

CO₂ハイドレート貯留における液体CO₂の圧入性能評価

電源開発(株) 正会員 ○鳥羽瀬 孝臣
(株)J-POWER ビジネスサービス 正会員 西山 治希

1. はじめに

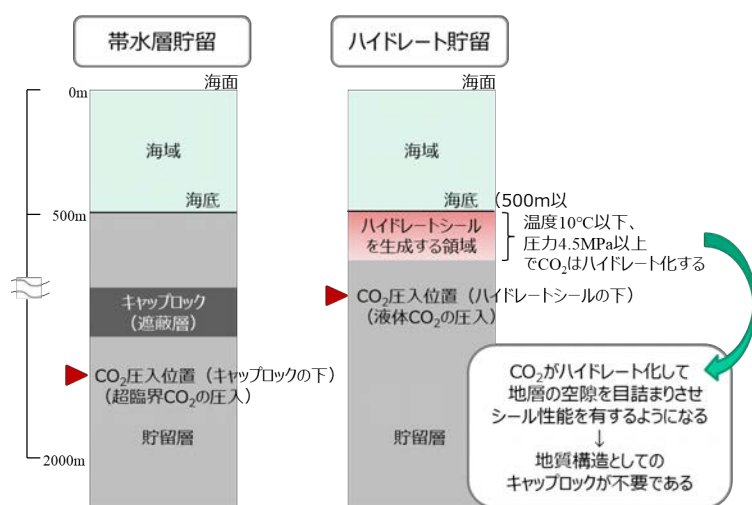
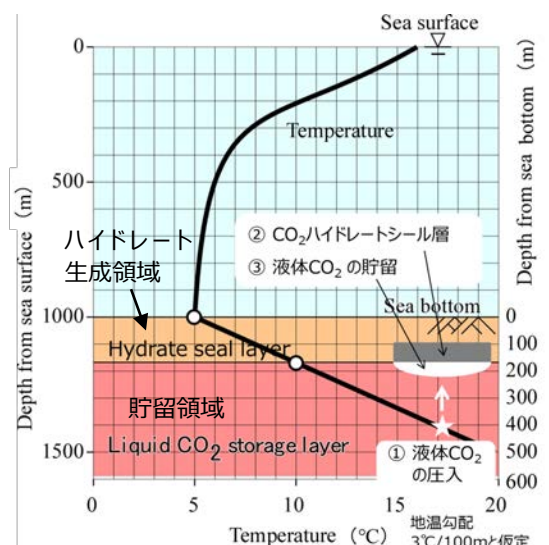
2050年カーボンニュートラルを実現するためにCCS (Carbon dioxide Capture and Storage) が不可欠と考えられている。CCSを社会実装する上での課題の一つは国内でのCO₂地中貯留の適地確保であり、その解決方策として帯水層貯留に加えてCO₂ハイドレート貯留を提案している。本稿では、CO₂ハイドレート貯留における貯留層への液体CO₂の圧入性能を評価することを目的に、未固結堆積層に液体CO₂を圧入した場合の貯留層内での圧力応答やCO₂プルームの挙動などを解析的に検討した結果を報告する。

2. CO₂ハイドレート貯留の概念

CO₂は水が存在して、温度10°C以下で圧力4.5MPa以上(水深450m以上)の条件でハイドレート化する。Argo計画で得られたデータに基づき、日本周辺海域において太平洋側の水深1,000mの水温は5°C以下、水深2,000mの水温は2.5°C、日本海側の水深500mの水温は1°C以下であることが分かった。これら海域の海底下ではCO₂ハイドレートを生成する温度・圧力条件を備えていることになる。

帯水層貯留とCO₂ハイドレート貯留の違いを図-1に示す。帯水層貯留は在来型油ガス田と同様に、地質構造としての遮へい層(キャップロック)を必要とする。一方、CO₂ハイドレート貯留は日本周辺海域の海底下に賦存する砂層型メタンハイドレートと同様に、CO₂をハイドレートの形態にして海底下に貯留しようとするものである。CO₂がハイドレート化する温度・圧力条件を満たす海底下地層をハイドレート生成領域とし、ハイドレートシールにより自らが遮へい機能を有する貯留方式であり、地質構造としてのキャップロックが不要である。

CO₂ハイドレート貯留の概念は図-2に示すとおり、①CO₂の圧入性を確保するためハイドレート化しない領域で液体CO₂を圧入し、②CO₂(密度が海水より小さい)が浮力により上昇しハイドレート生成領域に到達したCO₂はハイドレート化し孔隙を目詰まりさせてシール層を形成し、③ハイドレートシール層の下位に液体CO₂を貯留するというものである。CO₂ハイドレート貯留が実用化されれば、帯水層貯留とともに、CCSの課題の一つである国内での地中貯留の適地確保に寄与すると考えられる。

図-1 帯水層貯留とCO₂ハイドレート貯留の違い図-2 CO₂ハイドレート貯留の概念

キーワード CCS, CO₂地中貯留, CO₂ハイドレート貯留, 圧入性能

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 電源開発(株)茅ヶ崎研究所 TEL 0467-88-7854

3. 貯留層における液体CO₂の圧入性能

(1) 解析条件

貯留層の解析形状モデルは図-3に示すとおり、平面で10km×10km、断面で350mの厚さを有し、外周は不透水境界で、上端面はシール層があると仮定して不透水境界とした。CO₂の圧入位置は貯留層の平面では中心部で、鉛直方向では上端面（シール層）から下方300mの位置とした。解析シミュレータはTOUGH2-ECO2Nを用いた。

CO₂ハイドレート貯留の貯留層は、砂層型メタンハイドレートと同様の未固結堆積層であると想定して、貯留層の孔隙率を0.4、絶対浸透率を水平方向 $K_{x,y} = 1.0D$ ($1.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2$)、鉛直方向 $K_z = 0.1D$ ($1.0 \times 10^{-13} \text{ m}^2$)と設定した。

CO₂の圧入条件は、圧入量50万t-CO₂/年、圧入期間20年間で設定した。

CO₂ハイドレート貯留の貯留層へ圧入するCO₂は図-2に示すとおり液体となるため、当該貯留層に液体CO₂を圧入した場合（Case-1）と、その比較対象として超臨界CO₂を圧入した場合（Case-2）とで圧入性能の差異を検討した。

(2) 解析結果

図-4に示す観測点の圧力は、初期圧力（静水圧）に対してCO₂圧入に伴う圧力増分を示したものである。Case-1とCase-2を比較すると、両者ともに圧入開始後20年（圧入終了）で約0.25MPaの増加があり、その後の圧力は漸減した。圧入開始10年を過ぎた時点で、観測点における圧力はCase-2の方が僅かに大きくなっているのは、CO₂ブルームが観測点に到達した（図-5）ため、圧力応答に加えてCO₂の浮力が作用したためと考えられる。

(3) 考察

CO₂の圧入性能を論じる際に、シール層への負荷を過度に大きくしないために圧力応答がより重要な指標であると考えられる。帯水層貯留では超臨界CO₂の圧入が一般的であるが、これは超臨界CO₂の圧入性能が優れているためである。一方、CO₂ハイドレート貯留の対象とする未固結堆積層の条件では、超臨界CO₂の圧入と液体CO₂の圧入とで圧力応答に大きな差異がないことから、液体CO₂の圧入であっても圧入性能は十分に確保されていると考えられる。

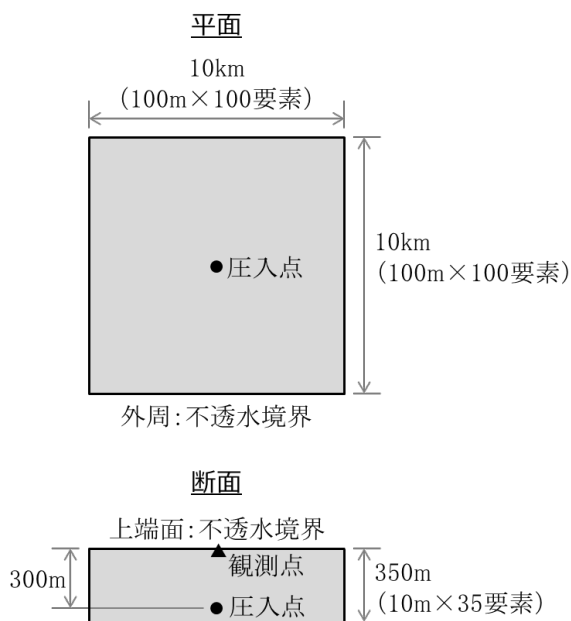


図-3 解析形状モデル

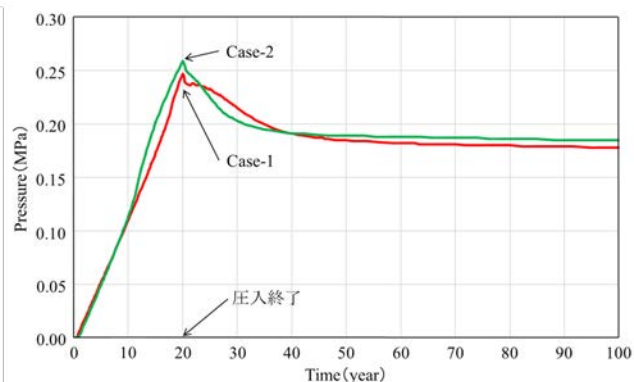


図-4 観測点における圧力の経時変化

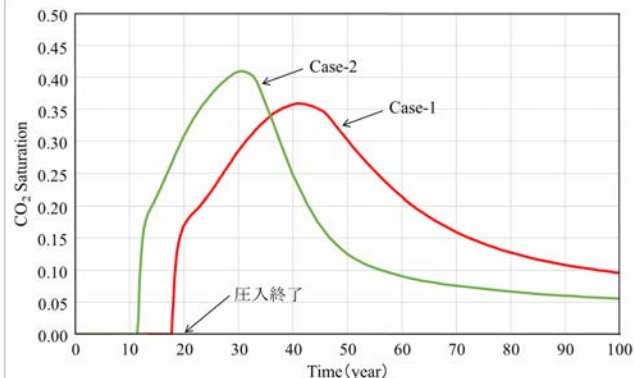


図-5 観測点におけるCO₂飽和度の経時変化

参考文献

鳥羽瀬孝臣・池川洋二郎：ハイドレートを利用したCO₂地中貯留の提案，No.396 電力土木 2018.7

鳥羽瀬孝臣・他：CO₂ハイドレート貯留における液体CO₂の圧入性能評価，第48回岩盤力学に関するシンポジウム，2022.1