

産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会
二酸化炭素貯留事業等安全小委員会（第3回）

CCS事業実施のための推奨作業指針 （CCSガイドライン）について

（独）独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構殿

Japan Organization for Metals and Energy Security

2025年2月27日

ご説明内容

1. CCS事業実施のための推奨作業指針
(CCS ガイドライン) 2022年5月の概要
2. 貯留サイトのスクリーニング・選定
3. 貯留サイトのキャラクタリゼーション
4. CO2圧入シミュレーション
5. リスクマネジメント
6. 坑井設備／CO2圧入操業

目次	
序章.....	1
1 背景・目的.....	1
2 構成.....	3
3 対象範囲.....	4
第1章 CCS事業のライフサイクルについて.....	5
1 CCS事業のライフサイクルに係る原則.....	5
2 CCS事業のライフサイクルに係る推奨事項.....	5
第2章 CO2地中貯留事業計画及び貯留可能量評価について.....	6
1 CO2地中貯留事業計画及び貯留可能量評価の基本的な考え方.....	6
1.1 必須事項.....	6
1.2 CO2地中貯留事業の事業段階.....	6
1.3 CO2地中貯留事業計画の技術的妥当性.....	7
1.4 CO2貯留可能量.....	8
1.5 本章の記載について.....	11
2 貯留サイトにおけるCO2貯留可能量評価及び圧入計画立案.....	12
2.1 概要.....	12
2.2 貯留サイトのスクリーニング.....	12
2.3 貯留サイトの選定.....	13
2.4 貯留サイトのキャラクタリゼーション.....	13
2.5 貯留サイトにおける圧入計画立案.....	15
3 リスクマネジメント.....	16
3.1 概要.....	16
3.2 リスクマネジメントプロセス.....	16
3.3 リスクマネジメントプロセスの実施例.....	17
4 坑井設備.....	17
4.1 概要.....	17
4.2 新規坑井の掘削.....	17
4.3 既存井の転用.....	18
4.4 腐食対策.....	18
4.5 廃坑.....	18
4.6 坑井からの潜在的なCO2漏洩リスク.....	19
5 貯留サイトにおけるCO2圧入操業.....	19
5.1 概要.....	19
5.2 CO2圧入操業の設計.....	19
5.3 貯留施設の計画.....	19
5.4 操業及び保守計画.....	20
5.5 圧入操業.....	20
5.6 圧入操業中のデータ取得.....	20
6 モニタリング及び検証.....	21
6.1 概要.....	21
6.2 モニタリング及び検証実施期間.....	21
6.3 モニタリング及び検証.....	21
6.4 モニタリング技術.....	22
7 サイトの閉鎖.....	22
7.1 概要.....	22
7.2 サイト閉鎖の実施.....	23
第3章 CCS事業によるCO2排出削減量評価について.....	24
1 CCS事業によるCO2排出削減量算出の基本的考え方.....	24
2 CCS事業構成要素と事業境界.....	25
2.1 概要.....	25
2.2 事業の空間的境界.....	25
2.3 事業の時間的境界.....	26
3 CO2/GHG排出削減量の算出.....	26
3.1 CO2/GHG排出量の算出手法.....	27
3.2 CO2/GHG排出削減量の算出.....	27
4 事業計画段階での算出指針.....	29
4.1 算出対象.....	29
4.2 主要な排出源の選定と算出.....	29
4.3 バリデーション.....	29
5 事業実施段階での評価指針.....	30
5.1 モニタリング計画の策定.....	30
5.2 データマネジメント.....	32
5.3 レポーティング.....	32
5.4 検証プロセス：バリデーション・ベリフィケーション（妥当性確認・検証）.....	32
参考文献.....	33

<https://www.jogmec.go.jp/content/300378181.pdf>

CCS事業実施のための推奨作業指針（CCS ガイドライン） 2022年5月の概要

- JOGMECのCCSガイドラインは、CO₂の地中貯留に係る国際標準である ISO27914 :2017を尊重しつつ、JOGMEC としての考え方をまとめたものである。
 - 日本企業による国内外での CCS 事業の推進を目的とし、CCS 事業の適切な実施、ならびにこれによるCO₂貯留可能量の算定及びGHG削減量の算定のために、JOGMEC として推奨する作業指針をまとめている。
 - CCS事業の適切な事業計画の策定から、CO₂貯留可能量の算出及びGHG 削減量の算出までを一貫して実施するための推奨作業指針となっている。本ガイドラインに則って CCS 事業の計画・実施を行うことで、個別の国際規格や業界標準を概ね満足するように留意されている。
-
- 第3回二酸化炭素貯留事業安全小委員会における本報告では、JOGMECのCCSガイドラインの全体概要に触れつつ、特に（ア）安定的な貯蔵の確保、（イ）公共の安全の維持及び災害の発生の防止、（ウ）漏えい防止、（エ）環境保全上の障害の防止の観点で、これらの基礎を与える「キャラクターゼーション、モデリング及びシミュレーション、リスクマネジメント、モニタリング」からなる一連のワークフローを中心にご説明させて頂く。
 - なお、JOGMECのCCSガイドラインが参考としたISO27914:2017は、現在、その改訂作業が進捗している※。その改訂状況に応じて、ここでの記載内容についても見直しを行う可能性がある。

※ <https://www.iso.org/standard/84578.html>

CCS事業実施のための推奨作業指針（CCS ガイドライン） 2022年5月の概要

CO2 地中貯留における事業段階と実施作業のワークフロー

- CO2地中貯留事業は、一般に、**6つの事業段階**に区分できる。
- 各事業段階（データ量が異なる）に応じた**貯留層評価を継続的に実施**し、事業仕様の**最適化を継続**して行う。

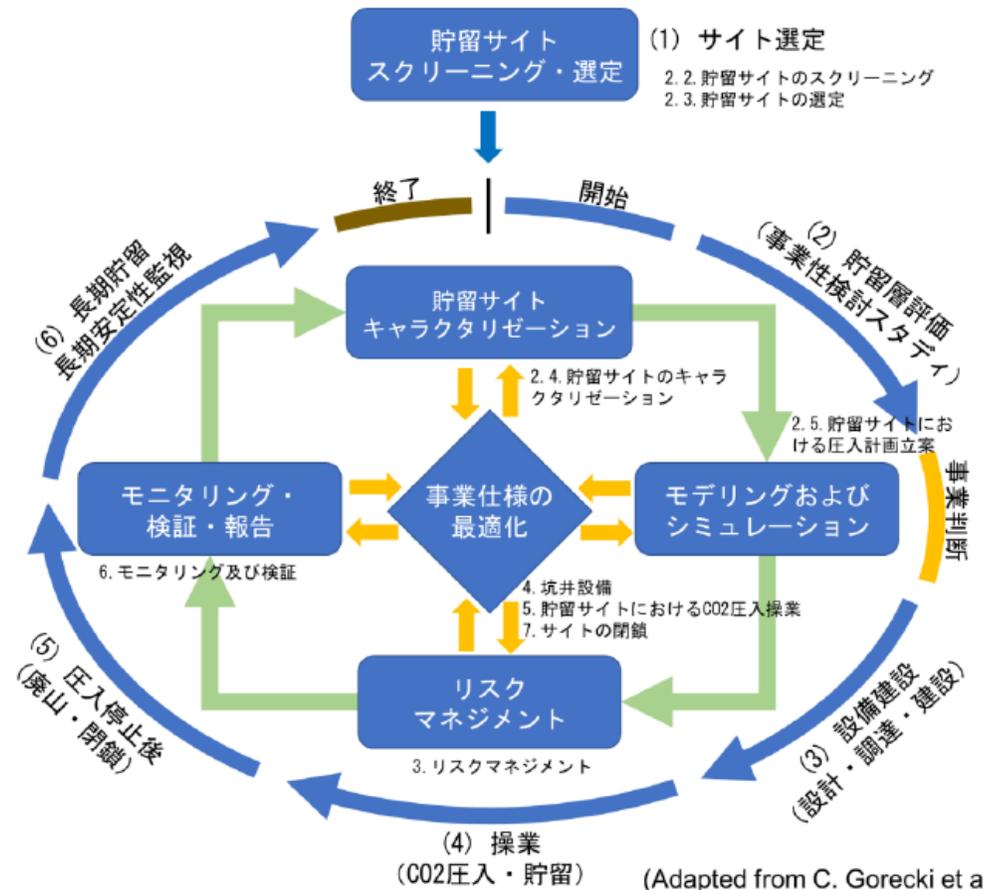
- ① **貯留サイトスクリーニング・選定**：貯留サイト候補地を抽出し、選定する段階。
- ② **貯留層評価**：選定された貯留サイト候補地に対して、貯留層評価を実施する段階。詳細な特性評価に基づいて事業計画を最終化し、事業実施判断に備える。
- ③ **設備建設**：商業事業の開始に向けた事業判断後に、圧入に係る設備建設を行う段階。
- ④ **操業（CO2圧入・貯留）**：CO2 圧入操業を行う段階。この段階においても、CO2 圧入操業中に得られたモニタリングデータ等により、貯留層評価を継続的に実施し、事業仕様の最適化を継続して行う。
- ⑤ **圧入停止後**：CO2圧入を停止し、事業者による坑井の廃坑や圧入設備撤去等が開始される段階。事業者によって貯留サイトの閉鎖が行われる段階であって、当該貯留サイトにおける管理責任が管轄当局に移転されるまでの期間。
- ⑥ **長期貯留**：事業者による貯留サイトの閉鎖が完了し、当該貯留サイトの管理責任が管轄当局に移転された後の段階。一般に、この期間も、長期貯留安定性監視を目的に、貯留されたCO2のモニタリングが継続して実施されることが想定される。



図 1：CO2 地中貯留事業の一般的な事業の流れと本ガイドラインの対象範囲。ISO27914[1]

及び DOE (2017)[2]に基づいて作成。

二酸化炭素貯留事業等安全小委員会（第3回）



貯留サイトのスクリーニング・選定

- 貯留サイトのスクリーニング：地域や堆積盆地規模の広域でCO₂ 地中貯留の適性を検討し、候補となる貯留サイトを特定、評価、比較し、貯留に適さないサイトを除外する。これにより複数の貯留候補地のリストを得る。
- 貯留サイトの選定：複数の貯留候補地のリストから、貯留サイトのキャラクタリゼーションを行う候補地を選定する。選定された候補地に対しては、各種データの入手及びとりまとめが進んでいる必要がある。
- これらの段階で不適切なエリアを除外することでCO₂地中貯留に係る様々なリスクを大幅に低減できる。

- ISO27914:2017が推奨するサイトスクリーニングの要件[5.2 a), b)]の例

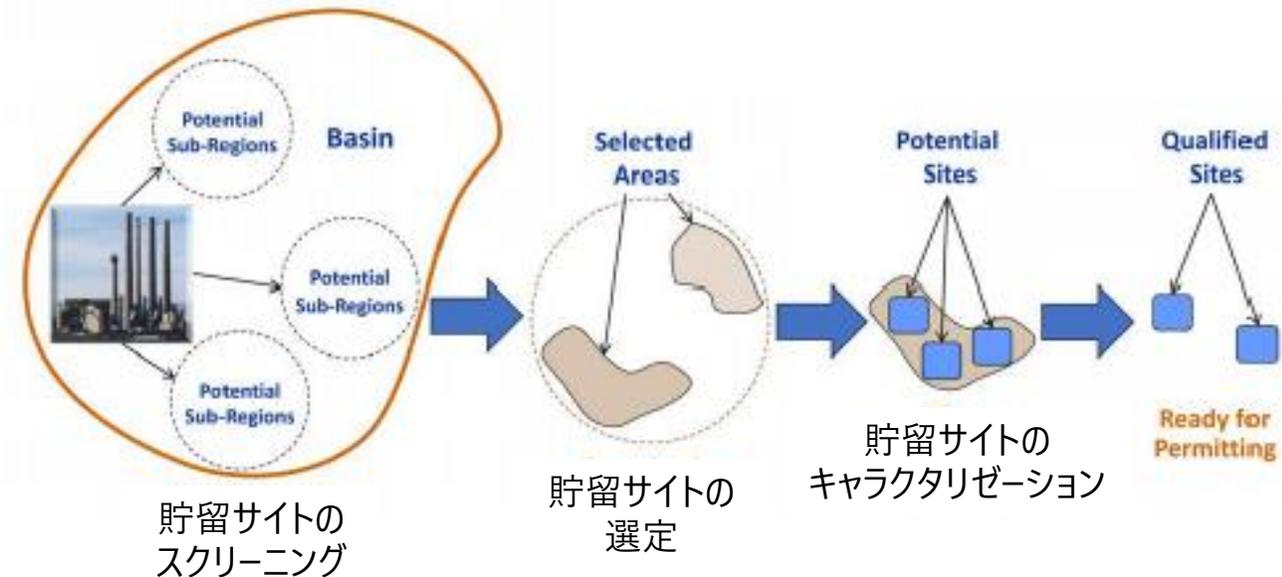
- 貯留容量および圧入性
- 封じ込め能力
- 地層応力状態
- 断層を介した漏洩リスク
- 耐震性
- 表層水系への近接性
- モニタリングの実施可能性

- ISO27914:2017が推奨するサイト選定の要件[5.3 a), b)]の例

- 貯留容量
- 圧入性
- 封じ込め能力
(地質構造の遮蔽能力, 坑井等の健全性)

(注)本資料における[○.○]の表記は、ISO27914:2017における該当箇所を示す。以降のスライドについても同じ。

貯留サイトのスクリーニング・選定の概念図



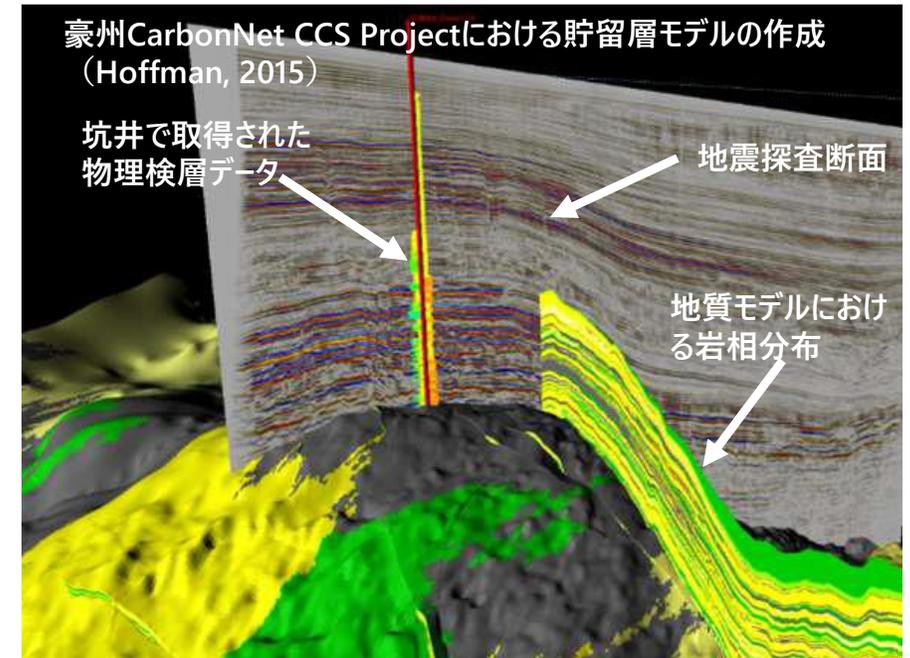
貯留サイトのキャラクターゼーション

- 貯留サイトのキャラクターゼーション：対象の貯留サイトに対して、地下地層内の岩石性状の分布や、CO2 圧入性を分析／解釈すること。事業期間を通じて、サイトに関する地下のデータの入手及び整理を継続し、貯留サイトのデータ分析／解釈を随時更新する。
- 複数のデータ（坑井物理検層、コア分析、地震探査）を組み合わせることで地下地層内の岩石物性の3次元分布を評価しモデル化する。これにより地下地質に係る不確実性を低減し、その理解を深めていく。

- ISO27914:2017が推奨するサイトのキャラクターゼーションの対象項目[5.4]の例

- 貯留層の水理地質学的な特性評価 [5.4.2]
- 遮蔽層の遮蔽性能にかかる特性評価 [5.4.3]
- 地化学的特性評価 [5.4.4]
- ジオメカニカル特性評価 [5.4.5]
- 坑井の健全性評価 [5.4.6]

- 複数のデータを、上記の観点から、分析／解釈することで、岩石物性の3次元分布を評価しモデル化することで、次ページに示すCO2圧入シミュレーションが可能となる。



豪州Gippsland Basinに位置するCarbonNet CCS Projectでのサイトキャラクターゼーションの例。物理検層データ、地震探査データを統合して、貯留層モデル（地質モデル）を構築する。図中の黄色、緑、灰色は、地下での岩相（岩石の種類）の3次元分布を表し、それぞれ、砂岩、頁岩、炭層を表す。

CO2圧入シミュレーション

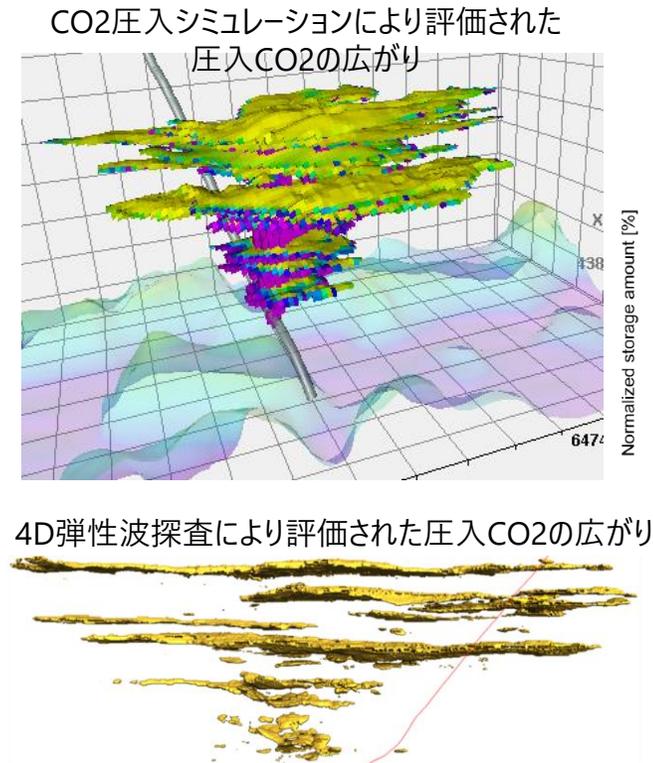
- **地質モデル**：貯留層及び遮蔽層の地下構造やその**岩石物性の空間分布の把握**を行う（**地下のモデル化**）。
- **CO2 圧入シミュレーション**：**圧入CO2が地下構造に及ぼす影響を評価**するための数値計算シミュレーション。**圧入CO2の広がり（CO2ブルーム）**、**圧力の伝搬**、**地下応力状態の経時変化**をシミュレーションする。
- シミュレーション結果を用いることで、**計画段階では最適なCO2圧入計画を立案したり長期貯留安定性を評価**。また、CO2圧入中は、モニタリング等により得られた情報とシミュレーション結果を比較検証し、**貯留層キャラクタリゼーションの精度向上**を図る。モニタリング結果とよく整合した**シミュレーションモデルを用いて圧入CO2の長期的な挙動（>100年）が評価可能**。

- ISO27914:2017が推奨するモデリング・シミュレーションの対象項目の例

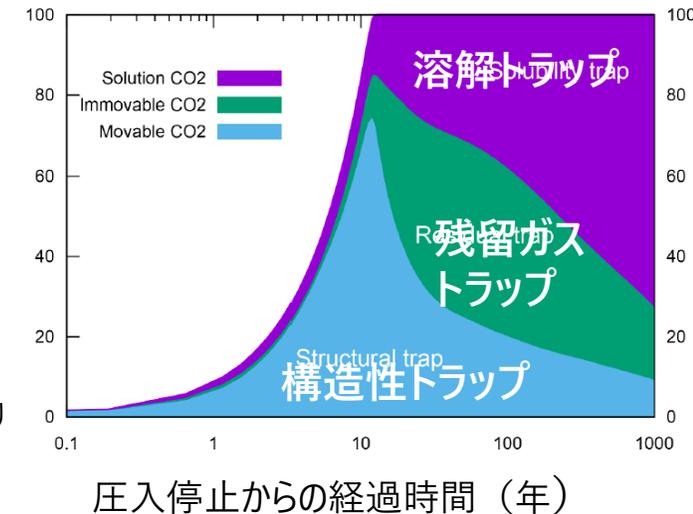
- 地質モデル [5.5.2]
- 流動モデル（CO2圧入シミュレーション） [5.5.3]
- 地化学モデル（地化学反応シミュレーション） [5.5.4]
- ジオメカニカルモデル（ジオメカシミュレーション） [5.5.5]

- 貯留サイトの特性や想定する圧入シナリオ（例えば、坑井数、坑井配置、圧入圧力）に応じて、上記の対象項目を検討。
- 地質モデル作成にあたっては、モデリングの対象パラメータの不確実性も考慮することを推奨。
- 想定する圧入シナリオのもと、貯留層内の挙動、ならびにこれらに起因するリスクを評価し、その結果に基づいて最適な圧入計画を立案。

Sleipner CCS Projectでの事例



シミュレーションによる1000年間の長期安定性評価



リスクマネジメント

- リスクマネジメント：貯留サイトキャラクタリゼーションやモデリングおよびシミュレーションを通じて得られた地下地質に関する理解に基づき、**CO2地中貯留事業の実施を通じて想定されるリスクを評価・分析する。**
- その評価／分析の結果、必要と判断されるリスクに対しては、その**監視（モニタリング等）の計画**を立てる。

- ISO27914:2017は、汎用的なリスクマネジメントの手法を解説。CO2地中貯留事業に特化したリスク事例としては、たとえば、**圧入CO2の漏洩に係る潜在的リスク**として、以下があげられる（右図）。
 - (A) 遮蔽層の保持圧力以上の圧力が負荷され上部遮蔽層へリーク。
 - (B,D) 透水性のある断層を介してさらに上の層準へリーク。
 - (C) 遮蔽層が一部途切れている箇所からのリーク。
 - (E) 既存井戸を介してのリーク。
- 潜在的リスクの評価／分析の結果、その**発生確率を低減**するように**事業仕様を変更**したり、**モニタリングを実施**するなどの対策を講じる。

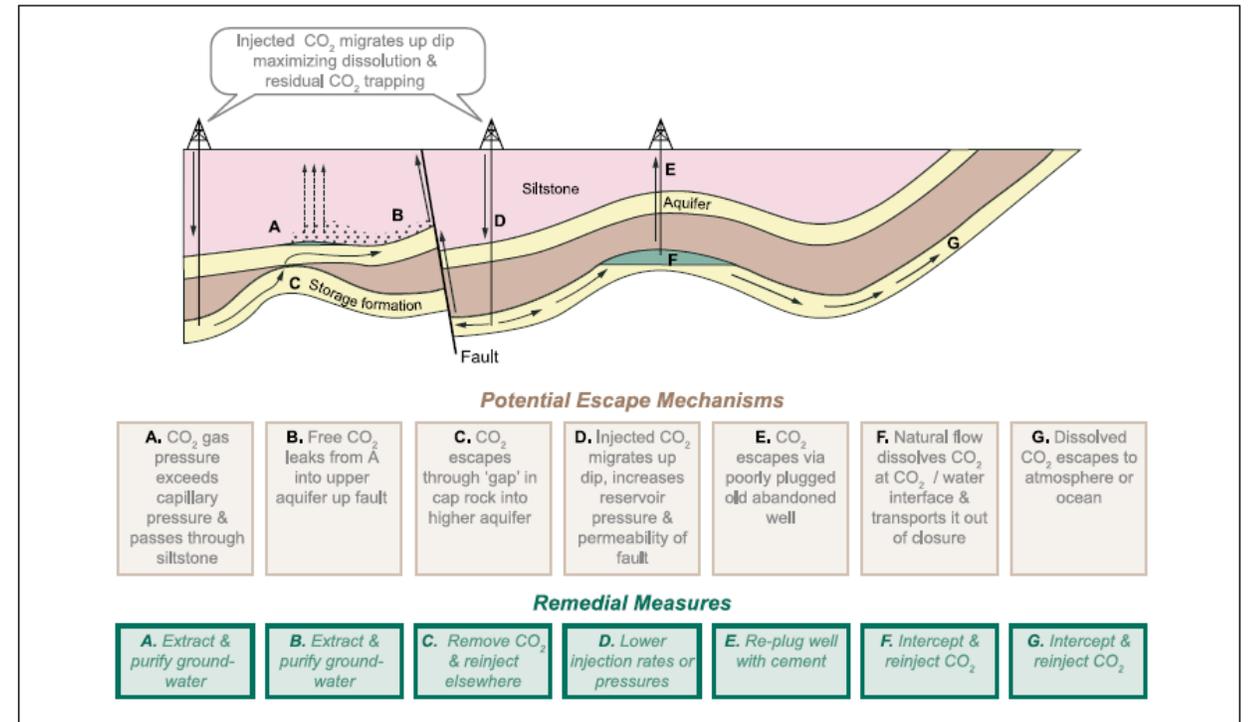


Figure TS.8. Potential leakage routes and remediation techniques for CO₂ injected into saline formations. The remediation technique would depend on the potential leakage routes identified in a reservoir (Courtesy CO2CRC).

坑井設備／CO2圧入操業

- 坑井設備ならびにCO2圧入操業設備の材質、設計、及び運用計画は、石油・ガス開発事業で用いられている各種スタンダードや手順書が準用可能。
- ただし、それに加えて、CO2漏洩リスク、CO2の腐食性、モニタリング及び検証の一環としての操業データの取得、等の観点からも検討が必要となる。

JOGMECのCCSガイドラインでは、石油・ガス開発事業で用いられている各種スタンダードや手順書で与える事項に加えて、検討する項目として以下の項目について、ISO27914:2017の参照箇所とともに与えている

坑井設備

- 新規坑井の掘削
- 既存井の転用
- 腐食対策
- 廃坑
- 坑井からの潜在的なCO2漏洩リスク

貯留サイトにおけるCO2圧入操業

- CO2圧入操業の設計
- 貯留施設の計画
- 操業及び保守計画
- 圧入操業
- 圧入操業中のデータ取得

参考文献

1. JOGMEC.(2022).CCS事業実施のための推奨作業指針（CCSガイドライン）.https://www.jogmec.go.jp/content/300378181.pdf
2. International Organization for Standardization, ISO27914 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage, vol. First edit. 2017.
3. C. D. Gorecki, J. A. Hamling, J. Ensrud, E. N. Steadman, and J. A. Harju, "Integrating CO2 EOR and CO2 Storage in the Bell Creek Oil Field," in Carbon Management Technology Conference, Apr. 2012, vol. 2, pp. 801–812. doi: 10.7122/151476-MS.
4. National Energy Technology Laboratory, "BEST PRACTICES: Site Screening, Site Selection, and Site Characterization for Geologic Storage Projects 2017 REVISED EDITION," 2017, [Online]. Available: https://www.netl.doe.gov/coal/carbon-storage/strategic-program-support/best-practices-manuals
5. N. Hoffman, G. Carman, M. Bagheri, and T. Goebel, "Site Characterisation for Carbon Sequestration in the Nearshore Gippsland Basin," in International Conference and Exhibition, Melbourne, Australia 13-16 September 2015, Sep. 2015, vol. 56, no. 7, pp. 265–265. doi: 10.1190/ice2015-2209980.
6. JOGMEC令和 2 年度 石油天然ガス開発技術本部 年報 https://www.jogmec.go.jp/publish/publish_10_000004.html, 2021
7. T. Akai, T. Kuriyama, S. Kato, and H. Okabe, "Numerical modelling of long-term CO2 storage mechanisms in saline aquifers using the Sleipner benchmark dataset," Int. J. Greenh. Gas Control, vol. 110, p. 103405, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ijggc.2021.103405.
8. B. Metz, O. Davidson, H. De Coninck, and others, Carbon dioxide capture and storage: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, United Kingdom, 2005.
9. C. Jenkins, A. Chadwick, and S. D. Hovorka, "The state of the art in monitoring and verification—Ten years on," Int. J. Greenh. Gas Control, vol. 40, pp. 312–349, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.ijggc.2015.05.009.
10. Chadwick,R.A.,Williams,G.A.,Williams,J.D.O.,&Noy,D.J.(2012).Measuringpressureperformanceofalargesalineaquiferduringindustrial-scaleCO2injection:TheUtsiraSand,NorwegianNorthSea.InternationalJournalofGreenhouseGasControl,10,374–388.https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.06.022