

第 1 回 天然ガス燃料船の普及促進に向けた総合対策検討委員会 燃料供給の方法と検討条件

1 検討の概要

天然ガス燃料船に対する燃料（LNG）の供給については、世界的にインフラの整備が遅れており、安全を確保可能な運用基準も確立されていない状況にある。

本調査においては、天然ガス燃料船に対する燃料（LNG）の供給に係る安全性について、検討を通して安全に運用可能な基準として、オペレーションガイドラインを策定することを目的としている。現状想定される燃料供給の方法には以下の 3 方式があるものの、特に極低温の LNG をバンカー船より洋上補給する「Ship to Ship (StS)」方式については、各種シミュレーションを通じた検討とともに、ハード・ソフト両面でのリスク評価も実施することにより、安全性について検討する。各検討対象の詳細については次章以降に示す。

(1) LNGバンカー船からの供給（Ship to Ship : StS）

洋上にて錨泊中の天然ガス燃料船、または栈橋・岸壁に係留中の天然ガス燃料船に LNG バンカー船が接舷し、2 船に係留した上で LNG を移送する。

(2) 陸上LNG基地設備からの供給（Shore to Ship）

LNG を払出可能な陸上 LNG 基地の栈橋に係留中の天然ガス燃料船に対して、パイプライン等陸上施設から LNG を移送する。

(3) 陸上ローリーからの供給（Truck to Ship）

岸壁に係留中の天然ガス燃料船に対して、岸壁に駐車したローリーより LNG を移送する。



図 2.1.1 検討対象とする燃料供給の方法

2 燃料の供給方法とその前提条件

2.1 バンカー船からの供給（Ship to Ship : StS）

2.1.1 検討の概要

StS 方式での LNG 移送の場合、貨物の商業目的での LNG 移送は海外（メキシコ湾やノルウェー沿岸等）で 10 件以上、国内でも 1 件（苫小牧）の実績が既にあるものの、国際的な基準・規則は未整備な状況にある。

そこで、本調査においては、具体的な天然ガス燃料船と LNG バンカー船を設定し、LNG の船間移送の安全性について検討することにより、一般化した議論の基礎とする。調査のシミュレーションに係る検討フローは図 2.1.1 に示すとおり。

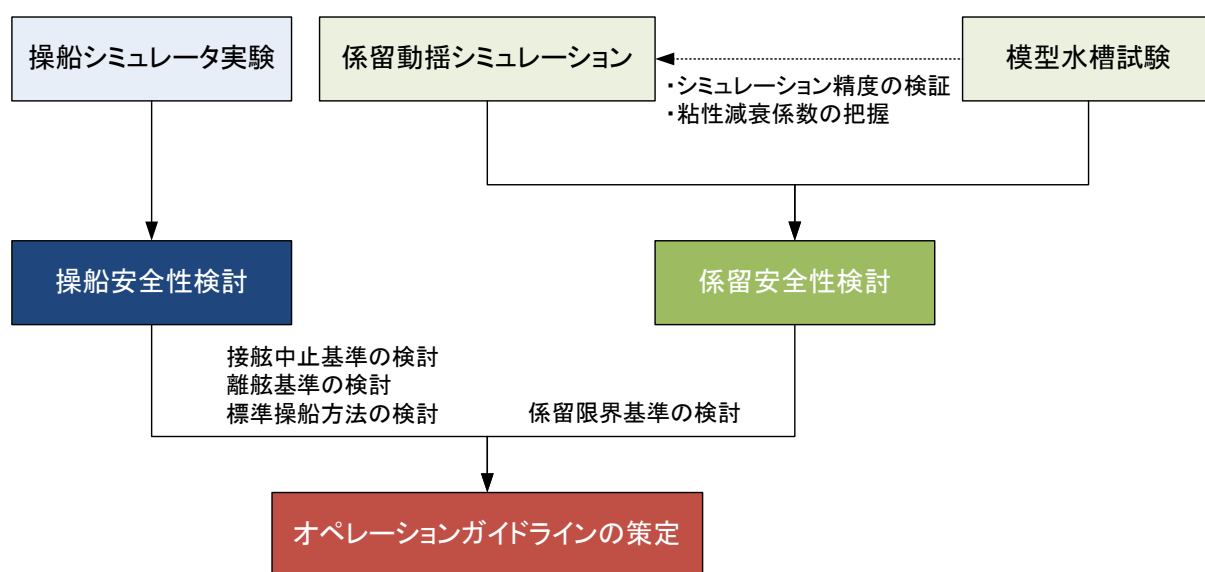


図 2.1.1 検討のフロー

2.1.2 操船シミュレータ実験による安全性検討

(1) 検討の概要

湾内の海域に錨泊した状態、または岸壁等の港湾施設に係留された状態の天然ガス燃料船に対して、LNG バンカー船が天然ガス燃料船に対してアプローチから接舷までの局面及び天然ガス燃料船から離舷する局面の操船上の安全性について、実船の操船環境を模した操船シミュレータにて実験を実施することにより、検証する（図 2.1.2 参照）。

錨泊中の天然ガス燃料船は風などの外力が釣り合った状態で、若干振れ回りはあるものの、ほぼ静定した状態にあることから、ここでは、係留中の天然ガス燃料船とともに、通常の着離棧操船と同様の操船にて運用可能であることを確認する。



図 2.1.2 操船シミュレータ実験

(2) 対象船型

対象船型については、天然ガス燃料船として、載貨状態により乾舷差が大きなVLCCと、乾舷が高く、受風面積が大きいPCCを対象とする。また、バンカー船については、バンカー専用船として設計された本船（LNGバンカー船）と、既存内航LNG船相当の本船を対象とする。当該 4 船型の主要目は表 2.1.1に示すとおり。

表 2.1.1 対象船型の主要目

	天然ガス燃料船		バンカー船	
	VLCC	PCC	バンカー船	内航LNG船
垂線間長 (m)	320.0	192.0	111	80
型幅 (m)	58.0	32.3	19	15
型深さ (m)	29.0	35.0	10	7
満載喫水 (m)	20.5	9.6	5	4
タンク容量 (m3)	—	—	5,000	2,500

(3) 設定条件

操船シミュレータ実験に係る設定条件は、下記 5 点を考慮し、設定する。条件の設定にあたっては、特定の海域は設定せず、一般的な湾内の海域を設定する。同様に、港湾施設も特定の岸壁等は設定せず、一般的な栈橋・岸壁を設定する。

① 載貨状態

- 天然ガス燃料船：風圧影響の大きなバラスト状態を設定
- バンカー船：燃料（LNG）供給前の想定であることから満載状態を設定

② 着栈舷

本シミュレーションについては、着栈舷を以下のように設定する。

但し、バンカー船の接舷方向は、その時の風向により、変更するものとする（可能な限り船尾側より外力を受けない）。

- 天然ガス燃料船：PCC は右舷着けすることが多いため、VLCC も右舷着けを想定
- バンカー船：PCC の右舷着けに合わせ、右舷着けを設定

③ 風向及び波向き

風向と波向きは同一方向として設定する。その設定に際しては、以下に示すとおり、係留形態を考慮し、全周ではなく、特定の角度を設定条件とする(図 2.1.3参照)。

(錨泊中)

- 錨泊中の天然ガス燃料船は風に立つ(風圧影響により船首方位は風上を向く)ことから、波向きは船首方向を基本とする。
- 風の振れ回りを考慮し、船首方位 315 度についても検討対象とする。

(係留中)

- 本船に対して岸壁側から波が入ることは想定し難いことから、岸壁と反対舷に接舷するバンカー船側、270 度の波向きを基本とする。
- バンカー船の操船上、船尾側より外力影響を受けることはより操船を困難なものとする要素となることから、船体後方の 180 度及び 225 度についても検討対象とする。

④ 潮流

錨泊中の場合、潮流があると、天然ガス燃料船は風圧力と流圧力との合力が均衡した状態で姿勢が定まることから、天然ガス燃料船の初期設定船首方位に対して左舷正横方向(270 度)からの潮流を設定する。なお、その場合、接舷に向け操船中のバンカー船も天然ガス燃料船側に圧流されることから、操船はより困難なものとなる。

⑤ 水深

水深は浅水影響を考慮し、天然ガス燃料船の喫水の 10%を余裕水深とする。但し、設定水深は、天然ガス燃料船のうち、喫水の大きな VLCC を基本とする。

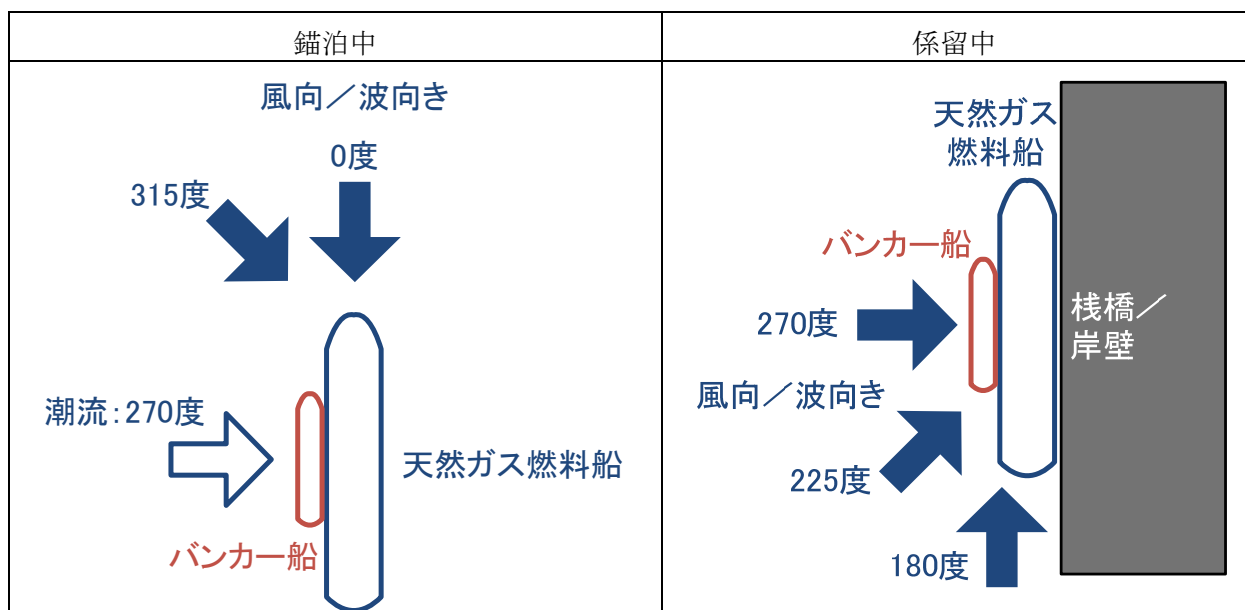


図 2.1.3 本船と外力影響の関係

2.1.3 係留動揺シミュレーションによる安全性検討

(1) 検討の概要

StS 方式による LNG 移送の実施に向け、係留中の 2 船間動揺について、係留動揺シミュレーション（机上での数値計算）を実施することにより、安全に係留可能なことと、安全に係留可能な外力について検証する。

ここでは、以下の 3 点を目的とし、2 船間の係留動揺シミュレーションを実施する。

① 2 船間の波浪中動揺量の評価

洋上にて錨泊中または岸壁に係留中の天然ガス燃料船と LNG バンカー船の係留中の動揺量を把握する。ここでは 2 船間の相互干渉とともに、本船サイズから相対的に動揺量が大きくなるものと予想される LNG バンカー船については、船上の LNG 燃料タンク内の内部流動影響についても考慮する。

② 船体動揺に起因する LNG 移送ホースの動的挙動影響評価

2 船間で動揺が生じる場合には、両船間にて LNG を移送中のホースに捻りや振りが生じ、それらがホースの仕様値を上回る場合には、ホースが破損することも有り得る。そのため、ここでは、ホースの動的挙動についても把握することにより、その安全性を確認する。

③ 2 船間 GAP レゾナンス（異常水位上昇）の評価

動揺する 2 船間に波が入り込んだ場合には、両船間部分のみで水位が異常に上昇する可能性がある。上昇水位が高い場合には、LNG を移送中のホースが波を被ることも有り得る。そのような場合には、何らかの処置を取ることも検討する必要があることから、本検討においては、2 船間の水位上昇量についても把握する。

但し、2 船間の相対的な動揺量評価については、係船時における粘性減衰係数の把握が非常に重要となるものの、数値計算による推定は困難である。そこで、次節のとおり、LNG バンカリングを想定した模型船を使用した水槽試験を実施することにより当該データを取得することとする。なお、同模型水槽試験については、係留動揺シミュレーション結果の推定精度検証も目的としている。

(2) 対象船型

対象船型については、天然ガス燃料船として、載貨状態により乾舷差が大きな VLCC と、乾舷が高く、受風面積が大きい PCC を対象とする。また、バンカー船については、バンカー専用船として設計された本船（LNG バンカー船）と、既存内航 LNG 船相当の本船を対象とする。当該 4 船型の主要目は表 2.1.1 に示すとおり。

(3) 設定条件

係留動揺シミュレーションの実施における設定条件は、下記 5 点を考慮し、設定する。条件の設定にあたっては、特定の海域は設定せず、一般的な湾内の海域を設定する。同様に、港湾施設も特定の岸壁等は設定せず、一般的な栈橋・岸壁を設定する。

① 載貨状態

- 天然ガス燃料船：外力影響の大きなバラスト状態を設定
- バンカー船：燃料（LNG）を移送中であることを考慮し、半載状態を設定

② 着舷舷

- 天然ガス燃料船：PCC は右舷着けすることが多いため、VLCC も右舷着けを想定
- バンカー船：PCC の右舷着けに合わせ、右舷着けを設定

③ 風向及び波向き

風向と波向きは同一方向として設定する。その設定に際しては、以下に示すとおり、係留形態を考慮し、全周ではなく、特定の角度を設定条件とする（図 2.1.3 参照）

（錨泊中）

- 錨泊中の天然ガス燃料船は風に立つ（風圧影響により船首方位は風上を向く）ことから、波向きは船首方向を基本とする。
- 風の振れ回りを考慮し、船首方位 315 度についても検討対象とする。

（着舷荷役）

- 本船に対して岸壁側から波が入ることは想定し難いことから、岸壁と反対舷に接舷するバンカー船側、270 度の波向きを基本とする。
- 係留状態では、やや後方からの外力影響が船体動揺に大きく影響するとの知見の下、225 度を検討対象とする。
- また、GAP レゾナンスの影響が大きくなることが想定される 180 度についても検討対象とする。

④ 水深

水深は浅水影響を考慮し、天然ガス燃料船の喫水の 10% を余裕水深とする。但し、設定水深は、天然ガス燃料船のうち、喫水の大きな VLCC を基本とする。

⑤ タンク内流動影響

外力影響による船体動揺量がタンク内流動に与える影響を勘案し、以下のように設定。

- 天然ガス燃料船：タンク内流動が軽微であることを勘案し、考慮せず
- バンカー船：タンク内流動が大きくなる場合があることを勘案し、考慮

2.1.4 模型水槽試験による安全性検討

(1) 検討の概要

StS 方式による LNG 移送の実施に向け、係留中の 2 船間動揺について、模型水槽試験を実施する。本試験の目的は、前述のとおり、前節での係留動揺シミュレーションの実行に際して必要となる粘性減衰係数の取得と、併せてそのシミュレーション結果の精度を検証することにある。

(2) 実験環境

水槽試験は、(独)海上技術安全研究所の海洋構造物試験水槽にて実施する(図 2.1.4 参照)。



(長さ : 40.0m、幅 : 27.1m、水深 : 0~2.0m)

図 2.1.4 海洋構造物試験水槽

(3) 対象船型

対象船舶について、天然ガス燃料船としては、載貨状態により乾舷差が大きなVLCCと、乾舷が高く、受風面積が大きいPCCとする。また、バンカー船については、バンカー専用船として設計された本船(LNGバンカー船)とする。当該3船型の主要目は表 2.1.1 に示すとおり。

(4) 設定条件

水槽試験の実施における設定条件は、下記の4点を考慮し、設定する。条件の設定にあたっては、特定の海域は設定せず、一般的な湾内の海域を設定する。同様に、港湾施設も特定の岸壁等は設定せず、一般的な栈橋・岸壁を設定する。

① 載貨状態

- 天然ガス燃料船：波浪影響により、船体動揺が増すバラスト状態を設定
- バンカー船：燃料(LNG)を移送中であることを考慮し、半載状態を設定

② 着舷舷

- 天然ガス燃料船：PCC は右舷着けすることから、VLCC も右舷着けを設定
- バンカー船：PCC の右舷着けに合わせ、右舷着けを設定

③ 波向き

係留形態を考慮し、全周ではなく、特定の角度を設定条件とする（図 2.1.3 参照）。

（錨泊中）

- 錨泊中の天然ガス燃料船は波（風向と波向きは同角度と想定）に立つことから、波向きは船首方向を基本とする。
- 外力による振れ回りを考慮し、船首方位 315 度についても検討対象とする。

（着舷荷役）

- 本船に対して岸壁側から波が入ることは想定し難いことから、岸壁と反対舷に接舷するバンカー船側、270 度の波向きを基本とする。
- 係留状態では、やや後方からの外力影響が船体動揺に大きく影響するとの知見の下、225 度を検討対象とする。
- また、GAP レゾナンスの影響が大きくなることが想定される 180 度についても検討対象とする。

④ 水深

実験水槽の水深は、波周期 6 秒程度の造波能力への制限より、1m 程度に設定して実施する。

⑤ タンク内流動影響

外力影響による船体動揺量がタンク内流動に与える影響を勘案し、以下のように設定。

- 天然ガス燃料船：タンク内流動が軽微であることを勘案し、考慮せず
- バンカー船：タンク内流動が大きくなる場合があることを勘案し、考慮

(5) 模型船のセッティング方法

係留形態(錨泊中および着棧・着岸中)ごとの模型船のセッティング方法(案)を図 2.1.5 及び図 2.1.6に示す。

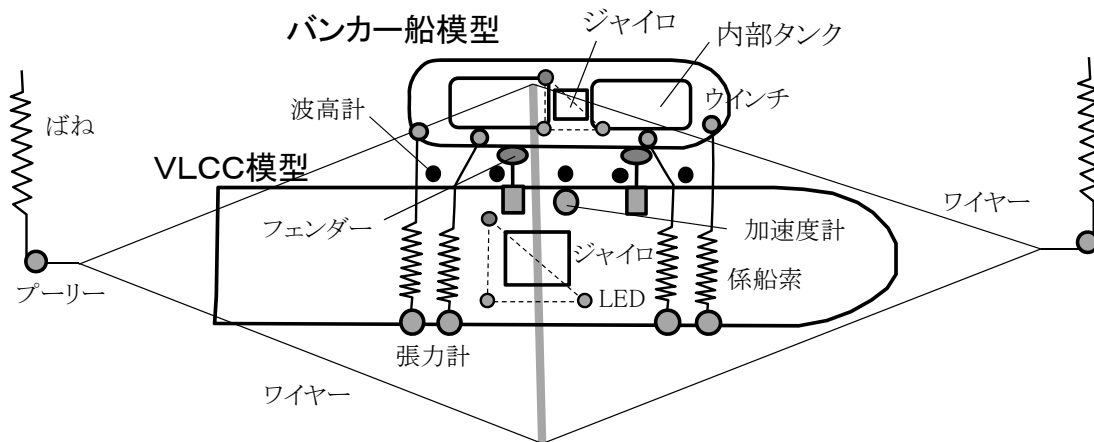


図 2.1.5 錨泊中を想定した模型船のセッティング案 (VLCC の場合)

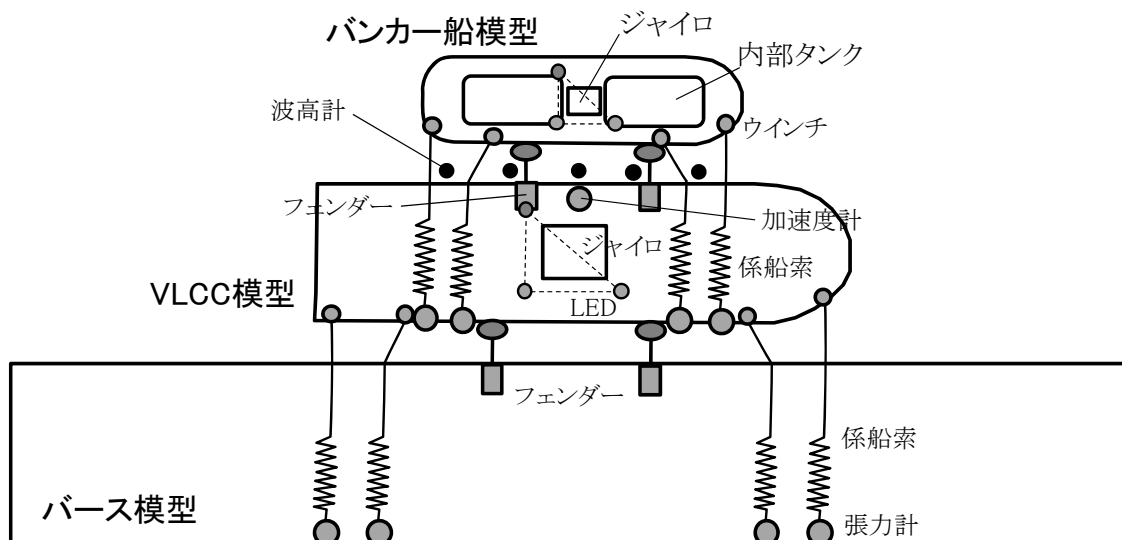


図 2.1.6 着棧中を想定した模型船のセッティング案 (VLCC の場合)

(6) 計測項目

試験中、計測する項目 (案) は表 2.1.2に示すとおり。

表 2.1.2 計測項目 (案)

計測項目	計測対象
船体運動(6成分)	VLCC、PCC、バンカー船
フェンダー反力	VLCC・PCCとバンカー船間
係船索張力	
相対上下変位	VLCCと岸壁間
2船間Gap内水位変動	VLCCとバンカー船間 PCCとバンカー船間
加速度	VLCCおよびPCCのマニホールド位置 バンカー船ローディングアーム基部
入射波高	

2.2 陸上LNG基地からの供給（Shore to Ship）

2.2.1 検討の概要

陸上 LNG 基地での LNG 移送については、世界中の天然ガス液化基地（積み地）及び LNG ガス化基地（揚げ地）において、LNG 運搬船に対して、長い歴史と多くの実績がある。

本調査においては、LNG 運搬船と同様に、天然ガス燃料船についても LNG 基地から直接 LNG 燃料の補給を受けることを想定し、国内及び海外での事例を精査することにより、ガイドラインをまとめ上げ、一般的な安全性の検討を事前に実施する。

また、個別に必要とされる検討事項についても取りまとめを行うこととする。

2.2.2 検討の手順

検討の手順は以下に示すとおり。

(1) 国内陸上LNG基地の荷役における既存の手順及び規則に係る調査

国内の陸上 LNG 基地における LNG 運搬船に対する既存のルールについて調査し、取りまとめる。また、その際には実際の基地における手順などについても、事例としてまとめる。

(2) 欧州におけるLNG燃料供給の手続き等に係る調査

欧州における陸上 LNG 基地を利用した LNG 供給手続きについて、情報を収集し、精査する。本調査においては、ノルウェー沿岸において多数のフェリーを運航している Fjord 1 社や、北欧海域で運航されているケミカルタンカー「Bit Viking」での LNG 供給手続きを取り上げる。

また、LNG 基地における LNG 供給のリスク評価については、海外基地での燃料供給の検討結果について、可能な限り情報・知見を収集する。

(3) 陸上LNG基地からのLNG供給に係るガイドラインの策定

上記調査結果を踏まえ、陸上 LNG 基地より LNG の供給を受ける際のガイドラインを策定する。ガイドラインの策定にあたっては、ハード面での燃料移送に係る機器・設備の要件の外、ソフト面での燃料移送の運用手順、緊急時の対応や、作業時における人員（船員）の体制及び個々に求められる要件などについても調査することにより、結果を生かすこととする。

また、実際に陸上 LNG 基地から LNG の供給を受けることとなった際に個別検討が必要となる事項についても取りまとめる。

2.3 陸上ローリーからの供給（Truck to Ship）

2.3.1 検討の概要

LNG ローリーについては、国内でも陸上輸送で多くの実績があるものの、船舶への LNG の供給実績は皆無である。一方で、世界ではタンクローリーを利用した LNG の供給はノルウェーでの実施のみに限られており、それに係る国際的な基準・規則については未整備な状況にある。

本調査においては、海外での事例精査及び国内にて課題と成り得る事項を明確化し、解決策の案を提案することにより、国内にて実施する際のガイドラインを取りまとめる。

また、個別検討が必要となる事項についても取りまとめを行うこととする。

2.3.2 検討の手順

検討の手順は以下に示すとおり。

(1) 欧州におけるタンクローリーを利用したLNG供給の手続き等に係る調査

欧州、特にノルウェーにおけるタンクローリーを利用した天然ガス燃料船に対する LNG 燃料供給の手続き及び必要とされる機材・設備について、情報を収集し、精査する。また、オスロのフェリーターミナルについては、既に多くの運用実績があることから、当該港湾における基準・規則についても情報を収集し、整理する。

(2) 日本において運用する際の解決すべき課題の精査

日本国内において天然ガス燃料船にタンクローリーから LNG を供給する場合、海上安全に係る監督官庁である国土交通省の海事局及び港湾局、海上保安庁以外に、陸上の安全に係る監督官庁である経済産業省（高圧ガス保安法）及び消防庁（消防法）も深く関係する。そこで、本調査においては、国内においてタンクローリーを利用して LNG を供給する際に課題と成り得る事項を明確化するとともに、解決策の案を検討する。

(3) タンクローリーからのLNG供給に係るガイドラインの策定

上記調査結果を踏まえ、タンクローリーより LNG の供給を受ける際のガイドラインを策定する。ガイドラインの策定にあたっては、ハード面での燃料移送に係る機器・設備の要件の外、ソフト面での燃料移送の運用手順、緊急時の対応や、国内での作業を想定した場合の人員（船員）体制及び個々に求められる要件などについても調査することにより、結果を生かすこととする。

また、実際に陸上ローリーから LNG の供給を受けることとなった際に個別検討が必要となる事項についても取りまとめる。

3 リスク評価

3.1 検討の概要

本調査においては、天然ガス燃料船の運用に係るハード面及びソフト面の検討結果を基に、StS方式による天然ガス燃料船へのLNG移送に係る総合的なリスク評価を実施する。リスク評価では、EN 1474-3¹「洋上移送システム」に基づくHAZID²を実施する。

また、本検討から得られた結果については、LNG 移送中に荒天や本船での火災発生といった緊急事態発生時に本船（船員を含む）が取るべき対応に係る検討でも生かすものとする。

3.2 検討のフロー

バンカリング設備及びオペレーションからなるStSバンカリング・システムの総合的な安全性は図 3.2.1に示す検討フロー（案）に基づき、総合的に確認する。

¹ EN 1474-3 : EN (European Norm : 欧州規格) の「天然ガス設備機器・海上移送システムの設計と試験」に関する規格

² HAZID : Hazards Identification (有識者によるブレーンストーミングを通じて、想定される事故シナリオに対して安全性を確保できることを確認する手法)

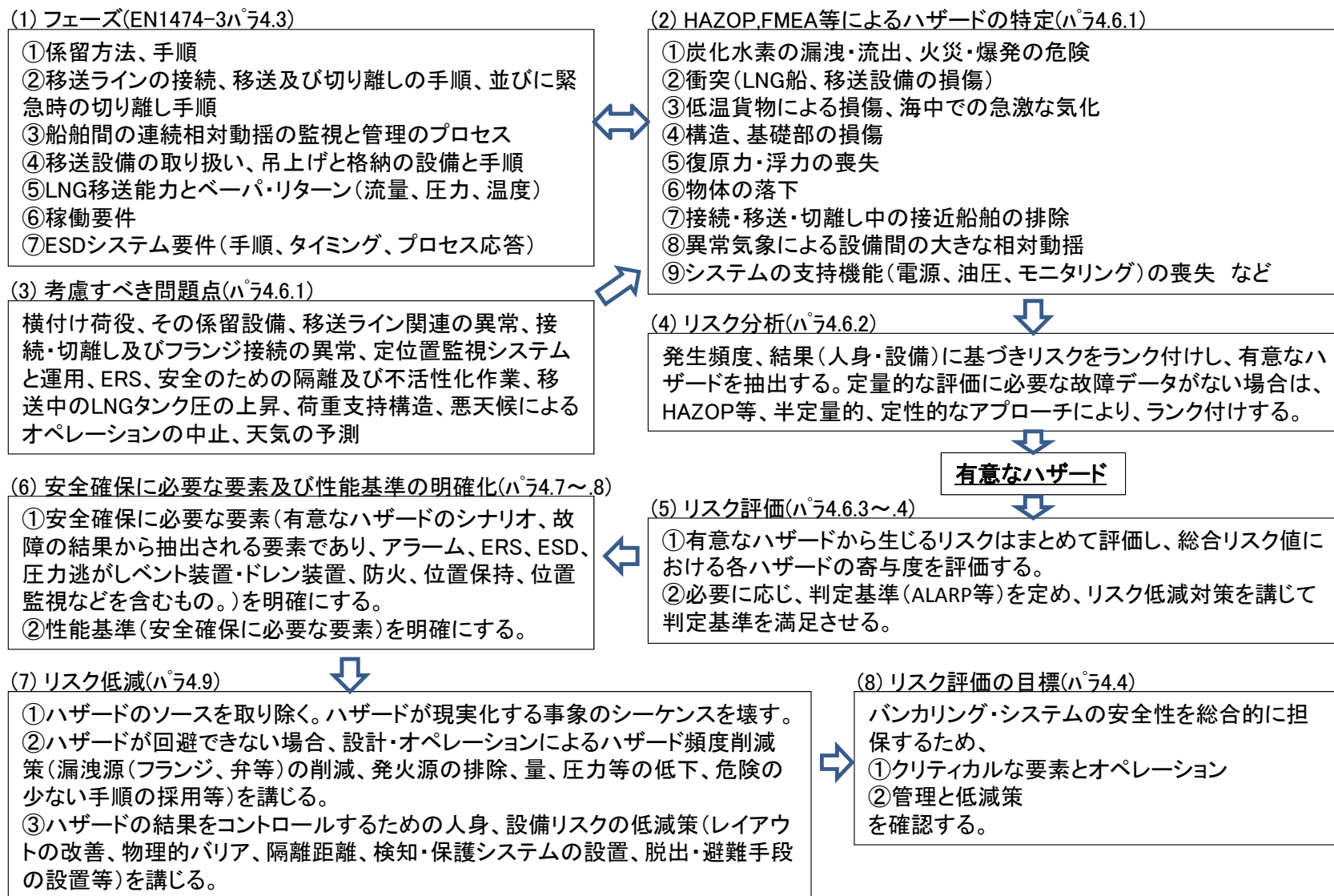


図 3.2.1 検討のフロー (案)