

SPB®方式大型LNG運搬船のタンク防熱工事

基幹産業事業本部 工事業業部
株式会社イノクリート

1. はじめに

2000年ごろから新たな天然ガス資源として注目され始めたシェールガスは、2010年代からアメリカで急激に生産量が増加した。世界的に天然ガスやLNG（Liquefied Natural Gas：液化天然ガス、以下、LNG）の供給量は大きく変わり、世界最大のLNG消費国であるわが国への影響は大きいものとなっている。

現在、日本の消費の大部分を占める海外産天然ガスは、すべてLNGとして輸入されており、その輸送手段はすべてLNG運搬船によるものである（図1）。天然ガスを産出地から遠く離れた消費地

へ運ぶには、一般的には3,000km以内であればガスの状態のままパイプラインで輸送する方がコスト面で有利であり、それを上回る距離を輸送する場合には、天然ガスを産出地近くの液化プラントでマイナス160℃程度まで冷却、液化し、LNGとして消費地まで運搬、気化して利用する方がコスト面で優れているとされている。液化により体積は約600分の1となり、効率的に運搬することが可能となるためである。

極低温の状態であるLNGを運搬するために、LNG運搬船のタンクには輸送中の気化を抑制するための防熱機能が要求される。また、LNGタンクの防熱構造には、万一の漏洩時に極低温の

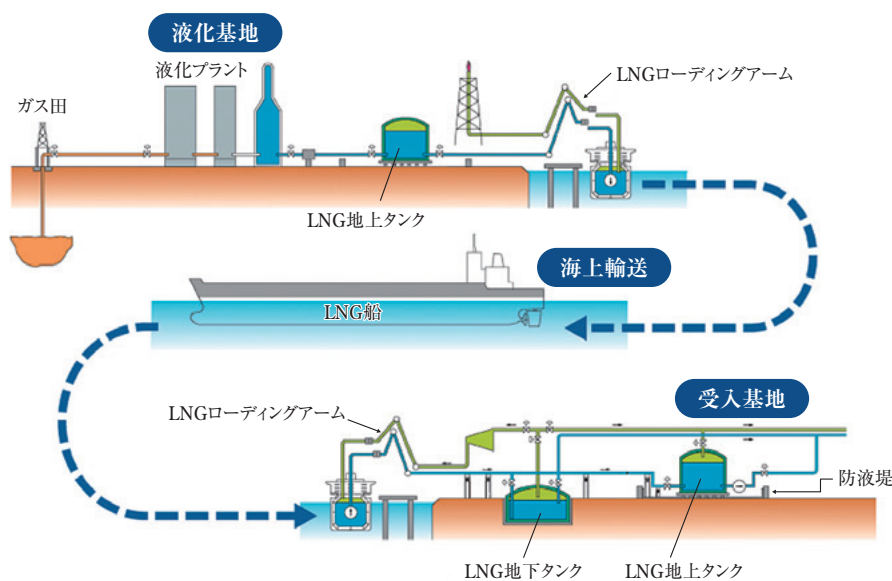


図1 LNGチェーン

LNGが船体に影響を与えることを一定期間防止するための機能も兼ね備えたものが必要とされている。

今般、当社の子会社である株式会社イノクリートが参画したジャパン マリンユナイテッド株式会社津事業所殿（以下、JMU津殿）にて建造されたSPB®（Self-supporting Prismatic shape IMO type B）方式の大型LNG運搬船タンク防熱工事について紹介する。

2. LNG運搬船の方式

日本へ初めてLNGが輸入されたのは1969年。このとき、アラスカからLNGを運搬した“Polar Alaska”のLNGタンク容積は71,500m³であった¹⁾。LNGタンクの容積は時代を経るごとに大型化し、1970年代に建造されたLNG運搬船で最大のものは130,000m³となった。その後、建造されるLNG運搬船の最大船型は30年ほど横ばいであったが、2000年代以降に急激に大型化し、現在では最大266,000m³のLNG運搬船が就航している²⁾。

また、LNG運搬船に搭載されているタンクは、1954年にアメリカで建造されたLNG運搬用の船（はしけ）“Methane”に搭載されたタンク以降、さまざまな方式のタンク、およびその防熱方法が開発されてきた。現在、建造されているLNG運搬船のタンク方式は、数千m³クラスの内航船と呼ばれる小型のLNG運搬船を除くと、MOSS方式、GTT方式（Mark III、NO96）、SPB®方式の3つに大別され、それぞれタンクの構造、防熱方式が異なる

ものとなっている（図2）。各方式の概要を以下に記す。

(1) MOSS方式

ノルウェーのMoss Maritime社が開発した方式。アルミニウム製、もしくは9%ニッケル鋼製の球形タンクを船体に固定する構造となっている。防熱材にはプラスチックフォーム（フェノールフォームや硬質ウレタンフォーム）が使用され、球形タンクの外側に取り付けられる。

(2) GTT方式（Mark III、NO96）

フランスのGTT社（Gaztransport & Technigaz社）が開発した方式。船体に固定された防熱材の内側にメンブレン（membrane = 膜）と呼ばれる金属製の薄板を配置し、LNGを保持する液密性を確保する。メンブレン方式は、防熱材の種類（繊維強化ウレタンフォーム、またはパーライトを充填した木製のボックス）とメンブレンの材質（SUS304L、またはインバー鋼^{*1}）の組合せにより、さらにMark III方式、NO96方式の2つに区別されるが本稿では詳細は割愛する。

※1 インバー鋼：36%ニッケル鋼。熱膨張率が非常に小さいことが特徴

(3) SPB®方式

株式会社IHI殿およびジャパン マリンユナイテッド株式会社殿（以下、JMU殿）が開発した方式。SPB®はSelf-supporting Prismatic shape IMO type Bの頭文字をとったものである。タンク自体

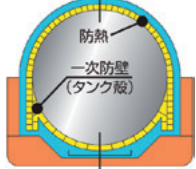
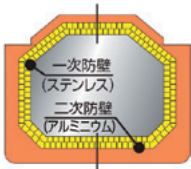
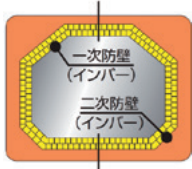
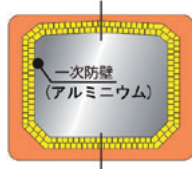
| 方式 | MOSS | GTT Mark III | GTT NO96 | SPB® |
|-------|--|--|--|--|
| タンク構造 | アルミニウム独立球形タンク  | ステンレスメンブレンタンク  | インバーメンブレンタンク  | アルミニウム自立角型タンク  |
| 防熱材 | プラスチックフォーム | ガラス繊維補強硬質ウレタンフォーム | パーライト | 硬質ウレタンフォーム |

図2 LNG運搬船タンクの主な方式

が自立しており角型の形状である（Self-supporting Prismatic shape）ことと、IMO（International Maritime Organization：国際海事機関、以下、IMO）液化ガス運搬船規則のtype-B^{※2}基準に適合していることを表している。SPB®方式のタンク構造、防熱については3章にて述べる。

※2 IMO type B：疲労寿命や亀裂の進展を高度な解析により考慮して設計されたタンク。タンクそのものの破壊は部分的なものに限定されるため、LNG漏洩対策として設置される二次防壁は部分的なもので許容される。

LNGタンク容積、LNG運搬船自体の船型（全長、全幅など）、LNGタンクの方式（防熱方式）は、寄港するLNG積込み・荷揚げ基地の出荷・受入能力、栈橋のサイズなど接岸に関する制限、就航する航路・運河などから、船主殿の意向により決定される。また、各造船会社にはそれぞれ得意とする船型、タンク方式がある。

3. JMU 殿建造のSPB®方式大型LNG運搬船

今般、JMU 殿が建造したSPB®方式の大型LNG運搬船は、2016年に増設された新パナマ運河を通峡可能な船型となっており、アメリカ・メリーランド州コーブポイントLNGプロジェクトから日本への輸送に投入される。全長299.9m、全幅48.9m、搭載されている4つのLNGタンクの容積は、計165,000m³である。1番船の“エネルギーリバティ”が2018年に就航し、その後、“エネルギーグローリー”、“エネルギーイノベーター”、“エネルギーユニバース”の計4隻が順次建造され、就航した（図3）。

搭載されているLNGタンクは、JMU 殿独自の国産技術であるSPB®方式（図4）が採用されている。SPB®方式の特徴としては、次の点が挙げられる。

(1) 強固で信頼性の高いタンク構造であること³⁾

1981年に建造された75,000m³LPG（Liquefied Petroleum Gas：液化石油ガス、以下、LPG）船“玄海丸”をはじめとし、今回建造された4隻を



図3 JMU 殿建造のSPB®方式大型LNG船(写真提供:JMU 殿)

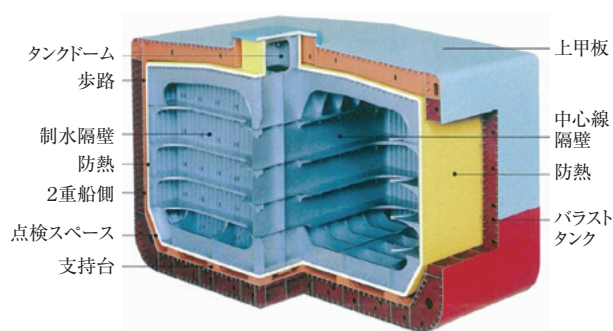


図4 SPB® LNGタンク (出典：参考文献4)

含む計10隻のLNG、LPG運搬船、もしくはFSO（Floating Storage and Offloading system：浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備）、FPSO（Floating Production, Storage and Offloading system：浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備）などの海上浮体式設備にSPB®方式が採用されているが、就航後これらのタンクはすべて健全であり、損傷・クラックは一切発生していない。

(2) 任意の液量を積み付けることが可能であること³⁾

液体を貯蔵、輸送するためのLNGタンクでは、タンク内の液体の運動と船体の運動が同調することにより、タンク内液体が大きく揺動するスロッシングとよばれる現象が課題となる。GTT方式のLNG運搬船では、スロッシングによるトラブルが報告されており、航海中のタンク内のLNG液位を満載、もしくは空に近いレベルのいずれかにするよう制限され、複数の受入基地での荷降ろしができないこととなる。SPB®方式のLNGタンクでは、

タンク内に設置されている隔壁によりスロッシングの発生を防止しているとともに、高度な構造解析によりスロッシングに対する高い構造安定性を持つため、航海中におけるLNG液位の制限はない。

(3) 任意形状のLNGタンクが製作可能であること³⁾

MOSS方式のようにタンクの形状を球型に制限されることはなく、任意形状のタンクを製作できるため、船体内部のスペースを有効活用することができる。

IMOの環境規制への対応策のひとつとして、LNGを燃料とした一般商船の建造が増加している。SPB®方式のLNGタンクは、スロッシングの影響を受けないためタンク内の液位の制限がないことや、船体構造に合わせた形状とすることが可能なため、LNG燃料船の燃料タンクとしても優位性がある。LNG運搬船のタンクと比べると小規模（数千m³程度）となるが、LNG燃料船の普及に伴い、今後、採用実績が増加することが期待される。なお、SPB®方式のLNGタンクは、アルミニウム、もしくはステンレス鋼、9%ニッケル鋼で製造される。

(4) 外部防熱方式であること

メンブレン方式の防熱は内部防熱と呼ばれ、船体内側に防熱材が固定され、その内側にメンブレンと呼ばれる厚み1.2mmのステンレス鋼(304L)、または0.7mm厚のインバー鋼が取り付けられる。メンブレンによってLNGの液密性を保ち、防熱材と船体でLNGの荷重を受ける構造となっている。そのため、メンブレン方式に用いられる防熱材には、温度勾配による熱応力と、LNG荷重がかかるため、防熱材そのものに特殊なウレタンフォーム(R-PUF / ガラス繊維強化ウレタンフォーム)を使用する必要がある。さらに、メンブレンの溶接の健全性を保つために防熱材施工にもmm単位での施工精度が求められることや、液密、気密性を要求される2次防壁と呼ばれるアルミニウム箔とガラス繊維の複合材を接着剤で用いて施工する比較的特殊な工程が必要となる。

一方、SPB®方式の外部防熱方式では、防熱材

にはLNGの荷重がかからないため、一般的なウレタンフォームが使用される。また、昨今のLNG船では、航海中のLNG蒸発量を抑制する要求がさらに高まっている。内部断熱方式の場合は防熱厚みとタンク容積はトレードオフの関係となるが、外部防熱方式では、施工時の運搬、取り付け作業に影響は出るものの、構造上はLNGタンク容積を犠牲にせずとも断熱厚みを増加させることが可能である。

4. SPB®方式タンク防熱工事の実施例

本LNG運搬船の建造は、三重県津市のJMU津殿によって行われ、LNGタンクの製造は津市の対岸となる愛知県知多市の株式会社IHI愛知工場殿(以下、IHI愛知殿)にて行われた。船体とLNGタンクの建造が、JMU津殿、IHI愛知殿で並行して進められたのち、船体が進水後にLNGタンク搭載となる。LNGタンクを搭載された船体は、津で艀装工事が行われ、竣工となる。

LNGタンクの防熱施工のうちLNGタンク底部の施工は、作業スペースの都合上、LNGタンク搭載後では作業能率の低下が想定されるため、底部の施工は搭載前にIHI愛知殿の工場にて実施した。

4隻の船体、LNGタンクをIHI愛知殿とJMU津殿で連続的に平行して建造するため、タンク防熱工事を行うイノクリート傘下の作業員、管理スタッフをIHI愛知殿、JMU津殿それぞれに配置する体制とした。

SPB®方式のLNGタンク防熱構造はLNGタンク本体にスタッドボルトを介して取り付けられた防熱パネルと、防熱パネルの目地材に大別される(図5)。

本LNG運搬船のSPB®タンク本体の寸法は概ね、高さ30m×幅50m×長さ50mである。船体の形状に合わせて容量を最大化するために、断面形状は角がとれており、八角形となっている。このSPB®タンクが1隻に4タンク搭載されている。標準的な防熱パネルの寸法は800～900mm角で、タンクのすべての面にスタッドボルトを介して取り付けられる。

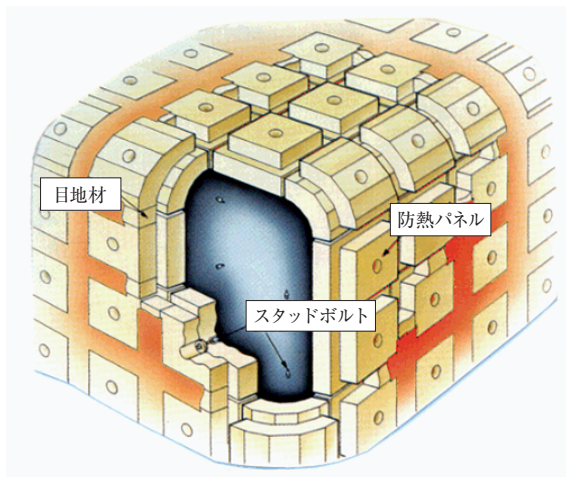


図5 SPB®方式LNGタンクの防熱構造 (提供：JMU 殿)

メーカーから40ftコンテナにて納入された防熱パネルは、そのまま船上のデッキへ荷揚げされ、タンクホルド内へ専用の荷降ろし装置によって運搬される。タンクの各面に取り付けられる防熱パネルのタイプは基本形状のものが多数を占めるが、割付による寸法調整部や、タンクサポートなどの特殊部周辺のパネルは異型パネルとなる。パネルの種類、搬入枚数を日々適切に管理し、船上への荷揚げ、船内での運搬、取り付け作業をスムーズに行えるようにすることが防熱パネル取り付け作業のキーポイントとなる。

5. 船上配管防熱工事，居住区防熱工事

LNG運搬船タンク防熱施工の他にも、LNG配管防熱工事や居住区防熱工事をイノクリートにて施工を行った。LNG運搬船のLNG配管防熱仕様は、ウレタンフォームを使用するという点では陸上のLNGプラントと同様であるが、航海中に海水や陸上と比較し厳しい風雨にさらされるため、外装材としてFRP（繊維強化プラスチック）が施

工される点異なる。配管防熱のウレタンフォームには当社の「TOMBO™ No.5001-TN フォームナート® カバー TN」が採用された。船上配管の大部分は予めモジュール化され、配管防熱まで実施された状態でJMU津殿に搬入、船上に搭載される方式となった。モジュールの配管防熱工事は、今回当社長崎工事課が施工を担当した。居住区の防熱工事はLNG運搬船のみではなく、一般商船の居住区でも広く行われている防熱工事であり、デッキ（天井面）や隔壁（壁面）にロックウールやグラスウールを耐火または防音の目的で施工するものである。

6. おわりに

当社の子会社である株式会社イノクリートは、冷蔵・冷凍倉庫の防熱工事や、船舶関連の防熱工事に関し、長年の経験と実績を有している。LNG運搬船の防熱工事に関しては、MOSS方式、GTT方式（Mark III, NO96）、SPB®方式のすべてのタンク方式について施工実績をもつ防熱施工会社である。今後とも、当社との協力体制のもと、材料、工法の改良、開発を進め、お客様のニーズに応じていく。

参考文献

- 1) 野尻正信：東京瓦斯根岸工場LNG基地のスタートアップ、燃料協会誌 第49巻，第517号（1970）pp.234-241.
- 2) 湯浅和昭：LNG輸送技術の最新動向，石油・天然ガスレビュー，Vol.42 No.4（2008）pp.45-53.
- 3) 永田良典，田ノ上聖，木田隆之，川合崇：LNG燃料船用IHI-SPBタンク IHI技報 Vol.52 No3（2012）pp.36-41.
- 4) 豊田昌信，楠本裕己，渡辺一夫：IHI-SPB LNG運搬・貯蔵・燃料タンクの安全性 IHI技報 Vol.52 No3（2012）pp.48-55.

*「TOMBO」はニチアス(株)の商標または登録商標です。

*「フォームナート」はニチアス(株)の登録商標です。

*「SPB」はジャパンマリンユナイテッド(株)の登録商標です。

株式会社イノクリート

株式会社イノクリートは、2013年、ニチアス株式会社の完全子会社として設立。2014年3月株式会社井上冷熱よりコールドエンジニアリング事業および海洋事業を譲り受け、着実に成長の道を歩んでいます。

これからも、冷凍、冷蔵のエンジニアリング会社として、環境保護と省エネルギー社会の実現に向けて貢献してまいります。



◎ 事業紹介

コールドエンジニアリング部門



食の安全と人々の健康を考える
断熱・冷却のスペシャリスト

海洋部門



生活の安全と人類の豊かさを提供する
断熱・冷却のスペシャリスト

◎ 会社概要

| | |
|-----|----------------|
| 商号 | 株式会社 イノクリート |
| 設立 | 平成25年11月27日 |
| 資本金 | 2,000万円 |
| 代表者 | 代表取締役 高野 哲郎 |
| 社員数 | 56名(2020年4月現在) |

本社

〒542-0081

大阪市中央区南船場4-11-10 ニチアス(株)大阪支社5階

TEL(06)6120-1910(代表) FAX(06)6120-1912

東京工事営業部

〒104-0043

東京都中央区湊1-6-11 ACN八丁堀ビル8階

TEL(03)3551-6756(代表) FAX(03)3551-6766

<http://www.inocrete.co.jp>

