

②-2 MSC-ISWG-MASS 2-3-7 (日本提案)



INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION

E

INTERSESSIONAL WORKING GROUP ON MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS
2nd session
Agenda item 3

MSC/ISWG/MASS 2/3/7
15 September 2023
ENGLISH ONLY
Pre-session public release: ☑

CONSIDERATION OF PROPOSALS FOR FURTHER DEVELOPMENT OF THE DRAFT MASS CODE

Discussion of terms and concepts in the navigation section of the draft MASS Code

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: This document provides the points of discussion for the further development of the navigation section of the draft MASS Code.

Strategic direction, if applicable: 2

Output: 2.23

Action to be taken: Paragraph 20

Related documents: MSC 107/5/10 and MSC 107/WP.9

Introduction

1 The Maritime Safety Committee (MSC), at its 105th session, established the intersessional MASS Correspondence Group (CG) for the development of the draft MASS Code, and at its 106th session, the Committee has agreed to allocate this work to participating Member States and observer organizations under the CG. MSC, at its 107th session, agreed to continue the review of the draft MASS Code, based on document MSC 107/WP.9, in the CG.

2 The navigation section of the draft MASS Code, which was led by Japan, was drafted by the volunteer group of 32 volunteer States and organizations. As the draft functional requirements for the navigation section were considered, some issues, such as a lack of common understanding of terminology and concepts, were identified with difficulties to develop the draft.

3 This document provides the issues to be considered, especially in developing the draft navigation section.

M2305813



Autonomous Navigation System (ANS)

4 As Japan pointed out in MSC 107, a ship should be called a "MASS" if at least all or part of the navigational tasks are automated or remotely operated, and if only communications or cargo handling are automated, it cannot be called a MASS (MSC 107/WP.9, paragraph 35). Based on that assumption, a MASS is basically considered as a ship to have an autonomous navigation function, although various modes of operation are possible depending on personnel involvement.

5 In order for a MASS to have some autonomous navigation function, a new system must be introduced to replace the conventional operations performed by the bridge equipment and crew. As shown in Figure 1, Japan proposes to call the system responsible for navigational watch and for manoeuvring the ship "Autonomous Navigation System (ANS)".

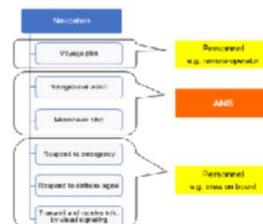


Figure 1: Role of personnel and ANS in the navigational tasks

6 As shown in Figure 2, the ANS has functions such as "situational awareness", "route planning and determination for collision and grounding risk avoidance", "heading, speed and track control" (orange part). These functions should be allocated to the existing components in grey and the additional components in yellow as necessary.

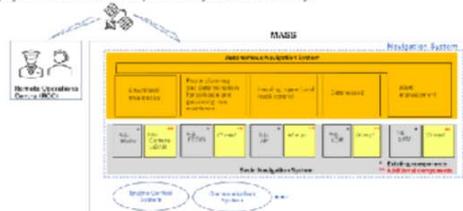


Figure 2: ANS and other components



INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION

E

MSC/ISWG/MASS 2/3/7
Page 3

MSC/ISWG/MASS 2/3/7
Page 4

Operational Design Domain (ODD)

7 In developing the draft MASS Code, critical working terms such as Operational Design Domain (ODD), Operational Envelope (OE), and Operational Design Conditions (ODC) were proposed (MSC 107/WP.9, paragraphs 18, 22 and annex 2). Japan would like to review the definitions and meanings of these terms.

8 While Japan recognizes "OE" as a term to refer to the operational capabilities and limitation of the MASS, including personnel (crew/remotely operator) involvement, Japan proposes the use of "Operational Design Domain (ODD)" as a term to refer to the conditions and range under which all autonomous systems, including ANS, operate respectively. Table 1 shows an example of ODD items and contents of ANS. It should be noted that ODD includes not only the external environment, but also internal conditions, such as system or equipment malfunctions.

Sea conditions	
Navigational area	Designated route
Degree of congestion	Sea navigation (No more than 5 vessels in 3 NM range)
Environmental conditions	
Meteo-logical and oceanic phenomena	Wind speed less than 10kts Wave height less than 1m Sight range more than 120km
Time	Day/light
Internal state	
State of the system	Normal
Equipment required for navigation	No areas
Others	No factor other than anomalies

9 Figure 3 illustrates the relationship between OE and ODD in the navigational tasks: since ODD means the operating conditions under which the ANS can operate a MASS properly, the range of ODD (blue area) is necessarily smaller than the range of OE (green area). To clearly understand this relationship, Japan considers two extreme examples: in case of conventional ship without ANS, it has not ODD, only OE (all green area), on the other hand, theoretically, in case of fully autonomous ship without any personnel involvement, ODD and OE would be exactly equal.

Override/Fallback/MRM

10 Considering the case where a MASS would be unable to continue to be operated as a MASS when the ANS were to become unavailable due to a deviation from the ODD, some provisions would need to be specified in the draft MASS Code to address these concerns.

11 Although the term "Fallback" was tentatively included in the draft MASS Code as one of the critical working terms, its meaning or definition has not yet been fully discussed (MSC 107/WP.9, paragraph 18 and annex 2). In this context, it should be noted that Japan has already proposed the concepts of override, Fallback and minimum risk manoeuvres (MRM), as provided in document MSC 107/5/10, considering the case where personnel intervention needs to be taken into account when the ANS is not properly working. The following describes these terms further in detail.

12 In the event of deviating from an ODD, the MASS would be operated under the following conditions: the acceptable risk condition (ARC), i.e. the MASS itself can continue to be operated under acceptable risk; the minimum risk condition (MRC), i.e. the MASS cannot continue the normal operation but a minimum safety measure such as suspending navigation could be taken; and the accident/incident, i.e. an accident/incident may occur in the case where the condition deteriorates further and the risk cannot be addressed under the ARC or MRC.

13 Japan proposes that the action, which continues safe operation of MASS with personnel intervention when the situation deviates from the ODD, be defined as "Fallback". Furthermore, Japan proposes that the action to prevent an accident/incident in the condition that cannot be continued under the ARC be defined as "minimum risk manoeuvre (MRM)". The following figure illustrates these terms as reference.

14 To share a concrete picture of Fallback and MRM, two scenarios are provided in Figure 5, assuming a MASS that can operate without crew on the bridge (B0) within the ODD of ANS, where the ODD is specified as shown in Table 1. Scenario (i) is an example when a MASS, which is operated with ANS, enters the congested area and, consequently, the situation has deviated from the ODD. Then, a Fallback response is taken in order for the MASS to be operated under the ARC. Once the MASS has left the congested area through safe manoeuvres, it can again be operated by the ANS within the ODD. Scenario (ii) is an example where the weather conditions are getting worse. Firstly, when visibility deteriorates and the situation deviates from the ODD, the crew should intervene through the Fallback response and the MASS continues to be operated by the crew. If the weather conditions then further deteriorate, e.g. strong winds that make it difficult to continue navigation, it is no longer possible

M2305813



for MASS to be operated under the ARC and the first priority is to carry out MRM to prevent an accident.

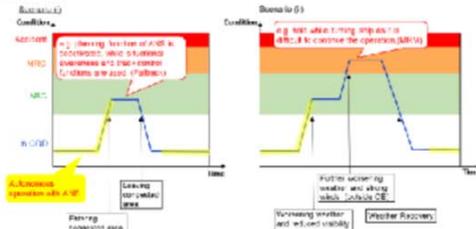


Figure 5: Example scenarios for Fallback and MRM

15 Based on the concepts of ANS, Fallback and MRM, the relationship between the ANS and personnel, in particular the delegation of manoeuvring authority can be illustrated as shown in Figure 6, assuming a case where the situation deviates from the ODD for some reasons. During the normal operation within the ODD, a Fallback can be performed after the ANS requests personnel to intervene, while maintaining the current heading and speed. If personnel can take over the manoeuvring the ship within a certain time, the condition can remain within the ARC, as shown in (a). If the manoeuvring cannot be taken over within a certain time, the condition of MASS enters MRC as shown in (b), for example, an alert would be issued and the MASS has to decrease speed to a predetermined speed, while at the same time notifying the other surrounding ships that an abnormal situation has occurred and that the MASS cannot be operated in normal condition. Nevertheless, if the manoeuvring still cannot be taken over, the MRM such as turning around or stopping would be taken in order to avoid an accident.

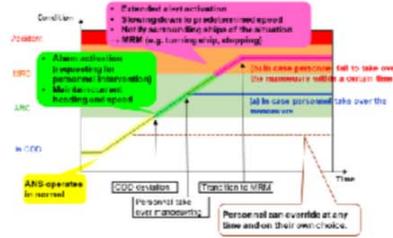


Figure 6: Condition transition of MASS during ODD deviations

M2305813

16 Additionally, as shown by the brown dotted line in Figure 6, it is important that personnel could take over manoeuvring authority at their own discretion, irrespective of whether the situation deviates from the ODD or not. Japan proposes that this should be defined as "Override".

Modes of operation

17 Japan believes that there is a need for common understanding about what exactly the "modes of operation" used in the draft MASS Code refer to. In this regard, Japan provides the use cases of MASS and examples of modes of operation in the annex for reference.

Proposal

18 For the further development of the draft MASS Code it is necessary to eliminate the risk of misunderstandings and confusion among Member States and observer organizations, and to consider the goals and functional requirements for the navigation section of the draft MASS Code, with the common understanding of the function of ANS, and the concepts of ODD, Override, Fallback and MRM.

19 Based on the findings of the technical developments and demonstrations, Japan has drawn up the draft functional requirements for the navigation section based on the views expressed in this document. It is proposed that the draft MASS Code, in particular the navigation section, be developed as soon as possible on the basis of the concepts provided in this document.

Action requested of the Group

20 The I Group is invited to consider above views (paragraphs 4 to 17) and the proposals in paragraphs 18 and 19, and take action as appropriate.

M2305813

ANNEX

DISCUSSION ON "MODES OF OPERATION"

1 It is recalled that many States were of the view that there were difficulties in using the "Degree of Autonomy" as it used in the RSE, at the beginning of the development of the draft MASS Code. It was subsequently agreed to use the term "modes of operation" in the draft MASS Code, which refers to the conditions for controlling the functions of a ship (MSC 107/WP.9, paragraph 23 and annex 1). However, at present, States and organizations have not established a common understanding of what "modes of operation" means. Since there are difficulties to consider the functional requirements, in particular when developing the navigation section, it is important to establish the common understanding of the detailed operational image of MASS including "modes of operation" as soon as possible.

2 Japan interprets "modes of operation" as an expression for the degree of interaction of automated system and personnel (crew/remote operators). To clarify this, Table A-1 shows the use cases for the division of autonomous navigation system (ANS) and personnel in the MASS navigation and Japan interprets expressions in red such as "ANS+Human-eyes" shown in this table as "modes of operation".

Use cases	Degree of autonomy			
	Unattended	Supervised	Partially attended	Attended
Control				
Support for Control (e.g. display and warning)	ANS + Human-eyes	ANS + Human-eyes	ANS + Human-eyes	ANS + Human-eyes
Partially ED (e.g. collision-avoidance, speed control)	ANS + Human-eyes	ANS + Human-eyes	ANS	ANS
SD (e.g. collision-avoidance)	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS	ANS
Remote Operation (e.g. autopilot)	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS	ANS
Remote Intervention (e.g. manual)	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS + Human-eyes-ROCC	ANS	ANS
Fully Autonomous (e.g. autopilot)	ANS	ANS	ANS	(ANS)

ROCC: Remote Operation Center
ANS: Autonomous Navigation System
RFB: Remote Fallback
ED: Bridge Display

3 Mission phases in the table are divided due to the difference of difficulty for accomplishment of operation depending on the ocean area, for example, as it would be obvious that the conditions such as congestion level would be completely different between the ocean and the harbour. Thus, the "modes of operation" may vary by mission phase.

4 In the table, "Human-hands" means the operation in which the personnel themselves take on the navigation task, "Human-eyes" means the operation in which ANS takes on the task but the personnel continuously monitor, and "Human-minds" means the operation in which ANS takes on the task although the personnel are not required continuous monitoring, but stay within the task and react immediately to Fallback request by ANS. Following the definition

M2305813

above, for example, "ANS + human-eyes-in-ROCC" refers to a situation where the ANS is performing a task and the remote operator of the ROCC is continuously monitoring it. Simply expressed as "ANS" refers to a situation where the MASS operation is completely left to the ANS without any involvement of personnel, and where personnel do not even need to stay on the task and can be engaged in other duties.

5 "Modes of operation" for each mission phase should be determined by the expected use cases of MASS. For example, in the use case "Partially ED", the crew does not need to be on the bridge in the coastal area and ocean, and in the use case "ED", the crew does not need to be on the bridge in all the mission phases. Furthermore, in the three use cases categorized as "uncrewed" are the operations in which the crew does not need to be on board the ship.

6 Following above, "modes of operation" can be described by assuming specific use cases of MASS, which is useful in development of the requirements of the draft MASS Code.

M2305813

添付資料 2 事業成果物

③認証ガイドンス案 自動離着棧アルゴリズムの評価手順書

自動離着棧アルゴリズムの評価手順書 認証ガイダンス案

1.概要

自動運航船に係る安全性に関する認証を実施するにあたり、シミュレーションによる試験手順について定めるものである。

本ガイダンスにおいては、避航操船タスクと離着棧操船タスクの自動化について、シミュレーションによる性能評価手順を定める。

なお、文中におけるブラケット（[]）の表記は、今後のIMO MASS Codeに係る議論やその他の関連する議論に従って変更の可能性がある部分を明示するものである。

2.原則

2.1 評価の範囲

- 1) 離着棧操船タスクを自動化する機能のうち、岸壁や浅瀬近くでの操縦性能に影響が出る程度に計画速力より低い速力での操船であり、計画された離着棧計画に基づき、十分に安全な精度で制御できることを数値シミュレーションにより検証する。特に港内操船とは、離着棧操船が含まれるか否かで区別される。また、センサから取得される情報に基づき、これらの計画および制御信号の出力を行うものを自動離着棧アルゴリズムとする。
- 2) 着棧操船とは着棧経路計画、着棧時の速度計画および、これらの計画に基づいた着棧目標へのアプローチ操船中の経路追従誤差、速度制御の誤差および停船時の終端条件を満足していることを数値シミュレーションにより確認する。
- 3) 離棧操船とは着棧経路計画、着棧時の速度計画および、これらの計画に基づいた着棧目標へのアプローチ操船中の経路追従誤差、速度制御の誤差および通常の自動操船へ切り替え点での終端条件を満足していることを数値シミュレーションにより確認する。

自動運航船の定義は、[IMO MSC XX]に従う。また、[自動化レベル、モード]についても同様とする。原則としてB0（船橋にワッチがない、船上には無人でない）で運航される自動化レベルまでに適用されるタスクを対象とする。また、タスクを実行するシステムの Concept of Operations (ConOps)や運航設計領域（ODD）などの条件は事前に要件化されていることとする。

2.2 用語定義

Operational Design Domain	<ul style="list-style-type: none">• The range of operation for task/function of the ANS, where the ANS can work properly.• 自動化システムが適切に機能する運用の範囲をいう。
Task/Function タスク[1]	<ul style="list-style-type: none">• Operations of MASS automated with the ANS.• 操船業務を構成する操作や作業を、自動化システム又は遠隔制御システムの設計に応じて組み合わせたもの（自動化や遠隔制御の対象や範囲、程度によって、「タスク」は異なる）。
サブタスク[1]	<ul style="list-style-type: none">• タスクを構成する操作や作業。
意思決定サブタスク[1]	<ul style="list-style-type: none">• サブタスクのうち、認知・判断・対応といった人間の意思決定に関わるサブタスク。
自動化システム[1]	<ul style="list-style-type: none">• コンピュータシステムあるいはコンピュータシステムと人間

情報収集装置[1]	の組合せによって、意思決定サブタスクの一部又は全てを自動化するシステム。
船体制御系機器[1]	・自動化システムや遠隔制御システムの作動に必要な種々の情報を収集する機器や装置（カメラ、センサー、航海計器等）
自動離着棧操船タスク	・自動化システムや遠隔制御システムが実行するタスクに供される機器や装置（操舵装置、推進装置等） ・[岸壁や棧橋等への接近し着棧点で停船するまでを自動着棧操船（係船作業は含まない）、解らんした状態から通常の航行へ移行するまでの岸壁や棧橋等から十分に距離を離す操船を自動離棧操船とする]
EUT: Equipment Under Test アクチュエータ	・被試験装置 ・舵、主機、スラスト等の船体運動を制御するための装置

3.自動離着棧操船タスク

3.1 定義

[離着棧操船タスクを実行する装置であり、入力された環境情報に対応した避航操船の実現に必要な針路および速力の制御情報を出力できるもの。なお、出力形式は現時点で次の2つがある：(A) 舵角、主機出力（テレグラフ指示値、クラッチ、等）、その他の船舶に搭載されるアクチュエータへの直接的な指示値であり EUT とアクチュエータを制御する装置との間に信号の変換等を除く特別の計算の必要がないもの。(B) 針路指示や速力指示値などの EUT に接続される船上の制御装置により、アクチュエータへの入力値へ計算し変換されるもの。(B)については、別途アクチュエータへの指示値を計算する装置を EUT とシミュレータの間に接続する必要がある。]

3.2 検証対象

本手順では、センサ等により与えられる情報に基づき、自動離着棧操船タスクが正常に実行できることと操船内容の安全性を検証する。評価に伴い、EUT（現時点で被試験装置がソフトウェアかハードウェアかは限定されない。）については、事前の適切なリスク評価のもと、自動離着棧タスクに必要な装置およびデータフローが特定されているものとする。それらのハザードのうち、特に表1に示される各種のハザードについてシミュレータを用いて、必要なシナリオにおける数値シミュレーションにより、これらのハザードの発生がないことを検証する。

表1 自動避航アルゴリズムに対するハザード、原因、評価項目、評価手法

ID	ハザード	原因	評価項目	手法
1	岸壁、港灣設備との接触	制御性能の不足、 外乱 、 経路計画 の不備	経路偏差、速度制御結果、船位・船首方位制御結果	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
2	漂流物、物標との衝突	同上	同上	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
3	通行不可領域への侵入	同上	同上	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
4	陸地への乗り上げ	同上	同上	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
5	他船（停止船に限る）との接触	同上	同上	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
6-A	停船位置での停止失敗（速度超過、目標停船位置の逸脱）	制御性能の不足、 外乱 、 速度計画 の不備	経路偏差、速度制御結果	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価
6-B	停戦位置での目標船首方位角の逸脱	制御性能の不足、 外乱 、 速度計画 ・ 経路計画 の不備	経路偏差、船位・船首方位制御結果	2段階の航行可能距離を設定し、経路偏差を評価

4.シナリオと評価方法

自動離着棧操船タスクの評価用のシナリオとしては、図 1 と図 2 にそれぞれ自動着棧操船および自動離棧操船の流れの一例を示している。自動離着棧操船は、スタート地点から着棧・離棧の目標となる地点までの経路計画と経路計画に沿った船体制御が評価対象となる。具体的な評価用シナリオとしては、基本的なアプローチ操船パターンとして、4パターン（便宜的にI、L、V、Uパターンとする）と離棧用に4パターン（便宜的にI、L、V、Uパターンとする）と個船シナリオ（後述）を用いる。さらに各シナリオにおいて、ODDで定められる風況の限界となる条件に合わせて、棧橋を基準に8方向の[一定風もしくは変動風]を設定する。

自動離着棧システムにおいて、特に停船が含まれる自動着棧操船タスクは高度な操船計画と操船制御が求められる上に、低速時の外乱の影響や操縦性能の悪化、岸壁への衝突や浅瀬等への乗り上げなどのリスクが高いことなどから、特定の船舶や操船方法に対して調整が行われるものと推察される。[本シミュレーション手順では、基本的なアプローチを含む操船で対応可能なパターンを1つ以上選び、シミュレーションを行う。また合わせて、4パターン以外にシステムで想定する典型的な離着棧パターンがある場合は、そのパターンに合わせて追加でシナリオを作成しシミュレーションを実施する。なお、各シナリオについては、図 5 から図 11 に着棧、図 13 に離散のパターンを示している。これらの図では破線で参考となる着棧経路が示されているが、これらは船舶の運動性能等を鑑みて船舶のスタート位置や離着棧目標点を定めるものである。実際には制御の方法や外乱、航行可能領域等の条件により出力される計画経路に沿って、システムが所望の精度で離着棧操船を行えることを確認する。したがって計画経路がこの参考となる破線の経路と一致している必要はない。また、出力される離着棧の計画経路の安全性については、その経路を参照して自動離着棧操船を実施したシミュレーション結果を持って合わせて評価される。その経路航行可能領域の設定については、図 3 に模式図を示す。制御結果の可否については、経路を追従する際の Cross-Track Error (CTE)および速度計画に対する各時刻の誤差が所望の範囲に収まっているかで評価される。終端条件については、図 4 に示す。ここでは、船体位置が一定の範囲に収まること、船速成分が各方向で一定以下に収まること、また船首方位角が一定以下に収まることの3点について、離着棧操船の終了時の状態を確認し、安全な制御であるかを判定する。]

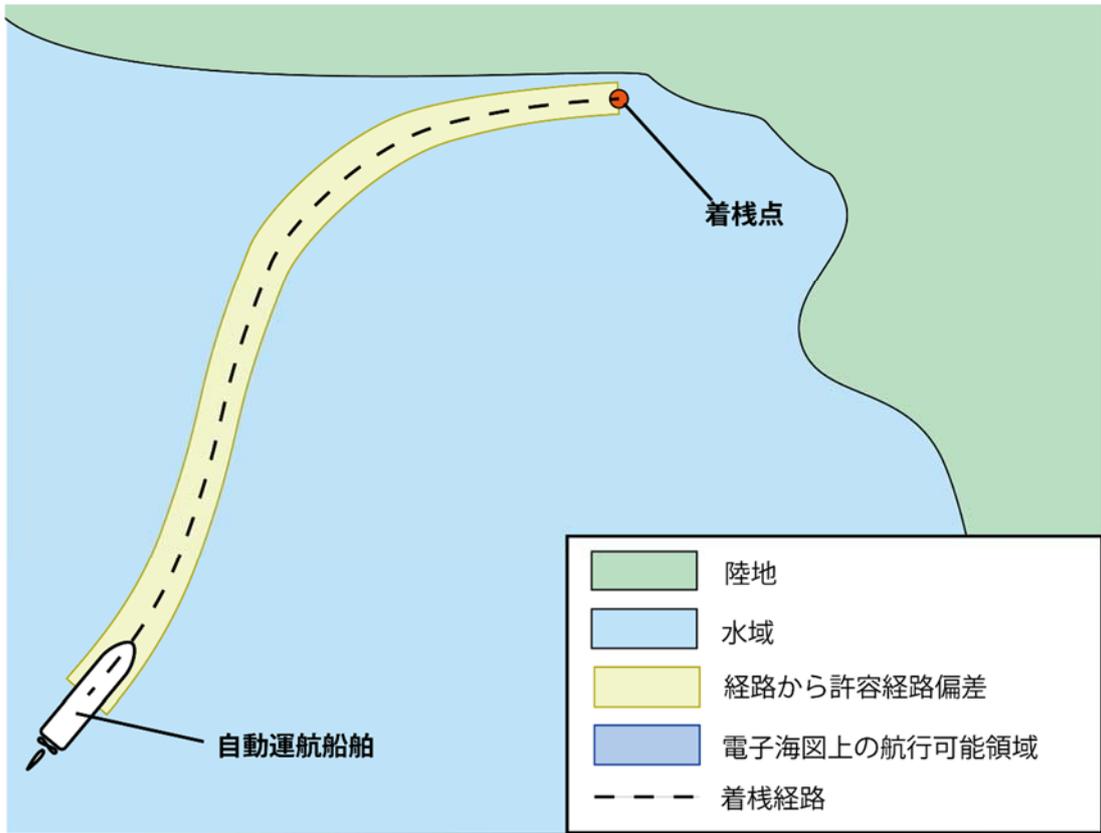


図1 自動着栈制御のイメージ

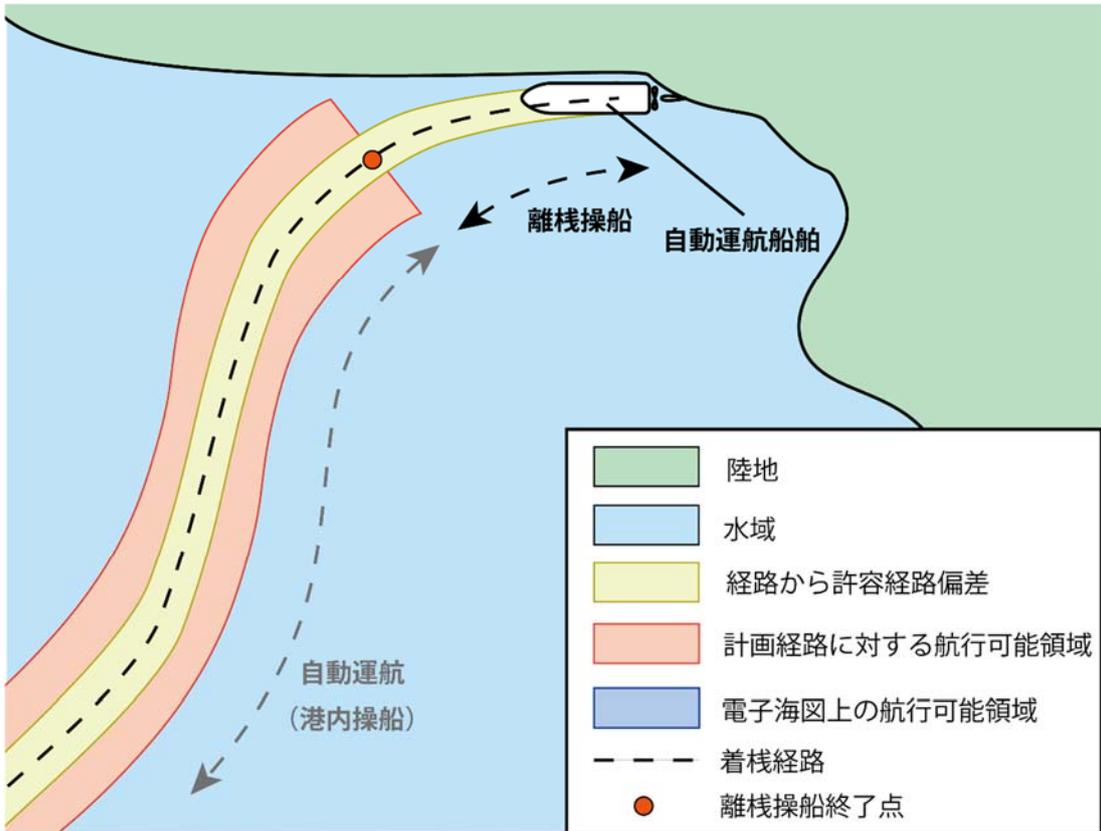


図2 自動離栈制御のイメージ

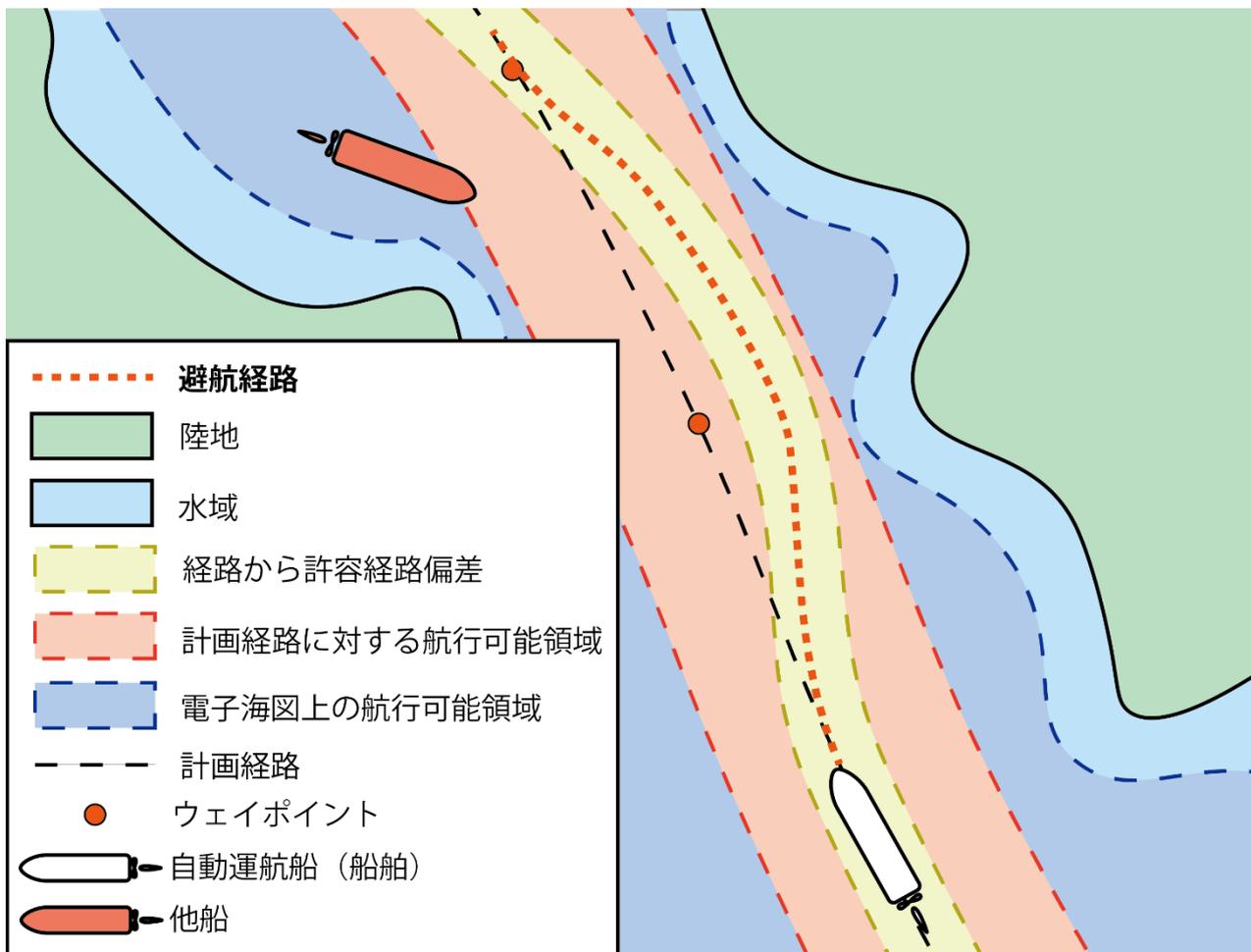


図3 航行可能領域の設定

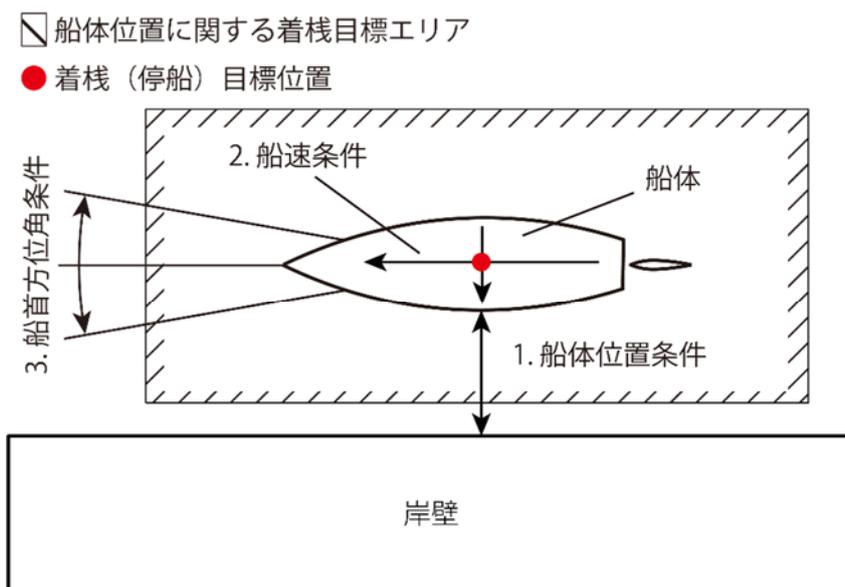


図4 自動離着棧操船の終端条件

4.1 シミュレーション環境

[[評価に使用するシミュレータ（以下、シミュレータ）は、IEC62065 に定められる機能を有すること。]使用するシミュレータは、EUT がシミュレータと接続され、適切な情報を相互にやりとりするのに必要な物理的インターフェース、通信プロトコルを有すること。

[運動モデルについては、例えばサイドスラスト付きの舵とプロペラを装備した船舶であれば、次のような要件を備えること [2]。

- 速度に応じた前後・左右・回頭方向の流体抵抗が船体にかかる
- 針路安定・不安定性の傾向が一致すること
- 物理上ありえない旋回挙動などにならないこと
- 舵を切ったら意図した方向に旋回すること
- プロペラ回転数に応じた速度が実現できること
- 舵ききが速度とプロペラ回転数に応じて変わること
- 速度に応じてサイドスラストの効果が変化すること
- プロペラ逆転した時の回頭が定性的な一致を見せること
- 風環境下で、風下側に流されたり、旋回をすること
- 制御のコマンドとアクチュエータの遅れが考慮できていること
- 微分方程式の時間ステップが、スケール等に応じて適切に選ばれていること。
- 各ステップの計算が実時間(ステップ時間)内に完了すること（リアルタイム性）

]

参考文献：

[1]国土交通省：自動運航船に関する安全ガイドライン, 2022 年

[2]宮内他、自動運航船開発に適したシミュレータモデルとは, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2022, 35 巻, 35, p. 37-52, 2022

末尾に、評価用シナリオの具体的な設定例を示す。なお、船体性能や離着岸システム的设计に応じたシナリオへの設定値は調整することができる。

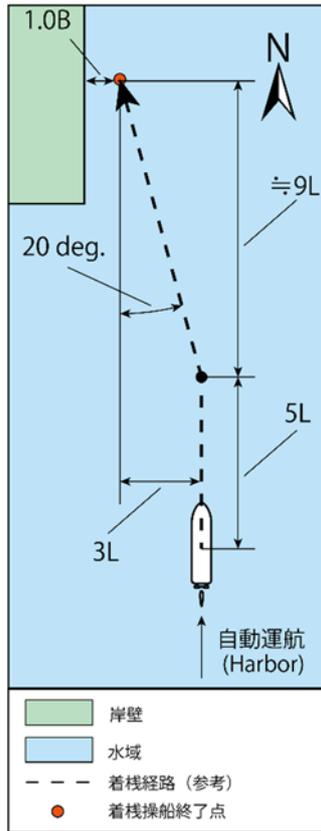


図5 着棧シナリオIパターン (左舷付)

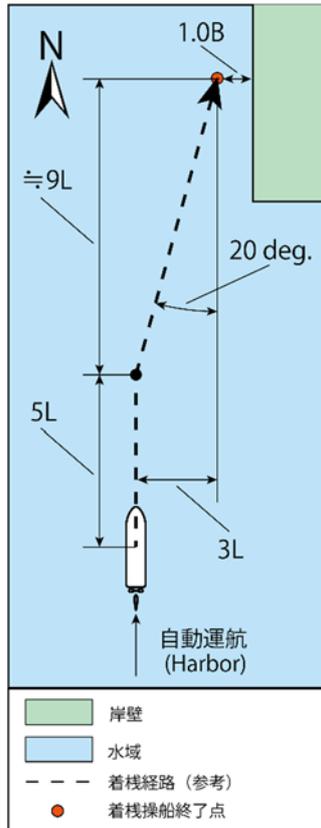


図6 着棧シナリオIパターン (右舷付)

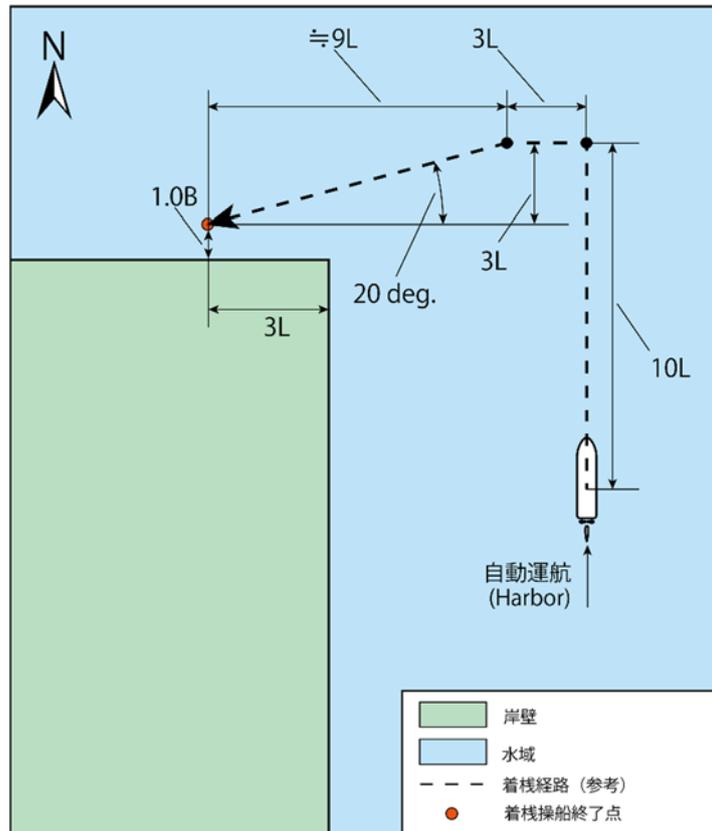


図9 着棧シナリオVパターン（左舷付）

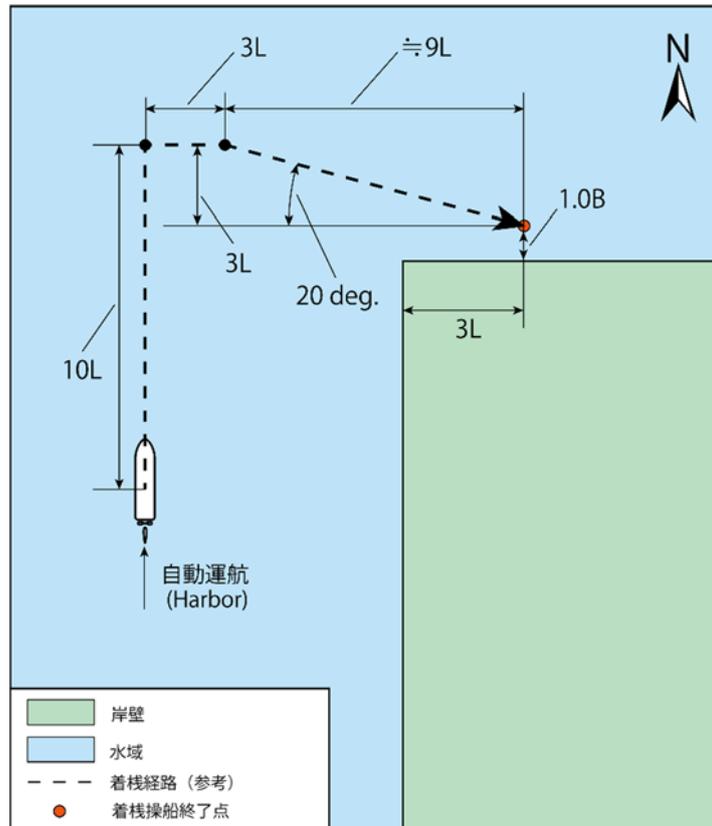


図10 着棧シナリオVパターン（右舷付）

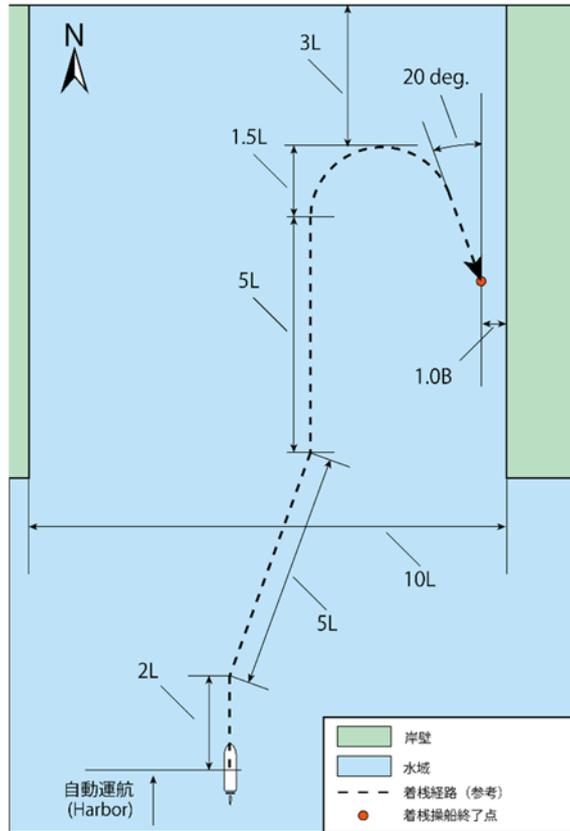


図 11 着棧シナリオ U パターン (左舷付)

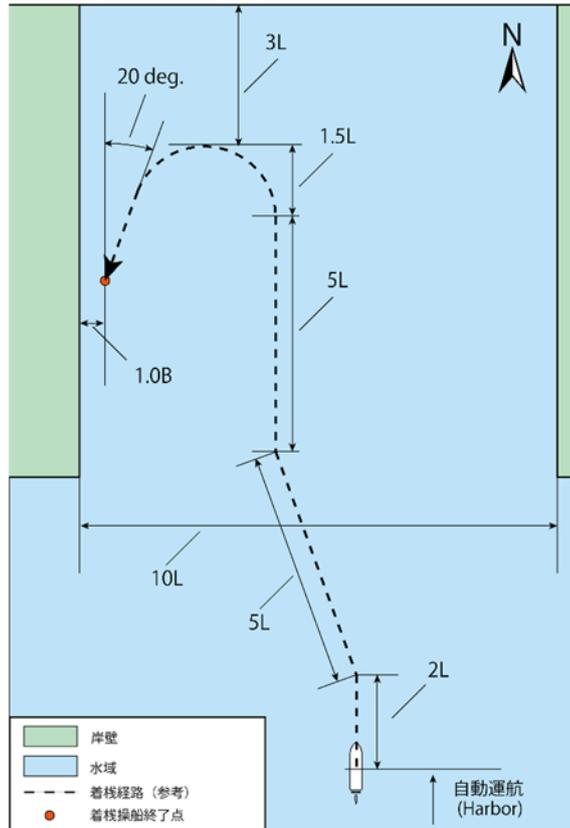


図 12 着棧シナリオ U パターン (左舷付)

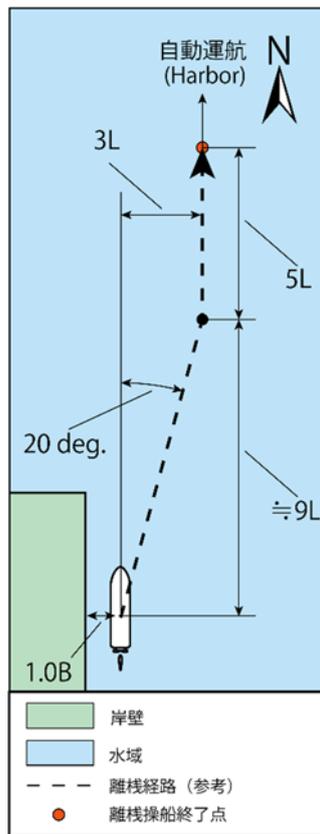


図 13 離棧シナリオ I パターン

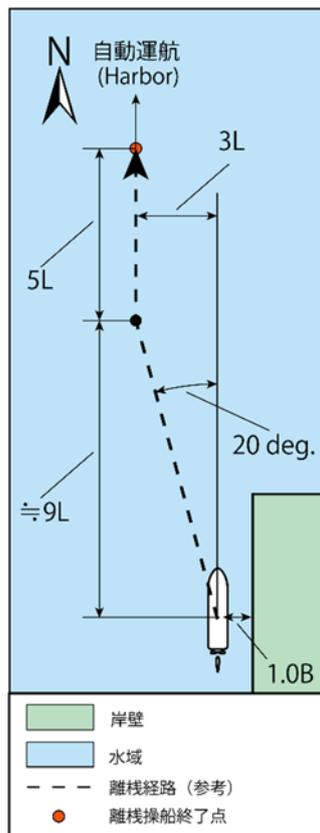


図 14 離棧シナリオ I パターン

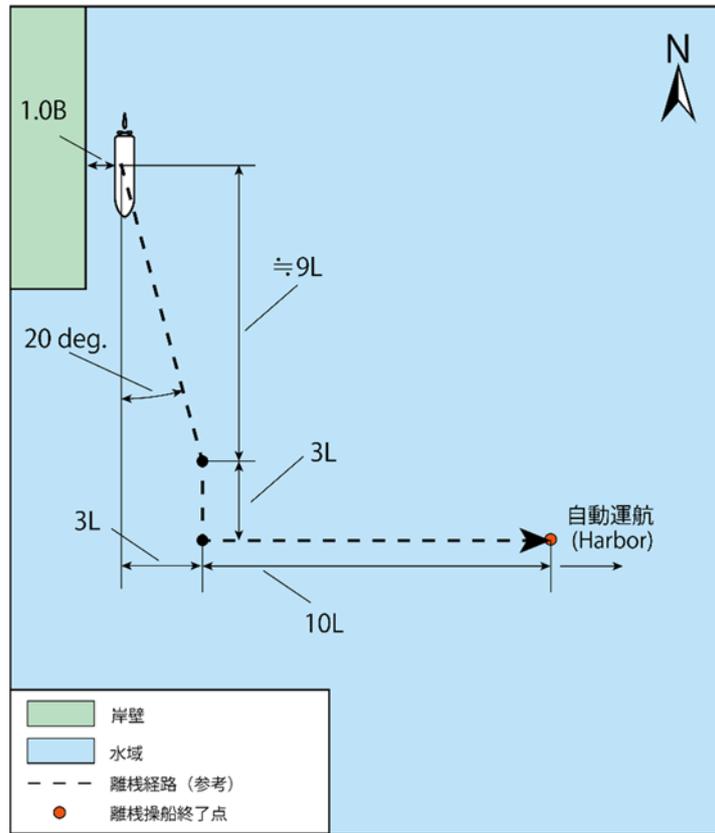


図 15 離棧シナリオ Lパターン

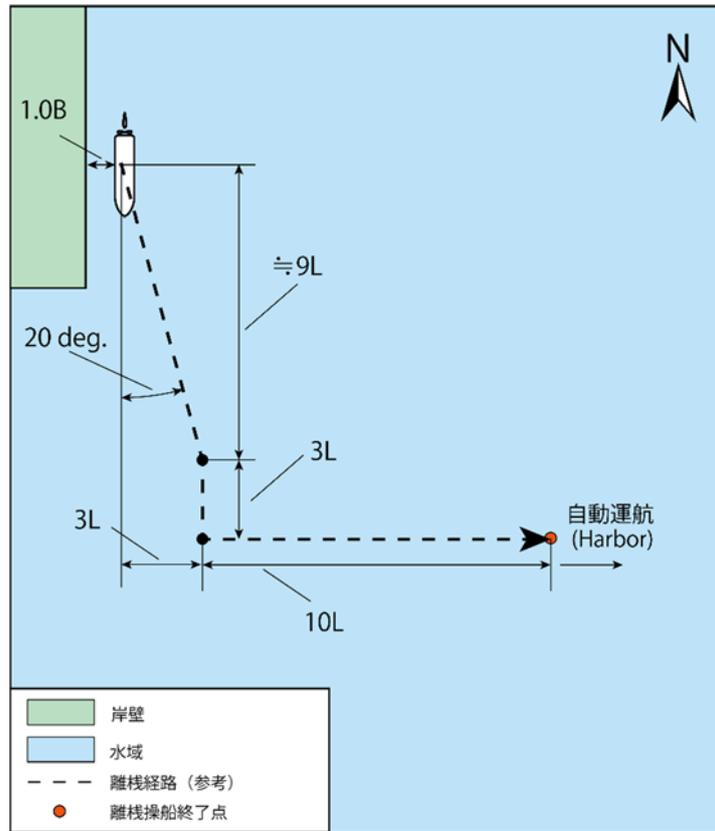


図 16 離棧シナリオ Lパターン

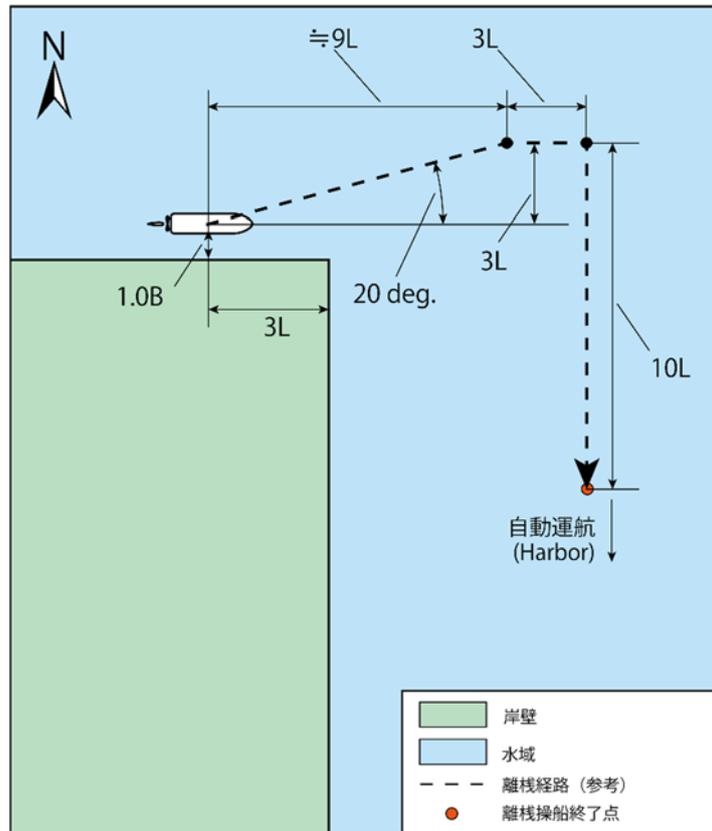


図 17 離棧シナリオ Vパターン

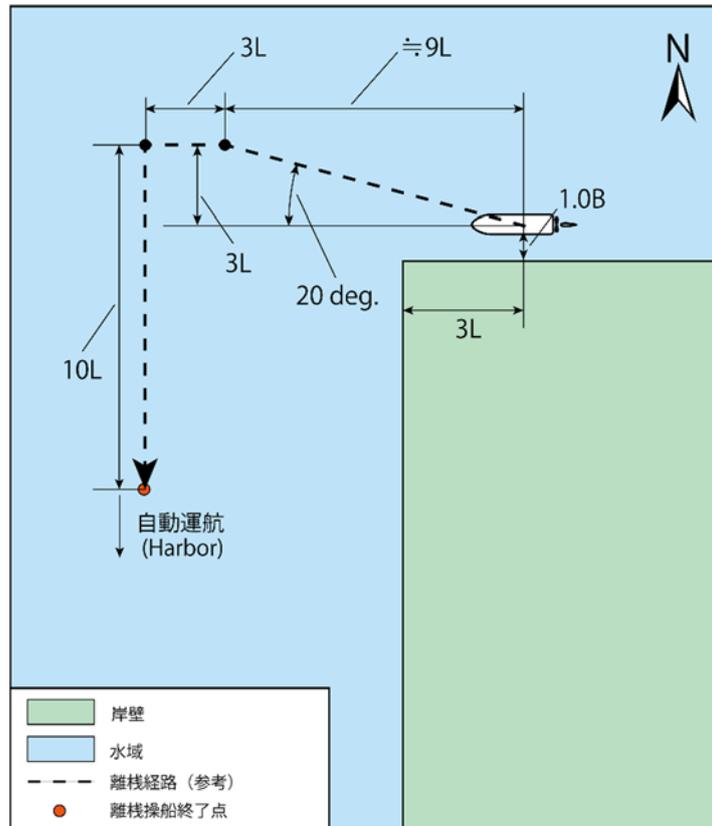


図 18 離棧シナリオ Vパターン

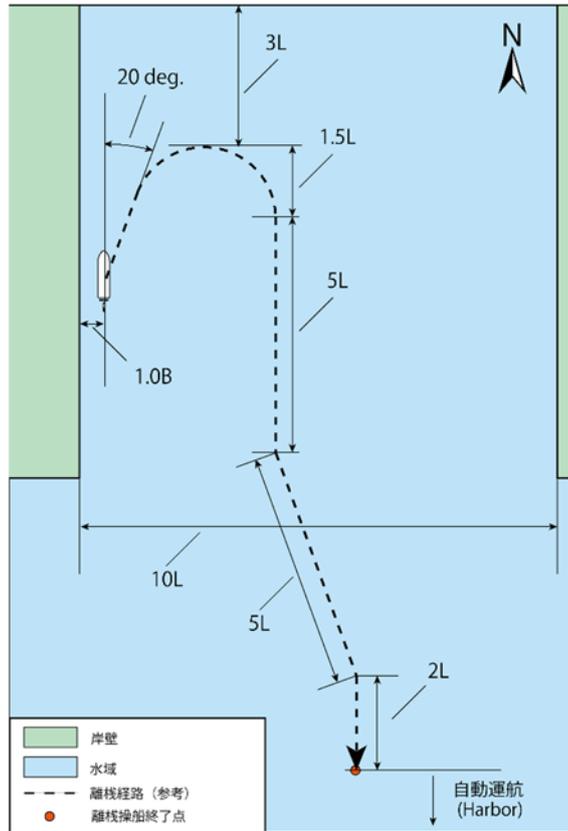


図 19 離棧シナリオ Uパターン

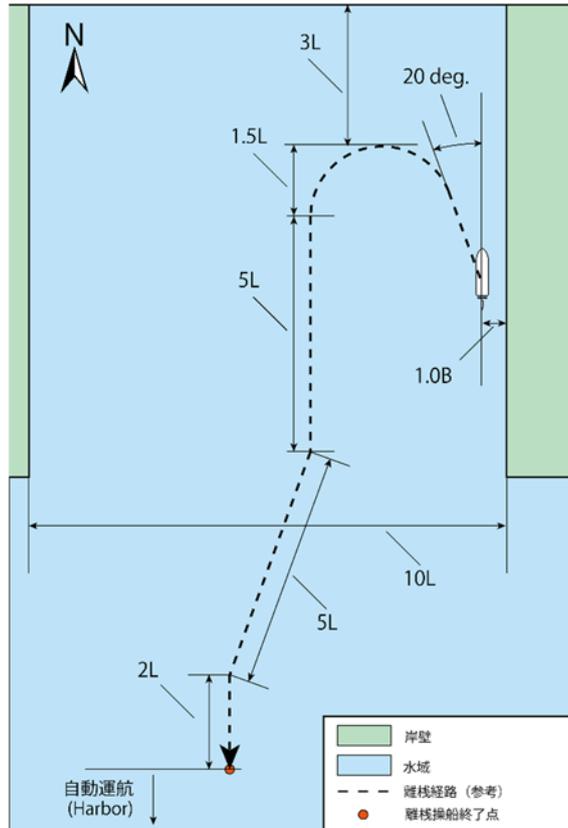


図 20 離棧シナリオ Uパターン



この報告書は、日本財団の助成金を受けて作成しました。

MEGURI2040に係る安全性評価

2023年度 成果報告書
概要版

2024年（令和6年）8月発行

発行 一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目10番9号 大阪ガス都市開発赤坂ビル

TEL 03-5575-6428 FAX 03-5114-8941

URL <https://www.jstra.jp/> E-mail info@jstra.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。