

超臨界 CO₂ パイプラインによる石油増進回収法 (EOR) と CO₂ 削減

大成建設 (株) 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○藤田 クラウディア
大成建設 (株) エネルギー本部 鈴木 孝治

1. はじめに

火力発電所などの大規模排出源から二酸化炭素 (CO₂) を回収し、地層に注入 (貯留) する地球温暖化技術 (CCS) は CO₂ の大気排出量を削減する方法としてよく知られている。一方、米国では 1970 年代から CO₂ をガス田からパイプラインにより油田まで長距離輸送して油層へ注入する「CO₂ 圧入攻法・石油増進回収法」(CO₂-EOR: Enhanced Oil Recovery) が行なわれている¹⁾。CO₂-EOR では、油田へ注入した CO₂ が残存油に溶解することにより、油の粘性が低下し、体積が膨張することによって原油回収率が高まる (図 1)²⁾。CO₂-EOR は石油増産による油田延命と CO₂ 排出抑制対策の一举両得の技術であり、CCS 以外に地球環境問題の対応のため魅力的な技術である。CO₂-EOR の CO₂ ソースは、ガス処理プラント、化石燃料発電所、および自然源であり、シンクとしては枯渇油田である。CO₂ をソースからシンクまで輸送するため、超臨界 CO₂ パイプラインが有効である。現在米国では 7200km 以上の超臨界 CO₂ パイプラインシステムが存在している³⁾。一方、米国以外では CO₂-EOR は中東エリア (中国とサウジアラビア) で行われているが、超臨界 CO₂ パイプラインはほとんど存在していない状況である³⁾。

本稿では、CO₂ を長距離輸送する上で有効な超臨界 CO₂ パイプラインと EOR について紹介し、その適用に関する問題点について考察する。

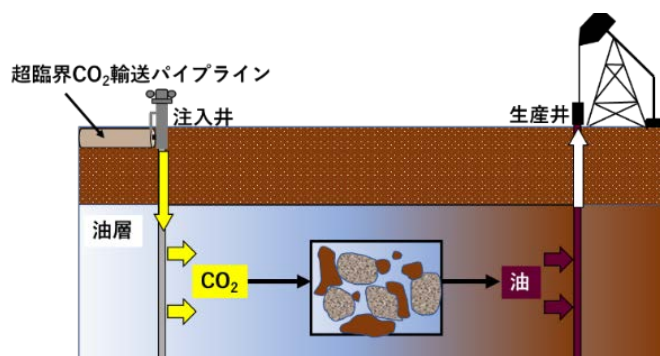


図 1 CO₂-EOR 技術の概要

2. 超臨界 CO₂ パイプラインの特徴

天然ガスのパイプラインはガス相における輸送であり、世の中でよく使われている。しかし、ガス相は密度が低く、圧力損失が大きいため、輸送効率が悪く、経済的とはいえない。

一方、密度相 (超臨界液体) を利用した CO₂ パイプラインは同じ配管径の場合、単位時間に送る量が大きくなる。密度相は、ガス相より密度が約 6~10 倍高く粘性が低いため、パイプラインで輸送した場合、圧力損失もそれほど大きくならないメリットがある⁴⁾。

また、密度相の場合、CO₂ は気体から液体又は超臨界まで昇圧され、パイプライン輸送された後、枯渇油田の注入井に直接注入することが可能である。

一方、ガス相の場合、圧力は注入圧より低いため、注入井の直前で昇圧する必要があるため、密度相に比べてコンプレッサー等の設備がより多く必要となり、イニシャルコスト及びランニングコストが大きくなる。

このように超臨界 CO₂ パイプラインは CO₂-EOR に必要な大量の CO₂ を長距離に輸送するため有効である。

3. 米国の超臨界 CO₂ パイプラインについて

米国では 1970 年代から超臨界 CO₂ パイプラインにより CO₂-EOR を行っている。初めての超臨界 CO₂ パイプラインは 1972 年に完成されたテキサス州にある Canyon Reef Carriers (225km) である。

現在、米国内では約 50 の CO₂ 輸送パイプラインがあり、多くの異なる企業 (Kinder Morgan, Exxon Mobile 等) で運営されている^{1), 5)}。この中にはソースとシンクを直接繋ぐパイプラインだけではなく、複数のパイプラインが一つの CO₂ ハブに合流するネットワークもある。

例えば、パーミアン盆地には最も大きな CO₂ パイプラインネットワークがあり、Cortez (808km)、Sheep Mountain (656km) と Bravo (350km) の 3 つの主要なパイプラインがデンバーシティの CO₂ ハブで合流する (図 2)。そこから、別のパイプラインネットワークに分散して様々な油田や CO₂-EOR プロジェクトへ供給されるシ

1) キーワード CO₂-EOR, 超臨界 CO₂ パイプライン, CO₂ 輸送, 法規制

2) 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344 - 1 大成建設 (株) 技術センター TEL 045-814-7217

システムである^{1),4),5)}。このようなネットワークでは、日本の高速道路と同様、パイプラインの通行料を求めるビジネスモデルである。

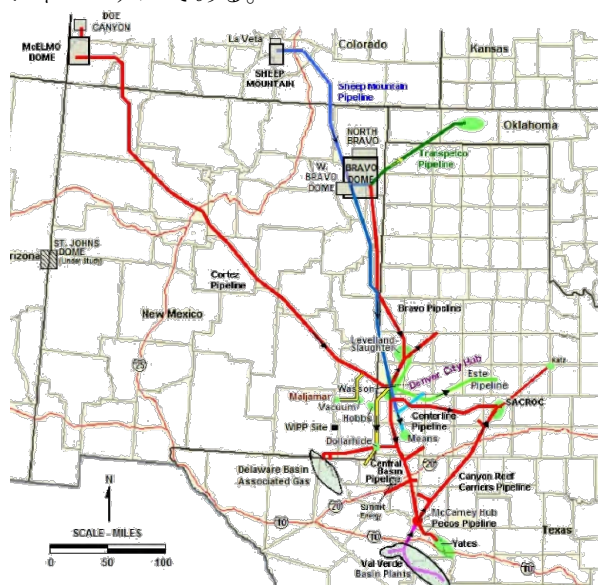


図 2 パーミアン盆地の CO₂ パイプラインネットワーク⁷⁾

4. 超臨界 CO₂ パイプラインにおける法規制

米国では半世紀ほど前からパイプラインによる CO₂ 輸送が行われているが、今まで大きなトラブル等は報告されていない。CO₂ パイプラインは主に天然ガスパイプラインと類似であると考えられているため、天然ガスパイプラインと同じ規格 (ASME 31.4 パイプラインによる液体の輸送) が適用されている。しかし、CO₂ パイプラインは高圧であり、腐食やクラック等により事故が起きる可能性があるため、1989 年に Code of Federal Regulations Title 49 (49 CFR) Part 195 (危険物輸送) の規定に CO₂ は危険物輸送として追記された⁴⁾。49 CFR Part 195 は主に安全装置、メンテナンスや啓蒙活動等についての規定が定められている。

しかし、技術的な面より、許認可の方が大きな問題であった。例えば、米国 Cortez パイプラインでは、天然ガス輸送を規制する米国連邦機関(The Federal Energy Regulatory Commission (FERC))へ申請したが、CO₂ のガス組成は天然ガスと異なるため、FERC が承認を拒否した。また、州の境界等を越えるパイプラインを規制する機関 Interstate Commerce Commission (ICC) の方でも Cortez パイプラインの申請に対して承認を拒否した。最終的に、政府説明責任局 (U.S. Government Accountability Office (GAO)) は、運輸省 (U.S. Department of Transportation (DOT)) を許認可者として指定した。尤も DOT は天然ガスパイプラインの一部を規制する機関であるため、超臨界 CO₂ パイプラインも規制することと

なった¹⁾。

一方、カナダでは、州の境界、または、カナダと米国の国境を超える全てのパイプラインは、国家エネルギー委員会 (National Energy Board (NEB)) によって規制される (CO₂ か天然ガスに関わらず)。完全に州などの境界内に存在するパイプラインに関しては、その州の規制機関によって規制される⁸⁾。

以上のことより、許認可のプロセスはパイプラインプロジェクトの実現に大きい影響があることが分かる。特に境界を超えるパイプラインに関しては、各国、各州の許可を取得する必要があるため、長期間の申請プロセスとなる恐れがある。例えば、Cortez パイプラインの場合は建設期間 2 年に対して承認までの期間が 6 年、実現まで計 8 年を要した。

5. まとめ

大量の CO₂ を長距離輸送するため、超臨界 CO₂ パイプラインは経済的である。超臨界 CO₂ パイプラインは半世紀前から建設されており、ほとんどが米国に集中している。しかし、中東や北アフリカや東南アジア等には CO₂ 注入による石油増産が期待できる国がある。特にガス田と油田が長距離に離れた場合、超臨界 CO₂ パイプラインが適している。技術的な観点においては、天然ガスパイプラインと大きく変わらないが、高圧や腐食に対して安全性を考慮する必要がある。

一方、ある国で初めて超臨界 CO₂ パイプラインを建設する場合、申請プロセスや許認可等を調査する必要がある。場合によっては新たな法規制等を構築することもある。そこで実現まで長期間を要する場合もあるが、他国の事例などを共有することにより、多くの課題の解決にも繋がると考えられる。

参考文献

- 1) National Energy Technology Laboratory (NETL). A Review of the CO₂ Pipeline Infrastructure in the U.S., April 21, 2015.
- 2) Núñez-López V and Moskal E (2019) Potential of CO₂-EOR for Near-Term Decarbonization. Front. Clim. 1:5.
- 3) International Energy Agency (IEA). WEO 2018 EOR database. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f9887a84-26bb-44cb-a8fa-20a5797ceb59/EOR-database-WEO18.xlsx> (最終閲覧日: 2020 年 3 月 24 日).
- 4) Craig, R., Butler, D. Oil Sands CO₂ Pipeline Network Study., July 18, 2017.
- 5) Global CCS Institute (GCCSI). CO₂ Pipeline Infrastructure, 2013.
- 6) Noothout, P., Wiersma, F., Hurtado, O., Macdonald, D., Kemper, J. & van Alphen, K. (2014). CO₂ pipeline infrastructure - lessons learnt. Energy Procedia, 63 2481-2492. Energy Procedia.
- 7) Melzer, L.S. 2013. An Updated Assessment of the CO₂-Enhanced Oil Recovery Potential in the Vicinity of the Waste Isolation Pilot Plant (June). Midland, TX: Melzer Consulting.
- 8) National Energy Board. 2019. Regulation of Pipelines and Power Lines. <http://www.cer-rec.gc.ca/bts/whwr/rspnsblt/pplnprwln-eng.html> (最終閲覧日: 2020 年 3 月 24 日).