LNGの今後の役割

——昭和45年12月11日特別講演——

東京瓦斯株式会社 野尻正信

1. はじめに

1969年11月4日、はるか6千キロも離れた、アラスカより、3万トンのLNG(液化天然ガス)を積んだ、LNGタンカー「ポーラー・アラスカ号」が、はじめて、横浜市磯子地区にある、東京ガス根岸工場に到着し、荷揚げしたことは、読者のご記憶に新しいことであらう。

このLNGは天然ガスを低温で冷却、液化したもので、大量に取扱われる場合は、常圧で -160°C 程度の条件が普通である。このようにすると、常温のガス状に比較して、その容積は、約600分1に縮小するので輸送、貯蔵が経済的になり、これによつて、天然ガスの海上輸送が可能になったともいえる。もちろんこの場合、 -160°C という低温でLNGを運搬するタンカーの開発を見逃すことはできない。

このLNGの海上輸送が、商業的規模で始まったのは、1964年、アルジェリヤのアルズウから、1万2,000トンのタンカー「メタンプリンセス号」、「メタンプログレス号」がイギリスのキャンベイに、ついで翌年、同じ所から1万1,000トンの「ジュールベルン号」がフランスのルアーブルへ、定期的に輸送した時であった。そして当時のLNG導入の背景は、資源に貧しい国が、放置されていた新しいエネルギーに着眼し、石炭や石油と競合しうるもの、あるいはそれらの資源の量を補助するものであるという考えにたち、都市ガス用としてであったが、その後、導入を開始したわが国における背景は、これに加えて公害のない貴重なエネルギーとしてLNGに注目し、火力発電用燃料として使用したことにある。

このようにして、現在では、天然ガスやLNGは欧米や日本で大量に使用されるようとしている。そこで、ここでは、新しいエネルギーとしてLNGが総エネルギーにしめる位置、さらに新しい用途などを述べLNGの今後の役割についてふれてみたい。

2. LNGの今後の需要

科学技術庁の資料によると表1にあるように、1968年6月の、世界の天然ガス埋蔵量は、37兆6,260億 m^3 といわれ、生産量は、8,355億 m^3 に達している。

この数字は、エネルギー量としてみると、それぞれ原油の規模のちょうど2分の1におよんでいるが、その伸び率は、原油よりさらに高く、全エネルギー消費中に占める天然ガスの割合は、1955年、12.3%、1964年、17.6%、1980年、20%、さらに1985年、すなわち今から、約15年先には、25%にもなると予測されている。しかも、これらの割合は、天然ガスが単に資源としての考えにたつているもののみで、他のエネルギーと比較して、イオウ分を含まないなどの優れた特性から、都市公害、産業公害の防止対策上、最適のエネルギーであるということを考え合わせれば、さらに大きくなる可能性がある。このように考えていくと、天然ガスは、エネルギーとして、今後ますます重要な位置をしめていくと思われるが、表1を見てわかるように、各国別の埋蔵量と消費量の間、あるいは生産国と消費国の間には、大きな不均衡がある。しかし、開発途上国や、自国消費量を、さらにうまわる生産国—カナダ、ソ連—の天然ガスは、パイプラインや、LNGとして、陸上や海上から、今後大いに活発に輸送され、そして消費されるだろう。

わが国の場合、1985年(昭和60年)のエネルギー総消費量は、一説によれば粗鋼生産年間1億6,000万t、経済成長率6%として、石油換算で年間8億 kl という予測もされている。このぼう大な量のエネルギー消費については、今後の経済成長率の見直しなどによつて、若干少なくなるだろうが、いずれにしても、これを確保するには、昨年末の資源調査会の中間報告でも供給国の多様化、自国産の開発などに加えて、天然ガスの利用を積極的に進めるべきだと指摘している。このようにエネルギーの多様化が進みさらに対公害エネルギーとして注目をあびている天然ガスの消費量は、推定することが非常に困難であるが、欧米の事情から類推して、総エネルギー消費量の約20%として、約1,000億 m^3 にもなる。これは現在の国内需要(昭和44年度、24億3,000万 m^3)の約40倍にもなる。通産省鉱山石炭局が予測したところによると、昭和60年度までには国内天然ガスの開発を進め、その生産量は、年間130億 m^3 にするといっている。したがってその残りの8

表 1 世界の国別天然ガス統計

国名	埋蔵量 1968年6月1日 10 ⁹ m ³	生産量(P) 1967年 10 ⁶ m ³	R/P
アジア太平洋			
アフガニスタン	142	—	
オーストラリア	453	43	10,500
ブルネイ	14	—	
ビルマ	3	—	
インドネシア	28	1,221.4	23
インドネシア	69	3,351.0	21
日本	6	1,890.0	3
ニューギニア	—	—	
ニュージーランド	13	0.1	130,000
パキスタン	575	2,368.0	243
台湾	27	527.2	51
タイ	—	—	
小計	1,330	9,362.0	
ヨーロッパ			
オーストリア	23	1,797.0	12
フランス	227	5,563	41
イタリア(含シシリー島)	185	9,367	20
オランダ	2,354	7,156	329
スペイン	—	—	
イギリス	864	476	1,815
西ドイツ	290	3,273	89
ユーゴスラビア	99	465	213
小計	4,042	28,097	
中東			
アラブ	212	—	
バレー	3	—	
デュー	—	—	
イラン	3,116	1,467	2,124
イラク	567	—	
イスラエル	3	109	28
クウェート	1,133	—	
マスカットオーマン	20	—	
中立地帯	99	—	
カタール	212	2,303	92
サウジアラビア	992	—	
シリア	10	—	
トルコ	3	—	
小計	6,370	3,879	
アフリカ			
アルジェリア	3,966	2,1580.0	1,338
アンゴラ(含カビンダ)	14	2.7	5,185

国名	埋蔵量(R) 1968年6月1日 10 ⁹ m ³	生産量(P) 1967年 10 ⁶ m ³	R/P
コンゴブラザビル	—	—	
コンゴキンシャハ	—	—	
ダホネイ	—	—	
エジプト	79	415.9	190
ガボン	142	17.4	
リビア	425	—	
モロッコ	6	10.7	561
モンザビ	28	—	
ナイジェリア	113	—	
チュニジア	14	9.3	1,505
小計	4,787	2,614.0	
南米			
アルゼンチン	201	3,916.0	51
パルバドス	—	—	—
ボリビア	142	862.7	165
ブラジル	25	875.0	29
チリ	99	1.7	58,235
コロンビア	113	2.8	40,357
エクアドル	2	0.2	10,000
ホンジュラス	—	—	
メキシコ	368	16,367.0	22
ペルー	57	—	
トリニダードトバゴ	34	768.0	44
ベネズエラ	907	25,920.6	35
小計	1,948	48,714.0	
北米			
カナダ	1,295	48,100	28
アメリカ合衆国	8,299	511,456	16
小計	9,594	559,556	
自由諸国合計	28,071	652,222	
東ヨーロッパ、ソ連および中国			
アルバニア	8	—	
ブルガリア	28	—	
中国	85	—	
チェコスロバキア	14	—	
東ドイツ	14	—	
ハンガリー	96	2,045	47
ポーランド	8	1,568	5
ルーマニア	170	20,700	8
ソ連	9,207	159,000	8
小計	9,630	183,313	
総合計	37,626	835,535	

(International Petroleum Encyclopedia 1969)

百億 m^3 ほどの天然ガスを輸入することになる。そのころになれば、ソ連からの天然ガスの導入も具体化し、一部はパイプラインでわが国に入ってくることも考えられるが、その他は輸入 LNG で、この量は年間数千 m^3 になる可能性もある。

3. LNG 導入の経済規模

前述したように、今後 LNG の需要はますます増大することは予測されるが、その導入には種々な条件が付加されてくる。天然ガスをパイプラインで消費地へ送るより、液化・海上輸送・再ガス化の方がガスの価格が高くなるのはもちろんである。これを補うためには、液化、輸送、受入再ガス化の設備費をコストダウンするために、技術改良をしていくことと、さらに導

入規模を大きくして、そのスケール効果をあげることがある。

すでに実施されているアルジェリヤとイギリス、フランス間のプロジェクトや、アラスカと日本の間のプロジェクトで、年間導入量が約 100 万 t の規模であったように、最小経済規模は 100 万 t といわれていた。しかし、昨今のタンカー建造費の上昇や、現地液化設備や受入設備にかかる資材費や人件費の高騰に伴って、現在では、その導入規模は、表 2 にみられるように、リビアとイタリア、スペイン間の計画の年間 300 万 t 、ブルネイと日本間の 400 万 t 、あるいは、アルジェリヤとアメリカ間の 800 万 t と、徐々に大型化し、経済規模の単位は 400 万 t から 500 万 t 程度になつて

表 2 LNG 海上輸送状況および計画

出 荷 地	受 入 地	出荷開始	平年度供給量	
			億 m^3 /年	万 t
アルジェリヤ (アルズウ)	イギリス (キャンベイ島)	1964年10月	10.0	83
アルジェリヤ (アルズウ)	フランス (ルアーブル)	1965年3月	5.0	42
アラスカ (ニキスキ)	日本 (根岸)	1969年11月	13.5	96
リビア (プレガ)	イタリア (ラスペチア)	1970年予定	24.0	200
リビア (プレガ)	スペイン (バルセロナ)	(タンカー冷凍設備は完了 しているが現在リビア政 府より Stop されている。)	11.0	92
アルジェリヤ (スキクダ)	フランス (マルセイユ)		35.0	292
ブルネイ (ルマツ)	日本 (根岸・袖ヶ浦・泉北)	1972年末	44.0	365
アブダビ (ダマ島)	日本	1973年計画	21.0	175
アルジェリヤ (アルズウ)	アメリカ東海岸	1973年～ 1974年計画	102.0	850
ベネズエラ	アメリカ東海岸	1975年計画	40.0 ～ 50.0	333 ～ 417
ベネズエラ (レク・マラカイボ)	アメリカ東海岸	1975年計画	40.0 ～ 45.5	333 ～ 375
アルジェリヤ	アメリカ東海岸	1975年計画	10.0以上	83以上
アルジェリヤ	アメリカ東海岸	未 定	20.0以上	170以上

(東京瓦斯調査1970-10)

いる。

このように大型化してくると、わが国の場合、これを単一企業で消化することは不可能である。現実には、100 万 t の規模でさえ、東京ガスは東京電力と協同購入という形式をとっているし、また現在計画中のブルネイからの導入も東京ガス、東京電力、大阪ガスとの 3 社共同購入という形式をとっている。このように電力とガスという、共同購入方式のみならず、導入

のスケール効果を高めるため、またエネルギーとしてその役割をはたすためには、さらに使用分野の開発を進め、それ以外の複数企業体による共同大量導入をなくてはならないと考える。そこでつぎに、LNG の新用途の可能性について述べてみよう。

4. LNG の新用途

4-1 サテライト基地用燃料

LNG の可搬性の良さについて前述したが、この特

性は陸上の運搬にもいえる。都市ガスの供給網から隔離した地域や小都市で小規模導管網のあるところへ、ローリーなどで輸送し、再ガス化使用することもできる。この用途については、現在のLPGとも競合することになるが、都市ガスとしては天然ガスの方が比重が軽く、室内に停滞しにくいこと、爆発下限界も高いことなど、安全性の点で優れており、とくに将来都市ガス導管網に連結しようような地点では、需要がガス導管の経済規模に達するまで、暫定的にLNGを供給することが十分成立しうと思われる。この場合、再ガス化の気化熱を食品冷凍などに利用することにより、さらに効果があがる。

4-2 自動車用燃料

天然ガスを自動車用燃料として使用することは、古くは、第一次世界大戦以後イタリアで始められた。わが国でも、天然ガスの産出する新潟県や千葉県では、早くから行なわれていたが、いずれの場合も圧縮ガスを使用していたことと、そのガス補充所の場所が限定されていることなどで、地域的にしか発達しなかった。しかし昨今、アメリカでは公害防止の見地から、天然ガスが改めて見直されるようになった。元来天然ガス燃料としては実績があつたものの圧縮ガスを積んでいくためには、何本ものボンベを積まなくてはならず、不利なので(2,000ccクラスの乗用車は、約80Lのガソリンが積めるが、これと等価熱量の圧縮天然ガスボンベは25本も必要である)、LNGを利用する車の開発が、南カリフォルニアのロスアンゼルスを中心に進められている。そして現在では、デュアルフュエル式の気化器が開発され、この地方にはガソリンとLNGの両方を使用できる乗用車が数千台あるといわれている。しかしこれが本格的になるには、まだいくつかの技術的あるいは商業的な開発が必要で、とくに安価な燃料タンクの製造に問題がある。 -160°C のLNGを入れるので内殻はステンレス鋼、外殻は普通鋼で作った。二重殻構造とし、その中にパーライトを入れ真空断熱にした保冷容器であるがこれが量産に対するネックになっているといわれている。

しかし、サンディエゴガス・電気会社のLNG車の実験では、カリフォルニア州の乗用車排気基準の炭化水素: 2.5ppm 酸化炭素: 1.5ppm 酸化窒素: 350ppmを下まわることが判明した。また光化学スモッグの原因になる排気中のパラフィン族、オレフィン族、芳香族の合計であらわす活性指数は、ガソリン車の6分の1にすぎず、これらの諸点を合わせて、大気汚染防止上から、LNGはかなり有効なものとなりそ

うである。さらにエンジンは、タールやスラッジなどの生成も少ないので、汚れによる損耗やスラッジなどの生成も少ないので、汚れによる損耗が少なく、保守経費に取ばす効果も見のがせない特徴といえよう。

4-3 航空機用燃料と冷媒

航空機の燃料は、約70年前、ライト兄弟が初めて空を飛んで以来、灯油、ガソリン、JPなどに変わつて来たが、いずれももつとも古い灯油の類似品と見なしでもよい。しかし、プロペラからターボプロップ、ジェット機、あるいはジャンボ機、超音速機(SST)と変わるにつれ、空気力学、機体構造、推進機の技術は成功をおさめたが、航続距離をのばし、速度をはやめ、乗客数を増加するなどをそなえた経済的に成立する新しい航空機を開発するには、新しい燃料が必要でこの用途として、1964年、アメリカ航空宇宙局(NASA)で最初にLNGが注目された。

これらの航空機燃料として、LNGがとくに適しているのは、大型のSSTである。その最大の理由はLNGのもつヒートシンク、すなわち -160°C から 650°C 位まで広範囲な温度にわたってクラッキングすることがないので、色々な冷媒として利用できることと、単位重量当たりの発熱量が大きいことにある。このうち前者のヒートシンクについては、タービンエンジンの羽根の冷却源にLNGを利用することによつて羽根の金属温度を下げるができるので、タービン入口の燃料ガスの温度を上げることができ、タービンの出力を増加することができる。NASAの論文によればマッハ3で重量219tのSSTの場合JPを使つてタービン入口温度が $1,200^{\circ}\text{C}$ のとき、210人の乗客が運べるものが、LNGを使つて温度が $1,500^{\circ}\text{C}$ のときは255人になる。これは20%増しの乗客が乗れることになり、その効果は大きい。さらにエアーコンディショニングやギヤボックス、電子装置、油圧装置など、冷却用にも使用でき、今までエンジン出力のエネルギーの一部をこれらの冷凍機用の動力に使つていたことからすれば、全体の燃料費は少なくてすみ、それでもエンジン出力は大きくなる。

この他都市ガスの項で述べたような安全性でも優れ、またLNGは非常に清浄な燃料であるので、燃料系統の閉そく、タービン羽根の腐食や侵食、硫化といった問題もなくなる。

このように理想的なLNG燃料にも欠点がある。その第1は、比重量が小さいので大きな燃料タンクが必要なことで、それは重量を重くする要素にもなり、また空気抵抗を増すことにもなる。しかし自動車と同じ

ように燃料タンクの断熱方法，エンジンの開発などを含めて，NASAやプラットアンドホイットニー社などで実用化のための努力が続けられている。

またLNGをヘリコプターに使う場合も，これらの利点はそのまま生かせるられるので，高出力の小型エンジンが可能である。またヘリコプターは騒音が一つのネックであるが，LNGでは単位出力当たりの排気量が減少するので，大型エンジンでも騒音は従来のものより少なくなり，これはヘリコプターの新しい都市高速交通機関としての発達には大いに寄与することになる。

4—4 鉄鋼用燃料

科学技術庁資源調査会の調査によると，粗鋼1000万tの製鉄所で，重油使用量だけをLNGに換算すると年間約100万tの量になる。近年，鉄鋼流通機構の合理化，あるいは消費地への運搬費の節約から，むしろ都市工業地帯に非常に近く製鉄所が建てられる傾向があり，これらの状況を考えて，公害対策上から都市ガス，電力について，早いピッチでLNGの導入が具体化するのではないと思われる。

鉄鋼業でLNGを燃料として使用できる分野は，高炉吹込み，平炉，熱処理炉，鋳型乾燥炉，雰囲気炉，

鋼材切断用などである。

高炉吹込用熱源として，主燃料はコークスであるが近年は重油やコークス炉ガスを高炉羽口から吹込んで，できるだけコークス量を減少させ，出鉄量を増大させる法がとられている。アメリカやソ連では，天然ガスの吹込みを行なっており，銑鉄1t当たり40～80m³の天然ガスを使用し，30～150kgのコークスを節減しているといわれている。この他の利点としては，羽口先で天然ガスが水素と一酸化炭素に分解し，これが還元前として溶銑に作用し生産によい，コークスの灰分による銑滓生成が減少し，さらに熱収支がよい，天然ガスはイオウ分を含まないので，製品の品質を向上させるなどの点がある。

この他LNGの新しい用途として直接還元製鉄法がある。これは鉄銑石を高炉を使わずに流体還元剤によつて還元製鉄する新しい技術で，鉄銑石を粉末にして，天然ガスを改質してえられた水素と一酸化炭素からなる還元用ガスで還元させて，成分的には銑鉄と鋼との中間的な粉鉄または海綿鉄を作る方法である。表3のように外国では各社がテストプラントを建設しているが，わが国の場合はLNGの価格が相当安くなることが決め手になる。

表 3 天然ガス利用の直接製鉄法

会 社 名	場 所	生産量 (生産開始時期) 1000 t Fe/年	製鉄方式	天然ガス使用 原 単 位 N m ³ / 成品 t
アラシウッド	モンテレイ (メキシコ)	70 (1957)	HYL	約 600 前後
	ベレエクルツ (メキシコ)	175 (1967)	(レトルト 還元器方式)	
エ ッ ソ	メキシコ湾沿岸 (アメリカ)	500 (1972)	ESSO-Fior (流動床方式)	600 前後
ユー・エス・ スチール	オリノコ (ベネズエラ)	1000 (1970)	NU-Irom (流動床方式)	700 前後
ギルモア	ポートランド (アメリカ)	400 (1969)	Midland Ross (堅型炉方式)	約 450 前後

(出典：日本鉄鋼連盟直接還元法分科会報告 44/3 その他)

4—5 LNGの寒冷利用

LNGは再ガス化の際の寒冷を利用して低温プロセスの冷媒として活用することができる。

それはLNGが再ガス化する際-160°Cから常温までの温度にするのにLNGkg当たり約200kcalの熱を他から奪うことができるからである。もちろんこの寒冷利用は温度の低い部分ほど高価で，液酸，液窒の製造，ウェットガスの場合のエチレン回収などは優れた利用法であるが，この他には，MHD発電の磁極冷

却用ヘリウムの冷却，液体水素の製造などが考えられる。そしてこれらは，いずれもLNGの使用について再ガス化能力などとの量的バランス，立地条件を考える必要がある。しかし再ガス化費用の間接的な低減に結びつくことであり，今後この分野の研究や開発は積極的に進める必要がある。

5. あとがき

LNGはイオウを含まないこと，ポータブルであること，さらに埋蔵量も十分あり，エネルギー資源とし

て優れた性質をもっているので、大量導入してエネルギーとして消費することは、わが国のエネルギー政策上、その資源の多様化、産地の分散化、さらに公害対

策上からも大いに利益をもたらすことは予想できる。しかもわが国をとりまくLNGの供給可能国の総埋蔵量は、表4から、現在でも約8兆 m^3 になり、これは

表4 わが国に対するLNGの潜在供給源(天然ガス埋蔵量)

地 域(国)	埋蔵量概算($10^9 m^3$)	備 考
ア ラ ス カ	404.5	別にノースロープでは現在でも8兆 m^3 の推定埋蔵量がある。
カ ナ ダ	1,295.0	西部諸州の埋蔵量のみが対象
中 東		
アブダビおよび中立地帯	322.4	商談進行中
クウェート	940.5	
イ ラ ン	2,687.0	
イ ラ ク	564.3	
パキスタン		
東	264.6	
西	375.0	
ボルネオ(ブルネイ)	177.0	商談進行中
インドネシア	53.7	現在は対象とならないが、将来新発見が期待される。
大 洋 州		
ニューギニア(パプア)	64	なお今後の新発見が期待されている。 最近海域の新発見が伝えられている。
オーストラリア	475	
ニュージーランド	不明	
ソ 連		
シベリア東部(ヤクーツク)	238.6	1968年現在
サ ハ リ ン	70.1	"

(出典：天然ガス鉱業会)

1985年のわが国におけるLNGの推定消費量を1,000億 m^3 としても、約80年分あることになる。これらの導入は、最終的には、原油との価格対照、資源の見通し、あるいは対公害資源としての評価によつて決められることであろう。しかし資源の貧しいわが国でこれを放置しておく必要はなく、積極的に利用するよう努力しなければならないと思う。

それには、LNGの総合的利用体系を確立し、大量需要家は、それぞれのビルドアップの度合、量、利用条件などを考え、コンビナート化できるなら全体的にバランスのとれた共同購入あるいは共同使用を考えるべきである。また自動車燃料への利用、超音速旅客機あるいは大型ヘリコプター燃料への利用が実現するこ

ろには、東京や大阪といった限定された場所だけでなく、日本の各地にLNGの基地ができなくてはならない、LNGがエネルギー資源として確固たる地位を確立することが将来実際にできた場合は、先述したように1985年頃には数千万 t ものLNGが導入されることも可能であり、このためには新しいLNGの用途の積極的な開発によつて、その導入規模の増大をはかるべきであろう。

文 献

- (1) 液化天然ガス研究委員会報告—昭和45年
通商産業省鉱山石炭局液化天然ガス研究委員会
- (2) 第2回国際LNG会議報文集—1970

Present Status and Future Aspect of LNG

by Masanobu Nojiri

(Tokyo Gas Co., Ltd.)

SYNOPSIS:— LNG (Liquefied Natural Gas) has recently been footlighted in Japan as a new non-pollution fuel. Since 1969 Tokyo Gas Company has been importing 960,000 tons of LNG per annum from Alaska for city gas production and electric power generation. Another project is contemplated to import about 4,000,000 tons of LNG per annum from Brunei. These schemes have brought on LNG age to Japan. However there are several problems which interrupt LNG from becoming a main source of energy : firstly, the higher price compared to those of competitive fuels, which could be solved by importing large quantity to acquire scale merit and also utilizing coldness and latent heat, and secondly, necessity of wide use of LNG and its technical development. The author focusses his discussion on these points.