

アジアをつなぐ パイプライン

資源小国である日本にとって、石油などのエネルギー確保は重要な課題である。今、日本の隣国であるロシアのサハリン島から、石油や天然ガスを運ぶパイプラインの計画が進められている。欧米ではすでに数多く建設されているパイプラインだが、経済成長を続けるアジア各国もこのような計画に注目している。新しいアジアの経済を支えるパイプライン計画の中で、日本の鉄鋼材料、技術がどのような役割を果たすのか大いに期待される。

パイプラインの敷設現場。長さ12m (40フィート) の鋼管を溶接し、何百kmというパイプラインが建設されていく。(写真提供: JFEスチール(株))

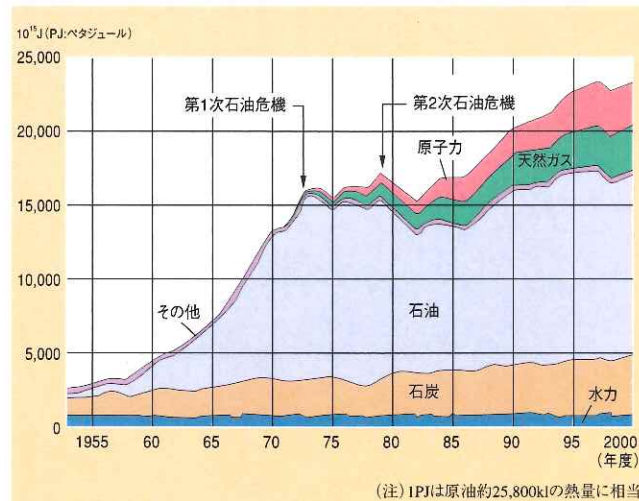
中東の石油に依存する日本のエネルギー

1973年、石油価格が暴騰した。ガソリンスタンドは店を閉め、消費者はトイレトペーパーを買い占めに走った。第一次オイルショックである。それまで、高度成長を続けてきた日本経済は大きな打撃を受けた。それから30年余りがたち、2003年には原子力発電所停止により電力供給への不安が現実のものとなり、至るところでエネルギー節約が叫ばれたのは記憶に新しい。

地球環境保護、二酸化炭素排出低減への取り組みが進み、新エネルギーへの注目が高まっているが、現在でも日本の主要エネルギーは石油である。日本の一次エネルギー総供給のうち、石油の占める割合、つまり石油依存度は約50%である。これは第一次オイルショック時の77.4%に比べれば低下しているものの、依然として大きな割合を占めている。

しかも日本の場合、使用する原油のほぼ100%を輸入し、その88%を中東地域に依存している。日本のエネルギーにとって中東情勢は目を離せない存在である。そのため日本政府は、石油

■日本の一次エネルギー供給実績 (「総合エネルギー統計」資源エネルギー庁より)



の備蓄、自主開発、産油国協力等の施策を進め、安定した石油供給構造の構築を図ろうとしてきた。

2003年10月、経済産業省は「エネルギー基本計画」を国会に

■サハリン1及び2プロジェクトの位置と鉱区



(サハリン1プロジェクトHPより)

報告し、当面するエネルギー政策の課題と対応策についての考え方を示したが、この中で「エネルギー安定供給」の柱として、原油の中東依存度の引下げ、原子力発電の推進と天然ガスの利用拡大を打ち出している。

そして今、この日本のエネルギー問題の解決に大きな役割を期待されているのが、ロシアのエネルギー開発である。

サハリン沖の資源を開発するプロジェクト

ロシアは、世界第一位のサウジアラビアに次ぐ豊富な石油埋蔵量を持つと言われ、旧ソ連時代から西シベリアなどで原油生産を進めてきた。1990年代前半には原油生産が低下したが、1999年以降、原油価格の高騰や欧米企業からの技術導入により大幅な増産体制を整え、原油生産量は年間3.8億t(2002年度)に達している。また天然ガスでは、世界最大の埋蔵量を保有する天然ガス生産国である。ロシアにとっては、石油や天然ガスの輸出は国家の経済成長に大きく貢献し、今後、日本、韓国、中国などアジア各国や米国の石油や天然ガスの需要の伸びに対応し輸出拡大を図れる効果が期待できる。

ロシア各地の石油・天然ガス開発事業の中で、今日本で話題となっているのがサハリン島の開発プロジェクトである。サハリンは、北海道から北方へ距離わずかに50km。日本から中東の距離13,000kmに比べれば極めて近い。この島の北部東岸を舞台に、1970年代から石油・天然ガス開発のプロジェクトが進められてきた。プロジェクトは2つあり、「サハリン1プロジェクト」及び「サハリン2プロジェクト」と呼ばれている。

サハリン1プロジェクトは、米国企業を操業会社とする米国、ロシア及び日本の企業による共同事業であり、現在探鉱段階であ

クリーンエネルギー源として注目される天然ガス

天然ガスとは、メタンを主成分とする可燃性のガスで、世界での確認残存埋蔵量は5,170兆立方フィート、可採年数は石油の41年に対し、天然ガスは60年以上と試算されている。天然ガスは、石炭、石油などのエネルギー資源に比べ重量あたり高カロリーを出すことができ、炭酸ガスの発生量が少ないため、クリーンエネルギーとして注目を集めている。また天然ガスの主成分であるメタンは、水素を自然界の資源の中で最も多く含んでおり、電気自動車や分散型発電などの燃料電池に必要となる水素を生み出すために不可欠である。

日本でも天然ガスの利用は徐々に増加しているが、一次エネルギーの中では現在13%を占めているにすぎない。世界全体では、天然ガス供給の割合は20%を超えており、日本でも今後天然ガスの確保が重要となることが予想される。

■一次エネルギーに占める天然ガスの割合 (Cedigaz資料より)



る。可採埋蔵量(現在の適切な技術・経済条件において今後採取可能と予測される埋蔵量)は原油約23億バレル(約3.7億 m^3)、天然ガス約17兆立方フィート(約4,800億 m^3)と推定される。今後、2005年末に原油生産開始が予定されており、すでに油田からロシア東岸の出荷基地までのパイプライン敷設が開始されている。天然ガスは2008年生産開始を目標とし、パイプラインで直接天然ガスを日本に送る計画が検討されている。

サハリン2プロジェクトは、日本及びイギリス、オランダの企業が出資する事業会社により1999年に原油生産を開始し、日本、中国、韓国、米国に出荷している。可採埋蔵量は原油約11億バレル(約1.7億 m^3)、天然ガス約18兆立方フィート(約5,100億 m^3)と推定される。2003年夏からLNG基地(2基で生産量年間960万t)の建設や、ガス田と基地(154km)、基地とサハリン島南端の積出し港(約800km)までの各パイプライン敷設、港湾施設整備等を本格化し、すでに日本企業が2007年からLNGを購入する契約を結んでいる。

ロシアでは現在このほかにも、東シベリアのアンガルスからナホトカあるいは中国・大慶までのパイプライン敷設計画の検討なども進んでいる。

ちなみに、日本国内にある長距離パイプラインは、1962年建設の新潟—東京(ガス、331km)、1997年建設の新潟—仙台(ガス、251km)だけである。現在進んでいるサハリンのプロジェクトは、日本にとって初めての国際的なパイプライン建設のプロジェクトとして期待されている。

パイプラインに使用される鋼管

パイプライン(pipeline)とは、油やガスを輸送するために地上、地下あるいは海底面に設置される、パイプを連続的に接合したシステムのことである。

1865年、アメリカ・ペンシルベニア州の原油を輸送するために外径2インチの鋼管のパイプラインが世界で初めて建設された。19世紀後半にはアメリカでこのような小規模のパイプライン建設が行われ、1885年には天然ガスパイプラインも建設された。ヨーロッパでは、1940年代後半から1950年代にかけてイタリア、フランス、オランダで天然ガス開発が行われ、パイプラインの建設が始まった。長距離パイプラインは、1977年アラスカのプルドーベイ油田から積み出し港までの1,200kmのパイプライン建設から本格化した。

現在世界では、年間約27,000kmのパイプラインが建設されている。用途別の割合は、天然ガス用が6割、石油用が2割、その

他(ガソリンなど)が2割を占めている。また全体の9割が陸上パイプラインとなっている。

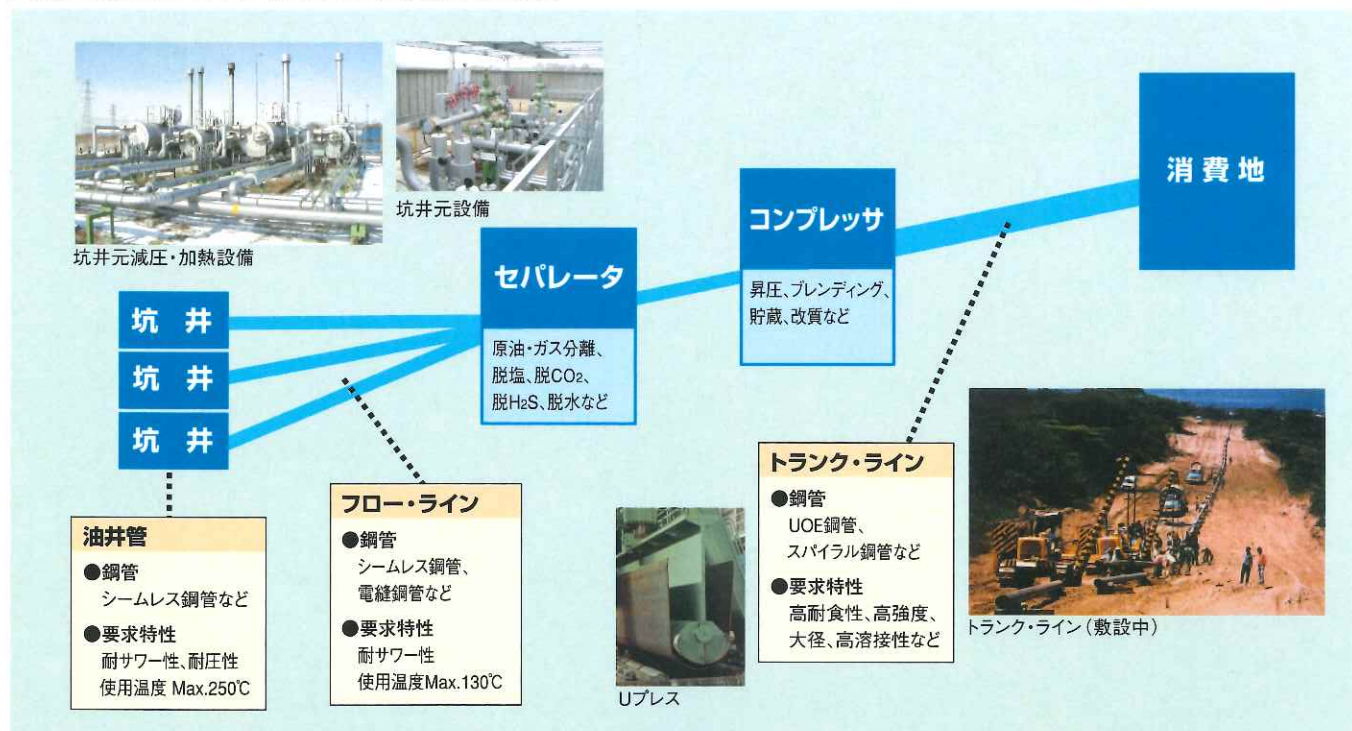
パイプラインは、外力、温度変化、風雨、火災などの影響を減らすために、日本では原則として地下に埋設される。パイプライン用鋼管はラインパイプと呼ばれ、建設時には、現場で順次溶接、X線検査をし、外面防食などを行ってから、埋設される。海洋では、船上でパイプを溶接しながら海中に投入しつつ、海底に敷設される。

油井・ガス井からの生産物を原油・ガス分離処理基地まで集め、運ぶラインをフロー・ラインと呼ぶ。フロー・ラインの内部は、液体と気体との混合流で、水分も混入している。フロー・ライン中の原油、ガスは、腐食性の不純物を多く含み、温度も比較的高い(最高130℃程度)。フロー・ラインでは、耐食性が要求される一方で、鋼管管径は比較的小さくてよいいため、シームレス鋼管が主に用いられる。シームレス鋼管は、フロー・ラインよりさらに上流の石油掘削用油井用鋼管としても一般的に使用されている。

基地に集められ分離・処理された原油、ガス、コンデンセート(地下で温度・圧力が高い状態で気体状である炭化水素が、地上で採取する際に常温・常圧状態になり凝縮した液体)は、幹線輸送のパイプラインであるトランク・ラインに送られる。ここでの鋼管管径は輸送流量に応じて決定される。輸送距離は長いものは数百kmに及び、ガスパイプラインでは数千kmに達するものもある。トランク・ラインで使用される代表的な鋼管はUOE鋼管(拡張により真円度を向上させたUO鋼管)である。これは、大径鋼管が製造可能であり、溶接部の信頼性が高いことなどによるものである。

最近のパイプラインの傾向として、ガス需要の増大に対応す

■石油・天然ガスパイプラインシステムと使用される鋼管



(写真提供:JFEエンジニアリング(株))

る輸送能力の増大、パイプラインの長距離化などが挙げられる。これに対応するため、ラインパイプへの要求特性は高度化し、製造技術も大きく進歩している。

高強度、高耐食性を支える材料技術

ラインパイプの基本的な性能基準は強度である。ラインパイプの国際規格であるAPI (American Petroleum Institute) 規格では、1948年に高強度ラインパイプX42からX65までが規格化された(数字はksi単位の降伏強度を示す)。現在一般的に使用されているのはX65だが、長距離パイプラインの建設に伴い世界的にはより高強度なX70の使用が増加している。現在のAPI規格の高強度ラインパイプ規格はX80までとなっている。

ラインパイプを高強度化すると、高圧操業が可能になり、同じ輸送量でパイプの小径化が図れ、使用鋼材量低減による経費削減につながる。またパイプラインの建設費(溶接材料低減、溶接パス数低減、埋設効率向上など)低減や、軽量化による現地までの輸送費低減、高圧化によるコンプレッサステーション(ガスの場合。原油の場合はポンプステーション)の操業費低減などが図れる。これらを考慮し、建設及び25年操業の場合の費用は、X65使用に対してX80使用で5%低減、X100使用で8.5%低減が見込めると試算されている。

高強度ラインパイプを用いるためには、安全性の観点から優れた低温靱性が、溶接施工能率の観点から優れた現地溶接性が求められる。しかしこれらの特性は鋼の高強度化とは相反する。これを解決するためX80ラインパイプの製造には制御圧延と加速冷却が適用されている。加速冷却は、制御圧延後オンラインで鋼板を冷却するものであり、これにより、より低成分な鋼を用いた高強度高靱性鋼板の製造が可能となる。高強度と高靱性の両立は、加速冷却による変態強化と組織の微細化によりもた

らされている。

ラインパイプにとって、耐食性の確保は重要である。石油や天然ガスには硫化水素などの硫黄化合物が含まれており、油井、ガス井に近いフロー・ラインなどの上流では含有量が大きく、また産出地によっても含有量が大きくなる場合がある。このような環境で使用されるラインパイプには耐サワー性(耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性など)が求められる。

耐サワー性ラインパイプは、鋼の清浄化(例えば脱硫技術、介在物形状制御、真空処理など)や組織の微細化(連続製造技術と制御圧延・加速冷却)により、硫化水素を含む環境下での水素進入による割れを防止したものである。1980年代末までにX65級までが開発、実用化された。

さらに厳しい耐サワー性を持つものとして、二相ステンレス鋼や13%クロム鋼が期待される。13%クロム鋼は、比較的高温高圧化での耐食性がよいなどの特徴を持ち、すでに油井管として広く用いられてきた。しかし、現地溶接性、溶接部靱性等に問題があり、これまでラインパイプには使用されていなかった。最近では炭素含有量の低下及びニッケル、銅の添加などにより溶接性と溶接部靱性が改善された13%クロム鋼ラインパイプが注目され、比較的小径のフロー・ラインへの適用が検討されている。

なおラインパイプでは、パイプ外面にポリエチレン樹脂などを被覆するが、内面は一般的には防食被覆はしない。そのため、ラインパイプの材質そのものの耐食性がパイプラインの信頼性を支えており、品質の良い鋼板を使用することが重要であると言われている。

■石油・天然ガスの開発に使用される鉄鋼製品の例



ドリルパイプ



掘削ビット



ドリルカラー (ドリルパイプ先端に用いる厚肉のドリルパイプ)



海上プラットフォーム (据付中)



超音波検査ピグ (パイプライン内を移動しながらパイプの腐食を超音波により検査する装置)

(写真提供:新日本製鐵(株)、帝国石油(株)、大同特殊鋼(株)、JFEエンジニアリング(株))

世界に向けて供給される日本のラインパイプ

2002年、カナダ・トランスカナダ社のパイプライン向けに、世界初のX100級ラインパイプの生産を日本のNKK(現JFEスチール)が開始した。高強度ラインパイプの開発は現在世界中で進められているが、その中で日本の技術の優秀性が明らかになった。現在では、ラインパイプへのニーズは高強度化、高耐食性などのみに留まらず、エネルギー開発の進展とともにいっそう多様化、高度化している。

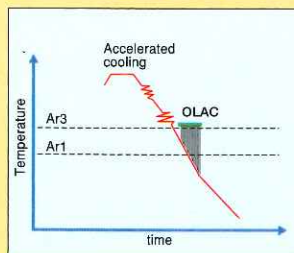
海底パイプラインは、これまで北海やメキシコ湾など水深250m程度までの海底を中心に建設されてきたが、最近さらに深海の海底パイプライン計画が増加している。このような計画に対応し、外圧や敷設時のパイプの座屈を防止するため厚肉ラインパイプの開発が進んでいる。最近の例では、ロシアから水深2,150mの黒海を横断する長さ350kmのパイプラインで、管厚外径比が5%以上と大きく、かつパイプのグレードもX65の高強度材を用いている。

また、パイプラインシステム全体の費用低減を目的として、適正鋼材の使用による低価格化のニーズが高まっている。つまり、高価格の過剰品質鋼材を選定するよりも、実環境を反映して最適な材料を選定するということである。このような背景から、サワー性が低い環境に適合したラインパイプや、二相ステンレス鋼などに比べ安価である溶接可能 13%クロム鋼などの適用が拡大することが予想される。

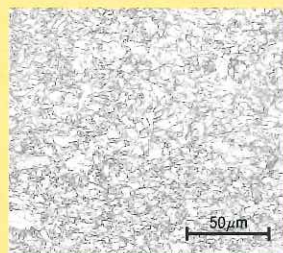
ラインパイプ選定の基準は流体の内圧だが、これだけでなく歪みを基準とした設計を行い、肉厚を薄くしてパイプ自体に変形能を持たせ、座屈を防止する設計が進められている。これは大規模地震時にも十分な耐震性を持つために重要であり、サハリンパイプラインなどを想定すると、このような耐震性・変形吸収能を考慮した高強度ラインパイプの材料設計が必要となる。例えば、鋼材の加工硬化能を向上させて高座屈性を持つラインパイプの開発も行われている。

■厚鋼板の加速冷却システム

厚鋼板の加速冷却システムで、制御熱間圧延後、室温まで放冷することなくオンラインで水冷する技術が実用化されている。これにより、結晶粒の微細化による高強度化、低炭素化による溶接性向上などが図れ、パイプライン用鋼管用鋼板などの製造に使用されている。(資料提供:JFEスチール(株))



制御圧延—加速冷却プロセス



制御圧延—加速冷却による微細組織
(0.05%C-1.2%Mn)

■アジアにおける主なパイプライン計画

ロシアをはじめアジア各地で長距離パイプラインの計画がある。



現在、世界の高級大径ラインパイプ(UOE鋼管など)の市場は年間約300万tといわれているが、ラインパイプ製造はヨーロッパと日本が中心であり、その4割以上を日本製ラインパイプが担ってきた。

国内のラインパイプ需要はこれまでほとんど無かったことから、日本のラインパイプは海外に市場を求め、海外の多様な環境に対応する性能、品質を提供してきた実績を持つ。しかもラインパイプ以外にも油井、ガス井関連製品や海洋掘削リグ、各種設備など、日本の鉄鋼製品への期待はますます高まっている。また、ラインパイプの建設や掘削、処理、貯蔵など、日本には広範な経験と技術が蓄積されている。

すでにサハリン2プロジェクトの天然ガスパイプラインでは、全長1,600kmのうち900kmに日本製のラインパイプが採用されることが決定した(約33万t)。今後、エネルギー需要の大幅増大が予想される中国、タイ、マレーシア、インドなどのアジア各国においても、日本の鉄鋼製品・技術が担う役割は大きいに違いない。



世界最高強度のX-100グレードのパイプライン建設工事(カナダ)。世界初の同グレード生産にはSuper-OLAC(NKKの厚鋼板加速冷却システム)が適用された。(資料提供:JFEスチール(株))