

LNG 燃料の夜間・錨泊中のバンカリング実施 に向けた検討委員会

第 1 回委員会資料

夜間及び錨泊船への接舷に係る
操船シミュレータ実験の実施方針（案）

令和 5 年 12 月 20 日

株式会社 日本海洋科学
公益社団法人 日本海難防止協会

目 次

1	実施方案	1
1.1	検討目的	1
1.2	実施場所・日時（予定）	1
1.2.1	場所	1
1.2.2	日時	1
1.3	使用設備	2
1.4	検討対象	3
1.4.1	対象船舶	3
1.4.2	対象岸壁・錨地	11
1.5	実施条件	13
1.5.1	操船シナリオ	13
1.5.2	外力条件	20
1.5.3	視界（昼夜間）	21
1.5.4	操船支援	21
1.5.5	着船舷	21
1.5.6	実験操船者	22
1.6	操船シミュレータ実験実施ケース	22
1.6.1	岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船	22
1.6.2	錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船	22
1.7	評価分析方法	24
1.7.1	運動状態・操作量からみた評価	24
1.7.2	操船者の主観的評価	25

1 実施方案

1.1 検討目的

令和 4 年度検討では、令和 5 年度に引き続き検討すべき課題として、「夜間における Ship to Ship 方式の実施可否」、「錨泊中における Ship to Ship 方式の実施可否」等が示されており、ここでは、具体的に次の事項について検討する。

- 岸壁係留中の LNG 燃料船に対する LNG バンカー船の離接舷操船（夜間）の安全性
- 単錨泊中の LNG 燃料船に対する LNG バンカー船の離接舷操船（昼夜間）の安全性

上記の課題から LNG 燃料船への離接舷が安全に実施できる条件を策定するため、実験を実施し、必要な運用条件（風速・波高等の限界条件等）の検討を行う。

なお、検討の前提条件として、ここでは、一般的・標準的な海域を対象とする。

1.2 実施場所・日時（予定）

1.2.1 場所

株式会社日本海洋科学 川崎本社

（神奈川県川崎市幸区堀川町 580 番地 ソリッドスクエア西館 24 階）

1.2.2 日時

第 1 回実験：令和 5 年 12 月 21、22 日

第 2 回実験：令和 6 年 2 月 5、6、7 日

1.3 使用設備

検討には、図 1.1 に示すフルミッション型操船シミュレータ装置（以下、「操船シミュレータ」と記す）を用いた模擬操船実験を行う。

操船シミュレータは、実船の船橋を模した室内において、主機、舵、タグポート等の操作を行うと、船体の動きに伴って刻々変化する周辺の景観映像がリアルタイムで前面円筒形スクリーン上に投影され、実船さながらの操船状況を作り出すことのできる装置である。

船体の運動は、数学的理論に基づいたものであり、主機、舵の効果および風、潮流等の外力影響が再現でき、投影される 3D 地形モデルは操船者の視点からの正しい角度、大きさに描かれる。



図 1.1 操船シミュレータの概要

1.4 検討対象

1.4.1 対象船舶

(1) LNG バンカー船

対象とする LNG バンカー船は、国内においてバンカリング実績のある LNG バンカー船を想定し、主要目、速力一覧表を表 1.1、表 1.2 のとおり設定する。また、運動性能を図 1.3～図 1.8 に示す。

LNG バンカー船は、1 軸 1 舵 CPP のシリングラダー船であり、船首と船尾にサイドスラスタを有している。

コンディションについては、接舷時は満載喫水、離舷時はバラスト喫水とする。

表 1.1 LNG バンカー船の主要目

項目		LNG バンカー船
船種		3,500m ³ 積 LNG バンカー船
国内総トン数 (GT)		4,044
全長 (Loa)		81.7 m
垂線間長 (Lpp)		76.2 m
型幅 (B)		18.0 m
型深 (D)		7.80 m
喫水 (d)	満載時 (船首/船尾)	4.80 m/4.80 m
	バラスト時 (船首/船尾)	2.66 m/3.43 m
載貨重量トン数 (DWT)	満載時	2,431 MT
	バラスト時	510 MT
排水トン数 (Disp.)	満載時	4,382 MT
	バラスト時	2,461 MT
機関	主推進電動機	400kW×約 900rpm (2 基)
	主減速機	770kW×約 300rpm (1 基)
プロペラ		4 翼可変ピッチ 1 基
舵		シリング舵 1 基
バウスラスタ		約 6.0 ton (約 58 kN) 1 基
スタンスラスタ		約 4.7 ton (約 46 kN) 1 基
側面の風圧面積	満載時	815 m ²
	バラスト時	949 m ²
正面の風圧面積	満載時	267 m ²
	バラスト時	306 m ²

図 1.2 は、LNG バンカー船のモデルで設定する風圧力係数を示す。

LNG バンカー船の風圧力係数は、OCIMF の Mooring Equipment Guidelines より、船体形状に近いメンブレン型 LNG 船の風圧力係数とした。

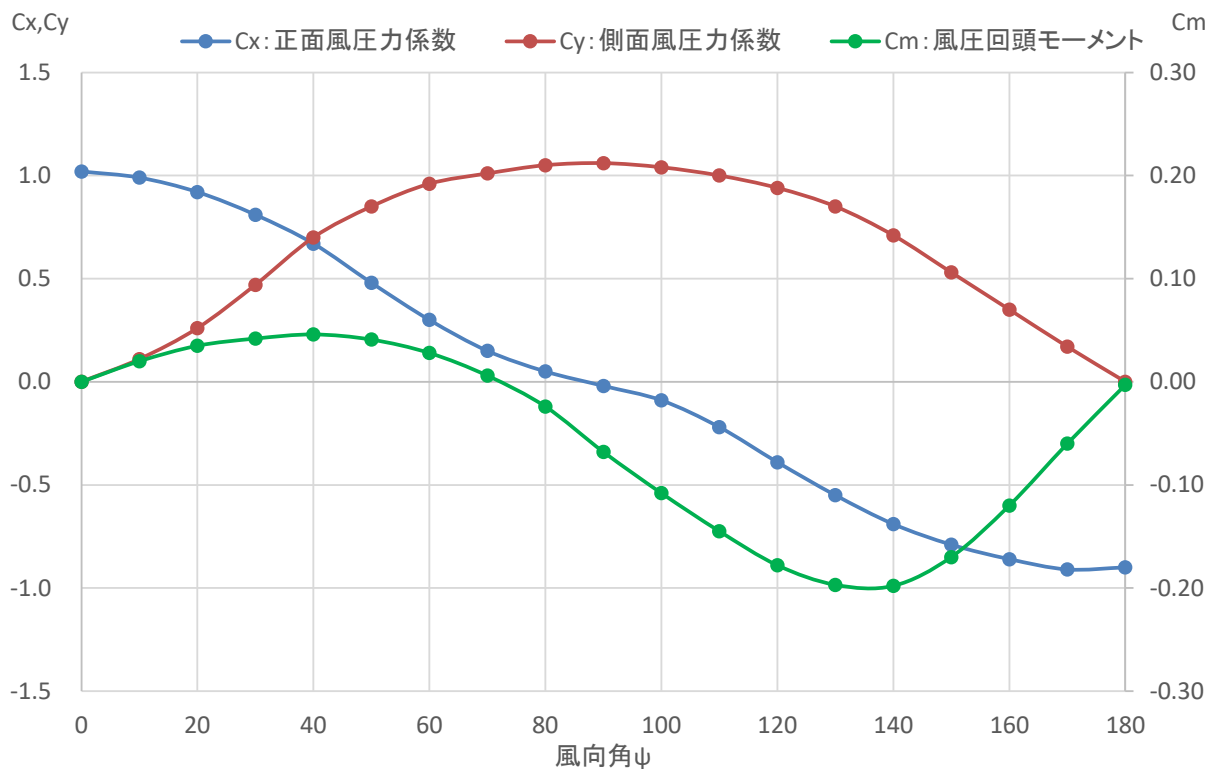


図 1.2 LNG バンカー船の風圧力係数設定

表 1.2 LNG バンカー船の速力一覧表

主機オーダー	CPP 翼角 (度)	船速 (kt)	
		満載時	バラスト時
Nav. Full	17	10.8	11.2
Full	12	8.1	8.5
Half	9.3	6.6	7.0
Slow	6.5	5.2	5.5
Dead Slow	3.9	3.7	4.0

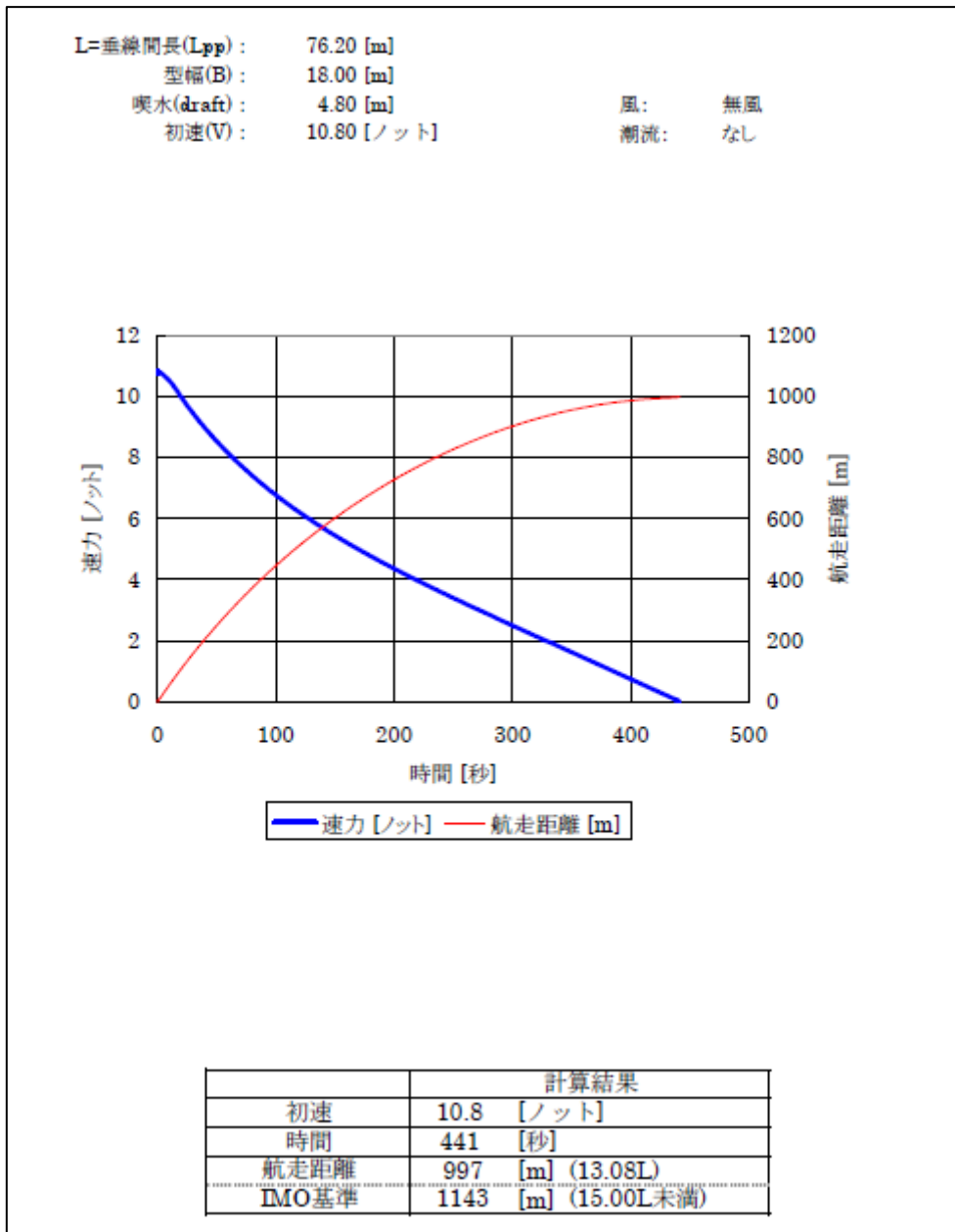


図 1.3 LNG バンカー船 (満載時) の停止性能 (Nav. Full (10.8 ノット) ⇒ Full Astern)

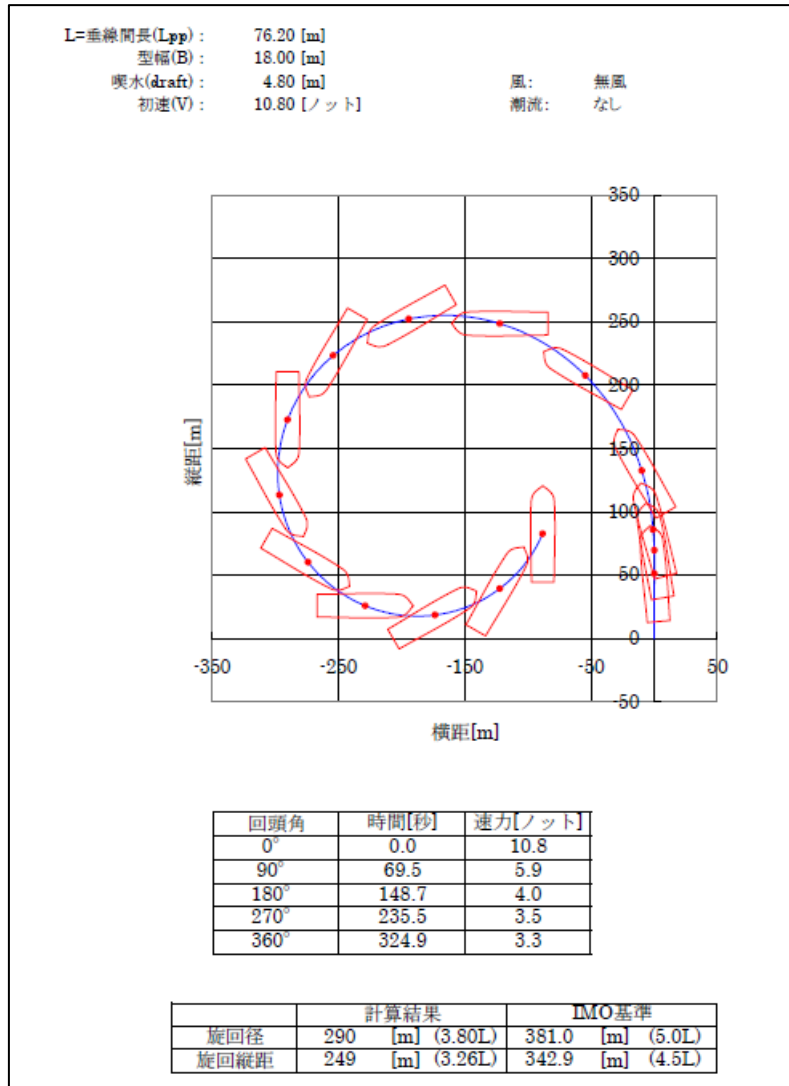


図 1.4 LNG バンカー船 (満載時) の左旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

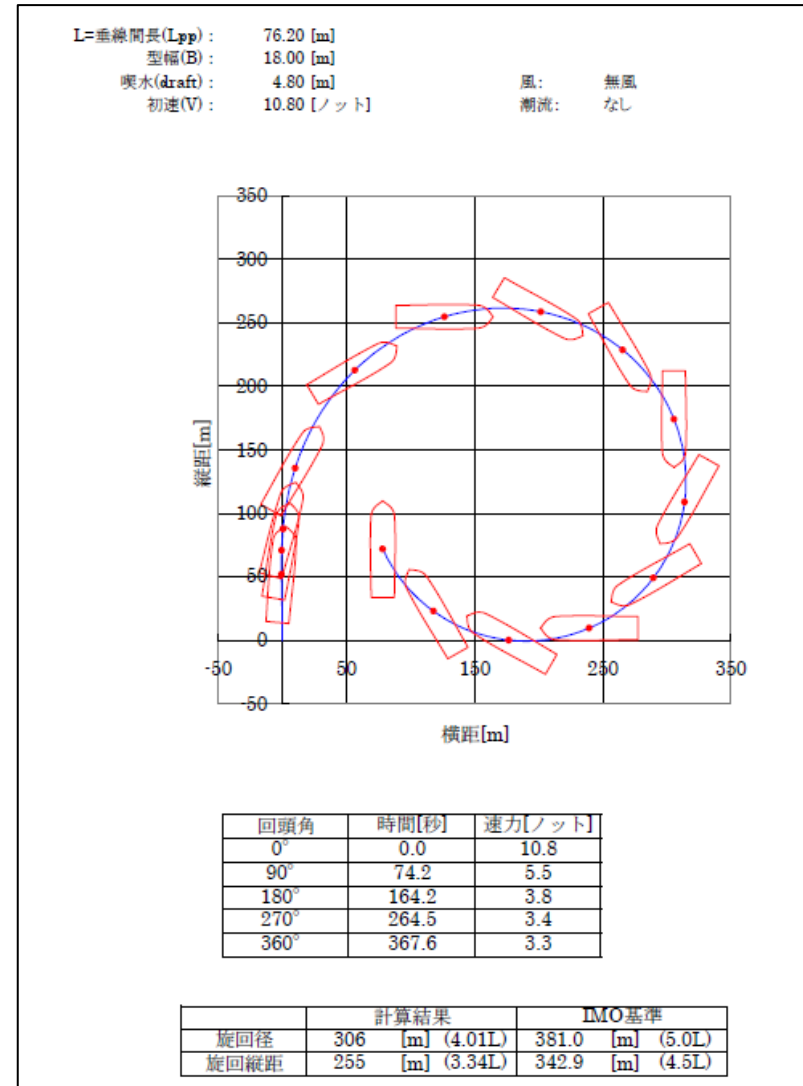


図 1.5 LNG バンカー船 (満載時) の右旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

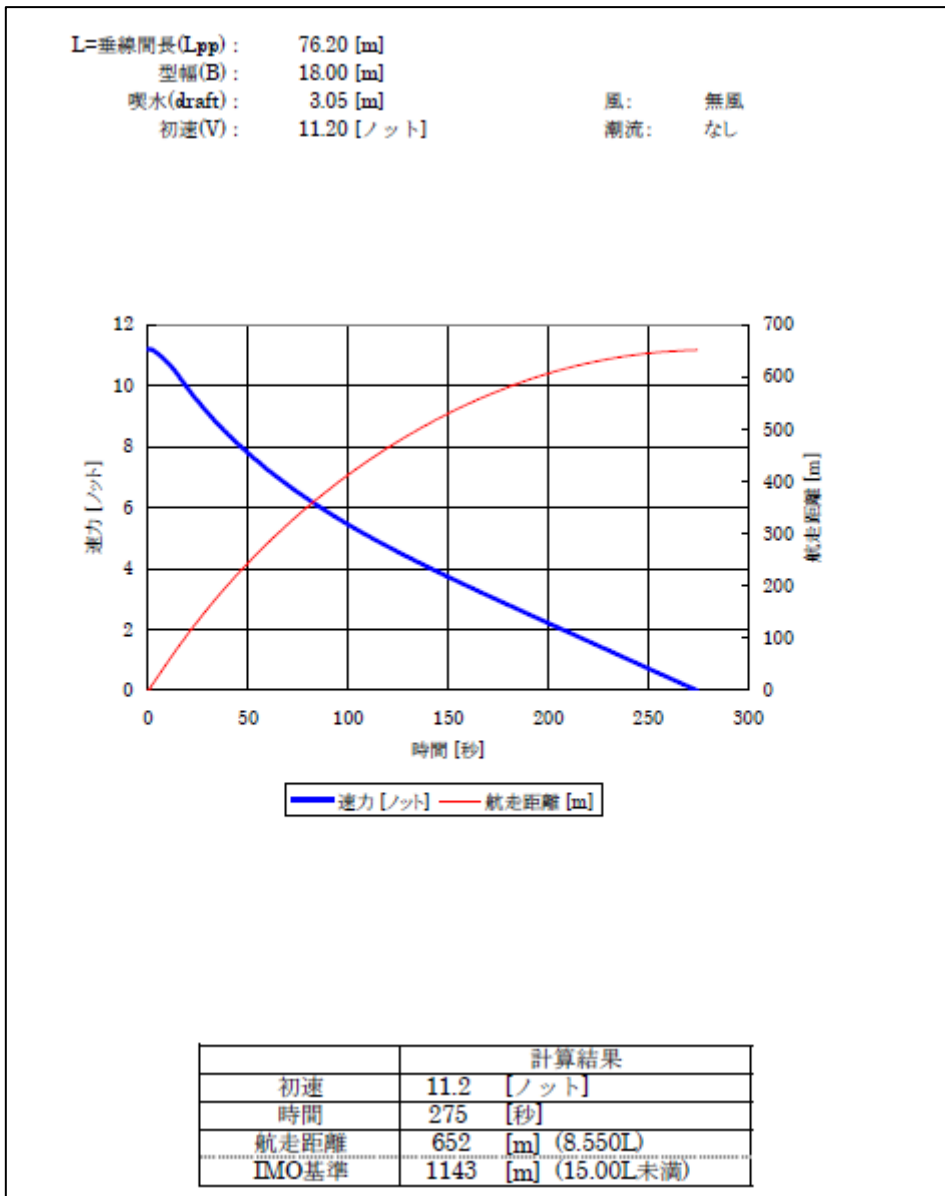


図 1.6 LNG バンカー船 (バラスト時) の停止性能 (Nav. Full (11.2 ノット) ⇒ Full Astern)

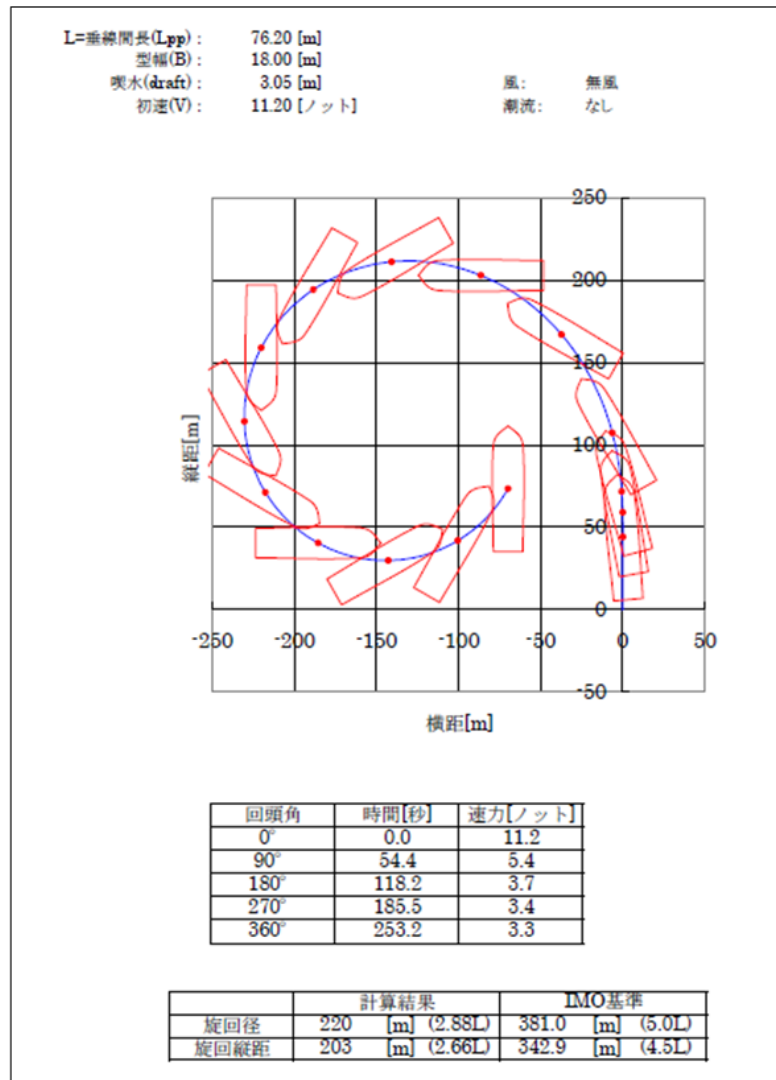


図 1.7 LNG バンカー船 (バラスト時) の左旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

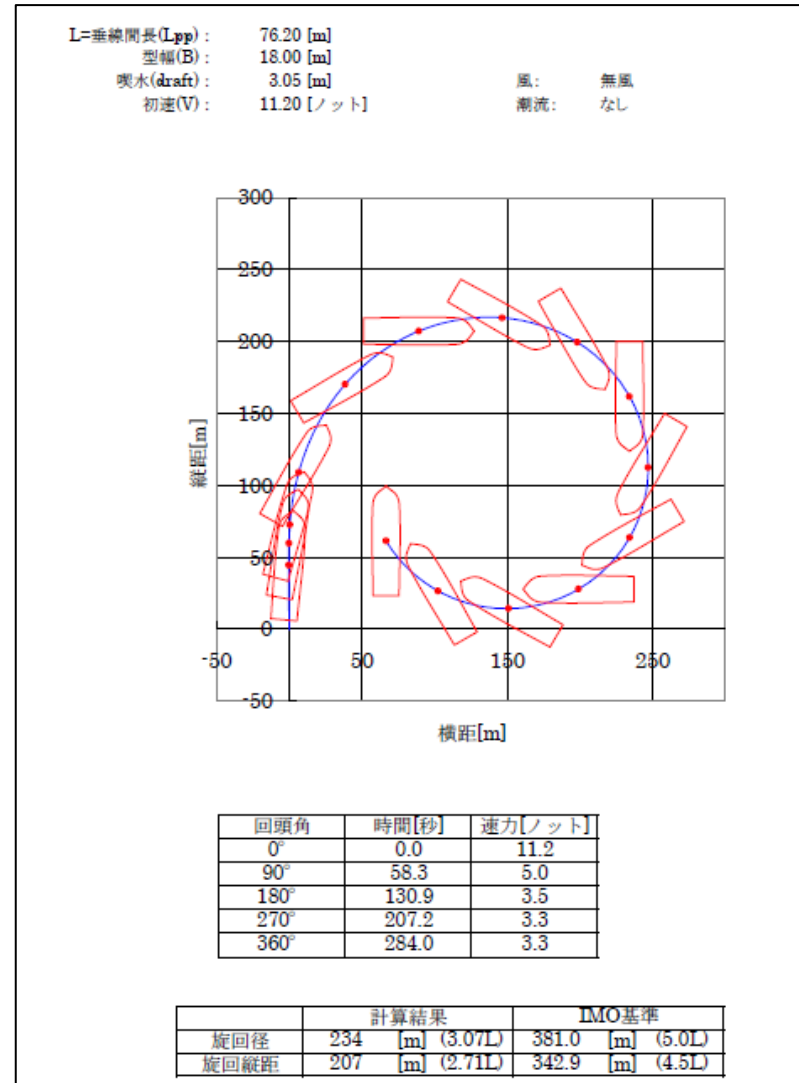


図 1.8 LNG バンカー船 (バラスト時) の右旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

(2) LNG 燃料船

対象とする LNG 燃料船は、以下の理由から自動車運搬船とし、主要目を表 1.3 のとおり設定する。

- 国内における LNG バンカリング実績が多い。
- 比較的、乾舷が高く受風面積が大きいので単錨泊中の振れ回り運動が大きい。コンディションについては、常時、風圧面積が大きくなるバラスト喫水とする。

表 1.3 LNG 燃料船の主要目

項目		LNG 燃料船
船種		7,000 台積自動車運搬船
総トン数 (GT)		72,285
全長 (Loa)		199.96 m
垂線間長 (Lpp)		196.00 m
型幅 (B)		38.00 m
型深 (D)		38.23 m
喫水 (d)	満載時 (船首/船尾)	9.57 m/9.57 m
	バラスト時 (船首/船尾)	7.30 m/7.30 m
載貨重量トン数 (DWT)	満載時	17,330 t
	バラスト時	5,355 t
排水トン数 (Disp.)	満載時	37,048 t
	バラスト時	25,003 t
機関		11,920kW×105 min ⁻¹ (1 基)
プロペラ		4 翼固定ピッチ 1 基
舵		通常舵 1 基
バウスラスター		26.0 ton (255kN) 1 基
側面の風圧面積	満載時	5,984 m ²
	バラスト時	6,420 m ²
正面の風圧面積	満載時	1,209 m ²
	バラスト時	1,296 m ²

図 1.9 は、LNG 燃料船のモデルで設定する風圧力係数を示す。
 風圧力係数は、海上技術安全研究所の風圧力係数算定プログラム LB-WindLoad Ver.3.1 を用いて算出した。

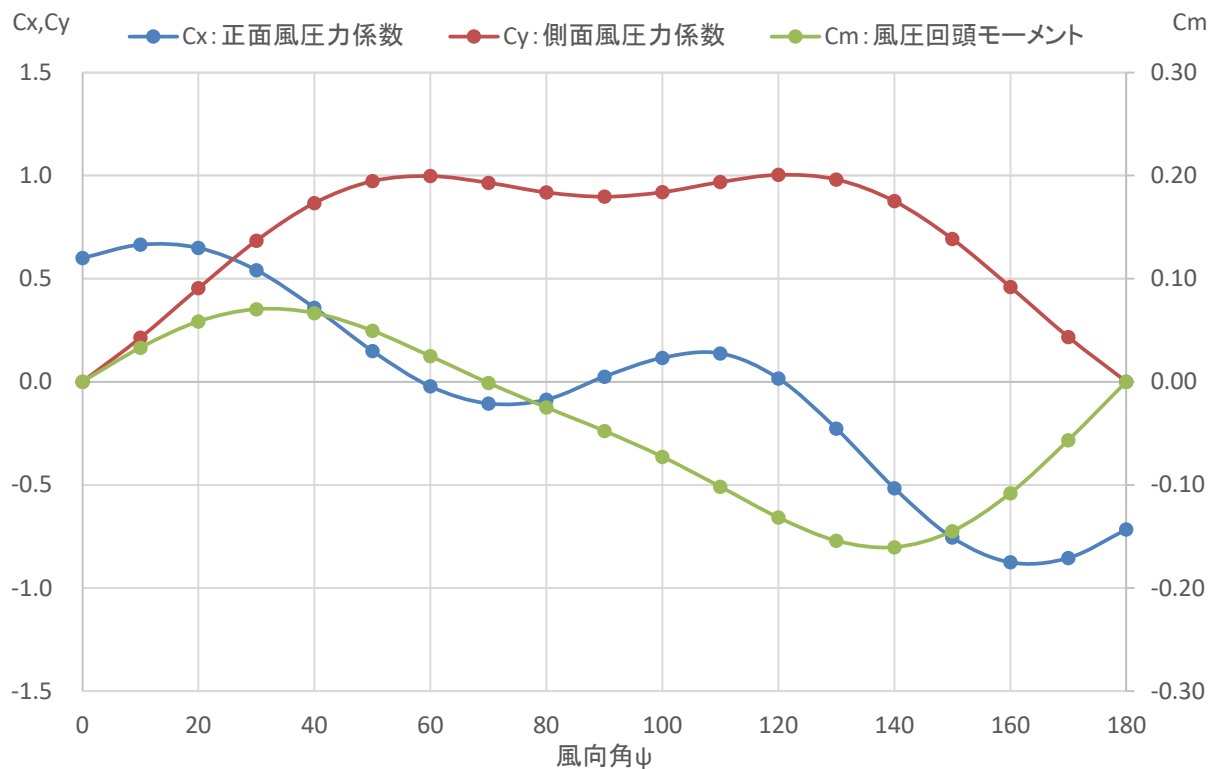


図 1.9 LNG 燃料船の風圧力係数設定

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

対象錨地は、図 1.11 に示すとおり、障害物のない広い海域を設定とする。

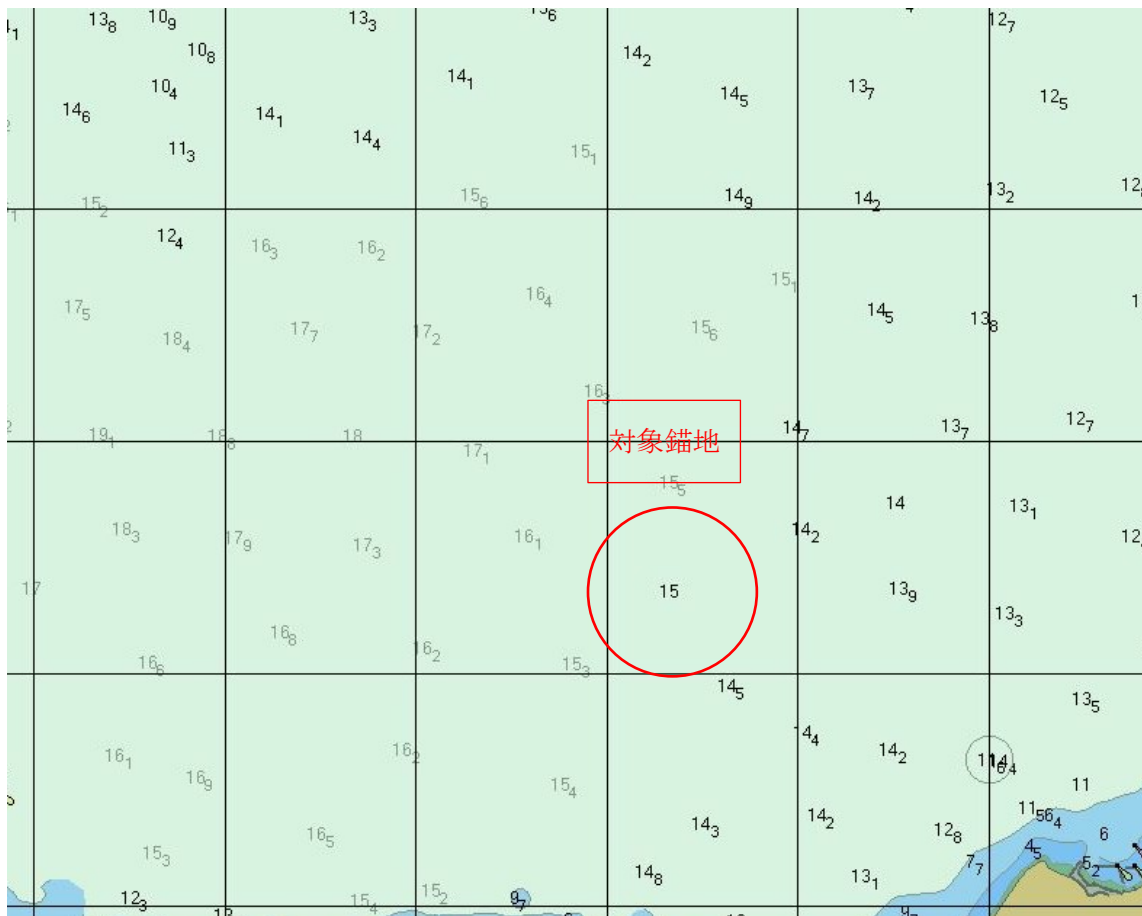


図 1.11 対象錨地

1.5 実施条件

1.5.1 操船シナリオ

操船シミュレータ実験の操船シナリオは以下のとおりとする。

(1) 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

LNG 燃料船（自動車運搬船）は、対象岸壁に船首方位<180>で右舷着岸している。

LNG バンカー船の接舷及び離舷操船シナリオは以下のとおりとする。

【接舷操船】

岸壁係留中の LNG 燃料船に対する接舷操船については、LNG 燃料船と船首方向を同じとして接舷する右舷接舷と、回頭して船首を逆方向に接舷する左舷接舷を実施する。

●右舷接舷（図 1.12 参照）

- ① 約 1 海里手前からスタートする。
- ② 回頭操船及び減速等を行い、1,000m 弱手前地点で LNG 燃料船から約 2B 沖に向けて針路を定め、速力を 4 ノット程度まで減速していく。
- ③ 約 400m 手前で、徐々に減速を行う。
- ④ 約 100m 手前では、行脚を制御可能な 1~2 ノット以下とする。
- ⑤ 前後位置を調整しつつ、横移動速度に注意しながら平行に接舷し終了とする。

●左舷接舷（図 1.13 参照）

- ① 約 1 海里手前からスタートする。
- ② 回頭操船及び減速等を行い、1,000m 弱手前地点で LNG 燃料船から約 2B+2L 沖に向けて針路を定め、速力を 4 ノット程度まで減速していく。
- ③ 約 400m 手前で、徐々に減速を行う。
- ④ 接舷地点の真横付近で、回頭を開始する。LNG 燃料船との距離に注意しながら回頭及び行脚を制御する。
- ⑤ 前後位置を調整しつつ、横移動速度に注意しながら平行に接舷し終了とする。

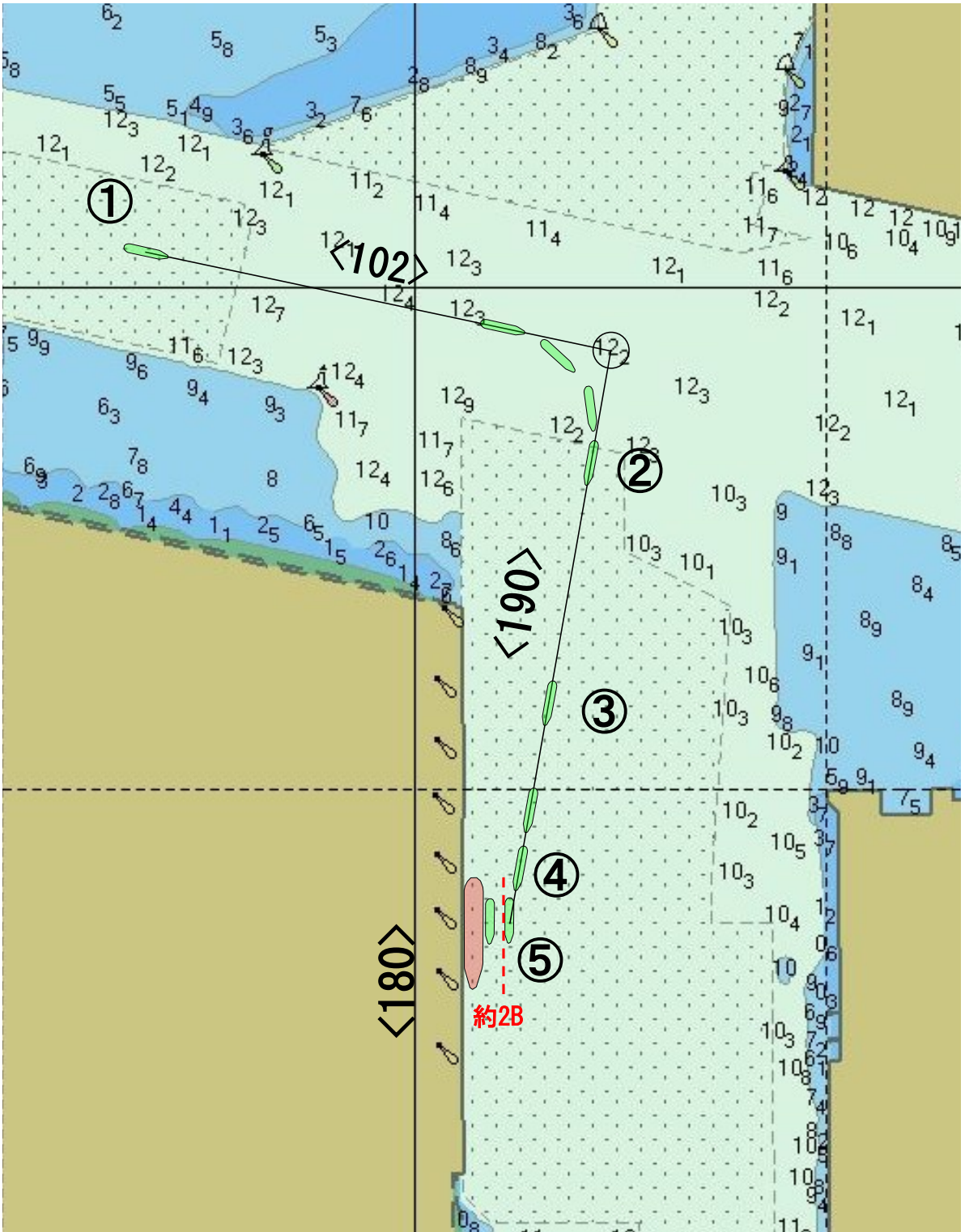


図 1.12 岸壁係留中の LNG 燃料船への接舷操船（右舷接舷）

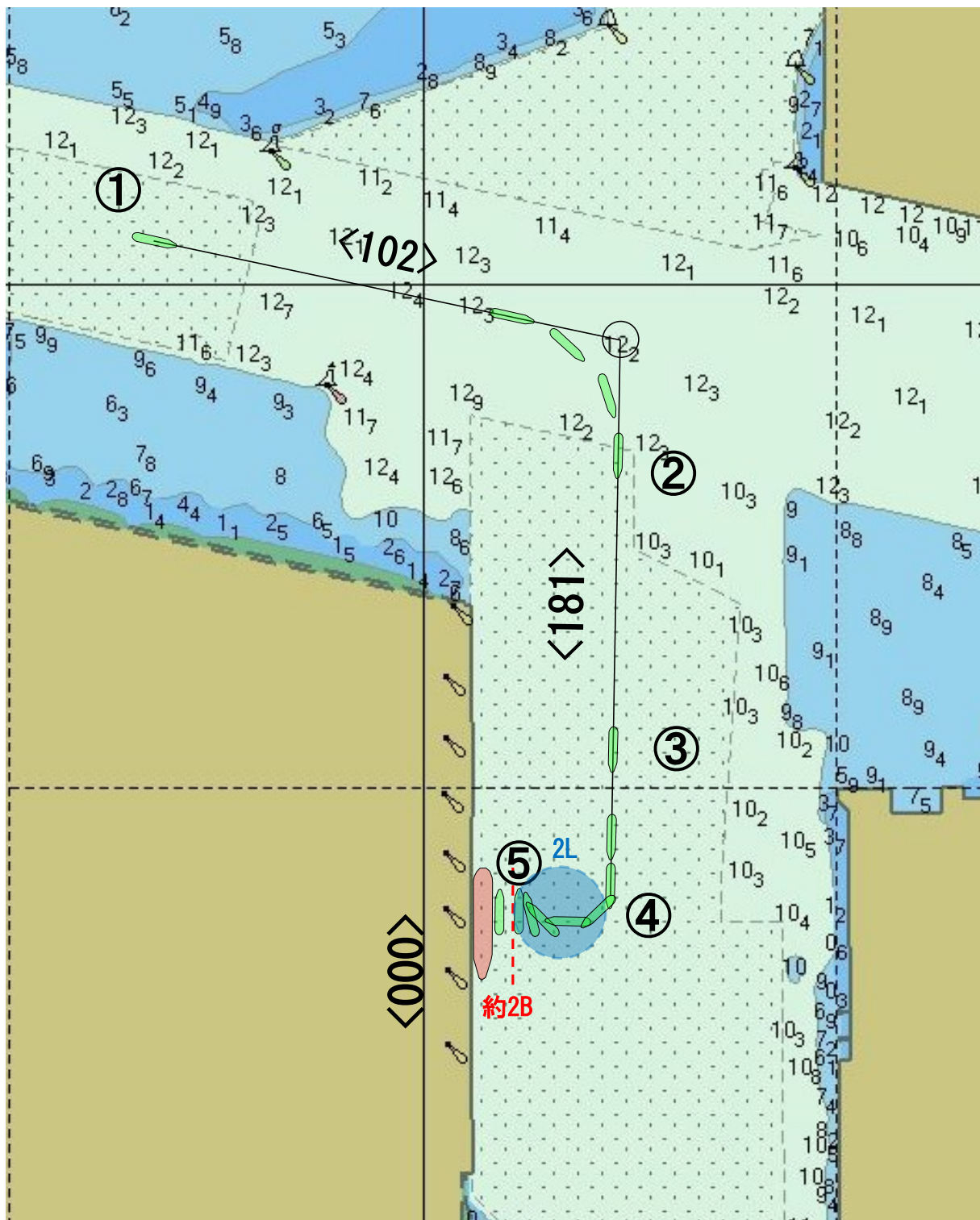


図 1.13 岸壁係留中の LNG 燃料船への接舷操船（左舷接舷）

【離舷操船】

岸壁係留中の LNG 燃料船からの離舷操船については、LNG 燃料船と船首方向を同じとして接舷した右舷接舷の状態から離舷し回頭して出港する（図 1.14 参照）。

- ① 接舷状態から平行に横移動し、約 2B 離れてから回頭をする。
- ② 回頭中に船尾が LNG 燃料船に接近しすぎないように回頭操船を行う。
- ③ 回頭終了後、姿勢を制御しつつ増速していく。
- ④ 舵による針路制御が可能な速力へ増速したところで終了とする。

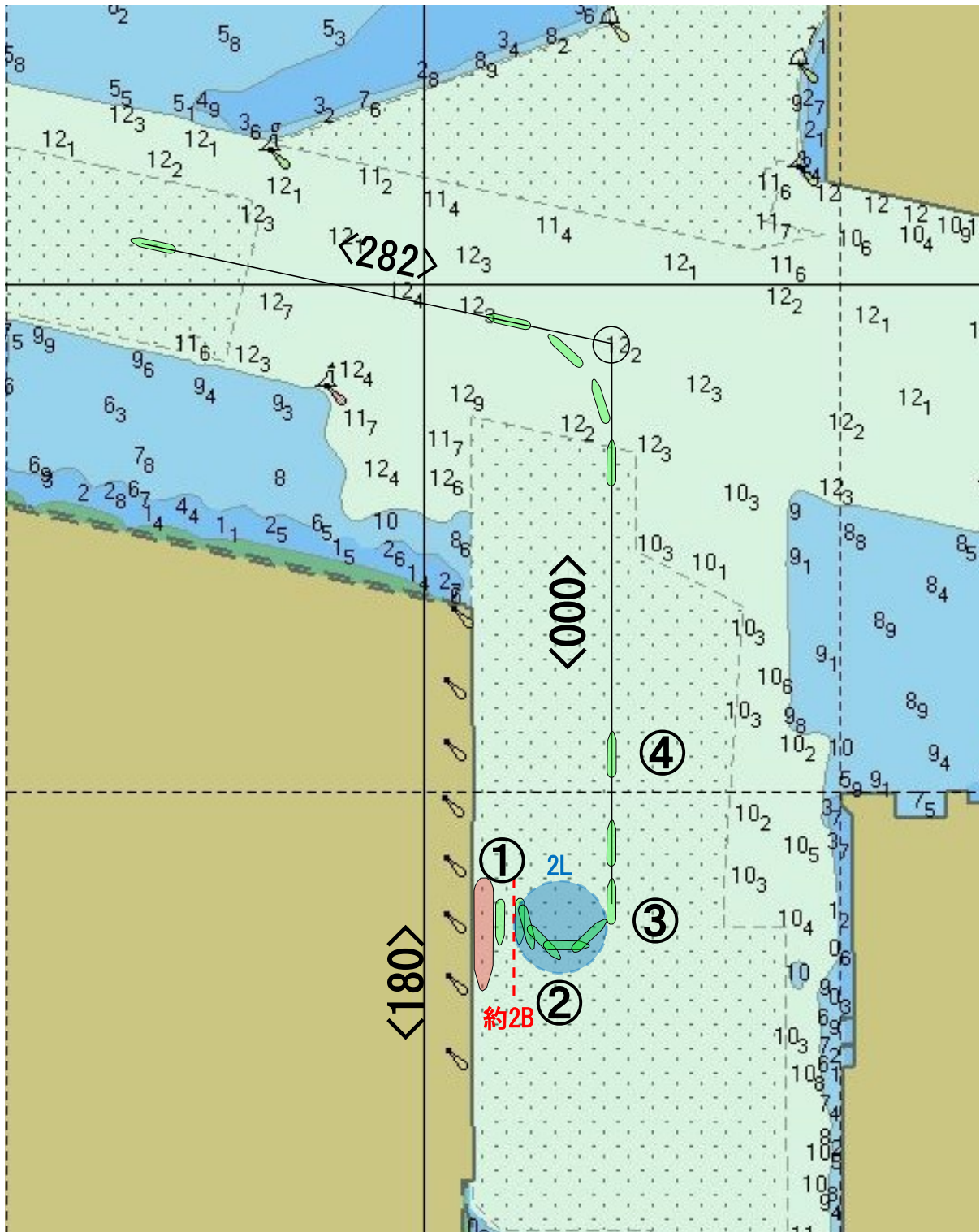


図 1.14 岸壁係留中の LNG 燃料船からの離舷操船（右舷接舷）

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

LNG 燃料船（自動車運搬船）は、錨地に船首方位<090>で右舷錨を使用して単錨泊している。

LNG バンカー船の接舷及び離舷操船シナリオは以下のとおりとする。

【接舷操船】

単錨泊中の LNG 燃料船に対する接舷操船については、LNG 燃料船と船首方向を同じとして接舷する右舷接舷を実施する（図 1.15 参照）。

- ① スタート地点は、約 1 海里手前からスタートする。
- ② 約 1,000m 手前地点で、速力を 4 ノット程度まで減速していく。
- ③ 約 400m 手前で、徐々に減速を行う。
- ④ 約 100m 手前では、行脚を制御可能な 1~2 ノット以下とする。
- ⑤ 前後位置を調整しつつ、横移動速度及び振れ回り運動に注意しながら平行に接舷し終了とする。

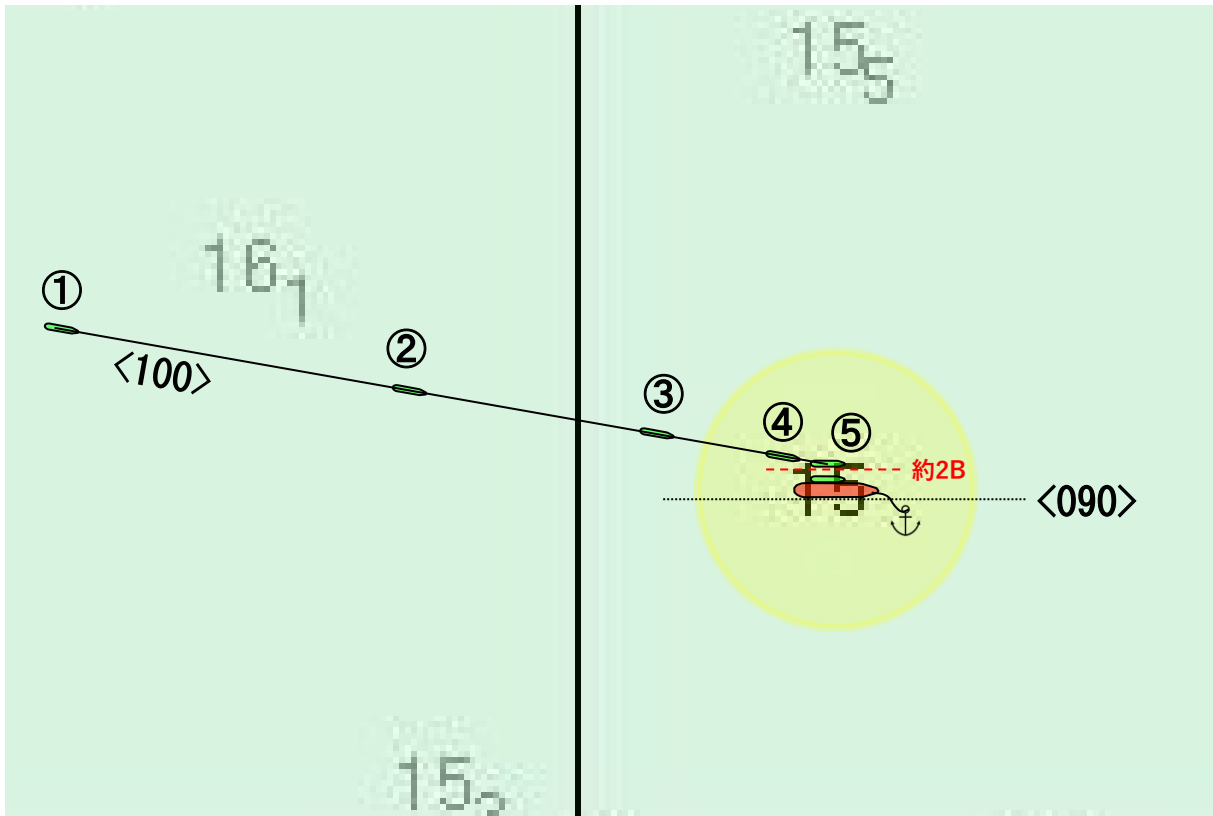


図 1.15 単錨泊中の LNG 燃料船への接舷操船（右舷接舷）

【離舷操船】

単錨泊中の LNG 燃料船からの離舷操船については、LNG 燃料船と船首方向を同じとして接舷した右舷接舷の状態から離舷し回頭して錨地から離れる（図 1.16 参照）。

- ① 接舷状態から平行に横移動し、約 2B 離れてから回頭をする。
- ② 回頭中に船尾が LNG 燃料船に接近しすぎないように回頭操船を行う。
- ③ 回頭終了後、姿勢を制御しつつ増速していく。
- ④ 舵による針路制御が可能な速力へ増速したところで終了とする。

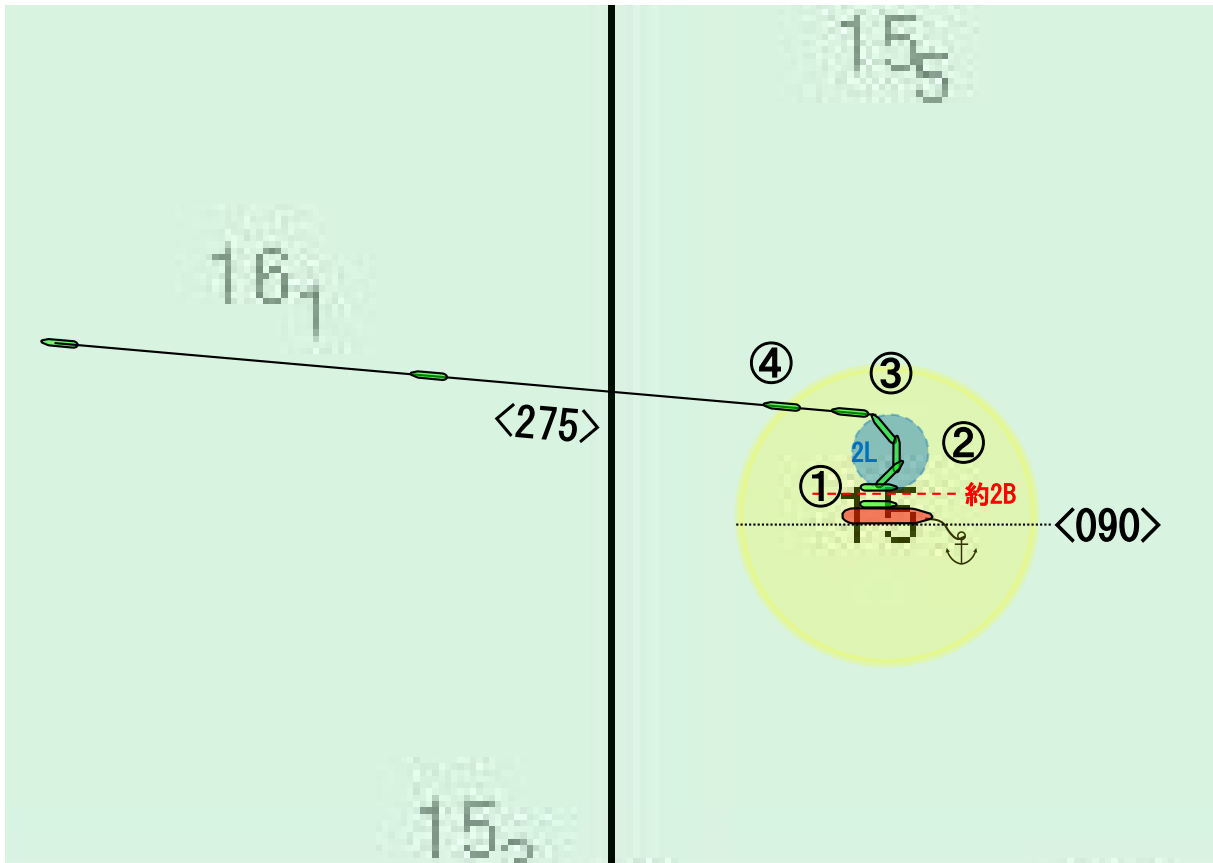


図 1.16 単錨泊中の LNG 燃料船への離舷操船（右舷接舷）

1.5.2 外力条件

平成 24・25 年度のガイドライン策定時に実施した操船シミュレータ実験の実施条件を参考とし、外力条件を以下のとおり設定する。

(1) 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

① 風条件

風向は、沖側から LNG 燃料船が着岸している岸壁に向けて吹く風（向岸風：LNG バンカー船が LNG 燃料船側に寄せられる風）を設定する。

風速は、接舷時は Calm 及びガイドライン記載の接舷限界風速 10m/sec 並びにその上下の風速 8m/sec と 12m/sec を設定する。離舷時は Calm 及びガイドライン記載の離舷限界風速 12m/sec 並びにその上下の風速 10m/sec と 15m/sec を設定する。

なお、風は変動風とする。

② 波浪条件

波向は、風向と同じ向きを設定し、波高は、ガイドライン記載の限界波高 1.0m を設定する。

周期は、過年度の検討を踏まえて 8sec とする。

③ 潮流

潮流は、設定しないものとする。

④ 潮位

潮位は、低潮位時を設定する。

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

① 風条件

風向は、単錨泊中に振れ回る LNG 燃料船の船首方向から吹く風を設定する。

風速は、接舷時は Calm 及びガイドライン記載の接舷限界風速 10m/sec 並びにその上下の風速 8m/sec と 12m/sec を設定する。離舷時は Calm 及びガイドライン記載の離舷限界風速 12m/sec 並びにその上下の風速 10m/sec と 15m/sec を設定する。

なお、風速は変動風とする。

② 波浪条件

波向は、風向と同じ向きを設定し、波高は、ガイドライン記載の限界波高 1.0m を設定する。

③ 潮流

潮流は、設定しない場合と LNG 燃料船の振れ回りを助長させる船体真横からの流速 1 ノットを設定する。

④ 潮位

潮位は、低潮位時を設定する。

1.5.3 視界（昼夜間）

(1) 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

視界状態は良好とする。

時間帯は昼間及び夜間を設定する。

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

視界状態は良好とする。

時間帯は昼間及び夜間を設定する。

1.5.4 操船支援

(1) タグボート

離接舷操船においてタグボートは使用しない。

(2) 錨

離接舷操船において錨は使用しない。

(3) スラスタ

対象船舶（LNG バンカー船）は、船首尾にスラスタを装備しているが、船尾スラスタを使用しない（もしくは使用舵角を 35 度に制限した）条件で実施して、スタンスラスタ装備の効果（船尾側の横制御力の違い）を検討する。

(4) 動的情報提供装置

現ガイドラインを踏まえ、錨泊船に接舷する際は、振れ回りへの対策として「動的情報提供装置」の使用を考慮する。

「動的情報提供装置」とは、AIS、GPS 情報を基に、本船及び接舷相手船の位置関係を視覚的に表現し、併せて接舷速度、回頭角速度等の情報を画面上に表示する装置である。

1.5.5 着船舷

本実験においては、着船舷を以下のように設定する。

(1) 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

LNG バンカー船は、右舷接舷している LNG 燃料船（自動車運搬船）の左舷側に接舷する。

LNG バンカー船は、右舷接舷及び左舷接舷を想定する。

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

LNG バンカー船は、錨泊している LNG 燃料船（自動車運搬船）の左舷側に接舷する。

LNG バンカー船は、LNG 燃料船と船首を同じ向きとするため、右舷接舷のみとする。

1.5.6 実験操船者

操船者は、ガイドラインの策定時及び本実験の対象とした LNG バンカー船と同等の大きさの船舶における操船経験を有する者複数名で実施する。

1.6 操船シミュレータ実験実施ケース

1.6.1 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

岸壁係留中の LNG 燃料船（自動車運搬船）への離接舷操船シミュレーションの実施基本ケースは、表 1.4 に示す No.1～12 の 12 ケースを基本とする。

なお、一部のケースについて、スタンスラスタの使用を制限（もしくは使用舵角を 35 度に制限）したケースを追加で実施する。

1.6.2 錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

単錨泊中の LNG 燃料船（自動車運搬船）への離接舷操船シミュレーションの実施基本ケースは、表 1.4 に示す No.13～21 の 9 ケースを基本とする。

なお、一部のケースについて、スタンスラスタの使用を制限（もしくは使用舵角を 35 度に制限）したケースを追加で実施する。

表 1.4 操船シミュレータ実験実施基本ケース

No.	操船 (離舷/接舷)	接舷	LNG 燃料 船の状態	LNG バンカー船		風		波浪		潮流	昼夜間	スタンスラス ター (舵角 35 度制約) の追加
				回頭有無	載貨状態	風向(deg)	風速(m/sec)	波高(m)	波向(deg)			
1	接舷	右舷	岸壁係留	無	満載	90	10	1.0	90	なし	昼	
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	夜	
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	〃	●
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	
5	〃	左舷	〃	有	〃	〃	10	〃	〃	〃	昼	
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	夜	
7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	〃	●
8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	
9	離舷	右舷	〃	有	バラスト	〃	12	〃	〃	〃	昼	
10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	15	〃	〃	〃	夜	
11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	〃	●
12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	〃	
13	接舷	右舷	錨泊	無	満載	〃	10	〃	〃	〃	昼	
14	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	夜	
15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	〃	●
16	〃	〃	〃	〃	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	
17	離舷	〃	〃	有	バラスト	〃	12	〃	〃	〃	昼	
18	〃	〃	〃	〃	〃	〃	15	〃	〃	〃	夜	
19	〃	〃	〃	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	〃	●
20	〃	〃	〃	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	〃	
21	接舷	〃	〃	無	満載	〃	10	〃	〃	真横 1ノット	昼	

1.7 評価分析方法

操船シミュレータ実験結果に対する安全性の評価に関しては、今回の実施目的が昼夜間における操船難易度の違いを評価するとの観点から、以下の方法によって評価分析を行うものとする。

1.7.1 運動状態・操作量からみた評価

(1) 結果の出力

操船シミュレータ実験による各ケースの操船結果について、以下の項目を出力する。

① 航跡図

一定時間間隔（1 分間）で船形を平面図に描き、時間的船体姿勢の変化を「航跡図」として出力する。

② 操船状況図

操作状態として、

- 舵[deg]
- プロペラアングル[deg]
- 船首尾のスラスタ操作量[%]

を時系列で出力するとともに、その結果の運動状態量として、船体の

- 前後速力[deg]
- 斜航角（ドリフトアングル）[deg]
- 回頭角速度[deg/min]
- 船首／船尾の横移動速度[cm/sec]

を時系列グラフとして出力する。

(2) 操船結果の評価分析

「変針」「アプローチ」「回頭」「離接舷」の操船局面に分け、それぞれ次の着目点にて操船制御の余裕量や操船の安全性を評価する。

① 変針

- 予定コースからの横偏位量
変針時において、予定していたコースから大きく偏位しなかったかどうか
- 変針舵角量
予定以上の舵角量を使用しなければならない状態であったかどうか

② アプローチ

- 予定コースからの横偏位量
変針時において、予定していたコースから大きく偏位しなかったかどうか
- 保針舵角量

予定以上の当て舵量を使用しなければならぬ状態であったかどうか

- CPP の操作頻度・量

前進速力の制御のため、予定以上の CPP 操作が必要となったかどうか

③ 回頭

- 回頭水域の広さ

スラスタ等を活用し、所要の回頭円（直径 2L）内で回頭が行えたかどうか

- 船間距離

回頭時において、互いの船体が直接接触するそれがない状態の船間距離を確保して回頭できたかどうか

- CPP の操作頻度・量

前進速力の制御のため、予定以上の CPP 操作が必要となったかどうか

④ 接舷

- 接舷前後偏位量

LNG 燃料船への接舷前後位置が意図どおりに制御できたかどうか

- 接舷角度

LNG バンカー船に装着した接舷用フェンダーの位置や厚みから、互いの船体が接舷時に直接接触するおそれがない接舷角度で接舷できたかどうか

- 接舷速度

接舷用フェンダーの許容吸収エネルギーの範囲内の安全な速度で接舷できたかどうか

- CPP の操作頻度・量

前進速力の制御のため、予定以上の CPP 操作が必要となったかどうか

⑤ 離舷

- 船間距離

離舷及び回頭時において、互いの船体が直接接触するそれがない状態の船間距離を確保して離舷・回頭できたかどうか

- 回頭水域の広さ

スラスタ等を活用し、所要の回頭円（直径 2L）内で回頭が行えたかどうか

- CPP の操作頻度・量

前進速力の制御のため、予定以上の CPP 操作が必要となったかどうか

1.7.2 操船者の主観的評価

実験操船者に対して、各ケース、各操船局面（変針／アプローチ／（回頭）／接舷／離舷・回頭）の操船難易度を 5 段階の尺度で評価させる。

また、昼夜間の違いが操船安全に及ぼす影響や必要な対策（照明の在り方、動静情報提供装置の必要性、その他）についてコメントを求める。

