

CO₂ 地中貯留におけるリスクマネジメント

電源開発（株） 正会員 ○鳥羽瀬 孝臣

1. はじめに

化石燃料を用いて発電しながら CO₂ 排出を抑制できる CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）は、電力の安定供給と気候変動緩和を両立させることのできる革新的技術開発として期待が寄せられている。本稿では、CCS を構成する CO₂ 地中貯留のリスクマネジメントについて概説する。

2. 貯留層評価の不確実性

CO₂ 地中貯留の貯留層評価の流れを図-1 に示す。貯留層の適地選定前の調査は、弾性波探査（反射法）で地質構造を明らかにした上で、坑井調査により地質確認や地盤の物性試験等が行われる。一般的に貯留層の大きさは数十 km オーダーの広がりがある一方、事前に行われる坑井調査は費用面と安全面（漏洩経路のおそれ）の観点で制約を受ける。つまり、適地選定前の段階での地質情報は限定的であり、それに基づく地質モデルや解析・予測評価には大きな不確実性が伴う。貯留サイトが決定した後、CO₂ 地中貯留の操業段階（圧入開始後）においては、圧入坑井の情報が得られるとともに、適宜モニタリング（弾性波探査等）が行われる。そして、それらの結果に基づき地質モデルが更新され、解析・予測評価の見直しが行われる。すなわち、PDCA 原則に基づき不確実性を低減し、貯留層評価の精度は向上していくことになる。

貯留層を対象とする地質モデルの不確実性は、①技術的な不確実性（調査や物性評価の誤差など）、②確率的な不確実性（自然の有するゆらぎやばらつきなど）、③想定外の不確実性（調査不足により想定されない地質事象など）がある。

- ① 技術的な不確実性に関しては、図-1 に示す貯留層評価の流れに沿って不確実性は低減すると考えられる。
- ② 確率的な不確実性に関しては、地質統計学的手法（石油開発分野におけるシュルンベルジェ社の Petrel 等）を用いて検討を行い、不確実性を低減する。
- ③ 想定外の不確実性に関しては、貯留層評価に大きな悪影響を与えるおそれがあり、リスク対応が求められる。

CO₂ 地中貯留に係る事業は、図-1 に示す適地選定段階で、投資判断を含む重大な意思決定が求められる。その際の判断材料として、地中貯留に係る不確実性やリスクの構造を予め明らかにするとともに、その対処方策についても検討しておくことが望ましい。

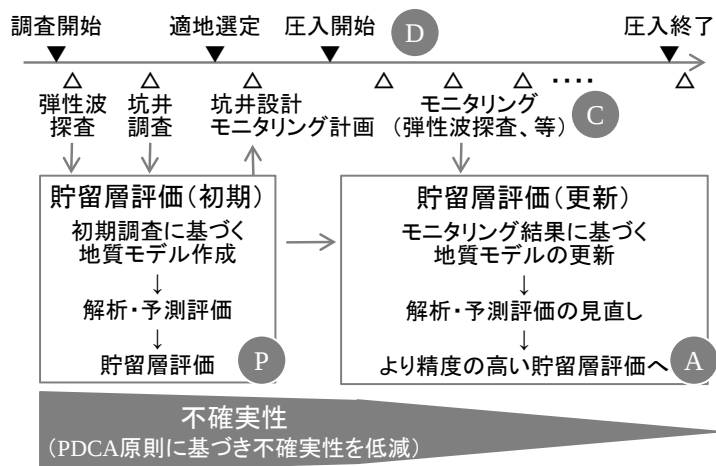


図-1 貯留層評価の流れ

キーワード CCS, CO₂ 地中貯留, リスク, 不確実性

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. 地中貯留におけるリスク対応

CO₂ 地中貯留における重大なリスク項目を抽出し、各リスク項目に対するリスク要因、調査、モニタリング、対策をまとめて表-1 に示す。

(1) 貯留層の圧入性能 (injectivity)

圧入性能は、単位時間当たりの CO₂ 圧入量 (ton-CO₂/time) で示される。圧入時の圧力が大きければそれだけ多くの CO₂ が圧入できるが、許容圧入圧力 (遮蔽層の破壊圧の 90%程度) 以下にしなければならない。つまり、圧入性能の良い貯留層とは、圧入時の圧力応答が小さい地層であり、高い浸透率を有することが条件となる。また、長期的には、圧入時の貯留層圧力の上昇により圧入性能が低下することや、圧入井周辺のドライアウトに伴う塩の析出、地化学反応による鉱物沈殿 (目詰まり) による浸透率低下などの影響についても留意が必要である。

(2) 貯留層の貯留容量 (capacity)

貯留容量は、貯留層における CO₂ 貯留量 (ton-CO₂) で示される。貯留容量を評価する方法として、容積法と解析的手法がある。容積法は、貯留層の体積に孔隙率と貯留効率係数 (25%~50%程度を採用) を乗じて求めることを基本としている。解析的手法は、貯留層の不均質性や圧入井の配置、圧入手順など具体的な条件を反映したモデルを用いて貯留シミュレーションを行うもので、貯留容量をより精度良く推定できる。その際、不均質な貯留層とその不確実性をどのようにモデル化するかが重要となる。

(3) 漏洩 (containment)

貯留層に圧入された CO₂ が大気中や海水中に漏洩する要因は、遮蔽層のシール性能不足、漏洩経路となる断層や既存坑井の存在などが考えられる。したがって、漏洩を防止するためには、事前に遮蔽層の浸透率や強度の確認、断層や既存坑井の有無及び性状の確認が必要である。また、圧入時に遮蔽層を破壊しないように許容圧入圧力以下の圧力管理を行わなければならない。

(4) 誘発地震 (induced seismicity)

シェールガス生産や一部の地熱発電等における地層内への流体圧入時に誘発地震を引き起こすことが指摘されている。これらの圧入圧力は岩盤を破碎させるほど大きく、上記に示すとおり CO₂ 地中貯留の圧入圧力とは異なる。しかし、CO₂ 地中貯留においても、事前・圧入時の地震観測をしっかり行うことが重要である。

表-1 CO₂ 地中貯留におけるリスクマネジメント

リスク項目	主なリスク要因	調査	モニタリング	対策
貯留層の圧入性能 injectivity	・浸透率の空間的低下 (不均質性) ・浸透率の時間的低下 (目詰まり等) ・坑井障害 ・貯留層圧力の増加	《孔井試験》 ・坑内検層/コア試験→貯留層の浸透率、孔隙率等の確認 《弾性波探査》 ・反射面 (地層境界等) の解釈 →貯留層、断層の分布確認 ・物性分布評価 (アトリビュート解析等)	《常時》 ・貯留層内の圧力応答 《適宜》 ・左記の弾性波探査をベースラインとして圧入開始後の反射面の解釈 →CO ₂ の挙動把握	《事前対策》 ・冗長性を考慮した貯留計画 (代替貯留層の用意等) 《事後対策》 ・圧入井、緩和井の追加配置 ・代替貯留層or圧入区間への圧入変更
貯留層の貯留容量 capacity	・貯留層の広がり不十分 (遮蔽性断層の存在) ・遮蔽層の強度不足			
漏洩 containment	・遮蔽層のシール性能不足 ・漏洩経路となる断層の存在 ・漏洩経路となる坑井の存在 ・地震等による坑井設備の破損	《孔井試験》 ・坑内検層/コア試験→遮蔽層の浸透率、強度等の確認 《弾性波探査》 ・反射面 (地層境界等) の解釈 →遮蔽層、断層の分布確認 《その他調査》 ・既存坑井の存在位置、プラグ状況の確認	《地表》 ・大気中のCO ₂ 濃度 《海面下》 ・海水中のCO ₂ 濃度 ・海底面の気泡調査	《事前対策》 ・断層や既存坑井の慎重な調査、スクリーニング ・CO ₂ 濃度に関する入念なベースライン調査 《事後対策》 ・不良坑井のプラグ修復 ・圧入停止
誘発地震 induced seismicity	・貯留層圧力の増加に伴う地盤、断層内の有効応力低下 ・クリティカルにストレスされた地震断層の活性化	・周辺活断層の調査・評価 ・地殻応力場の評価	・広域地震観測 (Hi-Net等) ・貯留サイト地震観測 ・光ファイバーによる歪監視 ・安全管理システム (TLS)	《事前対策》 ・誘発地震の可能性について十分な調査検討 (第三者委員会) ・地震発生に関する入念なベースライン調査 《事後対策》 ・圧入圧力の低下or停止 ・迅速な情報公開 ・圧入と地震発生と関連性に関する迅速な検討