

期待の高まる天然ガス利用

地球環境にやさしいエネルギー源として、天然ガスが注目されている。日本では天然ガスの需要が徐々に増加しているが、そのほとんどは海外からLNG (Liquefied Natural Gas、液化天然ガス)として輸入している。今後、天然ガスの利用を拡大していくために、期待されているのが天然ガスを改質した液体燃料製造技術である。2010年ごろには液体燃料化プラントの商業運転が世界的に本格化することが見込まれており、これに向けて現在世界各国で実用化に向けた研究開発が進められている。

世界最大のLNG受入能力を持つ東京ガス・袖ヶ浦工場
(写真提供:東京ガス(株))

豊富な資源量を持つ天然ガス

2005年8月、アメリカ・メキシコ湾岸を大型ハリケーン「カトリナ」が襲った。この地域は石油関連施設が密集する地域であったことから、原油価格は一時70ドル/バレルを突破する事態となった。その後いったんは下がったものの、イランの政情不安を巡る原油供給懸念などの要因から2006年4月には、終値で初めて70ドル/バレルを超えた。その後、世界的な原油価格高騰は長期間にわたって続き、日本でもさまざまな影響が出ている。

日本は1973年の第一次オイルショックで、原油価格の高騰と石油供給断絶の脅威を経験しており、その後のエネルギー政策では、石油依存度を低減させると同時に、石油に代わるエネルギーの導入を図ってきた。なかでも期待されているものの一つが天然ガスである。日本のエネルギー供給全体に占める天然ガスの比率は年々増加しており、現在は全体の14% (2003年)を占めるまでになっている。

天然ガスは、メタンを主成分とする可燃ガスで、地中のガス田から採取される。天然ガスの特徴の一つは、資源の豊富さである。天然ガスの資源は、ロシア、アジア、太平洋周辺などに豊富に存在している。可採年数67年といわれ、石油の可採年数約40年を上回る。天然ガスは石油より深い地層に存在する場合が多く、

天然ガスと他のエネルギーにおける燃焼時の排出量比較

(石炭を100とした場合)



(資源エネルギー庁資料より)

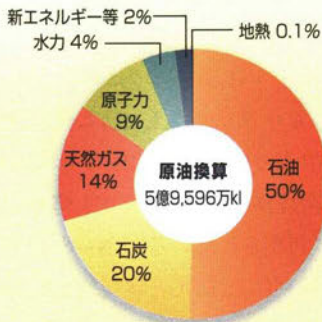
今後さらに多くのガス資源の発見が予想される。また通常のガスの形態でなくとも、炭田に含まれる炭層メタンや海底下に存在するメタン・ハイドレート*など、形態が異なる天然ガス資源も多く存在すると期待されている。

世界一の天然ガス輸入国、日本

天然ガスを輸送するには、欧米ではガスの状態のままパイプラインを利用している。これは、ガス田から利用地までの距離が比較的近いためだが、日本国内には天然ガス資源がほとんどないため、海外の天然ガスをLNG (Liquefied Natural Gas、液化天然ガス)に変換して輸入している。天然ガスは沸点の-162℃以下に冷却すると液体となり、体積は約600分の1になる。

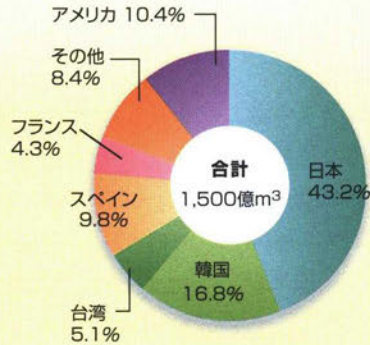
*メタン・ハイドレート：水分子46個が形成する籠(ケージ)状の格子の中にメタン分子8個を取り込んだ包摂物。1m³のメタン・ハイドレートが溶けるとメタンガス172m³と水0.82m³になる。

日本の一次エネルギー供給 (2003年)



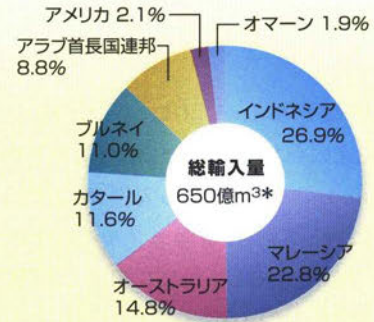
(「総合エネルギー統計」資源エネルギー庁より)

世界各国のLNG輸入量 (2004年)



(BP統計より)

日本の天然ガス輸入先 (2004年度)



*5,802万トン(石油換算)に相当
(財務省「日本貿易月表」より)

世界の天然ガス輸入量は6,801億m³(2004年)である。このうちLNGの輸入量は1,500億m³であり、LNG輸入量全体のうち日本は43%を占め、世界トップである。また日本、韓国、台湾のアジア各国が全体の3分の2を占めている。日本へのLNGの主な輸入先は、インドネシア、マレーシア、オーストラリア、カタール、ブルネイなどで、日本が使用する天然ガスの約97%はこれらの国からのLNG輸入に頼っている。

天然ガスは、CO₂、NO_xの含有量がきわめて少ない。また天然ガスは、脱硫などの前処理をした後に液化されLNGとなるので、燃

焼時にSO_xがほとんど発生しないため、クリーンエネルギーとしての普及が期待されている。

日本におけるLNG需要は、電力用が約7割、都市ガス用が約3割である。LNGを電力用(火力発電用燃料)に使用する場合、発電にかかるコストが石油火力よりも少なくてすむ、LNGの供給安定性がすぐれている、電力需要の変動に対応しやすい、などの特徴がある。

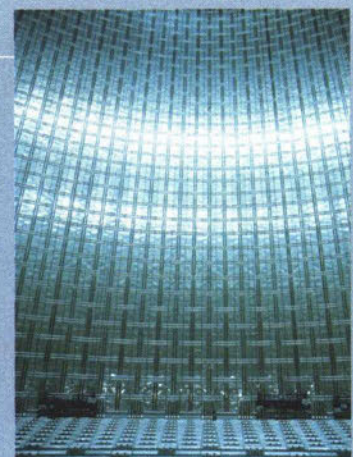
天然ガスを都市ガスに利用する場合の特徴は安全性が高いことであり、空気より軽いためガス漏れしても大気中に拡散しや

LNGタンカーや受入基地で使用される材料

LNGタンカーに要求される性能は、-162℃の低温に耐え、タンク内外の温度差でも安全であること、万一LNGが漏れても安全性が保たれること、などである。タンクに使用される材料はタンクの型式により異なり、ステンレス鋼の薄板を使用し、温度変形を吸収するしわがつけてあるメンブレン型、アルミニウム合金板の球形タンクであるモス型などの種類がある。

LNG受入基地の低温配管材料として、36%ニッケル鋼が使用されている。36%ニッケル鋼は、

線膨張係数がSUS304の約10分の1と非常に小さい特徴があるが、以前は溶接が困難などの理由から使用されていなかった。これを解決するため、タンタルを添加した溶接材料が開発され、これによりLNG配管の途中に、熱収縮を吸収するためのループをつけるなどの必要がなくなっている。またタンクには地上式と地下式があり、9%ニッケル鋼やアルミニウム合金などが使用されてきたが、最近では36%ニッケル鋼が使用された地下タンクも建設されている。



LNG地下タンクの内部 (SUS304使用)
(写真提供: 東京ガス(株))

●代表的なLNGタンカーの型式



メンブレン型

モス型

SPB型

●36%ニッケル鋼とSUS304の特性比較

材 料	主要成分 (%)		線膨張係数 (×10 ⁻⁶ /℃)	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)
	Ni	Cr				
SUS304	8	18	14.0	520	205	40
36%ニッケル鋼	36	—	1.4	440	240	30



LNGを産出国から輸送するLNGタンカー（モス型）。安全性を考慮して二重構造となっている。（写真提供：東京ガス（株））

すいので、爆発事故が起りにくい、COを含まないためガス中毒がない、などの点である。また、発熱量が高いことも大きな特徴である。都市ガス原料に占める天然ガスの割合は93%（2005年3月現在）に達しており、資源エネルギー庁のIGF計画（ガス種統一計画）では、2010年を目標に可能な限り天然ガス化を推進していくことになっている。

今後、クリーンエネルギーとしての天然ガスへの社会的要請が高まるのに伴い、他燃料から天然ガスへの転換や、ガスコージェネレーション*、ガス冷房の普及が見込まれる。また、将来的には自動車用燃料や燃料電池などへの利用の可能性が大きく、天然ガス需要はますます伸びることが期待されている。

天然ガスを効率よく輸送、貯蔵、利用する

それでは天然ガスは、産出国から日本で利用されるまでにどのような道程を経るのだろうか。

天然ガス産出国では、天然ガスを異物の除去、脱硫、脱水などの前処理を行ってから、液化プラントで数段階に分けて冷却、液化を行いLNGとする。これをLNGタンカーで輸送する。LNGタン

カーの種類にはメムレン型、モス型などの種類があり、安全性を考慮して船体とタンク構造との二重構造になっている。タンク材料にはステンレス鋼やアルミニウム合金などが使用されている。（3ページコラム参照）

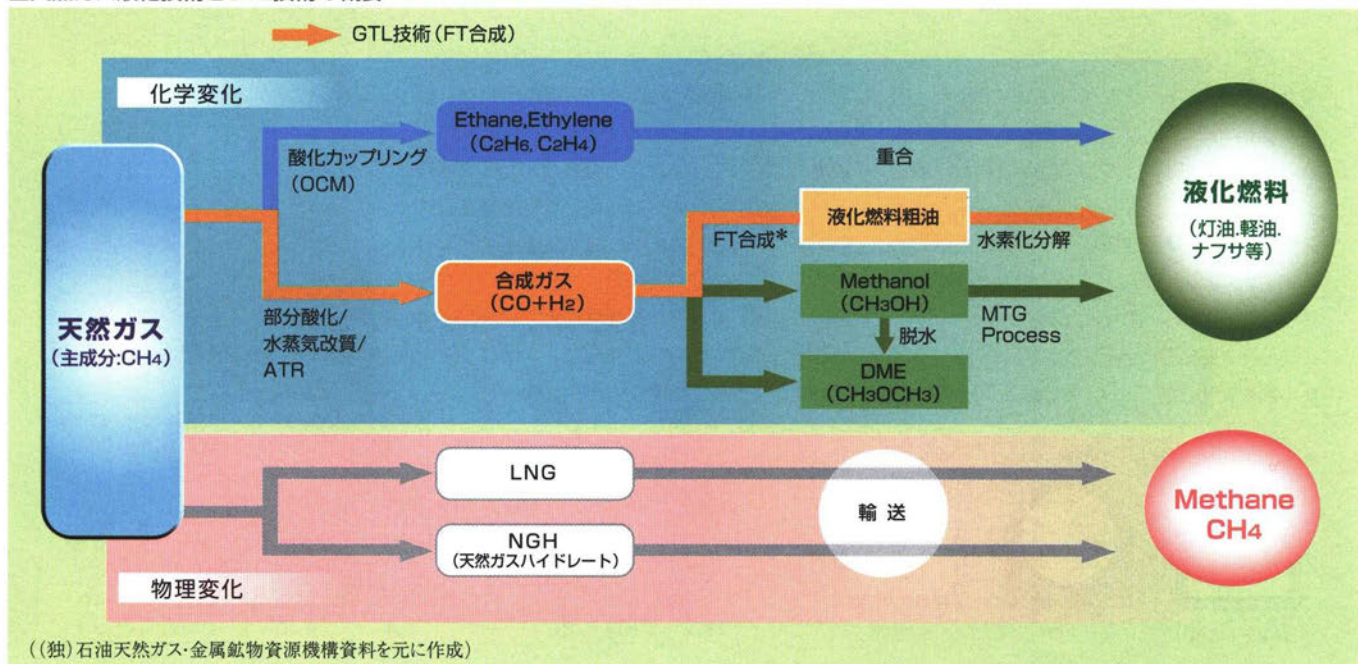
LNGは、受入基地でタンカーからLNGタンクに移送され、貯蔵される。これを必要に応じて気化器に導入してガス化し、その後熱量調整工程などを経て、都市ガス用、発電用として利用される。

LNGをガス化する際、通常は海水を熱源としているが、このとき得られる冷熱が積極的に利用されている。LNGの冷熱利用には、LNG受入基地での直接利用と、LNGと熱交換した冷媒（液体窒素や液体炭酸ガスなど）によって遠隔地で利用する間接利用とがある。直接利用では、空気液化分離による液化酸素・窒素の製造や液化炭酸・ドライアイス製造、冷凍倉庫、冷熱発電などがあり、冷熱発電では、LNGを気化器でガス化するときにガスが膨張するエネルギーを利用して、タービンを回して発電を行う。間接利用には、液化窒素による冷凍食品製造、スクラップの低温粉碎などがある。また、LNG貯蔵タンク内へのタンク外からの入熱により、液の一部が蒸発したBOG（ボイルオフガス）を再液化して利用する技術の実用化も進んでいる。

実用化に向けて進歩する液化技術

天然ガスを化学変化によって、常温で液状の物質（灯油、軽油、ナフサ等）に変換する液化技術が注目されている。LNG化では、

■天然ガス液化技術とGTL技術の概要



*ガスコージェネレーション: ガスを使って発電すると同時に、排熱を給湯、空調、蒸気などに有効利用するシステム。

ガス産出地における液化、貯蔵、冷却やタンカーによる輸送、消費地における貯蔵等で高価な設備を必要とし、設備投資が大きくなるため、ガス産出量が大きい場合でないとコスト面で成り立たない。したがってガス産出量が小さい産出地の場合や、パイプラインの建設が困難な場合には、ガスの利用が著しく制限されるという問題点があった。

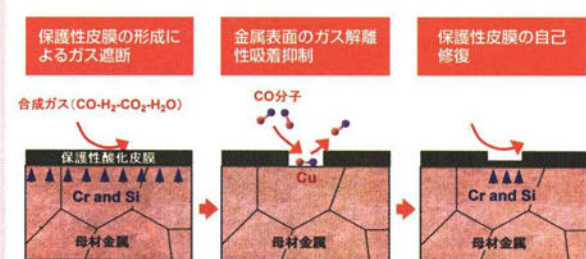
このような背景から大きな注目を集めているのがGTL (Gas To Liquids)技術である。これは、天然ガスから合成ガス($\text{CO} + \text{H}_2$)を製造し、FT合成*を経て液化燃料を作る技術である。世界初の商業規模のGTL製造プラントは、シェルによって1993年マレーシアに建設され、すでに灯油や軽油などに製品化されている。また2005年愛知万博のシャトルバスの燃料としてGTL混合軽油が使用されている。すでに世界の石油メジャー企業などにより、さまざまなGTL技術が開発されている。

日本では、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)を中心とした研究が行われ、2001～2004年には民間企業との共同研究によりJOGMEC-GTLプロセスが開発された。JOGMEC-GTLプロセスの大きな特徴は、 CO_2 が含まれている原料(天然ガス)を使用することが可能なことである。従来の合成ガス製造技術では、原料に CO_2 が含まれていると生産(燃焼)効率が落ちるためあらかじめ CO_2 を除去する必要がある。これに対し天然ガスに CO_2 が20～30%程度含まれる場合でも、JOGMEC-GTLプロセスは合成ガス製造においてスチーム/ CO_2 リフォーミング法を採用しているため、 CO_2 を除去することなく原料として利用できる。このプロセスでは原料ガス組成で合成ガスを製造することが可能な触媒を開発し使用している。すでにパイロットプラントにおいて、高圧(2MPa)下で6,500時間を超える連続運転という世界最高レベルの運転能力が実証されている。

■耐メタルダスティング性を持つ高耐食性材料の開発

合成ガス製造装置では、合成ガス($\text{CO}-\text{H}_2-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系)中450～800℃で、装置材料がピット状の腐食を受ける現象(いわゆるメタルダスティング腐食)が起る。この腐食の原因として、C原子の母材中への侵入、拡散が考えられる

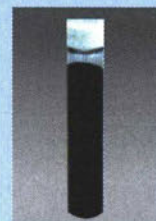
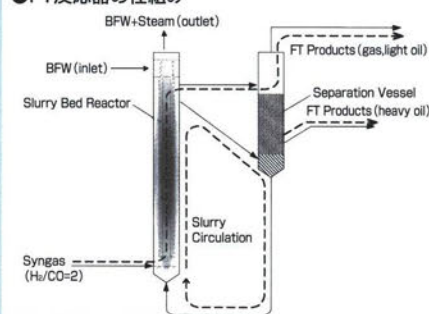
●メタルダスティング腐食抑制の考え方



■JOGMEC-GTLプロセスにおけるFT合成技術のパイロットプラント実証研究



●FT反応器の仕組み



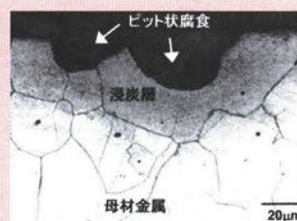
FT合成触媒
平均粒径:100 μm

JOGMEC-GTLプロセスにおけるFT合成技術の開発(2001～2003年実施)では、勇弘パイロットプラントにおいて開発触媒の性能と安定性の評価や、スラリー床反応器の性能の確認が行われた。反応器には、合成ガス組成、高温高圧の反応条件、流体状態などを考慮し、低合金鋼やステンレス鋼が部位に応じて使用されている。(資料提供:(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

使用部位に応じて検討された鉄鋼材料

JOGMEC-GTLプロセスの開発では、FT合成技術のパイロットプラント実証研究が実施され、合成ガスが通過しながら反応が行

ため、 CO ガスからのC原子の解離的吸着を抑制する元素を添加することが有効であるとする電子論的解釈から、腐食を防ぐ研究が進められている。これまでに、合金中のSiとCuを最適化することにより、既存合金では最高性能を持つNCF690TB合金(Ni-Cr鉄合金管)の5倍以上の耐メタルダスティング性を有する高耐食材料を開発中である。(資料提供:住友金属工業(株))



メタルダスティング腐食の一例
(断面観察)



耐メタルダスティング腐食性に優れた
高温高耐食性鋼管

*FT合成:Fischer-Tropschによって開発された、 CO 及び H_2 から触媒反応により液体炭化水素を得る反応のこと。

われるスラリー床反応器の性能の確認などが行われた。触媒の開発には、金属組織制御技術、セラミックス(炉材)制御技術、界面解析・制御技術などが活用され、Fe系を含む各種触媒が検討されたが、結果的に、高活性を発揮し高強度のCo/SiO₂系触媒が開発された。

FT合成反応器の材料は、原料の合成ガスの組成、流体状態(気相または液相)、温度や圧力の条件などに応じて検討された。使用材料の代表的なものには、高温高压化における水素侵食が少ないCr-Mo鋼などの低合金鋼や、耐孔食性や耐応力腐食割れ性にすぐれたオーステナイト系ステンレス鋼などがある。

JOGMEC-GTLプロセスのほかにも、天然ガスの液化技術として期待が高いのがDME(Di-Methyl Ether、ジメチルエーテル)合成技術である。DMEは、常温では気体で、-25℃以下で液体になり、プロパンガスと同様に取り扱うことができる。また人体への安全性が確認されているため、現在スプレー缶のフロン代替噴射剤として利用されている。

日本では高効率の合成ガスからのDME直接合成法の開発が

進んでいる。2002～2006年には世界最大規模(日産100トン)の実証プラントによる運転研究が実施され、研究終了までに約2万トンのDMEを生産し、安定した運転状態を保てることが確認された。

DME製造設備では、主要機器である反応器では、内部の熱交換器チューブ材にオーステナイト系ステンレス鋼、反応器胴板には高耐食性クラッド鋼が採用されている。反応器以外でも合成ガス成分(CO-H₂-CO₂-H₂O系)が原因となる応力腐食割れを防止するため、容器や配管にオーステナイト系ステンレス鋼などが使用されている。

GTLプラントの商業運転本格化に備えて

2006年6月、中東のカタールで日産3.4万バレルと世界最大の生産能力を持つGTLプラントが稼動した。GTLの大規模な商業運転プラントの計画は、世界の石油メジャーや合併企業によって次々と発表されている。2010年前後には日産7万～15万バレルの計画が6箇所以上稼動する計画が進行中である。またGTLプラント建設に積極的なカタールでは、2011年までにGTL生産量は日産39.4万バレルに達すると見られ、この量は日本の現在の1日あたり石油消費量(528万バレル、2004年度の場合)の7.5%に相当する。

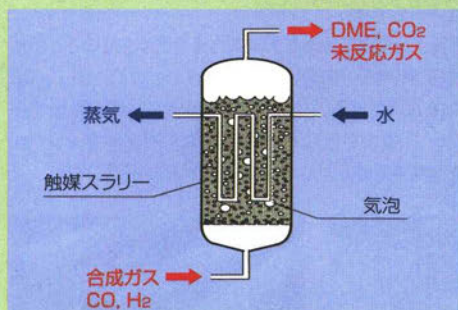
また、2009年商業運転を予定している日産7万バレルという世界最大のGTLプラント計画へ、日本のエンジニアリング企業が参画することがすでに決まっている。これは、日本企業の技術力が評価、信頼されていることの証しとも考えられる。もちろん、これが生産技術や設備の採用に直結するわけではない。日本で開発されたGTL技術が商業プラントに採用されるためには、試験プラントレベルから実証プラント(日産500バレル程度)で技術的コンセプトが認められ、商業運転での経済性が確認されることが必要となる。

天然ガスの需要の高まりとともに、新しいLNGプラント計画も進められている。また日本国内でも、新たな国産エネルギー源としてメタン・ハイドレートが注目されている。メタン・ハイドレートは、南海トラフ付近で経済産業省が2000年と2003年に行ったボーリングによって実際のメタン・ハイドレート試料の採取に成功するなど、日本周辺海域で資源の存在が確認されている。

エネルギー問題は、経済の発展や地球環境保護とも関連しながら、日本だけでなく世界が直面している問題である。この解決に、日本で培われたGTL技術やそれを支える材料技術が認められ、大きな役割を担っていくことを期待する。

●取材協力 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
●取材・文 杉山 香里

■世界最大規模のDME実証研究



世界最大規模(日産100トン)の運転研究が行なわれたDME実証プラント。反応器の熱交換器チューブ材には、鉄カルボニルを生成しにくいオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)が使用された。反応器胴板には、長期間にわたる水素侵食に対応する母材(1.25Cr+0.5Mo)とオーバーレイ材(SUS304)によるクラッド鋼が使用された。(資料提供:(有)DME開発)