

(解説)

# 高効率アルミニウム製熱交換器の開発

## KOBELCO ALEX<sup>®</sup> & ORV Aluminum Heat Exchangers



遠藤将夫\*  
Masao Endo



三橋顕一郎\*  
Kenichiro Mitsuhashi

This paper presents the development histories of two unique heat exchangers: ALEX<sup>®</sup> (Aluminum Blazed Heat Exchanger) and ORV (Open Rack Vaporizer). Both types were designed with the cryogenic technology Kobe Steel has been developing on for the past seventy years. ALEX, with its superior heat transfer performance, is now widely used for many cryogenic processes. ORV is used worldwide and has become principal heat exchanger for the LNG re-gasification process due to its unsurpassed economic efficiency.

まえがき = 当社は、1936年に空気分離装置の製造を始めて以来、独自の低温技術を蓄積し、アルミニウム製プレートフィン式熱交換器 ALEX<sup>®</sup> およびオープンラック式気化器 ORV (Open Rack Vaporizer) という、特徴ある製品を生み出してきた。ALEX はコンパクトで優れた伝熱性能を有しているため、世界中の低温プラントで利用されている。また、ORV も世界の大型 LNG 気化装置の主流に成長している。

ここでは、当社機械エンジニアリングカンパニーの主力メニューとなっているこれら熱交換器の開発経緯と特徴について述べる。

### 1. アルミ製プレートフィン式熱交換器 ALEX

#### 1.1 ALEX の概要

ALEX は写真 1 のような外観であり、図 1 に示すように、アルミニウム合金製の基本構造を何段も積層することで伝熱部(コア)を形成している。図 2 に示すように、ろう付によって一体化されたコアに、流体の出入口である半円筒ヘッドとノズルを溶接によって取付けることで



写真 1 ALEX の概観写真  
Photo 1 Outside view of ALEX

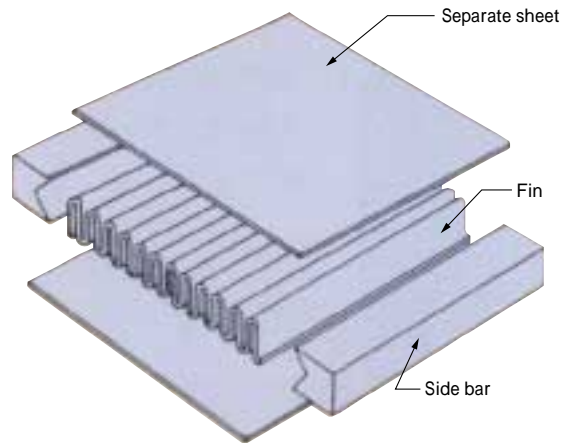


図 1 ALEX 伝熱部の基本構造

Fig. 1 Basic construction of heat exchange core in ALEX

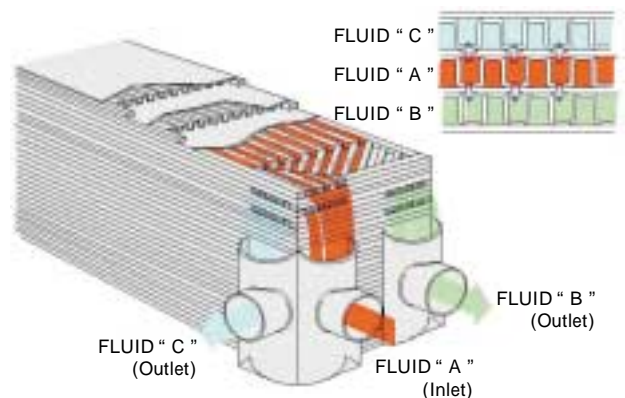


図 2 ALEX の熱交換メカニズム

Fig. 2 Heat exchange mechanism of ALEX

熱交換器としての完成品となる。ALEX は他の熱交換器に比べて極めてコンパクトで高効率であること、複数の流体の熱交換が可能であること、そして極低温でも高い強度を有していることが特徴である。

\*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

## 1.2 開発の経緯

前記のような優れた特徴を持つ熱交換器を空気分離装置に適用すべく、1963年から自社製作に向けた開発を開始した。

当初は均一なろう付接合が困難で耐圧性能を満足することができなかったが、1965年にソルトバス式浸漬ろう付炉（760mm角×3000mm長）を社内を設置するとともに、ろう付プロセスの最適化や寸法精度の厳格な管理など、製造工程の適正化を徹底的に実施することにより、同年には小型サンプルコアで約50気圧の耐圧性能を達成し、空気分離装置に供することのできるALEXの製造技術が確立された。

また同じ1965年に、ALEXを当社神戸製鉄所の酸素装置に適用し、性能・強度面で問題ないことを実証した。そして翌年、日本ゼオン㈱の空気分離装置用に外販1号機として採用され、当社のALEXビジネスは第一歩を踏み出した。

その後もALEXは、コンパクトで多流体が扱えるという長所により、各種低温プラント分野で従来の多管式熱交換器に代わって需要を拡大していった。これに対応すべく、1972年にソルトバス式浸漬ろう付炉を大型化（約1200mm角×6700mm長）し、空気分離装置およびエチレンプラントの大型化に対応可能となった。更に1985年には大型真空ろう付炉（1200mm角×7000mm長）を導入し、製品サイズの大型化、品質向上および製作工程の簡素化を達成するとともに、塩分による設備の消耗という問題も改善した。その結果として、従来型の熱交換器に対する価格競争力も向上し、画期的な進化を遂げた。

一方で、製造方法の大幅な変更に伴い、当初はろう付接合の均一性を確保することが困難であったが、種々の実験により最適なろう付条件を抽出して、この課題を克服した。その後、フィンの開発や応力評価技術の開発を重ねて更なる高圧化のニーズにも対応し、現在では天然ガス分野を中心とする高圧分野において世界でトップクラスのシェアを確保するに至った。

### 1.3 今後の技術開発

これまでのALEX市場は、その需要の大部分を空気分離装置が占める成熟市場であったが、2003年以降、主に中東におけるLNG、GTL関連の投資拡大が続いており、天然ガス分野での需要増加が予想されている。

当社では、この傾向に対応すべく製品のコストダウンと、設計および製造技術の向上を図っている。具体的には、更なるコンパクト化のための高性能フィンの開発、複雑な運転条件下での応力評価技術の開発、および製造工程の自動化拡大による生産性向上などである。

## 2. オープンラック式気化器 ORV

### 2.1 ORVの概要

ORVの外観と構造を図3に示す。ORVは、LNGを内部に流すアルミニウム合金製の伝熱管を複数本並べて溶接した「パネル」、および伝熱管外面に均等に海水を分散する「トラフ」とで構成されている。LNGは、約-160

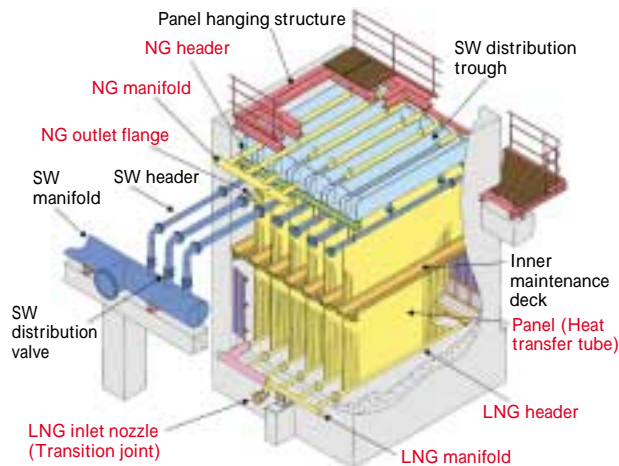


図3 ORVの構造図  
Fig. 3 Schematic figure of ORV

の液体の状態では伝熱管下部から供給され、海水との熱交換により蒸発しながら上昇し、上部では常温のガスとなってユーザの元に送り出される。ORVは、熱源として安価な海水を使うことにより、ほかのタイプの熱交換器に比べプラントの運転コストを大幅に抑制できるとともに、伝熱面が大気開放型（オープン）で海水腐食や汚れなどに対するメンテナンス性が良好であるという長所を有している。

### 2.2 開発の経緯

わが国のLNGビジネスは、1969年に東京ガス㈱、東京電力㈱がアラスカから初めてLNGを導入したことに端を発する。

当時LNGの気化器としては、ORVのほか、天然ガスを燃焼させた熱で気化するSCV（サブマージド式気化器）、およびシェルアンドチューブ方式が考案されていた。このうち、わが国のLNG受入基地で最も需要の伸びが期待されたベースロード型（大容量）気化器として、運用コスト、安定性、価格などの総合的な見地からORVが最も優位にあると判断し、1973年に開発を開始した。

ORVの開発にあたっては、以下のように技術課題を解決していった。

1) 耐食性の確保：伝熱管に海水に対する耐食性を持たせることが必要であるが、アルミニウム合金は、重金属イオンや塩素イオンを含む水に対して孔食を起こしやすく、そのままではORVに適用できなかった。そこで、塗装やメッキ、溶射など種々の防食技術による実験を行い、ORV伝熱管の防食に最も適したアルミニウム-亜鉛合金の溶射技術を開発した。その結果、アルミニウム-亜鉛合金層が犠牲陽極として働くことにより、長期間のアルミの孔食防止を行うことができるようになった。




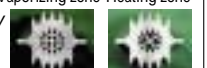
2) 伝熱設計手法の確立：ORVにおいては、海水とLNGの膜沸騰を伴う複雑な2相流の伝熱・流動現象が生じるため、これに対する独自の設計手法を構築した。

3) 高性能な伝熱管の製作：伝熱面積を大きくするために、複雑な断面形状を持つ伝熱管を開発するとともに、安定的大量生産体制を整えた。

4) 海水の分散性確保：部分的な水膜切れは、パネル内に過大な温度分布を生じさせ、伝熱管が熱膨張により変

表 1 ORV 伝熱管の開発経緯

Table 1 Development history of heat transfer tube for ORV

First delivered year	Tube type	Total No. of units
1977 ~	Original CPT-1 (4m) 	6
1982 ~	Parallel fin CPT-2 (4, 6m) 	33
1995 ~	Parallel fin HPT (6m) 	35
1998 ~	Vaporizing zone Heating zone SUPERORV (8m, 6m) 	31

形を生じる可能性がある。そこで、パネル表面に均一な海水流下膜をつくる堰（トラフ）を開発した。

これら開発を完了して、1978年に大阪ガス㈱泉北製造所第二工場へ第1号機を納入し、当社のORVビジネスが始まった。

### 2.3 ORVの高性能化（SUPERORV®の開発）

LNGのニーズが増すにつれ、よりコンパクトで高性能なORVが求められるようになり、これに応えるために伝熱管の高性能化を実施してきた(表1参照)。最も新しいタイプ「SUPERORV®」の開発は1993年に開始した。ORVのLNG入口部付近では、低温のLNGにより伝熱管表面に厚い着氷層が発生し、有効伝熱面積の減少を招く。そこで、海水の着氷を抑制することで高性能化することを主眼に、大阪ガス㈱と共同開発を行った。

伝熱管は高さ方向中央部で構造が分かれており、下半分の蒸発部（Vaporizing zone）が2重管構造となっている。ここでは、内管の外側に流れ込んだLNGが容易に気化することでガス相を作り、内管の内側を流れるLNGへの入熱が制限されるため、伝熱管外表面の温度低下が抑制されて着氷厚さの成長が防止できる。着氷抵抗増加

を抑制することで大幅な伝熱性能向上が達成され、従来型に比べて1本当りのLNG気化量を約3倍に増加させることができた。さらに海水量についても15%の削減が可能となった。これらの結果として設置面積が40%削減可能となった。

SUPERORV®は1998年に大阪ガス㈱向けに第1号機を納入して以来、2005年7月までに国内外合わせて30基以上受注している。

### 2.4 今後の技術開発

これまでLNGの主要な消費圏であった日本を始めとする極東アジア諸国に加え、中国・インド・欧米でもLNGの受入計画が次々と発表されている。近年のLNG需要の世界的な高まりを受け、ORVのニーズはますます高まっており、更なる高性能化と耐食性の向上を目指して現在も開発を進めている。

むすび = ALEXは開発後40年が経過しているが、高性能かつコンパクトであること、多流体を同時に熱交換させる設計自由度があるなどの利点から、低温分野において現在も用途が拡大し続けている。またORVも、開発から約20年経過した現在においても、大容量LNG気化の分野で、最も信頼性・経済性の高い熱交換器として世界の主流を維持している。

天然ガスの需要が世界中で高まる中、今後もこの二つのメニューの市場は拡大傾向が続くと予想され、更なる高性能化とコストダウンを目指して技術開発を進めていきたい。