

天然ガス燃料船の普及促進に向けた総合対策 報告書概要

海 事 局
安全・環境政策課

背景

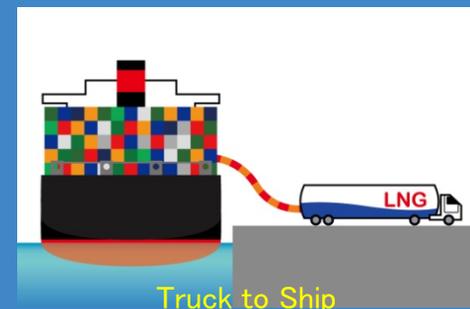
- 温室効果ガスの排出削減及び大気汚染防止の両面から国際海運に対する環境規制は、今後も強化される見通し
- 「重油」から環境負荷の低い「天然ガス」に燃料転換への期待の高まり
- 我が国の海事産業（海運業、造船産業及び船用工業）も天然ガス燃料船の実用化に向けた取り組みを開始



ハード面（船舶構造、機関、設備など）とソフト面（運行、燃料供給など）の安全基準等が未整備であるため、天然ガス燃料船の実用化・導入を阻害

検討の目的

- 船舶のハード面及びソフト面（航行面、燃料移送面、海上防災面）の課題の整理・対応の検討
- 天然ガス燃料船及びLNGバンカー船の運用時に活用できるガイドライン及びオペレーション・マニュアルの作成（Ship to Ship、Shore to Ship、Truck to Shipの3方式を網羅）等、活用しやすい形での成果のとりまとめ





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

事務局: 日本船舶技術研究協会

【座長】 九州大学 高崎 講二 教授

【委員】

東京海洋大学 今津 名誉教授

東京大学 藤野 名誉教授

海上技術安全研究所 田村 研究統括主幹

日本海事協会

日本ガス協会

日本船主協会

日本造船工業会

日本中小型造船工業会

日本船用工業会

技術協力



- 船級としての豊富な知見
(船級規則検討、検査等)

燃料移送等検討委員会

事務局:
日本船舶技術研究協会

座長:
海上技術安全研究所
田村 兼吉 研究統括主幹

航行安全検討委員会

事務局:
日本海難防止協会

座長:
東京海洋大学
今津 隼馬 名誉教授

海上防災検討委員会

事務局:
海上災害防止センター

座長:
東京大学
藤野 正隆 名誉教授

連携

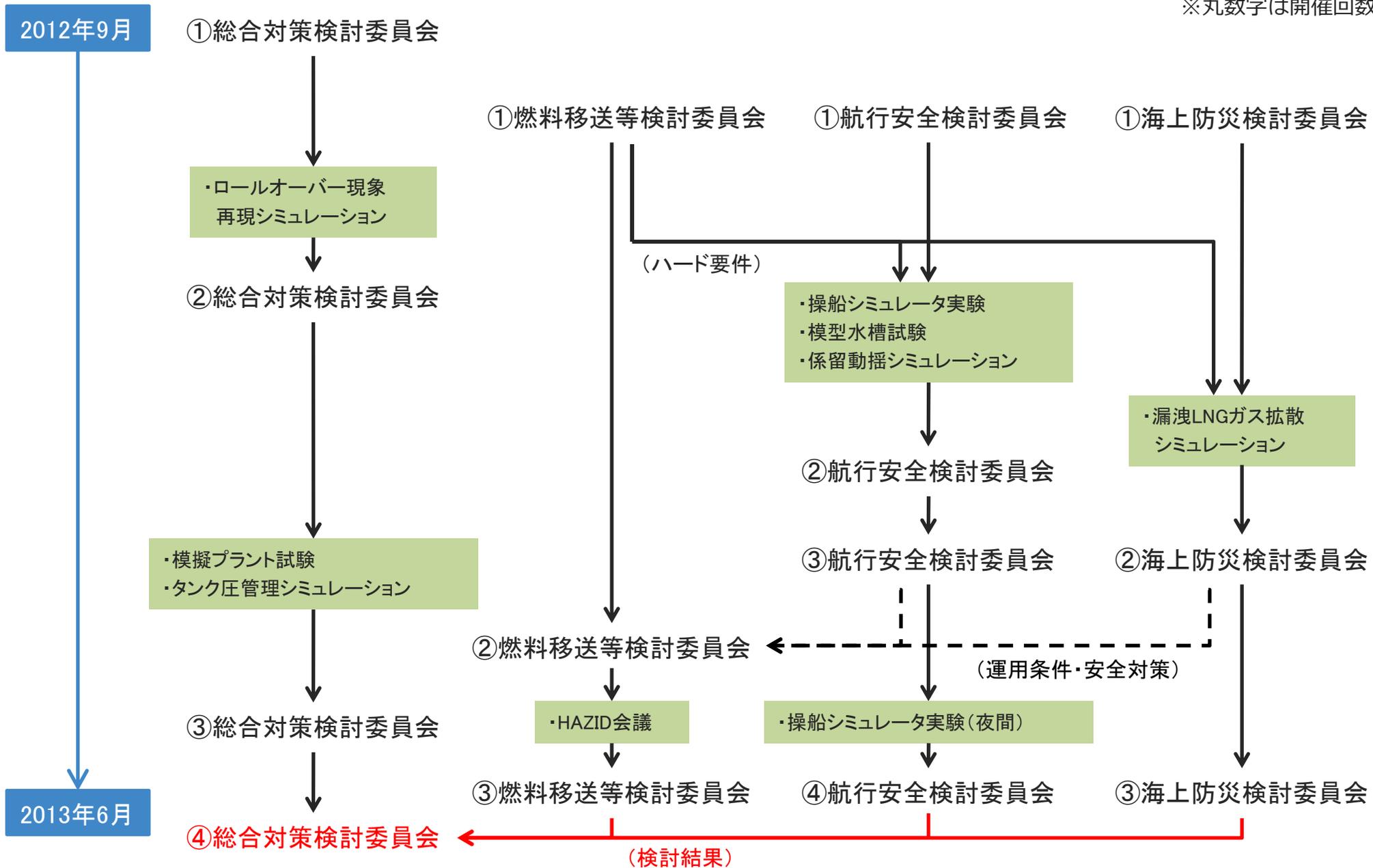


- IMO対応、ISO対応に関
連するプロジェクトを取り
まとめ

各分野の有識者、関連業界団体、経済産業省、海上保安庁等の
関係省庁の協力を得て、
調査方針の指示、調査結果の審議、取りまとめ等

調査・検討コンソーシアムによる調査・検討事業の実施
(調査実施主体: 株式会社日本海洋科学、三菱重工株式会社)

※丸数字は開催回数



① 高圧ガスサプライシステムの安全要件

- 高圧ガスサプライシステムの設計における安全要件
- 高圧配管(二重管)の設計における安全要件

② 燃料供給を受けない天然ガス燃料船の航行・入出港時の安全要件

- 留意すべき事項の洗い出し
- 主機の負荷特性の調査・検討

③ LNG燃料移送ガイドライン・オペレーションマニュアル

- LNG燃料移送作業手順・安全対策
- LNG燃料移送に用いる機器等
- ガス危険区域の設定
- 夜間におけるLNG燃料移送に係る留意事項
- 荷役中・旅客乗降中の留意事項
- 異種LNG混合時の燃料タンクの圧力管理に係る留意事項

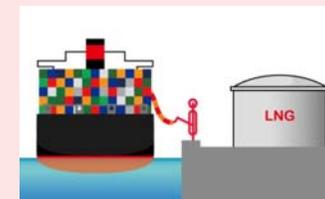
■ Ship to Ship (StS) 方式

- 安全管理体制(海上防災組織との連携等)
- 運用条件(限界気象・海象条件等)
- 離接舷操船・係留に係る留意事項



■ Shore to Ship 方式

- 安全管理体制(船陸間責任体制)
- 緊急離脱装置の要件



■ Truck to Ship 方式

- 安全管理体制(船陸間責任体制)
- 緊急離脱装置の要件



↑ 取り入れ

④ StS方式LNG燃料移送に係る航行安全対策

⑤ StS方式LNG燃料移送に係る海上防災対策

⑥ 天然ガス燃料船の入渠に係る要件

- ガスフリー等の入渠時に必要となる措置の整理
- 真空防熱型Type Cタンクの取り扱い

① 高圧ガスサプライシステムの安全要件



- [背景]**
- ⇒ 燃料効率の高い2ストローク低速ディーゼルには高圧(300bar程度)でのガス供給が必要
 - ⇒ 空間の限られた船内において、極低温のLNGと高圧の天然ガスを扱うための安全対策が必要

[目的] **高圧ガスサプライシステムの安全要件(設計上の留意点)を策定**

検討の内容

模擬プラント試験及び日本海事協会(NK)の知見の導入により、安全要件を検討

1. システム全体の安全性検証

- 模擬プラントを用いて、次の試験を実施
 - ⇒ 負荷変動試験
 - ⇒ 急速負荷上げ試験
 - ⇒ 危急ガス遮断試験
- 次のデータの評価により安全性を検証
 - ⇒ **ガス供給系変動**データ
(系内圧力、温度、流量、ポンプ回転数)
 - ⇒ **エンジン負荷変動**データ
(回転数、出力)

2. 高圧配管(二重管)の安全性検証

- 模擬プラントを用いた実証実験、CFDシミュレーション(NK)を実施し、**漏洩の検知遅れ、圧力上昇等**を検証
- 排気方式の安全性検証
 - ① 外管と内管の間(二重区画)を常に換気
 - ② 任意の箇所より漏洩模擬ガスを流入
 - ③ 換気ファンの入り口にてガス検知
- 加圧方式の安全性検証
 - ① 二重区画に漏洩模擬ガスを流入
 - ② 区画内の圧力上昇を検知
 - ③ 内部気体の吸引排気時にガス検知

3. 二重管の外殻の耐圧等要件

- 内管のバースト試験を実施(NK)し、**外殻の要求耐圧、温度変化**を検証
- 外殻の耐圧要件
 - ⇒ バースト圧力、内管と外管の距離を変えてバースト試験を実施
 - ⇒ 外管にかかる圧力、ひずみを計測
 - ⇒ 結果は評価式にまとめる
- 温度変化
 - ⇒ 漏洩ガスの膨張による温度低下量を計測し、部材の要件を整理



高圧配管(二重管)



二重区画内サククションファン

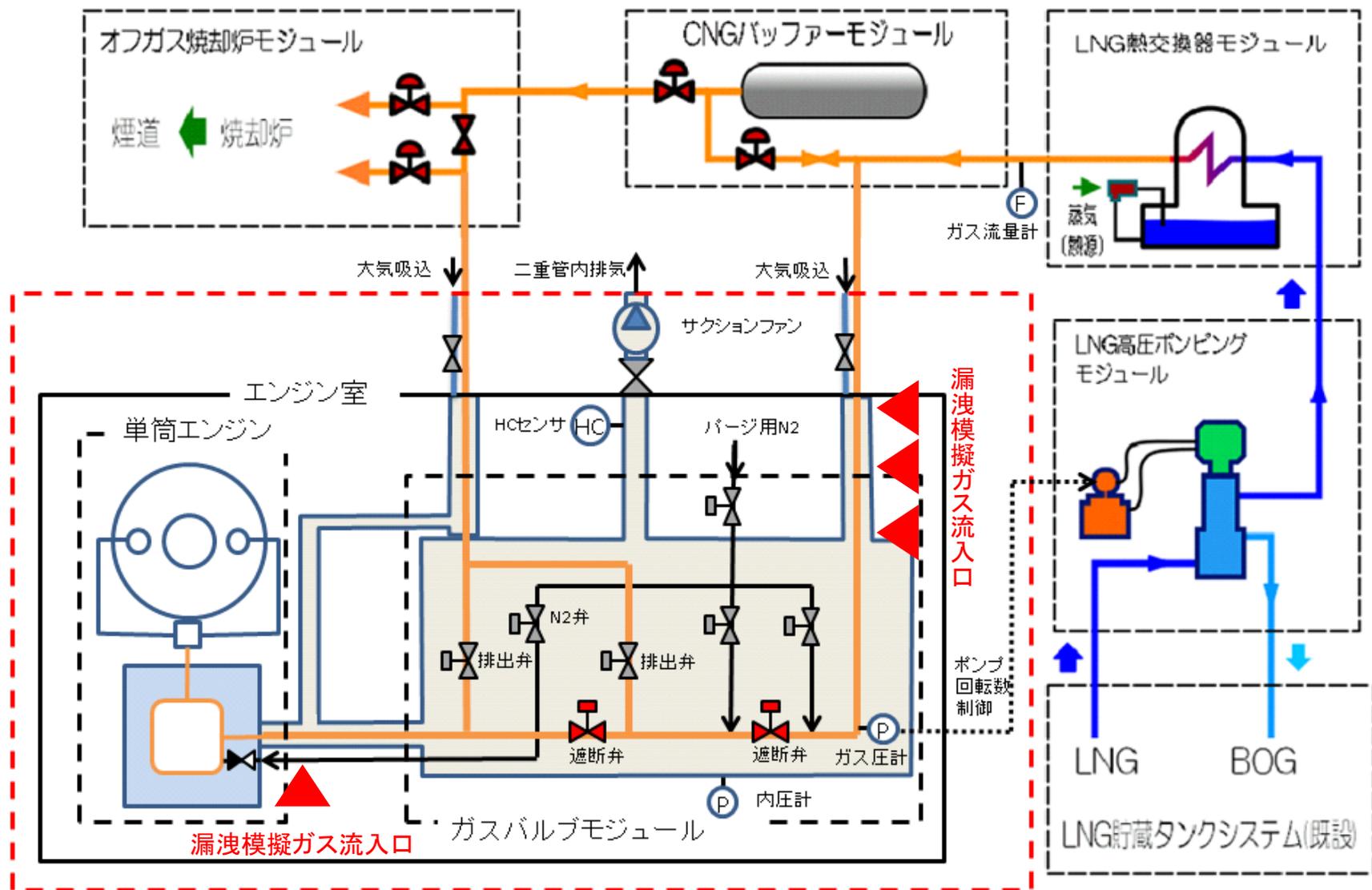


ガス検知器

実証実験に用いた模擬プラント

高圧ガス供給システム検証用模擬プラント(赤点線内)

◀ : 漏洩模擬ガス流入口



高圧ガス供給システム(検証用模擬プラント)

高圧ガスサプライシステムの設計における安全要件（機能要件）

- 供給ガス圧力制御機能
 - エンジン要求圧力と一致させるための供給圧の自動制御
 - エンジンのガバナー能力に見合う十分な供給能力
 - LNG高圧供給ポンプの要求する吸い込み性能を満足するよう、吸い込み側の負圧による気化を防止



- 高圧ガス供給系の脈動低減機能
 - エンジンの許容変動幅（±5bar程度）を目安に、十分な容量をもったバッファ機能の装備

- 二重配管に対する熱伸縮吸収機能
 - 内管を外管の中心位置に保持するためのサポート構造



二重管の熱伸縮吸収機能
(例: スライドサポート方式)

- 危急停止機能
 - 危急時には燃料供給及びエンジン両側が自動的かつ安全にガス運転を中止できるシステム

高圧配管（二重管）の設計における安全要件

○ 配管システムの安全要件（本事業+NK知見）

- 排気方式の場合（二重区画を常時換気）

系内の圧力上昇はわずかであり、また、漏洩ガスは直ちに検知可能

 - 漏洩ガスが二重区画全体に拡散するため、換気吸入口及び排気放出口の両方を機関室外の安全な区画に配置することが必要
 - なお、系内の遮断弁やセンサ等の機器を耐圧型にすることは不要
- 加圧方式の場合（二重区画の圧力上昇を検知、その後内部気体を吸引排気）

系内の圧力上昇が早いため次のいずれかの対応が必要

 - 安全弁やラプチャーディスク等の系内の圧力を逃す手段の設備
 - 外管を内管と同等の耐圧に設計し、系内の機器も同様に耐圧を考慮

○ 二重管の外殻の設計要件（NK知見）

- 外殻の耐圧要件
 - 内管と外殻の間の距離を取ることで、安全性を担保した耐圧設計が可能
 - 安全性を担保可能な外管（外殻）径は、以下の式を元に算出可能

$$P = A p \frac{r_0}{r} \quad \left[\begin{array}{l} P: \text{到達圧力 (Mpa)}, A: \text{定数 (0.23)}, \\ p: \text{バースト圧力}, r_0: \text{内管内半径 (mm)}, \\ r: \text{外管内半径 (mm)} \end{array} \right]$$

- 温度変化への対応
 - 上述の式による内管との距離をとった場合、通常は、外管への低温配管用鋼管の採用不要

② 燃料供給を受けない天然ガス燃料船の航行

- ・ 入出港時の安全要件



- [背景]** ⇒ 本船の船体や機器・設備に係る安全面の要件の確認が必要
 ⇒ 航行時及び入出港時における操船に係る安全面の要件の確認が必要



[目的] 燃料の天然ガス化に伴う本船の航行に係る安全要件を策定

安全面の要件の確認

船体及び機器・設備及び航行時・入出港時の操船性の側面から留意事項を洗い出し

➤ 本船の船体や機器・設備の側面

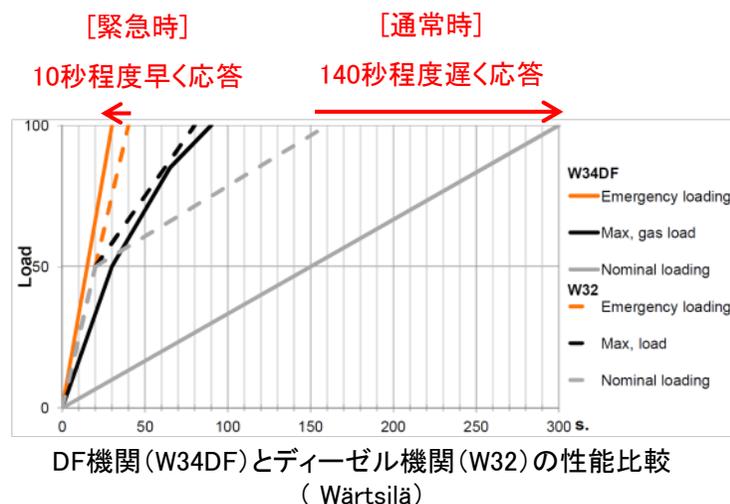
- 国際海事機関(IMO)において、2014年の最終化を目途に安全基準(IGFコード)の策定作業を実施
- これにより、従来の重油燃料の船舶と同等の安全性を担保

➤ 航行時及び入出港時の側面

- 操船性は、従来の重油燃料の船舶と大きな違いはない見通し
- ただし、**主機が重油燃料機関からガス専焼機関又はDF機関に代わる際の応答性能が懸念**

「通常時の応答性能」と「緊急時の応答性能」を確認

- Rolls-Royce社のガス専焼機関(4ストローク)
- Wärtsilä社のDF機関(4ストローク)
- Man Diesel & Turbo社のDF機関(2ストローク)



安全要件

- 燃料の天然ガス化に伴い、一部の機種で、通常時に負荷応答が緩やかになる傾向あり
- ただし、その差は大きくないことから、先を見越した操船により対応可能

③ LNG燃料移送ガイドライン・ オペレーションマニュアル



- [背景]**
- ⇒ LNG燃料の供給は、北欧等で小規模のものを中心に実績があるものの、その手順等に係る共通ルールは未整備
 - ⇒ 国際動向及び我が国の規制体系等を踏まえ、安全を確保可能な手順等の確立が必要

[目的] Ship to Ship(StS)、Shore to Ship、Truck to Ship(TtS)の3方式によるLNG燃料供給に係る標準的な手順・安全対策等を確立(標準的なガイドライン・オペレーションマニュアルの策定)



Truck to Ship方式LNG燃料移送(オスロ港)

検討の内容

各種シミュレーション、リスク評価、類似事例の調査等により安全対策等を検討

- LNG燃料移送に用いる機器等
 - 検討の前提として、船陸間LNG貨物移送やStS方式LNG貨物移送の運用等を踏まえ、必要となる機器等を選定
- StS方式LNG燃料移送に係る「航行安全対策」の策定
 - 操船シミュレータ実験等による離接舷時の運用条件等の検討(夜間接舷に係る検討を含む)
 - 係留動揺シミュレーション、水槽試験等による係留時の運用条件等の検討
- StS方式LNG燃料移送に係る「海上防災対策」の策定
 - 過去の類似事例に係る知見の整理、漏洩LNGガス拡散シミュレーション等による防災体制等の検討
- ガス危険区域(着火源を排除する必要がある区域)の設定
 - 漏洩LNGガス拡散シミュレーションの結果等を踏まえ検討
- StS方式LNG燃料移送の総合リスク評価
 - 欧州標準(EN1474-3)に基づくリスク評価により、安全対策を確認・検討
 - 夜間及び荷役中・旅客乗降中におけるLNG燃料移送の安全対策を検討
- 異種LNGを混合する際の圧力管理に係る留意事項
 - 密度・温度差のあるLNGを補給する際の対策についてコンピュータシミュレーション等により検討

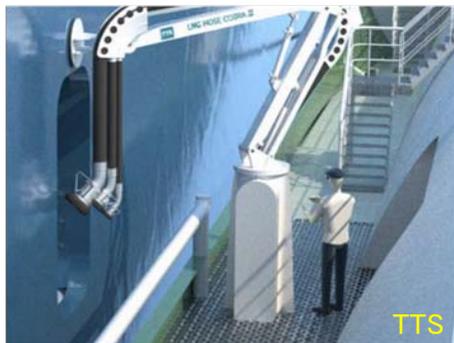
StS方式に係る検討を他方式に活用



世界初LNGバンカー船「SEAGAS」の接舷風景

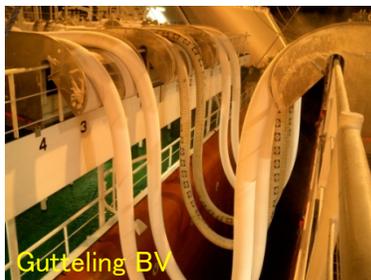


「Viking Grace」のLNG移送ホース接続風景



LNG移送アーム

TTS



LNG移送ホース

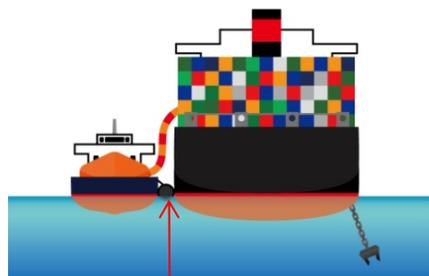
Gutteleing BV



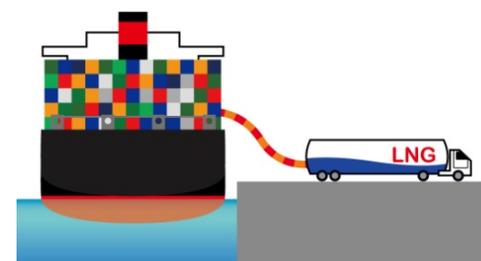
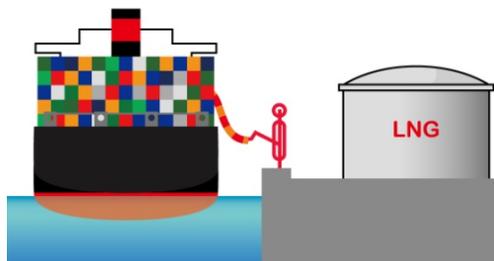
SPT Inc.

ホースサドル
ドリップトレイ

ウォーターカーテン



フェンダー(空気式防舷材)



横浜ゴム株

緊急遮断システム(ESDS)、緊急離脱装置等(ERS、DBC)

ERSを構成する装置である
緊急切離しカップリング(ERC)



Klaw Product Ltd.

漏洩対策機能をもつカップリング(DBC)
※ 小径のホースに利用



Mann Tek AB

※ BACを用いる場合は、BACの切離し前にESDを作動させることを担保するための措置について検討を行い、必要な対策を講じる必要

④ 航行安全対策 ～検討の前提～

前提条件等

- 検討結果を**可能な限り一般化**することを念頭に、下表の天然ガス燃料船とLNGバンカー船を想定
- 以下の場合には、本検討結果を適用することが適当でない場合あり(別途検討が必要)
 - 天然ガス燃料船が**特殊な船型**の場合
 - 天然ガス燃料船の全長が100m程度に満たないような**小型船**の場合
 - LNGバンカー船が**標準的な内航LNG船**(タンク容量2,500m³)と比べ極端に**小型**の場合

	天然ガス燃料船		LNGバンカー船	
	VLCC	PCC	バンカー専用設計船	内航LNG相当船
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(m ³)	5,000	5,000	5,000	2,500
推進器	—	—	2軸2舵 可変ピッチ	1軸1舵 可変ピッチ
舵	—	—	普通	シリング
バウスラスト(トン)	—	—	10	5

- 天然ガス燃料船はIGFコードの要件を満足していること、LNGバンカー船はIGCコード及び危険物船舶運送及び貯蔵規則第3章の要件を満足している事が前提
- 必要に応じて、**地域固有の特異な外力**(長周期波や強潮流など)、**港内の利用状況**について、個別の運用ロケーション(港湾)に応じた検討を行う必要がある。



④ 航行安全対策 ～LNGバンカー船の接舷シミュレーション～

検討の内容・結果

操船シミュレーターによる接舷シミュレーションにより、操船面の安全対策を検討

検討方法

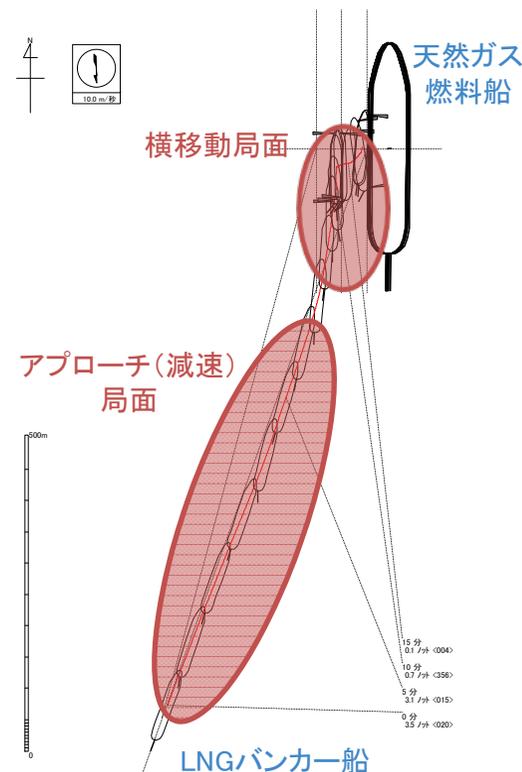
- 天然ガス燃料船は岸壁・棧橋への係留中と錨泊中の2状態を想定
- 昼間・夜間の接舷を想定
(夜間については追加シミュレーションを実施)
- 操船は大手邦船社の船長経験者が担当

検討内容

- 離接舷時の運用条件
(強風下で安全に接舷操船可能な上限の明確化)
- 標準的な操船方法
- 航行安全対策(安全確保に必要な要件の精査)

[検討結果]

- 運用条件は次の通り。
 - 接舷条件: 風速10m/sec以下、波高1.0m以下
 - 離舷条件: 風速12m/sec以下、波高1.0m以下
- LNGバンカー船は、操船に習熟した者が操船を行うか、又は、スターンスラスト、適切な制御に基づくジョイスティック操船システム等を装備
- 天然ガス燃料船が振れ回っている間は、離接舷操船を実施しない
- 原則昼間に実施。夜間は乗組員が熟練している場合のみ
- 夜間接舷時は、次の対応を実施
 - 天然ガス燃料船のデッキライト等で船側を水線まで照明
 - 横移動局面において、LNGバンカー船の作業灯を点灯
 - 振れ回り対策として動的情報提供装置の活用が望ましい



検討の内容・結果

係船動揺シミュレーション、水槽試験等により、2船間係留時の安全対策を検討

検討方法

- 係留動揺シミュレーション及び水槽試験の結果から2船間係留時の船体動揺量を把握
- 船体動揺量や係船索への荷重が安全な範囲内に収まる運用条件を検討
- ホースの挙動解析によりホースと船体の接触可能性、最大曲げ量を検証
- 2船間ギャップ内水位上昇解析により、ホースと波の接触可能性を検証

検討の条件

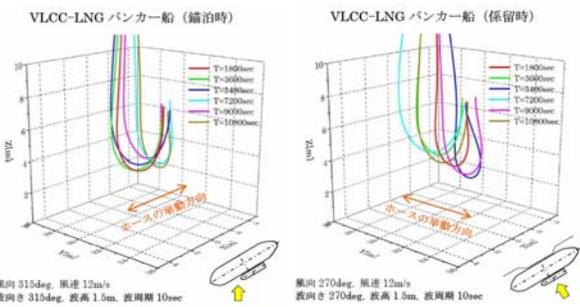
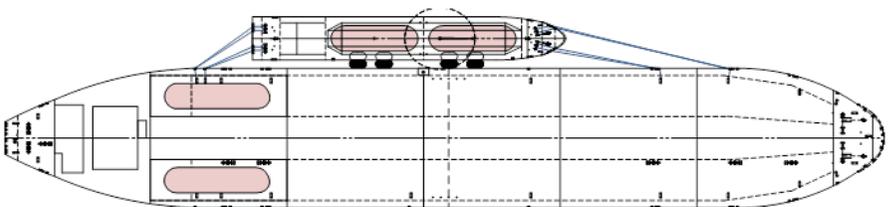
対象船	天然ガス燃料船		LNGバンカー船	
	VLCC	PCC	バンカー専用設計船 (5,000m ³)	内航LNG相当船 (2,500m ³)
載貨状態	バラスト		半載	
状態	係留・錨泊		—	

検討内容

- LNG燃料移送作業の運用条件 (安全に移送作業を実施可能な上限の明確化)
- 係船等に係る安全対策 (安全確保に必要な要件の精査)

[検討結果]

- 運用条件(LNG移送作業限界条件): 風速12m/sec以下、波高1.0m以下
- ホースバンドと補助索を使用してホースをバンカー船側へ予め引っ張っておくことや舷側へのクッション材の設置等によるホースの舷側への接触対策 (ホースが天然ガス燃料船の舷側に接触する可能性あり(特に乾舷差大の場合))
- 係船索をバランスよく配置出来ない場合、両船の平行ボディにフェンダーをバランスよく配置出来ない場合は別途検討が必要



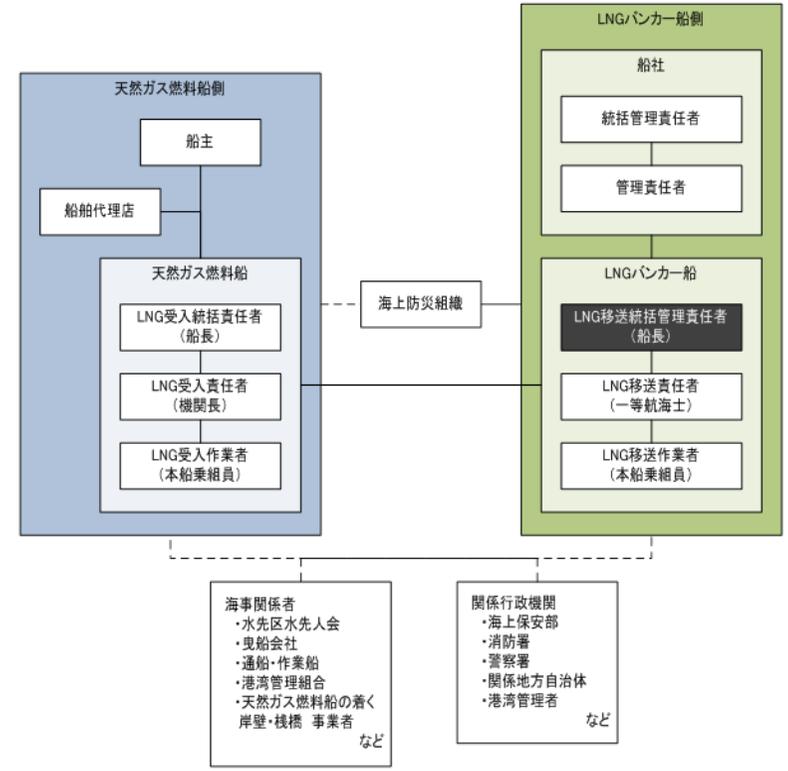
LNG移送ホースの挙動解析(例)

④ 航行安全対策 ～まとめ～

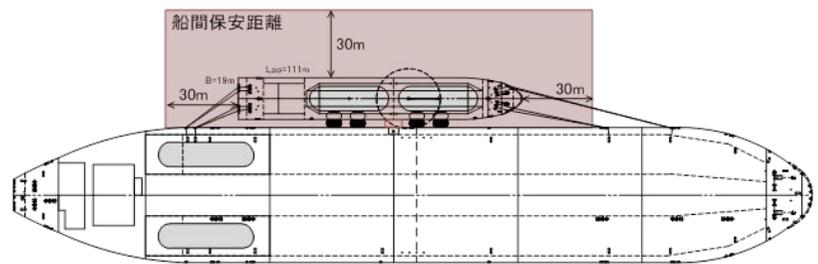
操船、2船間係留時に加え、付近航行船舶の影響、船間保安距離の確保等について検討し、標準的な航行安全対策をとりまとめ

○ 主な内容

- 安全管理体制（海上防災対策と共通）
 - 必要な情報の収集、関係機関等との連絡・調整を一元的に所掌する安全管理体制を整備
- 運用条件(まとめ)
 - 接舷条件: 風速10m/sec以下、波高1.0m以下、視程500m以上
 - LNG移送限界条件: 風速12m/sec以下、波高1.0m以下
 - 離舷条件: 風速12m/sec以下、波高1.0m以下、視程500m以上
- 付近航行船舶の影響
 - 航走波の波高が50cm以下、かつ、吸引作用による外力が係船索の安全使用荷重を超えない海域にて実施
 - 500mの距離を確保できれば安全に作業可能
- 船間保安距離の確保
 - LNGバンカー船は、LNG燃料移送中に同船の周囲30m以内の水面に他船が接近しないよう、船間保安距離を確保
- 周囲航行船舶への注意喚起
 - 横断幕により注意喚起(夜間は視認可能なよう照明を確保)
 - 海域や航行船舶の状況等を勘案し、必要に応じてVHFの使用等



安全管理体制(例)



船間保安距離(例)

⑤ 海上防災対策

検討の内容

類似事例に係る知見の整理、漏洩LNGガス拡散シミュレーション等により安全対策等を検討

- 類似事例(苫小牧におけるStSによるLNG貨物移送)に係る知見の整理
 - 海水消火栓から2条のホースを展張、固定式粉末消火モニター及び粉末消火装置用ハンドノズル1個を直ちに使用できるよう用意、持ち運び式粉末消火器2本を準備(LNGバンカー船)
 - 習熟訓練の実施 等
- 漏洩LNGガス拡散シミュレーションの実施
 - 少量漏洩として、10インチアーム用ERCの内部の残液量(0.004m³)を、中量漏洩として、10インチアーム1本分(1.327m³)を想定
 - 坂上モデルとALOHAによりシミュレーションを実施

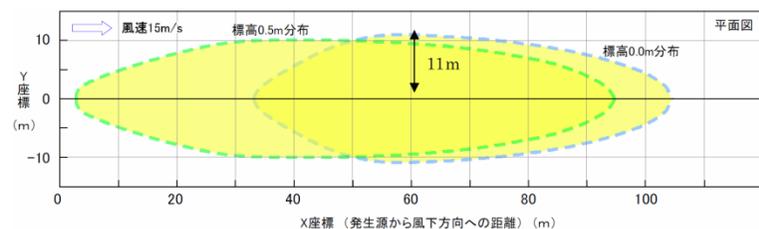
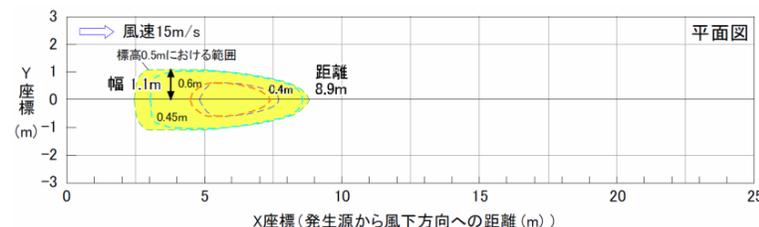


苫小牧におけるStS作業の様子

漏洩LNGガス拡散シミュレーション結果の概要

流出量		0.004m ³ (4L)				1.327m ³			
計算条件	発生源高さ	0.5m							
	危険限界濃度	5.0 vol%							
	流出形態	瞬間流出							
	大気安定度	中立成層							
風速		15m/sec	2m/sec	15m/sec	2m/sec	15m/sec	2m/sec	15m/sec	2m/sec
計算手法		坂上モデル		ALOHAモデル		坂上モデル		ALOHAモデル	
拡散	最大	8.9m	22.3m	10m未満	12m	107m	212m	57m	161m
	最大危険限界時刻(ガス消滅)	5.8秒	14.8秒	—	—	22.9秒	122秒	約1分	約3分

ガス危険区域(9m)の設定に活用



坂上モデルによる風速15m/secでのガス拡散シミュレーション結果 (LNG漏洩量 上:0.004m³、下:1.327m³)

防災対策

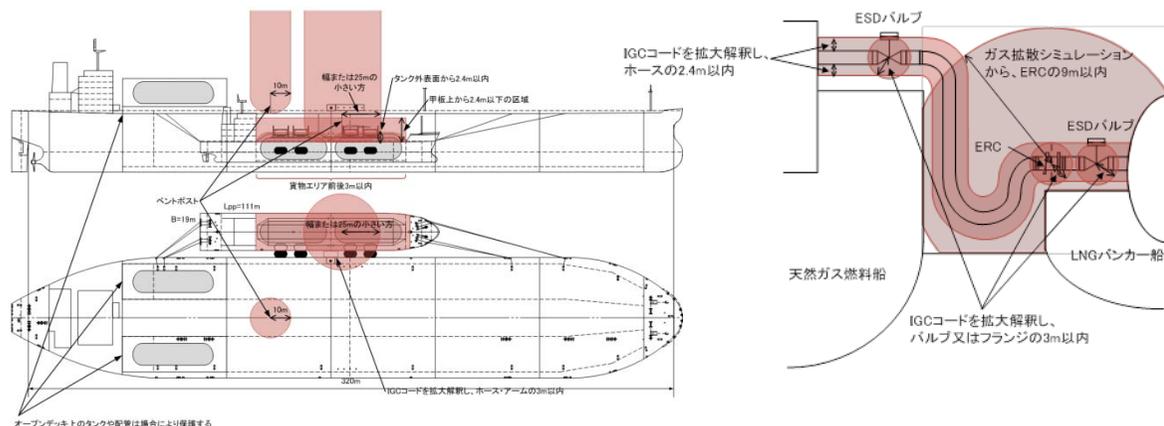
- LNG移送作業中、安全管理体制を維持すること(航行安全対策と共通)
- LNG移送作業中は両船ともマニホール付近の消防設備をスタンバイとすること
- 海上防災組織と連携体制を組むなどにより、防災体制を整備すること
- 習熟訓練を実施し、両船の船員の能力を確保すること
- 地震・津波情報の入手体制の確立など、津波・地震に備えた対策を講じること



消防船「おおたき」

ガス危険区域の設定

- 総合リスク評価の結果を踏まえ、次の区域を着火源を排除すべき区域(ガス危険区域)に設定
 - IGFコード、IGCコード上のガス危険区域、これらのコードを移送設備周りに準用した際にガス危険区域に当たる区域
 - ERCの中心から球状に半径9m以内の区域(少量漏洩時のガス拡散分析結果より)
- 着火源の排除に有効な措置(立入り禁止等)を実施



総合リスク評価の概要

欧州標準(EN1474-3)に基づき、StS方式LNG燃料移送の総合リスク評価を実施

リスク評価手法

- ハザードの特定にはHAZID※1手法のうち、関連システム間の相互影響を踏まえ、柔軟かつ効率的に分析可能なSWIFT※2手法を採用

HAZID会議の開催

- 2013年5月17日に開催
- 40名の専門家が参加
 - ・有識者: 3名
 - ・業界関係者: 19名
 - ・関係官庁: 9名
 - ・その他(事務局等): 9名



リスクのランク付け

		深刻度 SI				
		1	2	3	4	5
		無視してよい Negligible	小さい Minor	中程度 Midium	大きな Major/ significant	破滅的な Catastrophic/major
頻度 FI	5 頻繁 Frequent	M	H	H	H	H
	4 良くありそうな Very likely	M	M	H	H	H
	3 ありそうな Likely	L	M ③少量LNG漏洩	M	H	H
	2 起こりうる Possible	L ⑩落雷による着火 ⑫第3船との衝突 (小型船(FRP船)) ⑬電源・油圧機能喪失	L ①物体の落下 ⑫第3船との衝突 (大型船)	M ④中量LNG漏洩(燃焼等せず)	M	H
	1 起こりそうにない Unlikely	L	L ⑦LNG過積 ⑨ロールオーバー	L ②作業員の落下 ⑪バンカー船・LNG燃料船の火災	M ④中量LNG漏洩(燃焼等発生)	M ⑤大量LNG漏洩

- ランク付けの結果、「H」となったものはなく、「M」を中心に安全対策(リスク低減策)を検討
- ISM(任意ISMを含む)の取得等を安全対策として要求

※1 HAZID(Hazard Identification) ※2 SWIFT(Structured What If Technique)

検討の内容

海外事例、国内の規制体系等を踏まえ、HAZID会議にて審議

- ストックホルム (Viking GraceとSeagas) においては、旅客乗降中におけるLNG燃料移送を実施夜間においても、LNG燃料移送を実施予定
- 労働安全衛生規則第604条においては、作業区分ごとの照度基準を次のように規定
 - 緻密な作業： 300lx以上
 - 普通の作業： 150lx以上
 - 粗な作業： 70lx以上



ストックホルムでのStS方式LNG燃料移送
(旅客乗降中に移送を実施)

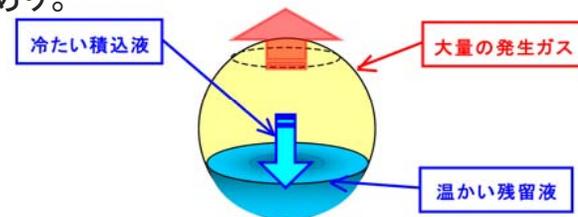
夜間の留意事項

- LNG燃料移送中、以下の作業が実施できるよう70 lx以上の十分な照明を設置すること
 - 蒸気流・蒸気雲の確認
 - ホース・アームの状態監視及び漏洩時の移送中止
 - 漏洩箇所からの避難
 - 係船解除
 - 消火設備の準備、消火救助作業
- 海面近くのホース垂下部を十分に照らすことができる照明を設置すること
- フランジの接続等、注意力を特に要する移送開始時の作業が24時以降となる場合は作業する者の休息时间等に配慮
- 周囲航行船舶への注意喚起に用いる横断幕を視認可能なよう照明を確保
- 夜間接舷を行う場合は、必要な措置を実施
(④航行安全対策参照)

荷役中・旅客乗降中の留意事項

- ガス危険区域が設定され、両船の構造を考慮したガス危険区域からの着火源排除に有効な措置 (LNG燃料移送作業関係者以外 (貨物荷役に係る作業員や旅客など) の区域内立入禁止等) が講じられていること
- 着火源となりうる作業 (コンテナ荷役 (メタルタッチの虞)、グラブやアンローダーの使用等) をガス危険区域内で実施しないこと
- ガス危険区域内に空気取り入れ口がないこと (ガス密閉口の場合はないものと看做す)
- 旅客はガス危険区域外であっても原則禁煙とすること等により、喫煙が適切に管理されること
- 天然ガス燃料船の荷役貨物の落下等から移送設備が保護されていること
- 保護されていないLNG移送設備の上を荷役設備が移動しないこと
- LNG漏洩又はESD作動時に貨物荷役及び旅客乗降を中止し、直ぐに離舷できるよう準備されていること
- なお、船員の追加配乗は不要

- [背景]**
- ⇒ 天然ガス燃料船は、産地(組成)の異なるLNGを積み増して使用する可能性あり。
 - ⇒ 密度差によりタンク内が層状化し、ロールオーバーの虞
 - ⇒ 温度差により、LNG移送時に急激・大量のBOG発生 の虞



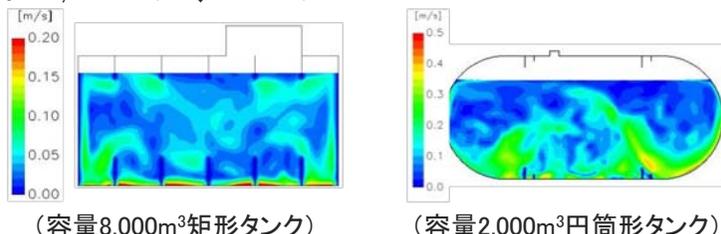
[目的] 異種のLNGを混合して燃料として積む場合の圧力管理に係る要件の策定

検討の方法・内容

CFDシミュレーション、化学シミュレーションにより現象を再現し、安全対策を検討

層状化(ロールオーバー)対策検討

- LNG燃料タンク内の液密度とは異なるLNGの受け入れをCFDでシミュレーション
- 検討条件(以下を基に種々組合せを実施)
 - ⇒ タンクタイプ: 矩形型Type Bタンク、円筒形型Type Cタンク
 - ⇒ タンク容量: 1,000m³、2,000m³及び8,000m³
 - ⇒ 積込レート: 1,000m³/h、250m³/h



LNG供給後の流速分布(例)

温度差のあるLNG混合安全対策要件

- LNG燃料タンクの内圧変化を化学シミュレーション
- 検討条件
 - ⇒ Type Bタンク、Type Cタンク
 - ⇒ タンク容量: 2,000m³
 - ⇒ タンク内残液量: 200m³、1,000m³
 - ⇒ 想定LNG (低): -161.8°C (Kenai産)
 - (高): -150°C、-140°C、-130°C (Arun産ベース)
 - ※温度差の比較的小さい-150°Cであっても厳しめの想定 (安全サイドの評価)
- ⇒ BOG返送可能レート: 1ton/h
- ⇒ LNGタンクの冷却、LNG移送ポンプからの入熱を考慮

検討結果・安全要件

- ロールオーバーに至る可能性は極めて低いことを確認
- 軽質LNGを下部から、重質LNGを上部から補給する方法が有効
充填後の層状化回避策としてはポンプによる循環攪拌が有効
- 温度差が20°Cを超えるような場合には、燃料供給時のBOG発生によるタンク内圧の上昇に留意が必要(初期移送レートの調整)



- LNG液温度モニタリング(タンク下部に最低1個装備)
- LNG液密度モニタリングまたは液組成モニタリング
(液密度モニタリングはタンクの上部と下部を確認可能とする)
- 矩形型タンク底部のLNG供給分配管の装備による攪拌促進
- LNG燃料補給作業要領の策定(24時間後確認・必要に応じ攪拌)
- ※タンクが十分な耐圧を有している場合等は対策不要

⑥ 天然ガス燃料船の入渠に係る要件



⑥ 天然ガス燃料船の入渠に係る要件

[背景] ⇒ 入渠中に状態変化しうるタンク内のLNGの取扱が未確立

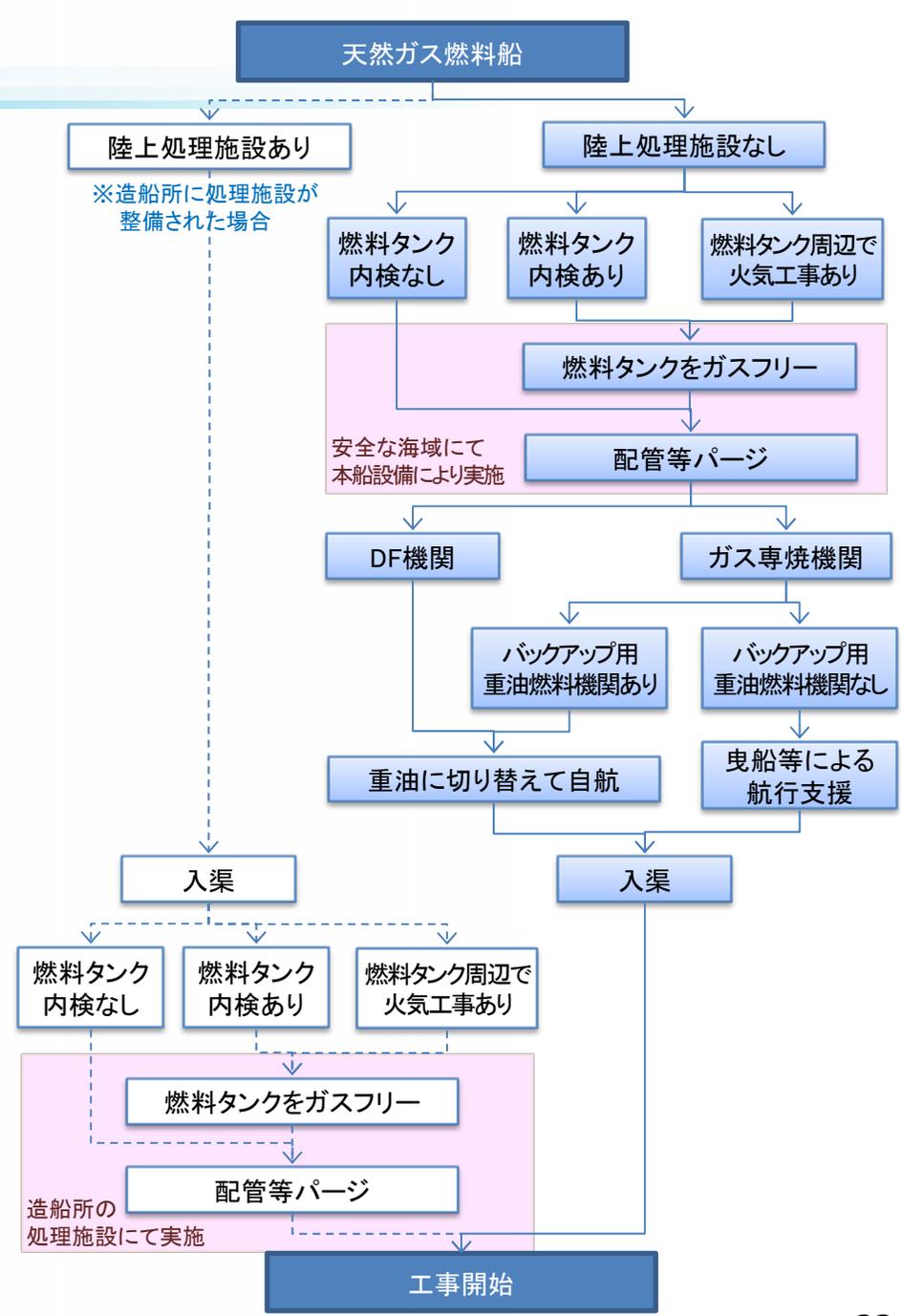
[目的] 天然ガス燃料船が入渠する際の安全上の要件を策定

検討の内容 LNG運搬船や欧州におけるLNG燃料船の運用実態等を踏まえ、要件を検討

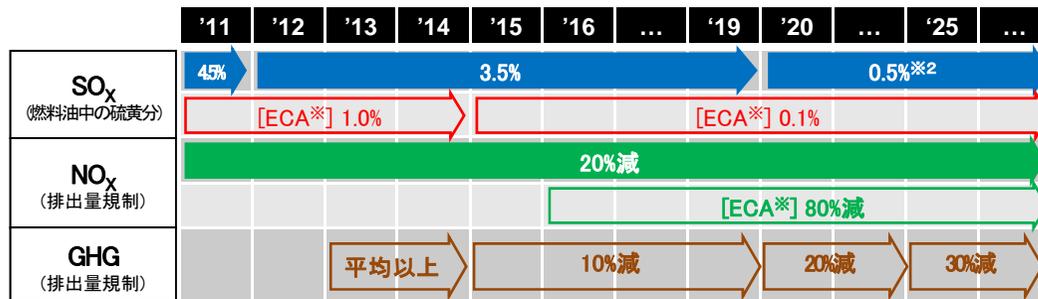
- ▶ 我が国におけるLNG運搬船の入渠時の運用
 - 「修繕船工事爆発火災防止基準(日本造船工業会)」により、タンク及び配管のガスフリーが要求
 - ガスフリー作業は、海上保安庁の指導により、他船に影響のない安全な海域にて実施
- ▶ 欧州(ノルウェー王国)における天然ガス燃料船の入渠時の運用
 - 作業の安全を確保可能な限りにおいて、ガスフリー不要
 - 真空防熱型Type Cタンクは内部検査不要

入渠に係る安全要件

- ▶ 原則として、LNG運搬船と同様にガスフリーを実施
- ▶ 以下の4点を満たせば、燃料タンク内にLNGを保持したまま入渠可能
 - 燃料タンクが真空防熱型 Type C タンク
 - 燃料タンクの健全性を確認
 - 1) 燃料タンク内の状態を記録したログ
 - 2) 燃料タンクの外観目視検査(コールドスポットの有無確認)
 - 燃料タンクのマスターバルブから機関までの配管をガスフリー
 - 入渠中の適切な圧力管理、火気管理、緊急時対応を確保
- ▶ ただし、船舶検査実施時の安全対策については、IGFコードの内容が確定し、実船の計画が具体化した時点で詳細な検討を実施



【国際海運の環境規制の強化】



※ECA(Emission Control Area: 大気汚染物質放出規制海域): 一般海域よりも厳しい規制が課せられる。

SO_xは欧州・北米のECA、NO_xは北米のECAが対象

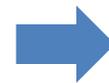
※2 2020or2025開始。2018に規制開始時期をレビュー

【天然ガスの利用の拡大】

- 世界の天然ガスの生産・利用は拡大傾向
- 我が国においても、シェールガスを含む安価な天然ガスの輸入、日本企業の天然ガス開発支援による供給多角化等を実施
- 船舶燃料としても、欧州における利用が更に進むとともに、アジア、北米、豪州にも利用が拡大

【本検討の成果】

- 関係省庁との連携により、LNG燃料移送(燃料補給)に係る標準的な手順・安全対策等を確立(ガイドライン・オペレーションマニュアルの策定)
- ハード面の設計時の課題の整理・要件の確立 等



- ✓ LNG燃料補給の円滑な実施
- ✓ 造船所等による設計の効率化
- ✓ 国際基準の策定等に貢献

天然ガス燃料船の普及に向けた環境整備が完了

我が国における天然ガス燃料船の実船の早期建造に期待

