

# IHI-SPB LNG 運搬・貯蔵・燃料タンクの安全性

## Intrinsically Safe Cryogenic Cargo Containment System of IHI-SPB LNG Tank

豊田 昌信 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 主査 博士(工学) 技術士(船舶・海洋部門)  
楠本 裕己 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 主幹  
渡辺 一夫 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部 副事業部長

近年の LNG 需要の高まりや大水深・大深度ガス田の開発によって、洋上 LNG 生産・貯蔵・出荷設備や LNG 海上輸送、LNG 燃料船など、海上での LNG サプライチェーンが注目されており、これらの LNG タンクとして IHI-SPB 方式が選ばれている。IHI-SPB 方式 LNG タンクは、その内部に構造部材が配置された自立角型タンクであり、スロッシングが発生しない、損傷がないなど信頼性が高く、衝突・浸水時などの万一の事故に対しても安全性が高いタンクである。さらに、容易なメンテナンス性はライフサイクルコストでも優れており、荒れた海での航海や長期間の連続稼働に欠かせない LNG タンクである。本稿では IHI-SPB タンクが生まれもつこれらの安全性能について紹介する。

The recent skyrocketing demand for LNG and deep water gas field development attracted the attention of businesses to floating LNG production, storage, and offloading installations, LNG transportation, and LNG fuelled vessels in the marine and offshore industries. The IHI-SPB cargo containment system has excellent features and is suited to LNG carriers sailing on rough seas and floating LNG units working nonstop, because it has intrinsically safe functions, thanks to its high reliability and structural features, and preparedness in the event of an accident. This paper introduces these safety functions that the IHI-SPB is built with.

## 1. 緒 言

近年の液化天然ガス (LNG) 需要の高まり、大深度ガス田の開発によって、浮体式 LNG 生産・貯蔵・出荷設備 (FLNG) の開発が進んでいる。FLNG は、海洋ガス田から生産された天然ガスを受け入れ、上甲板上のプラントで不純物の除去・液化を行うことで LNG を生産し、 $-163^{\circ}\text{C}$  の極低温でタンクに貯蔵、LNG 船に出荷する洋上浮体設備である。その処理能力は 1 基で年間 200 ~ 300 万 t、貯蔵能力は 200 000 ~ 250 000  $\text{m}^3$  と巨大で、40 000  $\text{m}^3$  を超える大型 LNG タンクを 4 ~ 5 個もつのが一般的である。

一方で、環境負荷低減のため、LNG を燃料とする船舶 (LNG 燃料船) の開発も進んでいる。燃料タンクは数千  $\text{m}^3$  と小型であるものの、積載する LNG の危険性は変わらないため、LNG 燃料タンクの国際規則整備など、船舶海洋業界での取り組みが加速している。

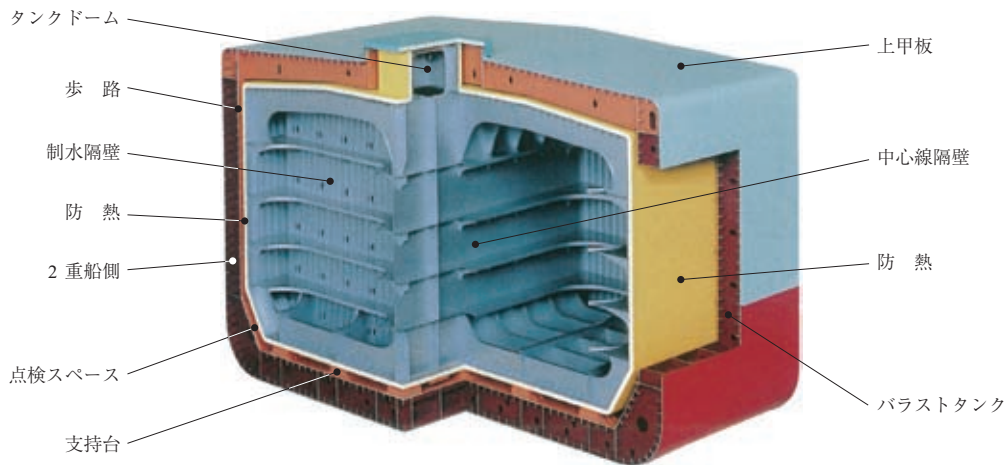
## 2. IHI-SPB LNG タンク

極低温の LNG を海上貯蔵・輸送するタンク方式として、① メンブレン方式 ② MOSS 方式 ③ IHI-SPB 方式

の 3 種類がある。このなかで、唯一の国産技術である IHI-SPB タンクは、Self-supporting Prismatic shape IMO type B の頭文字をとった、自立角型タンクのことである。第 1 図に IHI-SPB LNG タンクを示す。株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド (IHIMU) がそのライセンスを保有しており、日本や韓国の大手造船所にタンク製造のライセンス供与を行っている。

自立角型の IHI-SPB タンクは、船体構造とは独立した構造で、強化合板製ブロックの上に自立している。そのため、LNG 船の船首側タンクや LNG 燃料船の燃料タンクでは、船体形状に合わせた自由な形状が可能であり、容積効率を上げることができる。FLNG では、フラットな上甲板上に LNG 生産設備や再液化装置などのプラントを設置することが可能である。

IHI-SPB は、厳しい海域のサービスに耐えられる方式で、メンテナンスや修理での膨大な手間を必要としないなど、他方式の問題を一挙に解決できるシステムとして高い評価を得ている<sup>(1)</sup>。その高い信頼性や低いライフサイクルコストのため、FLNG での LNG 貯蔵タンクとして、引き合いが多い。これは、近年の甚大な自然災害や海洋構造物の重大事故から、想定外をなくすような非常に高いレベ



第 1 図 IHI-SPB LNG タンク  
Fig. 1 IHI-SPB LNG tank

ルでの安全性と信頼性が求められるようになった時代背景に加えて、LNG 産業界をはじめとする社会全体が万一に備えた準備を怠らない取り組みを始めていること、さらには、引火性の高い危険な貨物を極低温で大量に貯蔵・輸送するために本質安全な LNG 貯蔵タンクが求められているからだと考えられる。

### 3. IHI-SPB の実績

IHI-SPB の歴史は長く、この自立角型タンクの技術を確立した 1980 年代初頭から建造されている。1981 年 75 000 m<sup>3</sup> LPG 船「玄海丸」、1988 年 1 500 m<sup>3</sup> LNG/LEG 船「霞陽丸」、1993 年 87 500 m<sup>3</sup> LNG 船「Polar Eagle」(第 2 図)<sup>(2)</sup>と「Arctic Sun」、1997 年 54 000 m<sup>3</sup>「Escravos LPG FSO」<sup>(3)</sup>、2005 年 135 000 m<sup>3</sup>「Sanha LPG FPSO」<sup>(4)</sup>が挙げられ、なかでも LNG 船は当社横浜工場の対岸まで LNG を運ぶ航路に就航していたため、関係者の思い入れが深い。

本 LNG 船「Polar Eagle」、 「Arctic Sun」は、アラス



第 2 図 1993 年就航 IHI-SPB 方式 LNG 船「Polar Eagle」  
Fig. 2 “S/S Polar Eagle” (IHI-SPB inside), since 1993

カ ケナイ港から根岸ターミナル間の LNG 輸送に従事しており、冬季にはつねに荒天航海となる世界で最も厳しい北太平洋航路(第 3 図)<sup>(2)</sup>を 18 年間にわたって航行した貴重な船である。定期検査には当社横浜工場の場合はもちろんのこと、他造船所の場合でも当社の技術者がつねに立ち会っており、この 18 年間 IHI-SPB LNG タンクに何らトラブルが発生していないことを確認している。また、貴重な詳細検査記録も保有している。

筆者らも 2011 年 10 月にシンガポールの造船所で実施された「Polar Sprit」(旧船名「Polar Eagle」)の定期検査に立ち会い、LNG タンクとその支持台構造、断熱材の検査を行った。第 4 図と第 5 図にこのときに撮影したタンク底部構造と支持台構造部の状態を示す。アルミ製 LNG タンクは 1993 年の建造当時のままの良好な状態であり、IHI-SPB タンクの信頼性が高いことを証明している。

### 4. IHI-SPB の特長

IHI-SPB の特筆すべき特長は、信頼性と生まれもつ安全性能の高さである。信頼性の源泉は、まず、IHI-SPB の構造様式が長い船舶・海洋構造物の歴史のなかで実証さ

(a) 日本ーアラスカ航路



(b) 荒天中の航海



第 3 図 厳しい海象のアラスカ ケナイー東京航路  
Fig. 3 The world's harshest trade route : Kenai, Alaska – Tokyo, Japan



第 4 図 IHI-SPB LNG アルミタンク構造  
(「Polar Sprit」, 船齢 18 年)

Fig. 4 IHI-SPB LNG Al tank (“Polar Sprit” 18 years old)



第 5 図 IHI-SPB の支持台構造部 (「Polar Sprit」, 船齢 18 年)  
Fig. 5 Supporting structure of IHI-SPB (“Polar Sprit” 18 years old)

れ、使い続けられている板骨構造様式を採用していることである。板骨構造はタンク周囲を構成するパネル板を防撓材が支え、さらに大骨を組み合わせたものであり、タンク構造自体で自重と内部液体、支持台からの反力を支える自立式である。同じ構造様式のタンクをもつ数多くの LPG 船が世界中で活躍している。

この構造様式は、タンク内に構造部材を配置できるため、タンク内の液体と船体運動の同調を回避する隔壁の配置が可能となり、さらにタンク内の大骨が内部液体の運動を妨げる効果があることから、スロッシング衝撃荷重が発生しない安全なタンクとなる。タンク内部の液体からの圧力だけでなく、外部からの圧力にも強いいため、タンク内外の圧力調整が容易であり、万一貨物区画に浸水した際でも崩壊することがない。そのうえ、造船所が多くの経験を積んだ構造様式であることから、スケールアップやスケールダウンが容易で、大型 FLNG タンクや小型の燃料タンクまで、あらゆるサイズのタンクを設計・製造することが可能である。

2 隻の LNG 船が、18 年間にわたる運航で何ら損傷が

発生していないのは、板骨構造様式に加え、高度な解析技術に基づく設計と、厳密な工作精度管理に基づく建造によるものである。これまでも IHI-SPB の解析・工作技術は紹介されてきている<sup>(2)</sup>ので、本章では、最近の計算技術を紹介する。

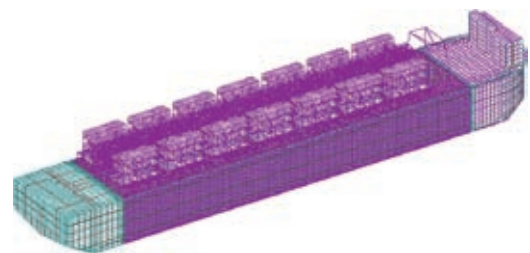
独立タンクでは支持台の反力を正しく求めることが大切なため、第 6 図のような重量物である上甲板上のプラントを含む船体と LNG タンク、タンクを乗せる支持台をモデル化した FEM (Finite Element Method) モデルを用い、支持台とタンクの間には接触要素を用いた非線形の収束計算を行っている。さらに、FLNG は 25～30 年間の連続稼働を行うため、つねに液位が変化することや、定期検査のために 5 個のタンクのなかから任意の 1 タンクを空とするなど、数多くの積み付け条件がある。

以上のような大規模な FEM モデルで多くの荷重ケースに対する非線形の収束計算を行うには、高速・高精度な数値解析を可能とする IHIMU の解析技術が不可欠である。もちろん、国際海事機関 (IMO) が定める国際規則 (IGC コード) が求める疲労強度解析やき裂進展解析を自動処理するシステムを開発・運用しており、タンクや支持台の詳細構造部のき裂進展やき裂進展による LNG の漏えいを想定した部分 2 次防壁機能を検証するリーク (漏えい) 量計算も効率良く実施できる。

IHI-SPB タンクは、内部に構造部材をもつため、建造時の目違い管理や溶接ビード形状など工作精度の管理も重要で、膨大な実績データに基づく強度評価を行うとともに、建造時には各種データの計測も行っている。

## 5. 貨物貯蔵設備の安全性

IHI-SPB タンクの生まれもつ安全性能は、タンク内部に大骨をもつ構造様式であり、船体構造から独立した自立式タンクであるといったタンク方式そのものに由来している。損傷トラブルや重大事故のリスクを根本から回避できる優れた性能を幾つか紹介する。



第 6 図 全船 FE モデル (船体とタンク, サポート部を含む)  
Fig. 6 Whole ship FE model (Hull, tank, and wooden support included)



### 5.1 スロッシングが発生しない

スロッシングは、タンク内 LNG の運動と船体の運動が同調し、タンク壁をバシバシと激しく打ちたたく現象である。LNG の左右方向の運動と船体が左右に傾くローリング運動、もしくは、タンク内 LNG の前後方向の運動と船体が前後に傾くピッチング運動それぞれの固有周期が近いときに発生し、タンク内 LNG の運動が極めて大きくなり、タンク周囲壁に過大な衝撃荷重を与えるため、極低温で引火点の低い危険貨物を運ぶ LNG 船にとって極めて危険な現象である。

メムブレン方式の LNG 船では、このスロッシングに起因するトラブル例が数多く報告されており、古くは 1969 年に「Polar Alaska」がタンクに 20% の LNG を残しての航海中に発生した損傷や、姉妹船の「Arctic Tokyo」でも 1971 年に同様の損傷が発生したことが報告されている。さらには、1978 年の「Larbi Ben M'Hidi」、最近の例としては、2006 年の「Catalunya Sprit」（2004 年建造）や 2008 年の Mark III 方式メムブレン船 3 隻での損傷が報告されている<sup>(5)</sup>。トラブル発生のたびに、同調現象であるスロッシングを避けるため、タンク内の液体レベルを満載もしくは空に近い状態で運航する制限を設けることや、タンク壁をできるだけ補強するなどの対策を講じている<sup>(5)</sup>。スロッシングの発生を防止するには、一般にタンク内の液体は 5% 以下もしくは 95% 以上に制限されている。

一方で、① 複数の港での揚荷を行いたい ②  $-163^{\circ}\text{C}$  という極低温の LNG を輸送するタンクの温度をいったん上げてしまうと再び温度を下げる時間が掛かるために少量の LNG を残して温度が上昇しないように運航したい ③ BOG（気化ガス）を燃料として使用したい、など、運航者から見れば、中間液位での航海はごく自然な要求である。

さらに FLNG では、24 時間 365 日を通して、LNG を生産、貯蔵し、1 週間ごとにシャトルタンカーに出荷するサイクルを 25 年から 30 年間にわたって休むことなく繰り返すため、タンク内の液位はつねに変化し続ける。

また、シャトルタンカーや LNG 燃料船も同様にスロッシングに対する安全性が求められている。FLNG は外洋に設置することから、LNG の出荷中に天候が急変することも想定され、シャトルタンカーは緊急で FLNG から離れ、中間液位のまま荒れた海域にとどまるか、安全な海域まで避航することになる。そのため、中間液位で荒天を航

行できること、つまり、スロッシングの発生しないことがシャトルタンカーの要件となっている。LNG 燃料船では、航海中に LNG を消費するため、中間液位での航行は不可避である。

これらのことから、スロッシング対策が FLNG の安全稼働、シャトルタンカーや LNG 燃料船の安全運航には欠かせない。

IHI-SPB タンクは、その内部に構造部材をもつため、タンク内 LNG の固有周期を自由に調整できる。たとえば、タンクに中心線の隔壁と前後に区切る制水隔壁をもたせて四つの区画に分けることができ、船体運動の固有周期と一致しないように、つまり、スロッシング現象が発生しないように設計している。これは、通常の船舶では一般的な手法であり、十分な実績をもつタンカーの制水隔壁（Swash Bulkhead）と同じ機能である。

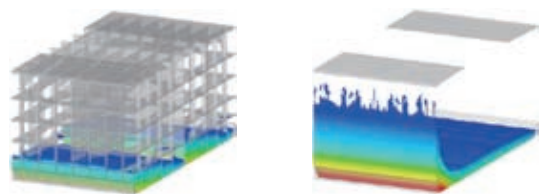
タンク内部の隔壁や構造部材の有無によるタンク内液体の運動を比較した例<sup>(6)</sup>を第 7 図に示す。これは、三次元の液体運動を FLOW-3D によって計算したものである。タンク内の隔壁によって、同調が回避され、液体の運動が穏やかであることが分かる。さらに、第 7 図 - (a) に示すタンク内部の大骨は、内部流体の運動に抵抗として働くため、船体運動に伴う流体の運動を抑える効果もある。

スロッシングによる衝撃荷重の発生は、タンク壁の損傷、極低温で引火性の高い LNG の漏えいにつながるため、その発生を防止することが最も大切である。そのため、そのスロッシングに対する安全度を示すレベルが考えられている。第 1 表にスロッシングに対する安全性レベルを示す。

#### (1) Level-I : SLOSH (1)

いかなる液位レベルでも固有周期の同調を回避しており、スロッシングが発生しない。タンク内 LNG の固有周期や運動による圧力を数値計算によって確認し、固有周期が船体の運動周期と十分に離れていること、液体圧力に対する構造強度が確認されている。

(a) ケース 1 (内構材あり) (b) ケース 2 (内構材なし)



第 7 図 内構材の有無による LNG 運動の比較例（ロール運動）<sup>(6)</sup>  
Fig. 7 Example of liquid motion analysis in rolling motion<sup>(6)</sup>

第 1 表 スロッシングに対する安全性レベル

Table 1 Safety level against sloshing

	Safety Level Notation	Cargo Liquid Resonance	Cargo Liquid Level Restriction Range	Liquid Motion Analysis	CCS Reinforcement	Emergency Release LNG Hose to Shuttle
SAFE ↑ ↓ DANGER	Level-I SLOSH (1)	No Resonance	No Cargo Liquid Level Restriction	Performed	Not necessary	Available
	Level-II SLOSH (2)	No Resonance, Liquid Motion Analysis is not performed. CSR-T (OIL)				
	Level-III SLOSH (3)	Resonance in Designated Liquid Level	75% - Full Allowed	Performed	Reinforced Specially	Specially Considered with Risk Analysis
	Level-IV SLOSH (4)	Resonance	Only Full (higher than 95%) or Empty (lower than 5%) Allowed	Not performed	Reinforced Specially	Not Allowed

つねに液位の変化する FLNG や LNG 燃料船は、この Level-I とすることが必要である。また、LNG 船でも、FLNG のシャトルタンカーとして運用する場合や、LNG 中間液位での航行、多港揚を行う場合は必須である。

(2) Level-II : SLOSH (2)

タンカーなど、規則の簡易式を用いて制水隔壁の配置などを行い、液体の固有周期と船体運動の固有周期が十分に離れていることを確認したもの。スロッシングによる過大荷重が発生しない。

(3) Level-III : SLOSH (3)

液体運動と船体運動の同調をできるだけ防ぐため、LNG の液位レベルに制限を設けており、液体の運動によって生ずる衝撃圧に対してタンク周囲の補強を行ったもの。

波のほとんどない港湾内での LNG 積み降ろしが可能で、同調を回避する液位で外洋を航行することが許されている。

補強は、液体運動による圧力に対して十分な強度をもたせるとともに、損傷事例の対策を行う。

ただし、船体とタンク内液体が同調したときの過大な衝撃圧を推定することは困難と報告されており<sup>(6)</sup>、構造との流力弾性応答、壁面への衝突直後に発生する負圧によって膜を引きはがそうとする力、突起物などが存在するときの局所的な荷重の上昇など、解明が急がれている。

(4) Level-IV : SLOSH (4)

波のほとんどない港湾内に接岸しての LNG の受け入れ、払い出しは可能である。満載もしくは、ほぼ空荷の状態でのみ外洋の航行が許される。

5.2 点検・保守が容易

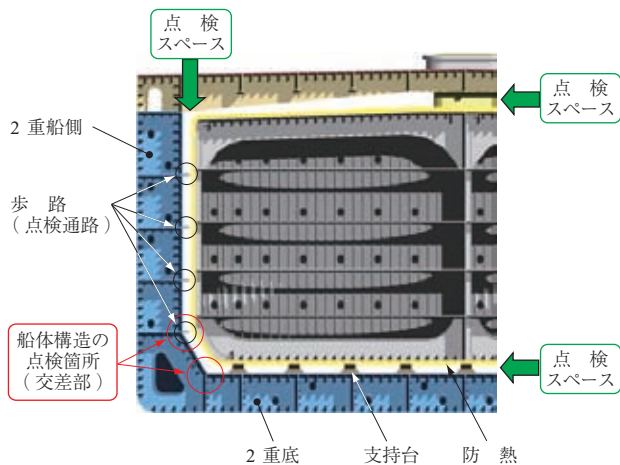
IHI-SPB タンクは内部に大骨の水平桁 (Horizontal Girder) があり、足場を組まなくても、タンク内部を自由に通行できる。相対的に応力の高い場所は、定期検査時のチェック箇所として指定されており、その場所まで行って検査することができる。

タンクの外側では、船体構造とタンク周囲の防熱材との間に 1 m 程度のスペースがあり、点検用の歩路が設置されている (第 8 図)。IHI-SPB タンクは、タンクの内外から点検可能なため、万一、き裂が発生し LNG が漏れた場合でも、漏えい箇所の発見が容易である。

支持構造や断熱材の点検が容易であることに加え、船体構造の保守点検も容易である。第 9 図に船体と IHI-SPB タンク間の点検スペースを示す。船体構造の 2 重底と 2 重船側の交差部は、船種を問わず一般的にホールスペースとバラスタンクの両側から定期的な点検が行われており、船の所有者だけでなく、造船所、船級協会の関心が高い船体構造の弱点ともいえる箇所である。IHI-SPB タンクでは、タンクと船体の間に点検スペースがあるため、こ



第 8 図 タンク外防熱材と船体間の歩路  
Fig. 8 Walkway between inner hull and tank outside insulation



第 9 図 船体と IHI-SPB タンク間の点検スペース  
Fig. 9 Inspection space between hull and IHI-SPB tank

うした箇所の点検が可能で、経年などに伴う微量なバラスト水のリークなどが発生していないことを確認できる。

IHI-SPB タンクの稼働コスト (OPEX) は、このような検査費用程度であり、タンク内全面への足場の設置費用や補修費、漏えい箇所を探すための長期間のドック費などの追加費用が発生しないため、低コストである。

### 5.3 衝突・浸水時の強度

FLNG のような浮体設備では、補給船からの物資補給やシャトルタンカーへの出荷が頻繁に行われるため、古くから接触事故の危険性が指摘されている<sup>(3)</sup>。FLNG に接続するシャトルタンカーは、135 000 m<sup>3</sup> や 175 000 m<sup>3</sup> の輸送能力をもつ大型の LNG 船であるため、万一、衝突した際でも LNG 貯蔵設備の崩壊や LNG の漏えいに至らないことが求められる。IHI-SPB タンクは、前後からの衝突加速度 0.25 G に耐え得る強度をもっている。また、左右方向では、FLNG の最大傾斜角 30 度まで、つまり横向きの加速度 0.5 G に耐える設計を行っているため、舷側からの衝突に対しても十分な強度をもっている。

さらに、自立式タンクであることは、第 9 図に示すように、船体構造の 2 重船殻 (2 重底や 2 重船側) とタンク境界を共有していないため、たとえば、シャトルタンカーが 2 重船殻内側まで到達するような衝突事故だけでなく、微細なき裂によるバラスト水漏れや、鋼板の変形などのトラブルが起こっても、直接タンクに影響することはない。

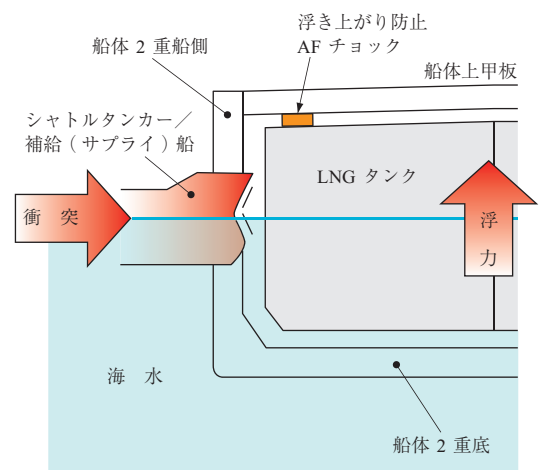
IHI-SPB タンクは、LNG を積載するタンク内からの圧力は当然のことながら、タンク外からの圧力に対しても強いいため、タンク内外の圧力差調整に特別な労力を払う必要がない。圧力の調整はタンク内とホールドスペースの安全弁のみで行うことができる。

IHI-SPB はホールドスペースへ海水が浸水した時まで耐え得るシステムで、浮き上がり時のタンクを支える AF (Anti-Floating) チョックが装備されている。そのため、浸水時に貨物を一定期間保持することができる。さらには、非浸水区画の別のタンクに LNG を緊急移送する ECT (Emergency Cargo Transfer) が可能となっている。

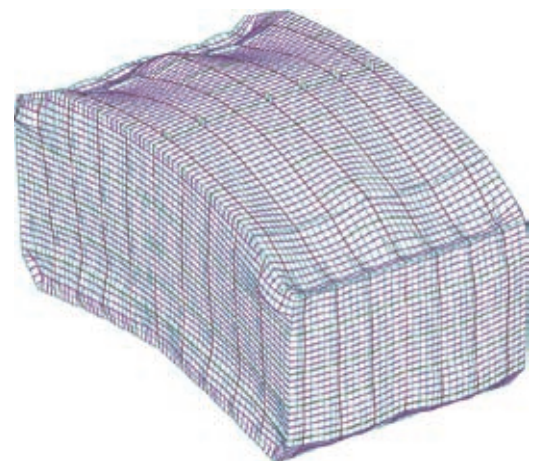
第 10 図にホールドスペースまで浸水した時のようにと、第 11 図に浸水時の FE 解析例を示す。これは、海水がホールドスペースに浸水、水位が船体の喫水レベルまで達した時に、その浮力によってタンクが浮き上がった状態の変形図であり、このホールドスペース浸水状態での強度評価を行っている。

### 5.4 停電時の安全性

IHI-SPB タンクは船体構造とタンクの間スペースがあり、稼働中は乾燥空気もしくは、窒素ガスで満たされている。また、船体付き支持台上の強化合板のみで支えられ



第 10 図 浸水時の FLNG 断面  
Fig. 10 Cross-section of FLNG in flooded condition



第 11 図 船体への浸水時の FE 解析  
Fig. 11 FE analysis of flooded hull condition



るため（第5図参照）、熱の伝わる接合部が極めて少ないとともに、合板であるために断熱性が高い。そのため、LNGタンク周囲の船体構造部材の温度低下を防止する加熱装置を設置する必要はない。

タンク周囲の船体構造部材は、熱伝導計算によって得られる部材の設計温度に応じた鋼材を使用している。これは、低温環境下で鋼板のぜい性き裂に対する抵抗力である破壊じん性値が低下するため、低温になるほどより高級な鋼材を選択することになり、ぜい性き裂の発生に伴う船体の折損事故といった重大な事故を未然に防いでいる。

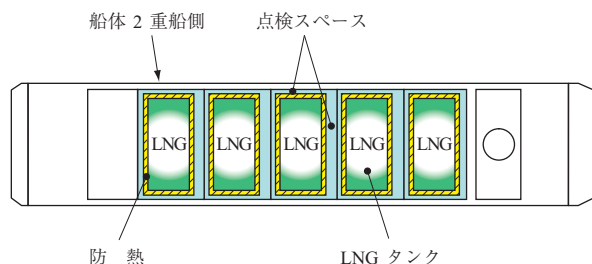
国際ガス規則では、船体構造の最も重要な部材である縦強度部材の温度低下を防止する加熱装置の使用を許容していない。これは、停電時に加熱できなくなった場合に、重要強度部材の温度が設計温度を下回る危険な状態に陥ることを防ぐために、加熱が必要となる構造配置自体を許していないということである。縦強度部材と異なる横置き隔壁には加熱設備を設置することが認められているものの、重要部材への加熱設備を許容しないことは、船体構造部材の機能とその重要性を理解した規則であるといえる。

IHI-SPBタンクは、第12図に示すように、タンクと船体の間に点検スペースがある。つまり、船体と独立した構造配置となっているため、加熱設備自体が不要で国際規則をその思想レベルから満足しているタンクである。何らかのトラブルで加熱装置への給電が停止することや加熱装置自体の不具合によって、船体構造の温度が下がり、鋼板の温度が設計温度を下回る危険性がないことから、より安全性の高いタンクといえる。

## 6. IHI-SPB のこれから

### 6.1 FLNG

スロッシングによる積み付け制限がなく、長期間稼働に耐え、ライフサイクルコストが安く、万一の異常海象や衝突・浸水時に安全・安心であること、つまり、丈夫で信頼性の高い貨物貯蔵方式として、IHI-SPBがFLNG



第12図 IHI-SPB 貨物設備のタンク配置

Fig. 12 Tank arrangement with IHI-SPB cargo containment system

のLNG貯蔵設備に選ばれている。現在計画されているFLNGの船幅は60～65mと大型で、IHI-SPBは内部に液体運動を制限する隔壁を設置することが可能なため、FLNGでのタンク配置を1列として、50～57m幅の大型LNGタンクとすることができる。

一方の内部に構造部材をもたない方式では、タンク内に制水隔壁を設けることができないので、FLNGのタンク配置が2列となり、FLNG船体中央に縦通隔壁を設けるのが一般的である。

### 6.2 LNG燃料タンク

LNG燃料船のLNG燃料タンクは、数千m<sup>3</sup>程度とFLNGに比べ小型である。燃料としてLNGを使用するため、航行中はつねに液位が減少する。そのため、タンク内のLNGを空か満載に限定することができないので、本質的にスロッシングの発生しないIHI-SPBタンクが選ばれている。さらに、船体形状や区画に合わせた形状にタンクを設計できるため、①船体の重心を下げるために下方に設置したい②機関室近くの複雑な区画に収めたい③既存船にLNGタンクを設置したい、など、さまざまな要求に答えられる。衝突による衝撃や万一の浸水によってLNGタンクが水につかった場合でも、IHI-SPBタンクの安全性が高いため、乗客・乗組員の安全や環境保全に高い配慮を行っている造船所の評価は高く、引き合いが多い。

## 7. 結 言

IHI-SPBタンクは、タンク内に内部構造をもつ自立式角型タンクであるため、①スロッシングによる過大な衝撃圧が発生しない②万一の船体への衝突時やタンク区画内への浸水トラブルに対してもタンクからのLNGの漏えいを防ぐ能力が高い③加熱設備が不要なために加熱設備自体の稼働トラブルを心配する必要がない、など、生まれつき安全性能の高い本質安全なLNGタンクといえる。

加えて、長期間の稼働実績によって信頼性の高さが証明されており、ライフサイクルコストを低減させることができる。このため、長期間トラブルフリーでの連続稼働を求められるFLNGや荒天もしくは中間液位での運航を行うLNG船、さらには、燃料を消費しながら航行するLNG燃料船のLNGタンクとして最適である。

FLNGやLNG船、LNG燃料船など海上でのLNGサプライチェーンに関わり、万一の事態に備え、想定外をなくすことに取り組む業界各社から、IHI-SPBタンクが本質安全なLNGタンクとして評価され、選ばれている。

## 参考文献

- (1) 藤原隆征：アラスカ・LNG・プロジェクト S/S Polar Eagle & Arctic Sun の運航報告 船の科学 Vol. 53 No. 1 2000 年 1 月 pp. 60 - 72
- (2) たとえば, 安部昭則, 中島喜之, 副島孝一郎, 楠本裕己, 上村 武：“Polar Eagle” と “Arctic Sun” の建造 -タンクおよび支持構造- 石川島播磨技報 第 34 卷第 4 号 1994 年 7 月 pp. 248 - 254
- (3) Gautam. J. Adhia, Maria-Celia Ximenes and Akinori Abe : Design and Construction of a Floating Storage and Offloading Vessel ESCRAVOS LPG FSO The Society of Naval Architects and Marine Engineers (1997)
- (4) Y. Awashima, E. Aoki, H. Ishikawa, K. Watanabe and T. Morita : Development and Construction of LPG-FPSO IHI Engineering Review Vol. 39 No. 1 (2006. 2) pp. 9 - 14
- (5) T. Gavory and P. E. de Seze : Sloshing in Membrane LNG Carriers and its Consequences from Designer's Perspective the 10th (2009) International Society of Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2009) (2009. 6) pp. 13 - 20
- (6) H. Kobayakawa, H. Kusumoto and M. Toyoda : Numerical Simulation of Liquid Motion in SPB Tank the 22th (2012) International Society of Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2012) (2012. 6)