

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

夜間及び錨泊船への接舷に係る
操船シミュレータ実験結果

令和 6 年 3 月 8 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	操船シミュレータ実験結果.....	1
1.1	検討目的.....	1
1.2	実施場所・日時.....	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.....	13
1.5	実施条件.....	15
1.5.1	操船シナリオ.....	15
1.5.2	外力条件.....	22
1.5.3	視界（昼夜間）.....	23
1.5.4	操船支援.....	23
1.5.5	着船舷.....	24
1.5.6	実験操船者.....	24
1.6	操船シミュレータ実験実施ケース.....	25
1.6.1	岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船（第 1 回実験）.....	25
1.6.2	錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船（第 2 回実験）.....	25
1.7	評価分析方法.....	28
1.7.1	運動状態・操作量からみた評価.....	28
1.7.2	操船者の主観的評価.....	30
1.8	操船シミュレータ実験による評価結果.....	31
1.8.1	岸壁係留中の LNG 燃料船への夜間離接舷操船（第 1 回実験）結果.....	31
1.8.2	錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船（第 2 回実験）の結果.....	37
1.9	まとめ.....	43
1.9.1	岸壁係留中の LNG 燃料船への夜間離接舷.....	43
1.9.2	錨泊中の LNG 燃料船への離接舷.....	44

1 操船シミュレータ実験結果

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した。

- 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）の検討を行った。

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した。

1.2 実施場所・日時

以下の場所、日時で操船シミュレータ実験を実施した。

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

実施内容：岸壁係留船への離接舷操船

第 2 回実験：令和 6 年 2 月 5、6、7 日

実施内容：錨泊船への離接舷操船

1.3 使用設備

検討には、図 1.3.1 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った。

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、大きさで描かれる。



図 1.3.1 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 1.4.1、表 1.4.2 のとおり設定した。また、LNG バンカー船の 3D モデルを図 1.4.1 に、運動性能を図 1.4.3～図 1.4.8 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した。

表 1.4.1 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

【昼間】



【夜間】



図 1.4.1 LNG バンカー船のシミュレータ 3D モデル

図 1.4.2 は、LNG バンカー船のモデルで設定する風圧力係数を示す。

風圧力係数は船体に作用する風圧力を算出するために必要な船固有の値である。一般的には風洞試験によって求められるが、実施されない場合も多く入手困難である。

また、ここでは特定の船を対象とするものではないため、一般化された風圧力係数を採用するものとした。タンカーや LNG 船の風圧力係数は、OCIMF のガイドラインで公表されているため、今回の検討ではその係数を用いることとした。

OCIMF によると、LNG 船は、モス型とメムブレン型の大型 LNG 船の風圧力係数が示されている。小型 LNG タンカーの風圧力係数は存在せず、ここでは、LNG バンカー船の側面から見た形状に近いメムブレン型の係数を用いるものとした。

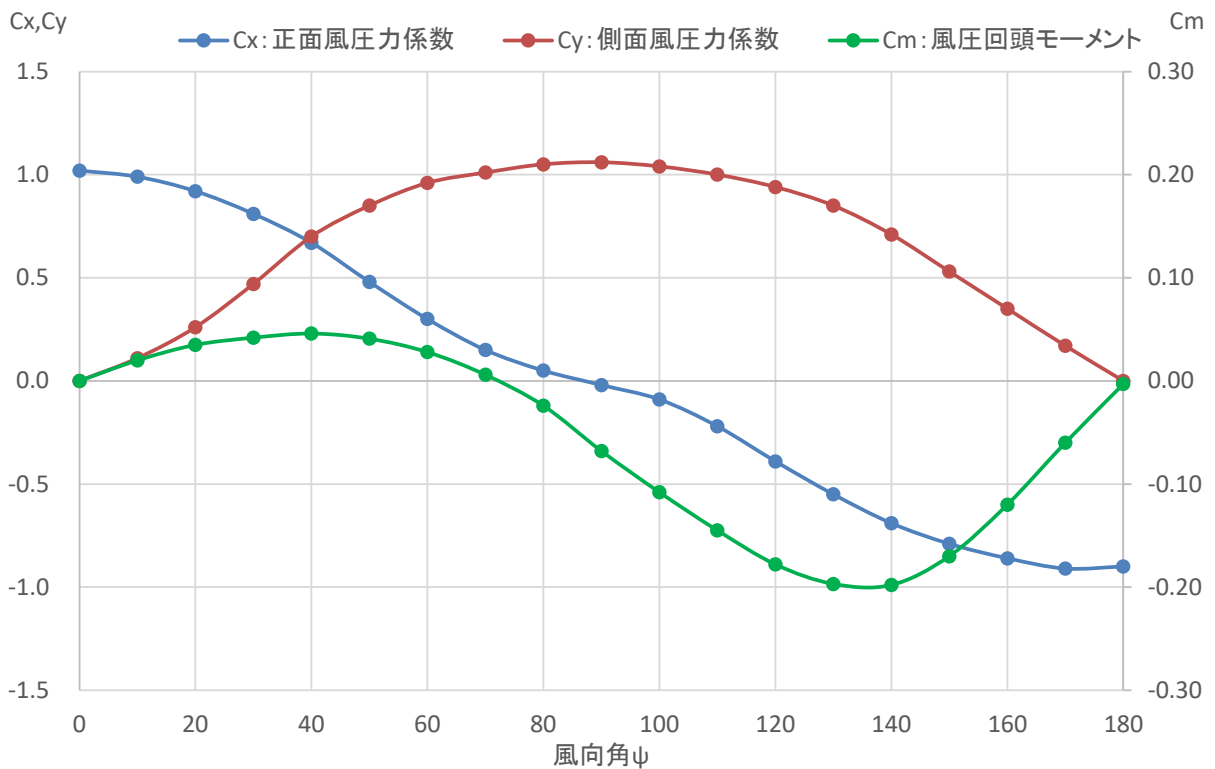


図 1.4.2 LNG バンカー船の風圧力係数設定

表 1.4.2 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

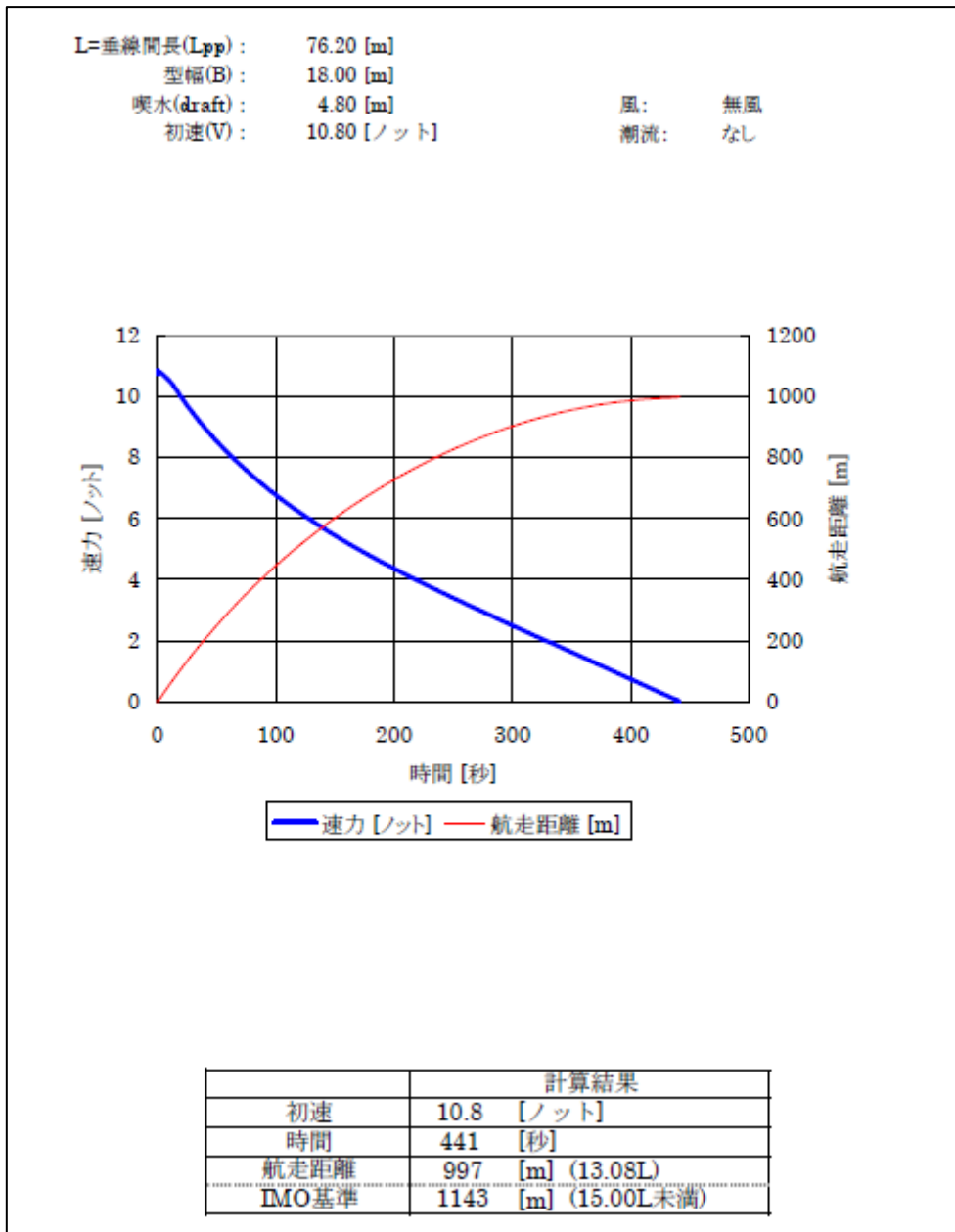


図 1.4.3 LNG バンカー船（満載時）の停止性能（Nav. Full (10.8 ノット) ⇒ Full Astern)

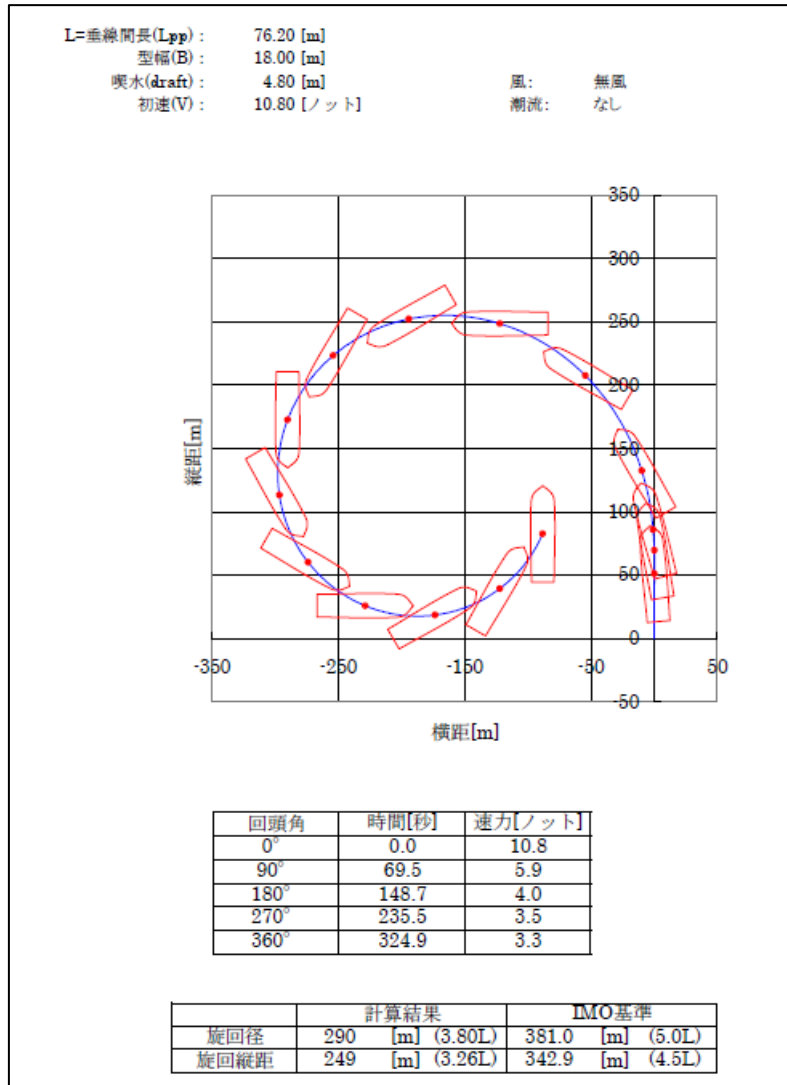


図 1.4.4 LNG バンカー船 (満載時) の左旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

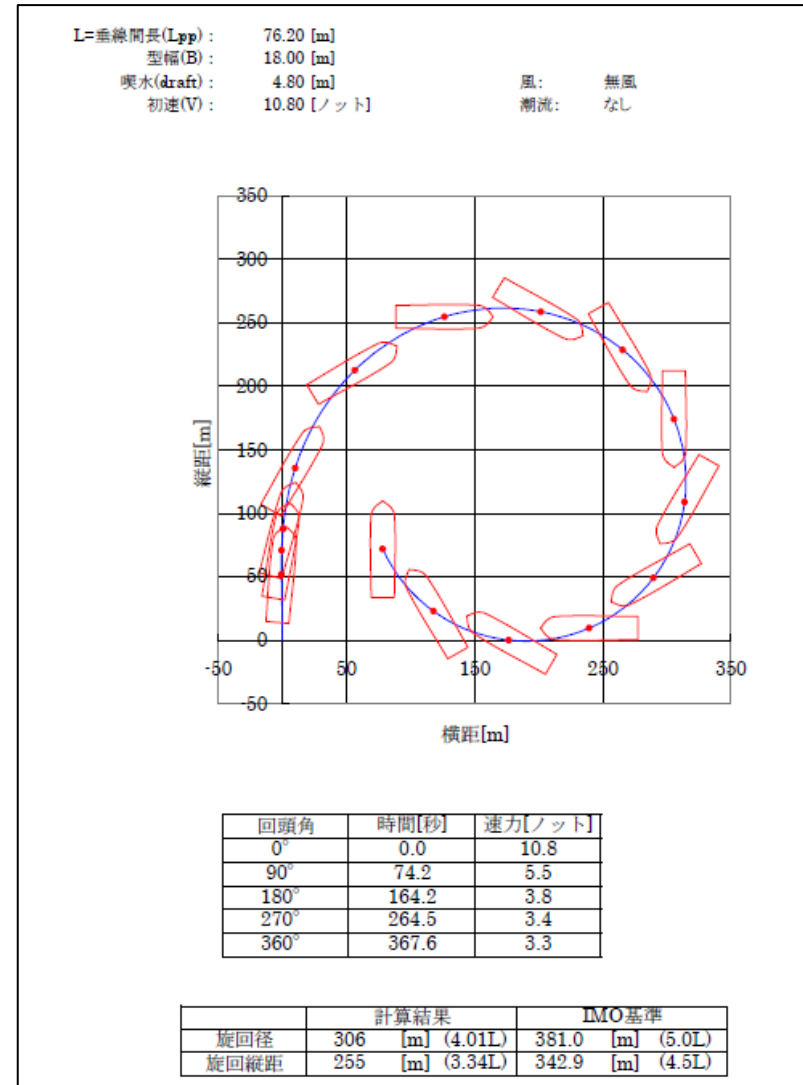


図 1.4.5 LNG バンカー船 (満載時) の右旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

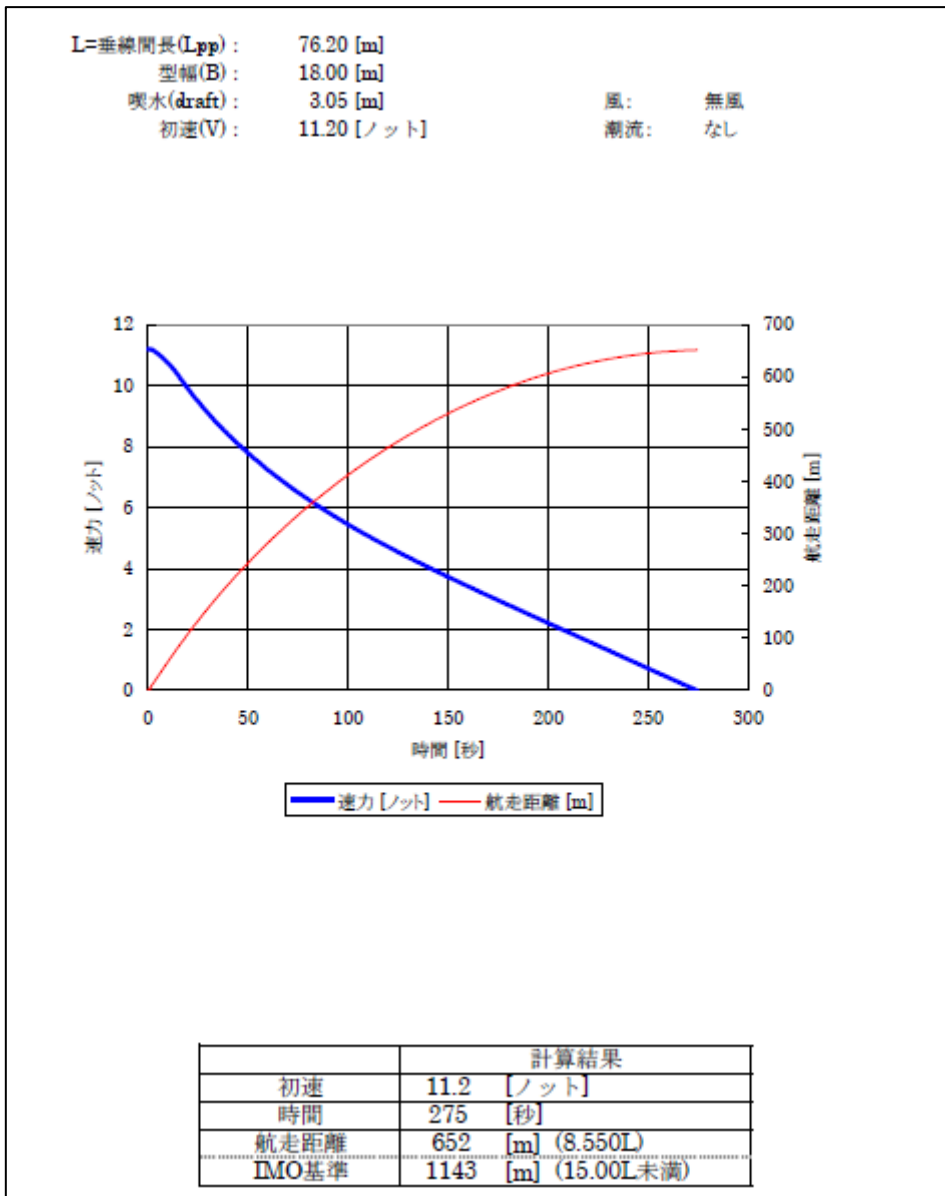


図 1.4.6 LNG バンカー船 (バラスト時) の停止性能 (Nav. Full (11.2 ノット) ⇒ Full Astern)

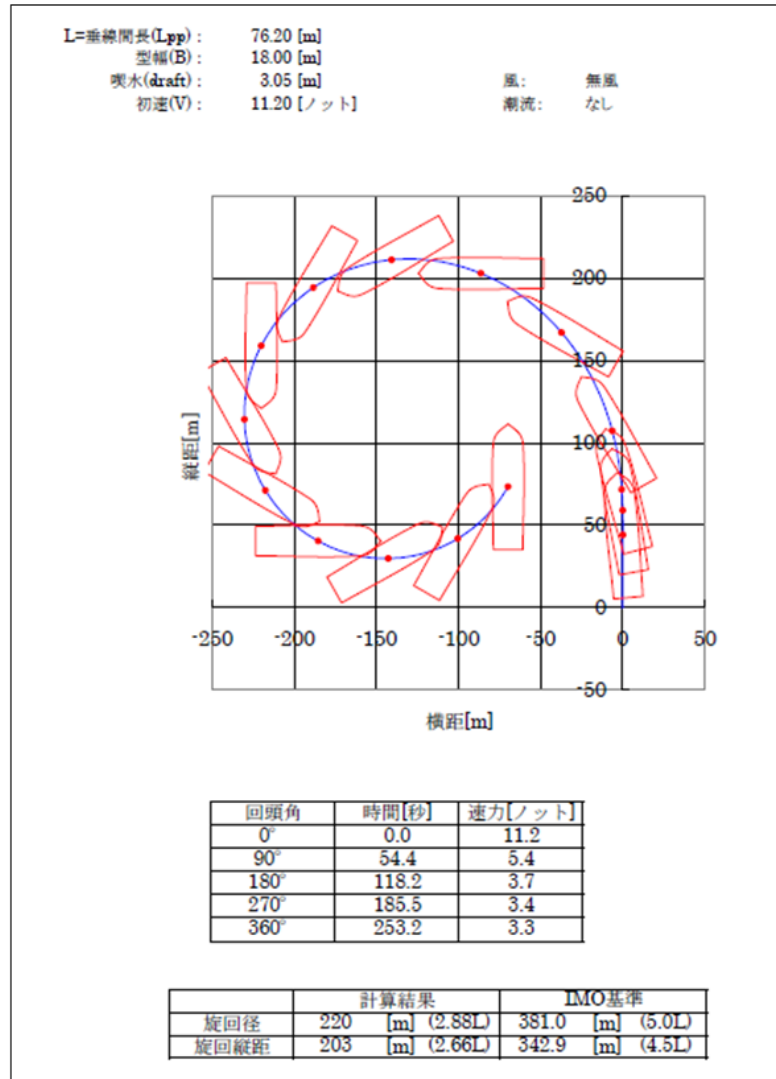


図 1.4.7 LNG バンカー船 (バラスト時) の左旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

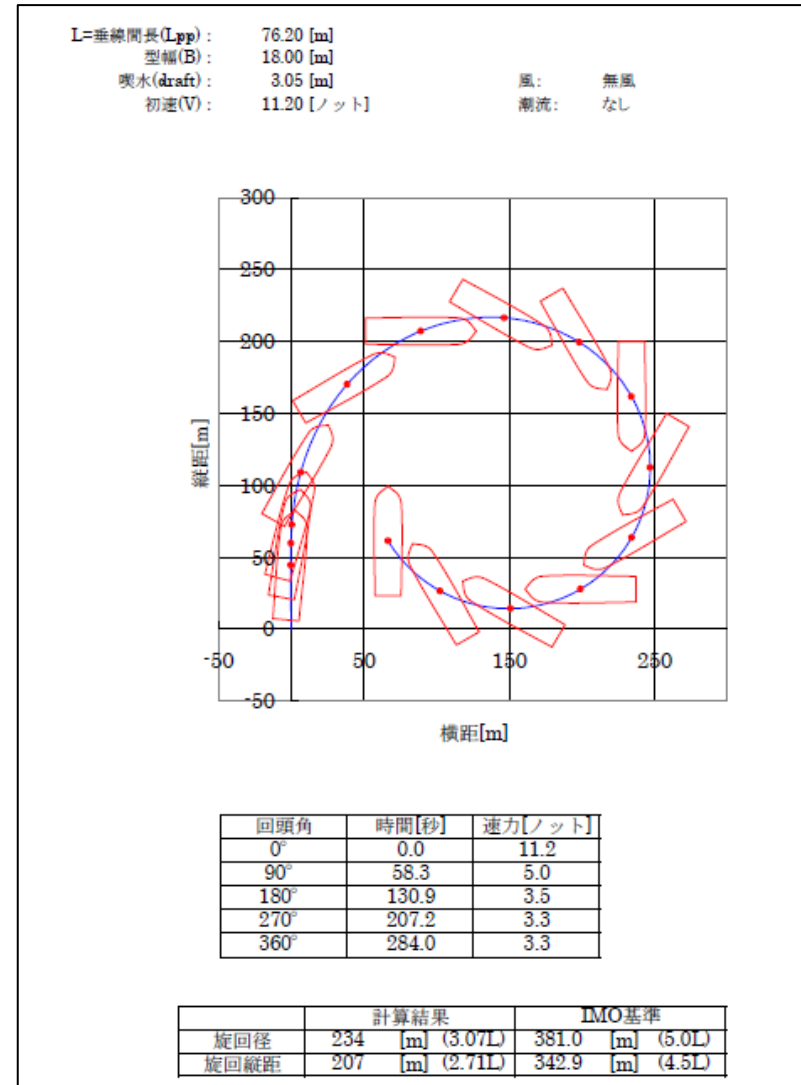


図 1.4.8 LNG バンカー船 (バラスト時) の右旋回性能 (Nav. Full、舵角 35 度)

(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 1.4.3 のとおり設定した。図 1.4.9 は、LNG 燃料船の 3D モデルを示す。

- 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した。

表 1.4.3 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

【昼間】



【夜間】



図 1.4.9 LNG 燃料船のシミュレータ 3D モデル

図 1.4.10 は、LNG 燃料船のモデルで設定する風圧力係数を示す。

自動車運搬船の風圧力係数は、風圧力係数を推定する一法の、「成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定方法、藤原ら、2005 年、日本船舶海洋工学会論文集」に基づく風圧力を推定するプログラム LB-WindLoad Ver.3.1 を使用した。

この推定方法は、9 区分された船種毎に全長と幅を入力して推定するモデルである。

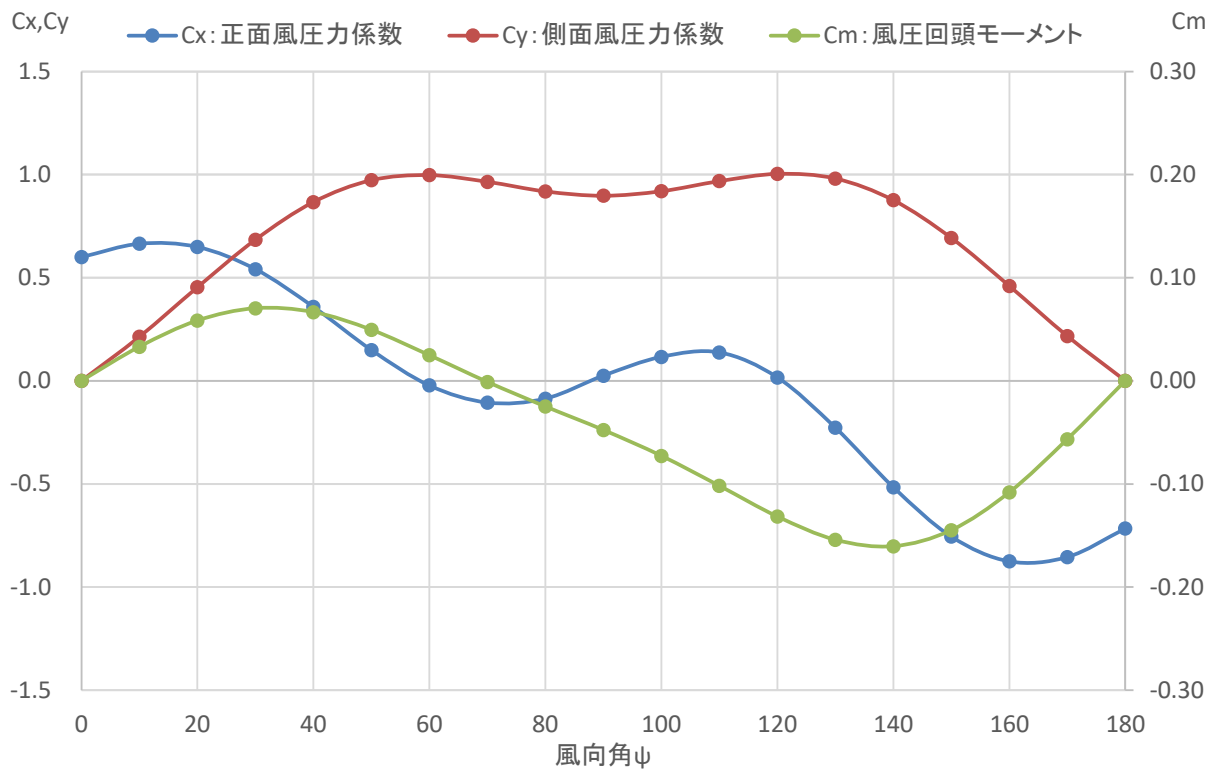


図 1.4.10 LNG 燃料船の風圧力係数設定

1.4.2 対象岸壁・錨地

各検討課題に対して、それぞれ以下の岸壁・錨地を設定する。

(1) 岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船

対象岸壁は、図 1.4.11 に示すとおり、一般的は平行岸壁を設定する。

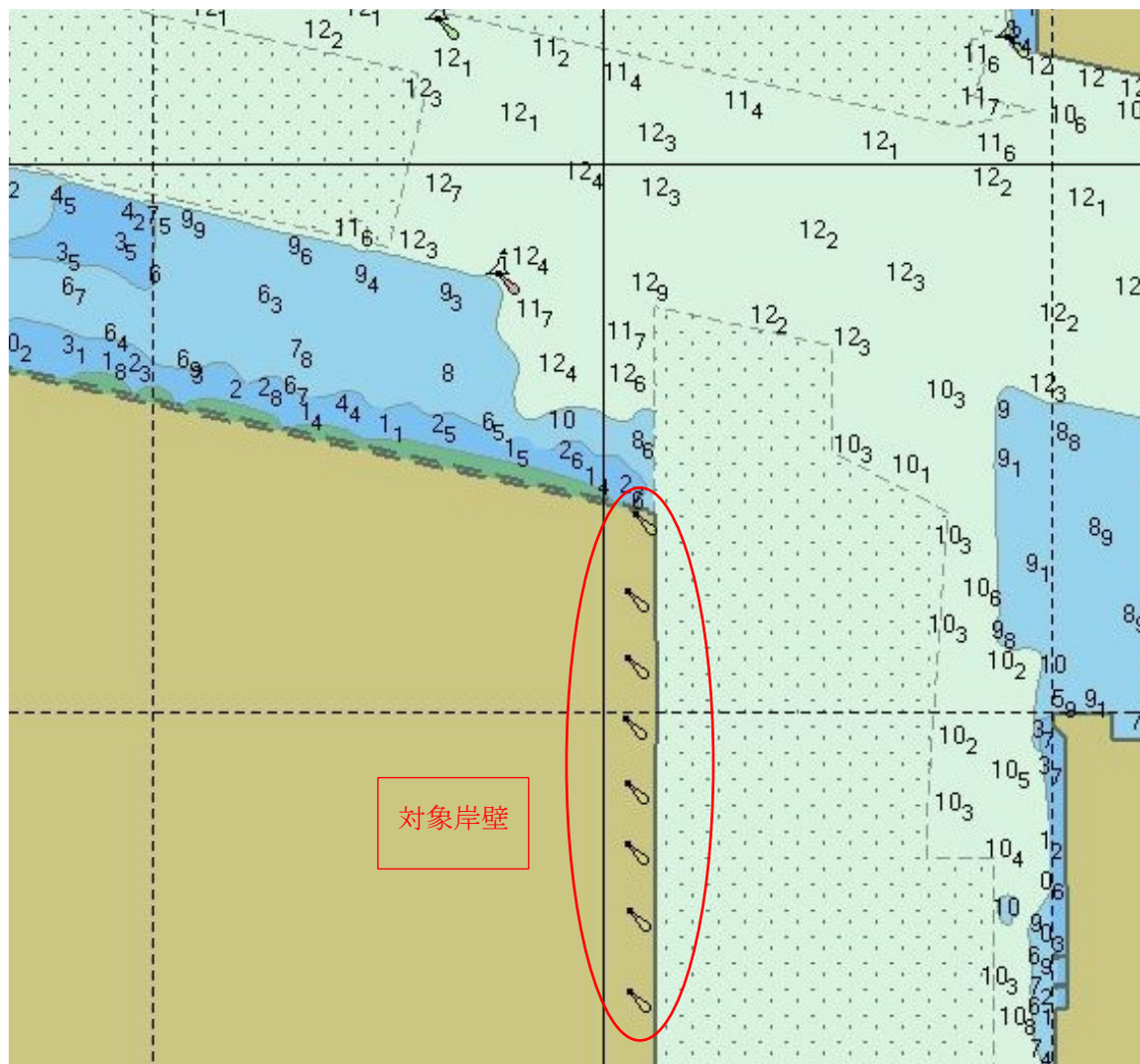


図 1.4.11 対象岸壁

(2) 単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船

対象錨地は、図 1.4.12 に示すとおり、障害物のない広い海域を設定とする。

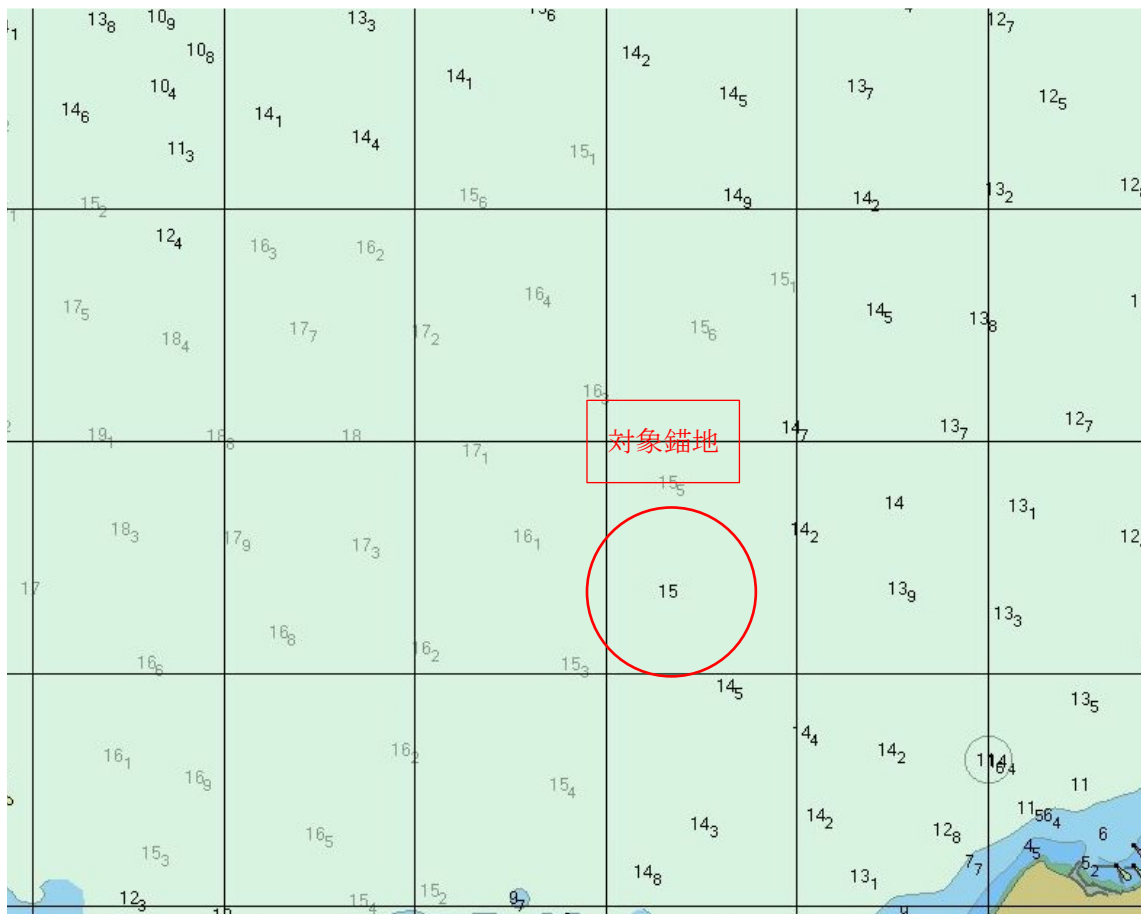


図 1.4.12 対象錨地

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した。

(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した。

【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 1.5.1 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 1.5.2 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。

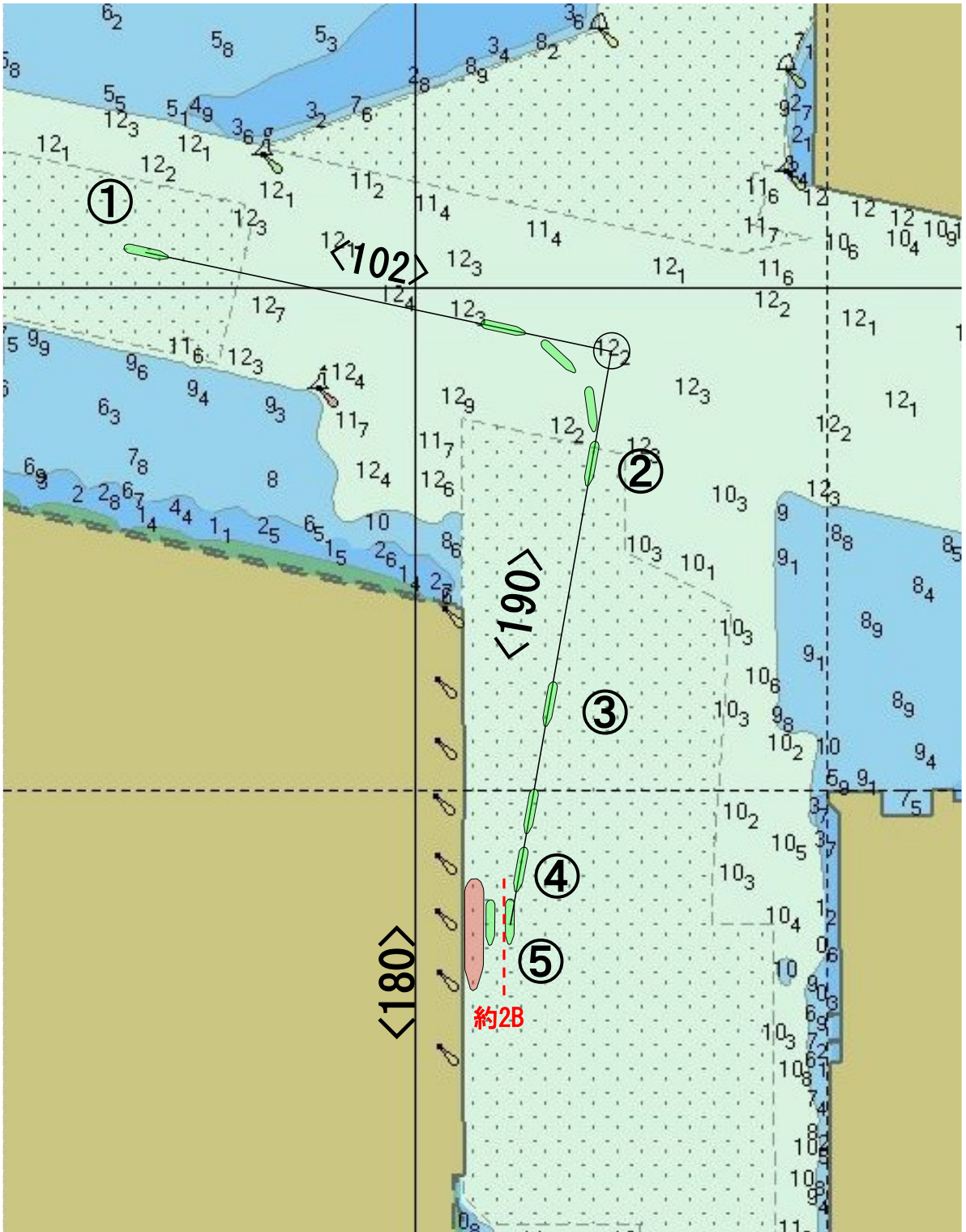


図 1.5.1 岸壁係留中の LNG 燃料船への接舷操船（右舷接舷）

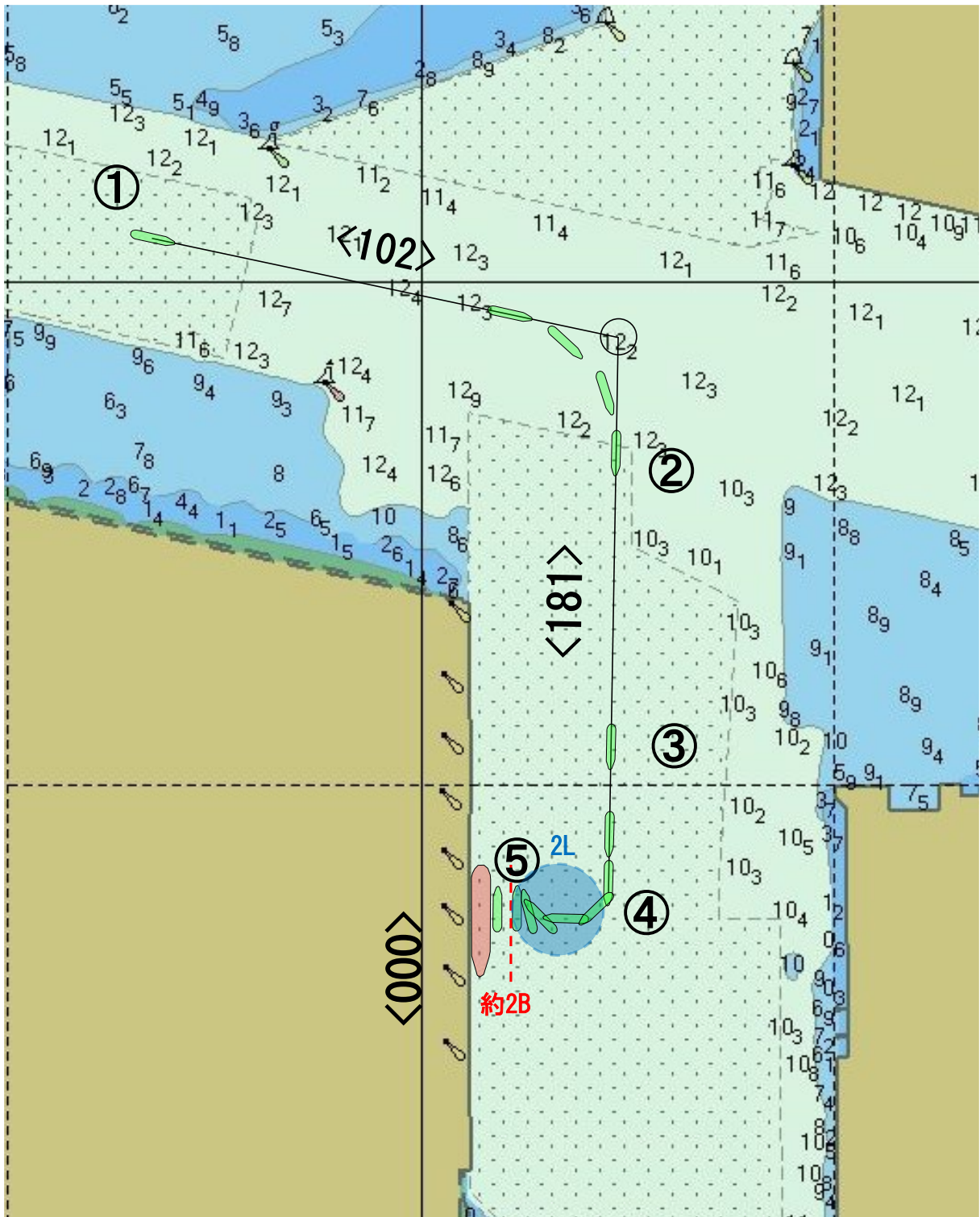


図 1.5.2 岸壁係留中の LNG 燃料船への接舷操船（左舷接舷）

【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 1.5.3 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。

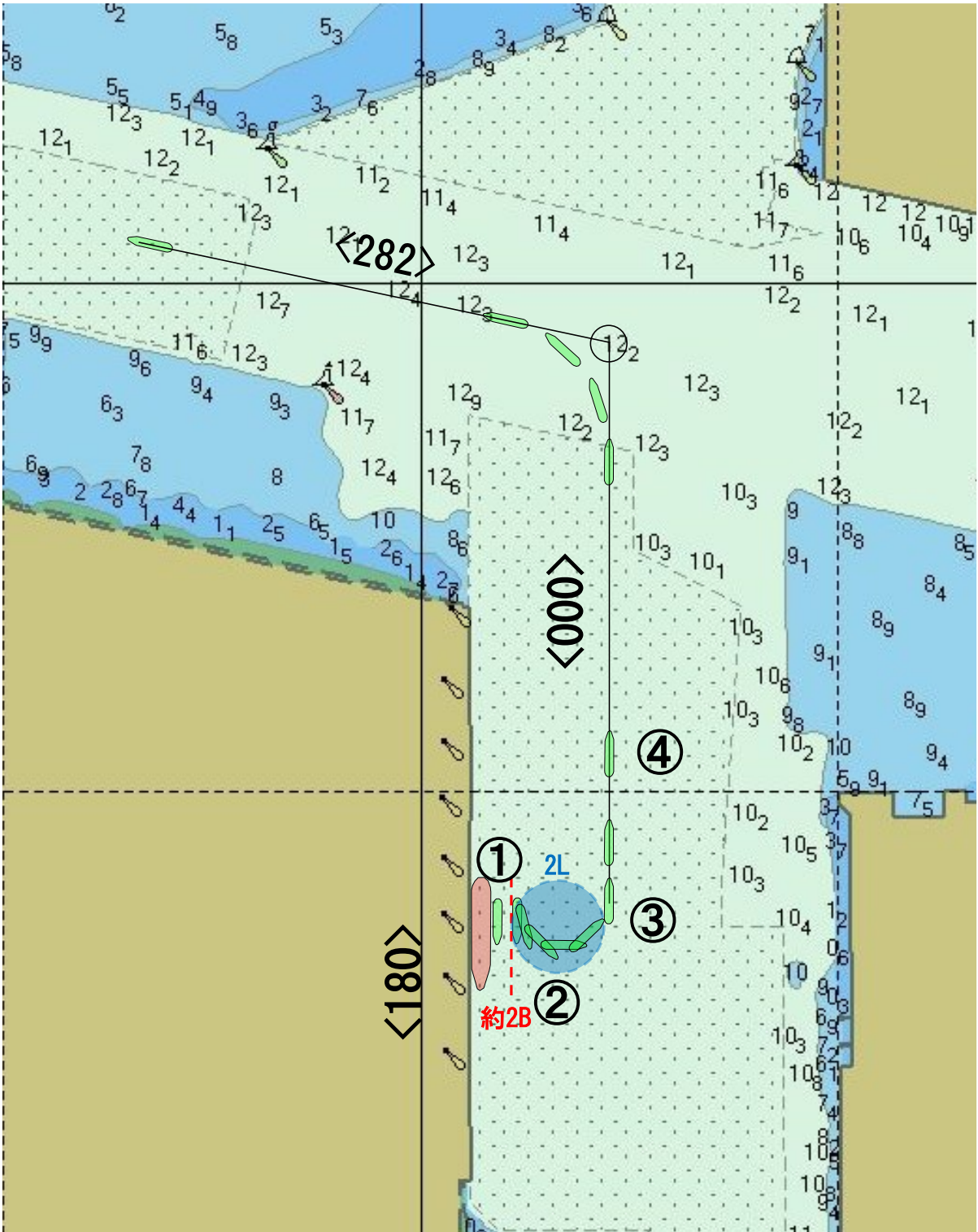


図 1.5.3 岸壁係留中の LNG 燃料船からの離舷操船（右舷接舷）

(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接舷操船シナリオは以下のとおりとした。

【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 1.5.4 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。

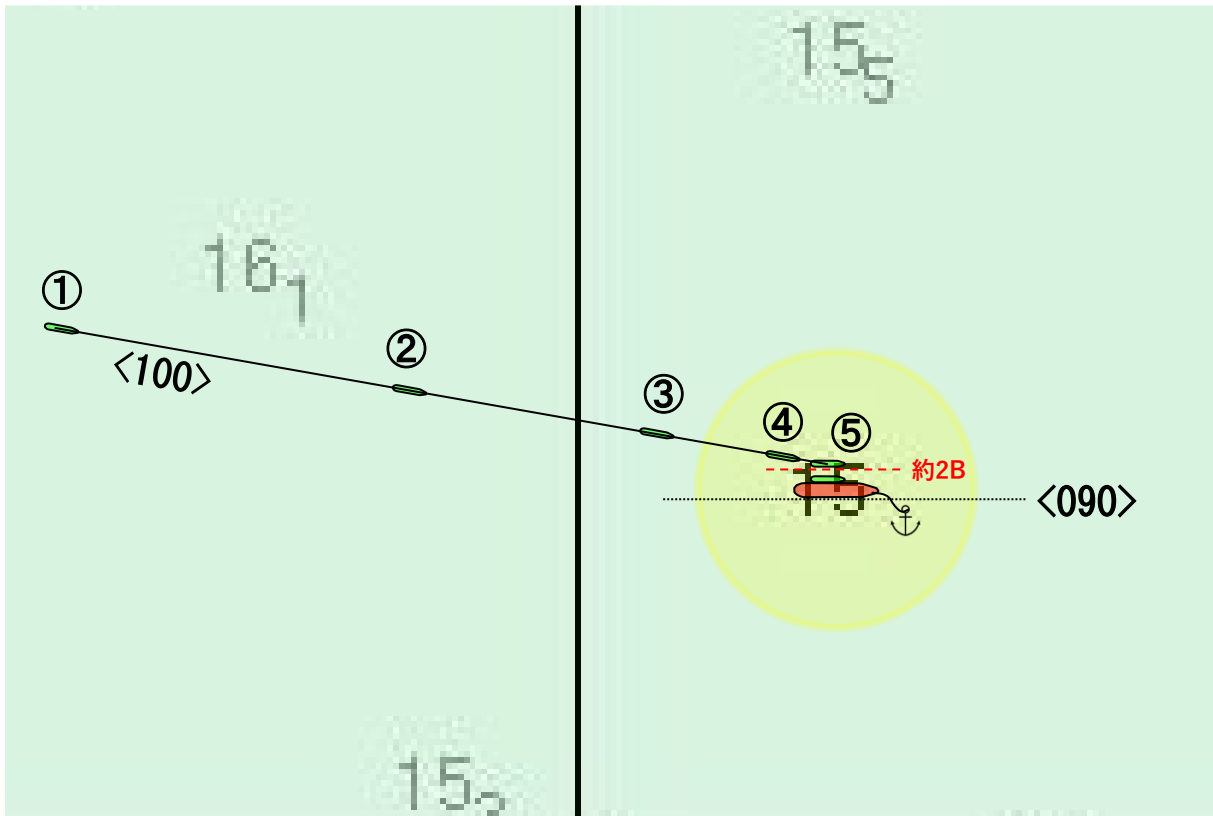


図 1.5.4 単錨泊中の LNG 燃料船への接舷操船（右舷接舷）

【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 1.5.5 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。

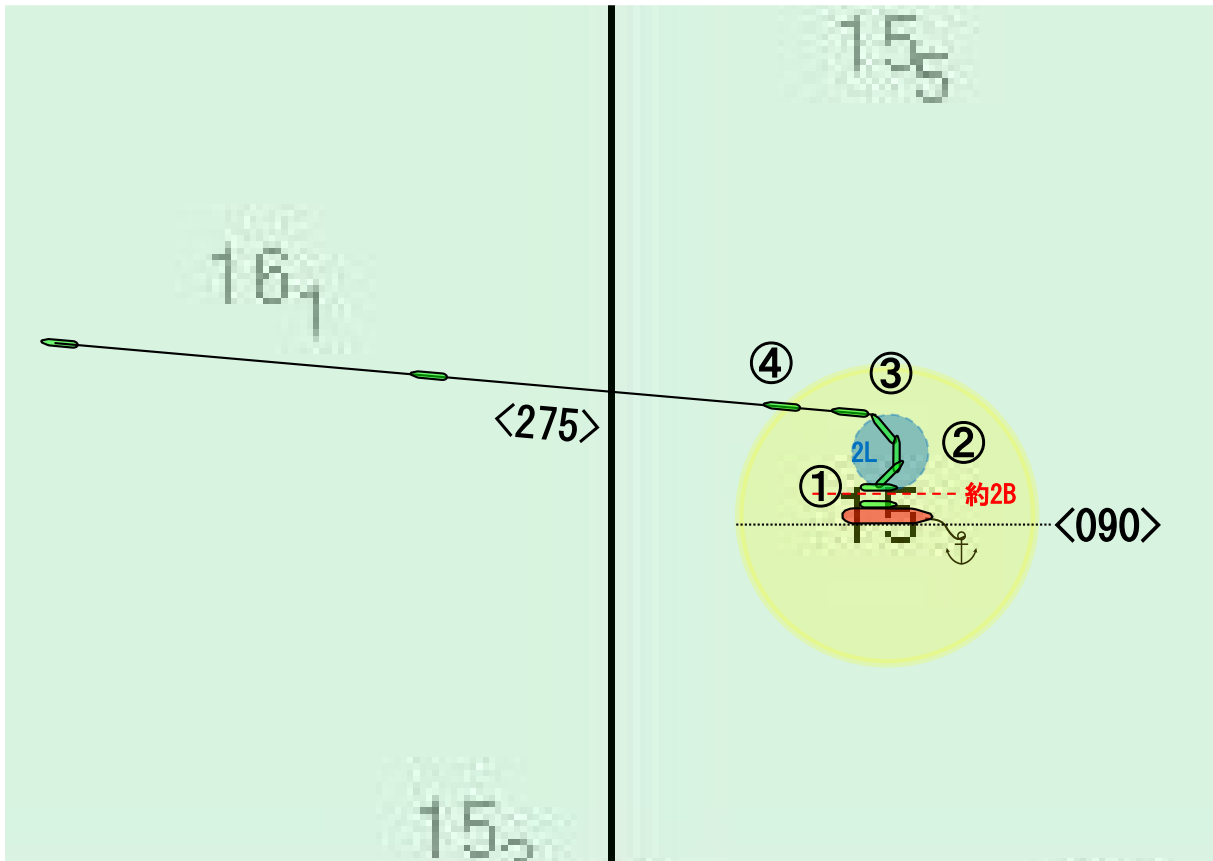


図 1.5.5 単錨泊中の LNG 燃料船への離舷操船（右舷接舷）

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した。

(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）として

- ・風向<090>
- ・風向<045>
- ・風向<135>

を設定した。風速は、現ガイドラインの限界風速を含む

- ・接舷時、Calm、8m/sec、10m/sec、12m/sec
- ・離舷時、Calm、10m/sec、12m/sec、15m/sec

を設定した。

なお、風は変動風とした。

② 波浪条件

波向は、風向と同じ向きの<090>を設定し、波高は、ガイドライン記載の限界波高 1.0m を設定した。

周期は、過年度の検討を踏まえて周期 8sec とした。

③ 潮流

潮流は、設定しないものとした。

④ 潮位

潮位は、低潮位時を設定した。

(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<090>から吹く風を設定した。

風速は、風速は、現ガイドラインの限界風速を含む

- ・接舷時、Calm、3m/sec、5m/sec、8m/sec、10m/sec、12m/sec
- ・離舷時、Calm、10m/sec、12m/sec、15m/sec

を設定した。

なお、風速は変動風とした。

② 波浪条件

波向は、風向と同じ向きの<090>を設定し、波高は、ガイドライン記載の限界波高 1.0m を設定した。

③ 潮流

潮流は原則設定しないものとし、1 ケースのみ流向<180>、流速 1 ノットを設定した。

④ 潮位

潮位は、低潮位時を設定した。

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ものとした。

(2) 錨

離接舷操船において錨は使用しないものとした。

(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（及び使用舵角を 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）を検討するためのケースを実施した。

(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」の使用を前提とした。

「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した。

(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ものとした。

LNG バンカー船は、右舷接舷及び左舷接舷を想定した。

(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ものとした。

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

1.5.6 実験操船者

操船者は、表 1.5.1 に示すとおり、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 5 名で実施した。

表 1.5.1 各操船者の実験参加状況

操船者	経験 (船長としての経験年数)	保有海技免状	第 1 回実験	第 2 回実験
A	LNG バンカー船の現役船長 (4 年 0 カ月)	三級海技士 (航海)	●	
B	外航船の元船長、元水先人 (3 年 1 カ月)	一級海技士 (航海)	●	●
C	外航船の元船長、元水先人 (3 年 6 カ月)	一級海技士 (航海)	●	●
D	外航船、内航船の元船長 (2 年 3 カ月)	一級海技士 (航海)	●	
E	内航船の現役船長 (12 年 0 カ月)	三級海技士 (航海)		●

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（第 1 回実験）

表 1.6.1 は、岸壁係留中の LNG 燃料船への離接舷操船シミュレータ実験実施ケースを示す。

1.6.2 錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船（第 2 回実験）

表 1.6.2 は、単錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船シミュレータ実験実施ケースを示す。

表 1.6.1 第1回操船シミュレータ実験実施ケース（岸壁係留中のLNG燃料船への離接舷操船）

CASE No.	操船者	接舷／離舷	接舷サイド	LNG燃料船 停泊状態	LNGバンカー船		風		波浪		昼夜間	備考
					回頭有無	載貨状態	風向 (deg)	風速 (m/sec)	波高 (m)	波向 (deg)		
1-1	A	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	10	1.0	090	昼間	
1-2	A	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	10	1.0	090	夜間	
1-3	A	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	12	1.0	090	夜間	
1-4	A	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	8	1.0	090	夜間	
1-5	D	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	12	1.0	090	昼間	
1-6	D	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	10	1.0	090	夜間	
1-7	D	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	
1-8	D	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	15	1.0	090	夜間	
1-9	B	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	昼間	
1-10	B	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	12	1.0	090	夜間	
1-11	B	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	夜間	
1-12	B	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	8	1.0	090	夜間	
1-13	A	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	スタンスラスターなし想定
1-14	B	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	夜間	スタンスラスターなし想定
1-15	C	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	普通舵想定
1-16	A	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	夜間	普通舵想定
1-17	C	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	10	1.0	090	昼間	
1-18	C	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	10	1.0	090	夜間	
1-19	C	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	090	12	1.0	090	夜間	
1-20	C	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	045	10	1.0	045	夜間	
1-21	A	離舷	右舷	岸壁係留中	無	バラスト	090	12	1.0	090	昼間	
1-22	A	離舷	右舷	岸壁係留中	無	バラスト	090	10	1.0	090	夜間	
1-23	A	離舷	右舷	岸壁係留中	無	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	
1-24	A	接舷	右舷	岸壁係留中	無	満載	045	10	1.0	045	夜間	
1-25	A	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	昼間	
1-26	A	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	12	1.0	090	夜間	
1-27	A	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	090	10	1.0	090	夜間	
1-28	A	接舷	左舷	岸壁係留中	有	満載	135	10	1.0	135	夜間	
1-29	A	離舷	右舷	岸壁係留中	有	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	

表 1.6.2 第2回操船シミュレータ実験実施ケース（錨泊中のLNG燃料船への離接舷操船）

CASE No.	操船者	接舷／離舷	接舷サイド	LNG燃料船停泊状態	LNGバンカー船		風		波浪		昼夜間	備考
					回頭有無	載貨状態	風向(deg)	風速(m/sec)	波高(m)	波向(deg)		
2-1	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	3	1.0	090	昼間	
2-2	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	8	1.0	090	昼間	
2-3	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	10	1.0	090	昼間	
2-4	C	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	8	1.0	090	昼間	
2-5	B	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	10	1.0	090	昼間	
2-6	B	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	12	1.0	090	昼間	
2-7	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	5	1.0	090	昼間	
2-8	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	12	1.0	090	昼間	
2-9	C	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	3	1.0	090	夜間	
2-10	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	5	1.0	090	夜間	
2-11	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	8	1.0	090	夜間	
2-12	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	10	1.0	090	夜間	
2-13	B	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	15	1.0	090	昼間	
2-14	C	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	8	1.0	090	夜間	
2-15	C	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	10	1.0	090	夜間	
2-16	B	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	12	1.0	090	夜間	
2-17	B	離舷	右舷	錨泊中	有	バラスト	090	15	1.0	090	夜間	
2-18	E	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	8	1.0	090	昼間	潮流<180>1ノット
2-19	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	5	1.0	090	昼間	
2-20	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	8	1.0	090	昼間	
2-21	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	10	1.0	090	昼間	
2-22	C	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	5	1.0	090	夜間	
2-23	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	8	1.0	090	夜間	
2-24	B	接舷	右舷	錨泊中	無	満載	090	10	1.0	090	夜間	

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した。

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、

- 舵角[deg]
- CPP 翼角[deg]
- 船首尾のスラスターピッチ角 [deg]

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[knot]
- 斜航角（ドリフトアングル） [deg]
- 回頭角速度[deg/min]
- 船首方向[deg]
- 船首／船尾（フェンダー配置箇所）の横移動速度[cm/sec]

を時系列グラフとして出力する。錨泊船への離接舷操船については相対運動も出力する。

(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ない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
接舷間際の評価基準は、以下のとおりとした。
 - ✓ 十分余裕あり：船首船尾接舷角 3 度以下（船首接舷＋、船尾接舷－）
 - ✓ 許容可：船首船尾接舷角 5 度以下（船首接舷＋、船尾接舷－）
 - ✓ 許容不可：船首船尾接舷角 5 度超（船首接舷＋、船尾接舷－）
- 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
接舷間際の評価基準は、以下のとおりである。
 - ✓ 十分余裕あり：船首船尾接舷速度 10cm/sec 以下
 - ✓ 許容可：船首船尾接舷速度 15cm/sec 以下
 - ✓ 許容不可：船首船尾接舷速度 15cm/sec 超
- 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
- スラスタ使用率
接舷時のスラスタ使用量に余裕があったかどうか
接舷間際の評価基準は、以下のとおりである。
 - ✓ 十分余裕あり：船首船尾スラスタの使用率 80%以下
 - ✓ 許容可：船首船尾スラスタの使用率 90%以下
 - ✓ 許容不可：船首船尾スラスタの使用率 90%超

⑤ 離舷

- 離舷角度

安全な離舷角度で離舷できていたかどうか

離舷間際の評価基準は、以下のとおりである。

- ✓ 十分余裕あり：船首船尾離舷角 10 度以下（船首離舷＋、船尾離舷－）
- ✓ 許容可：船首船尾離舷角 15 度以下（船首離舷＋、船尾離舷－）
- ✓ 許容不可：船首船尾離舷角 15 度超（船首離舷＋、船尾離舷－）

- 離舷速度

十分な離舷速度で離舷できていたかどうか

離舷間際の評価基準は、以下のとおりである。

- ✓ 十分余裕あり：船首船尾離舷速度 30cm/sec 以上
- ✓ 許容可：船首船尾離舷速度 10cm/sec 以上
- ✓ 許容不可：船首船尾離舷速度 10cm/sec 未満

- スラスタ使用率

離舷時のスラスタ使用量に余裕があったかどうか

離舷間際の評価基準は、以下のとおりである。

- ✓ 十分余裕あり：船首船尾スラスタの使用率 80%以下
- ✓ 許容可：船首船尾スラスタの使用率 90%以下
- ✓ 許容不可：船首船尾スラスタの使用率 90%超

- 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 段階の尺度で評価した。

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た。

1.8 操船シミュレータ実験による評価結果

1.8.1 岸壁係留中のLNG燃料船への夜間離接舷操船（第1回実験）結果

操船結果及び評価結果を参考資料 1-1 に示す。

接舷操船及び離舷操船の評価結果を整理すると以下のとおりである。

(1) 接舷操船

① 風速 8m/sec の場合

回頭なし 1 ケース (No.1-4)、回頭あり 1 ケース (No.1-12) を実施した。

いずれのケースも、接舷間際において船首尾スラスターの制御余裕を確保でき（推力 80%以下で使用）、かつ、接舷速度も船首尾ともおおむね 12 cm/sec 以下に制御できたことを確認した (No.1-4、No.1-12)。

② 風速 10m/sec の場合

風速 10m/sec の場合は、夜間との比較のため昼間の条件でも実施した。

具体的には、回頭なし 6 ケース (No.1-1(昼)、No.1-2、No.1-17(昼)、No.1-18、No.1-20、No.1-24) と回頭あり 7 ケース (No.1-9(昼)、No.1-11、No.1-14、No.1-16、No.1-25(昼)、No.1-27、No.1-28) を実施した。

a) 昼夜間の違いによる影響

夜間は昼間に対して変針のタイミングがやや遅れる傾向にあった (No.1-1 と No.1-2、No.1-17 と No.1-18、No.1-25 と No.1-27)。また、回頭のないケースでの減速アプローチでは、昼間は接舷前後位置に船位することができたが、夜間はやや行き過ぎたケースもあった (No.1-1 と No.1-2)。

接舷間際において、船首尾のスラスターの推力を 90%以上使用する場面が、昼間に対して夜間は微増 (昼間：船首 0%、船尾 12%、夜間：船首 6%、船尾 19%) した (No.1-1 と No.1-2)。一方、別の操船者の結果では、昼夜間とも船首尾スラスターの推力を 70%以下で適宜調整して制御できた (No.1-17 と No.1-18)。

操船者の主観的評価では、夜間は昼間に比べて操船難易度が、減速アプローチでは 2→3 に (No.1-1 と No.1-2)、接舷操船で 3→4 (No.1-17 と No.1-18) に上昇した。

b) 風向の違いによる影響

風向<045>で実施したケースは右変針しにくく、大舵角を使用しなかったため予定のコースから左側に大きく偏位した (No.1-20)。再度、別の操船者で実施したところ、大舵角と舵効を確保するために前進推力を使用したことによって意図どおり変針できたが、速力がやや過大となったため、減速アプローチ局面において目標の停止位置をオーバーした。また、接舷時は船尾側により強い風圧力が働いたため、船尾スラスターを使用して船尾側接舷速度を制御したが、接舷前後位置の調整が難しかった (No.1-24)。

一方、回頭して接舷したケースでは、船尾後方からの風であったがスラスターを適切に使用して安全な速度で接舷できたケースもあった (No.1-28)。

c) 回頭操船の有無による影響

回頭のあるケースが回頭のないケースに比べて操船制御が難しかった状況はみられなかった。逆に回頭のないケースは、減速アプローチから接舷操船の間、常に真横からの風の影響を受けるため、スラスターの使用率が回頭ありのケースよりも高くなる傾向にあった。

d) 船尾スラスター未搭載と普通舵の場合の影響

風速 10m/sec、風向<090>、回頭ありにて、スタンスラスターを使用しないケース (No.1-14) と普通舵想定として舵角 35 度に制限したケース (No.1-16) を実施した。船尾スラスターなしのケースでは、シリング舵を使用した船尾横制御のため、接舷時の CPP 操作が多くなり、接舷前後位置の調整が難しくなった (No.1-14)。

③ 風速 12m/sec の場合

回頭なし 2 ケース (No.1-3、No.1-19) と回頭あり 2 ケース (No.1-10、No.1-26) を実施した。

接舷間際において船尾スラスター使用率が高くなったケース (No.1-3、No.1-10、No.1-26) があり、船尾側の横制御力が不足し、船首尾の接舷速度を 15 cm/sec 以下に制御することが難しくなったケース (No.1-3、No.1-10、No.1-19) もあった。

(2) 離舷操船

① 風速 10m/sec

異なる操船者で 2 ケース (No.1-6、No.1-22) 実施した。

船首尾のスラスターを一杯で使用し、ほとんど機関 (CPP) を使用することなく、離舷、回頭することができた (No.1-6、No.1-22) 、

② 風速 12m/sec

昼間 2 ケース (No.1-5、No.1-21) と夜間 5 (No.1-7、No.1-13、No.1-15、No.1-23、No.1-29) を実施した。夜間 5 ケースのうち 2 ケースは、船尾スラスター未搭載想定 (No.1-13) と普通舵想定 No.1-15) である。

船首尾のスラスターを左一杯、シリング舵を右一杯 (70 度) としつつ、CPP 翼角を前進に微調整して船体を平行に維持して離舷、回頭することができた (No.1-5、No.1-7) 。

別の操船者が同じ条件で実施したところ、船尾を離そうと船尾スラスターを一杯としつつシリング舵を右一杯 (70 度)、CPP 翼角 Half としたため、船首が離れる前に前進し、離舷できなかったが (No.1-23) 、再実施したところ、船尾スラスターの出力を微調整することによって離舷することができた (No.1-29) 。

a) 昼夜間の違いの影響

操船結果に昼間と夜間で大きな違いはみられず、操船者も昼間と夜間に違いはないと

評価した (No.1-5(昼)と No.1-7(夜)、 (No.1-21(昼)と No.1-29(夜))。

b) 船尾スラスタ未搭載と普通舵の場合の影響

船尾スラスタ未装備を想定したケースでは、船首スラスタを左一杯、かつ、シリング舵を右一杯 (70度) にして CPP 翼角を前進 Half としたが、船体を離すことができなかった (No.1-13)。

また、普通舵想定の場合でも、船首尾のスラスタを左一杯としたが、船体を離すことができなかった (No.1-15)。

③ 風速 15m/sec

夜間 1 ケース (No.21) を実施した。

船首尾のスラスタを左一杯とし、かつ、シリング舵を右一杯 (70度) として CPP 翼角を前進 Half としたが、船体を離すことができなかった (No.1-21)。

図 1.8.1 と図 1.8.2 は、接舷間際における船首尾接舷速度の平均値と出現率、図 1.8.3 と図 1.8.4 は、接舷間際における船首尾スラスタの使用状況を、風速別・昼夜間別に比較したものである。

また、図 1.8.5 と図 1.8.6 は、接舷操船時における操船者の主観的評価による操船難易度を比較したものである。

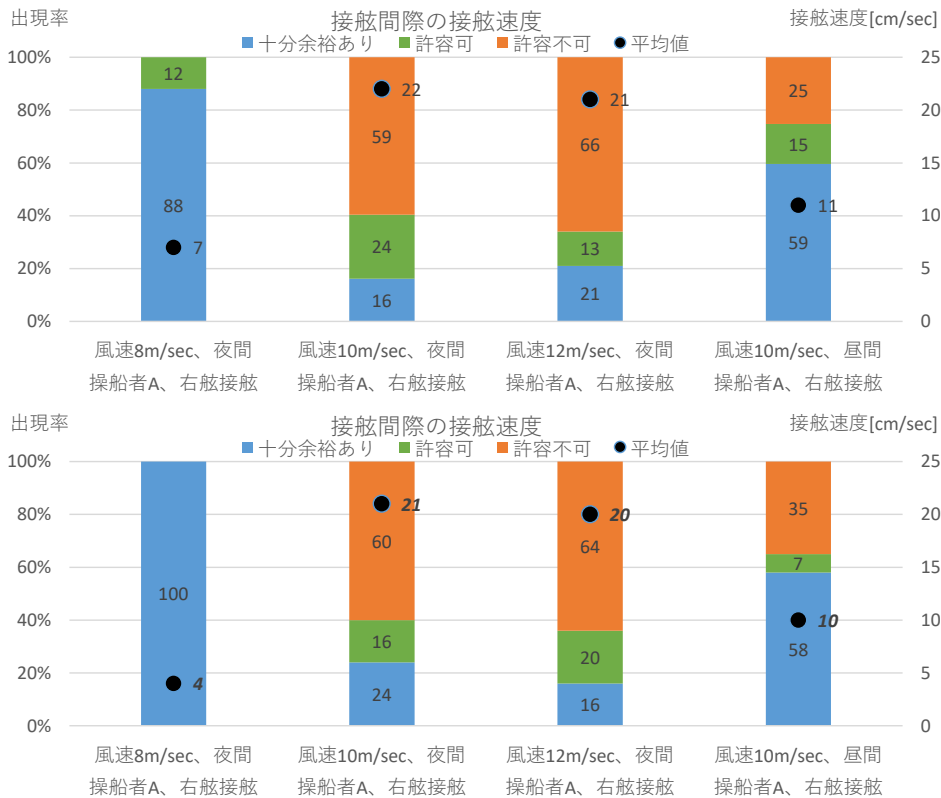


図 1.8.1 接舷間際における接舷速度 (岸壁係留船への右舷接舷、操船者 A)

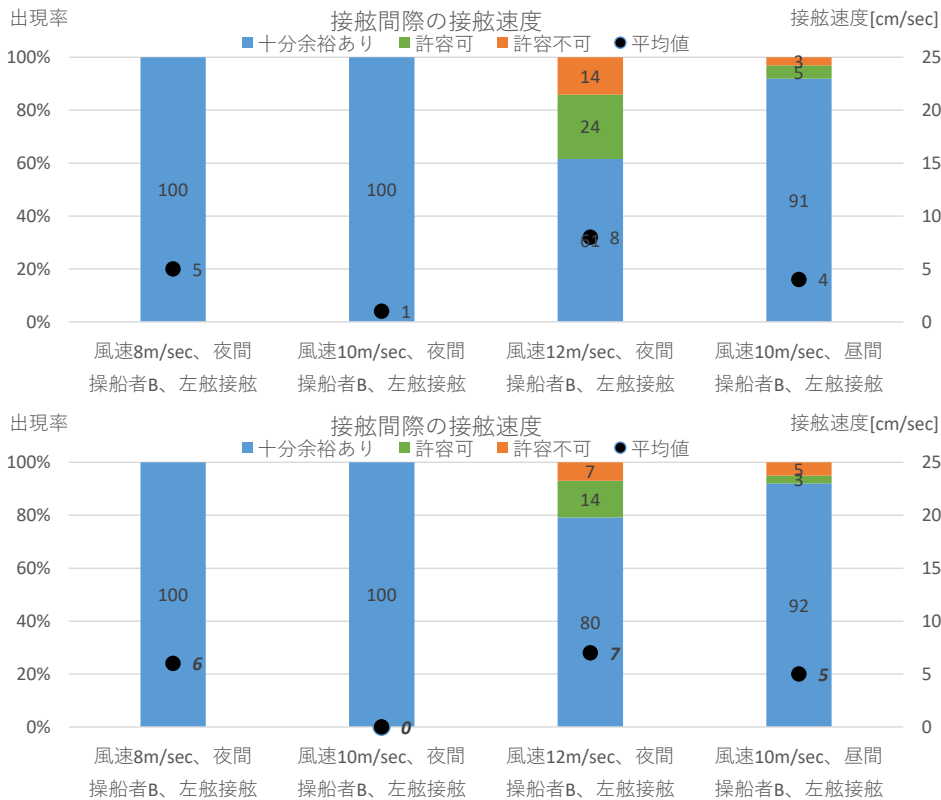


図 1.8.2 接舷間際における接舷速度 (岸壁係留船への左舷接舷、操船者 B)

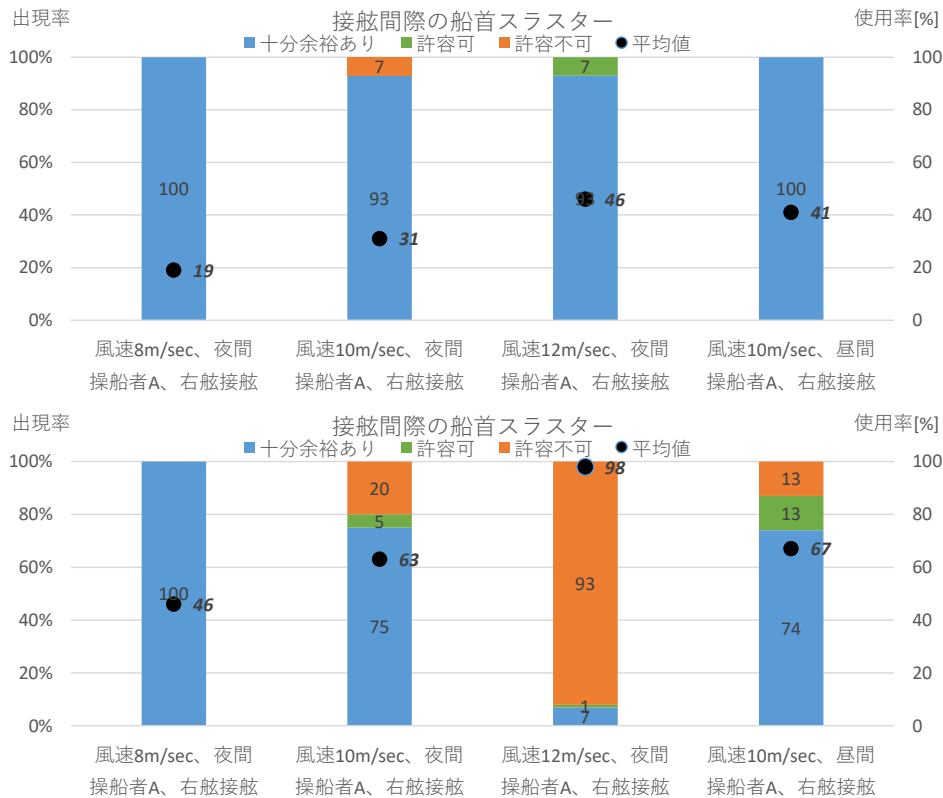


図 1.8.3 接舷間際における船首尾スラスタ使用状況 (岸壁係留船への右舷接舷、操船者 A)

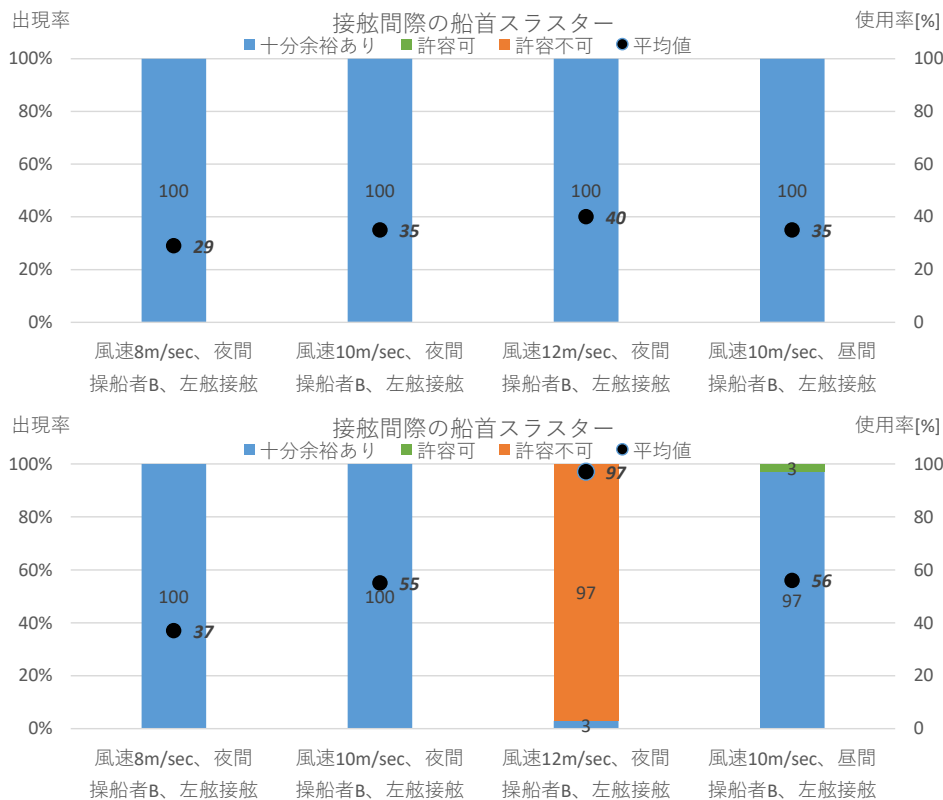


図 1.8.4 接舷間際における船首尾スラスタ使用状況 (岸壁係留船への左舷接舷、操船者 B)

操船難易度

操船者の主観的評価

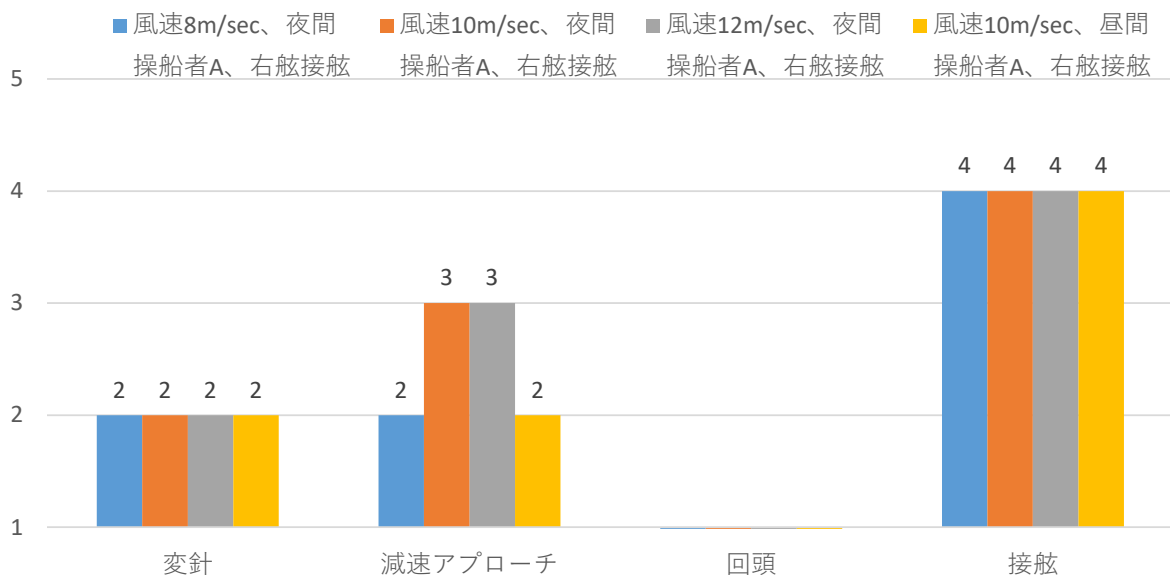


図 1.8.5 操船者の操船難易度（岸壁係留船への右舷接舷、操船者 A）

操船難易度

操船者の主観的評価

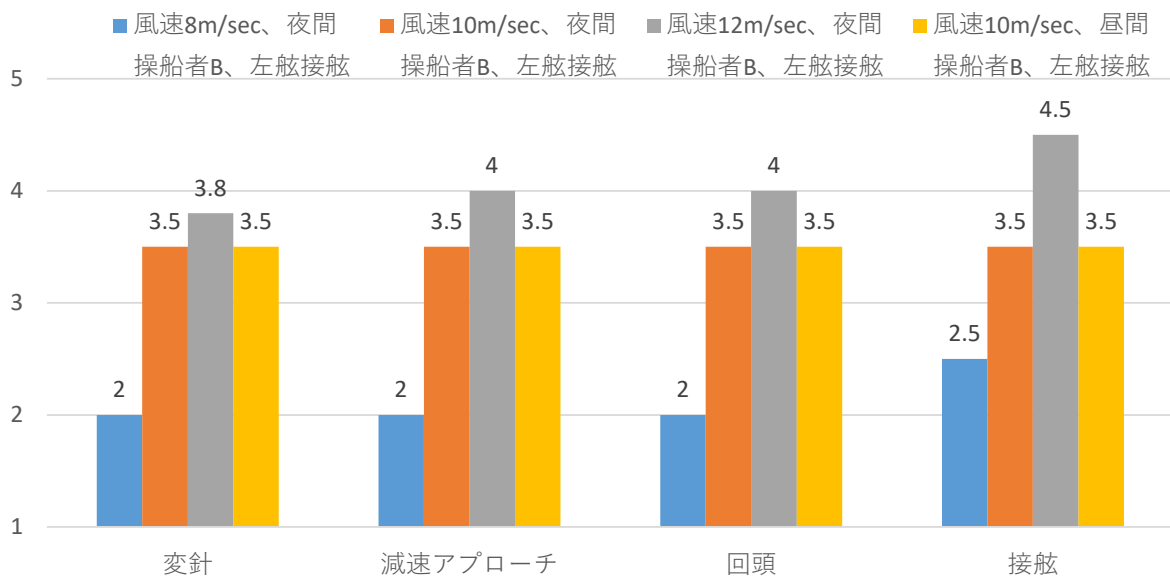


図 1.8.6 操船者の操船難易度（岸壁係留船への左舷接舷、操船者 B）

1.8.2 錨泊中の LNG 燃料船への離接舷操船（第 2 回実験）の結果

操船結果及び評価結果を参考資料 1-2 に示す。

接舷操船及び離舷操船の評価結果を整理すると以下のとおりである。

(1) 接舷操船

① 風速 3m/sec

接舷間際において、船首尾スラスターの使用率は、操船者 E は、昼間で船首 13%、船尾 12% (No.2-1) となり、操船者 C は、夜間で船首 14%、船尾 11% (No.2-9) となった。

スラスター推力 90%以上の出現率は、操船者 E の昼間、操船者 C の夜間ともに船首尾 0%であった (No.2-1 と No.2-9)。

接舷間際における接舷相対速度は、操船者 E は、昼間で船首 7cm/sec、船尾 8cm/sec (No.2-1) となり、操船者 C は、夜間で船首 12cm/sec、船尾 13cm/sec (No.2-9) となった。

操船者の主観的評価による操船難易度は、操船者 E は昼間で 2.5(減速アプローチ)と 2.5(接舷)と評価 (No.2-9) し、操船者 C は、夜間で 4(減速アプローチ)と 4(接舷)と評価した (No.2-9)。操船者 C は「錨泊船の風による振れ回りが激しく接近するのが難しかった。錨泊船がスラスターを使用して振れ回りを制御すればよい」とコメントした。

② 風速 5m/sec

接舷間際において、船首尾スラスターの使用率は、操船者 B は、昼間で船首 18%、船尾 15% (No.2-19) となり、夜間で船首 17%、船尾 22% (No.2-10) となった。操船者 E は、昼間で船首 15%、船尾 19% (No.2-7) となり、操船者 C は、夜間で船首 11%、船尾 11% (No.2-22) となった。

スラスター推力 90%以上の出現率は、操船者 B は、昼間で船首、船尾とも 0% (No.2-19) であったが、夜間は船首 0%、船尾 3% (No.2-10) となった。操船者 E は、昼間で船首尾とも 0% (No.2-7)、操船者 C は夜間で船首尾とも 0% (No.2-22) となった。

接舷間際における接舷相対速度は、操船者 B は、昼間で船首 6cm/sec、船尾 6cm/sec (No.2-19)、夜間で船首 8cm/sec、船尾 7cm/sec (No.2-10) となり、操船者 E は、昼間で船首 9cm/sec、船尾 9cm/sec (No.2-7)、操船者 C は、夜間で船首 9cm/sec、船尾 11cm/sec (No.2-22) となった。

操船者の主観的評価による操船難易度は、操船者 B は昼間で 2(減速アプローチ)と 2(接舷)、夜間は 3(減速アプローチ)と 3.5(接舷)になったが (No.2-19 と No.2-10)、操船者 E は、昼間で 2.5(減速アプローチ)と 2.5(接舷)と評価し (No.2-7)、操船者 C は夜間で 4(減速アプローチ)と 4(接舷)と評価 (No.2-22) した。操船者 C は「夜間のため本船に近づくと見えにくい」とコメントした。

③ 風速 8m/sec

接舷間際において、船首尾スラスターの使用率は、操船者 E は、昼間で船首 12%、

船尾 12% (No.2-2)。夜間で船首 25%、29% (No.2-11) となり、操船者 B は、昼間で船首 17%、船尾 25% (No.2-20)、夜間で船首 26%、船尾 28% (No.2-23) となった。潮流 1 ノットを真横から受ける昼間のケースでは、船首 34%、船尾 48%と他のケースと比べてスラスタ使用率が大きくなった (No.2-18)。

スラスタ推力 90%以上の出現率は、操船者 E は、昼間で船首、船尾とも 0% (No.2-2) であったが、夜間は船首 1%、船尾 7% (No.2-11) となった。操船者 B は、昼間で船首 5%、船尾 9% (No.2-20) となり、夜間で船首 2%、船尾 5% (No.2-23) となった、潮流 1 ノットを真横から受ける昼間のケースでは、船首 9%、船尾 24% (No.2-18) となった。

接舷間際における接舷相対速度は、操船者 E は、昼間で船首 2cm/sec、船尾 6cm/sec (No.2-2)、夜間で船首 7cm/sec、船尾 9cm/sec (No.2-11) となり、操船者 B は、昼間で船首-1cm/sec、船尾-1cm/sec (No.2-20)、夜間で船首-2cm/sec、船尾-2cm/sec (No.2-23) となった。

操船者の主観的評価による操船難易度は、操船者 E は、昼間は 3(減速アプローチ)と 3.5(接舷)、夜間は 4(減速アプローチ)と 4(接舷)になったが (No.2-2 と No.2-11)、操船者 B は、2(減速アプローチ)と 3.5(接舷)になり昼夜間に違いはなく、「風速 8m/sec の夜間は昼間と大差なく、最初に距離感になれることがポイント」とコメントした。なお、操船者 E による真横から 1 ノットの潮流を受ける昼間のケースに対する主観的評価は、4.5(減速アプローチ)と 4.5(接舷)になった。

④ 風速 10m/sec

接舷間際において、船首尾スラスタの使用率は、操船者 E は、昼間で船首 26%、船尾 32% (No.2-3)、夜間で船首 23%、船尾 27% (No.2-12) となり、操船者 B は、昼間で船首 38%、船尾 52% (No.2-21)、夜間で船首 43%、船尾 42% (No.2-24) となった。

スラスタ推力 90%以上の出現率は、操船者 E は、昼間で船首 0%、船尾 16%、夜間で船首 3% (No.2-3)、船尾 5% (No.2-12) となり、操船者 B は、昼間で船首 8%、船尾 23% (No.2-21)、夜間で船首 17%、船尾 29% (No.2-24) となった。

接舷間際における接舷相対速度は、操船者 E は、昼間で船首 11cm/sec、船尾 8cm/sec (No.2-3)、夜間で船首 8cm/sec、船尾 10cm/sec (No.2-12) となり、操船者 B は、昼間で船首-3cm/sec、船尾-3cm/sec (No.2-21)、夜間で船首 13cm/sec、船尾 11cm/sec (No.2-24) となった。

操船者の主観的評価による操船難易度は、操船者 E は、昼間は 3.5(減速アプローチ)と 4 (接舷)、夜間は 4.5(減速アプローチ)と 4(接舷)になり (No.2-3 と No.2-12)、操船者 B は、昼夜間いずれも 3.5(アプローチ)と 4.5 (接舷)と変化はなかったが、「夜間は昼間と比べて若干難しい」とコメントした (No.2-21 と No.2-24)。

⑤ 風速 12m/sec

接舷間際において、船首尾スラスタの使用率がそれぞれ 43%と 70%となった。スラスタ推力 90%以上の出現率は、船首 15%、船尾 35%となり、接舷時の船首尾スラ

スターの使用推力も強弱に激しく使用された。

接舷間際の接舷相対速度は、船首平均 25cm/sec、船尾平均 17cm/sec と大きく、過度な速度で接舷した。

操船者の主観的評価による操船難易度は、4.5(減速アプローチ時)と 4.5(接舷時)になり、「錨泊船の振れ回りが大きく、進入角、距離、速力変化も大きく難しい」とコメントした。

(2) 離舷操船

① 風速 8m/sec

操船者の主観的評価は、離舷 3、回頭 3 となり、船首尾スラスターの出力もいずれも 40%以下で安全に支障なく離舷できた (No.2-4、No.2-14)。

② 風速 10m/sec

スラスターを高出力で使用することで安全に支障なく速やかに離舷することができた (No.2-5)。また、船首尾のスラスター出力を 50%以下で制御しても安全に支障なく離舷できた (No.2-15)。

③ 風速 12m/sec

LNG 燃料船 (錨泊船) の振れ回り運動が大きくなったため、スラスターを高出力で使用して離舷したが、安全に支障なく行えた (No.2-6、No.2-16)。

操船者は「夜間は昼間を比べ、錨泊船 (LNG 燃料船) の運動が確認しづらくなるが、風速 10m/sec と 12m/sec はそれほど大差ない」とコメントした (No.2-6、No.2-16)。

④ 風速 15m/sec

LNG 燃料船 (錨泊船) の振れ回り運動が大きくなったため、スラスターを高出力で使用して離舷したが、安全に支障なく行えた (No.2-13、No.2-17)。

操船者は操船難易度をいずれも 3.5 と評価し、「難易度は昼と夜はほぼ同程度」とコメントした (No.2-17)。

図 1.8.7 と図 1.8.8 は、接舷間際における船首尾接舷速度の平均値と出現率、図 1.8.9 と図 1.8.10 は、接舷間際における船首尾スラスターの使用状況を、風速別・昼夜間別に比較したものである。

また、図 1.8.11 と図 1.8.12 は、接舷操船時における操船者の主観的評価による操船難易度を比較したものである。

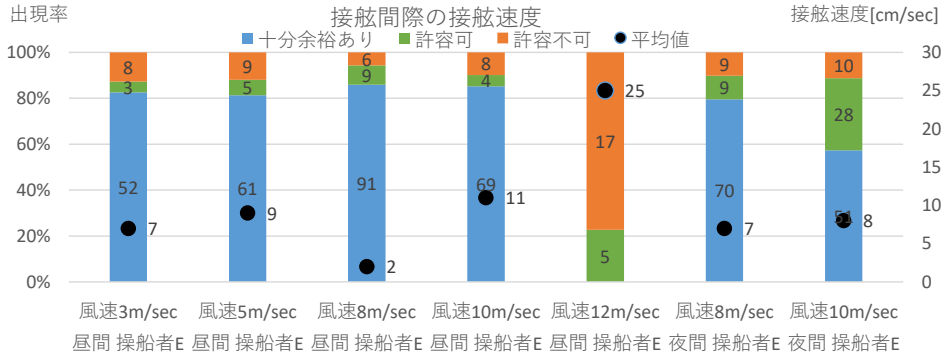
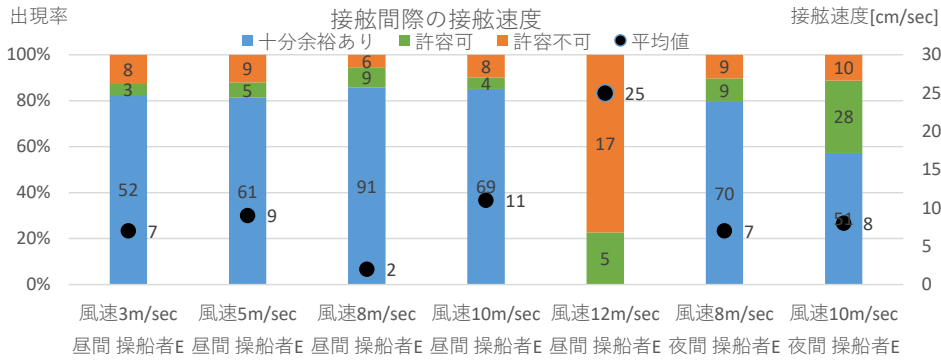


図 1.8.7 接舷間際における接舷速度（錨泊船への右舷接舷、操船者 E）

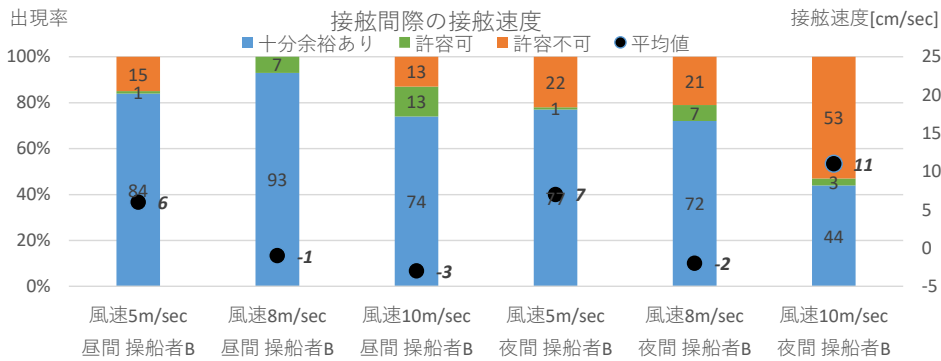
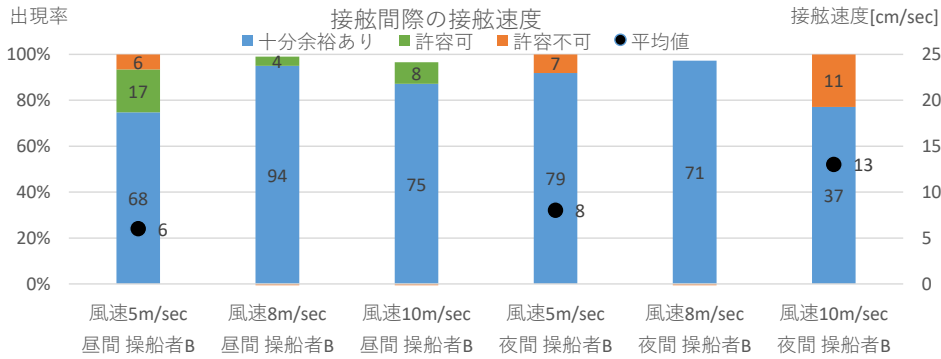


図 1.8.8 接舷間際における接舷速度（錨泊船への右舷接舷、操船者 E）

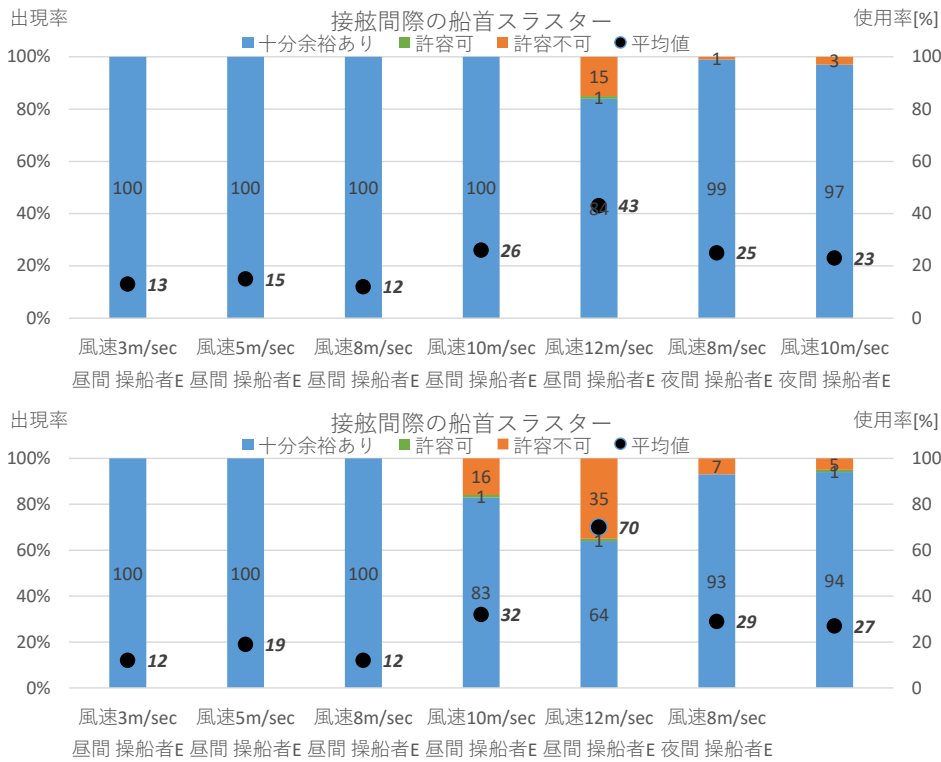


図 1.8.9 接舷間際における船首尾スラスタ使用状況 (錨泊船への右舷接舷、操船者 E)

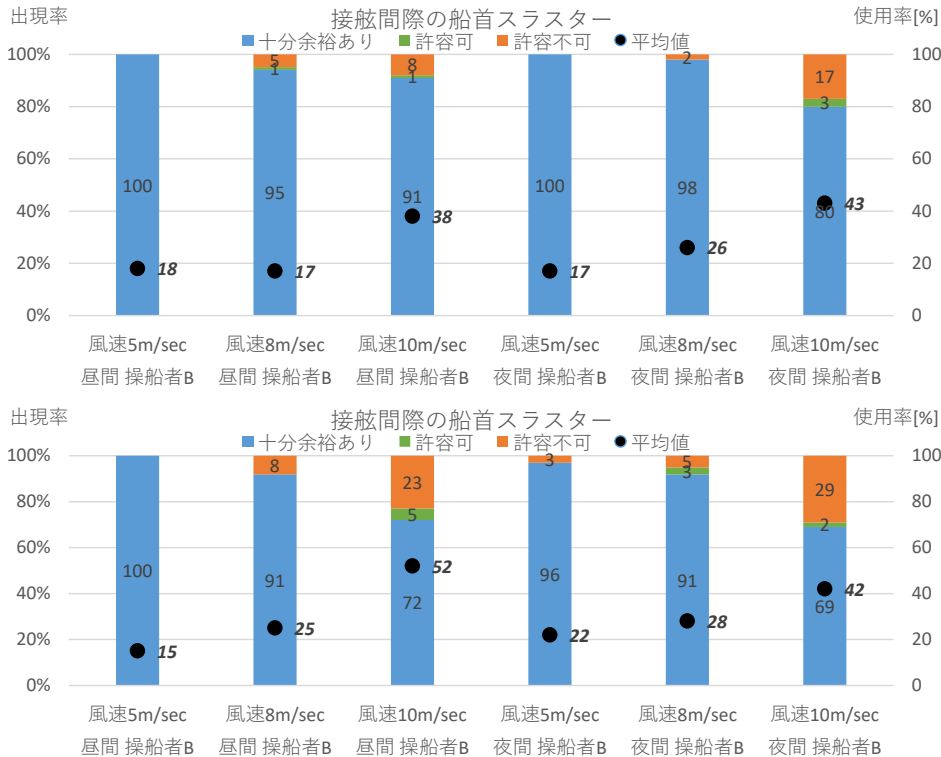


図 1.8.10 接舷間際における船首尾スラスタ使用状況 (錨泊船への右舷接舷、操船者 B)

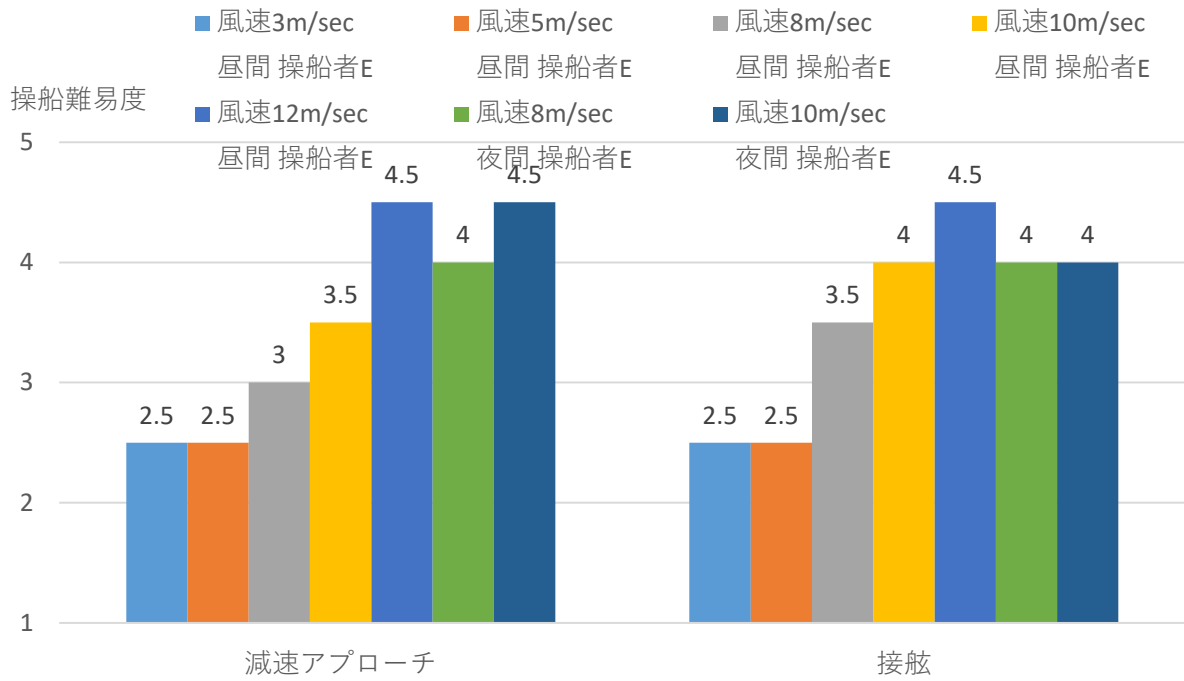


図 1.8.11 操船者の操船難易度（錨泊船への右舷接舷、操船者 E）

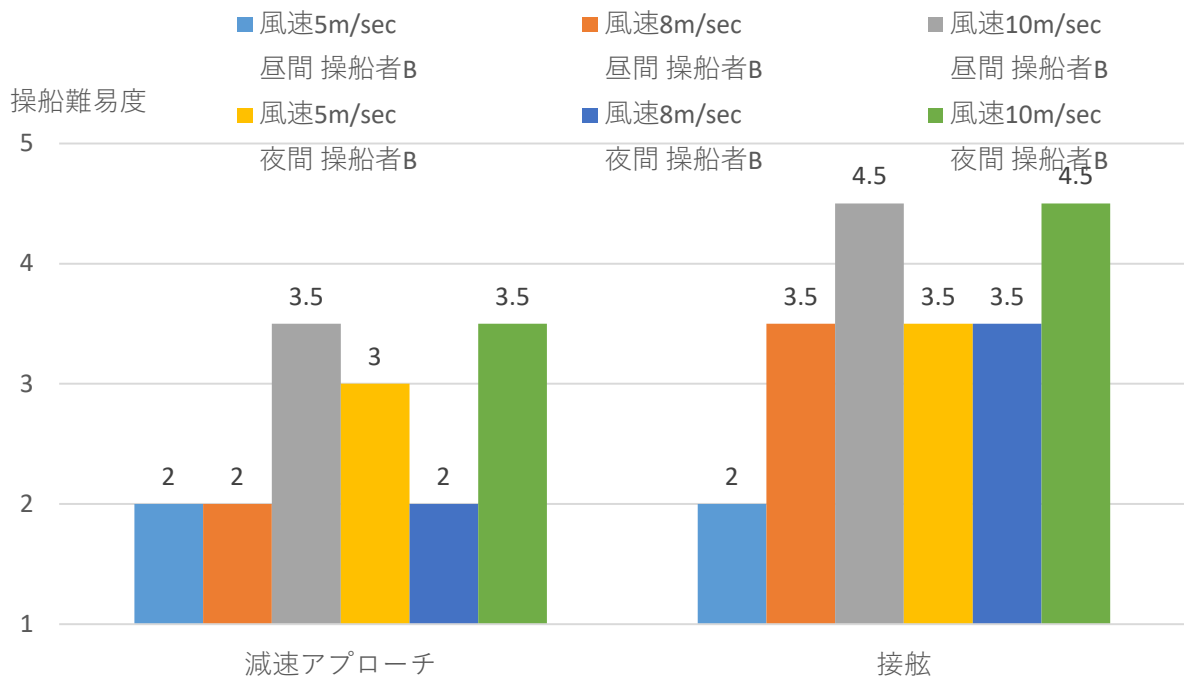


図 1.8.12 操船者の操船難易度（錨泊船への右舷接舷、操船者 B）

1.9 まとめ

1.9.1 岸壁係留中の LNG 燃料船への夜間離接舷

第 1 回操船シミュレータ実験の結果、以下の結論が得られた。

(1) バンカー船に求められる操船制御能力

バンカー船は、船首尾に同等能力のスラスターを装備するなど、船首尾に作用する外力影響のバランスを考慮し、ガイドラインに記載されている離接舷限界条件下で制御できるよう船首尾横制御力を確保する必要がある。

(2) 夜間の視認性への影響

夜間、港内航行時において、障害物や目標物との距離の判定や変針タイミングを見計らうのに視覚情報が制限され、誤認する可能性がある。

一方、LNG 燃料船の近くであれば、LNG 燃料船に適切な照明を設置することによって操船の安全に支障はないものと考えられる。

また、岸壁に設置された照明が点灯している場合には、LNG 燃料船の外観がより把握しやすくなり、視認性の向上に資することが確認できた。

(3) 風速の限界条件

① 接舷

風速 8m/sec での夜間接舷の実施は、制御力に十分余裕があり支障なく行えた。

風速 10m/sec での夜間接舷の実施は、制御力に余裕があり概ね行えたが、風向<045>とした一部のケースにおいては、予定どおりの操船が行えなかったケースもあった。

風速 12m/sec での夜間接舷の実施は、船首尾の横制御力に余裕がなく制御困難となる可能性があった。

② 離舷

離舷は、風速 12m/sec 以下で昼夜間とも行えたが、風速 15m/sec では制御力が不足して離舷できなかった。

風速 12m/sec では、離舷時に船首尾スラスターの使用出力が高くなったが、速やかに離舷するために意図的に用いたものであり、制御余裕が失われているわけではなく安全に支障はなかったと考えられる。

(4) その他

接舷操船において、今回の風条件（向岸風）では、風の影響を考慮して燃料船との距離を十分確保したコースでアプローチしており、広い操船水域を必要としていた。

以上より、岸壁係留中の LNG 燃料船に対する夜間接舷操船の実施は、風速 8m/sec が上限

になるものと思われるが、

- 今回実施と同等の水域条件、すなわち、自船の大きさに対して十分な広さの航路と泊地が確保されている
- 操船者（船長）が海域と自船の操縦性能を十分熟知していることが前提となる。

また、離舷操船については、現行基準の風速 12m/sec 以下で実施できることが確認できた。

1.9.2 錨泊中の LNG 燃料船への離接舷

第 2 回操船シミュレータ実験の結果、以下の結論が得られた。

(1) バンカー船に求められる操船制御能力

単錨泊中の燃料船は振れ回りによって前後左右に移動、回転するため、対象船舶は CPP による前後位置と速度の微調整を必要としていた。FPP のように設定速度が固定されている船舶は前後位置の調整が難しくなる。

また、燃料船の振れ回りによって、前後位置・速力の調整とともに船首尾の横距離・横速力の微調整も頻繁に行う必要があり、船首尾のスラスタ装備が必須となる。

(2) 夜間の視認性への影響

港内であれば、陸上の照明施設によって夜間でも視認性はある程度確保されることも考えられるが、錨地においては頼りになる光は錨泊船の錨泊灯及び照明のみとなる。実験では対象の LNG 燃料船のみであったが、実際には他の錨泊船の灯火・照明や背景光等により、LNG 燃料船の姿勢（向き）や距離が昼間に比べて把握しにくくなるものと予想される。LNG 燃料船近くであれば、照明によって昼間と同程度の視認性は確保されると考えられる。

(3) 風速の限界条件

① 接舷

風速 3 及び 5m/sec での接舷は、接舷間際において接舷速度 15cm/sec 以内に制御でき、船首尾スラスタ推力 90%以上で使用する場面もほとんどなく、横制御力に十分な余裕が確保されていた。操船者の主観的評価による操船難易度もおおむね中間の 3 以下であったが、夜間は難易度が高いと評価する操船者もあった。

風速 8m/sec での接舷は、接舷間際において接舷速度 15cm/sec 以内に制御でき、船首尾スラスタ推力 90%以上で使用する場面も見受けられた。横制御力に余裕は確保されていたが、風速 5m/sec での接舷よりも振れ回り速度が速く、接舷タイミングを十分に図る必要があり、接舷操船に時間がかかる場合も見受けられた。操船者の主観的評価による操船難易度は、昼間は 3 前後であるが夜間は 4 と評価した操船者もあった。

風速 10m/sec での接舷は、接舷間際において接舷速度 15cm/sec 以内に制御できたが、

船首尾スラスタ推力 90%以上で使用する場面が、最大で昼間は船尾 23%、夜間は船尾 29%となり、横制御力の余裕がない場面が発生した。操船者の主観的評価による操船難易度は、3.5～4.5 と高く、夜間は昼間と比べて難しいとするコメントがあった。

風速 12m/sec での接舷は、接舷間際において接舷速度 15cm/sec 以内に制御できず、過大な速度で接舷した。

② 離舷

離舷は、風速 15m/sec 以下で昼夜間とも支障なく行えた。

(4) その他

動的情報支援装置は LNG 燃料船の姿勢（船首方向、移動方向・速度）の把握に有効に活用されていた。特に振れ回りの大きい海象条件下や夜間は有効であった。一方、接舷間際において操船者（船長）は、船首尾スラスタ、CPP 操作及び燃料船との距離の把握に忙しく、動的情報支援装置を確認するのは難しく、航海士による補助を必要としていた。また、動的情報支援装置は、ECDIS と同様、AIS 情報に基づくため、移動速度の遅い錨泊船の情報更新間隔が長くなることに留意する必要がある。

夜間あるいは海気象条件が厳しく、LNG 燃料船側の振れ回り運動が大きくなる場合は、LNG 燃料船側からの情報提供が重要となる。

以上より、錨泊中の LNG 燃料船に対する夜間接舷操船の実施は、風速 5～8m/sec が上限になるものと思われるが、

- 錨泊船の船首方向や移動方向、速度に関する情報が安全な接舷操船に必要となる
 - 操船者（船長）が海域と自船の操縦性能を十分熟知している
- ことが前提となる。

また、離舷操船については、現行基準の風速 12m/sec 以下で実施できることが確認できた。

