

(解説)

# サテライト基地用LNG気化器

## Vaporizers for LNG Satellite Stations



岩崎正英\*  
Masahide Iwasaki



後藤正宏\*  
Masahiro Goto



遠藤将夫\*  
Masao Endo

Kobe Steel is a world wide leader in the manufacture of open rack vaporizers (ORV) and intermediate fluid vaporizers (IFV). It also has many years of experience in the manufacture and supply of a comprehensive range of smaller customized vaporizers to LNG satellites. Customization parameters include heat source, environmental impact, and area limitation. This article introduces an overview of these vaporizers, their typical features, as well as other points of consideration.

まえがき = 当社は LNG 受入基地におけるオープンラック式気化器 (ORV), 中間媒体式気化器 (TRI-EX), サブマージド式気化器 (SMV) など気化器のトップメーカーとして国内外で高い評価を得ている。さらにサテライト基地用にはこれら気化器の設計・製作・運用面での経験・ノウハウを生かし, 各種気化器を開発し, 既に市場に投入してきている。本稿では, 当社が開発・製造・販売する各種のサテライト基地用気化器及び付帯設備についての概要・特徴・機種選定の指針などについて説明する。

### 1. サテライト基地用 LNG 気化器の現状と問題点

現在日本のガス事業は天然ガス (13A 化) 導入に向かって進められている。大手ガス事業者の大規模 LNG 基地より導管で供給される地域の 13A 化は, ほとんど完了している。また中小ガス事業者の 13A 化も進行中である。一方, 主要 LNG 基地からの導管の及ばない地域に対してはタンクローリーで LNG を輸送し, 現地 LNG タンクに移送貯蔵し, 気化させて一般ガス消費者に供給する。これが LNG サテライト基地である。大手ガス事業者の管轄するサテライト基地化はおおむね終わっているが, 中小ガス事業者のサテライト基地化が現在積極的に進められている。このサテライト基地で使用される LNG 気化器を本稿では対象とする。

サテライト基地用 LNG 気化器 (一部中規模基地用も含む) は, 従来自然通風型空温式気化器が代表的で最も多く使用されている。しかし, 今後 LNG を導入しようとする中小ガス事業者のガス供給所はほとんどが町の中にあり, 住居や道路と隣接する場合, 環境対策が重要な問題となる。特に自然通風型空温式気化器を使用する場合, 可視障害と呼ばれる白煙が発生し, 時には敷地境界線を越え道路などに流れ, 交通障害となる深刻な問題として取上げられるようになった。

当社は, これらの環境問題, 熱源, 規模の多様化に対応できる各種の LNG 気化器を開発してきた。以下に順次その内容を述べる。

### 2. サテライト基地用 LNG 気化器の選定

ガス事業者がサテライト基地における LNG 気化器の種類を選定するにあたり, ガス供給規模, 基地の環境, 敷地エリア, 経済性, 運転性, 保守性などの観点より選定している。沿岸に配置されている大規模 LNG 基地の LNG 気化器はそのほとんどが海水を熱源としているが, 内地に配置されているサテライト基地では熱源が限られており, 規模も小さいことから, サテライト基地用 LNG 気化器としては, 大気を熱源とする空温式気化器と温水を熱源とする温水式気化器に大別される。いずれにも対応する当社の LNG 気化器メニューは, 下記の通りである。

- ・自然通風型空温式気化器
- ・強制通風型空温式気化器
- ・円筒型温水バス式気化器
- ・温水 TRI-EX 式気化器
- ・消霧装置

当社の各種 LNG 気化器の選定指針を表 1 に示す。

### 3. 空温式 LNG 気化器の特徴

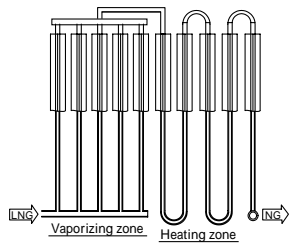
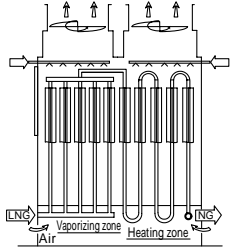
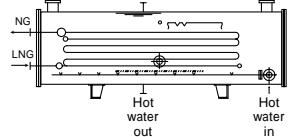
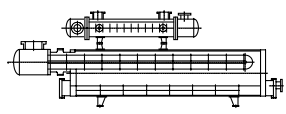
空温式 LNG 気化器は大気を熱源とするスイッチ熱交換器で, アルミニウム合金製フィン管からなる。切替えのタイミングは, 大気中の水分がフィン管に着霜し性能低下するので, 予め設定された時間で切替える。また解氷再生は, 暖期は大気熱, 冬期は散水で行われる。

本気化器は大気を熱源とするため, 低ランニングコストでサテライト基地用としては最適であるが, 白煙が発生する。したがって白煙対策が必要になる場合がある。

\*都市環境・エンジニアリングカンパニー 高砂機器工場

表 1 サテライト用各種 LNG 気化器の選定指針

Table 1 Guideline for LNG vaporizer selection

Item	Air-fin type		Hot water type	
	Natural draft vaporizer	Forced draft vaporizer	Hot water bath vaporizer	Intermediate fluid type vaporizer (IFV)
Outline				
Overview	<ul style="list-style-type: none"> <li>LNG in tubes vaporize with heat of outside air by natural convection</li> <li>Switching of vaporizer units required to limit frosting on fin tube</li> <li>Fog generates</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LNG in tubes vaporize with heat of outside air stream</li> <li>Switching of vaporizer units required to limit frosting on fin tube</li> <li>Fog does not generate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LNG in tubes vaporize with heat of hot water bath</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LNG in tube vaporize with heat of intermediate fluid, which transmit heat of hot water</li> <li>Water freezing does not occur thanks to using intermediate fluid</li> </ul>
Typical application	<ul style="list-style-type: none"> <li>Small-scale LNG satellite base</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Middle to large-scale LNG satellite base</li> <li>Middle-scale LNG satellite base without sea water access</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Back-up for small to middle-scale LNG satellite base</li> <li>Winter use for satellite in cold district</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>For middle to large-scale LNG satellite base</li> <li>Winter use for satellite in cold district</li> <li>Large-scale LNG satellite base without sea water access</li> </ul>
Feature				
[Technical]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplest architecture</li> <li>Typical switching interval : 4 Hrs</li> <li>Fogging could cause problem</li> <li>Larger foot area required to ensure performance for multiple configuration -adding de-fog system is effective</li> <li>Chilled air at the base could damage foundation -adding de-fog system is effective</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simple architecture with fan and panel</li> <li>Typical switching interval: 12 Hrs</li> <li>No fog</li> <li>Less number of units with increased performance</li> <li>Therefore smaller foot area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standard heat exchanger configuration</li> <li>Fuel is required, suitable for backup or winter</li> <li>Continuous operation</li> <li>Minimum foot area</li> <li>Pressurized bath is possible, where necessary</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment to handle intermediate fluid are necessary</li> <li>Fuel is required, suitable for backup or winter</li> <li>Continuous operation</li> <li>Minimum foot area</li> </ul>
[Incidental facility]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hot water boiler, deicing spray, de-fog system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hot water boiler, deicing spray</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hot water boiler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hot water boiler</li> </ul>
[Economy]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Initial cost : larger</li> <li>Running cost : minimum</li> <li>Installation area : larger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Initial cost : larger</li> <li>Running cost : small</li> <li>Installation area : moderate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Initial cost : smaller</li> <li>Running cost : larger</li> <li>Installation area : minimum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Initial cost : moderate</li> <li>Running cost : larger</li> <li>Installation area : minimum</li> </ul>
Capacity	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 ~ 5 t/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 ~ 10 t/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 ~ 10 t/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10 ~ 20 t/h and above</li> </ul>

また、温度落差の大きい起動・停止が繰返される機器のため、熱疲労に配慮した運用と保守が必要である。さらに気化器の性能は大気を熱源とするため、気象条件に大きく左右される。

### 3.1 自然通風型空温式気化器

自然通風型空温式気化器（消霧装置付帯）の外観を写真1に示す。本気化器は小規模（1～5t/hの気化容量）



写真1 自然通風型空温式気化器（消霧装置付帯）の外観

Photo 1 Natural draft vaporizer with de-fog system

基地に適し、低インシャルコストが可能である。

構造が簡易で付帯設備が少なく、多数の実績がある。また運転操作が容易であり、保守性にも優れている。ただし、冷気による白煙が発生するので、必要により消霧装置の設置が必要になる（3.3 消霧装置参照）。

### 3.2 強制通風型空温式気化器

自然通風型気化器に強制通風用ファンを取付け、伝熱性能の向上と消霧を目的に当社で開発した強制通風型空温式気化器の概念図を図1に、外観を写真2に示す。自然通風型に比べ、つぎのような特長をもつ。まず、自然通風型気化器に比べ伝熱性能がよく、連続運転時間を大幅に伸ばすことができる。図2に実運転トレンドデータ<sup>1)</sup>を示す。連続運転時間の増大による気化器設置台数の削減、また通風パネル設置にともなう隣接間距離の短縮により、気化器エリアが大幅に削減できる。

ファンにより冷気が大気中に拡散され白煙が発生しないため、消霧対策が不要である。また気化器下部に冷気環境をつくらなため、周辺での凍結トラブルや基礎部

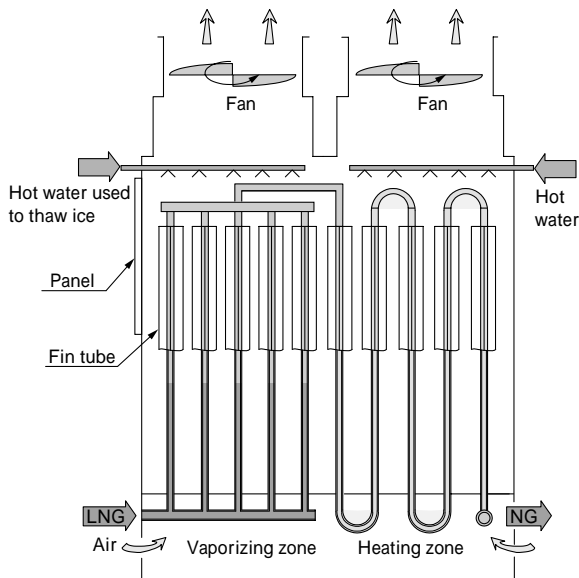


図1 強制通風型空温式気化器の概念図  
Fig. 1 Concept of forced draft vaporizer



写真2 強制通風型空温式気化器の運転中の外観  
Photo 2 Forced draft vaporizer in operation

コンクリートの破損がない。さらに白煙が発生しないため、運転員の安全性が確保されている。

解霜性に関しては、冬期を除く季節においてファン解霜が可能である。1回の解霜時間は季節によって違うが1時間程度である。また負荷変動がある場合、低負荷時には気化運転状態で解霜が始まるので、より一層連続運転時間が伸びる。

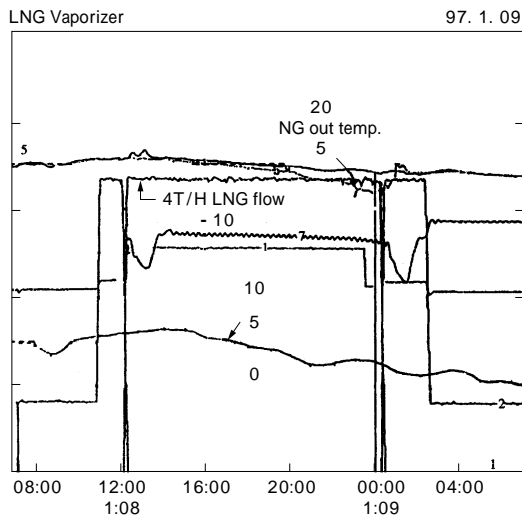


図2 強制通風型空温式 LNG 気化器の実運転トレンドデータ  
Fig. 2 Trend data of forced airfin type vaporizer

本気化器には超低騒音型ファンを使用しているため、敷地境界線上での騒音対策が不要である。また耐寒特殊仕様ファンを使用しているため着氷トラブルがない。

さらに伝熱管下部に十分なスペースがあり、上部には常設の踊り場があるため、メンテナンスが容易である。

### 3.3 消霧装置

近年「可視障害」と言われている空温式 LNG 気化器の冷気白煙発生に対し、顧客側でも近隣地域への配慮及び運転操作上での安全確保の観点から、白煙対策として消霧装置の設置要求が増えつつある。

先に開発した「強制通風型空温気化器」で実証済の消霧効果を有する通風送置の技術をベースとして、実機の運転経験・知見をもとに、自然通風型気化器に対応させるべく、新たに開発した消霧装置の概要を説明する。本消霧装置はすでに実機に配備され、消霧性能が十分発揮されることが確認されている。

#### 3.3.1 「消霧」の定義

「消霧」について公的定義はないが、当社では下記の通り定義した。

- ・可視障害をなくすこと。
- ・具体的には少なくとも地上を這う霧をなくすこと。
- ・結果的にはオペレータに対する安全確保及び敷地境界線外への白煙溢流防止。

#### 3.3.2 構成

##### 1) 囲い壁

気化器下部に約1m高さで全周囲い、霧の逃出しを防ぐ。夏季など運転しないときのため簡単に着脱できる構造とする。

##### 2) 耐寒仕様軸流ファン

気化器下部の白煙を含む空気を吸込み、上方大気に拡散消霧させるため、冷気吸込みに対し問題のない耐寒仕様で低騒音型ファンを使用している。構成の概念図を図3に、運転中の外観を写真3に示す。

#### 3.3.3 消霧原理

##### [第1ステップ]

自然通風運転時の通風降下冷気を大量の常温空気とと

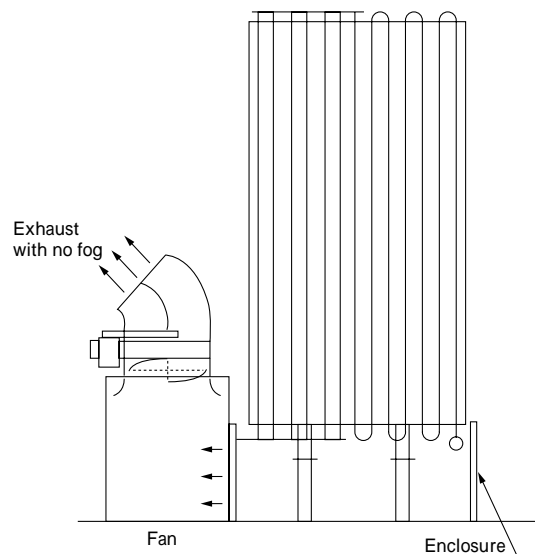


図3 消霧装置の概念図  
Fig. 3 Concept of de-fog system

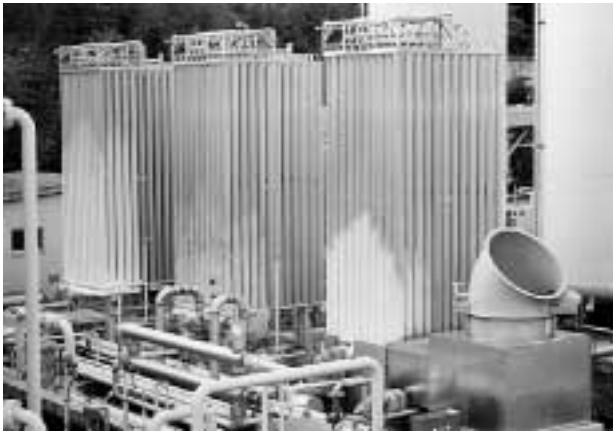


写真3 運転中の消霧装置外観  
Photo 3 De-fog system for natural draft vaporizer in operation

もに気化器下部に設置する軸流ファンにより吸込み、まず下部に滞留する冷気を希釈、昇温させる。

[第2ステップ]

つぎに前記のある程度昇温した冷気を軸流ファンにより高速で周辺の常温大気に放出し、拡散させる。放散された冷気は大気との混合により更に昇温して、相対湿度を低下させ消霧する。

3.3.4 当社消霧装置の特長

当社消霧装置は以下のような優れた特長がある。まず温風器及びそれに必要な温水熱源を使用しないため、ランニングコスト面で優れている。また、構成が簡単のためイニシャルコスト面にも優れており、既設気化器への後付け配備も可能である。

4. 温水式 LNG 気化器の特徴

温水式 LNG 気化器は温水を熱源とするためランニングコストがかかり、ベースロード用としての使用ケースは少ない。しかしバックアップ用（緊急対応予備機）としては、省スペース及び低イニシャルコストの観点から多く使用されており、サテライト基地でのバックアップ用としては最適である。また気化容量規模が大きいにもかかわらず空温式気化器を設置するエリアがない場合には、温水式気化器をベースロード用に使っているケースもある。温水式気化器は連続運転ができ切替え予備機を必要としない。さらに、省スペース、低イニシャルコストのため、バックアップ用気化器としては最適である。

4.1 円筒型温水バス式気化器

従来サテライト基地で使用されている温水バス式気化器は、角バス・開放型温水気化器と円筒密閉縦型温水気化器（ハンブソン型）のいずれかであった。

角バス・開放型温水気化器は簡易であるが水槽が角バスのため設置エリアが大きく、水槽に補強部材を必要とするため部材重量も大きく、また水槽容積が大きいので水重量も大きいので、大きな基礎設計荷重を必要とした。また開放型であるため温水循環ポンプを気化器の傍に設置しなければならず、モータは防爆となり、寒冷地では凍結対策が必要であった。

一方、円筒密閉縦型温水気化器は角バス・開放型の問題を解消しているが、伝熱管構造上低負荷運転性に問題

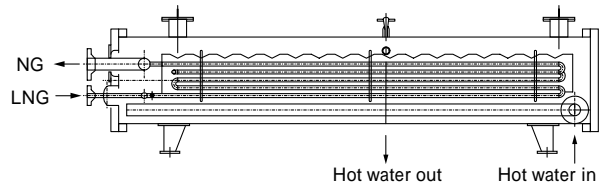


図4 円筒型温水バス式気化器の概念図  
Fig. 4 Concept of hot-water-bath vaporizer



写真4 運転中の円筒型温水バス式気化器外観  
Photo 4 Hot water bath vaporizer in operation

があるといわれている。その理由は、低負荷運転の場合液面が低下し、LNG 入口ヘッダ管と伝熱管溶接部が液面変動部に位置すると、液浸・ガス浸の繰返しで熱疲労が増大するためといわれている。

以上の両方式の問題を解決するため、当社は円筒型温水バス式気化器を開発した。開発後2年ですでに10数基が実機として採用され、実運転で所定の高性能気化器であることを確認してきた。円筒型バス式気化器の概念図を図4に、運転中の外観を写真4に示す。従来の温水式気化器に比べ、つぎのような特長がある。本気化器はLNGサテライト基地ピークシェーピング用、又はバックアップ用気化器としては最適である。また気化容量1~10t/h程度の中小規模サテライトに適す。温水気化器としては、小重量、小イニシャルコスト、小スペースの高経済性気化器である。

また、伝熱管は十分な間隔をおいて配置されているため、温水側の氷結閉塞トラブルがない。温水側シェルを円筒胴としているため、温水側が無圧開放型及び有圧密閉型のいずれにも対応でき、有効な寒冷地（寒冷期）対策となる。外形が円筒形状のため、工事性（据付工事、断熱工事）及びメンテナンス性に優れている。

4.2 温水 TRI-EX 式気化器

前述の温水バス式は10t/h基までを対象にしているが、海水を使用しない中規模基地（環境規制、寒冷地冬期用として）、大規模サテライト基地では10~30t/h基程度の気化容量が必要とされる場合、コンパクトで凍結トラブルのない温水 TRI-EX 式気化器が使用されている。もともと TRI-EX 式気化器は、海水を熱源とする大規模基地用 LNG 気化器で、大阪ガス㈱のライセンスで当社は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温水を熱源とした新たな温水 TRI-EX 式気化器を開発した。本気化器はすでに6基納入し運転に入っているが、



写真5 運転中の温水 TRI-EX 式気化器外観  
Photo 5 Intermediate fluid type vaporizer (IFV) in operation

いずれも優れた気化性能を発揮していることを確認している。温水 TRI-EX 式気化器の運転中の外観を写真5に示す。そして温水 TRI-EX 式気化器の要点・特長を下記に説明する。

#### 4.2.1 温水 TRI-EX の要点

温水 TRI-EX の要点はつぎの通りである。まず中間媒体としてはプロパンを標準として使用している。熱源としての温水温度は60℃以下を標準としており、温水入/出温度差を20℃とし、Hot water/LNG = 10としている。またNG加温器をLNG気化器の上に積重ねることができ、省スペースを図っている。

#### 4.2.2 温水 TRI-EX の特長

温水 TRI-EX は据付面積が最小なため、省スペース用気化器として最適である。同じく、ピークシェーピング用または予備機としても最適である。

本気化器は液 液熱調ができ、以下の優れた運転特性

を持っている。

各種気化器の中で最もカロリー変動が少ない。

起動・停止・負荷追従性に優れている。

着氷の心配がない。

また海水使用 TRI-EX の海水側チューブ材質は高価なチタンを使用しているが、温水式 TRI-EX の場合は SUS304 を使用しているので安価である。そして、海水使用 TRI-EX に比べて熱源の設計温度レベルが高いため大幅に伝熱面積が節減できる。

むすび = 近年 LNG サテライト基地は、ガス供給規模、敷地制約、環境問題(白煙,騒音),気象条件及び熱源問題などにおいて多様化している。それに対応する LNG 気化システムの最適化及び LNG 気化器の形式選択は、経済性と併せ重要検討課題である。

本稿で解説紹介した自然通風型空温式気化器,強制通風型空温式気化器,円筒型温水バス式気化器,温水 TRI-EX 式気化器及び消霧装置のメニューを持つ当社は、顧客(ガス供給事業者またはサテライト基地プラントメーカー)に対し、LNG 気化システムの最適化及び LNG 気化器の形式選択の提案ができる数少ない LNG 気化器総合メーカーであり、それを行うことが当社の責務であると考えている。

#### 参考文献

- 1) 内藤嘉広ほか：配管技術，97年6月，p.43.