

当社の液化天然ガス洋上浮体式生産・貯蔵・積出設備 (LNG-FPSO)の概要と特徴

Design Concept and Features of Mitsubishi LNG-FPSO
(Floating Production, Storage and Offloading Unit)



藤野 義和^{*1}
Yoshikazu Fujino

財津 融^{*2}
Akira Zaitzu

日向 泰彦^{*3}
Yasuhiko Hinata

大塚 浩友^{*2}
Hiroto Otsuka

近年、洋上で生産・貯蔵・積出ができ、かつ移動が可能な液化天然ガス洋上浮体式生産・貯蔵・積出設備（LNG-FPSO）が注目を集めている。当社では、液化ガス船並びに石油 FSO/FPSO の豊富な建造実績を基に、中小規模ガス田向けとして球形タンクを採用し、経済性・信頼性に優れた LNG-FPSO を開発した。本球形タンクを採用した LNG-FPSO では、世界的な石油 FPSO の保有・運航大手である BW オフショア社 (BW Offshore Limited) と協業し、世界市場で積極的に提案を行っていく。さらに、大規模ガス田向け LNG-FPSO に対応した当社独自の独立方形タンクタイプ B の開発も行い、いずれの方式でも客先のニーズに応じた最適な LNG-FPSO を提供可能としている。

1. はじめに

LNG はこれまで、陸上のガス田ないし比較的沿岸部の大規模な海底のガス田から供給されるガスを原料として、陸上に建設された液化基地で生産されてきた。しかしながら、こうしたガス田開発が一巡。近年、陸地からより遠い大規模海底ガス田や、これまで未開発だった中小ガス田が注目されるようになってきている。こうした、存在が確認されているものの未開発となっている“ストランデッドガス田”開発の活性化に伴い、LNG-FPSO が脚光を浴び始めている。FPSO は、浮体上に石油やガスの生産設備や貯蔵施設、積出設備などを備えたものであり、石油の FPSO は、油田枯渇の後に他の油田に移設・転用できる利点が評価され、当社を含め建造・納入実績があるが、LNG 向けはまだ計画段階にとどまっている。当社では、これまでの豊富かつ多様な液化ガス船 (LNG 船/LPG 船) 並びに石油 FSO/FPSO の建造実績を基に、信頼性・経済性に優れた LNG-FPSO を開発した。この概要及び特徴について述べる。

2. 当社球形タンク方式 LNG-FPSO の概要

2.1 タンク方式

LNG 船に採用されるタンク方式の比較を表1に示す。LNG-FPSO は、通常の LNG 船と異なり、ドライドック入渠による定期検査あるいは修理を行うことなく、洋上にて LNG の生産・貯蔵・積出を継続する必要があり、LNG 貯蔵タンクの信頼性は LNG 船以上に重要となる。万一 LNG 貯蔵タンクが損傷すると修理のために LNG の生産を止めざるを得ない場合も考えられ、多大な損失を生じる可能性がある。さらに、LNG-FPSO の場合、浮体上の生産設備により生産された LNG を連続的に貯蔵していくため、貯蔵タンク内の LNG 液位は常時変化する。すなわち、LNG 船とは異なり貯蔵タンク内での中間液位状態が長時間生じる。また、LNG-FPSO は洋上に浮いた状態であり、波により揺れが起こる。このため、貯蔵された LNG のスロッシング(揺れに伴うタンク内液面の周期的

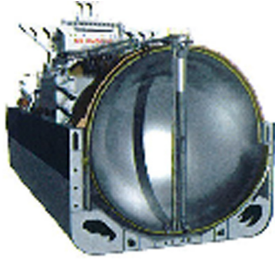
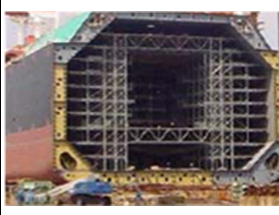
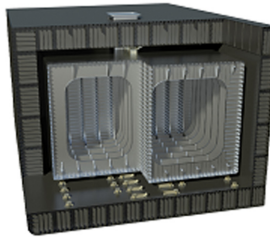
*1 船舶・海洋事業本部船舶・海洋技術部主席チーム統括

*2 船舶・海洋事業本部船舶・海洋技術部主席技師

*3 船舶・海洋事業本部船舶・海洋技術部

なうねり)により衝撃圧力がタンク壁へ作用し、タンクの損傷を生じる恐れがある。よって、LNG 貯蔵タンクとしては、いかなる液位状態でもスロッシングによるタンクの損傷を起こさないタンクとする必要がある。このため当社としては、球形タンク及び独立方形タンク方式を候補として想定しているが、中小規模ガス田向けでは、2.2 項に後述するとおり LNG 生産設備設置場所を確保できることから、製造コストが安く経済性に優れ、かつ、LNG 船で多く採用され安全性と信頼性が立証されている球形タンクを採用することで考えている。

表1 LNG 船タンク方式比較

項目	球形	メンブレン (NO96)	独立方形タイプ B
タンク形状			
LNG 積付制限	無し (スロッシング問題無し)	有り (スロッシング問題有り)	無し (スロッシング問題無し)
LNG 生産設備設置場所	LNG 貯蔵タンク横	LNG 貯蔵タンク上方	LNG 貯蔵タンク上方
タンク製作コスト (当社比)	ベース	若干高	高

2.2 配置

当社にて開発した、球形タンクを採用した LNG-FPSO の配置図例を図1に示す。本図では船首から船尾向けに次の順序で配置構成しているが、逆順の配置もオプションとして開発完了している。

- ① 1点係留用外部タレット
- ② フレアスタック
- ③ LNG 生産設備(上甲板上) / ④ コンデンセートタンク(浮体内設置) / ⑤ ユーティリティ機器室(浮体内設置)
- ⑥ LNG 貯蔵タンク
- ⑦ ヘリコプターデッキ装備居住区

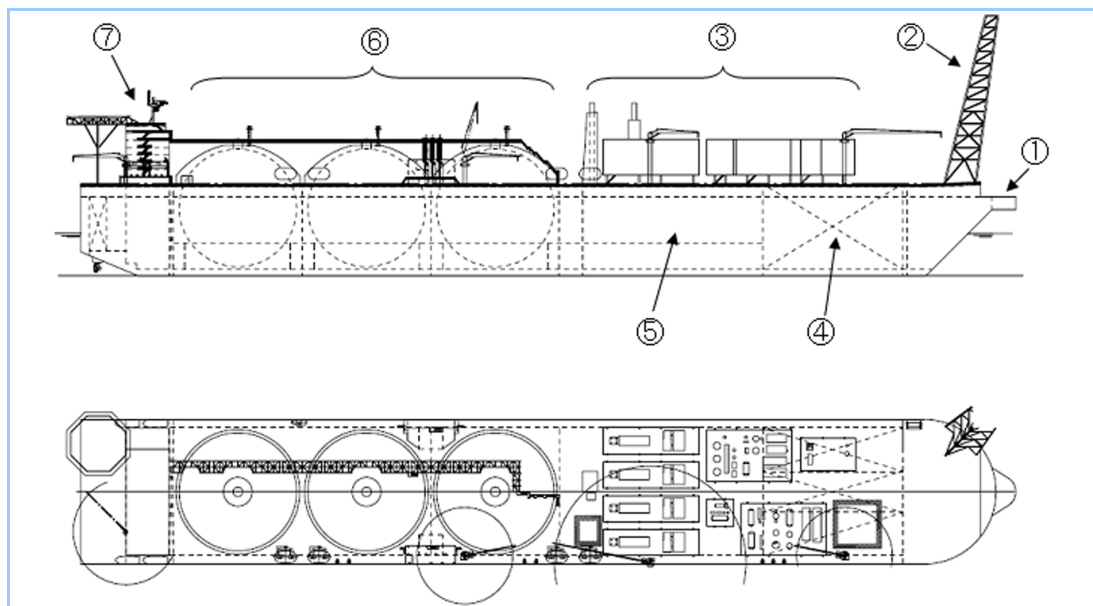


図1 球形タンク方式 LNG-FPSO 配置図例

LNG-FPSO はガス田から採取された天然ガスから LNG を生産する。よって、浮体上に LNG 生産設備を持つ。LNG 生産設備としては、一般的に、天然ガス中に含まれる酸性ガス・水分・水銀などの不純物を除去する前処理設備と、前処理された天然ガスを液化する液化設備とがあり、これらの生産設備を設置するための場所が必要となる。このため、配置図例の通り、平坦な上甲板を持つ浮体を延長、上甲板上に LNG 生産設備を装備するための場所を確保した。他の場所(陸上あるいは他の浮体上など)に生産設備の一部を設置する必要無く、本浮体上にすべての生産設備を設置可能としている。また、その生産設備下の浮体内に、天然ガスに含まれて採取されるコンデンセートを貯蔵するタンク(あるいは LPG 貯蔵タンク)、及び蒸気・電力・冷却水など生産設備に必要なユーティリティを製造・供給する機器類を装備することで延長浮体内のスペースを有効活用している。さらに、通常の LNG 船に比べ LNG 貯蔵タンクを大径化することで1タンク当たりの容積を増加、タンク数を減少させることで LNG 生産設備設置場所を広く確保している。

また、浮体の適当な箇所に、適当に分割されたバラストタンクを配置することで、LNG/コンデンセート貯蔵量の変化に応じ浮体の姿勢を調整し、水平状態並びに積出設備の稼動範囲内に浮体を保つことができるよう考慮している。

2.3 主要目

球形タンクを採用した LNG-FPSO の主要目例を表2に示す。より広い LNG 生産設備設置場所が必要とされる場合には、浮体を大型化することで対応可能である。

2.4 船級承認

球形タンクを採用した LNG-FPSO 基本設計に対し、英ロイド船級協会(LRS)とリスクアセスメントを実施、同船級協会より設計基本承認(AIP:Approval in Principle)を取得しており、安全性含めた基本設計が確認されている(図2)。

表2 球形タンク方式 LNG-FPSO 主要目例

LNG 貯蔵タンク容量 (-163℃, 100%)	180 000 m ³ /3 タンク
LNG 生産能力	2 百万トン/年
LNG 生産設備設置エリア	約 10 000 m ² (約 170m 長さ×60m 幅)
コンデンセート 貯蔵タンク容量	100 000 m ³ /3 タンク
浮体長 × 浮体幅	約 390 m × 60 m
乗組員数	160 人

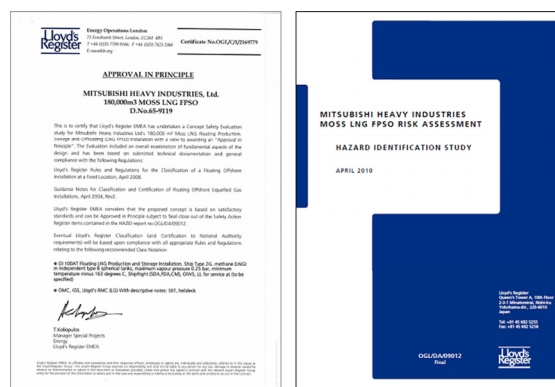


図2 球形タンク方式 LNG-FPSO LRS 船級協会 AIP 証書

3. 当社球形タンク方式 LNG-FPSO の特徴

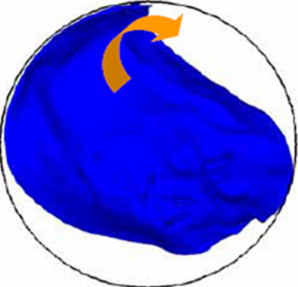
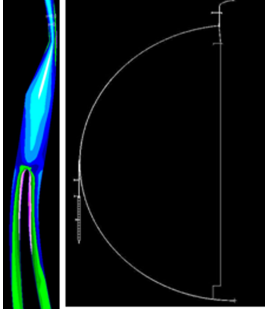
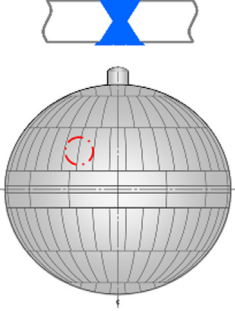
当社球形タンク方式 LNG-FPSO の特徴につき下記する。

(1) 安全性・信頼性

- ①球形タンクは、その形状・構造のシンプルさ・溶接形状から、スロッシング・構造解析・品質管理において非常に高い安全性・信頼性を有しており、長年にわたる多数の LNG 船での採用実績からもその安全性・信頼性が立証されている(表3)。
- ②LNG 生産設備が LNG 貯蔵タンクとは別の離れた区画に設置される(LNG タンクの上方に設置されない)ため、
 - ・甲板上へ設置される LNG 生産設備支持サポートの形状・構造に対し、LNG 貯蔵タンクからの制限がなく、信頼性が高くよりシンプルな支持サポートとすることが可能。
 - ・LNG 生産設備メンテナンス時などに恐れのある、クレーンなどからの落下物による LNG タンク損傷の危険性がない。

- ③LNG 生産設備が居住区域と離れており、乗組員に対し、より安全かつ低騒音であり居住性が良い。

表3 球形タンクの信頼性

スロッシング	構造解析精度	品質管理
球形のためスロッシングによる衝撃圧力はタンク壁へは作用しない	構造がシンプルであり、正確な構造解析が可能	完全溶け込み型突き合わせ溶接及び溶接線 100%の非破壊検査(超音波検査)により確実な品質管理が可能
		

(2) 経済性・短工期

- ①ユーティリティ機器室を LNG 生産設備の直下に配置することにより、両者を接続する管・電線を最短化、また、ユーティリティ(電力、蒸気、冷却水等)を LNG 生産設備へ供給する動力を最小化。
- ②球形タンク方式では、タンク外面に施工する防熱を厚くすることで侵入熱を抑え、タンク内に貯蔵した LNG の再ガス化量を減らすことが可能。
- ③LNG 生産設備が LNG 貯蔵タンクとは別の区画に設置されるため、浮体構造完成後(浮体進水後)、LNG 貯蔵タンク防熱工事・浮体内機器類調整工事などの浮体側工事と並行して、LNG 生産設備の浮体への搭載・結合作業が可能。よって、タンク防熱含めた浮体側工事完了後、LNG 生産設備搭載・結合作業を行う場合に比べ工期が短縮可能(図3)。
- ④球形タンクの場合製作コストが廉価(タンク重量軽、溶接長短による)。
- ⑤LNG 貯蔵タンク数少、関連機器類少。

上記のごとく、当社球形タンク方式 LNG-FPSO は、安全性・信頼性及び経済性に優れた製品となっている。

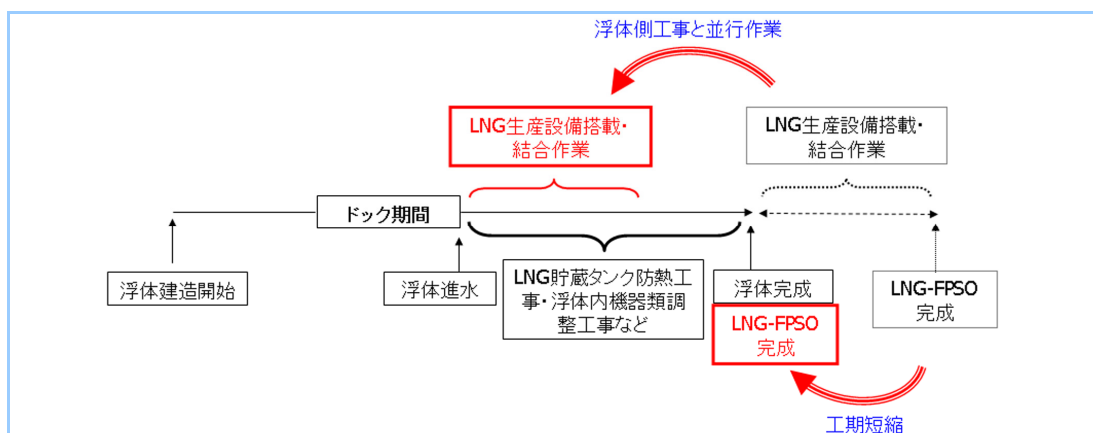


図3 球形タンク方式 LNG-FPSO 工程短縮化

4. 当社独立方形タンクタイプ B

4.1 概要

当社では、上述の中小規模ガス田向け球形タンク方式 LNG-FPSO に加え、客先のニーズにより大規模ガス田向け LNG-FPSO にも対応できるよう、独自の LNG 用独立方形タンクタイプBを開発した(図4)。

LNG 用独立方形タンクタイプ B の基本要件は、

- ①独立(自己支持型)の方形タンクであり、高度な解析手法を用いて、応力レベル・疲労寿命・亀裂伝播特性を正確に求め、設計されること。
- ②タンクから漏洩した貨物を部分2次防壁に導く防熱構造を有すること。
- ③LNG に適した材料であること。

①に対しては、類似の独立方形タンク(タイプ A)を持つ LPG 船の豊富な建造実績により蓄積された知見・経験、及び、当社開発の“荷重・構造一貫解析システム(MHI-DILAM)”を用いた精密な荷重・構造解析の導入、により達成され、より信頼性の高いタンクの設計を実現している。浮体が大型になれば、独立したタンクと浮体の相互干渉の影響を配慮することが重要であるが、MHI-DILAM により、複雑な挙動を忠実にシミュレート可能である(図5)。

②及び③については、同様な防熱構造及び材料を持つ球形タンク方式(独立タイプ B タンク) LNG 船の建造実績により蓄積された知見・経験を基に、信頼性及び経済性に優れた開発となっている。

4.2 船級承認

当社製独立方形タンクタイプ B に対し、米国船級協会(ABS)/英ロイド船級協会(LRS)/日本海事協会(NK)の3機関から、IMO タンクタイプ B の設計基本承認(AIP)を取得している(図6)。

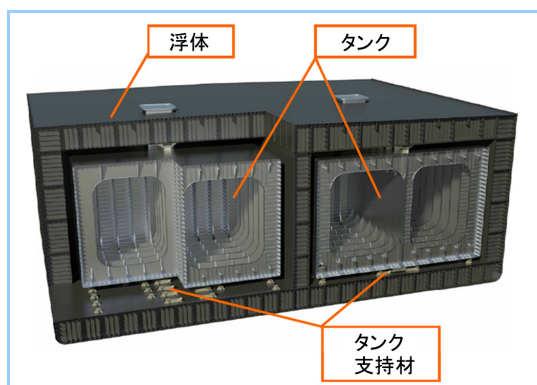


図4 当社独立方形タンクタイプ B 例(2列型)

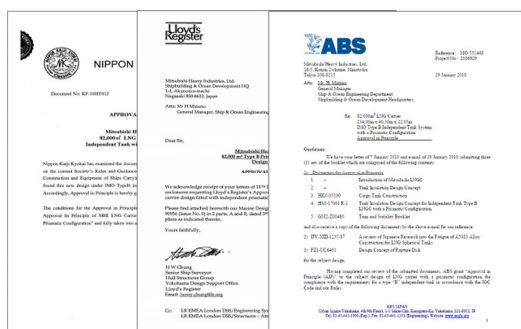


図6 独立方形タンクタイプ B 船級協会 AIP 証書

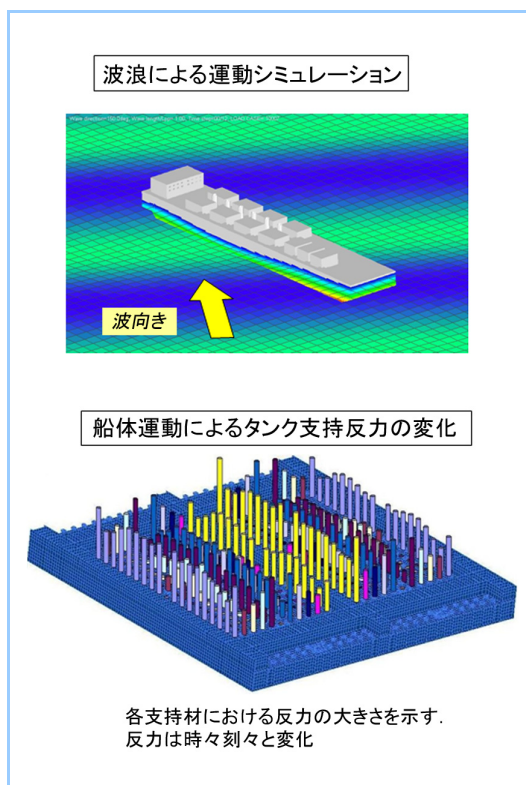


図5 独立方形タンク 支持反力解析

5. まとめ

近年注目を集める LNG-FPSO に対し、客先やパートナーであるBWオフショア社の意見も取り入れながら、当社独自の製品開発を行った。客先のニーズ及び対象ガス田の規模に応じ、中小規模ガス田向け、大規模ガス田向け、それぞれ信頼性・安全性・経済性ともに客先に満足していただける製品を開発できたと確信している。今後は今回の開発を基に、LNG-FPSO 実機的设计・建造に取り組んでいきたい。