

寒冷地向け最新鋭 LNG 船の概要と特徴

Feature of Latest LNG Carriers Sailing into Low Temperature Environments



平松 彩*1
Sai Hiramatsu

津村 健司*1
Kenji Tsumura

佐藤 宏一*1
Koichi Sato

石田 聡成*2
Toshinori Ishida

岡 勝*3
Masaru Oka

藤野 義和*4
Yoshikazu Fujino

近年、氷海航路対応の LNG 船商談が活発化している。寒冷地積出しの LNG 船は、低温氷海域を航路とするために、構造・主機・推進軸系・艤装品に特別な対策を必要とする。当社は寒冷地向けのプロジェクトを通じて、実船建造に適した合理的な設計、仕様を確立しており、本稿はその特徴的な設計の要点を紹介する。また、将来的に更なる低温環境下も視野に入れた場合の仕様、材料、プラント選定の考え方についても考察した。今後もこれらの知見を生かし、寒冷地向けのプロジェクトに積極的に取り組んでいく計画である。

1. はじめに

近年、世界的なガスの需要増加に伴う寒冷地におけるガス田の開発により、氷海航路対応の LNG 船商談が活発化しており、今後もロシアプロジェクトを中心として多くの需要が期待されている。それに伴い、LNG 船に対する寒冷地対策の検討が、船級協会や船主、造船所により実施されている。寒冷地と一言に言っても環境条件は様々であり、商船分野においては航路環境、経済性を考慮した適切な設計・仕様が重要となってくる。寒冷地対応の LNG 船は、低温氷海域を航路とするために、鋼材・主機・艤装品に特別な低温対策が、構造・推進軸系には氷対策が必要となり、コスト及び性能に大きなインパクトを与える。当社はノルウェーやロシア向けのプロジェクト等を通じて、寒冷地仕様の LNG 船の知識を蓄積しており、本稿では上記プロジェクト向けの寒冷地対応 LNG 船の建造に適用された、特徴的な設計の要点を紹介する。

また、将来的にさらなる低温環境下も視野に入れた場合の合理的な仕様、材料、プラント選定の考え方についても述べる。

2. 寒冷地向け最新鋭 LNG 船(サハリンプロジェクト船)の特徴

2.1 設計条件

サハリン2プロジェクトはロシアから LNG を輸出する初めてのプロジェクトで、サハリン北東部で採掘された天然ガスを陸上パイプラインで南サハリンのア

ニワ湾に位置に位置する Prigorodnoye Terminal まで輸送し、液化した上で LNG として輸出する。

Prigorodnoye Terminal は、5月～9月が夏季、10月～4月が冬季となっており、平均的な冬季の気温は -9°C 程度、ごくまれに -23°C 以下まで下がる。また、アイスシーズンは平均的に1月中旬～4月初旬となっておりターミナル付近は $0.1\text{ m} \sim 0.3\text{ m}$ 程度の、部分的には $0.3\text{ m} \sim 0.7\text{ m}$ の氷が張る。

LNG 船の航路において平均的に La Perouse Strait からアニワ湾までの約 50 mile 程度が海水に覆われ、Prigorodnoye Terminal に入出港する LNG 船は、アイスブレイカーに先導され、形成された氷の裂け目を航行する(図1)。

冬季に Prigorodnoye Terminal に入港するためには以下のアイス、寒冷地対策が要求される。

(1) Ice Certificate の保持

ロシア政府より承認された機関が発行する書類で、個船の氷海航行能力を示すもの。氷の厚みごとの安全速力、エスコートアイスブレイカーとの距離、旋回径が記載されている。また、低温での運航適合

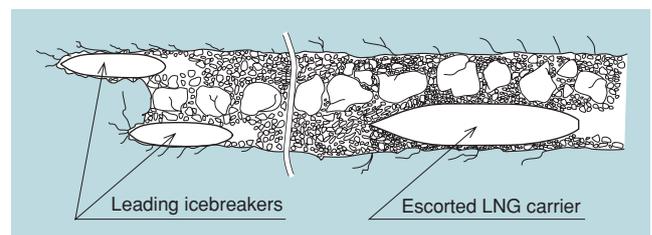


図1 氷海中の航行

*1 長崎造船所造船設計部計画課主席

*2 長崎造船所造船設計部船装設計課主席

*3 長崎造船所造船設計部機装設計課

*4 船舶・海洋事業本部船舶技術部商船・海洋計画グループ主席

性についても評価される。

(2) Certificate of Engine Power の保持

ロシア政府より承認された機関が発行する書類で、主機馬力の適合性を示すもの。60 cm の氷厚でアイスブレイカーにより作られた氷の裂け目を4ノット以上の船速を出すことができることを証明するもの。同時にプロペラ及びプロペラ没水深度も評価される。

(3) ロシア船級協会 LU2 相当の増厚プロペラ及びプロペラ没水深度 70 cm 以上確保

(4) - 25℃ 対応の寒冷地仕様

2.2 主要目

主要目は以下の通り。ターミナルとの整合性を考慮した浅喫水設計としている。また、寒冷地は環境の変化に影響を受けやすく、本船の仕様も燃料タンクのダブルハル化、環境ノーテーション (EP, BWMP) 取得等、環境に配慮した設計となっている。

Country of registry: Cyprus

Classification : Lloyd's Register of Shipping

+100A1, Liquefied Gas Tanker, Ship Type 2G, Methane in membrane tanks, Maximum vapour pressure 0.25 bar, Minimum temperature -163℃, ShipRight (SDA), Ice Class 1BFS (hull), *IWS, LI, +LMC, UMS, ICC, NAV1, IBS, EP, with the descriptive notes "ShipRight (FDA, CM, SERS, SCM, TCM, BWMP(S))"

Length, overall	288.0 m
Length, between perpendiculars	274.0 m
Breadth, moulded	49.00 m
Depth, moulded	26.80 m
Design draught, moulded	11.25 m
Deadweight at designed draught	abt. 71 200 t
Gross tonnage (international)	abt. 123 000
Cargo tanks (98.5 % at - 163℃)	abt. 145 000 m ³
Ballast tanks	abt. 54 600 m ³
Fuel oil tanks	abt. 4 800 m ³
Fresh water tanks	abt. 400 m ³
Main engine : Mitsubishi steam turbine × 1 set	
Maximum output	23 600 kW
Main boiler : Mitsubishi water tube boiler × 2 sets	
Maximum evaporation	55 000 kg/h per set
Main turbine generators	3 200 kW × 2 sets
Auxiliary diesel generators	1 600 kW × 2 sets
Emergency generator	630 kW × 1 set
Service Speed	abt. 19.5 kt
Endurance (oil exclusive burning)	abt.13 000 sm

2.3 配置

本船の一般配置図を図2に示す。本船はMOSS球形方式4タンク船で、ダブルハルの燃料タンクが船首部及び機関室横に配置されている。また、清水タンクは氷結防止の観点からダブルハル構造が採用されている。船尾係船甲板には、パイロット乗降用にヘリウイ

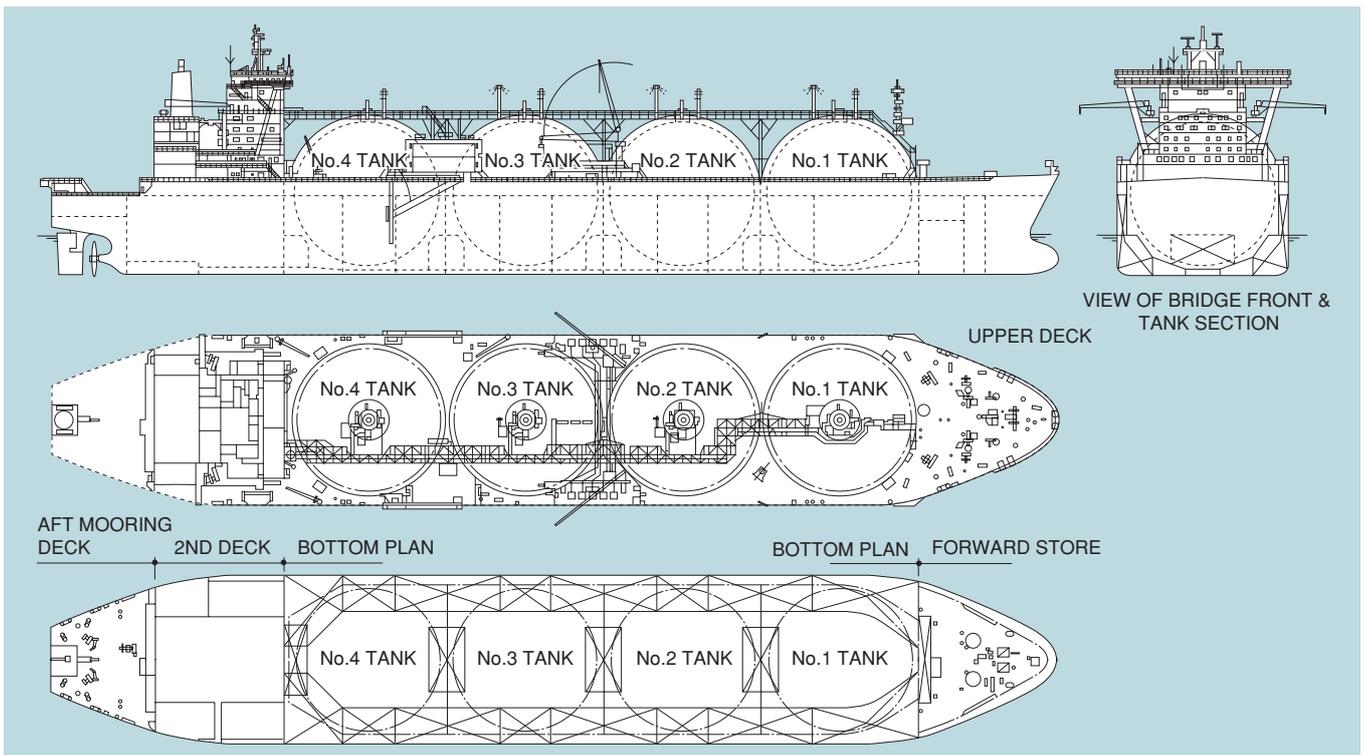


図2 サハリンプロジェクト船一般配置図

ンチングデッキが装備されている。

2. 4 構 造

一般的に耐氷構造については該当する海域の規則（アイスクラス規則）に従い設計される。例えばバルト海を航行する船舶に対しては、Finnish-Swedish アイスクラス規則が適用される。ただし、ロシア海域については、アイスクラス規則による設計の他に、直接強度評価により許容船速の条件のもと通行許可を取得する形式も認められている。これは“アイスパスポートコンセプト”と呼ばれ、その評価においては船体形状を反映した氷荷重と設計された船の実力強度が考慮されている。

本船はアイスパスポートコンセプトを採用しており、アイスクラス規則を適用する義務はないが、設計基準として当該航路（サハリン海域）において合理的であると考えられる Finnish-Swedish アイスクラス規則 1 B 等級を選択しこれに従い設計した。設計された図面はロシアの公的機関 CNIIMF (Central Marine Research and Design Institute) に審査され、Ice Certificate を取得した。一連の設計の流れを図 3 に示す。

寒冷地を航行する船舶に対しては対氷強度に加えて低温時の材料強度（靱性）も考慮する必要がある。当該海域の設計温度（LMDAT）は $-10 \sim -15^{\circ}\text{C}$ のレベルであり、通常の船級規則で想定している設計温度である -10°C よりやや低いことを考慮し、水線面から上の外板の材質に D 級鋼（通常船は A 級鋼）を適用している。

一般船体に関しては、当該海域の波浪条件および北方海域の自然保護の観点から、高仕様の疲労解析を実施し、LR FDA ノーテーションを取得した。

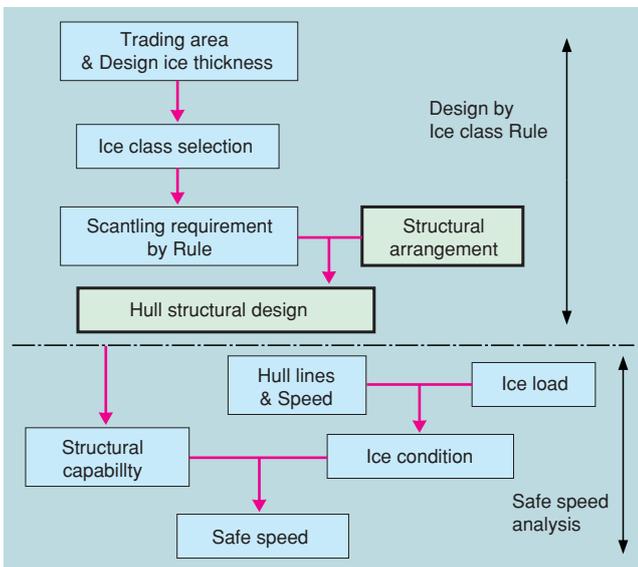


図 3 耐氷強度設計の流れ

2. 5 寒冷地対策

安全性、信頼性確保の観点から寒冷地として考慮すべき主な事象と本船での対策は以下の通りである。

- 材料の脆化：適正材料の使用
- 海水・清水ラインの凍結：ドライアップ
- 消火ラインの凍結：常時加圧循環
- バラストタンクの凍結：エアバブリング
- デッキ・構造物への着氷：ヒーティング、保護カバー、蒸気ブローによる解氷
- 氷による取水口閉塞：シーベいの採用
- 潤滑油・作動油の粘性増加：低粘度油の使用
- 制御空気／雑用空気の結露：乾燥空気の使用
- 氷との接触による損傷：外板アイスペイント

ここでは寒冷地対策の例として消火ラインの凍結対策、バラストタンクの凍結対策、取水口閉塞対策について紹介する。

(1) 消火ラインの凍結対策

本来消火ラインを含めて海水・清水ラインの凍結対策はドライアップであり、そのためにドレン弁を各所に設置している。LNG 船では荷役中は消火ラインを加圧状態にし、即座に消火活動が行えるようにしておくことが標準となっており、ドライアップ以外の凍結対策が必要である。本船では図 4 に示すように消火ラインを循環させることで加圧状態を維持しながら海水の凍結防止を図っている。シーベイより取水し消火ポンプにより消火ラインに海水が供給され、フライングパッセージ、船首部、アンダーデッキパッセージの順に回り、機関室へ入りシーベイへ戻るという順路を辿る。本船は客先の要望から機関室内に海水ヒータを装備しており、より安全性を考慮したものとなっている。

(2) バラストタンク凍結対策

バラストタンクの凍結対策については、3. 3 に後述の通り、先ず要求される低温環境下でバラスト水凍結の問題が起こるか検証すべきである。本船でも検証の結果、凍結のリスクは小さかったが、より

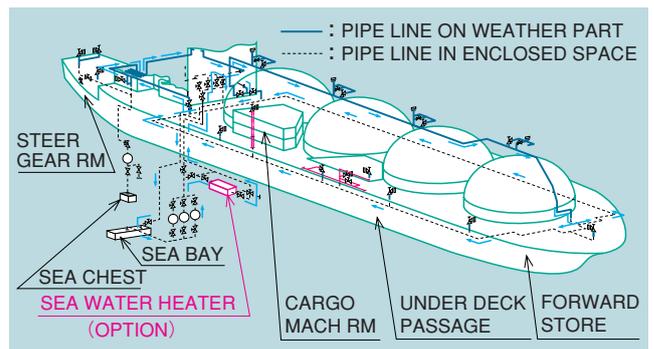


図 4 循環式消火ライン

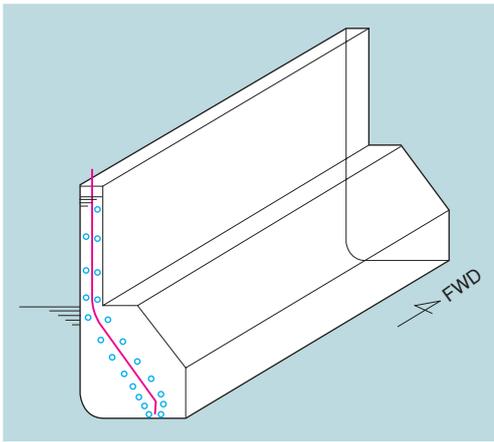


図5 バラストタンクエアバブリング

安全性を考慮すると共に合理的な仕様とする観点から、図5に示すエアバブリングを採用した。これはタンク底より連続的に吹き出したエアバブルによりバラストタンクが完全に閉塞することを防止するものであるが、期待される効果には、気泡群の上昇する力を利用し水を破碎させる効果とタンク低層の高い水温の海水を上昇させ表層の氷を融解させる効果がある。

(3) 取水口閉塞対策

氷間水路を低速航行する際、問題となるのが極めて低い海水温度（最低 -2°C ）による過冷却と粉碎氷片による冷却海水系統の閉塞である。

本船ではアイスシーチェスト及びシーベイ方式を採用している（図6）。

このシステムにより、冷却海水を再循環させ、機関部排熱及び余剰 Boil Off Gas (BOG) を熱源として水温を許容以上に保持している。

3. 次期寒冷地航行船

3.1 寒冷地対策のレベル

(1) 全般

寒冷地の環境は、北極・南極の様に極低温で厚い氷に覆われた状態から、冬季に短期間のみ氷点下になり、海水を生成しない状態まで様々である。

LNG 船の運航形態も、冬季を通じて寒冷地を運航することを前提とするものから、長期の航海中にターミナルの近傍でのみ寒冷地を航行するものまで様々である。また、オペレータの考え方も経済的理由から経験ある船員による操船を前提として寒冷環境下で最低限の対策を施した船舶を使用したり、リスクや船員の負担軽減のため、十分な寒冷地対策を施した船舶を使用したりするなど様々である。従って使用環境や運航形態、オペレータの考え方等の差

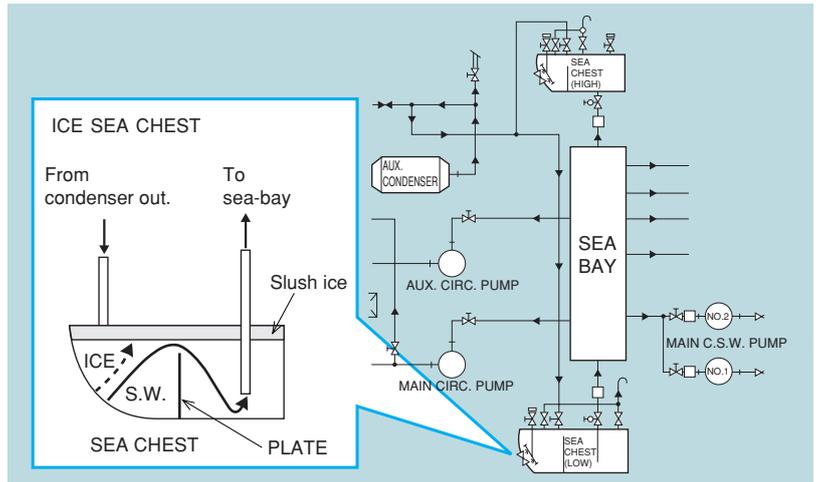


図6 アイスシーチェスト

により、一口に合理的な寒冷地仕様を規定するのは困難であるが、寒冷地を航行する頻度が高ければ船体や艀装品がダメージを受けるリスクが高くなるのは自明であると考えられる（図7）。

LNG 船は通常的环境下では極めて安全な運航が実現されているが、寒冷地環境下においても同様の安全性を確保する必要がある。また、寒冷地の自然環境は汚染に対して敏感であり、主機関選択においてもその点を考慮する必要がある。

Air Temp. 0°C ~ -10°C (-20°C ~ -30°C)	LMDAT (Extreme) -10°C ~ -20°C (-30°C ~ -40°C)	-20°C ~ -30°C (-40°C ~ -50°C)	Under -30°C (Under -50°C)
Sea ice Open water	Thin First Year Ice	Medium/Thick First Year Ice Multi Year Ice	
Encounter frequency Very rare to call on terminal in cold climate	Cold climate terminal surrounding only	All Navigating Route Is cold climate	
Concept of Winterisation			
Target safety level		Ice class	
Risk Up No winterisation		Winterisation	
Keep target safety level With winterisation			

図7 寒冷地対策のコンセプト

(2) 設計温度

気温は変動し、統計処理の方法によって平均気温も異なるため、寒冷地対策を考慮する上で設計温度の定義を明確にすることが必要である。例えば船体の鋼材選択については船級協会の定義で“Lowest Mean Daily Average Temperature (LMDAT)”なるものが定められている（図8）。

エアコン、主機関等の機器の機能に対する設計温度については下記のごとく様々な定義がある。

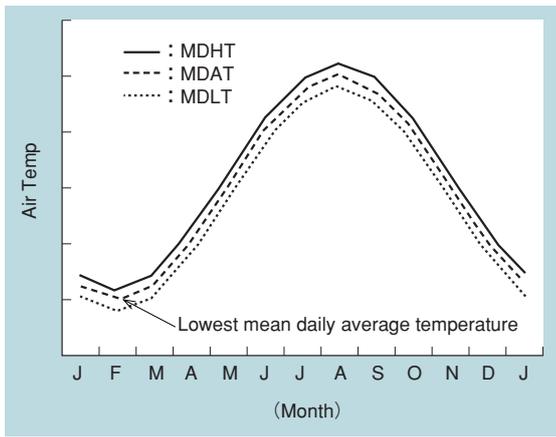


図8 設計温度の定義

- 上述の "LMDAT"
- Extream Temperature : 船が一生のうちに出会う可能性のある最低温度. ただし, 短期間であり, 概略 "LMDAT" より 20℃ 低い温度.
- 発現頻度定義による Russian Industrial Standard.
- Absolute Minimum Temperature : 100 年を考慮した場合の最低温のピーク値.

時として Extream Temperature を機器の設計温度として要求されることがあるが, 機器の重要度も考慮した上で, Extream Temperature を考慮するのはやや過剰であり, LMDAT との中間値を採用するのが適当と考えられる場合もある.

温度の定義を正しく理解した上で, 機器の重要度も考慮の上, 設計温度を決定することが現実的かつ重要であると考えられる.

(3) 寒冷地対策のカテゴリー

寒冷地対策のレベルを運航形態や環境を考慮し, 概略以下の3カテゴリーに分類した (図9).

(a) 通常船に最低限の寒冷地対策を施したもの

バルト海を航行している既存船や, Norway

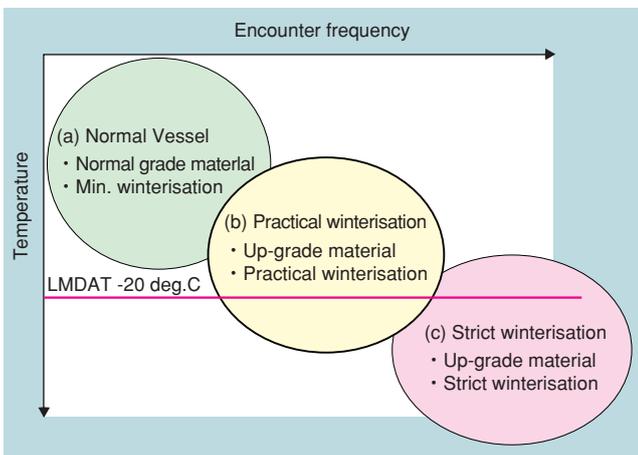


図9 寒冷地対策のカテゴリー

Snohvit PJ 向けの LNG 船が該当する. 大気温が LMDAT で約 0 ~ -10℃, Extream Temperature で -20 ~ -30℃ 相当である. 船体には通常の鋼材が適用され, 経済的な理由やメンテナンス性から, 限定的な寒冷地対策が施される.

(b) 合理的寒冷地対策適用船

大気温が LMDAT で約 -10 ~ -20℃, Extream Temperature で約 -30 ~ -40℃ 相当の地域を航行することを前提とした船舶. 船体損傷を最小限とするためにアイス補強を適用したり, 低温下での機器の機能維持を目的として実用的かつ合理的な寒冷地対策を施したもの. このクラスは通常船と後述の極地対応船の中間に位置し, 寒冷地対策のレベルは客先の考え方も相まって様々である. ガス田はロシア, ノルウェーを始めとする北極地域に点在しているが, 寒冷地の多くの LNG 基地は今後開発予定のものも含め, このカテゴリーの対策船で対応可能と考えられる.

(c) 重度寒冷地対策適用船

"Polar Class" を含む極地航行を前提としたクラス. 航路は厚い海水で覆われ, 極低温に達する. 仕様の設定にあたっては船舶と船員の保全本が第一と考えられる. しかしながら, このカテゴリーの具体的な設計思想は固まっておらず, 通常の商船からすると技術的にもコスト的にも大きな隔りがある.

3.2 船殻構造

耐氷強度については 2.4 節にて説明のとおり, 当該海域の規則に従い設計する. ただし, 同じアイスクラス等級の規則算式を用いても構造様式や造船所のプラクティスにより実際に出来上がった船の実力強度に差がでることが考えられる. したがって, 合理的な設計のためには規則算式による設計に加えて, FEM を用いた強度解析を平行して実施することが有効である. 図10は, 船体形状 (ラインズ) と氷形状の関係から, 氷荷重が最大となる構造部位を特定し, その部分の細メッシュモデルに対し, 非線形解析コード ABAQUS を使用して強度評価を実施した例である.

鋼材グレードの選定に関しては, 設計温度 (LMDAT) が低い場合 (-30℃ 程度), 船級協会統一規則の規定 (IACS Unified Requirement S6) を適用するケースが考えられる. 一方, LNG 基地のかなりの部分は -10 ~ 15℃ 程度であるので, 外板に D 級鋼を適用するなどの処理で実用上十分対処できると考えられる.

寒冷地向け LNG 船の場合, 比較的海象条件が厳し

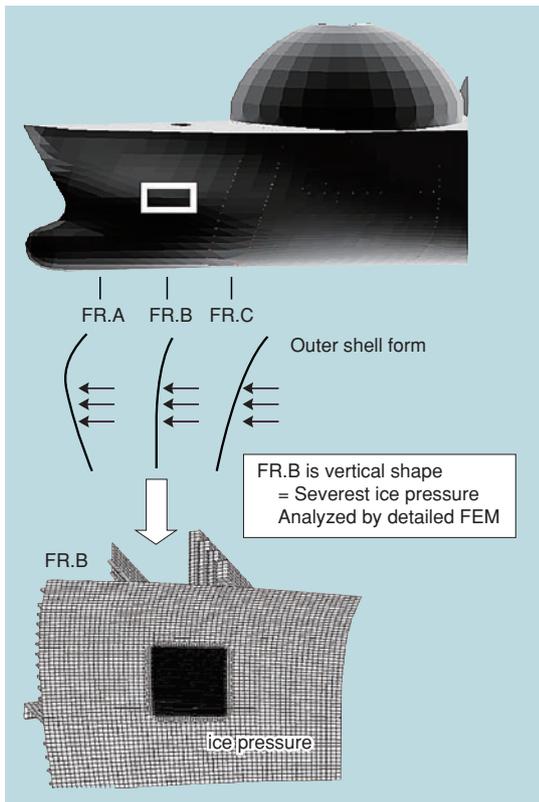


図10 FEM解析による耐氷強度評価

い事、及び北方海域への環境保護の世論を考慮し、高度疲労解析を適用するのが望ましい。当社で開発されたDILAM (Direct Loading Analysis Method) による解析が有効である。

3.3 艙装品

寒冷地仕様船の艙装品について各船級規則の要件が定まりつつある中、その要件を満足する具体的な対策には種々の案があり、要求される低温環境に応じて艙装品の安全性、信頼性と合理性を両立させる設計とすることが肝要である。過度に安全性を追及すると凍結対策(加熱装置)の装備拡大や低温材料の適用を招き、実際には使用する頻度の極めて少ない装置を常にメンテナンスすることが必要となったり、衰耗による交換の際にも不必要にグレードの高い材料を使用する必要が生じるなど、無駄な投資が続くこととなる。従って合理的な寒冷地仕様としては、先ず要求される低温環境に対する凍結対策の要否、及び適切な材料について検証しなければならない。ここでは、代表的な検証例としてバラストタンクの凍結、艙装品の材料選定手順について紹介する。

(1) バラストタンクの凍結

バラスト水の凍結によりバラストタンクが閉塞するとバラスト水排出時にバラストタンクが負圧となりタンクの囲壁が破壊する恐れがある。バラスト水の凍結防止対策として蒸気によるヒーティングが考

えられるが、海水に起因する蒸気管の腐食について対策が必要であり、あらかじめ耐食性の高い管材を用いるか、就航中のメンテナンスを前提に一般鋼管とするか、いずれにしても客先に大きな投資を強いることとなる。従って、先ずは要求される低温環境下でバラスト水凍結に至るか検証し、真に必要な場合に蒸気ヒーティングなどの対策を講じるべきである。図11にバラスト水凍結についてシミュレーション計算を行った例を示す。この場合、431時間(約18日)後に凍結するという結果となった。従って本船の滞在期間が18日より十分短ければ凍結対策として特別な措置は不要と考えられる。

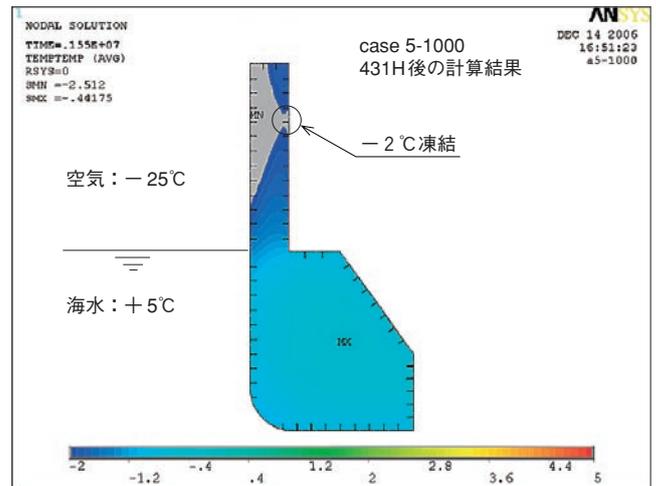


図11 バラスト水凍結シミュレーション

(2) 艙装品の材料選定手順

船殻鋼材については、要求される低温環境に応じた鋼材グレードの選定基準が既に船級協会統一規則(IACS Unified Requirement S6)に規定されているが、艙装品については明確な規定が無い。一般に低温環境に対する材料の評価基準として衝撃靱性値(Vノッチシャルピー衝撃吸収エネルギー)が用いられるが、設計温度に対して必要な衝撃靱性値を規定する手法は確立されていない。一方、通常仕様の船でも実際にはある程度の低温環境に遭遇しながら安全に荷役、航行を行っていることから、通常材料でもある程度の低温環境に耐え得る実力(信頼性)を有していると考えられる。そこで、使用実績のある低温環境(使用実績温度)での実力を定量的に評価し、同じ実力を目標とする低温環境下で満足するように材料を選定することを提案する。具体的には、破壊力学的なアプローチを基に通常材料の実力を使用実績温度に対する衝撃靱性値として定義し、目標とする低温環境下(設計温度)で同じ衝撃靱性値を満足する材料を選定する。材料選定の例としてア

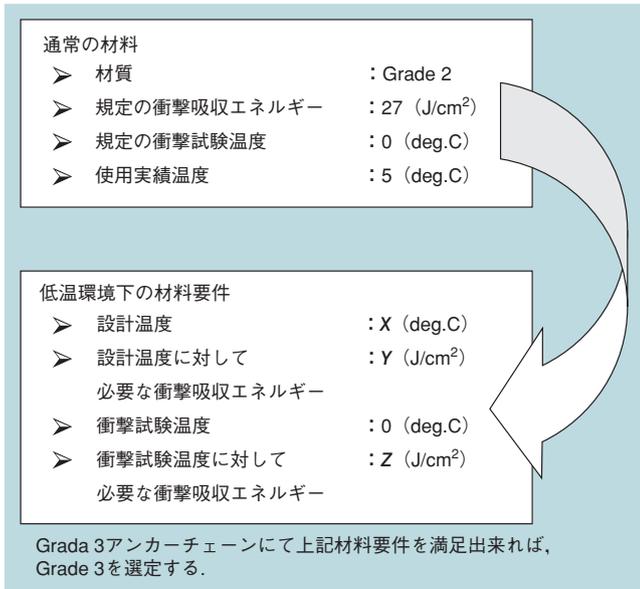


図 12 艀装品材料選定の例 (アンカーチェーン)

ンカーチェーンについて図 12 に示す。

3. 4 推進システム

(1) 推進プラント

サハリンプロジェクト船と同様に、先導するアイスブレイカーが造った氷の裂け目を航行する LNG 船の推進プラントは、長時間の低速航行を考慮する必要がある。また、主機プラントが消費する燃焼空気、及び冷却海水の温度が通常に比べて極めて低いことも考慮しなければならない。さらに、ギアや軸系には氷の巻き込みを前提としたトルク上昇を考慮する必要がある。

ここでは寒冷地航行における様々なプラント候補を比較した (図 13)。

UST は当社が開発した将来型蒸気タービンプラントであり、従来型に比べて熱効率を約 15 % 改善している。基本プラント構成は従来型に類似しているが、軸発電機兼推進機を追加装備しており、同電動機による低速航行が可能である。電気推進 (DFE) には、低速推進モータプロペラ軸直結と、高速推進モータ + 減速器の 2 候補があるが何れも混焼 (ディーゼル) エンジンを発電プラントとしている。

低速ディーゼル主機推進の 2 候補は、BOG は再液化、又は混焼型補助ボイラで燃焼する。主推進システムは二重化して一般的に LNG 船に要求される冗長性を確保している。尚、低速ディーゼル主機は油焚きである。

(2) アイスナビゲーション

図 14 にそれぞれの推進プラントの許容トルク範囲を示す。トルク範囲は、大まかに減速器付プラントの場合と直結の場合に分かれるが、タービンプラ

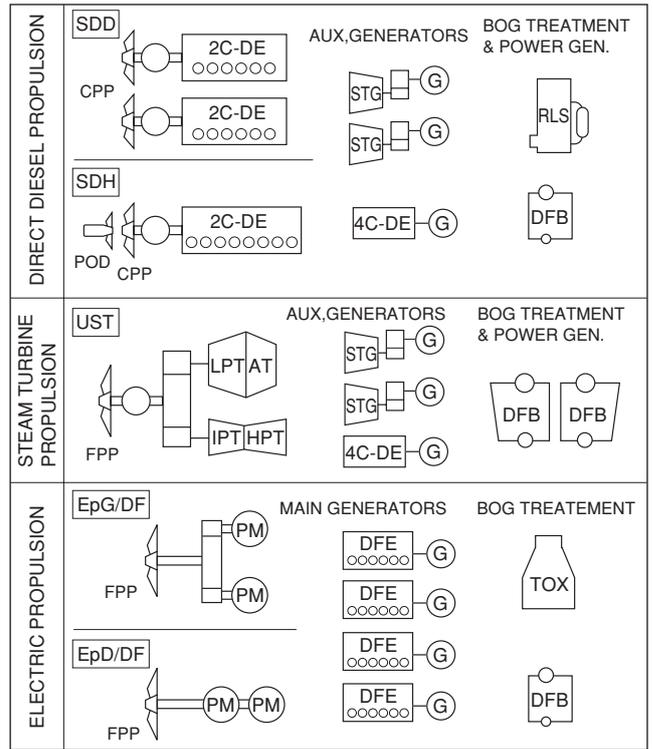


図 13 推進プラント候補

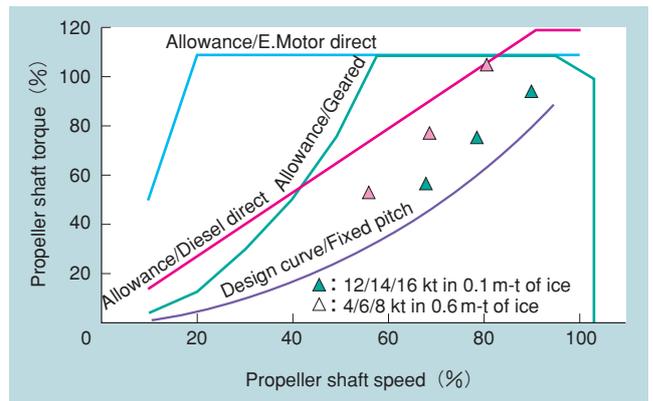


図 14 航行ゾーンでの主機トルク

ントと減速器付 DFE は共にギア付きの許容範囲に分類される。

固定ピッチプロペラのタービン船が氷厚 0.6 m と 0.1 m の氷海を航行した場合を△でプロットしているが、0.6 m の氷海でも許容トルクに対して十分マージンがあり、航行可能であることを示している。ただし、更に氷が厚い場合や、自己砕氷を前提とする場合は、CPP (可変ピッチプロペラ) の採用が必要になる可能性がある。ディーゼル船はトルク許容範囲が狭いため CPP 採用が望ましいと考えられる。

(3) 寒冷地対策

全プラントを通じ過冷却と砕氷片による冷却海水システムの閉塞対策としてサハリンプロジェクト船でも採用したアイスシーチェスト及びシーベイ方式が有効であると考

えられる。一方、大型ディーゼル機関の燃焼用空気取り入れは直接外気から吸気することが望ましい。機関室から吸気する場合は機関室に取り入れた大量の空気による室温低下を回避するための熱源が必要になる（図15）。

また、寒冷対策のため従来船に比べ多量の蒸気と温水を必要とするので混焼ボイラを装備しているタービンプラントは適していると考えられる。

(4) 経済性評価

燃料消費量は最も重要な経済性評価の指標である。LNG 船の場合、複数の燃料（重油、ディーゼル油、LNG、及びBOG）を使用するのに加え、寒冷地においては比較的長い低速航行が見込まれることもあり、単純な熱効率による燃費比較とはならない。例えばUSTとDFEを比較した場合（図16）、

実線はガス燃料（BOG）運転の燃料消費量であるが、低負荷領域ではDFEのほうが熱効率で若干優位であることがわかる。しかし不可避免的に発生するBOG量に満たない分は、余剰ガスとして燃焼破棄されるので燃費差に反映されない。

一方、燃費は主にLNGと重油の価格比に大きく依存する。図17はロシアバルト海沿岸と北米の輸送を想定し、両岸で氷海航海が予想される冬季（実線）と夏季（点線）を示している。LNGの価格比が高い領域では再液化有利が顕著で、特に低速航行が多く余剰ガスが発生している時間が長い冬季の効果が大きい。一方、USTとDFEの比較では、LNG価格比が低い領域ではほとんど有意な差はないが、価格比が大きくなると、安価な重油との混焼が可能であるUSTが優位になる。

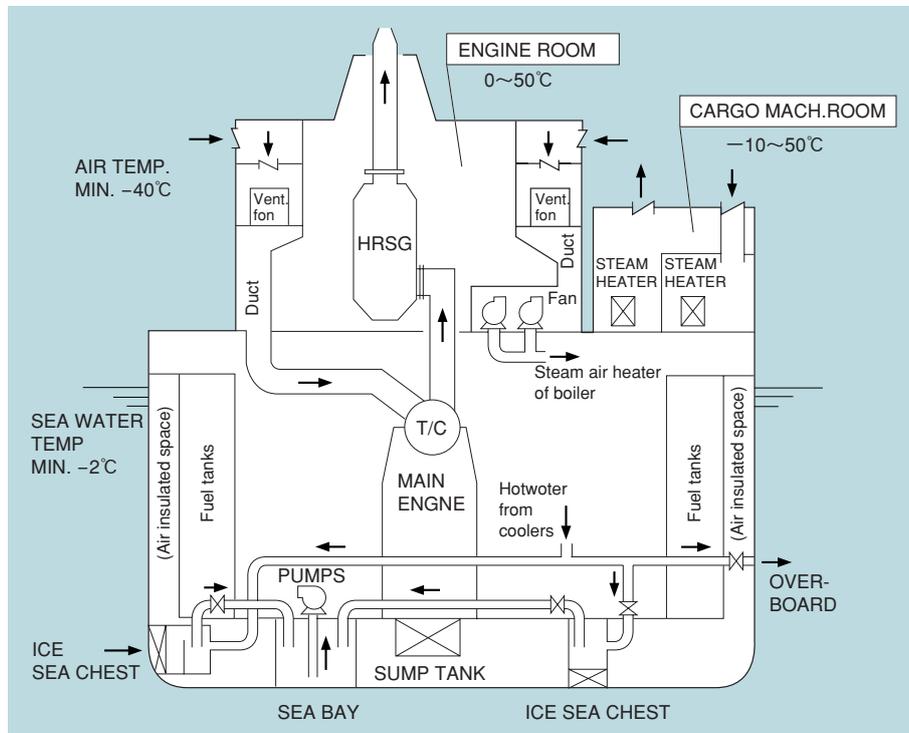


図15 寒冷地対策機関部概念図

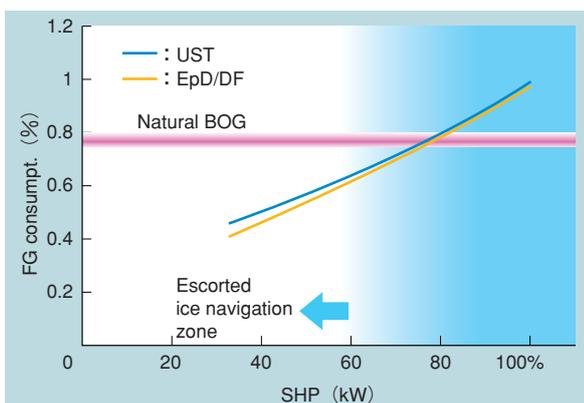


図16 ガス燃料消費量と自然ボイルオフガス

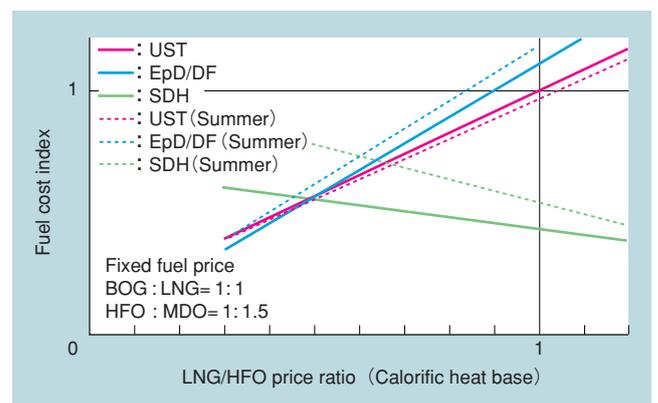


図17 燃料油コスト評価

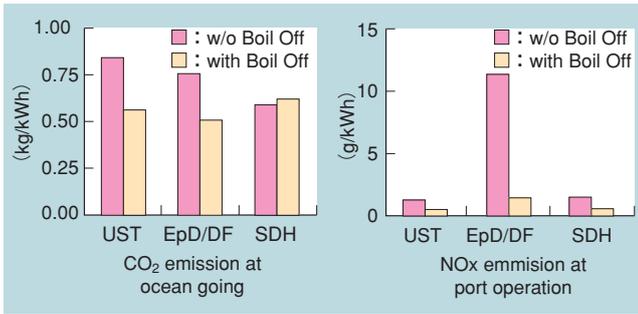


図 18 排気ガス評価

(5) 親環境性能

一般的に親環境性は、推進プラントから排出される CO₂, NO_x, SO_x 量として示される。図 18 はそれらの中から大洋航海中の CO₂ 排出量と、港内操船中の NO_x 排出量を推進動力ベースの比率で示したものである。

CO₂ 排出量 (SO_x 量もだが) は LNG を燃料とすることで改善される。また、NO_x 低減には蒸気タービン又はガス焼き (リーンバーンサイクル) モードの DFE が同程度の優位性を示す。したがって燃料選択性が広く、ガスが燃焼可能なシステムは燃費のみならず、親環境性能上も有利である。

4. ま と め

これまで当社は、ノルウエーやロシア向けのプロジェクト、ロシア研究所との共同検討等を通じ知識を蓄積し、実船建造に適した合理的な設計、仕様 (構造、配置、凍結防止、凍結解除対策等) を確立してきた。

また、将来的にさらなる低温環境下も視野に入れた場合の合理的な仕様、材料、プラント選定の考え方についても検討を継続している。今後もこれらの知見を生かし、寒冷地向けのプロジェクトに積極的に取り組んでいく計画である。

参 考 文 献

- (1) R Bridges, 'Cold Climate Navigation - Design and Operation Consideration', Lloyd's Register Technical Notes (2005)
- (2) W Magelssen, 'Operation of Ships in Cold Climates with Emphasis on Tankers and the New Requirements', Det Norske Veritas Paper Series NO2003-P015, November (2003)
- (3) Central Marine Research and Design Institute (CNIIMF) and Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), 'Study of Suitable Specifications of LNG Carrier to Call at Prigorodnoye Terminal during Ice Season'(2004)



平松彩



津村健司



佐藤宏一



石田聡成



岡勝



藤野義和