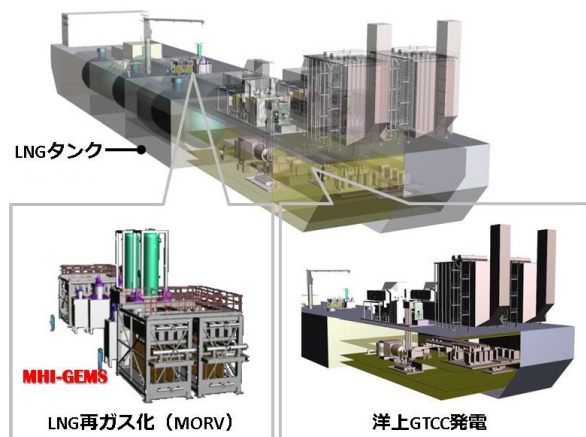


LNG サプライチェーンの海上への展開

Floating LNG Infrastructure



岡 勝*¹
Masaru Oka

和田 太郎*²
Taro Wada

金子 秀明*³
Hideaki Kaneko

加藤 雅之*³
Masayuki Kato

天然ガスは、石油・石炭とならぶ重要な一次エネルギー源であり、予想埋蔵量も多く、環境に排出される燃焼ガスがクリーンな燃料でもあることから、その地位は将来にわたっても揺るがないとの推測には異論は無いだろう。我が国の天然ガスは LNG として輸入され、気化したガスは電力・熱供給の最大部分を担う。LNG によるガスサプライチェーンは 40 年以上、我が国の産業の基盤をささえてきたが、新しい天然ガス資源開発による流通量増大と低価格化で、今後は新興国等の急伸する電力需要などの新市場へも広がるだろう。本稿では、当社が携わってきた LNG・ガス事業での経験のもと、今後の LNG サプライチェーンについて展望する。

1. はじめに

LNG 及び天然ガスは、製造過程で硫黄分は除去されているが、内燃機関で燃料として使用した場合、燃焼ガス中の窒素酸化物や煤塵の発生を極めて低いレベルに抑えることができる、環境に優しい燃料である。世界各地で大規模生産され、パイプラインや LNG で多国間取引がなされているが、主要な産地から遠い我が国は、LNG として運ぶことがほぼ唯一の選択肢であった。このような環境下で、長らく世界最大の LNG 輸入国である日本は、LNG 製造、輸送、貯蔵、再ガス化、及びガス発電などのサプライチェーンインフラ設備や技術を発展させてきた。

最近では大気環境の保全に熱心な先進工業国、地政学的リスクに影響されにくいエネルギー輸送形態を希求する国々、電力需要が急伸する新興国など、LNG の需要は世界各地で急速に増している。また船舶分野でも LNG 需要が及んでおり、沿岸国の大気汚染に対処する環境規制を主因にした船舶燃料の LNG 化も進む。これら中長期的な LNG 需要の伸びを、シェールガスやアフリカ沖海底ガス田の開発に代表されるような供給側の製造能力拡大が下支えする構図である。これまで LNG 利用を先駆けた我が国の産業は、需要と供給が拡大する環境のもと、新たなビジネスを生み育てる潜在力を備えている。

2. サプライチェーンの新たな展開

2.1 従来のサプライチェーン

従来、大消費地から離れた地域に偏在している天然ガス資源は、陸上や海底の長距離パイプライン、もしくは LNG として輸送されてきた。LNG は、ガスパイプライン方式に比べてサプライチェ

*1 交通・輸送ドメイン 船舶海洋事業部 船海エンジニアリング部 グループ長

*2 マーケティング&イノベーション本部 グループマーケティング1部 主席部員

*3 交通・輸送ドメイン 船舶海洋事業部 船海エンジニアリング部

ーンへの投資が大きいので、海上輸送が有利な長距離輸送、もしくはガスパイプラインの敷設が困難な場所で選択され、2015年におけるガス消費全体に占める割合は約1/3である⁽¹⁾。

図1はLNGを主体とした天然ガスサプライチェーンを表す。左側が現在、右側の着色部が今後の展開の予想である。天然ガスは採掘した原料ガスを精製して流通するが、LNGの場合はこれを冷凍設備で液化し、専用船で消費地まで移送する。(内陸地では車載輸送もあるが小規模)

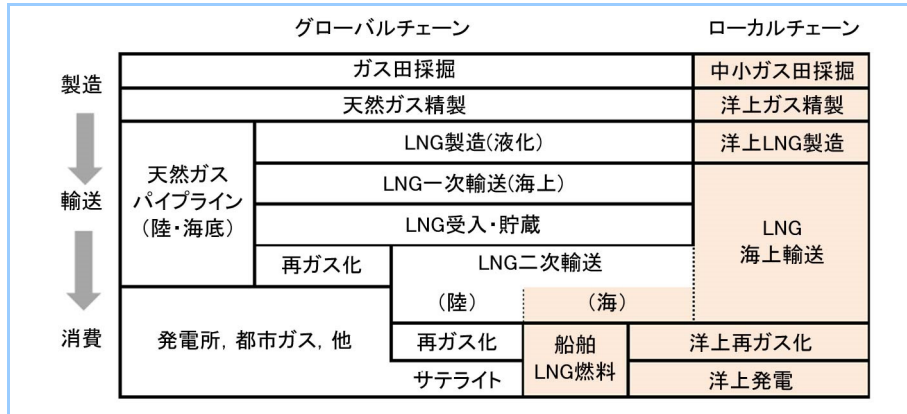


図1 LNGを主体とした天然ガスサプライチェーン

LNGの一次輸送には10万~20万立方メートルの断熱容器を備えたLNG専用船⁽²⁾が従事し、大気圧付近の液体(約-160℃)にて液状態で陸揚げして貯蔵、再ガス化して適宜発電燃料や都市ガスとして消費する。都市型の大規模発電設備(ガスタービン・蒸気タービン複合型発電所=GTCC等)は大量のガスを効率的に消費するために、LNG受入基地に隣接して所在するのが通常であり、小口のガス消費先には都市ガスパイプライン網で送られる。ただし一部はLNGのまま小口でサテライト設備まで輸送されるが、輸送量が数百立方メートル以上では小型LNG船、数十立方メートルではタンクローリー車を用いる。

ただし最近、その中間的な量(数千~万立方メートル)の移送需要として注目されているのが、船舶燃料のLNG化である。

2.2 船舶燃料のLNG代替

現在の船用燃料は原油精製プロセスから残渣物として製造される“重油”であるが、環境保全への意識の高まりと、それに基づく船舶機関からの排気ガス規制により、抜本的な見直しに迫られている。重油の低硫黄分化の他、機関に排ガス清浄装置を装備する方法が試みられているが、LNGで代替することも様々な船種で検討されており、小型船のようにローリー車にてLNG供給が可能なフェリー等の船種では就航例もある。

大型船舶でも、LNG燃料設備を搭載するか、将来搭載することを見込んだ船舶が多数計画されているが、それらはLNGの再分配手段、つまりLNGバンカー船やその関連基盤の充実を待っている状況である。バンカー船とは小型のLNG船と概して違わないが、様々な船舶にLNGを受け渡す設備機能を要する。現在、船舶燃料の供給拠点を中心にバンカー中継ターミナル及びLNGバンカー船が整備されつつあるが、世界最大のバンカー拠点であるシンガポールでは、2017年初頭にもLNG供給開始が予定されている。

一方、このようなLNGの二次輸送技術の充実は、船舶燃料のLNG化だけでなく、新興国(地域)に限定された地域内輸送にも役立つ可能性がある。

2.3 新興国需要への対応

LNGは設備投資規模が他の燃料に比べて大きいので、当社では、規模が小さい都市(地域)においてもLNG利用が経済的に成立するように投資規模を抑えた“ローカルサプライチェーン”を提案する。この提案は、産業発展が著しい新興国、とりわけ東南アジア、南アジア、中南米地域において有望であり、将来的にはアフリカ地域の産業振興にも役立つと期待する。

これらの地域が要望するのは迅速且つ安価な電力の確保である。しかし発展途上であるが故に、電力需要は比較的低調から始まり、しかも短期間での整備が求められる。

製造～受入設備を浮体化したローカルサプライチェーン案は、小規模から始まる段階的な拡張投資が可能で、短期間に仕上げるができる。

2.4 LNG サプライチェーンの洋上展開

サプライチェーンの両端に位置する LNG 払出し設備と受入設備は、チャトル船と接続するために沿岸部に所在しており、洋上設備化への条件は元々整っている。洋上の受入基地である浮体式 LNG 貯蔵再ガス化設備 (FSRU) や浮体式 LNG 貯蔵設備 (FSU) は既に多数の実施例がある。上流端の LNG 製造についても浮体式 LNG 製造貯蔵設備 (LNG FPSO, 一般に FLNG と称される) 化の計画が多数ある。2016 年4月時点で運用開始した FLNG はないが、英 Shell 社が西豪州の海底ガス田開発を進める案件等、2017 年頃には稼働を始める FLNG が現れるとされている⁽³⁾。

LNG 製造設備の浮体化のトレンドはガス資源の海底採掘により一層進むと推測するが、既存の計画は年産100万トン大きく上回る、グローバルサプライチェーン規模の設備を洋上に移植した設備が中心である。中小規模の浮体 LNG 製造設備案件⁽³⁾もあるが、一般的には経済的に成立するのが難しいと目され、この経済性からの規模制約を克服しなければならない。東南アジアやカリブ海地域に点在する中小ガス田は、近隣に新興する中堅都市型消費地があり、これらを浮体式設備とチャトル船のセットで繋ぐ、独立したチェーンを形成することで再開発の可能性は高まる。加えて、これらの新興消費地は直接的には電力供給を求めている場合が多いので、LNG を洋上ですぐさま電力に変換して送電すればさらに効率的である。

3. LNG 浮体設備の提案

当社は LNG 運搬船の建造、LNG 受入基地、ガス焚き発電設備の建設に携わることで、LNG サプライチェーンビジネスに深く関わってきた。それらの実績をもとに、サプライチェーンを構成する設備の洋上への展開やローカルサプライチェーン拡充への具体案の例を紹介する。

3.1 浮体設備化の利点

図2は提案するサプライチェーンの全貌である。初期投資を抑え、段階的な設備拡張を考慮して、LNG の貯蔵設備は従来の LNG や LPG 輸送の大型中古船を FSU 化して利用する。LNG 製造設備及び再ガス化設備もバルクキャリア(ドライ貨物船)等の中古船を改造して利用し、LNG 貯蔵タンクは二次防壁等の追加要件の無い、圧力容器型(IMO 規定のタイプC型)を適用し、FSU を主貯蔵とする付加的貯蔵容量とする。それぞれの浮体は LNG 及びガスの移送設備として実績がある固定桟橋(Jetty)設置のハードアーム、又はフレキシブルホースによる STS(Ship to Ship transfer)設備で繋がる。中古船改修により、設備新造に要する期間から半減させることも可能である。

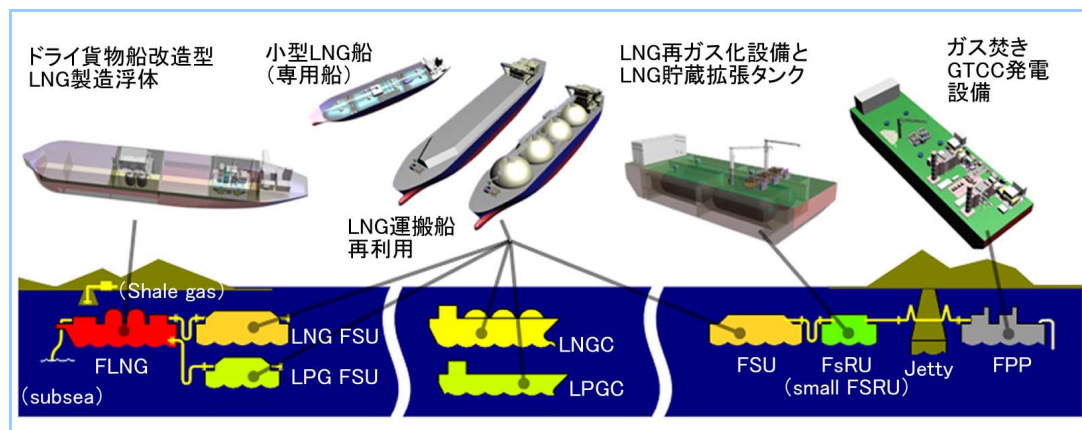


図2 サプライチェーンの全貌

また浮体式であれば、周辺のインフラ整備が進んでいない、オフショア供給範囲が広くならざるを得ない地域でもライフラインも含めて一括して造船所で建造し、現地へ持ち込むことができる。したがって、移設・置換による段階的な設備増強を要望する新興国への展開や中小ガス田の開発では、浮体式が有利である。提案するサプライチェーンの詳細を以下に述べる。

(1) 浮体式 LNG 受入設備

図2中央右の図は FSRU, FSU で構成する浮体式 LNG 受入設備である。シャトル船より受け取る LNG は LNG 船転用の FSU に貯蔵され、隣接する FSRU が FSU より LNG を受け取り、高圧ガス化して払い出す。FSRU は LNG 圧力容器と再ガス化設備を搭載したバージ型浮体であるが、この例では再ガス化設備は ORV (Open rack Vaporizer, 現受入設備の標準気化器) を船用に改良した MORV (Marine ORV) を適用している。コンパクト設計で将来的な設備拡張にも十分なスペースは確保できる。FSRU の貯蔵量は FSU の貯蔵能力との合計が、シャトル船の輸送能力より大きくなるように選定する。LNG 船はこれまで段階的に容量アップしており、従って船齢が若いほど大型であるので、FSRU の貯蔵能力で調整する必要がある。

(2) 浮体式 LNG 発電設備 (FSRU, FPPU)

新興国の直接的需要は電力であり、天然ガスを払い出すよりは電力に変換して供給するのが効率的である。図2の右端の図は当社が提案する浮体式 LNG 発電設備 (FPPU) の一例である。FSRU から受け取った高圧ガスは FPPU にて発電に消費する。搭載する発電設備には、熱効率がよく、環境保全にも配慮した、天然ガス焚きのガスタービン複合発電 (GTCC) を適用している。出力レンジに関するマーケット需要は 100~300MW/ユニットと想定しているが、この範囲では LNG 火力発電で実績を持つガスタービンのうち、三菱日立パワーシステムズ(株)製ガスタービン H シリーズが最適である⁽⁴⁾。

(3) LNG 製造浮体設備 (LNG FPSO=FLNG)

想定するのは年産100万トン/系列以下の LNG 製造浮体である。この規模の液化プロセスには、LNG 船用再液化プラントで実用化された実績を持つ、蒸気タービン駆動型窒素膨張サイクルが最適である。カスケード式の窒素膨張サイクルに、再熱型船用主機タービンを転用したドライバとオフガス燃焼型船用ボイラを組み合わせた液化プラントは、稼働率が高く、保守費用及び投資額が低い上、液化効率も大型機に伍する性能を実現する。加圧式仮貯蔵タンクもあわせて、系列別にモジュール化されており、バルクキャリア等の中古船改造時の搭載にも配慮している。

(4) 小型シャトル船, LNG バンカー船

ローカルチェーン専用のシャトル船や LNG 燃料船への補給船 (LNG バンカー船) 等の二次輸送船の仕様は、一次輸送に従事する大型 LNG 船の輸送能力の小型化だけでは十分ではない。

二次輸送船の貨物タンク選定は貨物容量により大型容器 (IMO タイプ B 他) より、加圧容器 (IMO タイプ C) を用いるのが経済的であるとされる⁽⁵⁾。当社では 3-4 万 m³ を境界に小型船にはタイプ C の加圧タンク方式を提案する。貨物 LNG のボイルオフロスが発生しないように器内圧を設定、LNG 液温調整のため、冷凍機設備の追設も有効である。燃料としては船用燃料油の他、貨物 LNG を利用するため LNG 燃料供給設備とのパッケージ販売にも対応している⁽⁶⁾。

3.2 ワンストップ供給の利点

FLNG のように全体の機能が複雑化した設備では、船体を建造する造船所と、LNG 関連設備 (トップサイド) を取りまとめる EPC 会社、プロセスライセンス等、複数社協業が不可欠である。これら専門分野の違う別組織 (会社) が分担して携わるが、その境界には責任所掌の曖昧さは不可避であり、これに起因するリスクは発注者側の負担とならざるを得ない。

当社は造船所と EPC 会社, 及び関連する機器製造会社を傘下に持ち, 上述の浮体設備をワンストップで受注できる事業体であるので, お客様のリスクや負担は当社の供給範囲の拡大で最小化することができる。

4. まとめ

本稿で紹介したサプライチェーンの LNG 浮体設備においては, 船体建造やそれに搭載装備される機器・設備の供給だけでなく, お互い密接に絡み合う各設備をチェーン全体で捉えるトータルエンジニアリングや, ワンストップサービスがキーとなる。

当社では, 船舶事業 (LNG 船建造、船用ガス設備 MHI-GEMS 販売等), ガス燃料発電事業, LNG プラント事業 (LNG 受入設備での EPC に関する製品群) で培った経験・技術をもとに, LNG インフラストラクチャーのワンストップソリューションを提供する。

本稿で紹介した技術や事業が, LNG 製造, 受入, 貯蔵, 発電等の分野で新たなビジネスを開拓するお客様の一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) BP Statistical Review of World Energy June 2015, p.29
- (2) Sato et al, Design of the evolutionary LNG Carrier “SAYAENDO”, p.2~3
- (3) Floating LNG (FLNG)の最新動向について”JOGMEC, 2015 年9月トピックス
- (4) 世界最大級高効率2軸型ガスタービン(H-100)”三菱重工技報 Vol.52 No.2 (2015) p.10~14
- (5) Dr. K. D. Gerdsmeyer (TGE Gas Engineering), Economic Design Concept for Small LNG Carriers
- (6) 船舶・洋上 LNG 設備(GEMS)の開発”三菱重工技報 Vol.50 No.2 (2013) p.7-12