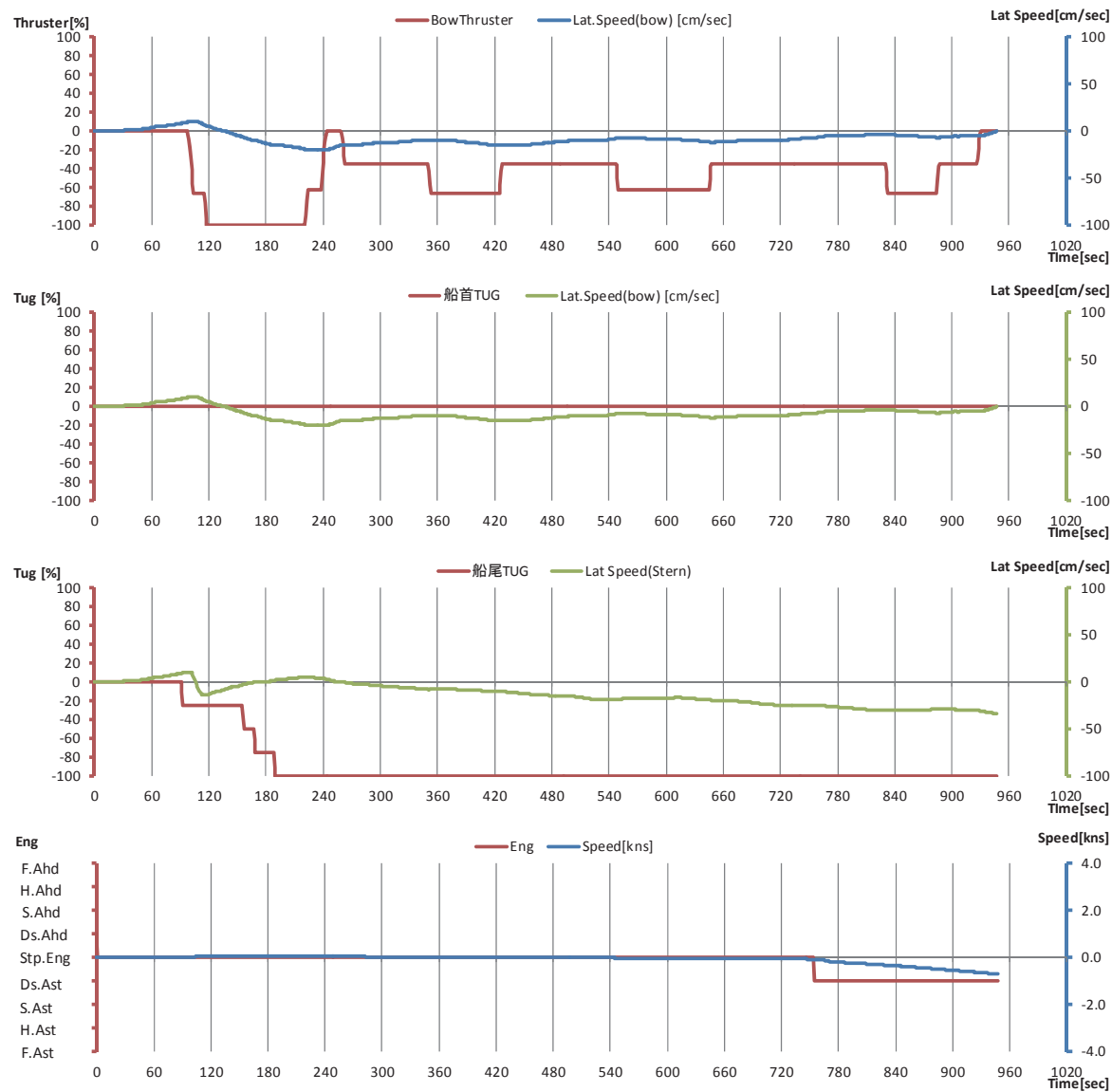
【回頭】



資図 4.10 出力項目整理図②

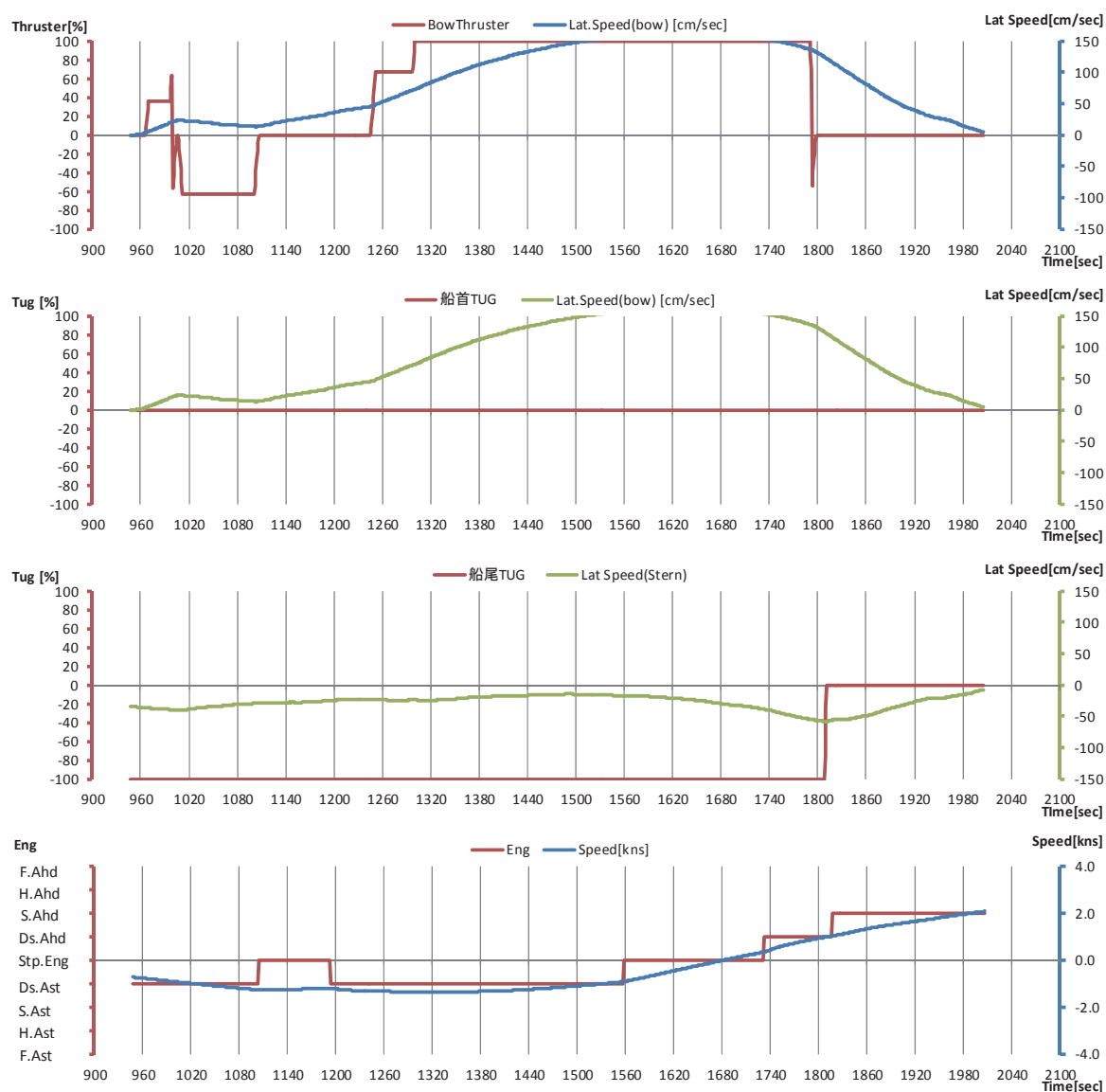
4.6 Case11-3

【離岸】



資図 4.11 出力項目整理図①

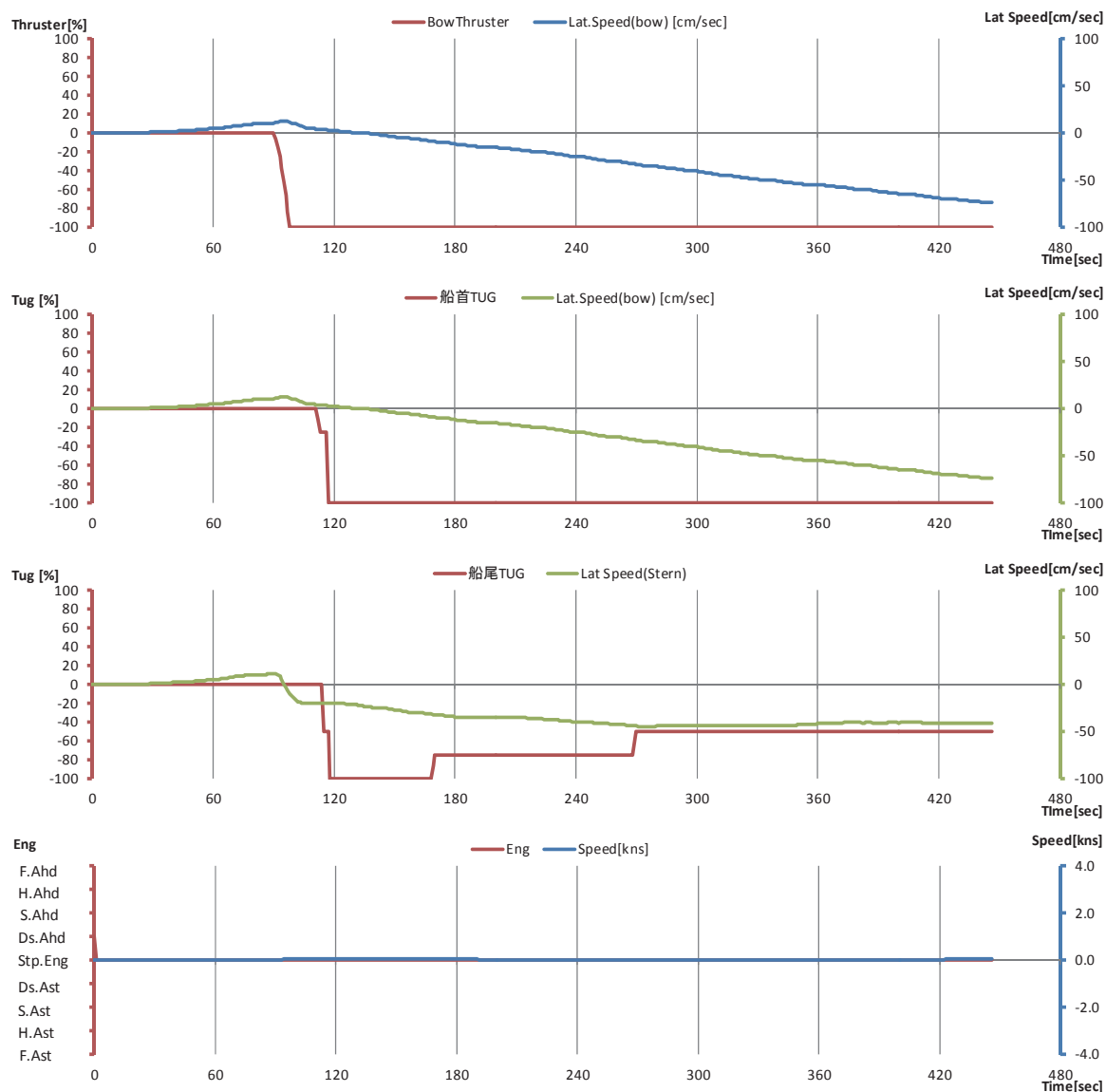
【回頭】



資図 4.12 出力項目整理図②

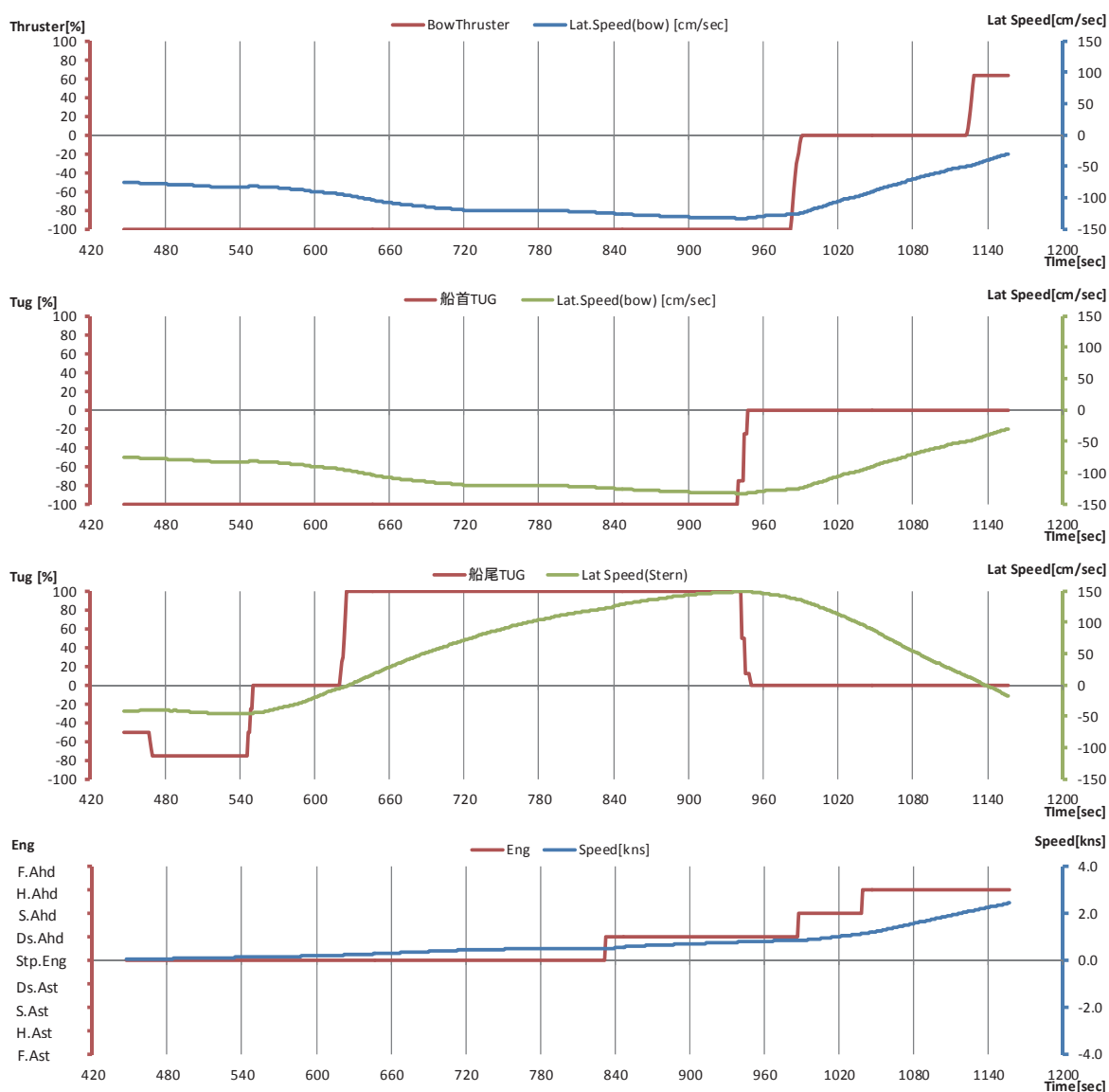
4.7 Case12-1

【離岸】



資図 4.13 出力項目整理図①

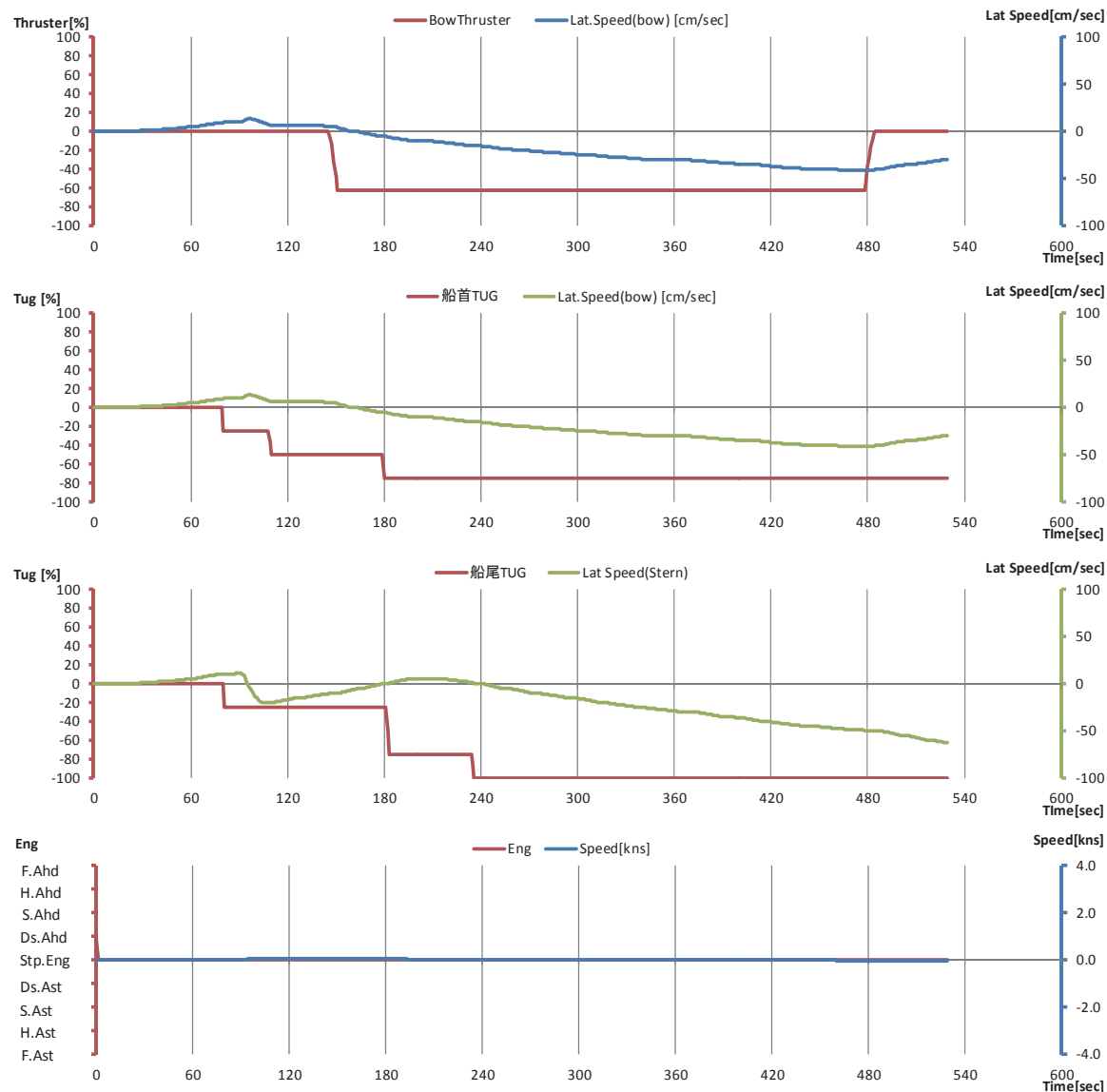
【回頭】



資図 4. 14 出力項目整理図②

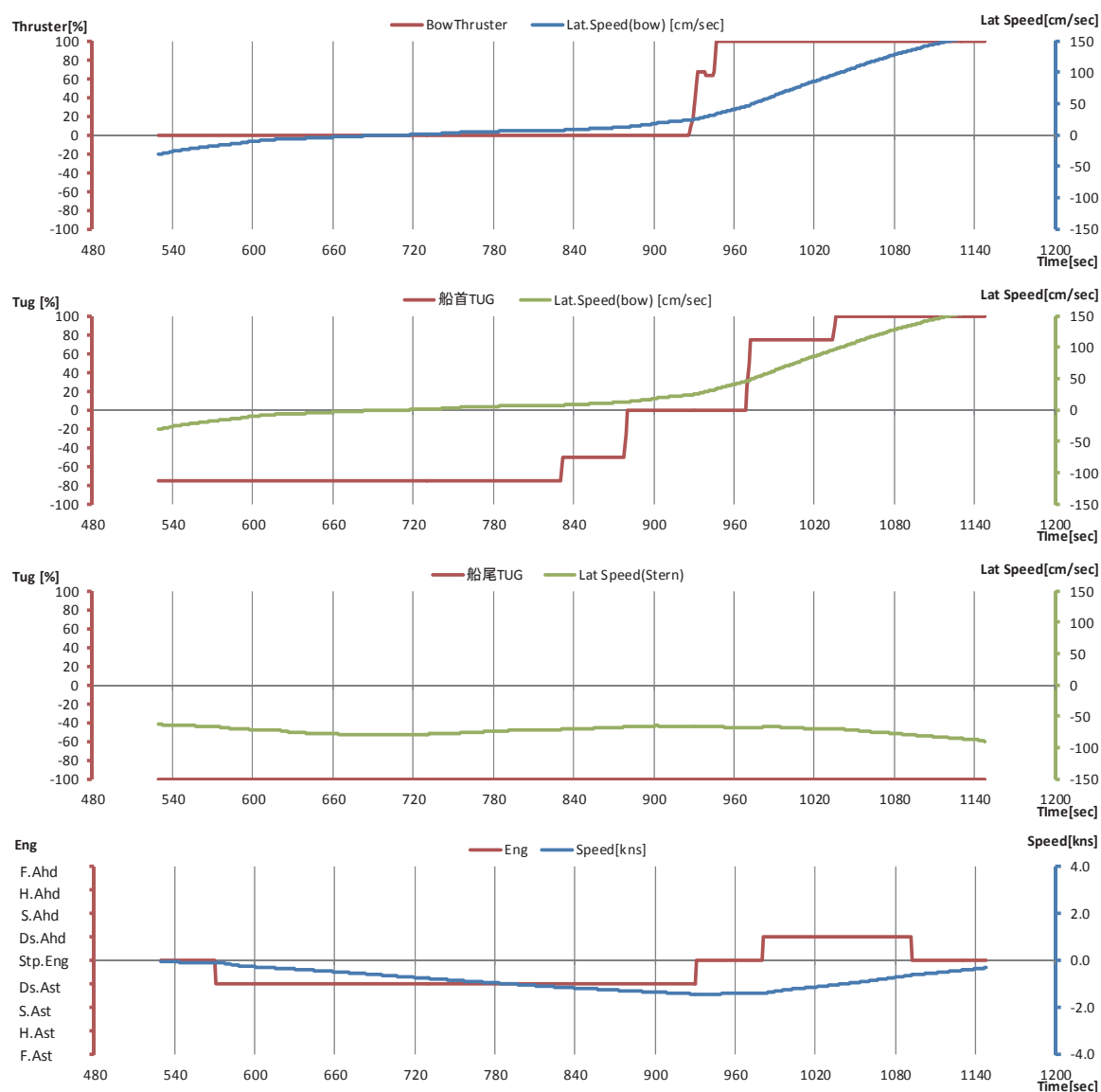
4.8 Case12-2

【離岸】



資図 4.15 出力項目整理図①

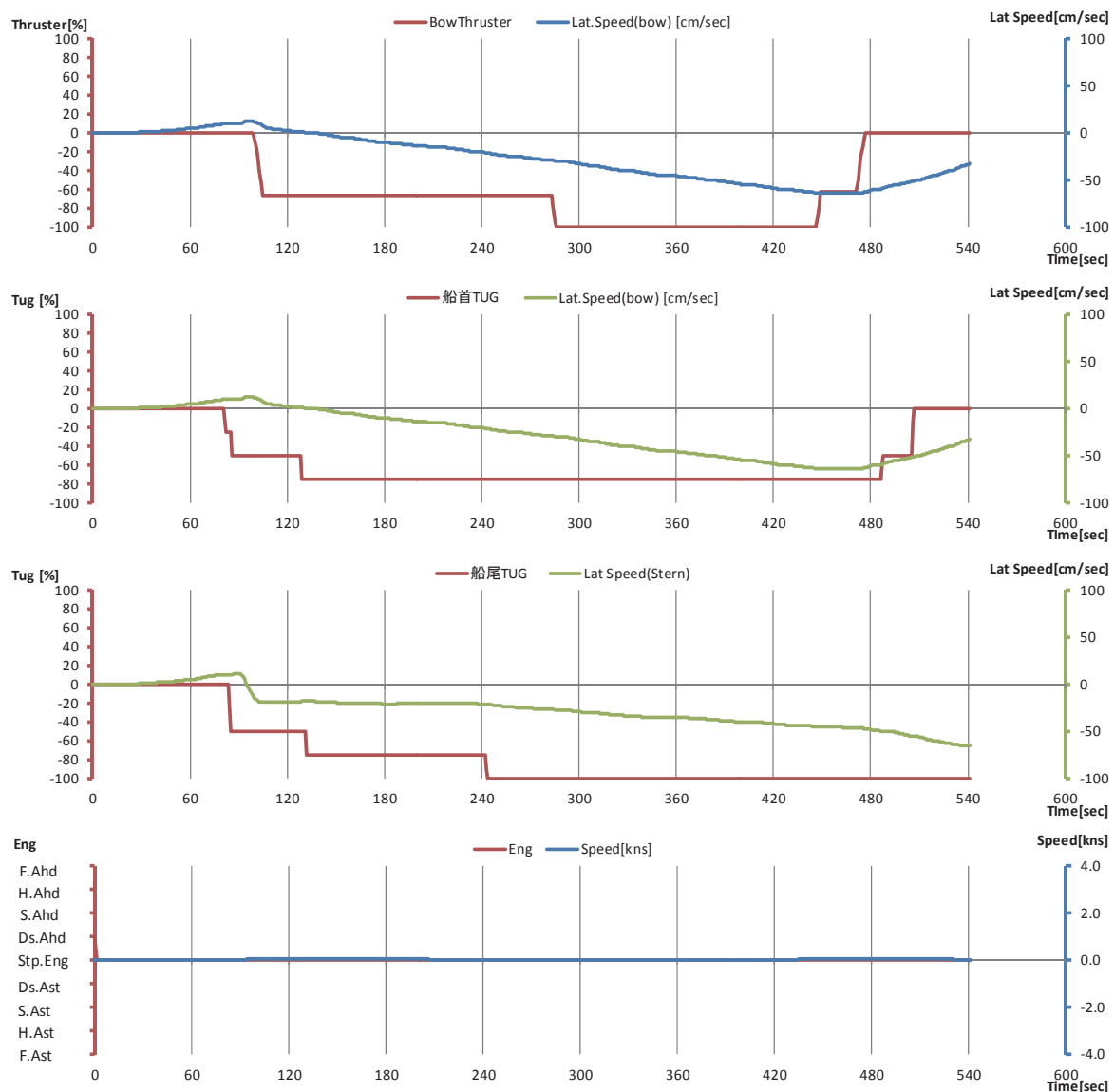
【回頭】



資図 4. 16 出力項目整理図②

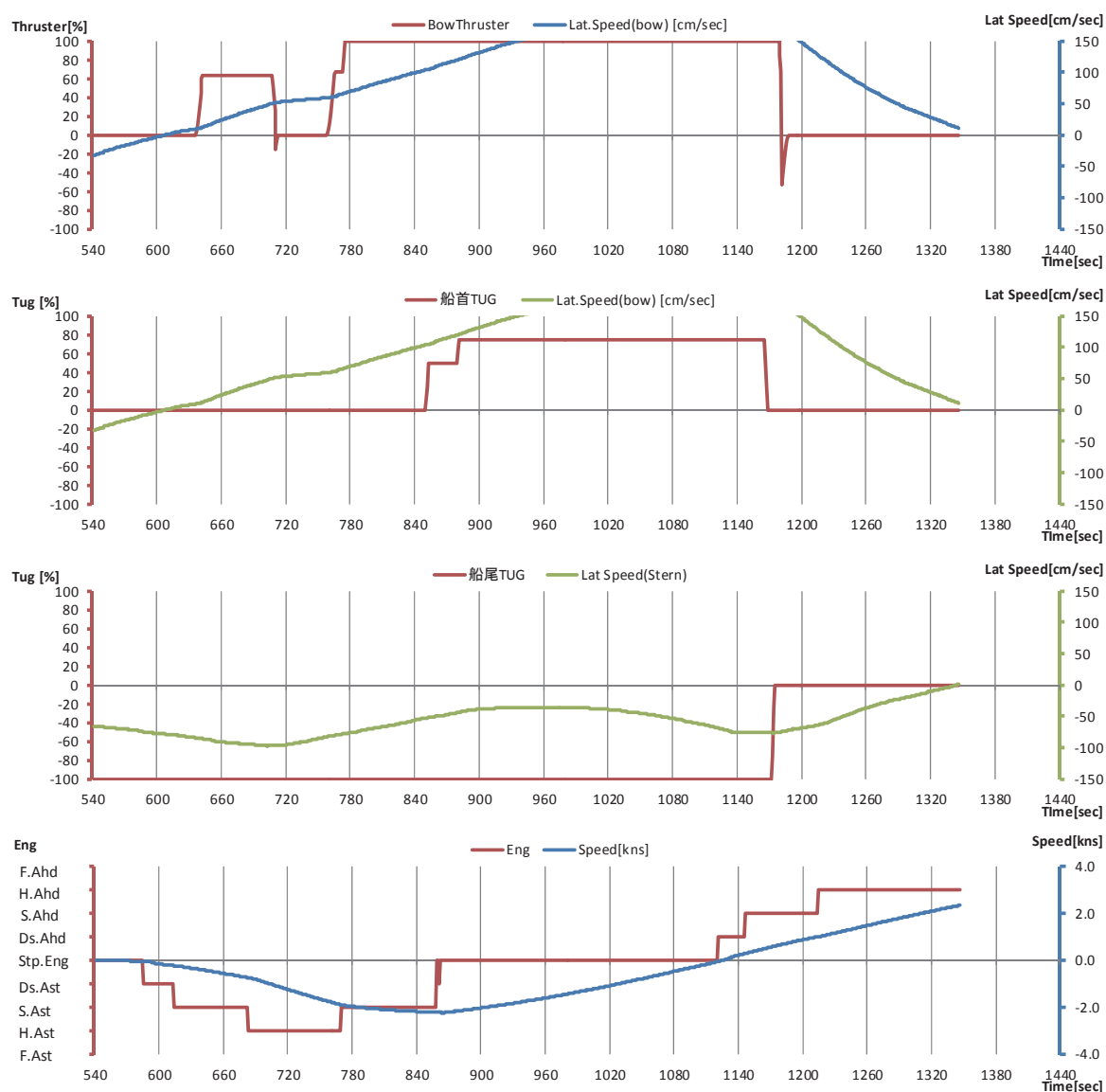
4.9 Case12-3

【離岸】



資図 4.17 出力項目整理図①

【回頭】



資図 4. 18 出力項目整理図②

あ と が き

『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』を振り返って

操船シミュレーション手法が、海上における港湾や船舶輸送の安全性を向上させるための検討材料として一般的になって以来、およそ 10 年以上が経過した。海難防止対策の検討を進める上で、船舶航行の安全性を検証するための操船シミュレーションは、極めて有効な評価手法として認められている。これは、演算処理速度の向上とシミュレーション技法の発達によるところが大きい。

本調査研究は、操船シミュレータの飛躍的な性能の向上と解析要領の発展が著しい新たな時代を迎え、これまでの海難防止（海防）検討を振り返り、今後の海防対策をより円滑かつ効果的に推進するための調査研究である。これまでの検討は、その検討時間の制約とシナリオのバリエーションが少ない画一的な操船シミュレーション手法が一般的であった。平成 27 年度（昨年度）は、操船シミュレーション手法の活用方法（評価検討手法ガイドライン）に基づく検討案件に相応しいシミュレーション手法を示し、そのシミュレーション手法の活用手順を明らかにすることができた。

平成 28 年度（本年度）は、現役の船長及び水先人の協力を得て、一つのシナリオに 3 名の操船結果が得られるような操船シミュレータ実験を実施した。その結果、三者三様（各者各様）の操船データが得られ、操船者の違いにより個性の特徴も異なることが明らかとなった。さらに、結果的に安全かつ余裕のある操船であっても、一つのシナリオが有する許容範囲のあることも確認することができた。従来の操船シミュレータを活用した海防審議では時間の制約から常態となっていた 1 シナリオ 1 人という操船データでは不十分であると言える。

今後は、操船シミュレータ実験参加者の主観的評価の適正化を図ること、そして、その主観的評価と客観的評価という両方の評価を総合的な評価として取り入れる手法を開発することが求められている。具体的なアプローチ例は、タブレット型 PC 等による操船状況をリプレイできるようにすること、あるいは、操船者（人間）の感性項目を測定すること等が考えられ、更に審議・検討を行い、その成果が期待されるところである。

操船シミュレータ実験を含み、本調査研究の実施にあたり、委員各位、実験協力者各位、そして事務局の皆様には大変お世話になった。末筆ながら、衷心よりお礼申し上げますとともに、引き続き強力なサポートを賜りますようお願い申し上げます次第である。

平成 28 年度

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委員会

委員長 古 莊 雅生