



貯留CO₂の長期安定性 とその評価について

CCS事業制度検討ワーキンググループ/海底下CCS制度専門委員会（第2回）

Japan Organization for Metals and Energy Security

2025年10月8日



●CO₂の貯留メカニズム

- 4つの貯留メカニズムにより安定的に貯留層内に封じ込められる
- 圧入からの経過時間が長くなるほど貯留は安定化へ向かう

●貯留CO₂の長期安定性の評価

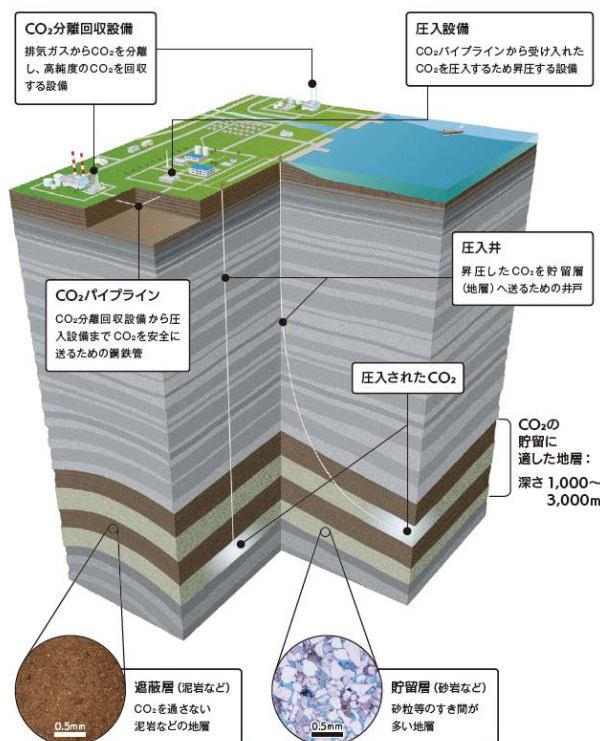
- EU-CCS指令における貯留CO₂の長期安定性の評価基準の事例紹介
- Quest CCS事業におけるヒストリーマッチと将来予測の事例紹介

CO₂の貯留メカニズム

- CO₂の貯留場を構成する地下地質は、**十分な貯留容積と高浸透性を有する貯留層**と、**高遮蔽能力を有する遮蔽層**からなる。
- これらの地層を深度約800m以深で見つけることで、**地下の圧力を利用してCO₂を超臨界状態**とし、**高効率な貯留**が可能となる。
- 貯留メカニズムには、主に**①構造的トラップ**、**②残留ガストラップ**、**③溶解トラップ**、**④鉱物化トラップ**があり、これらは異なる時間スケールで進行する。その進行は、物理トラップは比較的早く、化学トラップは比較的遅い。従って、CO₂地中貯留では、**圧入からの経過時間が長くなるほど貯留は安定化**へ向かう。

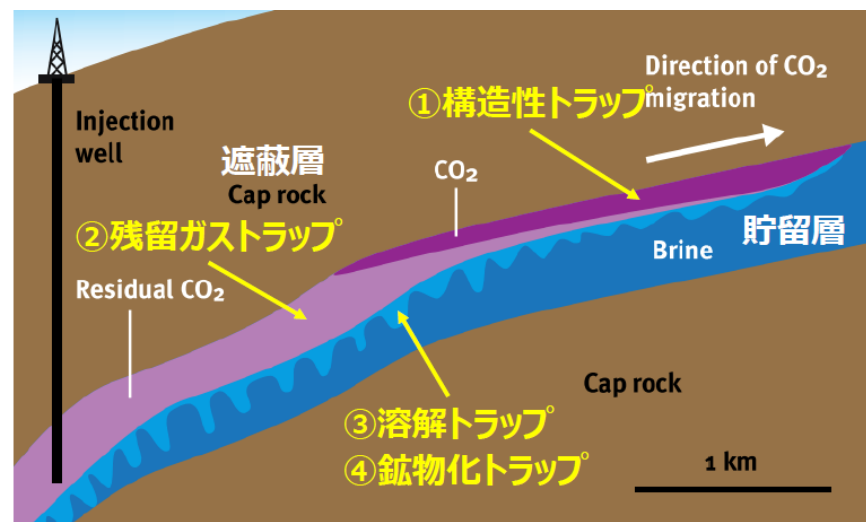
CO₂地中貯留の概念図

地下深部の貯留層に圧入されたCO₂は、遮蔽層の下位に超臨界状態で貯留される。



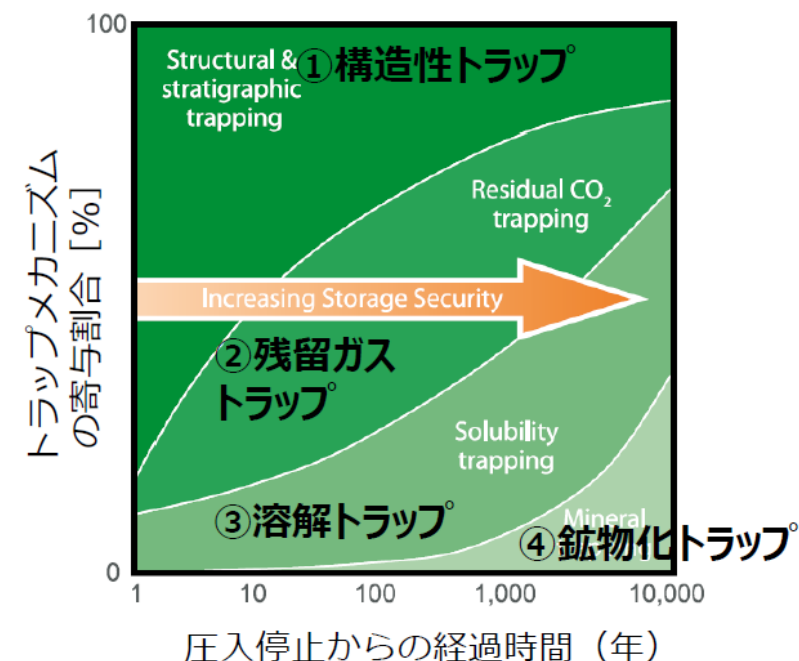
CO₂貯留メカニズム

- ① **構造的トラップ**: 遮蔽層の下位に貯留
- ② **残留ガストラップ**: CO₂が移動する過程でバブル状となり流動性を失い岩石のすきまに貯留
- ③ **溶解トラップ**: 圧入したCO₂が深部貯留層内の地層水に溶解して貯留
- ④ **鉱物化トラップ**: CO₂が溶解した地層水が岩石鉱物と化学反応を起こし岩石鉱物として固定化



CO₂貯留メカニズムの経時変化

圧入からの経過時間が長くなるほど貯留は安定化へ向かう。

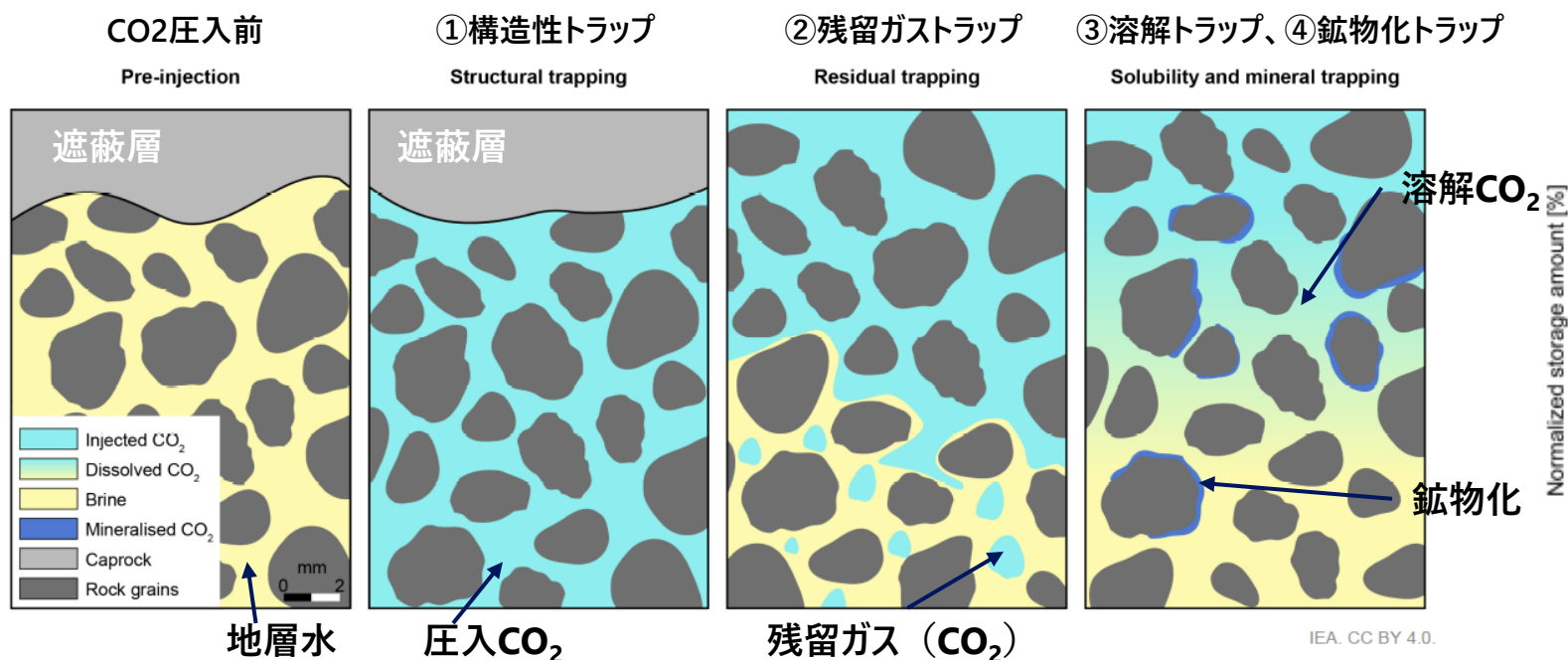


(出典) 第三回 カーボンマネジメント小委員会・資料3より

(出典) 「CCSで持続可能な未来へ」(JAPEX社)より

CO₂の貯留メカニズム

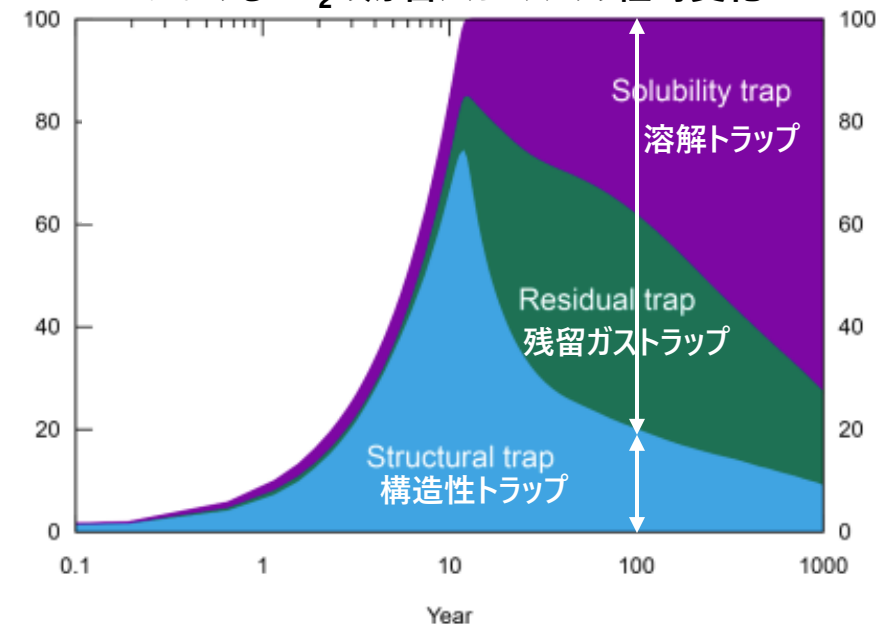
- 4つの貯留メカニズム（①構造的トラップ、②残留ガストラップ、③溶解トラップ、④鉱物化トラップ）の進行は、貯留サイトごとに異なるが、モデルを用いたシミュレーションによりこれらを評価することができる。
- 一般に、時間の経過とともに、より安定な貯留メカニズム（②残留ガストラップ、③溶解トラップ、④鉱物化トラップ）が占める割合が増大する。すなわち、**圧入からの経過時間が長くなるほど貯留は安定化**へ向かう。



Note: The scale and distance between mineral grains will vary between reservoirs.

Source: Adapted from S. Flude and J. Alcade (2020), [Carbon capture and storage has stalled needlessly – three reasons why fears of CO₂ leakage are overblown](#), The Conversation (accessed 16 May 2022).

シミュレーションにより評価されたSleipner CCS事業におけるCO₂の貯留メカニズムの経時変化



100年経過後には、貯留CO₂の80%以上は、流動性の乏しい残留ガスないし溶解トラップにて貯留されている。これらが占める割合は時間の経過とともに増大していく。

(出典) IEA (2022)

(出典) Akai et al. (2021)

貯留CO₂の長期安定性の評価

- EU-CCS指令では、「貯蔵されたCO₂が完全かつ永久に封じ込められること（貯留CO₂の長期安定性）」を示すために、以下の項目の文書化を求めている（EU-CCS指令第18条1.(a)および2.）。
 - ① 圧入されたCO₂の実際の挙動とモデル化された挙動とが一致すること。
 - ② 検出可能な漏えいがないこと。
 - ③ 貯留サイトは長期的な安定状態に向かっていること。

EU-CCS指令のガイダンス図書（No.3）における記載

項目	内容
モデルとの整合性 (Conformity with models)	● 貯留CO₂の長期安定性の評価は、モデルとモニタリング結果に基づいて行われる。 ● 過去のモニタリング結果と整合的なモデル（ヒストリーマッチされたモデル）を用いて、モデルによる将来予測により各種の貯留メカニズムにてCO₂が封じ込められていることを示す。 ➢ モニタリングと比較するパラメータの例：圧入圧力、圧入量、貯留層圧、プルームの移動
検出可能な漏えいがないこと (Absence of any detectable leakage)	● 全ての坑井の健全性が、漏えいや、予期せぬ劣化や損傷なく維持されていること。 ● モニタリング結果が、漏えいがないことを示していること。
長期安定状態への移行 (Evolution towards long-term stability)	● モデルによる将来予測が、将来の漏えいや人間の健康や環境に対する悪影響に関する重大なリスクを示していないこと。 ● 主要なモニタリングパラメータが、将来の安定値に対して、一定の範囲内であること、または、それに向かう傾向であること。 ➢ 主要なモニタリングパラメータの例：貯留サイトの圧力、プルームの移動、坑井部材の健全性

（出典）EU-CCS指令 Guidance document 3 （2024）

貯留CO₂の長期安定性の評価 (ヒストリーマッチと将来予測の事例紹介)

カナダQuest CCS Projectにおける事例

各坑井で観測された圧力（△）とモデルによりシミュレートされた圧力（実線）
モデルは、モニタリング結果と整合的である。

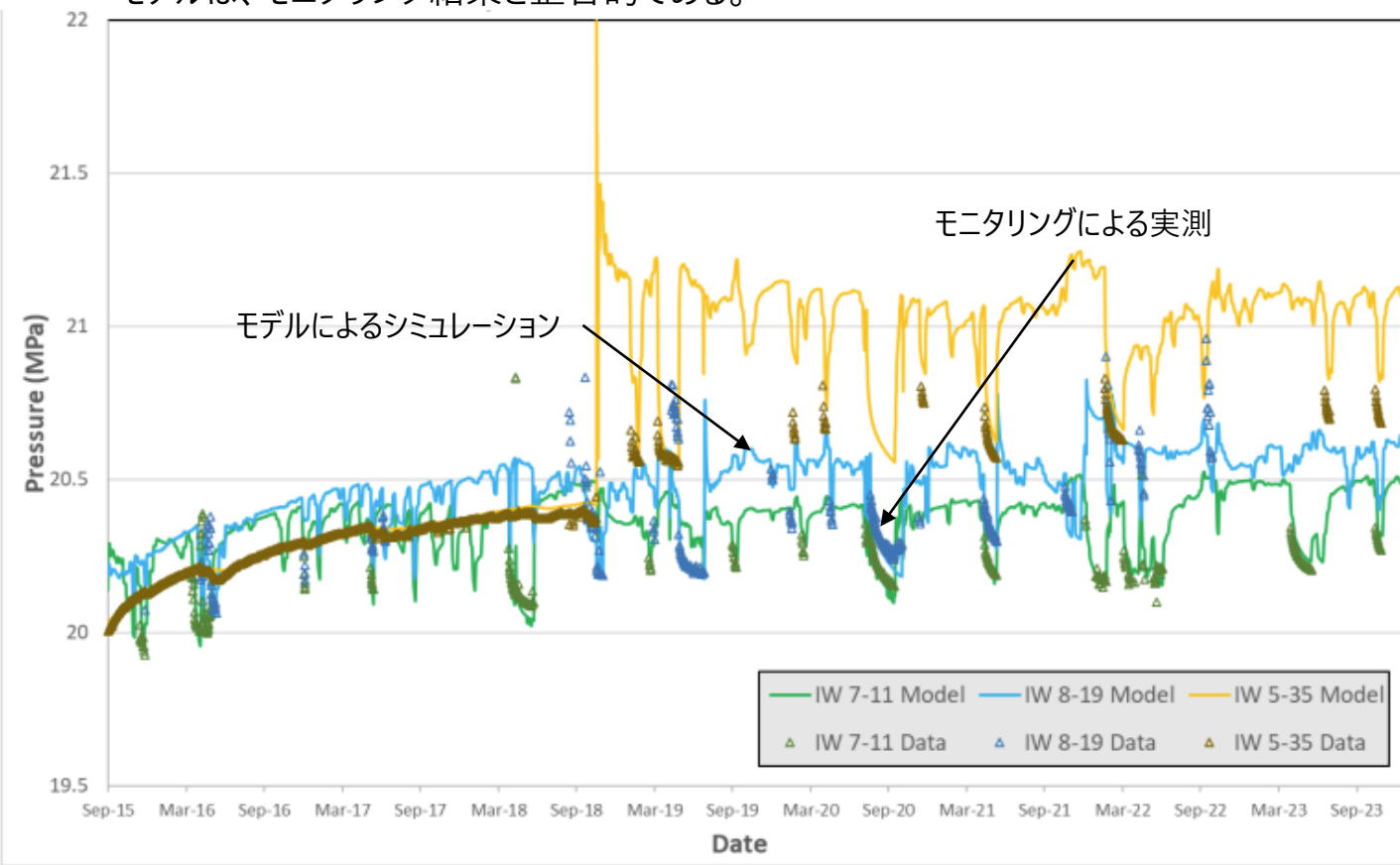
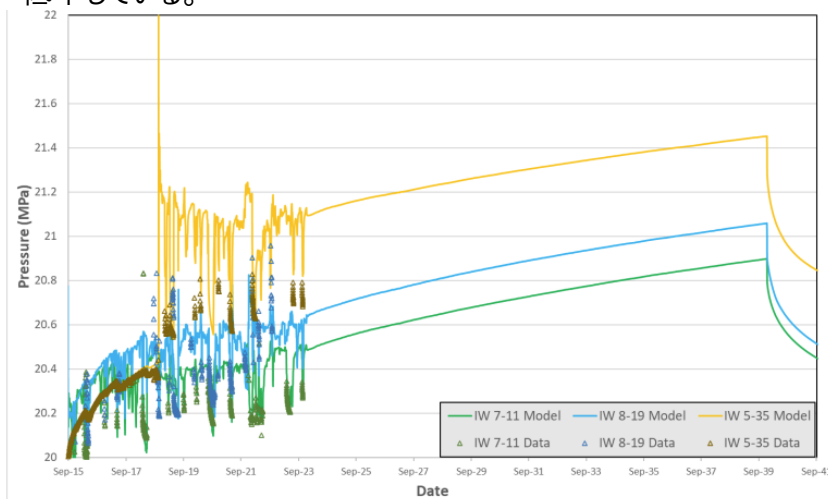


Figure 3-7: Actual Shut-in BH Pressure Gauge Response vs Modelled Pressure Response

(出典) Shell Canada Limited (2024)

ヒストリーマッチされたモデルによる将来の圧力挙動
圧入を継続する2040年に向けて圧力が上昇し、その後、圧力が低下している。



ヒストリーマッチされたモデルによる将来のCO₂分布

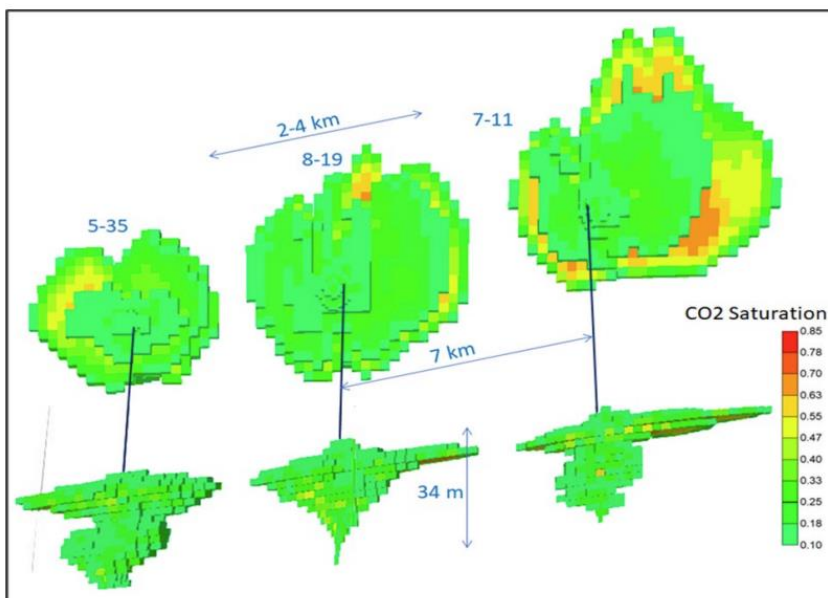


Figure 3-12: Schematic map view and 3D views of the predicted CO₂ plume in 2040. The plumes as displayed utilize the Gen-4 property model

参考文献

第三回 産業保安基本制度小委員会/カーボンマネジメント小委員会CO2貯留メカニズムとリスクマネジメント（資料3）,
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/pdf/003_03_00.pdf

石油資源開発株式会社, CCSで持続可能な未来へ～限りある資源から限りなき挑戦へ～,
https://www.japex.co.jp/business/uploads/pdf/CCSpamphlet_maintext.pdf

IEA, "CO2 Storage Resources and their Development: An IEA CCUS Handbook" (2022),
<https://www.iea.org/reports/co2-storage-resources-and-their-development>

Akai et al., "Numerical modelling of long-term CO2 storage mechanisms in saline aquifers using the Sleipner benchmark dataset" (2021),
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583621001572>

EUROPEAN COMMISSION, "Guidance document 3 Criteria for transfer of responsibility to the competent authority" (2024),
https://climate.ec.europa.eu/document/download/f647725c-e86f-4bea-b698-48c6b0390ad3_en?filename=ccs-implementation_gd3_en.pdf

Shell Canada Limited, "Quest Carbon Capture and Storage Project 2023 ANNUAL STATUS REPORT" (2024),
<https://open.alberta.ca/dataset/e90a4e6e-2c11-44ee-b198-de244261c585/resource/7043558a-2264-4e2a-bb03-75dfb5e8a9de/download/quest-annual-status-report-2023-alberta-energy-regulator.pdf>