

(解説)

## 中間媒体式LNG気化器：IFVの新規展開

### Intermediate Fluid Type LNG Vaporizer (IFV) : Application and Marketing



江頭慎二\*

Shinji EGASHIRA

Kobe Steel is the world's leading supplier of LNG vaporizers. Conventional LNG receiving terminals mainly use open-rack-type vaporizers (ORVs). Recently, some terminals choose intermediate-fluid-type LNG vaporizers (IFVs) as suitable vaporizers for special circumstances and/or special applications. Kobe Steel has received orders of IFVs for these new LNG receiving terminals. This paper reports on the features, applications and marketability of the IFVs.

まえばき = クリーンエネルギーとして世界的に需要が増加している天然ガスは、産出地から遠隔に位置する日本などの消費地では、極低温（約 -160℃）状態の液化天然ガス（LNG）として受入れ、再度常温までガス化して都市ガスや発電用燃料として利用している。

当社は、オープンラック式気化器（Open Rack type LNG Vaporizer, 以下 ORV という）を始めとした LNG 気化器トップメーカーとして国内外で積極的に営業展開しているが、中間媒体式気化器（Intermediate Fluid type LNG Vaporizer, 以下 IFV という）は従来、国内特定ユーザへの供給に限られていた。近年、IFV はその特色を生かした特殊環境下での最適な LNG 気化器として幅広く顧客に認知され、海外展開への道も開けた。

本稿では、IFV の特色を生かした適用事例を紹介するとともに、今後の展望について記述する。

#### 1. IFV の構造・特徴

##### 1.1 概要

IFV は、プロパンなどの熱媒体を介して海水などの加熱源により LNG を気化させる気化器であり、3種類のシェルアンドチューブ式熱交換器（中間熱媒体蒸発器（以下、E1 という）、LNG 気化器（以下、E2 という）、NG 加熱器（以下、E3 という））を組合せた構造を有している。

図1にその概念図を示す。E2の伝熱管内へ供給された LNG は、E1 シェル内上部の中間媒体ガスと熱交換してほぼ全量が蒸発した後、連絡配管を通じて E3 シェル側に移送される。ここで伝熱管内を流れる海水と熱交換・加熱され、常温のガスとして送出される。

一方、E2の伝熱管外表面で LNG との熱交換によって凝縮された中間媒体は、E1 シェル内の下部に落下する。ここで伝熱管内を流れる海水と熱交換して再び中間媒体

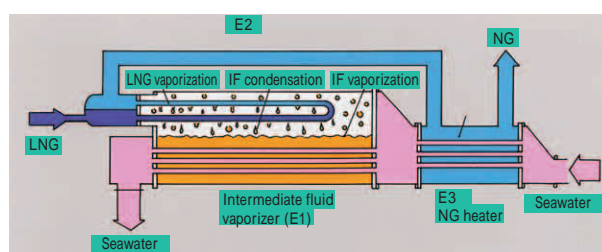


図1 中間媒体式気化器概念図

Fig. 1 Out line of Intermediate Fluid type Vaporizer (IFV)

ガスとして蒸発し、E2 管内の LNG を蒸発させる。

中間媒体は、以下のような性質を有する凝縮性流体を適用する必要性から、主にプロパンを用いている。

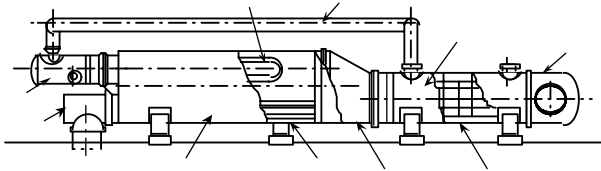
- ・ LNG 温度（約 -160℃）において凝固しないこと
- ・ 運転時の温度（最低 -10℃ 前後）における飽和圧力が、大気圧以上であること
- ・ 常温における飽和圧力が高くなり過ぎない（20bar 程度以下）こと
- ・ 入手性が良いこと

IFV は、大阪ガス株式会社によって TRI-EX の名称で 1970 年代に開発された。当社は同社のライセンスとして数多く設計・製作し、蓄積した知見をもとに、現在では独自に様々なユーザに対して展開を行っている。

##### 1.2 材料

IFV に用いられる主要材料を図2に示す。内部を海水が流れる伝熱管（E1 および E3 伝熱管）にはチタン合金が用いられ、海水の代わりに温水・工水を用いる場合にはオーステナイトステンレス鋼が用いられる。低温の LNG および NG が接触する部分（E2 シェル・伝熱管および E3 シェル）にはオーステナイトステンレス鋼が用いられ、中間媒体を保有するシェル（E1 シェル）にはオーステナイトステンレス鋼または低温用炭素鋼が用いられる。また、海水水室部には内面にエポキシ系樹脂焼付

\* 機械エンジニアリングカンパニー エネルギー・原子力機器本部 高砂機器工場



No.	Name	Material
	Tube (LNG)	S. S. Type 304
	Tube (SW)	Titanium
	Channel (LNG)	S. S. Type 304
	Channel (SW)	C. S. + Lining
	Shell (Propane)	S. S. Type 304 or SA516M Gr. 415
	Shell (NG)	S. S. Type 304
	Connecting Pipe	S. S. Type 304

図2 中間媒体式気化器使用材料  
Fig. 2 Materials used for IFV

けコーティングを施した炭素鋼が用いられる。

### 1.3 特徴

IFVの特徴は次のとおりである。

- 1) 一般に加熱源は海水であるため、燃焼熱を用いて熱源水を加温してLNGを気化させるサブマージドコンバッション式気化器(SCV)に比べてランニングコストが低い。
- 2) LNGと加熱源流体との熱交換を中間媒体を介して行うことにより、流路閉そくなどの問題となる加熱源流体の凍結を回避できる。
- 3) 伝熱管材料としてチタン合金を用いることにより、悪水質海水を加熱源として使用した場合でもエロージョンやコロージョンの問題が回避できる。
- 4) 横置き型シェルアンドチューブ式熱交換器の組合せであるため、揺動に対する耐性が良好であり、コンパクトに組合せることで設置面積が低減できる。
- 5) 熱交換後の中間媒体を用いた冷熱発電や循環冷却など、冷熱利用への応用が可能である。

## 2. IFVの適用事例

### 2.1 上海LNG基地向け(悪水質海水の使用)

上海LNG基地は、上海市周辺の深刻な電力不足の解消とクリーンエネルギーへの転換を目的とし、2010年に開催される上海万博に合せた運転開始を目指して建設が進められている広東、福建に続く中国における三つ目のLNG受入れ基地である。

上海LNG基地は長江の河口に位置しており、海水中には泥砂などの浮遊固形成分が多量に含まれている。大型のLNG受入れ基地で最も一般的なLNG気化器として用いられているORVは、主要材料として、表面にアルミニウム-亜鉛合金溶射を施したアルミニウム合金を使用している。高濃度の重金属イオンや高濃度の浮遊固形成分を含む海水に対しては、エロージョンやコロージョンが加速される恐れがあり、耐久性の観点から、海水中の銅イオン濃度が10ppb以下、浮遊固形成分濃度が80ppm以下であることなどが推奨されている。これに対して、上海LNG基地における海水中の浮遊固形成分は

10,000ppmを超えており、推奨値の100倍を超える濃度であるため、ORVを適用することは困難である。

一方、IFVは、海水側伝熱管材料として耐エロージョン・コロージョン性に優れたチタン合金を使用するため、高濃度の浮遊固形成分を含んだ海水を加熱源流体として用いても問題は生じない(図3)<sup>2)</sup>。なお、伝熱管を接合する管板材料としては、オーステナイトステンレス鋼あるいは低温用炭素鋼上に、チタン合金を爆着法により接合したクラッド鋼を使用しており、同様の耐エロージョン・コロージョン性を発揮する。

悪水質海水における優れた耐エロージョン・コロージョン性が認められた結果、上海液化天然ガス有限公司は本LNG受入れ基地の気化器としてIFVを選定した。当社は、海外向けIFVとして初めてこれを受注し、2008年7月に4基を納入した(図4)。

なお、本気化器の1基あたりの定格気化能力は205 ton/h、設計圧力は136barであり、いずれもIFVとしては過去最大である。(従来最大実績: 定格気化能力150 ton/h、設計圧力68bar)

### 2.2 OLT FSRU向け(洋上LNG基地への適用)

OLT(Offshore LNG Toscana)は、既存のLNG運搬船を改造したFSRU(Floating Storage Re-gasification Unit)と呼称される方式のLNG受入れ基地であり、イタリア・トスカーナ州リボルノ市沖合12マイル(約20km)の海域に設置される計画である。FSRU方式のLNG受入れ基地は、従来の沿岸部陸上設置の基地と比べて以下の利点

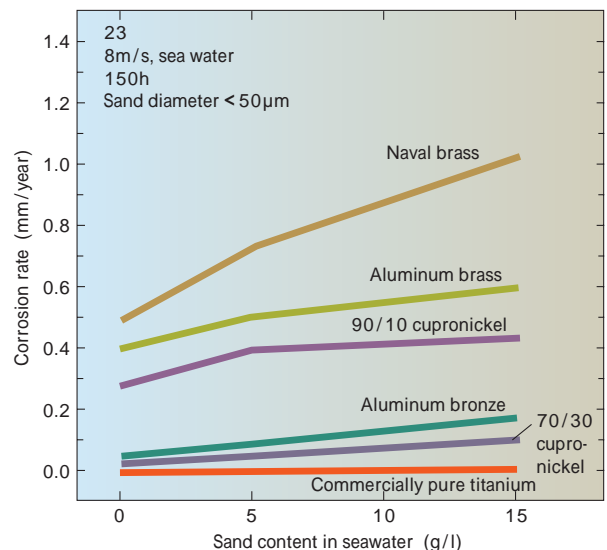


図3 チタンの耐サンドエロージョン性比較

Fig. 3 Comparison of sand erosion resistance between Ti and other materials in seawater flow



図4 中間媒体式気化器外観写真(出荷前)

Fig. 4 Outside view of IFV (Before shipping)

を有する。

- ・埋立てなどが不要であり、環境への悪影響が少ない
- ・LNG 運搬船からの転用であることから大規模な土木工事などが不要となるため、建設費が比較的安く、建設期間も短い
- ・居住地域から隔離することが可能なため、万が一の事故の場合も一般住民の生命・財産に対する影響を排除することができ、LNG 受入れ基地設置に対する反対運動を回避しやすい

しかしながら一方で、本方式は LNG 船を改造して洋上に係留させて LNG 受入れ基地として供するため、陸上の受入れ基地と異なり、以下の点を特別に考慮する必要がある。

- ・荒天時における船体の揺動に対して、性能的・機械的に問題が発生しないこと
- ・できるだけ設置面積を小さくすること

ORV の場合、大気開放されたトラフから伝熱管パネル外表面に散水して伝熱管内を流れる LNG と熱交換・気化させる。このため、船体の揺動に伴ってトラフから伝熱管パネル外表面に形成された水膜が不定となり、性能的・機械的問題を生じる可能性が高く、FSRU 方式の LNG 受入れ基地向け気化器としては不適である。一方、IFV の場合、LNG および海水は揺動が生じても伝熱管内

を安定して流れることができる。また、揺動によって中間媒体にスロッシングが発生することが懸念されるが、中間媒体を保有する E1 シェル内に邪魔板を適切に配置することによってスロッシングを抑制することができ(図5)、性能的な問題を生じさせなくすることが可能となる<sup>2)</sup>。さらに、100年に1回の確率で発生が想定される荒天での船体揺動データを用いた解析において、機械的にも十分に耐性を有することが確認された。

この IFV の船上 LNG 気化器としての優位性が認められ、本案件の元請け会社であるイタリア SAIPEM S.P.A 社から、1基あたり 150ton/h の定格気化能力を有する IFV3 基の受注を果たした。

### 2.3 冷熱利用への適用

LNG は -160 程度の極低温流体であるが、通常その冷熱は有効利用されずに熱交換後の海水中などに捨てられている。かつて、オイルショック以降の1980年代を中心に、日本各地で LNG 冷熱を利用した冷熱発電設備が建設され、当社は大阪ガス株式会社泉北製造所第二工場に設置した 6,000kW の発電能力を有する LNG 冷熱発電設備(図6)など、メーカーとして最も多くの冷熱発電設備を建設・納入した。

1990年代以降は経済性の観点から冷熱発電の需要はいったんは下火となったが、近年の京都議定書に基づく

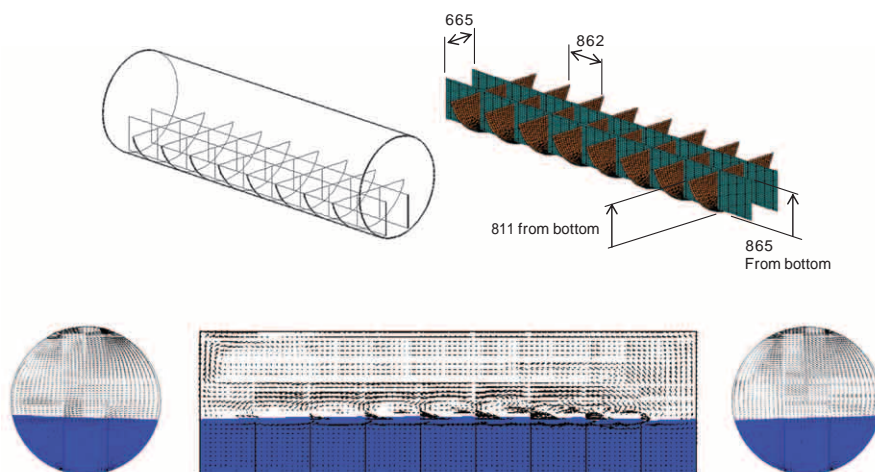


図5 船体揺動に伴う中間媒体プロパンスロッシング解析

Fig. 5 Analysis of intermediate fluid propane sloshing by ship motions



図6 6,000kW 冷熱発電設備外観写真(大阪ガス株式会社泉北製造所第二工場)

Fig. 6 Outside view of 6,000kW cold power generation system (Osaka Gas Co., Ltd. Senboku No.2 Works)

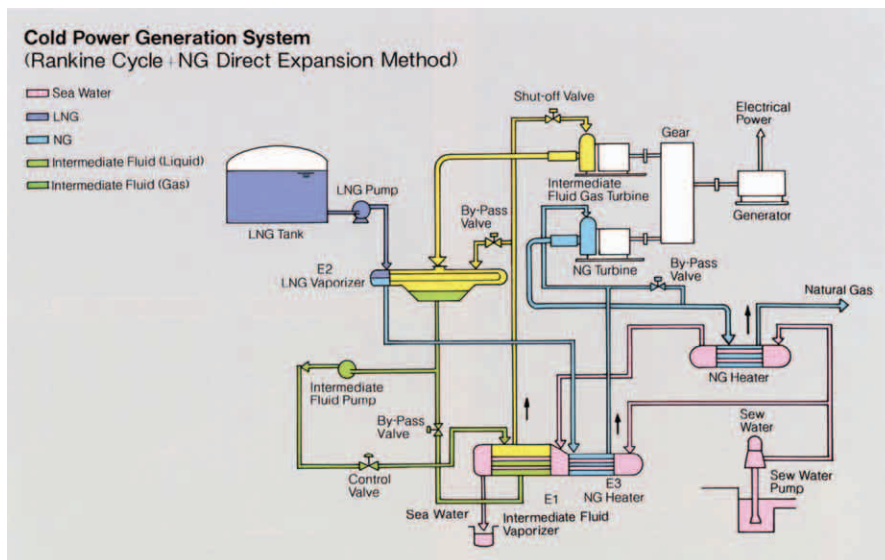


図7 IFVを用いた冷熱発電システムフロー  
Fig. 7 Cold power generation system flow using IFV

温室効果ガス削減を目的とした二酸化炭素排出権取引など、環境に対する投資機運の高まり、および昨年の原油価格高騰に見られるエネルギー供給不安に基づく省エネルギーに対する意識の高まりにより、LNG冷熱利用は再び注目を集めつつある。

IFVを用いることにより、まず中間媒体ガスを断熱膨張させたエネルギーによってタービンを回して発電を行った後LNGによってこの中間媒体ガスを凝縮させる。凝縮されて液体となった中間媒体を海水によって加温・蒸発させて再度、中間媒体ガスに戻すというランキンサイクルを構成することが容易である。このランキンサイクルによる冷熱発電と、高圧天然ガスの断熱膨張エネルギーによって発電を行う直接膨張方式とを組み合わせることにより、冷熱発電としては高い出力を得ることが可能となる。図7にIFVを用いた冷熱発電システムフローを示す。

また、LNGと熱交換することによって冷却された加熱源流体を利用する場合、ORVでは加熱源流体を気化器へ送出するためのポンプとは別に、昇圧・送出のためのポンプの設置が必要となる。しかしながらIFVでは、加熱源流体を気化器へ送出するポンプのみで対応可能である。

IFVのこうした利点を活用した事例として、当社のIFVが導入されている水島エルエヌジー株式会社での冷熱利用がある。同社では、LNGとの熱交換によって冷却された海水を隣接する新日本石油精製株式会社水島製油所に送出し、冷却水として有効利用する取組みが2006年より行われている。

### 3. 今後の展望

石油や石炭に比べて燃焼時の二酸化炭素や有害物質の排出が少ない天然ガスは、環境に優しいエネルギーとして今後ますます需要が増加することが見込まれる。

また2008年冬、パイプラインによって供給されてい

た天然ガスが停止されるという事態がヨーロッパにおいて起こった。この時に露見したリスクに対する対応策として、様々な供給源からの受入れが容易となるLNGが注目を集めており、現在パイプラインによって常温ガスの状態で供給されている地域における需要の増加が期待される。

これに伴い、LNG受入れ基地の設置地域・場所（沿岸/洋上）・形態も従来の日本を中心とした限られた地域・形態から、世界各地・多種多様となる傾向にあり、LNG気化器もこの多様性に対して適切に対応してゆく必要がある。実際、従来の日本や韓国、スペインなどの先進国を中心とした地域以外に、最近では東南アジア、南米などの地域にもLNG受入れ基地が建設されつつあり、また、船上設置のLNG受入れ基地も今回概説した以外に計画されつつある。

こうした状況により、幅広い環境・条件に対して適用が可能であり、冷熱利用などの付加価値の創出ができるIFVは、今後ますます需要が増加することが予想される。

むすび=本稿では、IFVの特徴とその特徴を生かした適用事例を概説した。

当社は、世界トップのLNG気化器メーカーとして、最も汎用的なLNG気化器であるORVに加えて、IFVの優れた特性をいっそう生かし、今後設置されるLNG基地の環境条件・顧客ニーズに応じた最適なLNG気化器システムの提案を行う。同時に、性能向上を目的とした研究開発を積極的に推進し、LNG気化器の世界トップメーカーとしての地位を堅持してゆく。

### 参考文献

- 1) 神戸製鋼ホームページ,チタンの特性(耐食性),<http://www.kobelco.co.jp/titan/files/details.pdf> (参照 2009-03-05)。
- 2) 公開特許：2000-227200。