

天然ガスの精製・液化・気化に関する技術的動向

Natural Gas Technical Progress in Terms of Processing Liquefaction and Vaporization

南 浩一*・若松貴英**

Koichi Minami Takahide Wakamatsu

1. はじめに

天然ガスは石油と同じ炭化水素を主成分とするエネルギーであるが、本格的に使用されたのは最近30年～40年程であり、比較的新しいエネルギーである。天然ガスは元来パイプラインによる利用に限られていたが、天然ガスの液化技術の発展及び確立により、その使用範囲が大幅に広がるようになった。この液化された天然ガスはLNG (Liquified Natural Gas) と呼ばれている。

天然ガスはLNGとして船舶で大量に輸送される事となり、パイプラインで輸送ができない地域でも受け入れ設備及び気化設備があれば天然ガスを利用できるようになった。日本にも1969年にアラスカから初めて導入され、それ以来日本は世界でも有数のLNG輸入国となっている。

本稿では、そのLNGを製造するのに必要な液化・精製技術及びLNGを気体ガスに戻す気化技術についての現況を概括する。又、既存LNGプロジェクトで最も新しい豪州北西大陸棚LNGプロジェクトについても紹介することとする。

2. 既存液化プラント

LNGの液化の歴史は今世紀初頭迄遡るが、商業的には1964年のアルジェリアのアルズーからイギリス向けに生産したのが始まりである。これ迄に建設され操業中のプラントは表1の通り。液化サイクルはカスケードサイクル (Cascade Cycle)・混合冷媒サイクル (Mixed Refrigerant Cycle) の二種類のサイクルに分けることができるが、その詳細は次の3. 2 液化工程—液化の項目で述べる。

3. LNG生産

LNG生産プラントではガス田からの天然ガスに含まれる炭酸ガス、硫化水素、水等の不純物を取り除く精製工程、その後の天然ガスを液化する液化工程、液化された天然ガス(LNG)を貯蔵する貯蔵工程及びLNGを出荷する為LNG船に積み込む積出工程に大きく分けられる(図-1 LNG生産工程)。ここでは既存のLNG生産プラントで最も新しいオーストラリアのプラントを中心に精製工程並びに液化工程について述べる。尚、オーストラリアのプラントは主に Shell International Gas Limited (SIPM) の精製・液化技術を取り入れ建設・操業されている。

3.1 精製工程

ガス田より生産される天然ガスは炭酸ガス、硫化水素、水等の不純物を含んでおり、天然ガスを液化してLNGを製造する際、これらの不純物を取り除く必要がある。

炭酸ガス及び硫化水素は装置の腐食を引き起こし、水はプロセス中にガスハイドレートを引き起こしそれぞれ故障の原因につながる。オーストラリアのプラントではSIPM社の精製工程が採用されており、各工程は以下の通り。

3.1.1 炭酸ガス (CO₂) /硫化水素 (H₂S) /酸化硫化炭素 (COS)

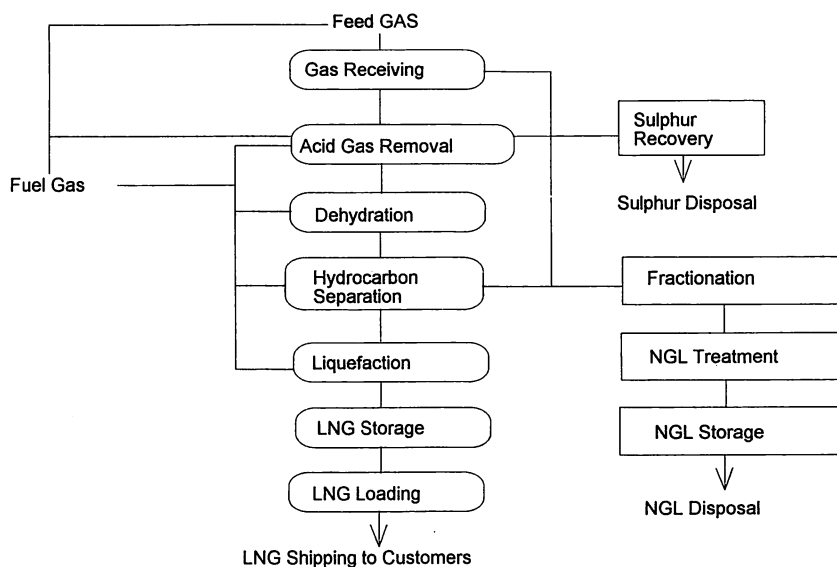
SIPM社のスルフィノールプロセスが用いられており、このプロセスは物理吸収溶媒のスルフォランと化学吸収溶媒のジソプロパノールアミン溶液との混合溶液を用いる。この混合溶液は低圧時には化学吸収作用、高圧時には物理吸収作用により不純物を除去する性質がある。このプロセスの利点として溶液そのものが化学的・熱的に非常に安定しており、溶液再生用の熱量が少量で済むことが挙げられる。又、腐食する割合も低い。一方、このプロセスのデメリットはフィードガス中の芳香族炭化水素を同様に吸収することである。

*三菱商事(株)LNG事業部第3部主事西豪州プロジェクト第2チーム
〒100-86 東京都千代田区丸の内2-6-3

**京都大学工学部資源工学科教授
〒606-01 京都市左京区吉田本町

表1 操業中既存LNGプラント¹⁾

所在地	操業開始	トレーン数	液化サイクル	建設コントラクター	生産能力 (万トン/年)
Arzew GL 4-Z Alegeria	1964	3	Technip Cascade	Technip & Pritchard	100
Kenai Alaska	1969	1	Phillips Cascade	Bechtel	150
Marsa El Brega Libya	1970	2	APCI-MCR	Bechtel	150
Skikda GL 1-K Algeria	1972	3	TEALARC	Technip	300
Lumut Brunei	1972	5	APCI-MCR	JGC & Procon	550
Das Island Abu Dhabi	1977	2	APCI-MCR	Bechtel & Chiyoda	250
Badak Indonesia	1977 1983 1990	2 2 1	APCI-MCR APCI-MCR APCI-MCR	Bechtel Bechtel Chiyoda	400 400 200
Arun Indonesia	1978 1984 1986	3 2 1	APCI-MCR APCI-MCR APCI-MCR	Bechtel Chiyoda JGC	450 300 150
Bethioua GL 1-Z Algeria	1978	6	APCI-MCR	Bechtel & Chemico	900
Bethioua GL 2-Z Algeria	1981	6	APCI-MCR	Kellogg	900
Skikda GL 2-K Algeria	1981	1	PRICO	Pritchard & Kellogg	150
Skikda GL 3-K Algeria	1982	2	PRICO	Kellogg	300
Bintulu Sarawak	1983	3	APCI-MCR	JGC & Kellogg	800
Withnel Bay Australia	1989	3	APCI-MCR	JGC, Kellogg & Raymond	700

図-1 LNG生産工程¹⁾

このプロセスは通常摂氏約40度で約60barの圧力で操業され、硫化水素及び酸化硫化炭素を7 ppm以下まで除去し、又炭酸ガスについては2%まで除去することが出来る。

3.1.2 水銀

水銀にはアルミニウムの腐食作用があり、LNG系列に水銀除去装置が備えられている。

その構造は硫黄を充満させた触媒（アルミナ又は活性炭）を行い、化学吸着させる事で取り除くものである。

3.1.3 水

水分は腐食又はプラント低温箇所の凍結の原因になり、脱水行程が必要である。

この脱水行程は二段階に分かれており、大部分の水分は高圧プロパンを用いた冷却方法で水分含有量1 mg/m³迄取り除く事が出来る。それ以降はモレキュラシーブを乾燥剤として用いた吸収塔にて取り除く。

3.2 液化行程

液化行程は大きく分けてカスケードサイクルと混合冷媒サイクルがあり、その概要は以下の通りであるが、オーストラリアのプラントではカスケードサイクルと混合冷媒サイクルを合わせたプロパン予冷混合冷媒プロセス (Pre-cooled Mixed Refrigerant Process) を採用している。

3.2.1 カスケードサイクル

プロパン、エチレン及びメタンの冷媒を用いて天然ガスを順次冷却及び液化する方法であり、それぞれの冷媒を4流体、3流体及び2流体と三段階で熱交換す

る。

このサイクルの特徴として熱力学的に簡単で効率は良く、LNGの単位当たりの所要動力は他のサイクルに比べ最も小さい。又、設計上でも技術的問題はなくその信頼性は高い。

3.2.2 混合冷媒サイクル

混合冷媒サイクルはカスケードサイクルに使用される高純度の冷媒群の代わりに連続成分からなる混合冷媒を用いる方法である。このサイクルの特徴は圧縮工程及び熱交換工程を簡略化できるので設備費を大幅に軽減できることである。しかし、カスケードサイクルに比べ沸点範囲の広い混合冷媒を常温付近から高圧まで昇圧するために熱力学的に効率は落ちる。

3.2.3 プロパン予冷混合冷媒プロセス

プロパン予冷混合冷媒プロセスはブルネイの液化プラントから採用されたものであり、プロパンで予冷することで混合冷媒サイクルの熱効率を上げることを可能にしたプロセスである。この概略スキームは図-2の通りであるが、基本的に天然ガスの予冷と混合冷媒を冷却するプロパン予冷系及び天然ガスの冷却・液化する混合冷媒系から成っている。まずプロパン冷媒によりフィードガス及び混合冷媒を摂氏-30度程迄冷却する。

混合冷媒には窒素、メタン、エタン、プロパンの混合物であるMCR (Multi-Component Refrigerant) と呼ばれる冷媒が使われており、独立した閉サイクルで循環している。冷却されたフィードガスは熱交換器内でこのMCRにより最終的に摂氏約-160度迄冷却さ

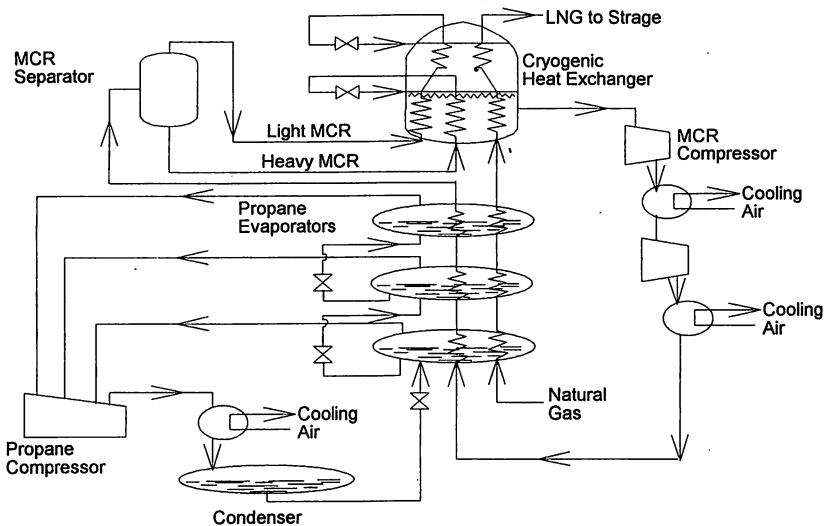


図-2 プロパン予冷混合冷媒プロセス¹⁾

表2 日本の既存気化プラント代表例²⁾

基地名	会社名	気化器
根岸	東京電力・東京ガス	オープンラック式/サブマージド・コンバクション式
袖ヶ浦	東京電力・東京ガス	オープンラック式/サブマージド・コンバクション式
知多	中部電力・東邦ガス	オープンラック式/サブマージド・コンバクション式
泉北	関西電力・大阪ガス	オープンラック式/中間熱媒体式
姫路	関西電力・大阪ガス	中間熱媒体式
柳井	中国電力	オープンラック式
戸畑	九州電力・新日本製鉄	オープンラック式/サブマージド・コンバクション式
大分	九州電力(大分エル・エヌ・ジー)	オープンラック式

れLNGとなる。

オーストラリアのプラントでは冷媒の冷却について水冷式の代わりに空冷式を採用しており、コストの削減につながっている。

4. 既存気化プラント

LNGの受け入れ基地はイギリスやアメリカ等世界で20箇所以上あり、その中で日本には11箇所を数える。

受け入れ基地にはLNGタンカーを受け入れ栈橋、貯蔵タンク及び気化設備等が配備されており、ここでは特に気化設備について述べる。日本の既存気化プラントの代表例は表2の通り。尚、気化器の種類・構造については次の5. 気化工程で述べる。

5. 気化工程

気化設備はLNGを加熱することで液体から気体にする設備であるが、大別して海水等を用いて加熱する海水加熱方式とLNG等の燃焼熱を用いて加熱する加熱方式に分類出来る。

5.1 オープンラック式

この方式は海水とLNGを熱交換させてLNGを気化させるもので、現在の気化器の主流をなしている。この方式の最大の特徴として海水を利用するためコストが低く抑さえられると共に運転が容易なことが挙げられる。

その構造はLNGを効率的に熱交換させるためのチューブを幾重にも束ねたパネルとそのパネルに海水を流す散水装置及びその他配管から成っており、構造的には複雑なものではない。

5.2 サブマージド・コンバクション

この方式は熱交換の熱源としてLNGの気化ガスを用い、それを水中燃焼させることでLNGを気化させ

るものである。前途オープンラック式と比べ割高であるため、需要のピーク時や非常用として用いられることが多い。

5.3 中間熱媒体式

この方式はオープンラック式でLNGと海水の熱交換の際にみられる伝熱管表面の水着を解消のためオープンラック式を改良したものであり、伝熱性を上げるためにLNGを海水の間に中間熱媒体を用いている。中間熱媒体にはプロパン等を用いる。

6. 豪州北西大陸棚LNGプロジェクト

6.1 豪州北西大陸棚LNGプロジェクトの概要

豪州北西大陸棚LNGプロジェクトは、西豪州ダンピア北西部沖合約130kmの海底にあるガス田を開発し、天然ガスを生産、海底パイプラインを通してその天然ガスをダンピア近郊のバーラップ半島ウィズネル湾まで輸送、天然ガスをそこに建設されている液化プラントでLNGとし、LNG船により、そこにある積み出し設備から日本に向けて年間700万トンのLNGを1989年から20年間にわたり供給する事業である。このプロジェクトには多数の買主及び売主が関係している。まず買主は東京電力、中部電力、関西電力、中国電力、九州電力、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの8社で、単一のLNGプロジェクトでは最も多くの顧客を横断的にカバーしている。一方、売主はShell, BP, Chevronのいわゆる石油メジャー3社に豪州最大の企業であるBHP社、豪州の石油会社 Woodside社及びJapan Australia LNG (MIMI)社(メルボルンに設立された三菱商事・三井物産折半出資による本プロジェクトの参加会社)を加えた6社であり、それぞれが売主となっている。その運営は合弁会社をつくらず参加企業がプロジェクト契約を締結する非法人型合弁事業(Unincorporated Joint Venture)を採用

している。

6.2 液化プラントの特徴

本プロジェクトのベースロードLNGプラントは、1系列当たり年間約250万トンの処理能力を持つ液化設備3系列とその付帯設備により成り立っている。このプラント建設には、累計で132,000m³のコンクリート、13,800トンの鉄鋼構造物、総延長270km、11,300トンの配管材料、5,500kmの地中ケーブルが使用されている。

まず、海底ガス田から陸上に輸送された生ガスはスラッグキャッチャー2系列により天然ガスとコンデンサート等の液体に分離される。各液化系列では、スラッグキャッチャーより導入された天然ガスに含まれている炭酸ガス、硫化水素等がSulfinol Unitで、水分がDehydration Unitで、更に水銀がMercury Removal Unitで除去される。不純物が除かれた天然ガスはプロパン予冷混合冷媒プロセスにより液化される。

液化された天然ガスは、65,000m³の容量を持つ直径60m、高さ24mのLNGタンク4基に貯蔵され、850mにおよぶLNG積出用の栈橋を通り、1時間当たり10,000m³の速さでLNG船に積載される。

この液化プラントにおいて最も特徴的なことは、本プロジェクトのテクニカル・コンサルタントであるSIPM社が長年のLNGプラント建設・運転における実績から新設計を提案し、それを採用していることである。これは全段でも触れたが、液化プラントの主要設備であるコンプレッサーの動力源としてガスタービンを使用し、プロセスの冷却方式に空冷方式を採用している事である。

従来ブルネイ、マレーシア等の大規模な液化プラントでは、冷媒を昇圧するコンプレッサーの動力源はスチームタービンであった。これは、信頼性が高く安価

な大容量のガスタービンが開発されて居らず、又、保守にも手間がかかる為であった。本プロジェクトも当初スチームタービンを採用する方向で進んでいたが、General Electric社が「Flame 5」と称する工業規格の信頼性の高い安価なガスタービンを開発し、インドネシアの液化プラントにおいて採用され、1977年の操業以来、故障もなく運転されその信頼性が実証された。

同時に従来の液化プラントでは、プロセスの冷却用水として、又、スチームタービンのスチームを発生させるボイラー用水に大量の水が必要であり、海水が用いられたが、本プロジェクトではプラントサイトが岩盤構造のため海水をプラント内に引いてくる事が非常に高くつくことが判明していた。そこで経済性を向上させるガスタービン駆動、空冷方式という基本設計がSIPM社より提案され、その信頼性に関し十分検討が行われた結果、世界でも初めてという新設計が採用されたのである。

7. 終わりに

LNGはこれまで述べてきた通り不純物を精製工程にて除去するクリーンなエネルギーであり、環境面からもその需要はこれから更に延びることが予想される。故に、今後共LNGの生産技術の発展が益々重要となってくるであろう。

尚、本稿では全体に渡り下記の文献を参考とした。

参考文献

- 1) Malcolm W. H. Peebles, Natural Gas Fundamentals (1992), Shell International Gas Limited.
- 2) LNG便覧 (1981), 日本LNG協会.

協賛行事ごあんない

混相流のシミュレーション技術 (よくわかる混相流数値解析)

<協 賛> 化学工学会, 空気調和・衛生工学会他

<日 時> 平成6年6月6日(月)・7日(火)

<会 場> 大阪市立大学文化交流センター
(大阪駅前第3ビル16階)

<参加費> 会員 30,000円, 非会員 40,000円

<定 員> 100名

<申込み締切> 5月30日(月)

<問合せ先> 〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138
大阪市立大学工学部機械工学科
東 恒雄 (TEL 06-605-2666)