LNG 資源とその利用

◀北海（イギリス領域）ガス田で活躍中の海洋掘削装置
（シェール・エッソグループ）

編集 田村 寛*

はじめに LNG (Liquified Natural Gas) すなわち液化天然ガスは、世界に豊富に埋蔵されている天然ガスを、液化することによって体積を630分の1に減少させて輸送効率を高め、ひいてはピーク消費期まで液化貯蔵して年間平均稼働率を向上させる利点によりその需要が急速に高まりつつある。とくにその再ガス化に際して、冷凍効果を活用したエチレンの分離精製、アンモニア合成、液酸・液窒製造、海水淡水化への利用が脚光を浴びつつあり、さらに昨今石油タンバクの安全基準の強化や *n*-パラフィンの価格上昇にともない、天然ガス（メタン）に切りかえてコストの低減をはからうとする動きとともに、天然ガスは化学工業における新しい資源として注目されている。

天然ガス資源とその生産状況**

樽和田 亮 造***

1. はじめに

ここでいう天然ガスとは、天然に産する可燃性のガスであって、かつ、炭化水素類を主成分とするガスをさす。したがって、天然ガスは原油と生成、胚胎の過程と態様を同じくするものであって、ただ天然ガスは気体資源のためその利用と開発も遅れていたことから、その実態が一般にはあまり知られていなかったといえよう。

天然ガスの構成成分としては、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} ……などの各種炭化水素ガス、 CO_2 、 N_2 などが主成分として存在し、このほか H_2S 、Ar、He、 O_2 、 H_2 、Xe、Kr、Rnなどが加わるが、主体をなすのは前記のパラフィン系炭化水素である。以上のほかに、油井、ガス井から産出するガスはかならず水分を飽和しているが、通常

これはガスの組成には含めない。

油井、ガス井¹⁾からの産出物を炭化水素成分のみにしてみると、表1の①～④のような関係にある。このような坑井からの産出物は、地表においてはセパレータにより、液体分とガス体分とに分離され、ガス体として採取されるものの炭化水素成分の範囲は表1の⑤のように最大オクタン程度までである。

しかし、炭化水素の混合物中の各成分の相変化の挙動は、それぞれが単体で存在する場合と異なった複雑なものであるために、同一の坑井からの産ガスであっても、その組成は採取時の圧力、温度等の物理的条件によっても異なってくる。

水溶性ガス²⁾はすべてドライガスで、メタンを主とし、高級炭化水素を含まない。逆に、油井ガスは一般にウェットである。遊離形ガス鉱床から産出するガス井ガスにはドライのものとウェットのものとがある。

遊離形ガス鉱床から産出するウェットガスではコンデ

* (株)日立製作所 機電事業本部プラント第2部

** 昭和46年4月12日受理

*** Ryozo Hiwada 天然ガス鉱業会 常務理事

表 1 油井・ガス井の産出物中の炭化水素成分

炭素数	分子名 (パラフィン系の場合)	沸 点 [°C]	坑井からの流出物				セパレータ分離物 ⑥ ⑦ ⑧	ウェットガス の液 ⑨ ⑩
			①	②	③	④		
1	メタン	-161	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2	エタン	-89	↑	↑	↑	↑	↑	↑
3	プロパン	-42	↑	↑	↑	↑	↑	↑
4	ブタン	-0.5	↑	↑	↑	↑	↑	↑
5	ペンタン	+36	↑	↑	↑	↑	↑	↑
6	ヘキサタン	69	↑	↑	↑	↑	↑	↑
7	ヘプタン	98	↑	↑	↑	↑	↑	↑
8	オクタン	125	↑	↑	↑	↑	↑	↑
9	ノナン	150	↑	↑	↑	↑	↑	↑
10	デカン	174	↑	↑	↑	↑	↑	↑
14	テトラデカン	254	↑	↑	↑	↑	↑	↑
16	ヘキサデカン	287	↑	↑	↑	↑	↑	↑
30	トリアコンタン	457	↑	↑	↑	↑	↑	↑
80以上		650+	↑	↑	↑	↑	↑	↑

表 2 天然ガス組成例

[Vol %]

産出地	N ₂	O ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄ +	CO ₂	H ₂ S
ケナサカ (アラブ)	0.52	0.01	99.34	0.11					0.02	
ヘシルメル (アルジェリア)	5.5 (CO ₂ 含)		79.5	7.5	2.5	5.0			—	
帝国石油 (東京ライン)			96.4	2.4	0.4	i0.2 n0.1	i0.1 —		0.4	
ブルネイ (ボルネオ)			90.2	4.8	2.5	1.4	0.1		0.5	
コルトマジョーレ (イ)	1.8		95.9	1.4	0.4	0.3			0.2	
テディサス ードライアー (米)	15.5		71.5	7.0	4.4	i0.3 n0.7	0.02			
カリフォルニア ウエット (米)	0		74.6	8.3	4.7	i0.9 n1.9	i0.8 n0.6	7.6	0.7	
フローニンゲン (和)	14.5	0.02	81.5	3.15 (C ₄ H ₁₀ 含)					0.8	—
ラツタ (仏)	0.4		69.3	3.1	1.1	1.3			9.6	15.2
北海 (B. P.) (英)	1.3		94.0	3.2	0.6	0.2	0.1	0.1	0.5	

ンセート (特軽質原油) を伴うものが多い。コンデンセートはセパレータで分離され、ウェット注3) ガスもガス処理プラントで、LPG および天然ガソリンを抽出し、ドライガスにしてパイプ輸送するのが普通である。

わが国において、現在までに発見されている天然ガスにはイオウ分は含まれないが、外国には硫化水素や窒素や炭酸ガスを大量に含有する天然ガスもある。

カナダ (アルバータ)、フランス (ラック) の天然ガスは20% 前後の硫化水素を含んでおり、副産物として

イオウを生産し、一躍イオウ輸出国に転化したことは有名である。

天然ガスの代表的組成例を表2に、主要成分の物理恒数表を表3に示す。

2. 資源の賦存と埋蔵量

天然ガスの埋蔵は、多くの場合原油と同様であって、先カンブリア紀 (約6億年前) から新生代に至る長い地

(注) 1) 産状による分類として、アメリカ等で、油井ガス (Casing-head gas または Associated gas) と、ガス井ガス (Gaswell gas) がある。後者はさらに共水性ガス、遊離ガス、コンデンセートを伴うガスに分類される。

2) 共水性 (水溶性) ガスは、過去にイタリア (ポウ河流域) で検出されたことがあるが、現在では日本 (新潟県および静岡県) で開発されているのみで、かん水が汚度を含有し製造原料とし

て活用できることから、とくに千葉県下では生産も増えてきている。

3) ウェットガスは常温、常圧において液体として凝縮分離する成分を含有するガスをいい、ドライガスはそのような高級炭化水素を含まず、メタンを主とし、これに若干のエタン、プロパン等を含むガスである。

表3 天然ガス成分の物理恒数表

	メタン	エタン	プロパン	イソブタン	正ブタン	二酸化炭素	硫化水素
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	CO ₂	H ₂ S
分子量	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	44.01	34.08
分子容	22.36	22.16	21.82	21.77	21.49	22.26	22.14
融点 °C[1atm]	-182.6	-172.0	-187.1	-145.0	-135.0	-56.6	-85.5
沸点 °C[1atm]	-161.4	-88.6	-42.2	-10.0	-0.6	-78.3	-60.3
液体比重 [60/60°F]	0.300	0.378	0.512	0.562	0.581	0.816	0.790
ガス比重 [空気=1]	0.555	1.049	1.522	2.007	2.010	1.529	1.176
臨界温度 [°C]	-82.5	32.3	96.8	135.0	152.0	31.1	100.4
臨界圧力 [atm]	47.4	50.45	44.5	38.3	37.2	73.5	91.8
蒸発潜熱 [kcal/kg]	121.9	116.9	101.8	87.56	92.09	137.8	131.1
融解潜熱 [kcal/kg]	14.0	22.2	19.1	—	18.0	45.3	—
空気混合 上限%	5.3	3.12	2.37	1.6	1.86	—	4.30
爆発限界 下限%	13.9	15.0	9.50	8.5	8.41	—	45.50
燃発熱量 [kcal/Nm ³]	9,520	16,820	24,320	31,530	32,010	—	—
" [kcal/kg]	13,270	12,400	12,030	11,810	11,840	—	—
真発熱量 [kcal/Nm ³]	8,550	15,370	22,350	29,050	29,510	—	—
ガス比熱 [kcal/kg]	11,950	11,350	11,080	10,900	10,930	—	—
" C _p [kcal/kg]	0.2928	0.2279	0.2158	0.2151	0.2205	0.1106	0.141
" C _v [kcal/kg]	0.223	0.191	0.191	0.196	0.202	0.095	0.107
C _p /C _v	1.308	1.193	1.133	1.097	1.094	1.164	1.32
液体比熱 [kcal/kg]	—	—	0.297 (6.1°C)	0.298 (-10°C)	0.304 (-17.8°C)	—	—
蒸気圧 [kg/cm ² (37.7°C)]	—	54.8	13.4	5.1	3.6	—	39.1
燃焼必要空気量 [m ³ /m ³]	9.53	16.67	23.82	30.97	30.97	—	—

質時代の地層中に、世界中で広く発見されている。これらの鉱床は変成を受けていない地層が厚く、広く分布する堆積盆地に胚胎する。

天然ガスは、地質時代に海または湖の底に堆積した有機物から長期間かかって堆積岩中に生成したものであるが、資源として価値をもつのは、それが採掘の対象となる程度の量にまで集積、すなわち鉱床を形成している場合に限られる。

世界の天然ガスの国別埋蔵量を表4に示す。

天然ガス資源の分布と埋蔵量、今後の新発見についても原油と同じような傾向を示していることは当然で注1)、表4によれば、世界の天然ガスの総埋蔵量は約47兆m³となっており、原油の埋蔵量約830億klに比べてほぼ1/2をやや上回っている注2)。

わが国への天然ガス資源の輸入が一部実現し、これからもひきつづき進められようとしているが、その供給源と目される地域は環太平洋地域と中東である。この地域では、ソ連のシベリア、オーストラリアなど将来の豊富な天然ガス資源の発見が期待されていることは注目してよい。

3. 生産

天然ガスが燃料に用いられた歴史はきわめて古いが、

- (注) 1) 原油1klは天然ガス1,000m³に換算される。
2) これまでの炭化水素資源の主な探鉱目的は原油で、天然ガスを発見しても十分な探鉱と評価がおこなわれないこと、因よって油溶性ガスを含めない場合があり、その埋蔵量はいずれも控え目な数字とみてよい。

産業としての出現は比較的新しくほぼ第2次大戦後といっている。

天然ガスの開発、利用も石油と同じくアメリカに始まったが、そのアメリカにおいても、以前にはガスは石油の開発に際して遭遇する厄介物扱いをされ、戦後ようやくエネルギー資源としての天然ガスの価値が認識され、産業として注目されるに至った。その原因の1つは、第2次大戦後の長距離パイプラインによる東部諸州のエネルギー需要地までへの輸送、利用の実現である。その後、アメリカにおける天然ガスの生産量は、パイプラインネットワークの拡充、延長とともに急激に増大し、すでに1963年には石炭を凌駕して全エネルギーの35%を天然ガスが供給している。同年における世界の天然ガスの総生産量は約7,400億m³で、石油生産量の約1/2に当たっているが、このうち有効に消費されたのは約6,200億m³である。そのうち、アメリカ一國で総生産量において64%の4,800億m³、消費量において68%の4,200億m³を占めている。

したがって、当時の天然ガスの生産と利用はアメリカ一國に限られていたといっても過言ではなく、アメリカ以外の地域では油田の開発の際原油に随伴する大量のガスは大部分が利用されることなく焼棄、放散されていた。

表4に、最新の生産量を示しているが、この数字も同様な意味で利用国を除いては放棄されている数量を含んでおり、イラン一國でもその量は年間200億m³に達しているが、世界全部でその量は年間2,000億m³に及ぶものとみられる。

表 4 世界の天然ガス埋蔵量と生産量

国 名	埋 蔵 量 1970年7.1	生 産 量 1969年	国 名	埋 蔵 量 1970年7.1	生 産 量 1969年
中 近 東	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	ア ソ ン ゴ ラ	18	113
ア ブ ・ ダ ビ	283		コ ン ゴ		
パ ー レ ン	28	739	エ ジ ブ ト	142	
ド バ イ	14		ガ ボ ソ	142	23
イ ラ ン	6,062		リ ビ ア	850	
イ ラ ク	539	4,156	モ ロ ッ コ	1	40
イ ス ラ エ ル	2		モ ザ ン ビ ッ ク	28	
ク エ ー ト	1,105	156	ナ イ ジ ェ リ ア	142	
マスカット・オーマン	42	1,986	チ ュ ニ ジ ア	28	
中 立 地 帯	99		小 計	4,184	1,870
カ タ ー ル	283		北 米		
サウジアラビア	1,416	2,348	カ ナ ダ	1,632	44,099
シ リ ア	14		合 衆 国	7,793	589,147
ト ル コ	6		小 計	9,425	633,246
小 計	9,893	9,385	ラ テ ン		
ア ジ ア			ア ル セ ン チ ン	249	4,258
アフガニスタン	144	1,966	パ ル バ ド ス		
オーストラリア	357	266	ボ リ ビ ア	142	921
ブ ル ネ イ	142		ブ ラ ジ ル	142	1,258
イ ン ド	57	275	チ リ ー	71	
インドネシア	65	2,586	コ ロ ン ビ ア	85	3,011
日 本	17	2,051	エ ク ア ド ル	4	167
ニュージーランド			メ キ シ コ	340	16,986
ニュージーランド	14		ベ ル ー	85	37
パ キ ス タ ン	567	2,688	トリニダードトバゴ	142	1,428
台 湾	25	1,620	ベ ネ ズ エ ラ	765	2,414
小 計	1,391	11,534	小 計	2,025	30,480
ヨーロッパ			ア ル バ ニ ア	8	
オーストリア	12	1,484	ブ ル ガ リ ア	28	503
フ ラ ン ス	204	6,521	シ ン	101	11,331
イ タ リ ー	178	11,476	チエコスロバキア	14	1,021
オ ラ ン ダ	2,331	21,499	東 ド イ ツ	14	
ノ ル ウ ェ ー	85		ハ ン ガ リ ー	195	2,700
ス ベ イ ン			ポ ー ラ ン ド	8	2,338
イ ギ リ ス	991	10,340	ル ー マ ニ ア	170	22,694
西 ド イ ツ	337	8,190	ソ 連	14,983	183,076
ユーゴスラビア	99	609	小 計	15,521	223,663
小 計	4,237	60,119	合 計	46,676	926,198
アフリカ					
アルジェリア	2,833	1,688			

出典：エンサイクロペディア（1971）

第2次大戦後、炭化水素資源の探鉱、開発に各国が競って力を入れてきたが、その結果原油とは別に単独の豊富な埋蔵量を有する構造性ガス田が各地で発見されるようになり、ようやくアメリカに次いでカナダ、西欧各国、ソ連などの国でも天然ガスの開発と利用が急速に進んできた。

すなわち、ヨーロッパでは1948年以来イタリアでガス田（ポウ河流域）が発見され、その開発、利用が注目を惹いていたが、1956年南フランスのラックガス田（埋蔵量2,000億m³）、同じ年にアルジェリアでハシルメルの大ガス田の発見で天然ガスの関心も高まってきた。その後、1962年におけるオランダのフローニンゲン大ガス田の発見、1964年のアルジェリアからイギリス、フランスへの天然ガスの液化タンカー輸送の実現、最近では

北海、アドリア海の大量の大陸棚資源の発見と開発、ソ連からのパイプラインガスの輸入などまことにめざましい発展を示している。

なかでも、フローニンゲンガス田の発見はヨーロッパのエネルギー事情を一変したといわれており、その埋蔵量は3兆m³あるいは5兆m³にも達するといわれているが、自国内の供給を賄うばかりでなく、西ドイツ、ベルギー、フランスにも輸出されており（現在70億m³/年）、さらに1973年にはイタリアに60億m³/年の供給が予定されている。

ソ連は、1958年から始まった7カ年計画で、他の物資とはかけはなれた500%、1,500億m³/年という大目標を掲げ、ガスの探鉱、開発のために大きな予算を割当てている。1965年の生産量は目標を下廻りはしたが、1,300

億 m^3 に達し、その後も年々大幅な伸びを示して、いまや埋蔵量は世界の首位、生産量も年間 2,000 億 m^3 の水準に達し、アメリカについて第 2 位を占めるにいたっている。おもな産ガス地はウズベク、北コーカサス、ウクライナ地方で、最大の産油地であるウラル・ボルガ地方からも油田ガスを産出していたが、最近では西シベリアのチューメン州を中心とする地域で多くのガス田が発見され、その大々的な開発がはじまっている（本地域には埋蔵量数兆 m^3 の世界最大級の 2 ガス田の存在がつかえられている）。

以上のほか、アフリカ、中東、南米、東南アジア、大洋州の諸地域でも、大量の油田ガスを産出しているが、ほとんど利用されないで放棄されていることは前述のとおりであるが、一部の地域ではようやく本格的な利用もはじめられようとしており、またこれらの余剰ガスとあたらしく発見されている構造性ガス田のガスが液化天然ガスの商業化と冷凍タンカーによる海洋輸送の実現によって、生産段階に移向していることもみのがせない傾向である。

最大の生産国であり、消費国でもあるアメリカは、現在でも年間 3% の需要増加を抱えているが、すでに国内資源の相対的な枯渇傾向から供給不足の事態に追い込まれており、1975 年までにアラスカ（ノーススロープ）ガスを年間 390 億 m^3 （1980 年までに 900 億 m^3 に増量）、カナダからの現在の輸入量年間 300 億 m^3 を毎年 10% づつ増量するほか、アルジェリアから LNG として年間 150 億 m^3 を導入するなど、供給対策に大わらわの状況である。しかし、連邦動力委員会の天然ガスの坑井価格の制限の緩和など適当な探鉱、開発の助成と価格政策の変更によって深部、新地域の開発が促進され、これによって現在の 2 倍の確認埋蔵量の追加も可能であるという報告もあり、将来さらに本土内でも生産が急増することも考えられる。ちなみに、アメリカにおけるガス生産井は約 13 万井、最深井は 2 万 6000 呎に達している。

なお、最近の特記すべき事柄としては、イギリスにおける天然ガスの生産と国内エネルギーの転換があげられる。すなわち、同国は資源皆無の国として、国外からの LNG 輸入に依存する方針であったが、1965 年以降北海大陸棚資源の発見によって、一躍天然ガス埋蔵国に変ぼうし、現在の確認埋蔵量でも 8,000 億 m^3 といわれ、年産 100 億 m^3 となって、国内需要を賄ってあまりあるというまことに恵まれた状況になっている。

1 基地には 6~8 坑（将来は 12~32 坑）の生産井があり、現在 14 基地が完成しており、将来 35 基地に増設される予定である。1 坑井当り日産ガス量は 200~250 万 m^3 。

フローニンゲンガス田採収基地

4. 将来の展望

上述のように、天然ガスの開発と利用は原油にくらべて大きくたちおくれでスタートしたといえるが、現在アメリカ国の比重は極度に大きいとしても、埋蔵量と生産量は原油の約 1/2 もしくはそれ以上の水準に達している。

LNG による海洋輸送の実現、無公害燃原料としての需要の増加が、天然ガス資源への関心と開発の促進の主因とみられるが、未探鉱地域、深部層への移向ならびに海域への進出によって、天然ガス資源の発見と埋蔵量の増大は原油に匹敵し、あるいは凌駕する傾向さえ指摘される。

原油にくらべても多くを長所を有する天然ガスは、開発深度の増加、海洋開発の進展によって原油価格の上昇がみこまれているが、このような場合相対的に天然ガス生産コストが有利となることも、将来の天然ガス資源の生産を語るうえにもみのがせない要因である。

一部の指摘するところでは、すでに国内市場の天然ガス化を終わり、どちらかといえば現状維持的なアメリカは別として、西欧（国によってそれぞれ事情は異なる）、ソ連のような主要消費国の天然ガス生産は急増するとしており、1985 年における天然ガスの一次エネルギーに占めるシェアはそれぞれ 15%、32% とみられているように、多くの国において天然ガスは新規需要と既存の石油市場の一部を代替してエネルギー供給のなかで大きな役割をはたしてゆくことは確実と思われる。

5. 日本の天然ガス事情

わが国でも、東北裏日本や千葉県下では天然ガスの産出があり、古くから利用もおこなわれていたが、昭和27年に新潟県下で天然ガスを原料とするメタノール製造の企業化が成功をみるに及んで、天然ガスに対する評価も一段と高まり、産ガス地帯への化学工業の進出となつて、諸外国の事情とは異なりわが国の天然ガス産業はいわば化学主導型として急速な発展を遂げてきたことは知られるとおりである。

ただ、当時の天然ガスの生産は若干の油井随伴ガスを除けばすべて水溶性ガスであったが、昭和34年頃からわが国でも遊離形天然ガス鉱床が発見され、開発が進められるようになって、昭和37年には主産地の新潟と東京を結ぶ340kmの長距離パイプラインも建設され、ようやく本格的な産業としての形態をそなえるにいたつた。

しかし、現在のところ生産量は年間23億 m^3 程度で、主として産地付近の地域需要をみたすにとどまっております。国産原油87万kl(昭和45年)と合わせても、全国消費エネルギーの1.5%にも達しない現況である。資源量についても、新潟および千葉県下に賦存するそれぞれ1,000億 m^3 といわれる水溶性天然ガスは別として、構造的なものとしては僅か100億 m^3 のオーダーにすぎない。

天然ガスの探鉱、開発の促進については、昭和29年以降政府も天然ガスの探鉱補助金、基礎調査等の制度にみられるように、その助成にかなりの力をそそいできているが、昭和45年度からはあたしく第4次5カ年計画を発足させて、従前の東北裏日本の陸域以外にも、豊富な天然ガス・原油の賦存が期待される北海道、常磐および九州のような新地域と、日本列島をとりまく広大な大陸棚海底下資源への大々的な探鉱活動が展開されようとしている。したがって、今後の推移によっては先述のイギリスの例にみられるような成果も十分期待されてよい。

なお、国内の石油製品の需要の急増と、一方公害問題の激化からとくに低イオウ原油への要求が高まり、多くの企業の海外進出がおこなわれているが、日本周辺の天然ガス資源は無イオウ(原油もきわめて微量)で、この見地からも国内資源の開発は大きな意義がある。

最近、国内の天然ガスの需要は化学、都市ガスから電力、鉄鋼などの大量消費部門への増勢がみられるが、国産資源の供給力に限度がある現状では、海外からの主としてLNGの輸入が真剣に検討され、一部は実現している。この傾向は、低イオウ燃料として天然ガスへの要求が高まるにしたがい、現在おこなわれている原油を求めての海外進出と同じ比重と形態に移向することを示唆しているようである。しかし、天然ガスは国内で資源的に大きなポテンシャルがあることを強調しておきたい。

天 然 ガ ス 液 化 プ ラ ン ト*

市 原 潔**

ま え が き

第2次大戦後の天然ガス産業の発展は驚異的なものがあり、メタニゼーションということばで表徴されるように天然ガスは世界のエネルギー源のなかで重要な位置を占めつつある。

天然ガス産業が一番発達しているのはアメリカであつて、1937年に所要エネルギーの12%程度が天然ガスに依存していたが、1947年には14%、1955年には25%、1970年には31.5%に達している。

しかしながら、天然ガスの賦存は世界的にみて偏在しており、豊富な天然ガス資源を有しながら国内またはその近辺に大きな消費地がないために開発されぬまま放置されてきた国(たとえば中東諸国)と、大きなエネルギー消費がありながら天然ガス資源に恵まれない国(たとえば日本)との間をつなぐ手段が昔はなく、天然ガス生産地と消費地とのあいだに大きなみぞが存在していた。

このみぞをうめるべく第1にとられた手段は、アメリカで代表されるように大規模かつ長距離の天然ガス輸送パイプライン網であつた。しかし、パイプラインは陸つづきの場合はよいが遠く海をへだてた生産地と消費地をつなぐ手段とはなりえず、一方、陸つづきであっても

* 昭和46年4月6日受理

** Kiyoshi Ichihara (株)日立製作所 笠戸工場低温装置設計部