

終 了 報 告 書

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)

課題名「エネルギーキャリア」

研究開発テーマ名「液化水素用ローディングシステム開発とルール整備」

研究題目「荷役等の運用にかかる安全性検討及び運用基準の策定」

研究開発期間：平成 28 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

研究担当者： 大内 勝美

所属研究機関：公益社団法人 日本海難防止協会

目次

1. 本研究の目的	1
2. 研究開発目標とマイルストーン	1
3. 研究実施内容	2
3-1. 調査内容	
3-2. 調査方法	
3-3. 調査・検討のフロー	
3-4. 液化水素運搬船の航行安全対策	
3-5. 液化水素荷役時の安全対策	
3-6. モデル港（神戸港）における航行安全検討の結果	
4. 外部発表実績	22
5. 特許出願実績	22
6. 参考文献	23

図表一覧

図1. 調査・検討のフロー
図2. 液化水素運搬船のイメージ
図3. 船側・陸側の荷役安全管理体制（案）
図4. 荷役中通常時の連絡体制（案）
図5. 荷役中緊急時の連絡体制（案）
図6. 入出港時における連絡体制（イメージ）
図7. 入港着岸操船時における操船シミュレータ実験の開始位置(出船右舷着けの場合)
表1. 操船シミュレータ実験の設定条件
表2. 操船シミュレータ実験の実施方案
表3. 荷役中止・係留限界の基準
表4. 阪神港神戸区における台風来襲時の対応・措置
表5. 神戸空港島北東端岸壁を利用する液化水素運搬船の運用基準
表6. 神戸空港島北東端岸壁を利用する液化水素運搬船のタグボート配備

1. 本研究の目的

水素は燃焼時に二酸化炭素を排出しないクリーンな燃料であり、化石燃料の 3 倍以上の燃焼エネルギーを有していることから、今後、水素燃料自動車や定置型燃料電池の普及に加え、火力発電の燃料としての利用など、来たる水素社会において大量の消費が見込まれている。

水素社会で見込まれる大量の水素需要に対応するためには、国内での製造のみならず、海外で安価な褐炭や再生可能エネルギーから水素を製造し、輸送効率を高めるためにコンパクトに液化することにより日本へ海上輸送する一連の水素サプライチェーンの確立が必要となる。

本研究において開発の対象である液化水素ローディングアームの開発と、それに関するルール整備については、上記水素サプライチェーンのうち、海外の液化水素基地から液化水素運搬船への荷積みと、国内の液化水素基地における液化水素運搬船からの荷揚げの作業において、船陸双方の設備を結ぶ重要なインターフェースとなるものであり、水素の安定供給の観点から欠くことができない。しかしながら、液化水素用ローディングアームは未だ世の中に存在しておらず、また、関連する安全対策や安全基準も整備されていない状況にある。

こうした状況の中、本研究開発において実用化レベルの液化水素ローディングシステムを開発することと並行して、液化水素運搬船の入出港に係る航行安全対策、液化水素荷役の安全対策を検討した。

2. 研究開発目標とマイルストーン

研究開発目標の達成に向けた 3 年間にわたる研究開発の経過を以下に示す。

【平成 28 年度】

マイルストーン：運用条件の素案の策定

- 港則法上の危険物である液化水素の荷役等の運用にあたっては、港長の許可が必要となることから、運用の安全を示すために荷役・係留の限界条件や入出港等の運用の条件を検討
- 港則法等の関係法令の改正も視野に入れた安全基準の整備、関係部局との調整

【平成 29 年度】

マイルストーン：運用条件の検討

- 日本海洋科学と連携し、運用の安全を示すために荷役・係留の限界条件や入出港等の運用の条件等を検討

【平成 30 年度】

マイルストーン：運用条件のとりまとめ

- 神戸地区で実施した航行安全対策委員会において審議されたモデル港（神戸港）における航行安全対策について最終取り纏めを実施
- 報告書「液化水素運搬船の神戸港における航行安全対策に関する調査研究（神戸地区委員会）」として委員及び関係官庁に配布
- 中央（東京）で実施した航行安全対策委員会において審議された一般的な航行安全

対策について最終取り纏めを実施

- ▶ 報告書「液化水素運搬船の航行安全対策に関する調査研究」として委員及び関係官庁に配布

3. 研究実施内容

本研究では、後者の神戸港をモデルケースとした液化水素荷役の安全対策を含め液化水素運搬船の航行安全対策を検討した。

3-1. 調査内容

調査内容については、以下のとおり。

- (1) 液化水素の特性について
- (2) 液化水素運搬船の概要について
- (3) 液化水素の荷役について
- (4) 液化水素運搬船、栈橋の防災対策、リスク評価について
- (5) 液化水素運搬船の港内航行、着離栈操船の安全対策について
- (6) 液化水素荷役時の安全対策について
- (7) モデル港（神戸港）における安全対策について
 - ・荷役・係留限界条件について
 - ・入出港の運用条件について

3-2. 調査方法

学識経験者、海事関係者及び関係官庁等を構成員とする委員会を都内で開催し、液化水素運搬船の航行安全対策及び液化水素荷役の安全対策を検討した。

また、モデル港（神戸港）の調査検討は神戸地区の学識経験者、海事関係者及び関係官庁等を構成員とする委員会を神戸で開催し、神戸地区での液化水素運搬船の航行安全対策、液化水素荷役の安全対策を検討した。神戸で開催した委員会で取りまとめた検討結果は都内で開催の委員会において諮問した。

出席者：

液化水素運搬船及びローディングアーム設計担当者、船舶の荷役・運航、海上防災、航行安全に係る有識者及び実務者、関係官庁担当官（国土交通省、海上保安庁、経済産業省、総務省）

3-3. 調査・検討のフロー

調査・検討のフローを図1に示す。

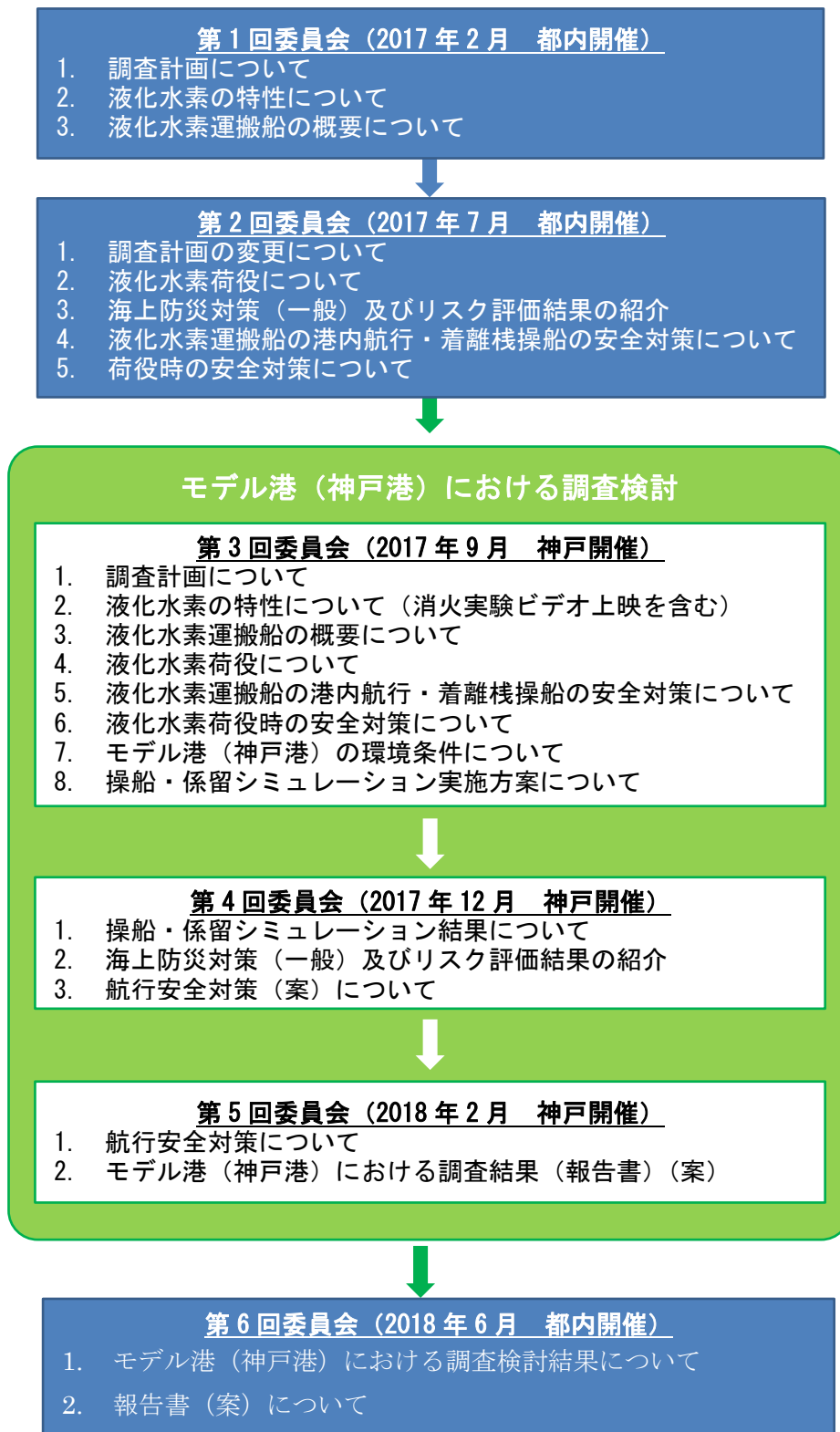


図1. 調査・検討のフロー

3-4. 液化水素運搬船の航行安全対策

液化水素運搬船（図2にイメージを示す）の港内航行・着離棧操船の安全対策及び液化水素荷役時の安全対策は、個別の港湾や岸壁・棧橋の環境等を考慮して策定することとなる。

船舶の運航及び社内規程（手順書等）の策定にあっては、危険物（液化水素）積載船の特殊性に鑑み、海上衝突予防法、海上交通安全法、港則法等の海上交通関連法令を遵守することはもとより、海上保安庁の航行安全指導収録等を遵守するとともに、「危険物積載船舶の停泊場所指定及び危険物荷役許可の基準について」の一部改正について（保交航第76号、平成28年12月21日）や大型タンカー及び大型タンカーバースの安全防災対策についての一部改正について（保警環第118号の2、保交安第149号の2、平成26年3月31日）を参考にし、安全の確保に努める。

また、初寄港の前には、水先人等の関係者と相談し、事前に本船の操縦性能を確認することが望ましい。

(1) 内航 LNG 船の港内航行・着離船操船の安全対策

液化水素運搬船と同様に蓄圧式の貨物タンクを搭載した内航 LNG 船については、その港内航行・着離棧操船の安全性に関し、港湾事情調査、操船水域にかかる検討、着棧時・係留中の安全性検証、運用基準・防災対策の策定について検討されることが一般的である。

但し、港内の航行環境や岸壁・棧橋の環境条件は各々異なることから、検討の項目、手法及び深度については、各港湾の事情を勘案の上追加または割愛される場合がある。

入港着棧時及び離棧出港時における運用条件と、その安全性（制御余裕）を確認することを目的に操船シミュレータ実験を実施する場合もある。操船シミュレータ実験は、有識者、海技者や関係官庁担当者も立会の下で、実際に操船者（水先人など）がシミュレータ上で本船及びタグボートを制御することにより、入出港操船時における安全性を検証・確認するものである。

(2) 液化水素運搬船と内航 LNG 船の相違点

本検討において検討の対象とする液化水素運搬船と同船型の内航 LNG 船を比較した場合、以下の項目が相違点として挙げることができる。

- 液化水素の液比重は「0.0709」であり、メタン（LNG）の「0.42」に比べ20%程度と非常に小さいことから、貨物タンク容量に対する載貨重量トンが小さい。
- 載貨重量トンが小さいことから、満載時とバラスト時の喫水の差が小さい。
- 貨物タンクに真空二重構造を採用することにより、同貨物容量に対して貨物タンクが大規模化したこと及び外航船仕様の採用に伴い、船型も大型化した。
- 大型化したことに伴い、正面及び側面の受風面積が増大した。



図2. 液化水素運搬船のイメージ

(3) 液化水素運搬船の港内航行・着離棧操船の安全対策

検討対象である液化水素運搬船は、操船面において、就航済みの内航 LNG 船と比べて船型の大型化や受風面積の増大と言った着離岸操船面のデメリットや、全長が長いと言った大洋航海におけるメリットがある。また、貨物重量が小さいことから、満載状態とバラスト状態の変化が小さいと言った特徴もある。

従って、液化水素運搬船を新規に受け入れる場合にあっては、本船が危険物積載船であることを勘案し、外航・内航問わず、従来の内航 LNG 船と同様に港内航行及び着離岸操船等の安全性について検討し、運用条件（着岸中止基準、荷役中止基準、離岸基準など）を含む航行安全対策を策定する必要がある。

また、本船は排水量が小さく、風圧面積が大きいと言った特徴より、強風下における低速時には、姿勢制御が困難となる状況も想定されることから、慎重な検討が望まれる。個別港湾の入出港条件等において、配備するタグボートに要件が規定されている際、配備可能なタグボートの出力が本船の排水量等に対して大きい場合には、岸壁・棧橋前面における着岸局面において、船体姿勢制御がより困難化することも想定されることから、その安全性について検討することが望ましい。

更に、緊急時に備え、出船着岸を検討する場合にあっては、港の環境条件、港内の操船環境や、検討対象とする本船の仕様等を踏まえ、操船シミュレータ実験を実施するなどし、本船の運航に関する関係者と検討を行うことが望ましい。

なお、湾内航行において、輻輳海域等、航行安全の観点より懸念される点がある場合にあっては、追加の検討事項の必要性について、本船の運航に関する関係者と協議することが望ましい。

3-5. 液化水素荷役時の安全対策

液化水素及び水素ガスには各々特性があることから、荷役機器や設備の仕様や荷役手順などについて確認・検討し、以下に示す事項を中心に安全対策を策定する必要がある。

(1) 荷役安全管理体制

液化水素運搬船の荷役の実施に際しては、予め下記に係る体制を整備する。

- 船側の荷役安全管理体制の整備（各主要役職者の職務範囲や業務内容等を含む）
- 陸側の荷役安全管理体制の整備（各主要役職者の職務範囲や業務内容等を含む）
- 通常時及び緊急時の連絡体制の整備

船側及び陸側の荷役安全管理体制（案）を図3に示す。また、荷役中の通常時及び緊急時の連絡体制（案）を図4及び図5に示す。

これらの具体的な体制については、基地供用開始前に整備し、関係者及び関係省庁へ周知する。

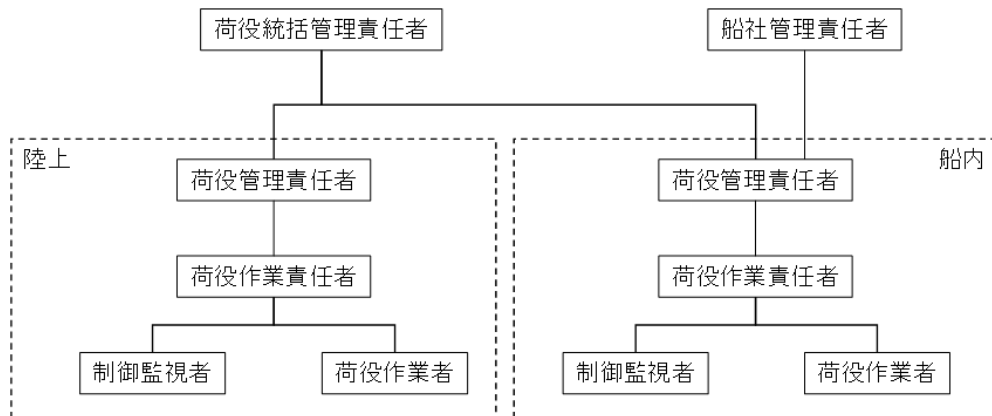


図3. 船側・陸側の荷役安全管理体制（案）

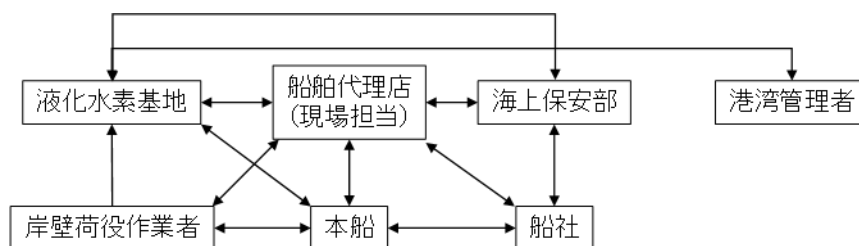


図4. 荷役中通常時の連絡体制（案）

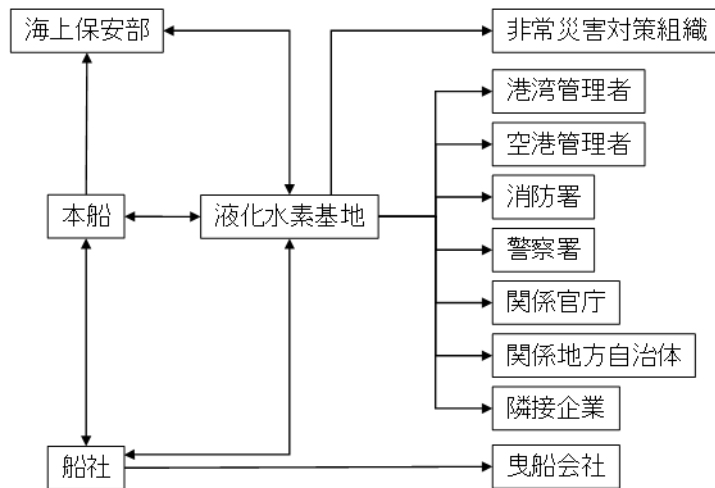


図5. 荷役中緊急時の連絡体制 (案)

(2) 荷役開始前の安全対策

①下記事項等を含む要領を定めた「荷役作業基準」を作成し、これを遵守すること。

1. 荷役作業責任者
2. 荷役前会議
3. 安全確認
4. 荷役開始前の判定
5. その他、必要な事項

②船長は、下記事項等について陸側荷役管理責任者と打合せし、それに基づく荷役方法、手順を乗組員に周知徹底し、荷役の安全を図る。

1. 荷役能力、初期流速、荷役計画
2. 荷役時の事故防止対策
3. 緊急時の連絡方法
4. 陸側の緊急停止装置の操作
5. 事故時の措置
6. その他、事前の確認事項

③下記項目等を含むチェックリストに基づき、荷役開始前に確認する。

1. 海上保安庁の通達に基づき、着積中の液化水素運搬船から 30m 以内の水面に他船が接近しないような措置を講じること
2. 荷役に先立っては陸側荷役作業責任者立会いのもとに、ガス検知を行うこと
3. 船内へのガス浸入を防止するため、一切の窓を閉鎖し、また風向を考慮して使用する出入口を指定の上「指定出入口」及び「開放厳禁」の掲示板を掲示すること
4. 消火器は法定数以外に持運び式粉末消火器を 2 本常備し、荷役開始前には非常時に備えて使用可能な場所に配置しておくこと
5. 乗組員は、静電防止服、安全帽及び静電安全靴を着用し、マッチ、ライター、携帯電話等の発火器具を携帯しないこと
6. レーダーの電波発射を禁止すること
7. 荷役中は燃料の補給等の作業は行わないこと

8. 関係者以外の立ち入りを禁止すること
9. 夜間に荷役を開始する場合にあっては、適切な照明が確保されていることを確認すること

(3) 荷役中の安全対策

①係留中は、係留状況を厳重に監視し、適宜係船機操作により係留索の張り合わせを調整する。

②荷役関連設備の設置

1. 緊急遮断システム（ESDS）及び緊急離脱装置（ERS）を使用すること。
2. マニホールド付近にドライケミカルを放出できる装置を装備すること。

③下記事項等について、要領等を定めた「荷役作業基準」を作成し、これを遵守する。

1. 荷役開始時期
2. 貨物ポンプの起動
3. 荷役当直（監視等）の配置
4. 夜間荷役の体制
5. 静電気災害の防止
6. 貨物ポンプ及びコンプレッサーの作動状況の確認
7. 荷役の中断等
8. 荷役終了前の作業

④留意事項

1. 気象・海象の情報収集に努めること
2. 船長は、荷役の中止について陸側荷役管理責任者と協議の上、適切な措置を講じること
3. 荷役中においても荷役開始前と同様、着棧中の液化水素運搬船から 30m 以内の水面に他船が接近しないような措置を講じること
4. 液化水素運搬船の荷役作業に関しては、事前に周囲航行船舶や港内の関係者へ情報を提供すること

(4) 液化水素運搬船の航行安全対策（一般的に必要とされる安全対策）

液化水素運搬船の航行安全対策として一般的に必要とされる安全対策の項目を以下に示す。

①荷役設備の安全性の確認

液化水素荷役（揚荷役・積荷役）に使用するローディングアームやフレキシブルホースなどの荷役設備の安全性について、確認を行う。

②荷役作業手順の安全性の確認

液化水素荷役（揚荷役・積荷役）の実施に向け、荷役作業の手順を策定し、安全性を確認する。

実際の荷役実施までに時間を要し、詳細が決定していない場合にあっては、受入れ

計画船舶の就航までに適当な作業手順を策定することとする。

③船間保安距離にかかる検討

液化水素運搬船の仕様（貨物タンク容量など）や運用方法について確認し、従来の規定内容にて安全を確保できることを確認する。

④運用基準の策定

液化水素運搬船の入出港着離棧操船及び荷役中の安全対策として、入港時における着岸・着棧中止基準、荷役中止基準、出港時における離岸・離棧中止基準（係留限界基準）について検討を行い、運用基準を定める。着岸・着棧中止基準については、基本となる運用基準（気象・海象条件、着岸・着棧時間帯、着岸・着棧の舷など）や、着岸・着棧を見合わせる際の条件を含む。

⑤荷役安全管理体制の構築

液化水素運搬船及び陸上基地の両側について、液化水素の荷役安全管理体制を構築する。

⑥入出港時・着岸中の連絡体制の構築

液化水素運搬船の受入れにあつては、入出港時における連絡体制を構築する。入出港時における連絡体制のイメージを図6に示す。

また、液化水素運搬船の係留中（荷役中を含む）については、船陸間の連絡体制について、通常時とともに、緊急時の体制についても構築する。

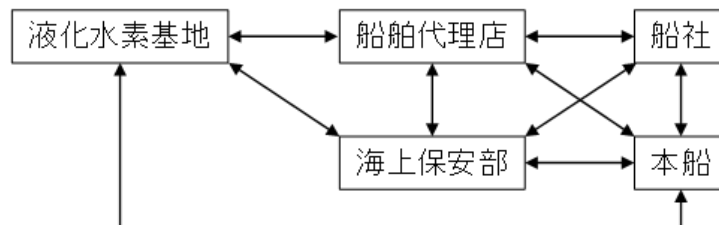


図6. 入出港時における連絡体制（イメージ）

⑦情報提供等

液化水素運搬船の荷役作業に関しては、事前に周囲航行船舶や港内の関係者へ情報を提供する。

⑧荷役の安全対策の策定

液化水素荷役の実施にあつては、荷役の実施要領を定めた荷役諸規定、各種マニュアルやチェックリストを作成し、遵守する。

また、荷役開始前、船長は陸側荷役管理責任者と打合せを行い、それに基づく荷役方法及び手順を乗組員に周知徹底し、荷役の安全を図る。

⑨海難緊急時の初動対応の構築

液化水素運搬船の荷役中における緊急時対応については、事前に船内緊急対応規程や緊急訓練手順書などを作成し、遵守する。

また、初動対応を迅速かつ適切に行うためには、日々の訓練が重要となることから、船陸間を含む訓練を適宜行う。

⑩地震・津波対策の策定

液化水素運搬船の入港が予定される港湾について、予想される地震・津波に対する安全対策を策定する。

入港が予定される港湾によっては、既に地震・津波に対する検討がなされており、具体的な対策が策定済みの場合もある。その場合には、海上防災対策の検討委員会における検討結果の活用や、既存の関係者と調整などを含め、港外退避の順序等といった液化水素運搬船の対応を取り決める。

また、日頃より緊急離岸訓練等を通じて、予想される津波到達時間以内に安全な海域まで避難するなど、最善の対策が取れるよう努めることも肝要である。

⑪ニアミス事例の収集・活用

液化水素運搬船については、航行中、係留中及び荷役中のニアミス事例を積極的に収集する。必要に応じて、ニアミス事例に基づき安全対策を改訂する。

3-6. モデル港（神戸港）における航行安全検討の結果

神戸港と対象とした液化水素運搬船の運用に係る検討結果を以下に示す。

(1) 操船シミュレータ実験の概要

① 実験の概要

実施日：2017年10月23日（月）／24日（火）

実施場所：株式会社日本海洋科学 操船シミュレーションセンター

② 条件設定

操船シミュレータ実験の設定条件の一覧を表1に示す。

③ 実験ケース

実験当日の議論を経た最終的な実験ケースを表2に示す。また、操船シミュレータ実験の開始位置の概位を図7に示す。

表 1. 操船シミュレータ実験の設定条件

操船経路	入港：神戸空港島沖合～着岸 (外力条件により神戸空港東方灯標を航過後から実施) 出港：離岸～神戸空港島沖合 (外力条件により岸壁東側海域での変針後まで実施)
操船者	大阪湾水先区水先人会 水先人
他船交通流	原則なし (本船入出港時における神戸中央航路航行船舶との見合い関係を確認できる他船のみ設定)
時間帯	昼間及び夜間
対象船型	液化水素運搬船 (貨物タンク容量2,500m ³)
載貨状態	入港：満載／バラスト 出港：バラスト／満載
タグボート	入港：2隻 (2,400PS) 出港：2隻 (2,400PS)
風向	入港：3方向 (NE、SSW、West) 出港：2方向 (North、East) 注：強風 (風速10m/sec以上) の卓越風向を中心に、低速変針で操船上の影響が大きいと考えられる風向を選定 注：突風率は1.4を設定
風速	入港：無風、3風速 (8・10・12m/sec) 出港：無風、4風速 (8・10・12・15m/sec)
波浪	波向：原則として風向と同じ 波高：0.5m、風速15mにおいて1.0m
潮流	風向North・NEの場合 流向：SW、流速：0.4ノット 風向Eastの場合 流向：West、流速：0.3ノット 風向SSW・Westの場合 流向：East、流速：0.3ノット 注：設定する風向と同方向に流れる場合が、操船上の影響が大きいことから、周辺海域において、平均大潮時の流況より選定
潮位	潮位は海図水深

表2. 操船シミュレータ実験の実施方案

入港

ケース No.	着岸 方法	載貨 状態	時間帯	交通流	開始 位置	風		波		潮流		タグ ボート	確認事項
						風向	風速	波向	波高	流向	流速		
1	入船	バラスト	昼間	あり	①	無風		なし		なし		2 隻	実験の指標となるシンプルな条件
2	入船	満載	昼間	あり	①	NE	8m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		アプローチ時の切り上がり、変針の量
3	入船	バラスト	昼間	なし	②	West	10m/sec	SSW	0.5m	East	0.3kt		アプローチ時の切り上がり、変針の量
4	入船	満載	昼間	なし	②	NE	10m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		強向岸風下での着岸
5	入船	バラスト	昼間	なし	②	SSW	12m/sec	SSW	0.5m	East	0.3kt		強離岸風下での着岸
6	出船	バラスト	昼間	あり	②	NE	8m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		通常想定される条件
7	出船	バラスト	昼間	なし	②	SSW	10m/sec	SSW	0.5m	East	0.3kt		強離岸風下での回頭・着岸
8	出船	バラスト	昼間	なし	②	NE	10m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		強向岸風下での回頭・着岸
9	出船	バラスト	昼間	なし	②	NE	12m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		強向岸風下での回頭・着岸
10	出船	バラスト	夜間	あり	①	NE	10m/sec	NE	0.5m	SW	0.4kt		夜間・強向岸風下での回頭・着岸

出港

11	入船	バラスト	昼間	なし	—	East	10m/sec	East	0.5m	West	0.3kt	2 隻	強風下での回頭
12	入船	バラスト	昼間	なし	—	North	12m/sec	North	0.5m	SW	0.4kt		強向岸風下での離岸・回頭
13	入船	バラスト	昼間	なし	—	North	15m/sec	North	1.0m	SW	0.4kt		強向岸風下での離岸・回頭
14	入船	バラスト	夜間	なし	—	East	15m/sec	East	1.0m	West	0.3kt		夜間・強風下での離岸・回頭
15	出船	バラスト	昼間	なし	—	North	15m/sec	North	1.0m	SW	0.4kt		強向岸風下での離岸
16	出船	バラスト	昼間	なし	—	North	8m/sec	North	0.5m	SW	0.4kt	なし	タグボートの支援を受けない離岸
17	入船	バラスト	昼間	なし	—	North	8m/sec	North	0.5m	SW	0.4kt	なし	タグボートの支援を受けない離岸

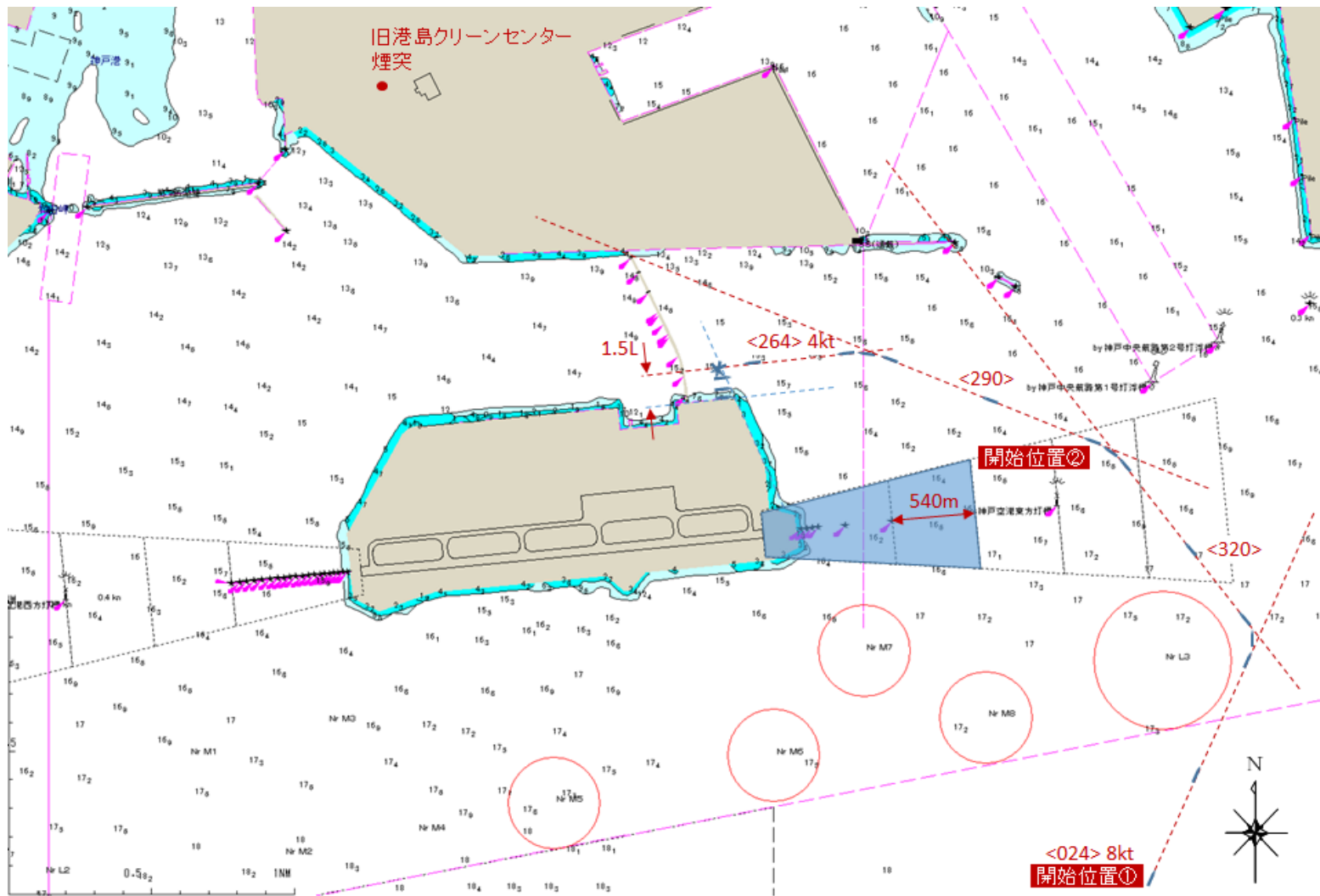


図7. 入港着岸操船時における操船シミュレータ実験の開始位置（出船右舷着けの場合）

(2) 実験結果の概要

操船シミュレータ実験では、実験時の状況に応じて、操船者及び海技免状を有する評価者により設定条件の変更やケースの省略や追加を適宜検討し、合計 17 ケースの操船シミュレーションが実施された。

本実験においては、入港及び出港ケースそれぞれについて、入船左舷着け及び出船右舷着けによる操船シミュレーションを実施した。また、本実験では、夜間の入港及び出港ケースとともに、タグボートの支援を受けない出港ケースを含めた。

(3) 入港ケースのまとめ

① アプローチ操船

操船シミュレータ実験により、北寄りの風の場合、本船は変針方向とは逆方向に切り上がり、且つ、風下に圧流されるため、その影響を考慮した舵効き確保、変針ポイント、針路などが重要となる。その際、神戸空港制限表面、神戸中央航路航行船舶との見合い関係、錨泊地の停泊船の状況に留意を要することも重要である。

保針時、舵効きが確保できるよう主機を使用する事により、風速 12m/sec において保針可能であることを確認した。

減速局面においては、十分な能力のあるタグボートを配置し、適宜バウスラスターを使用することにより、ゆとりある状況の確保が肝要となる。

② 着岸操船

着岸時、着岸舷に関わらず、風速 12m/sec の条件下でタグボート 2 隻を主とし、バウスラスターを補助として使用することにより着岸可能であることが確認された。この時、回頭方向については、風向等の外力の影響を考慮して選択し、タグボートを適宜配置することが望ましい。

但し、排水量が小さく、風圧面積が大きな検討対象船では、操船した水先人からも「風船のような船だ」といった感想もあり、強風下において出力の異なる船首側バウスラスターと船尾側タグボートの組み合わせで姿勢を制御することが困難な状況が認められた。そのため、着岸時にはタグボート 2 隻による着岸を基本とし、必要に応じてバウスラスターを使用することが望ましい。

また、操船シミュレータ実験においては、風速 12m/sec の条件においても操船可能であったものの、排水量が小さく、風圧面積が大きいといった本船と特徴と、配備可能なタグボートの出力が大きいことも影響し、着岸時の姿勢制御が困難な状況が確認された。従って、着岸中止基準は操船の余裕を勘案し、風速 10m/sec することが望ましいと思料される。

③ 着岸舷

本船の操船性は、載貨状態により大きな差異がないことも確認された。そのため、国内の危険物専用船岸壁においては入船着岸が一般的であるものの、本検討対象船に対しては、後述する緊急時に本船設備のみで出港する操船シミュレータ実験の結果も勘案し、着岸舷は出船右舷着けとすることが望ましいと思料される。

④ 夜間入港

検討対象船は、原則として日出から日没までに入港することとしている。
操船シミュレータ実験においては、何かしらの事由により夜間の入港が必要となった場合を想定し、夜間のケースも実施した。その結果、注意は要するものの、昼間と同様に入港操船可能なことを確認した。

(4) 出港ケースのまとめ

① 離岸操船

操船シミュレータ実験により、風速 15m/sec までの条件においては、タグボート 2 隻により十分な余裕を持って離岸出港可能なことを確認した。

一方、風速 10m/sec 以下の状況においては、船首側でタグボートを使用せずに、バウスラスタのみでも出港可能なことが確認された。そのため、風速 10m/sec 以下の状況であれば、タグボート 1 隻のみでの出港も可能なものと思料される。

但し、着岸舷に関わらず、東寄りの風では、空港大橋方向への圧流が懸念されることから留意が必要である。

② 着岸舷

操船シミュレータ実験では、着岸舷の選定及び緊急離岸時の状況確認を目的として、タグボートの支援を受けずに本船設備のみで出港するケースも実施した。

その結果、出船右舷着けの場合には、向岸風（風向 North）、風速 8m/sec において、本船船体（船尾）が岸壁に接触したことから、本船船体や防舷材が損傷する可能性あるものの、出港可能なことを確認した。

一方、同条件において、入船左舷着けからの出港操船においては、船尾側の横推力を得るために主機を使用すると、前方の空港大橋に接近し、余裕を持った操船が困難なことが確認された。

③ 夜間出港

検討対象船は、原則として日出から日没までに出港することとしている。
操船シミュレータ実験においては、何かしらの事由により夜間の出港が必要となった場合を想定し、夜間のケースも実施した。その結果、注意は要するものの、昼間と同様に夜間出港操船可能なことを確認した。

(5) 係留動揺シミュレーションの概要

検討対象船が神戸空港島北東端岸壁に係留中の安全性について、風及び波の不規則外力による係留中の船体動揺が係留索及び防舷材に与える影響（係留索張力及び防舷材吸収エネルギー（許容歪量）との関係）について、係留動揺シミュレーションにより下記項目等について検討した。

- 荷役限界条件（風速や波高の条件に対して荷役を中止すべき限界条件）の検討
- 係留限界条件（荷役は行わないものの、本船を岸壁に係留可能な限界条件）の検討

(6) 係留動揺シミュレーションの結果の概要

① 入船左舷係留

係留動揺シミュレーションの結果、船体動揺量に基づき評価する荷役運用条件については、向岸風（風向 North）の条件で横揺（ROLL）が、離岸風（風向 South）の条件で左右揺（SWAY）が、共に風速 13m/sec 以下であれば、許容値を下回ることが確認された。

また、係留索張力及び防舷材歪量に基づき評価する係留限界条件については、離岸風（風向 South）の条件において風速 15m/sec 以下であれば、すべての係留索張力及び防舷材歪量が許容値を下回ることが確認された。

② 出船右舷係留

係留動揺シミュレーションの結果、船体動揺量に基づき評価する荷役運用条件については、離岸風（風向 South）の条件において、風速 13m/sec 以下であれば左右揺（SWAY）が許容値を下回ることが確認された。

また、係留索張力及び防舷材歪量に基づき評価する係留限界条件については、離岸風（風向 South）の条件において風速 15m/sec 以下であれば、すべての係留索張力及び防舷材歪量が許容値を下回ることが確認された。

(7) 荷役中止・係留限界の基準

水域施設及び防舷材の評価、係留動揺シミュレーションの結果より、神戸空港島北東端岸壁における液化水素運搬船の荷役中止基準及び係留限界基準は表 3 のとおりとする。

ただし、荷役中止基準については、係留動揺シミュレーションの結果では平均風速 13m/sec まで許容値に収まっているものの、ローディングアーム及びフレキシブルホースの仕様 が平均風速 10m/sec となっている。従って、荷役中止基準としては、風速 10m/sec として運用する。

また、係留限界風速については、本検討において風速 15m/sec まで係留可能との結果を得ていることから、係留限界風速は 15m/sec とする。

表 3. 荷役中止・係留限界の基準

係留方法		入船左舷係留	出船右舷係留
荷役中止基準	風速	平均風速10m/sec以上	
	波高	有義波高0.5m以上	
係留限界基準	風速	平均風速15m/sec以上	
	波高	有義波高0.5m以上	

(8) 航行安全対策の概要

① 入港着岸操船

実証船は強制水先対象船ではないものの、神戸港入港マニュアル（神戸市みなと総局）に基づき水先人の嚮導及びタグボートの支援を受けることを原則とする。

また、着岸中止基準は、平均風速 12m/sec の条件下では着岸時の船体姿勢の制御が困難であった操船シミュレータ実験の結果を考慮し、平均風速 10m/sec 以上、有義波高 0.5m 以上とする。その際、神戸港入港マニュアルに基づき 2,000 馬力以上のタグボート 2 隻の支援を受けることとする。但し、本船は排水量が小さく、風圧面積が大きいことを考慮し、大きな馬力のタグボートの支援を受ける場合には小まめな制御に努める。

その他、特に入港着岸時に操船者が留意すべき点を以下に示す。

- 錨泊地の停泊船との適切な離隔距離の確保
- 神戸中央航路入出港船との見合い関係への対応
- アプローチ時における風上への切り上がりと風下への圧流の対応
- 出船着岸時の風向に基づく回頭方向の選択とタグボートの配置
- 強風下における主としたタグボート使用と補助的なバウスラスタの使用
- 周辺運航船舶との調整

② 着岸舷

着岸舷は、操船シミュレータ実験において、入船左舷着けも可能であることは操船シミュレータ実験で確認されているものの、以下の点が確認されたことから、原則として出船右舷着けとする。

また、緊急時であっても水先人による嚮導及びタグボートの支援を受けることを原則とし、自船のみでの出港の操船上の要点についてはマニュアル等により明文化することが望ましい。

- 載貨状態による喫水等の影響が僅かであり、操船性に大きな差がないこと
- 緊急時、向岸風下でタグボートの支援を受けずに出港するケースより、入船左舷着けの場合には離岸操船時に空港大橋へ接近することにより出港が困難であったのに対して、出船右舷着けの場合には船体または防舷材が損傷する可能性があるものの、出港可能であったこと

③ 荷役

荷役は原則として日中に開始するものの、本船等のスケジュールによっては夜間の荷役開始も可能なものとする。夜間の荷役開始する際には、海上防災関係の専門家による検討結果も踏まえ、適切な設備（照明など）が整備されていることを前提とする。

荷役中止基準は、係留動揺シミュレーション結果及びローディングアームまたはフレキシブルホースの仕様を勘案し平均風速 10m/sec 以上、有義波高 0.5m 以上とする。

なお、停泊中（着岸中かつ荷役以外の時間帯）については、荷役中の安全対策を準用することとし、安全の確保に努める。

④ 長期係留

危険物積載船は、航路管制や日出を待つなどの調整は要するものの、荷役終了後、速やかに出港することが一般的である。検討対象船においても、原則として荷役終了後、速やかに出港する。

ただし、神戸港において 2020 年度に予定されている実証実験において、貨物タンクに液化水素または水素ガスを積載したまま長期間にわたり係留する場合にあっては、別途安全対策を策定する。

⑤ 離岸出港操船

出港時は水先人の嚮導及びタグボートの支援を受けることを原則とする。

また、離岸基準は、操船シミュレータ実験の結果を考慮し、平均風速 15m/sec とする。その際、支援を受けるタグボート隻数については、平均風速 10m/sec のケースでは船首側をバウスラスター、船尾側をタグボート 1 隻にて制御可能であった操船シミュレータ実験結果や、専門家意見でも 1 隻のみで出港可能との評価がなされていることを勘案し、平均風速 10m/sec 未満の場合は 2,000 馬力以上のタグボート 1 隻を配備する。また、平均風速 10m/sec 以上の場合は 2,000 馬力以上のタグボート 2 隻を配備する。

⑥ 夜間における入出港

検討対象船は、操船シミュレータ実験の結果より、昼間と同様に入出港操船可能なことが確認されているものの、原則として日出から日没までに入出港する。夜間に入出港する必要がある場合にあつては、前広に神戸海上保安部へ連絡・相談し、適切に運用することとする。

ただし、入港時においては、着岸する液化水素受入基地の岸壁を本船から視認できるよう、十分な岸壁照明が整備されていることを前提とする。

⑦ 周囲航行船舶との調整

岸壁に向けた操船時においては、神戸・関空ベイ・シャトルの高速船 2 隻が神戸空港に発着する時間に十分留意し、必要に応じて運航調整を行う。

(9) 緊急時の対応

① 海難緊急時の初動対応

液化水素または水素ガスの漏洩、火災を伴わない衝突・乗揚げ等海難緊急時の初動対応は、内航 LNG 船の対策にならって対応することとする。

なお、初動対応を迅速かつ適切に行うことには、日常の訓練が重要であることから、下記の点に留意しなければならない。

- 船内緊急対応規程及び手順書により本船において訓練を適宜行うこと
- 陸上部門の迅速・適切な対応が不可欠であることから、船陸合同初動対応訓練を行うこと

② 荒天時の対応

入港着岸に向けた準備段階において、荷役・係留中に平均風速が 15m/sec 以上に達する荒天が見込まれる場合にあつては、入港を見合わせる。

また、荷役・係留中に平均風速が 15m/sec 以上に達することが予想された場合にあつては、速やかに荷役中止、出港準備（水先人及びタグボートの手配を含む）を行い、離岸出港する。

③ 台風来襲時の対応

阪神港神戸区に影響を与える台風の来襲が予想される場合、または、その来襲が確実と判断された場合は、阪神港長より発出される在泊船舶に対する避難勧告等に基づき、適切に対応する。

当該避難勧告は、その状況により 3 段階に分類されることから、「阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区台風災害防止要綱」に基づき、適切な措置を取る。なお、当該避難勧告の 3 段階と、その措置は表 4 に示すとおり。

表 4. 阪神港神戸区における台風来襲時の対応・措置

区分	台風の状況	措置内容
警戒態勢	台風が大阪湾に接近するおそれがあるとき。 (風速15m/sの強風域が阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区に達する虞があるとき。)	在港各船は台風の動向に留意し、乗組員の待機、機関の準備など必要な避難体制を整えること。
大型船等 避難勧告	阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区が台風の暴風域に入るおそれがあるとき。 (風速15m/sの強風域が阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区に達する6時間前)	1. 10,000総トン以上の船舶は、原則として港外に避泊すること。 2. 1,000総トン以上の船舶（フェリー等を除く）は原則として入港を見合わせること。 3. 工事作業船等は作業等を中止し、安全な場所に避難すること。 4. 1,000総トン未満の船舶は避泊場所を選定し、時機を逸することがないように避泊を開始すること。
全船舶 避難勧告	阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区が台風の暴風域に入ることが必死と考えられるとき、あるいは両区に重大な影響を与えると判断されるとき。 (風速15m/sの強風域が阪神港神戸区及び尼崎西宮芦屋区に達する5時間前)	1. 1,000総トン以上の船舶は、原則として港外に退避し、保船等万全の措置をとること。 2. 1,000総トン未満の船舶は、港内等の安全な場所に避難し厳重な警戒措置をとること。

④ 地震津波対応

地震が発生し、兵庫県瀬戸内海沿岸に津波に関する注意報や警報が発表された場合、平成 25 年 6 月 28 日開催の船舶津波対策委員会による取り決め事項等を掲載した「神戸港入港マニュアル」（平成 27 年 4 月、神戸港港湾管理者）の「阪神港神戸区在港船舶の津波避難について」に基づき、迅速かつ適切に対応する。同様に、平成 29 年 12 月 15 日には、第五管区海上保安本部より「大津波警報・津波警報発表時の船舶交通の規制について」が公表されており、船舶交通の規制及び推奨非難海域が示されていることから、適切に対応する。

また、津波来襲時に備え、日頃より本船のみならず、陸上関係者を含めた関係者での訓練を実施し、備える。

(10) 運用基準

液化水素運搬船が神戸空港島北東端岸壁に入港着岸及び離岸出港する際の基準は、以下のとおりとする。

① 入港着岸時の運用

入港着岸時の運用は以下のとおりとする。

- 入港着岸は、日出から日没の間に行い、原則として出船着岸とする。
- 2,000 馬力以上のタグボート 2 隻の支援を受ける。
- 気象・海象等の影響で着岸を見合わせた場合は、関係者と調整の上、安全な海域で待機する。

② 着岸中止基準

次の場合は着岸を中止する。

- 平均風速が 10m/sec 以上の場合
- 有義波高が 0.5m 以上の場合
- 視程が 1,000m 未満の場合

③ 着岸の見合わせ

次の場合は上記基準に関らず、着岸を見合わせる。

- 荷役・係留中に平均風速 15m/sec 以上の強風が予想される場合
- 暴風または波浪に関する警報が発表された場合
- 荷役・係留中に台風等の接近が予想され、港長から避難が勧告された場合
- 阪神港神戸区に津波注意報、津波警報、大津波警報が発表された場合
- 落雷域の接近、四囲の状況により作業が危険であると判断される場合
- 船体、機関、荷役設備に異常があり、着岸、荷役に支障があると判断される場合
- 港長から指示された場合
- その他船長が着岸作業を行う上で危険があると判断する場合

④ 離岸出港時の運用

離岸出港時の運用は以下のとおりとする。

- 離岸出港は、日出から日没の間に行う。

- 平均風速が 10m/sec 未満の場合は 2,000 馬力以上のタグボートを 1 隻、平均風速 10m/sec 以上の場合は 2 隻の支援を受ける。
- 平均風速 15m/sec を超える強風が予測された場合は、直ちに荷役を中止し、十分余裕のある時機に離岸出港の上、安全な海域に避難する。
- 荷役作業の終了時間などから夜間に離岸出港する場合は、特に安全の確保を図る。

⑤ 荷役中止基準

次の場合は荷役を中止する。その際、原則としてローディングアームまたはホースを切り離し、港長に報告する。

- 平均風速が 10m/sec 以上の場合
- 有義波高が 0.5m 以上の場合
- 落雷域の接近が予測される場合
- 液化水素または水素ガスの漏洩があった場合
- 付近に火災等の事故が発生した場合
- 暴風または波浪に関する警報、津波注意報、津波警報、大津波警報が発表された場合
- 荷役設備、機器等に異常が認められた場合
- 港長から指示された場合
- その他、荷役作業の継続に危険が予測される場合

⑥ 緊急離岸基準

船長は緊急離岸を行おうとする場合、陸側荷役管理責任者と協議の上、出港し、安全な海域に適宜避難する。止むを得ない事情により離岸できない場合は、必要に応じてタグボートの手配等適切な処置を講じるものとする。

また、緊急時に水先人の嚮導、タグボートの支援を受けることが出来ない場合、気象・海象等の状況を考慮し、本船船長の操船による緊急出港も検討する。

その他、次の場合には緊急離岸を行い、安全な海域に避難する。

- 荷役中止基準によって荷役を中止した場合で、直ちに離岸する必要があると判断された場合
- 台風の接近が予想され、港長から避難勧告等が発令された場合
- 大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言が発せられた場合
- 阪神港神戸区に津波警報、大津波警報が発表された場合
- 港長から指示された場合
- その他、係留の継続に危険が予測される場合

⑦ 運用基準のまとめ

神戸空港島北東端岸壁を利用する液化水素運搬船は、表5に沿って適切に運用する。また、入出港時は、表6に示すタグボートを配備する。

表5. 神戸空港島北東端岸壁を利用する液化水素運搬船の運用基準

	平均風速	有義波高	視程
着岸中止基準	10m/sec以上	0.5m以上	1,000m未満
荷役中止基準	10m/sec以上	0.5m以上	—
離岸基準	15m/secを超えることが 予想された場合	—	—

表6. 神戸空港島北東端岸壁を利用する液化水素運搬船のタグボート配備

		2,000馬力以上のタグボート
入港着岸		2隻
離岸出港	平均風速10m/sec未満	1隻
	平均風速10m/sec以上	2隻
緊急離岸出港		2隻

4. 外部発表実績

(1) 論文発表

なし

(2) 学会、展示会等発表

<発表> 国内1件

- 青山憲之（日本海洋科学）、米原章浩、今井尚義、山本一、向井英之、千田哲也、猪股昭彦：「液化水素運搬船の運用に係る安全対策」、日本マリンエンジニアリング学会第88回学術講演会、岡山市（2018年10月30日）

(3) プレス発表

なし

(4) マスメディア等取材による公表

なし

5. 特許出願実績

なし

6. 参考文献

- ・神戸港入港マニュアル（神戸市みなと総局）
- ・「危険物積載船舶の停泊場所指定及び危険物荷役許可の基準について」の一部改正について（海上保安庁、保交航第76号、平成28年12月21日）