

LNG 船の技術動向と将来展望

Key Technologies of Mitsubishi LNG Carrier
- at Present and in Future大平 弘之*¹
Hiroyuki Ohira松本 祥一*¹
Shoichi Matsumoto平松 彩*¹
Sai Hiramatsu藤野 義和*²
Yoshikazu Fujino

世界のエネルギー需要は増加する傾向にあり、その中でも LNG は燃焼時の CO₂ 排出量が石油や石炭に比較して少ないために益々注目を浴びている。当社は 1970 年代に LNG 船の開発を始め、1983 年に初の LNG 船を引渡して以来、低 BOR (Boil off rate)、高度自動化システム、再液化装置、寒冷地対策などの技術を開発し、実船に適用してきている。現在でも信頼性・経済性の高い LNG 船を建造し続けており、球形タンク方式・メンブレン方式の 2 つのタンク方式で最新の LNG 船を建造中である。これらの実績を踏まえながら大型船、寒冷地対策船、高効率スチームタービン船などの次世代技術の開発を行っている。

1. はじめに

当社は 1970 年代に LNG 船の開発に着手し、1983 年に最初の球形タンク方式船“播州丸”を引渡して以来 42 隻（建造中 11 隻を含む）の LNG 船を建造してきている。これらの船の建造は多様な技術開発を経て行ってきたもので、安全性、信頼性の高い LNG 船技術を確立してきた。これらの技術開発を振り返りながら、今後の商談の動きを考慮して将来の技術開発について述べる。

2. 当社の LNG 船建造実績

当社で建造してきた LNG 船についてその概略を振り返ってみる。

LNG の主成分であるメタンは臨界温度が - 82℃ であり、常温で加圧して液化することができない。一般には大気圧で - 162℃ で液化して輸送される。このような低温の貨物を運ぶために LNG 船ではタンク的设计温度が非常に低いことが最大の特徴となる。この条件を満たすためにアルミ合金の球形タンク方式を採用し、当社最初の LNG 船“播州丸”（図 1）が 1983 年に引渡された。

1989 年には第 2 世代の LNG 船と呼ばれる NWS (North West Shelf, 西豪州) プロジェクト船（図 2）を引渡している。この船には 4 タンク船の実現、低 BOR (Boil Off Rate, タンクから発生する蒸発ガス量率)、FORCING VAPORIZER、機関部・貨物部機器の集中監視制御システムの採用等、それまで



図 1 播州丸



図 2 North West Sandering

*¹ 長崎造船所造船設計部計画課主席*² 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

の LNG 船と一線を隔する仕様となっており、以降の LNG 船の標準的な仕様となっている。

2000 年には "LNG JAMAL" (図 3) に世界で初めて LNG 船に BOG (Boil Off Gas) の再液化装置を搭載した (大阪ガス(株), 日本郵船(株)と千代田化工建設(株)との共同開発)。



図 3 LNG Jamal

当社はそれまで球形タンク方式の LNG 船を開発、建造してきたが、2002 年 8 月には 137 000 m³ 型ガストランスポート方式 LNG 船 "PUTERI INTAN SATU" (タイトル写真) を引渡し、球形タンク・メンブレン両方式の LNG 船を設計・建造した世界初の造船所となった。メンブレン方式は船体内部に防熱構造を持ち、その内側をメンブレン (金属製の薄膜) で覆ったもので、球形タンク方式などの独立タンク方式と比べると低温用金属材料を削減することができる (図 4)。一方で防熱材にも貨物の荷重が働くため、複雑で多様な防熱構造部材を必要とする。これらを効率良く建造するために、自動溶接機の開発を行い、溶接の信頼性を高めると共に、約 70 万点の防熱・メンブレン構造の部材を管理する工程・品質管理システム "LOGIQ" を開発して実用化した。

2006 年には SNOHVIT プロジェクト船を 2 隻引渡し、現在 SAKHALIN プロジェクト船 2 隻も建造中である。これらの船は寒冷地を通るため、凍結防止・解氷のために外気温 (SNOHVIT 船: -18℃, SAKHALIN 船: -25℃) に対する寒冷地仕様が施されている (図 5)。SAKHALIN プロジェクト船は積出基地のプリゴドノイエ港に冬季には氷があるために氷に対する考慮もなされ、Finnish-Swedish アイスクラス規則 1 B 等級が適用されている。また、SNOHVIT, SAKHALIN プロジェクト船には長寿命船体疲労設計が適用されており、長期間の繰り返し疲

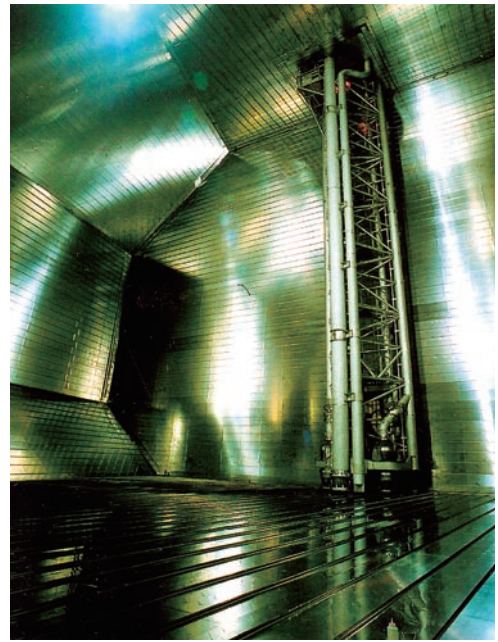


図 4 メンブレン船貨物タンク



図 5 SNOHVIT 船居住区外観

荷重に耐える船殻構造が要求される。当社は構造強度解析・疲労解析等の高度解析技術の開発を行い、当社独自の波浪中疲労解析手法 DISAM (DIScrete Analysis Method) を実用化している。この解析技術を使って疲労設計が行われている。

3. 次世代 LNG 船

これまでの当社の LNG 船建造の歴史を見てきたが、当社は客先ニーズに呼応しながら常に世界に先駆けて最新技術を適用した LNG 船を建造してきた。現在の商談を見るとトピックとして目に付くところは、船型の大型化、SNOHVIT 船、SAKHALIN 船を超えた更に厳しい寒冷地対策、主機プラントの省エネルギー化、である。寒冷地対策、主機プラント

の省エネルギー化の例としての UST (Ultra Steam Turbine) については本号掲載の別記事にて詳しく述べるが、大型化、寒冷地対策、UST の各項目について概略を以下に紹介する。

3. 1 大型化

現在日本国内向けに LNG を輸送する船としては 150 000 m³ クラスが最大船型となっている。当社は客先の意見を聞きながら国内主要ターミナルと整合性の取れる日本国内向けにより大きな船型を開発している。客先からは国内ターミナルとの整合性を取る上で喫水、全長と深さが制約を受けている。喫水と全長が制限を受けるため、最大タンク容積を取るためには船型の肥大化が必要となる。一方船速も 19.5 kt が要求され、この船速を確保するためには船型を瘠せさせる必要がある。この相反する要求を満足させるため最適点としてタンク容積を 177 000 m³ と設定し、以下の主要目の船型としている (表 1)。

表 1 177 000 m³ 型主要目表

Loa (全長)	(m)	300.0
Lpp (垂線間長)	(m)	287.0
B (幅)	(m)	51.9
D (深さ)	(m)	28.0
d (喫水)	(m)	11.5
Vs (航海速度)	(kt)	19.5
MCR (最大連続出力)	(kW)	29 900
FOC (燃費率)	(t/day)	157.3
Cargo Capacity (貨物タンク容積)	(m ³)	177 000
Number of Cargo Tanks (貨物タンク数)		4

深さは陸側のギャングウェイとの整合、船体重量の軽減化を考慮して 28 m としている。

世界的には更に船型を大型化する動きがあり、韓国では Q-flex, Q-max と呼んだ 200 000 m³ を超えるメムレン船の建造が行われている。しかし、180 000 m³ を超えるメムレン船の場合貨物の動揺によるスロッシング荷重増加の問題からタンク数を 5 タンクとせざるを得ず、一方タンク強度に信頼性の高い球形タンク方式の場合、4 タンク船の大型化が可能である。当社でも 4 タンクの 200 000 m³ 球形タンク方式船の建造が可能である。また更にタンク容積を増やす方法として FST (Flex Spherical Tank) 方式 (図 6) についても検討している。これは球形タンク方式の特長をいかしながら北半球、南半球の曲率を変え、球形タンクと同一直径でより多くのタンク容積を確保するものである。既に日本海事協会、ロイド船級協会から AIP (Approve in Principle) を取得してい

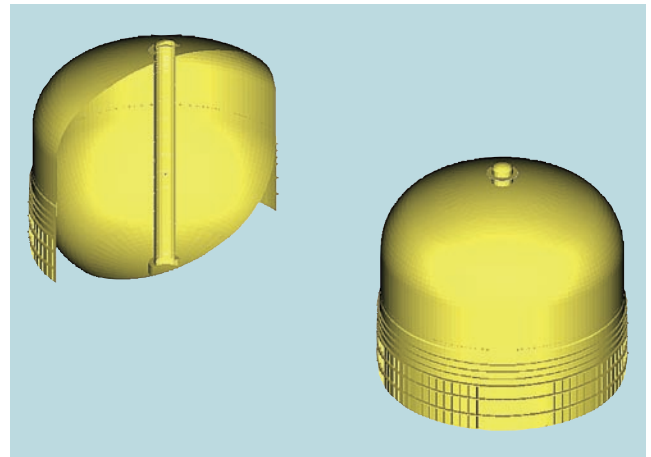


図 6 Flex Spherical Tank

る。200 000 m³ の 4 タンク船に FST を適用することで 230 000 m³ のタンク容積とすることができる。一方で曲率を変更することにより球形タンクよりもタンク重量が増加するので、今後の船型開発が必要となる。

メムレン船の大型化には特に課題はないが、Cargo Containment 物量増加に伴い生産性の向上が求められる。

3. 2 寒冷地対策

船級協会の規則には耐氷構造が規定されており、これでは船体構造、主機出力、曳航装置、舵、操舵装置、プロペラ、軸形についての要求が記載されている。耐氷構造というように海面に氷がある状態で船を安全に航行できるようにする最低限の仕様を押し付けた規則である。その他の一般艀装品については規則による要求は殆どない。ノルウェー船級協会の寒冷地向け船のノーテーションとして DEICE があるが、このガイダンスは主にバルト海を航海する小型船を対象にしたもので、大型の LNG 船にそのまま適用することは難しい。各船級協会は大型船に適用できる寒冷地対策に関する規則を北極南極航行船規則を参考にしながら検討中であるが、既に就航している既存船との比較からすれば仕様要求が過剰気味であり真に合理的な仕様とは言えない部分もあるので、客先と造船所が協議をして妥当かつ運航経済性の高い LNG 船が設計できるように関係先に働きかけをしているところである。

寒冷地対策は客先の運航形態、対象となる寒冷地の温度や海象などの環境、乗組員の熟練度により様々なものが考えられる。当社は既に寒冷地向け LNG 船として限定的な対策を行った SNOHVIT 船、耐氷構造を持ち氷海域を航行する SAKHALIN 船を設計、建造している。これらの設計・建造経験を基にして今後更に厳しい寒冷地環境 LNG 船に備えて研究・開発を進めている。

3. 4 UST (Ultra Steam Turbine)

近年原油価格の高騰から推進プラントの省エネルギー化が急激に加速し、LNG 船の世界でも従来のスチームタービンに変わり、ガス焚きができる中速ディーゼル機関を使った電気推進船 (DFE 船)、2サイクル低速ディーゼル主機船 (DRL 船) が台頭してきている。これらのプラント効率の高い推進機関に対抗して当社は信頼性の高い従来のスチームタービンの効率を大幅に改善した UST プラントを開発した。これは従来 6 MPa × 515℃ であった蒸気条件を 10 MPa × 560℃ と高圧、高温化し再熱器 (リヒータ) を用いて再加熱した蒸気を新たに設けた中圧タービンに導き効率を改善するものである。この際高圧、高温化に対しては当社における陸用プラントでの技術を最大限に利用して開発を進めた。タービンは陸用再熱タービン設計技術の応用に加え船用の発停頻度が多い特殊性を加味した車室構造の最適化を図っている。また再熱ボイラは、排ガス出口側に再熱炉を設けたリスクが少なくコンパクトな設計としている。炉内ガス流動解析シミュレーションやコールドモデル試験、船の運転モード別プラントシミュレーション等を実施しプラント全体の信頼性を上げている。

いずれも当社技術本部、機械部門、船舶部門が協業し全社を挙げての体制のもと所期の成果を得られたものである。

このプラントは従来船の機関室の中に十分に配置できるものであり、操作性、保守性にも優れたシンプルなプラントとなっている (図7)。

UST は従来のスチームタービンに比べて約 15% の燃費低減が可能であり、メンテナンスも考慮の上 DFE 船、DRL 船に充分対抗できるものとなる。

3. 5 その他

今後の商談で考えられる大型化、寒冷地対策、UST と個別の技術について述べてきたが、これらとは別に現在モジュラー設計という考えで船の仕様を見直している。それぞれの商談において必要不可欠な個別の技術を適用して客先の満足を得ることは最も重要なことであるが、個別の技術を適用するとしても船全体の設計を根本から覆すことにはならない。多くの客先に受入れられる基本配置を設定し、変更できる部分、変更できない部分に分け、変更のできる部分についてはいくつかのオプションを持つ、こうすることにより個々の客先に満足してもらえ仕様に設定することができ、しかも共通部分の設計を省略することができる。共通部分が多ければ建造船、引渡船からのフィードバックが適用されやすく、後続船は更に完成度の高い

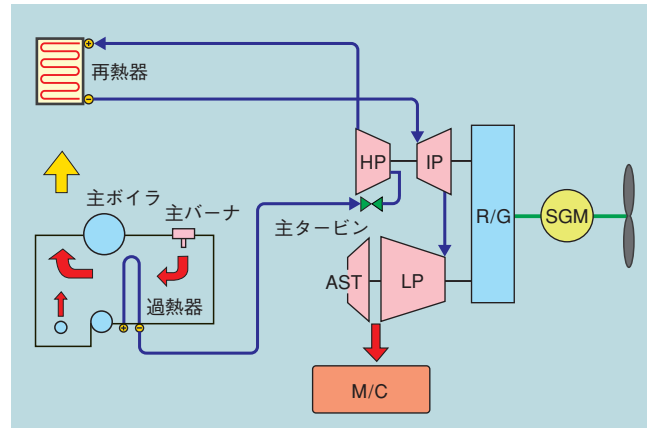


図7 Ultra Steam Turbine

ものとなり、客先の満足につながる。個別の技術開発と並び、今後の LNG 船の開発において必要なことである。

4. ま と め

当社は安全性、信頼性、高経済性を重点課題として低 BOR、強制蒸発装置、自動化システム、BOG 再液化装置、寒冷地対策等の各種技術を開発して多くの LNG 船を建造してきた。今後は更に運航経済性を高めた大型船、省エネルギー船、寒冷地対策船が求められる。これまでに培ってきた安全性、信頼性、高経済性に立脚し、これらの客先ニーズに沿った高技術 LNG 船を開発していくことが必要である。

参 考 文 献

- (1) 小野政雄ほか、LNG 船・LPG 船の技術展望、三菱重工技報 Vol.21 No.2 (1984)
- (2) 高倉理ほか、新世代 LNG 船の設計上の特徴と就航実績、三菱重工技報 Vol.28 No.3 (1991)
- (3) 湯浅和昭ほか、LNG 船の技術動向と将来展望、三菱重工技報 Vol.37 No.5 (2000)



大平弘之



松本祥一



平松彩



藤野義和