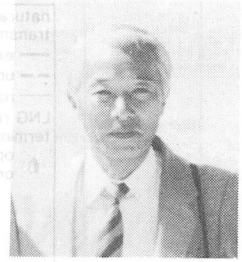


■ 展望・解説 ■

天然ガスパイプラインの現状と技術課題

The Current Status of Natural Gas Pipeline System and its Key Technology in Japan



江 川 堯*
Takashi Egawa

1. 世界の天然ガス輸送の実態

世界における天然ガスの一次エネルギーとしての位置付けは、天然ガスの残存寿命が確認埋蔵量に対して現在の消費量を基準として50数年、更に追加発見分をも考慮すると約160年とも言われる膨大さを背景として石油・石炭・原子力と並ぶ有力エネルギーであり、世界の一次エネルギー消費量の約21% (1.8兆m³) に達している。主要先進国の一次エネルギーに占める天然ガスの比率は図-1に示すとおり我が国は最も低い10%程度である。この理由の一つとしては、欧米で発達している幹線ガスパイプラインの未整備が挙げられている。主要各国・地域の幹線パイプライン敷設距離は表1に示すとおりである。米国における天然ガスパイプラインの発展は非常に早く1930年には1,000kmないし2,000kmに達した。1950年代には建設ラッシュとなり今日の基礎を築き上げた。北米の幹線パイプライン網の充実さについては、敷設図に示すとおり主要生産地と主要消費地を結ぶラインを骨格として縦横に張り巡らされており、エネルギーインフラストラクチャーとして極めて重要な位置を占めている。米国では天然

表1 主要各国・地域の幹線パイプライン敷設距離

北 米 (米国及びカナダ)	550,000km
英 国	17,000km
フランス	25,000km
西 独	8,400km
オランダ	11,000km
イタリア	20,000km
共産圏 (ソ連を主体とする)	240,000km

ガスの年間消費量約5,600億m³の全量が幹線パイプラインで輸送されておりさらに天然ガスの消費量が伸びつつある中、1987年には14,000kmに達する幹線パイプラインの敷設計画が報告されている。一方欧州について見ると、幹線ガスパイプラインの歴史は米国より新しく、1960年代に入ってオランダのグローニンゲン大ガス田の開発から始まる。オランダでは天然ガス化政策を進めるためにGASUNIE社を設立し国内のパイプライン網の整備を進める一方、膨大な埋蔵量を背景に西欧諸国への供給を開始した。その後、北海、ソ連そして北アフリカからの供給も開始され、一大パイプライン網が形成されており、図-2に示すとおりその総延長は北米に匹敵する約550,000kmに達している。欧州の特徴としては複数の異なる産ガス国から供給される天然ガスを国際間のパイプライン網で供給する体制が形成されていることであり、相互融通等の協調がなされている。この国際天然ガスパイプラインシステムは西欧各国間の緊密な協調の産物として、経済的でしかも広範に分散された供給源を持つことによるセキュリティの確保に寄与し、天然ガス輸送オペレーション上の最適化を計っている。欧州全体として天然ガス消費量の92%は幹線パイプラインで輸送されている。

また、天然ガスの流通を更にグローバルな観点から見ると総生産量の12%、約2,200億m³が輸出されており、この内76%が幹線ガスパイプラインで輸送され、残り24%が日本・ヨーロッパ向けにLNG船で供給されている。この様に天然ガスの輸送形態としては幹線

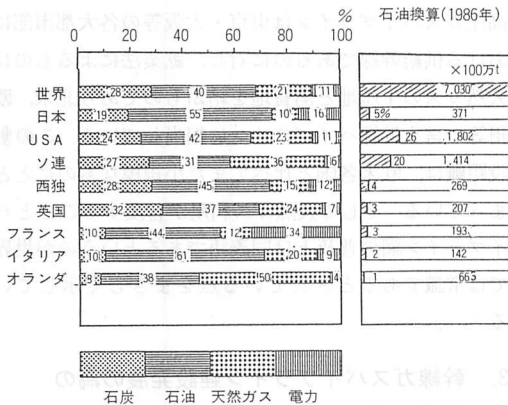


図-1 主要国一次エネルギー消費量

* 石油資源開発(株)仙台パイプライン建設推進室長
〒107 東京都港区赤坂2-17-22 赤坂ツインタワー東館

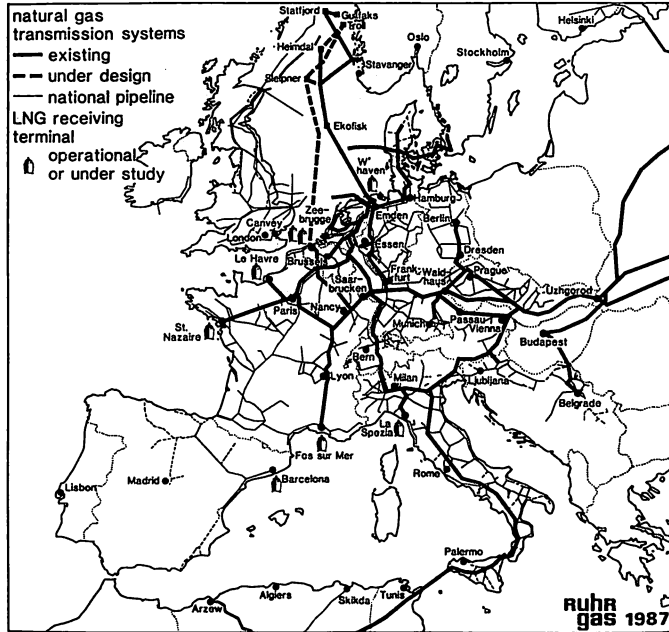


図-2 欧州国際天然ガスパイプラインシステム

ガスパイプラインが普遍的な方法となっている。更にガスパイプラインの将来性について見ると、敷設技術の発達により陸上のパイプラインでは単一パイプラインで5,000km以上に達するもの、圧力としては84気圧に及ぶもの、口径面では56インチ(1,420mm)に達するものが出現している。海底パイプラインについては北海のガス田開発を契機に急速に発展しており、1977年に敷設された北海ノルウェー領のEkofiskと西独Emdenを結ぶ36インチ、440kmの天然ガスパイプラインや、Frigg Fieldから英国St. Fergusまでの360km 2条のライン等があり、さらにアルジェリアとイタリアを結ぶTrans Med Pipelineは水深600mの地中海を横断しており、アルジェリアからスペイン向けには水深2,500~3,000mの地中海横断が検討されるなど、技術の進展に伴い益々発展しつつある。

なお、このような幹線ガスパイプラインの発展の歴史の中で取られた米国、欧州各国の政策、流通機構の変動、実態については筆者の報告書¹⁾等を参照していただき本稿では触れないこととする。

2. 我が国の幹線ガスパイプライン

我が国では昭和30年代後半から新潟県下で生産される天然ガスを化学工業原料や都市ガス用として供給するためにガスパイプラインの建設が行われて来た。昭和37年には帝国石油(株)が新潟・東京間に延長304kmの東京パイプラインを建設し長距離輸送時代を迎えた。

当社においても吉井、藤川、片貝、東新潟、紫雲寺、新胎内等各ガス田を結ぶ形でガスパイプラインの建設を行い発電所燃料、化学工業原料、都市ガス用向けに供給を行って来た。当社をはじめとする鉱業法による圧力10kg/cm²以上の高圧幹線ガスパイプラインの敷設実績は約900kmとなっている。一方大手都市ガス会社も製造ガスから高カロリー、無公害の天然ガスへ転換を計るにあたり高圧ガスパイプラインの建設を推進した。ガス事業法による高圧ガスパイプラインの敷設距離は約1,000kmに達している。従って我が国では両者およびその他のものを含め約2,000km程の幹線ガスパイプラインが敷設されている。ガス事業法による高圧ガスパイプラインは東京・大阪等の各大都市部における供給幹線であるのに対し、鉱業法によるものは天然ガスの生産地と消費地を結ぶものであり北米、欧州等と言う幹線パイプラインに相当している。この敷設距離は、欧米各国と比べてまだ小規模なものにとどまっている。そして天然ガス利用が普及することとパイプライン網の普及とは同義語であるというのが世界では常識であるとされている点をまさしく示している²⁾。

3. 幹線ガスパイプライン建設発展のための技術課題

幹線ガスパイプライン建設の期待を現実のものとする技術的手段として、高度の安全性確保および建設コ

ストの低減は不可欠の課題である。昨年ソ連で発生したLPGパイプラインの爆発事故は鉄道を巻き込み多数の死者を出したため当社をはじめガスパイプラインの建設・操業を行っている事業者にも思わぬ波紋を与えた。それはパイプラインという極めて安全な輸送手段に対して誤った不安感を一般市民に与えたことである。幹線ガスパイプラインの建設を促進させる為にはまず第一に高度の安全性が確保されることであり、そしてその中で建設コストの低減が計られなければならない。

3.1 幹線パイプラインの安全実績

天然ガスパイプラインの安全性について考える場合パイプラインを機能面から分類する必要がある。個々の消費者へ配分するラインは、パイプラインの分類上からは配給ラインであり、世界の天然ガス輸送の実態で記述したラインは幹線ライン又は輸送ラインである。配給ラインは個々の消費者への供給を行うことから地域的には限られた範囲の中で比較的低圧力で小口径から大口径まで広く分布し、その敷設距離は幹線ラインよりはるかに上廻っている。一方、前述した様に幹線パイプラインは生産地と消費地、又は消費地間を高圧力で長距離輸送するのが特徴となっている。従って、幹線パイプラインは天然ガス輸送の動脈に相当するものであり、安全安定輸送が極めて重要となっている。この様な観点からガスパイプラインの歴史が古い欧米では幹線パイプラインの安全度をより高める為、事故分析を詳細に実施して来ており、種々の統計データとしてまとめられている。統計データの一つは米国のDOT, OPSR (U.S. Department of Transportation, Office of Pipeline Safety Regulation……運輸省パイプライン安全基準室)の報告である³¹⁾。その報告によれば、敷設年代不詳及びパイプの外面塗覆装、電気防食の不採用のものも含め、1984年の時点で事故発生率が年間1,000km当り0.73件となっている。事故原因別に見ると外部からの力によるもの53.5%、材料の欠陥によるもの16.9%、腐食によるもの16.6%、建設時の欠陥によるもの4.8%、その他8.2%となっており、外部からの力によるもののうち67%は第三者工事によって発生している。第三者工事による損傷が第一原因となっていることについては、英国、カナダそして欧州における事故統計とも一致している⁴³⁾⁵³⁾⁶⁾。又、パイプラインの敷設年代、口径、肉厚に着眼すると敷設年代の新しいものほど事故発生率は小さくなり、1980年代に入ると0.32件/1,000km/年間となり全体の事故発生率の半分以下となる。パイプライン口径で

は6インチ(150mm)以下、肉厚0.4インチ(10.2mm)未満に第三者による損傷事故が集中している。これは埋設位置が不明である例が多いという理由の他、小口径管そのものが強度的に弱いためである。逆に肉厚については0.4インチ以上となると事故件数は激減しており、損傷事故を防止し得る大きな要素となっている。また肉厚0.4インチ以上の場合、材質、施工時の欠陥が事故原因の第1位を占めることから材料・溶接・検査の品質管理が重要となっている。この点については欧米のパイプライン施工法と関連があり、後述する。他の統計データとしてはA.G.A (American Gas Association……米国ガス協会)がエネルギー輸送手段別の安全比較を実施しているがDOT, OPSRの結論と同様、配給ラインを含むパイプラインが最も安全であり、中でも幹線パイプラインが更に優れているとしている⁷⁾。近年西ヨーロッパにおいて一大パイプライン網が発達して来た理由として高い安全実績が広く認められていることが挙げられる。

一方国内の幹線パイプラインについて見ると公的な機関からの統計データは得られない。しかしこれは事故そのものが極めて希であるため、通産省立地公害局鉱山課によると昭和24年の鉱山保安法施行以来、ガスパイプラインに関連した死亡災害は1件も発生していない。当社の社内統計でも昭和40年以降5件の第三者工事による損傷を含め現在に至るまで、合せて計7件の損傷があったがいずれも軽微で供給中断をする必要性はなかった。この様に海外・国内の事故例を分析すると第三者による損傷という共通点があり克服しなければならない課題と言えるが保守管理体制の徹底をはじめとし欧米での教訓を生かし、パイプラインの路線選定、設計、施工、運転の各段階において夫々なすべき事を確実に実行すれば長期に亘り高度の安全性を保つことができる。昨年発生したサンフランシスコ地震はあらためてライフライン施設の重要性と地震に対する安全性の問題を認識させた。我が国も有数の地震国であり、埋設管の耐震性は極めて重要な技術課題である。昭和30年以降に敷設されたガスパイプラインはこれまで大地震として昭和39年の新潟地震、昭和53年の宮城県沖地震を経験した。これ等の災害記録によればいずれも突合せ裏波溶接で施工された高圧ガスパイプラインにほとんど被害がなかったことが報告されている^{8),9)}。昭和30年代の高圧ガスパイプライン溶接施工は、現在の施工・検査技術より劣っていたにもかかわらず被害がなかったことは特筆されるべきであろう。

現在の高圧ガスパイプライン溶接部は全てについてX線撮影等の非破壊検査を実施しており、安全度はさらに高まっている。

3.2 欧米のパイプライン施工法と建設コスト

パイプライン敷設計画に対して必要性、公益性の面から政府機関の認可を得ると、パイプラインのルートが確認する。パイプラインルート沿いに通常10～20m幅のRight of Way (ROW, 地役権) が設定されパイプの敷設権、維持管理のための立入権を有し、建造物の建設、植樹等が認められなくなる。ROWの獲得は環境保護の面での反対運動が若干存在する様である。各国とも最後の手段として土地収用法の適用があるが発動された例はないようである。土地所有者、住民の理解が得やすい環境にある。

この様な中で、パイプライン工事はその大部分をスプレッド工法で行う。スプレッド工法は、長大パイプライン建設に世界的に広く使われている工法で、スプレッド (Spread) とはパイプライン建設に携わる設備と人間の集合を意味する。スプレッド工法は大きく分けてROWの伐開 (Clearing), ROWの整地 (Grading), 掘削 (Ditching), パイプの運搬・配列 (Unloading, Hauling and Stringing), 溶接 (Welding), 塗覆装 (Joint Coating), 検査 (Inspection), パイプの吊り下し (Lowering in), 埋戻し (Backfilling), ROWの跡片づけ・復旧 (Cleanup) の一連の工程があり、その他にも状況に応じてパイプの現場曲げ (Bending), 塗覆装 (Priming and Coating), 道路横断及び河川横断 (Road crossing and/or River crossing) 等の工程を有する。そしてそれぞれが専門作業となり、数マイルに渡って各グループが連続的に展開しながら高速度のパイプライン施工を実現する施工法であり、大規模なパイプラインになると作業員も数百名に及びまたそれに伴い、必要な建設機器も膨大なものになってくる。しかも、作業効率をあげるため手待ち時間のないシステムが取られるので作業速度も速く1日に1～2マイル (約1,600m～3,200m) の速度で建設が進められていく。スプレッド工法の場合は土木工事に対して全くと言って良い程制限がなく、従ってこの工事の進歩は溶接速度に支配される。米国ではパイプラインの溶接に高セルロス系被覆アーク溶接棒による下進溶接を行っている。26インチのパイプライン施工の例では4層の溶接を次のような人員、機械構成で実施している。

・初層 (Stringer Bead)

溶接工 4名

ヘルパー 4名

溶接機 5台

・第二層 (Hot Pass)

溶接工 2名

ヘルパー 2名

溶接機 5台

・第三層 (Filler Bead), 第四層 (Cap Bead)

溶接工 各1名

ヘルパー各1名 } ×10数組

溶接機 各1台

初層ルートパスの溶接はウィービングを行わないいわゆるストリングビードでこの速さにより1日の溶接進捗状況が決定される。従って最も優秀な溶接工が行うことになるがその溶接速度は約50cm/分程度で、26インチを4人で約1分間で溶接するほどである。開合せを含めても約2～3分間で終了する。続いて第2層以降の溶接が連続的に行われる。この様にスピードの面で圧倒的に優る溶接方法が採用されて来ているが、我が国では行われていない。我が国ではパイプラインのような重要な構造物に対して機械的性質の優れた低水素系溶接棒による上進溶接が用いられている。高セルロス系下進溶接は低水素系上進溶接に比べて立向下進溶接ができることで溶接速度は格段に優れているが、ブローホール、溶接割れなどの溶接欠陥が出やすいことや、機械的性質が劣るなど、品質の面で劣る。米国の事故原因のうち4.8%が建設時の欠陥によるものであるが、この中の57%は溶接欠陥が占めている。従ってパイプラインの安全性を考える時、建設時の溶接の品質について十分信頼できる施工法を採用することが肝要である。また品質管理上、溶接検査が重要である。米国API規格とJIS Z3050を比較すると表2の

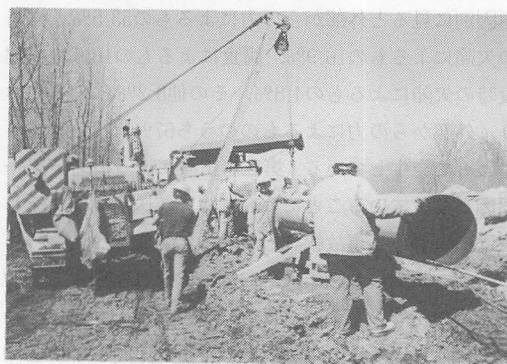


写真1 スプレッド工法の最前列

表2 JIS Z3050とAPI 1104の比較 (放射線透過検査)

欠陥種類	JIS Z3050 (A基準)		API std. 1104	
	1個の長さ	30cmあたりの合計長	1個の長さ	30cmあたりの合計長
(1)溶接開先の溶け込み不足	20mm以下	25mm以下	25.4mm以下	25.4mm以下溶接長12"未満では溶接長の8%以下
(2)目違いによる溶け込み不足	40mm以下	70mm以下	50.8mm以下	76.2mm以下
(3)内面へこみ	母材部分の濃度を越えるものについては溶け落ちと同様		母材部分の濃度を越えるものについては溶け落ちと同様	
(4)融合不良 母材-溶接金属 溶接金属間	20mm以下 20mm以下	25mm以下 30mm以下	25.4mm以下 50.8mm以下	
(5)溶け落ち	6mm又は管肉厚の小さい方	12mm以下	6.3mm又は管厚以下	12.7mm以下但し1個以下
(6)細長いスラグ巻き込み	長さ20mm以下 巾1.5mm以下	30mm以下 間隔1mmを超えれば独立	OD \geq 2-3/8" 長50.8mm以下, 巾1.6mm以下, OD<2-3/8" 長さ3T以下, 巾1.6mm以下	50.8mm以下
(7)孤立したスラグ巻き込み	長さ6mm以下 巾3mm以下	12mm以下	OD \geq 2-3/8" 巾3.2mm以下, OD<2-3/8" 巾0.5T以下	巾3.2mm以下又は4個まで 巾2T以下
(8)ブローホール及びこれに類する丸みを帯びた欠陥	JIS Z3104の第1種の1, 2, 3級		球形: 3.2mm又は0.25T以下 群生ポロジティ: 1.6mm以下 群径, 合計長さ 12.7mm以下	
(9)虫状気孔	JIS Z3104の第1種の1, 2, 3級		3.2mm又は0.25T以下	
(10)中空ビード	10mm以下 6mmを超えるものは50mm以上離れていなければ不合格	50mm以下	12.7mm以下 6.4mmを超えるものは50.8mm以上離れていなければ不合格	50.8mm以下
(11)割れ	不合格		溶接部終端の浅いクレータ割れは長さ4mm以下であれば良い	
(12)欠陥の集積	欠陥の長さの和が全溶接長の8%以下で最も密なところで30cmあたり50mm以下		欠陥の長さの和が全溶接長の8%以下で最も密なところで2"あたり50.8mm以下	
(13)アンダカット	1個につき50mm以下, 合計で全溶接長の15%以下(内面)		外面についての規定, 内面は50.8mm又は全溶接長の1/6以下	
(14)欠陥の濃度	欠陥濃度の著しく高いもの, 内面ビード濃度の著しく低いもの		規定なし	

とおりJISの方が厳しい基準になっている。あるスプレッドの場合には放射線検査不合格となる率が20~25%程度で手直しを実施していたがJISZ 3050で判定するとさらに不合格率が上がるものと予想される。

この様な状況の中で米国の平均建設コストは図-3のとおりである。我が国の建設コストと比較して極端に低い。徹底した大規模機械化施工を追求した結果でありそれが今日のパイプライン網の完成につながっている。

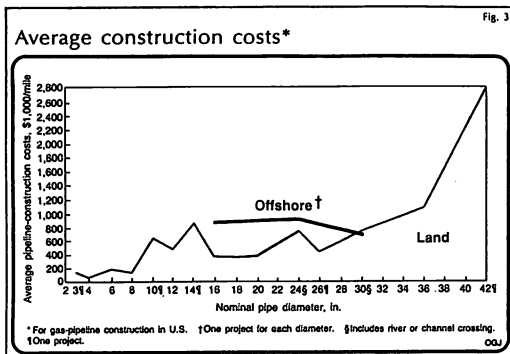


図-3 米国ガスパイプライン平均建設コスト

3.3 技術課題

米国パイプライン建設と我が国の場合との最も大きな相違は「スピード」である。パイプライン建設工事

の進捗量を決定する要因として大きく分けて土木工事と溶接工事が挙げられる。米国の場合、土木工事に対する制約が日本ほどないため溶接工事の進み方次第で工事スピードが決定するのに対し、我が国においては種々の理由から土木工事が制限されることによって、土木工事の進捗状況が直接パイプライン建設工事の進捗量となる。これまでの工事例でも好条件下でもせいぜい1日当り70~80m程である。米国の恵まれた土木工事環境とは次に挙げるような点である。

- 1) パイプライン工事場所が専用地である。(ROW)
- 2) 公道ではないので路盤、舗装をほとんど考慮せず発生土ですべて埋戻せる。巾が充分にあるので矢板による土留めの必要性がない。
- 3) 即日復旧の必要がない。
- 4) 周囲に人家が少ないので騒音、振動を気にせず大型の建設機械を導入できる。
- 5) ほとんどの河川が開削による埋設ができる。又は傾斜掘り技術で河底横断ができる。
- 6) カーブ施工が少ない。
- 7) 施工長さを長距離にとれる。

などである。これ等の条件により、掘削、溶接、吊り下ろし等あらゆる工程で我が国より数段に早く施工することが可能となる。我が国でこれらの条件を整える

ことは到底不可能である。連続したパイプライン用地を全て民地の中で確保することははなはだ困難なことであり詳細にルート検討を行った結果として止むを得ず公道への敷設をお願いすることになる。ルート選定にあたっては多数の関係者の方々と詳細に協議をさせていただき結果、パイプラインの敷設後は最も安全面で優れたものとなるが、建設面では公共交通の確保と安全面から即日復旧が必要となる。従って限定された時間内でどこまで工事スピードを上げられるかが最も重要な課題となる。この為には我が国のパイプライン敷設環境に対応した機械化施工の検討である。これまでも幾度か問題提起されて来た課題であり、その分非常に難解でもある。しかしながら幹線パイプラインという性格上必ず適用できる工事箇所が生じて来るであろうし、一旦使用されればガスパイプライン以外への用途も広がると考えられる。米国の施工機械や社内での討議の流れから次のような建設機械の出現が待たれる。

- ①カーブ掘削に対応できる掘削機（トレンチャー）
- ②埋戻し展圧機
- ③小運搬機械（サイドブーム）
- ④その他

また溶接面では高品質の要求に見合う自動溶接機がある。今後は優秀な溶接工の不足という事態も予想される。

幹線ガスパイプラインの建設技術は分けて考えれば土木、鉄鋼、電気通信、計装、コンピューターとに大別されるが夫々どの分野をとっても我が国の技術は世界有数のものであり、計画・設計・施工・管理とどの段階についても安全性を確保した中でコストの低減を計れる可能性を充分に有している。幹線ガスパイプラインの最も発達した米国との相違を中心にして述べたために敷設工法に関する説明が中心となったがその他の技術課題としてはソフト面として監視制御技術の高度化による運転の自動化が挙げられる。将来のパイプラインシステム拡大を念頭に入れた柔軟な設計が必要である。

4. おわりに

以上、世界の天然ガス輸送は幹線ガスパイプラインによっていること、幹線ガスパイプラインは最も安全なエネルギー輸送手段であること、そして今後の発展のためには建設コストの低減を計る必要があるが、欧米の施工法の欠点を修正し、安全性のより高い溶接・

検査を前提として機械化施工の可能性を検討すべきであることを述べた。天然ガスパイプライン網の必要性が各方向から強く謳われている。当社は昭和30年の会社設立以来、新潟県、秋田県、山形県、そして北海道等で国内天然ガスの開発を進めて来ており、その事業の一部として天然ガスパイプラインの建設、操業を行って来た。都市ガス向け、化学工業原料、そして発電用燃料として公益性の高い重要な役割を果たして来た。そして現在、新潟と仙台を結ぶ延長250kmのガスパイプライン建設を推進している。このガスパイプライン計画はその規模からして当社一企業の問題としてとらえられるのではなく東北地域全体にかかわる事業でもある。幹線ガスパイプラインは起点と終点を単に結ぶものではなく、沿線地域の方々にも都市ガスとして、また工業用として広く利用していただけるものである。天然ガスの利用拡大は我が国のエネルギー政策における石油依存度の低減、環境問題への取り組みから必ず実行されなければならない課題であり、国策会社として充足し国内資源のみならず海外のガス田開発をも積極的に行っている当社の事業成果を広く環元できる機会でもある。天然ガスパイプラインの発展のため各方面からの御協力を期待するとともにここに記した課題をはじめとする他の課題に今後も取り組みたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 江川 堯；欧米のパイプライン事情，石油技術協会誌，第54巻，第2号（1989）60～72
- 2) 津村光信；欧米諸国の天然ガス利用とパイプライン網，石油の開発と備蓄，86年6月，68～80
- 3) Dana, J. Jones et al；An Analysis of Reportable Incidents for Natural Gas Transmission and Gathering Lines 1970 Through June 1984, Battelle, 1984
- 4) G. Clerehugh；On-line inspection in British Gas；6th Symposium on Line Pipe Reserch, A.G.A
- 5) Iain Cameron；A performance analysis of Alberta's pipelines, Energy Resources Conservation Board Calgary, Alberta
- 6) A report of the European gas pipeline incident data group, Pipes & Pipelines International July - August 1988
- 7) Comparative safety of energy delivery alternatives, A.G.A Engineering analysis Operating and engineering service group, October 1984
- 8) 社団法人日本ガス協会；新潟地震と都市ガス
- 9) 社団法人日本ガス協会；宮城県沖地震と都市ガス
- 10) OGJ Report, Nov 28, 1988