

エネルギーの動脈と静脈を構成する パイプラインの現状と将来

Pipelines as Artery and Vein of Energy, Present Status and Future Trend

栗飯原周二¹

Shuji Aihara¹

¹ 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

¹ Dept. Systems Innovation, Graduate School of Engineering, the University of Tokyo

Abstract: The 21st century is a period of gaseous phase energy, in place of the periods of solid and liquid phase energy in the past centuries. To construct the artery and vein of energy, that is natural gas and hydrogen gas pipelines, and CO₂ gas pipelines, technical as well as economic problems have to be identified and solved. This article describes recent trends of world's natural gas, hydrogen gas and CO₂ pipelines and discusses problems to be overcome.

緒言

19世紀は固体エネルギー、20世紀は液体エネルギー、21世紀は気体エネルギーの時代と言われている。今世紀にはいり、天然ガスの需要が急速に上昇しており、ここ数10年はこの傾向が続くものと予想されている。さらに、将来の水素社会では、水素がエネルギーキャリアーとして主役を担うものと考えられる。一方で、人為起原の炭酸ガス排出量が増加し、地球規模の環境影響が懸念されている。Carbon Capture & Storageが今後、重要になると考えられている。これら気体（あるいは液体）を多量に、場合により長距離を安全に輸送する技術を開発することが今後益々重要になってくる。

天然ガス・水素ガスパイプラインはいわばエネルギーの動脈、炭酸ガスパイプラインはエネルギーの静脈と見なすことができる。効率的で安全なエネルギーの動脈と静脈を構成して初めて世の中のエネルギーシステムが成り立つものと考えられる。この観点から、パイプラインの技術開発の重要性は今後、益々高まるものと予想される。本稿では、最近のパイプラインの技術動向を概観し、将来の技術課題について考察する。

天然ガスパイプラインの現状と将来

天然ガスは1950年代の米国において南部から西部・東部の工業地帯・大都市にパイプラインで輸送されるようになってから本格的な利用が始まった。

天然ガスの炭酸ガス排出量は石炭に比べて60%、石油に比べても80%と低く、また、埋蔵地域が石油に比べて偏在しておらず、エネルギー安全保障上も有利であると考えられている。北米では50万km、欧州では20万kmの天然ガスパイプライン網が発達している。我が国では1959年に新潟で天然ガス生産が始まったことを契機として天然ガスの利用が始まったが、その後ほとんどを海外からの液化天然ガス(LNG)輸入に依存してきたため、天然ガスパイプライン網は各地域ごとに発達し、地域間を結ぶ幹線ラインの発達が遅れている。一方、我が国と同様、天然ガスのほとんどをLNGに依存している韓国では、国策として国土幹線ラインを建設している。経済発展の著しい中国では、エネルギー確保が国家の最重要課題のひとつであり、幹線パイプライン網の建設が進められており、すでに、タリム盆地から上海に天然ガスを輸送する西気東輸パイプラインが稼動し、第二ラインが着工し、さらには、北部・南部に天然ガスを輸送する幹線ラインの建設が計画されている。ロシアは世界第一の天然ガス埋蔵量を有し、以前から西シベリアで生産される天然ガスを欧州へ大量に輸出している。サハリン島北東海域で生産される天然ガスは南部までパイプラインで輸送された後、液化されて我が国向けに本年3月から出荷が開始されている。このほかにも東シベリア地域には天然ガス・石油を豊富に埋蔵しており、我が国、中国、韓国へのパイプライン、あるいは、LNGによる輸出が構想されている。

上記のとおり、北東アジア地域では、北米や欧州

に比べて天然ガスパイプライン網の発達が遅れており、将来のこの地域におけるエネルギー消費の急増を考えると問題が大きい。このような観点から、北東アジア地域において、天然ガス幹線パイプライン網を構築しようとする長期ビジョンが提案され、議論が進んでいる。我が国はLNGを主体とした天然ガスインフラが整備されており、幹線パイプラインの建設が遅れているが、北東アジア全体のエネルギー安全保障を見据えて当該地域の幹線パイプライン網と接続することが望まれる。供給元としてLNGとパイプラインの両者を持つことはエネルギー安全保障だけでなく価格交渉の面からも有利となるはずである。

天然ガス幹線パイプラインの建設には莫大なコストがかかるので、高圧輸送によるコストの低減を図る必要がある。同時に、信頼性を確保することが極めて重要である。また、X80 高強度鋼管は世界で適用されるようになってきたが、既に、X100、X120 超高張力鋼管も開発が終わり、デモンストレーションラインでの実証も行われた。高強度鋼管は高圧操業に耐えうるため口径を小さくすることが可能で、建設コストの低減にも寄与する。今後の幹線パイプラインへの適用が期待される。

水素ガスパイプラインの現状と将来

上記のとおり、天然ガスは炭酸ガス排出量が少なく、埋蔵の偏在性が石油よりも低い。さらに、生産ピーク時期も石油に比べて遅いと予想されており、今後も需要の増加が予想される。しかしながら、天然ガス埋蔵量も有限であり、超長期的には、太陽光、風力等の再生可能エネルギーへの転換が必要となる。電気分解により生産した水素をエネルギーキャリアーとして利用する構想が各国で検討されている。アイスランドでは豊富な水力と地熱で生産した電気から水素を製造し、燃料電池都市バスを運行させる社会規模の実験をすでに完了している[5]。北米では風力エネルギーが豊富な北ダコタ州からシカゴまでの1,500km をパイプラインで水素輸送する構想が検討されている[6]。さらに欧州では、既存の天然ガスパイプラインに水素ガスを混合して輸送する実大試験が進められている[7]。北東アジア地域では、風力や太陽光の再生可能エネルギー賦存量は豊富であり、天然ガスパイプライン網を使って水素ガスを輸送する構想が検討されている。このためには、今後建設される幹線パイプラインは当初から水素輸送を可能とする仕様としておくことが必要になる。

上記の観点から、筆者らは、NEDO 受託研究により水素パイプラインの信頼性に関する研究を実施し

ている。X65 鋼管を使用した実大パイプラインのバーストテストを実施した結果、天然ガス（メタン）よりも水素ガスの場合のほうが、発生したき裂は早期に停止することを明らかにした。水素ガスのほうがき裂開口にともなうガス減圧が早期に生じるためである。不安定き裂伝播現象に関する限り、水素ガスパイプラインのほうが安全であるということができる。

一方、水素関連機器では水素脆化の問題が付きまとう。しかしながら、既存の化学プラント等で稼働している水素ガスパイプラインで水素脆化が原因の事故は報告されていない。また、常温で高々20MPa程度の水素ガス雰囲気中で鋼中に侵入する水素濃度は低く、実用高張力鋼管では水素脆化はほとんど問題とならないとの結果が報告されている[11]。水素脆化は水素ガスパイプラインの実用化において重要な課題であり、今後の詳細な研究が必要である。

炭酸ガスパイプラインの現状と将来

炭酸ガス排出量削減は喫緊、且つ、長期的な問題として世界で議論が進んでいる。経済規模を縮小せずに炭酸ガス排出を削減するためには、化石燃料を使用する発電設備や製鉄プロセス等で炭酸ガスを分離して隔離(CCS)する必要がある。このプロセスを実現するためには、分離と隔離に加えて、プラントから地下帯水層等の隔離場所まで炭酸ガスを輸送する技術を開発する必要がある。輸送距離が1,000km程度以下であれば、パイプラインによる輸送が最も合理的である。

炭酸ガス輸送パイプラインは Enhanced Oil Recovery (EOR)を目的としたものとして米国ですでに3,000km程度の実績がある。しかしながら、CCS用のパイプラインはEOR用のそれとは異なり、利益を産み出さないので極限のコスト低減が必要であることや、プラントの種類により輸送するガス中に含有する不純物ガス成分が異なり、炭酸ガスの熱力学的挙動が大きく変化することなど、検討すべき課題は多い。

炭酸ガス輸送効率を高めるためには高圧にして液相あるいは超臨界状態で輸送する必要がある。万が一、パイプラインが第三者工事等により損傷を受けた場合、き裂が伝播しないことを保証する対策が必要である。き裂開口により減圧が生じると液相（あるいは超臨界状態）から気相が生成する。この場合、減圧速度が急速に低下し、き裂を伝播させる駆動力が低下せず、き裂が長距離伝播する可能性が出てくる。このために、鋼管に要求される靱性が高くなる可能もある。今後、詳細な検討が必要である。

CCS 用炭酸ガスパイプラインの実現のためには、上記課題以外に炭酸ガス露点腐食の問題がある。パイプライン内で水分凝縮を防止するためにはガスをドライにする必要がある。さらに、パイプライン内での気相やハイドレートの生成防止等の技術課題に加えて、CCS を成立させるための経済性評価も必要である。

欧州では CCS 用パイプラインに関する研究プロジェクトが産学で進んでいるが、我が国での検討は遅れている。環境問題で我が国がイニシアチブをとるためには、本分野でも研究開発を加速する必要がある。

結言

本稿では、エネルギー輸送パイプラインに関する最近の状況と課題について私見を述べた。将来のエネルギーの動脈と静脈を形成するパイプラインの実現のためには工学や経済を含む多方面からの検討を加速させる必要がある。本稿が少しでもその契機となれば幸いである。

参考文献

- [1] Key energy statistics 2008, IEA.
- [2] K.Kimoto, proc. 11th Int. Conf. Northeast Asian natural gas and pipeline, 2009, Tokyo.
- [3] K.Hiraishi, proc. 11th Int. Conf. Northeast Asian natural gas and pipeline, 2009, Tokyo.
- [4] 朝日均ほか、超高強度ラインパイプ X120 の開発、新日鉄技報 第 380 号 (2004), p70.
- [5] ECTOS Ecological City Transport System, Final Public Report, No.19,
- [6] W.Leighty, Renewables-Hydrogen Service (RHS) for Large Gaseous Hydrogen (GH₂) Transmission Pipelines, Forum “Challenges of Hydrogen Pipeline Transmission”, ASME, IPC04, Calgary, Oct. 2004.
- [7] Preparing for the hydrogen economy by using the existing natural gas system as a catalysis (NaturalHy), Dec. 2006.
- [8] W.Leighty, et al, “ Large Stranded Renewables: the International Renewable Hydrogen Transmission Demonstration Facility (IRHTDF) ” , presentation at World Energy Congress, Sydney, AUS, Sep 2004.
- [9] S.Aihara, E.Ostby, H.I.Lange, K.Misawa, Y.Imai, C.Thaulow, "BURST TESTS FOR HIGH-PRESSURE HYDROGEN GAS LINE PIPES", Proceedings of IPC2008, 7th International Pipeline Conference, September 29-October 3, 2008, Calgary, Alberta, Canada.
- [1 0] K.A.Nibur, et al, Measurement of sustained-load

cracking thresholds for steels in hydrogen delivery and storage., proc. PVP2008, 2008 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conf., July 2008, Illinois, USA, PVP2008-61298.

- [1 1] 石塚哲夫、朝日均、水素含有ガスのパイプライン輸送における実用ラインパイプ材の適用可能性、CAMP-ISIJ, vol.19 (2006)-373, 鉄鋼協会.
- [1 2] 例えば、大橋一彦、CO₂ の安全で経済的なパイプライン輸送の研究、配管技術、2007 年 4 月号、p.1 ~ 5.
- [1 3] H.A.Bratfos, et al, “Challenges to pipeline transport of dense CO₂”, symp. Transmission of CO₂, H₂, and biogas: exploring new uses for natural gas pipelines, 30-31 May, 2007, Clarion Technical Conferences and Global Pipeline Monthly.
- [1 4] A. Cosham, R. J. Eiber, “Fracture control in carbon dioxide pipelines – the effect of impurities, proc. IPC2008, 7th Int. Pipeline Conf. Sept. 2008, Calgary, Canada, ASME, IPC2008-64346.
- [1 5] CO₂PIPETRANS – Safe, Reliable and Cost-Effective Transmission of CO₂ in pipelines, DNV, 2009.