経済産業省

資料３

導管輸送及び貯留に係る保安規制の検討状況について

令和８年11月４日

経済産業省
大臣官房　産業保安・安全グループ
鉱山・火薬類監理官付　CCS保安室

１．ＣＣＳ事業法における保安規制の検討体制

２．導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例（案）

３．二酸化炭素の地下貯蔵の保安措置に関するガイドライン（案）

CCS事業法における保安規制の検討体制

- CCS事業法における保安規制の具体化に向けては、**専門家の意見を踏まえながら検討**を進めてきたところ。

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

＜委　員＞

大島　　正子（日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会　環境委員会　委員）
川畑　　友弥（東京大学大学院　工学系研究科　教授）
澁谷　　忠弘（横浜国立大学　総合学術高等研究院　教授）
チヴァース陽子（株式会社三井住友フィナンシャルグループ　社会価値創造企画部　上席推進役）
辻　　健（東京大学大学院　工学系研究科　教授）
廣本　　祥子（物質・材料研究機構　構造材料研究センター　材料創製分野　耐食材料グループ　グループリーダー）
森廣　　泰則（一般財団法人日本ガス機器検査協会　理事）
加藤　　洋一（高圧ガス保安協会　会長）
笹木　　圭子（早稲田大学　理工学術院　教授）
島　　美穂子（森・濱田松本法律事務所外国法共同事業　パートナー弁護士）
千代延　　俊（秋田大学大学院　国際資源学研究科　教授）
原田　　文代（株式会社日本政策投資銀行　取締役常務執行役員）
古井　　健二（早稲田大学　理工学術院　創造理工学部　教授）
〇山田　泰広（九州大学大学院　工学研究院　教授）

CCS事業技術基準検討ワーキンググループ

＜委　員＞

小野　　恭子（産業技術総合研究所　サーキュラーテクノロジー実装研究センター　副研究センター長）
川畑　　友弥（東京大学　大学院工学系研究科　教授）
北村　　龍太（エネルギー・金属鉱物資源機構　エネルギー事業本部　CCS事業部　部長）
〇澁谷　忠弘（横浜国立大学　総合学術高等研究院　教授）
廣本　　祥子（物質・材料研究機構　構造材料研究センター　材料創製分野　耐食材料グループ　グループリーダー）

貯留専門家ワーキンググループ

＜委　員＞

徂徠　　正夫（産業技術総合研究所　CCUS実装研究センター　首席研究員）
千代延　　俊（秋田大学大学院　国際資源学研究科　教授）
辻　　健（東京大学大学院　工学系研究科　教授）
古井　　健二（早稲田大学　理工学術院　創造理工学部　教授）
〇山田　泰広（九州大学大学院　工学研究院　教授）

※　〇印は委員長

１．ＣＣＳ事業法における保安規制の検討体制

２．導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例（案）

３．二酸化炭素の地下貯蔵の保安措置に関するガイドライン（案）

導管輸送事業における保安措置全体像

項目	内容
①導管輸送工作物の技術基準への適合・維持	導管：設置場所、材料、構造等、溶接部分、水分除去措置、防護措置、防食措置、二酸化炭素遮断装置、危険標識、漏えい防止、健康被害防止措置、計測装置、警報装置 圧送機：保安距離、材料、構造等、安全装置、計測装置、警報装置
②災害発生時の報告	人が死亡又は負傷、一般公衆の避難等を招来、自然災害又は火災、大量のガスの漏えい等
③保安規程の策定・届出	管理者の選任・体制整備、保安教育、点検・検査、他工事対応、地震・津波等含めた災害時の措置
④作業監督者の選任	導管の工事・維持・運用、CO2の圧送のそれぞれの作業毎に選任
⑤工事計画の届出	国で導管輸送工作物の技術基準への適合を確認
⑥使用前自主検査	導管輸送事業者が導管輸送工作物の技術基準への適合を自主検査
⑦登録導管輸送工作物検査機関による検査	導管輸送事業者による使用前自主検査の結果を第三者が検査
⑧定期自主検査	定期に自主的に導管輸送工作物の技術基準への適合を確認 （定期的に国が立入検査でそれを確認）

二酸化炭素の濃度及び不純物

- CCS事業法施行令において、貯蔵するCO_2の濃度は、原則**体積百分率99%以上**であることを求めている。
- 解釈例の策定に当たっては、上記の組成を満たすCO_2を輸送することを前提に検討を進めてきたことから、**解釈例の適用範囲については、CO_2濃度が体積百分率99%以上の流体**とする。
- CO_2流体に含まれる**不純物については、その成分毎の割合の上限値がISO27913 Annex Aに示されている**ところ。

二酸化炭素の貯留事業に関する法律施行令（抄）

（貯蔵する二酸化炭素の基準）

第三条　法第三十八条第二項第五号イ（法第三十九条第三項において準用する場合を含む。）の政令で定める基準は、次のとおりとする。

一　貯蔵する法第二条第一項に規定する二酸化炭素における二酸化炭素の濃度が、**体積百分率九十九パーセント以上**（貯蔵する二酸化炭素以外の物質が海洋環境に及ぼす影響が少ない物質として主務省令で定める基準に適合するものである場合にあっては、主務省令で定める体積百分率以上）であること。

二　貯蔵する二酸化炭素以外のものとして海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（昭和四十五年法律第百三十六号）第十八条の七に規定する油等が加えられていないこと。

2　前項第一号に掲げる基準に適合するかどうかの判定のために行う二酸化炭素の濃度の測定の方法は、主務省令で定める。

ISO 27913 : 2024　Annex A　Examples of CO2 stream

・現在の科学的知見に基づいて数字が設定されているが、不明確な点は安全側に設定されている。

・不純物レベルを緩和する場合は安全性を証明しなければならないと記載されている。

【気　　相】$H_2S \leqq 5ppm$,　$SO_X \leqq 10ppm$, $NO_X \leqq 10ppm$,　$H_2 \leqq 1mol\%$, $N_2 \leqq 4mol\%$, $O_2 \leqq 10ppm$

【デンス相】$H_2S \leqq 55ppm$, $SO_X \leqq 1ppm$,　$NO_X \leqq 1.5ppm$, $H_2 \leqq 1mol\%$, $O_2 \leqq 10ppm$　　etc.

解釈例作成にあたっての基本的方針①

- 導管輸送工作物とは、CCS導管及び圧送機を指す。
- CCS導管は、**地中や地盤面上等に敷設しCO_2を輸送する**ものであり、**ガス事業法における導管との類似性が高い**ため、基本的には**ガス工作物技術基準の解釈例を参考に作成**する。
- 圧送機は、輸送するCO_2を加圧・圧縮する設備であり、**高圧ガス保安法における高圧ガス製造設備との類似性が高い**ため、基本的には**高圧ガス保安法の例示基準を参考に作成**する。

ガス工作物技術基準の解釈例の参考項目例

- 導管の設置場所
- 導管の材料
- 導管の厚さ・接合方法等の構造
- 導管の耐圧試験・気密試験
- 導管の耐震性
- 溶接の手法　　等

高圧ガス保安法の例示基準の参考項目例

- 圧送機に係る保安距離
- 圧送機の強度
- 圧送機の耐圧試験・気密試験
- 圧送機の安全装置　　等

解釈例作成にあたっての基本的方針②

- 一方で、CCS事業において輸送するCO_2は、**ガス事業法における天然ガスと異なる特性（腐食、人への健康影響等）**を有するため、**その特性によるリスクに応じた保安措置**を講じる必要がある。よって解釈例には、そのような**CO_2の特性を踏まえた措置の内容を規定**する。
- 当該解釈例については、**海外規格・基準等も参考に作成**する。

二酸化炭素による人の健康への被害防止措置

〇導管からCO_2が漏えいした場合、特定濃度のCO_2に一定時間さらされ続けることによって、**人への健康影響を及ぼすおそれ**がある。
〇英国及び米国では、**事業者に漏えいシミュレーションを含めたリスクアセスメントの実施**を求めている。
〇技術基準を満たしていたとしても発生する可能性のある漏えいシナリオにおいて、漏えいCO_2による人への健康影響が生じうる範囲における**保安物件の有無や人の健康への影響度について、シミュレーションでの確認を求める。**

高速延性破壊

〇高圧ガスの導管輸送においては、輸送するガスと導管の構造の関係によっては万一導管にき裂が入った場合、 **き裂が長距離にわたり伝播する”高速延性破壊”のリスク**がある。
〇ISOにおいても、CCS導管には**高速延性破壊を起こさないようにするための措置**を求めている。
〇そのISOに基づき、**気相におけるバッテル２カーブ法、デンス相におけるISOの別表により、き裂が停止する条件を満たしていることの確認を求める。**

水分除去

〇**CO_2は水に溶けることにより酸性**を示すため、CCS導管内に一定程度水分が含まれる場合、それにより導管の内面が腐食するおそれがある。
〇海外規制においても、水分による**酸性成分の生成を制限するため、輸送するCO_2に含まれる水分量を制限**している。
〇**水分計**の設置を求めるとともに、海外規格も参考に、**輸送するCO_2の水分量の制限値を定める。**

内面腐食

〇CCS事業では、工場等からの排ガスからCO_2を分離・回収することから、輸送するCO_2には**不純物が含まれ**、それらにより**導管の内面が腐食するおそれ**がある。
〇海外においても、**CO_2がCCS導管に及ぼす腐食作用を調査**し、**不純物の含有量の制限や導管のモニタリング等、十分な腐食対策措置**を求めている。
〇**耐食性のある材料の選定**や**腐食速度に応じた導管の肉厚**を求めるほか、米国の連邦規則集の改正案を参考に**導管の腐食状況のモニタリング**を求める。

二酸化炭素による人の健康に係る被害防止措置

基本的な考え方（第５回小委員会資料３より抜粋、一部加工）

CO_2の導管輸送では**プロジェクト毎に輸送時における圧力、経路・周辺環境、遮断装置の間隔などが異なり**、それらに伴って**導管からCO_2が漏えいした場合の漏えい量や拡散範囲が異なるため、人の健康への影響度も異なる**。このため、以下の考え方に基づいて評価を行い、適切な保安措置が取られているかを確認する。

① 漏えい時の健康影響について、プロジェクトごとに事業者が評価し、その結果を国が確認する。

② 人の健康への影響度は、**保安物件において想定される低濃度による長時間ばく露と、高濃度による短時間ばく露の双方をシミュレーションにより評価**する。

③ シミュレーションは、**高低差（くぼ地含む）や保安物件の所在等を勘案して必要な範囲で実施**する。

こうしたリスクアセスメントは、**海外規制においても要求されているところ**であるが、わが国導管輸送では住宅地等の近くを通るルートも想定されることから、**その実態に即した形で健康影響の評価基準や手順の具体化**を進めてきたところ。

健康影響の程度を評価するためのCO_2濃度及びばく露時間の考え方

人への健康影響は、特定濃度のCO_2に一定時間ばく露され続けることによって引き起こされるという特性があるため、その特性に留意して健康影響の程度及び回避可能性の評価を行う必要がある。そこで、短期間ばく露する場合の濃度基準値（濃度値と許容ばく露時間）、長期間ばく露する場合の**濃度基準値の双方を回避できたかにより評価する。**

なお、規定するCO_2の濃度は、**英国のHSE UKのWEL（労働者の健康保護を目的として設定された職場ばく露限界）や、日本の労働安全衛生規則、事務所衛生基準規則を参考に以下を設定**する。

○**短期間ばく露する場合の濃度基準値**
短期許容濃度値は、15000ppm（1.5%）
短期許容時間は、15分間

○**長期間ばく露する場合の濃度基準値**
長期許容濃度値は、5000ppm（0.5%）
長期許容時間は、8時間

評価対象の漏えいシナリオ

- ガス事業法に基づき報告がなされた事故及び、国内ガス事業の業界団体が把握する事例において、国内ガス事業の事故事例における**他工事による孔あき事例**は、**他工事事故防止措置を実施していない場合には、孔径一桁mm前半の事例は確認されている**。
- また、**CO_2は水と反応して腐食を生じさせる性質を有しているほか、不純物によっても水と反応して、または単独で腐食を引き起こす場合がある**ことが国際的に認識されている。
- そのため、**埋設導管において技術基準を満たしていたとしても発生する可能性が否定できない漏えいシナリオ**として、以下の**２ケースを保守的に想定**する。

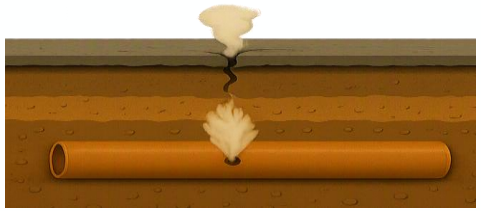
①他工事事故による孔あき事故

・他工事事故防止措置を実施していない場合、他工事事故が発生する可能性を否定できないことから評価対象とする。
・海外ガス事業の他工事事故事例※では20mm以下の事例は確認されていることから、評価対象の**孔径は20mmを設定。**



②腐食による孔あき事故

・内面防食の措置（腐食速度の評価、耐腐食材料の選定、適切な腐れしろの設定、必要に応じたコーティング等）を講じたとしても、腐食が発生する可能性を否定できないことから評価対象とする。
・国内中圧ガス導管の腐食事例では孔径一桁mm前半の事例は確認されていることから、評価対象の**孔径は５mmを設定**。

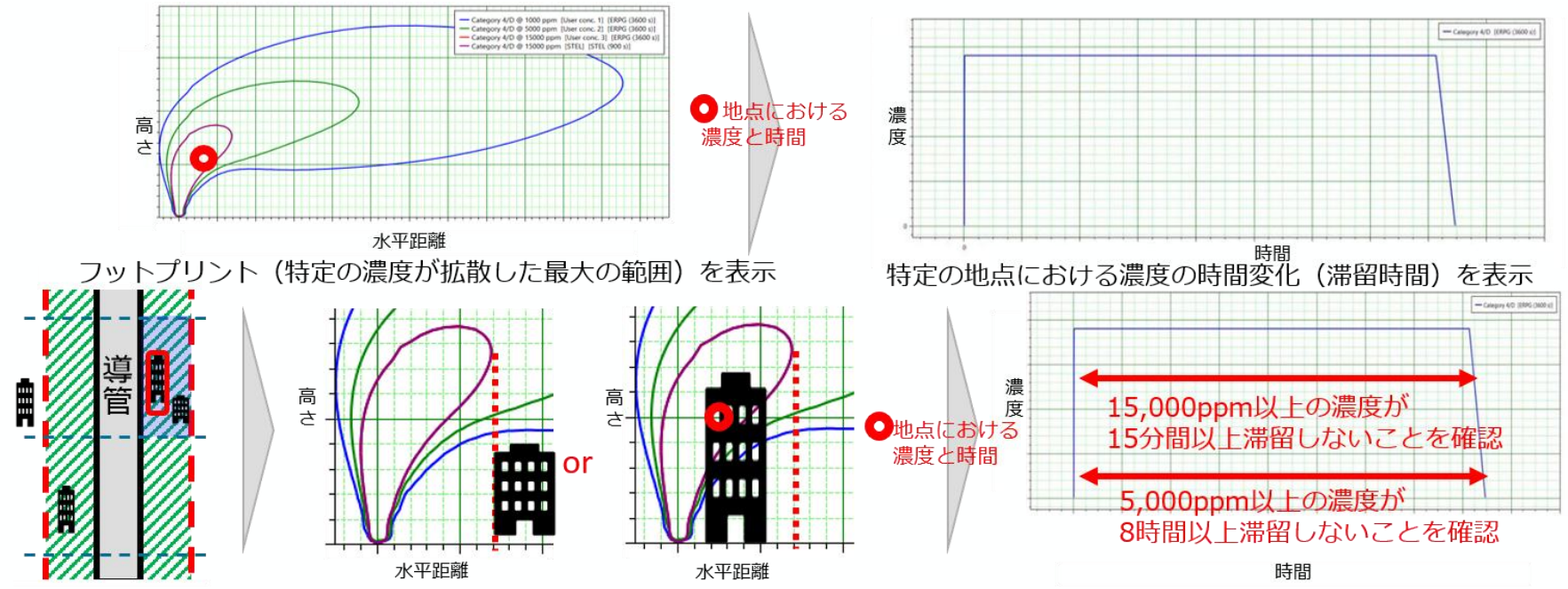


（※）GAS PIPELINE INCIDENTS 12th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group(period 1970 –2022) Figure 31による

CO_2漏えいシミュレーションによる健康影響評価の考え方

- **影響評価解析ソフト**では、導管の使用環境（圧力、温度、遮断弁間隔等）、気象条件（風速）、孔径を設定することで、**CO_2の特定濃度の拡散範囲と特定地点の滞留時間を把握**できる。
- これを用いて、CO_2の拡散範囲において保安物件の有無を確認し、**保安物件が存在する場合には、人の健康への影響の有無（15,000ppmの場合は15分、5,000ppmの場合は８時間の滞留）を確認**する。
- **影響が有の場合には、その影響を回避する保安措置が必要**となる。

影響評価解析ソフトを用いたシミュレーション例（Phast, DNV社製）



保安措置例①：防護板・パトロール等による他工事事故防止

- ガス事業法に基づき報告がなされた事故及び国内ガス事業の業界団体が把握する事例によれば、**高圧ガス導管における他工事による孔あき事例は、他工事事故防止措置（防護板及びパトロール等）を実施している場合には確認されていない。**
- CCS事業においても、**他工事事故防止措置を実施している場合には、他工事事故を防ぐ**ことができる。

他工事事故防止措置に係るハード対策

・**国交省通達「高圧のガスの供給施設の道路占用の取扱いについて」**により、2MPa以上の高圧のガスを供給するためのガス導管を、市街地又は人家連担地区※（将来において市街化又は人家連担化が予想される地区を含む。）の道路の地下に設ける場合にあっては、**ガス導管の上部に鉄板を敷設する等の方法により、ガス導管を防護することを要求。自主保安として全線に敷設する事業者も存在。**

※人家が連続して存在する地区

・上記と同じ通達により、上記のガス導管のうち、人家等から３m以内に埋設されるガス導管については、コンクリートボックスへ収容し、又は鋼矢板を打設する等の方法により漏洩したガスが人家等の側へ拡散しないような措置を要求。



▲鉄板の敷設イメージ

他工事事故防止措置に係るソフト対策

・他工事時は、事前協議・マーキング・現地立会等により、導管位置や施工上のリスクを周知する事業者も存在。

・未照会工事による損傷防止のため、高圧導管の路線パトロールを実施する事業者も存在。

（例：平日：3回／日、日曜・祝日：1回／日）

保安措置例②：放散塔による滞留時間短縮

- ガス事業では**漏えいを含む緊急時にガスを安全に放出するため、放散塔（ベントスタック）を設置**している。
- CCS事業においても、漏えい時に**CO_2の安全な放出ができる放散塔**を設置することで、**滞留時間を短縮**できる。

ガス事業の放散オペレーション

①漏えい検知後、遮断装置を閉止

・遠隔操作により速やかに閉止

・遠隔操作が困難な場合は、作業員を現地に派遣して閉止

②作業員を現地に派遣し、以下の安全確認を実施（放散中も常時確認）

・雷（着火源となり得る事象）の有無

・航空機等の飛翔体の接近状況

・強風の有無

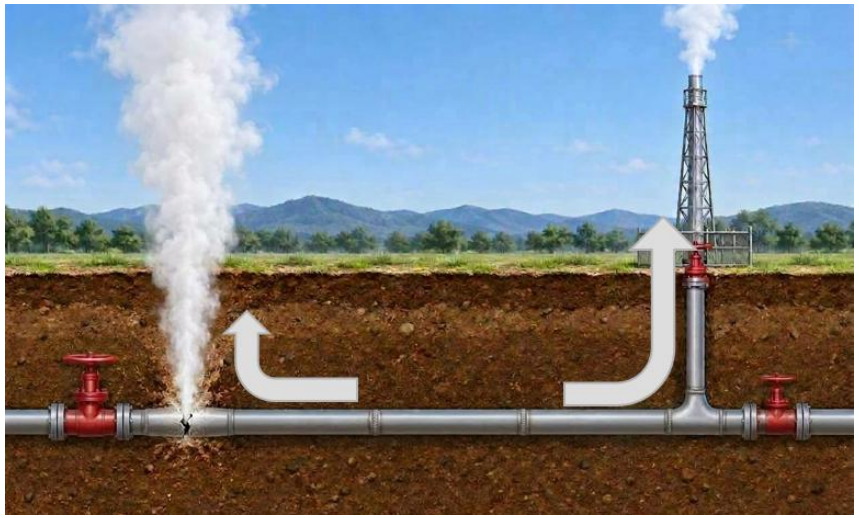
・放散ガスの地表付近での滞留状況

③放散開始

※検知から放散開始まで安全確認を行う必要がある。

※放散完了まで数時間程度

※なお、CCS事業はガス事業とは異なり、可燃性の観点の確認事項は不要であるため、短時間で放散可能な可能性がある。



▲放散塔の設置・動作イメージ

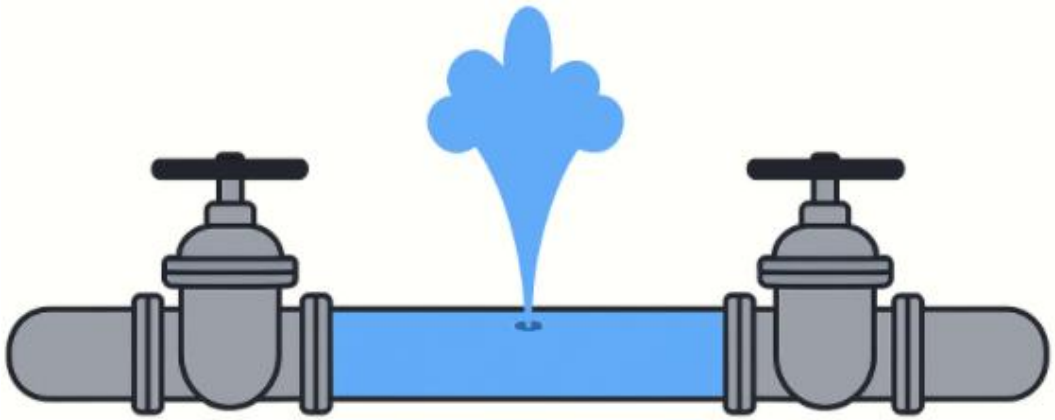
（参考１）影響評価解析ソフトによる拡散範囲の検証
（第３回CCS事業技術基準検討ワーキンググループ資料１より抜粋、一部加工）

シミュレーションソフト
・Phast

事業ケース
・気相輸送区間

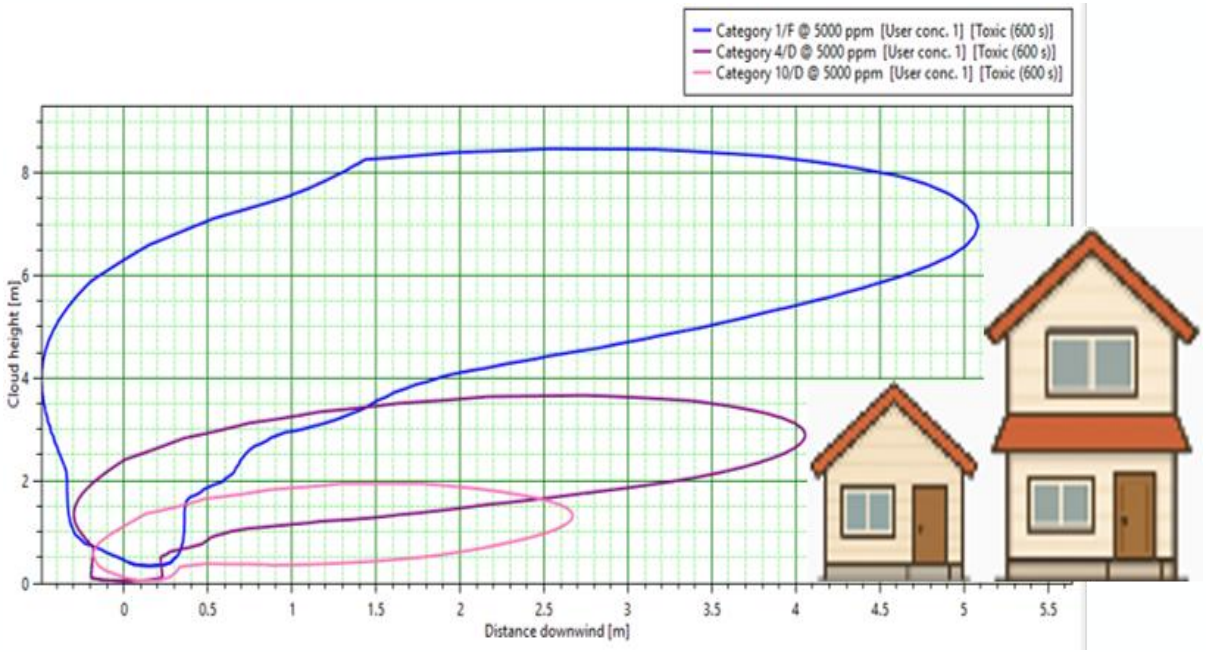
入力値
・遮断装置間隔の中間地点において漏えい孔が発生した状況
・放散塔を設置しない条件（安全側の観点からの条件）

漏えいシナリオ
・管内温度：３℃
・管内圧力：３MPaG
・管内径：485.8mm
・流量：134トン/時
・埋設深さ：3m
・**孔径：5mm、25mm**　※感度分析として設定
・漏えい孔位置：導管上部
・**遮断装置間隔：16km**
・**気象条件：1/F、4/D、10/D**　※感度分析として設定
※弱風／安定大気、中風／中立大気、強風／中立大気

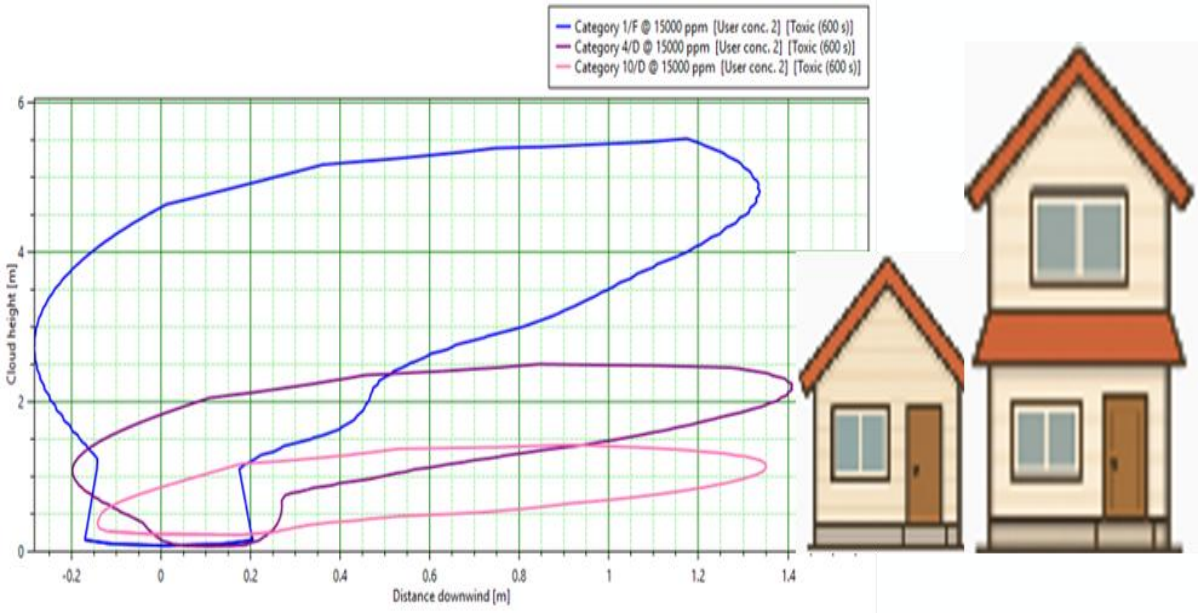


（参考２）保安措置（他工事事故防止措置及び放散塔設置）を講じていない場合の影響評価解析ソフトによるシミュレーション結果（孔径5mm）（第３回CCS事業技術基準検討ワーキンググループ資料１より抜粋、一部加工）

- 孔径5mmの場合、**5000ppm範囲を避けるためには約5.1m**以上、**15000ppm範囲を避けるためには約1.4m**以上の離隔距離が必要となる。
- 遮断閉止後の**漏えい時間は約1,127時間**（事務局において計算した数値）。



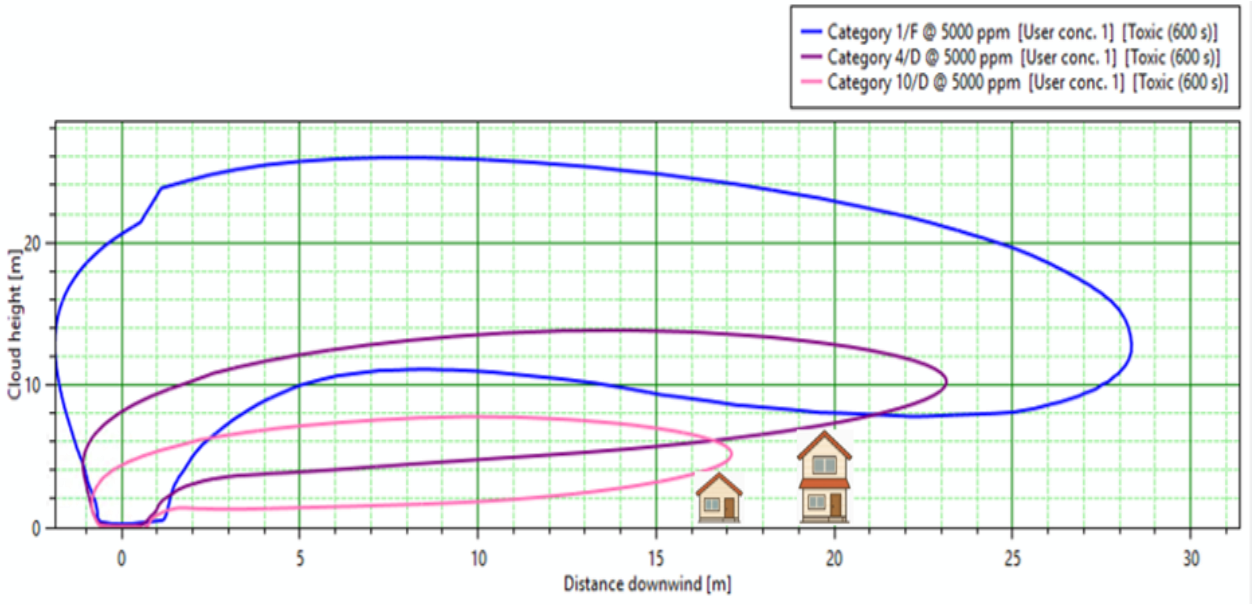
5000ppm：最大水平距離約5.1m、最大高さ約8.5m



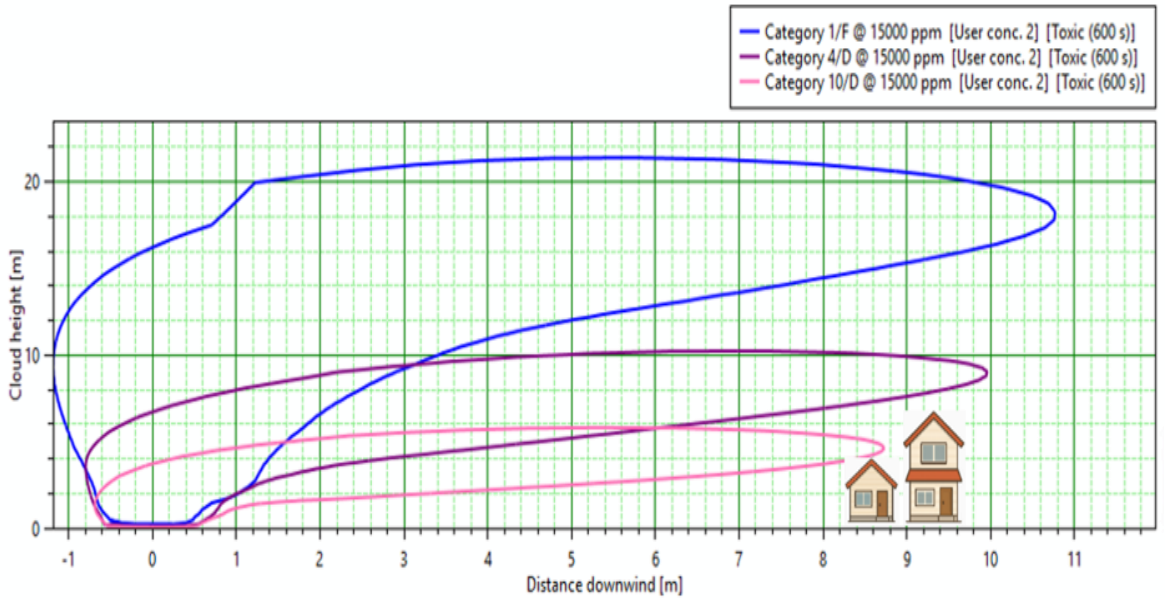
15000ppm：最大水平距離約1.4m、最大高さ約5.5m

（参考３）保安措置（他工事事故防止措置及び放散塔設置）を講じていない場合の影響評価解析ソフトによるシミュレーション結果（孔径25mm）（第３回CCS事業技術基準検討ワーキンググループ資料１より抜粋、一部加工）

- 孔径25mmの場合、**5000ppm範囲を避けるためには約28.2m**以上、**15000ppm範囲を避けるためには約10.8m**以上の離隔距離が必要となる。
- 遮断閉止後の**漏えい時間は約45時間**（事務局において計算した数値）。



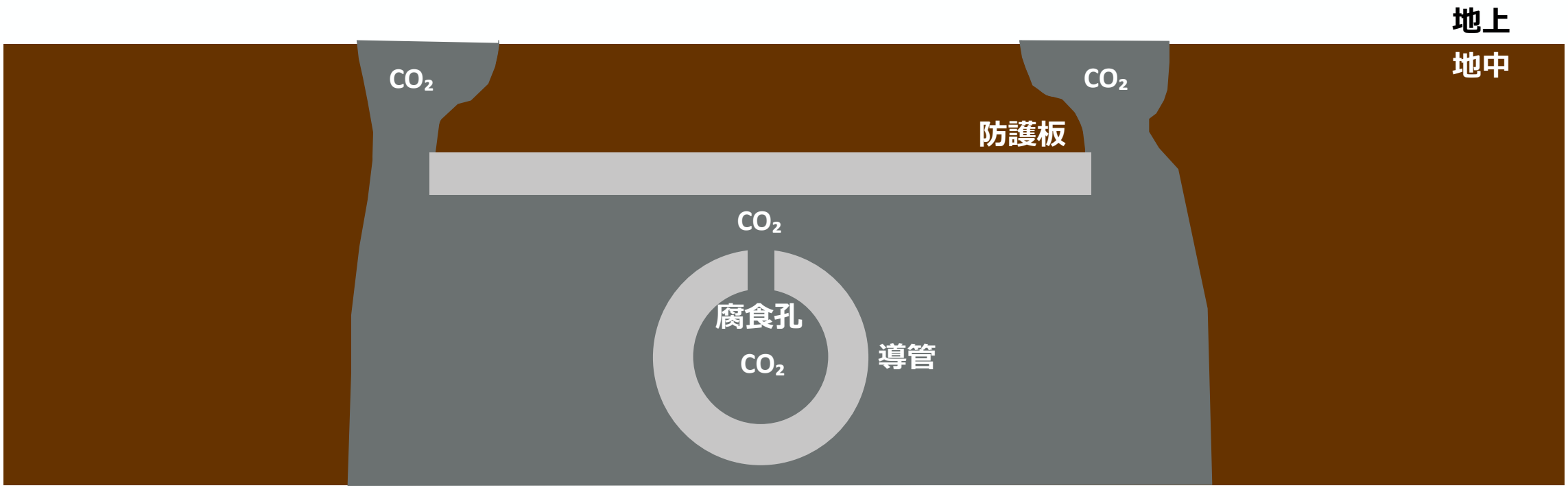
5000ppm：最大水平距離約28.2m、最大高さ約26.0m



15000ppm：最大水平距離約10.8m、最大高さ約21.8m

（参考４）他工事事故防止措置を講じた導管の健康影響評価
（第３回CCS事業技術基準検討ワーキンググループ資料１より抜粋、一部加工）

- 地中における拡散挙動や防護板等の影響を考慮した拡散挙動については、**影響評価解析ソフトでは評価が困難であり、数値流体解析ソフトによる評価が必要**となる。
- そこで、他工事事故防止措置を実施している場合に拡散するCO_2の濃度と滞留時間については、今後、**JOGMECと連携した実証事業の結果を踏まえて、解釈例に追記する予定**。



※上図はイメージ

まとめ：シミュレーションによる健康影響評価の実施方法

- **他工事事故防止措置を講じていない場合は、他工事事故による孔あき事故のケースを想定**
- **他工事事故防止措置を講じている場合は、腐食による孔あき事故のケースを想定**
- 上記２ケースについて、CO_2の拡散シミュレーション範囲における**保安物件の有無を確認し、保安物件が存在する場合には、人の健康への影響の有無（15000ppmの場合は15分、5000ppmの場合は８時間の滞留）を確認**

①他工事事故防止措置を講じていない場合

・**他工事事故による孔あき事故**を想定して実施する（**孔方向は鉛直上向き**とする）。
・**漏えい元の孔径を20mmと設定**する。
・Phast（DNV社製）等の**国が妥当性を認めたソフトウェア**を使用する。
・**気象条件**（風速／大気安定度）は、「弱風／安定大気」「中風／中立大気」「強風／中立大気」の**３パターンを設定して、それぞれについて実施**する。

②他工事事故防止措置を講じている場合

・**腐食による孔あき事故**を想定して実施する。
・**漏えい元の孔径を５mmと設定**する。

※①の場合とは異なり、評価には数値流体解析ソフトを用いた高度な分析が必要であるところ、今般の解釈例には盛り込まず、今後、JOGMECと連携した実証事業の結果を踏まえて、解釈例に盛り込むこととしたい。

CCS導管の内面腐食に対する措置

- 導管の材料については、ガス工作物技術基準の解釈例第14条の材料規格の中から、**CO_2の状態やそれに含まれる不純物等に起因する導管の内面腐食を考慮した上で選定**する。また、導管の厚さについては、導管の使用環境（流体組成、運転圧力、温度等）**に応じた腐食速度を評価**し、**その結果に応じて適切な腐れしろを設ける**。
- **導管の材料、構造、CO_2の状態やそれに含まれる不純物を踏まえ必要とされる内面コーティング等を行う**。
- **腐食検査を１年に４回程度行い、腐食の進行状況、措置の有効性を確認**する。

（参考）米国の連邦規則集49 CFR Part 195の改正案※

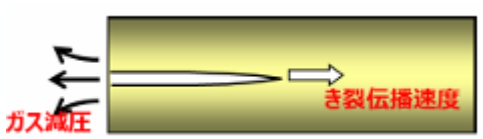
- パイプラインを腐食させるおそれのある二酸化炭素を輸送する場合、事業者は、二酸化炭素がパイプラインに及ぼすその腐食作用を調査し、パイプラインの内部腐食を低減するための十分な措置を講じなければならない。
- 腐食に影響を与える可能性のある成分には、以下を含むが、これらに限定されない。
  微生物、H_2O（水）、O_2（酸素）、CH_4（メタン）、H_2S（硫化水素）、CO（一酸化炭素）、SOx（硫黄酸化物）、NOx（窒素酸化物）。
- 事業者は、パイプラインの運転温度及び圧力条件下において、流体中に含まれる該当する腐食影響成分の個別及び複合的影響がパイプラインの内部腐食に及ぼす影響を評価し、必要に応じて低減措置を実施しなければならない。
- 当該監視及び低減プログラムには、以下を含めなければならない。

1. 腐食影響成分を含む二酸化炭素がパイプラインに流入する地点において、腐食影響成分の存在及び量を把握するための品質監視手法の使用。
2. 腐食影響成分を低減するための技術
   （製品サンプリング、抑制剤注入、インラインクリーニングピギング、セパレーター、または潜在的な腐食影響を低減するその他の技術を含み得る）。
   事業者は、以下を満たす能力を有する技術を使用しなければならない。
   (i)自由水を存在させないこと。また、いかなる相においても、水分を製品全体体積比で50 ppm以下に制限すること。
   (ii) いかなる相においても、総製品量に対する体積比で硫化水素（H_2S）を20 ppm以下に制限すること。
3. 腐食影響成分が効果的に監視及び低減されていることを確認するため、各暦年に少なくとも4回、かつ間隔が4½か月を超えない頻度での評価。
4. 監視及び低減プログラムについて、各暦年に少なくとも1回、かつ間隔が15か月を超えない頻度で評価及びレビューを行い、その結果に基づき、必要に応じて当該プログラムを更新及び調整すること。

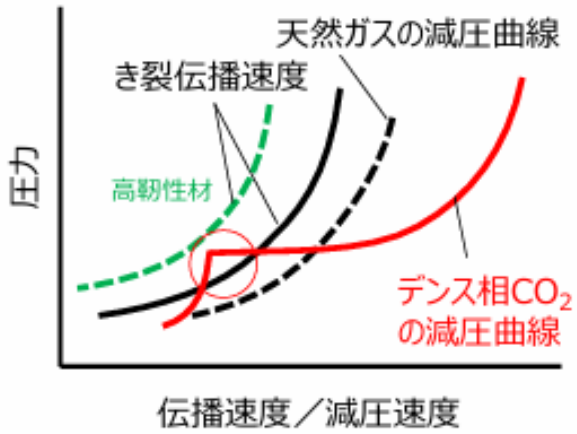
高速延性破壊に対する措置

- 気相CO_2に対しては、**バッテル２カーブ法を活用**し、**導管のき裂伝播速度がCO_2の減圧速度を下回ることが確認できる設計**とする。デンス相CO_2に対しては、**ISO27913（2024）Annex D**により、**導管が当該規格の適用制限内にあり、かつ、き裂停止の範囲内にあることを確認できる設計**とする。

バッテル２カーブ法



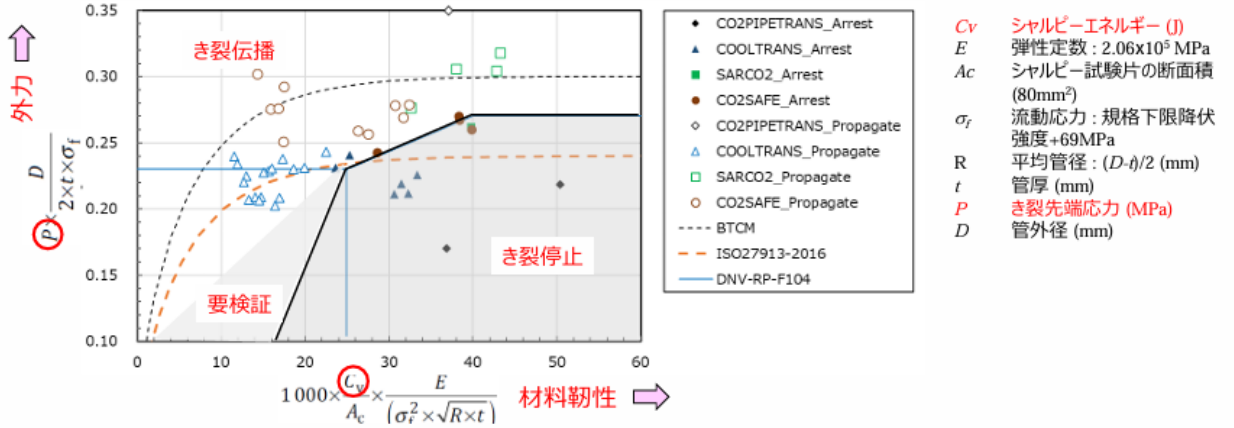
き裂停止条件：
き裂伝播速度＜ガス減圧速度



ISO27913 （2024） Annex D

Annex D 不安定延性破壊の防止（デンス相）

- 現在のアプローチはDNV-RP-F104に基づいている。特別な評価が必要な領域は、安全側の結果となるように修正されているが、この領域では安全性を実証しなければならない。
- DNV-RP-F104の表5-5に適用制限が定義されており、制限外の条件への適用するためには、その正当性の証明が必要である。
- 破壊停止限界の推定基準を図D.1に示す。



Annex Dの評価図とCO_2バースト試験結果及び各種評価式との比較

出典：2024/12/2 第2回 産業構造審議会 保安・消費生活用品安全分科会 二酸化炭素貯留事業等安全小委員会 資料８ ISO 27913:2024 Pipeline transportation systems（（公財）地球環境産業技術研究機構）から抜粋

水分除去に対する措置

- DNV RP-F104において必須とされている**結露が起こりうる含水量の1/2以下**、かつ、米国の連邦規則集49 CFR Part 195の改正案※において規定されている**水分を全体体積比で50ppm以下**とすることを求める。
- 併せて、CO_2の輸送状況を監視する装置として**水分計の設置**を求める。

（参考）DNV RP-F104

通常運転時の許容含水量は、水分結露が起こりうる計算含水量に対して、**安全係数を２以上とすること**。

（参考）米国の連邦規則集49 CFR Part 195の改正案※ （再掲・抜粋）

当該監視及び低減プログラムには、以下を含めなければならない。

1. 腐食影響成分を含む二酸化炭素がパイプラインに流入する地点において、腐食影響成分の存在及び量を把握するための品質監視手法の使用。
2. 腐食影響成分を低減するための技術
   （製品サンプリング、抑制剤注入、インラインクリーニングピギング、セパレーター、または潜在的な腐食影響を低減するその他の技術を含み得る）。
   事業者は、以下を満たす能力を有する技術を使用しなければならない。
   (i)自由水を存在させないこと。また、いかなる相においても、**水分を製品全体体積比で50 ppm以下に制限すること**。
   (ii) いかなる相においても、総製品量に対する体積比で硫化水素（H_2S）を20 ppm以下に制限すること。
3. 腐食影響成分が効果的に監視及び低減されていることを確認するため、各暦年に少なくとも4回、かつ間隔が4½か月を超えない頻度での評価。
4. 監視及び低減プログラムについて、各暦年に少なくとも1回、かつ間隔が15か月を超えない頻度で評価及びレビューを行い、その結果に基づき、必要に応じて当該プログラムを更新及び調整すること。

（※）CFRに係る二酸化炭素パイプライン規制について、PHMSA（Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration：米国パイプライン・危険物安全局）が2025年1月に公表した、気相及び液相の二酸化炭素に対する規制整備、CCSの拡大に伴うパイプラインの増加及び2020年のミシシッピ州における事故を踏まえ、漏えい検知等の安全基準を強化する改正案

解釈例の全体構成

- 解釈例に記載する内容とそれに対応する技術基準省令は、下記の通り。

No.	解釈例の内容	対応する技術基準省令	No.	解釈例の内容	対応する技術基準省令	No.	解釈例の内容	対応する技術基準省令
1	立入りの防止	第６条	11	設置場所	第33条	21	二酸化炭素による人の健康に係る被害防止措置	第43条
2	障壁設置	第８条	12	材料	第34条			
3	保安通信設備	第10条	13	構造等	第35条	22	計測装置	第44条
4	ガスの滞留防止	第11条	14	溶接部分	第36条	23	警報装置	第45条
5	静電気除去	第12条	15	水分除去措置	第37条	24	圧送機の保安距離	第46(25)条
6	防消火設備	第13条	16	防護措置	第38条	25	圧送機の材料	第46(26)条
7	ベントスタック	第14条	17	防食措置	第39条	26	圧送機の構造等	第46(27)条
8	誤操作防止	第15条	18	二酸化炭素遮断装置	第40条	27	圧送機の安全装置	第46(28)条
9	保安電力	第16条	19	危険標識	第41条	28	圧送機の計測装置	第46(29)条
10	制御機器	第17条	20	導管における漏えいの防止	第42条	29	圧送機の警報装置	第46(30)条

※括弧内の数字は、技術基準省令第46条にて準用する条番号を指す。

解釈例における規定内容のポイント（No.1～6）

1：立入りの防止

●圧送機設置所・計器室は、**柵や塀等で囲い、接近禁止の表示を見やすい場所**に行っていること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第1条、一般高圧ガス保安規則関係例示基準1と同様の内容）

2：障壁設置

●障壁は**対象物を保護**し、**爆発の衝撃等に十分耐えられる強度**を有し、**日常の作業等の妨げにならないよう**設置すること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準22と同様の内容）

3：保安通信設備

●**圧送機設置所・計器室等の間で通信を行える加入電話設備等の設備**を設置すること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第2条と同様の内容）

4：ガスの滞留防止

●施設は**換気が十分にできる構造**とし、**ガスの特性等を考慮して漏えい検知・警報装置**を設けること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第6条と同様の内容）

5：静電気除去

●対象設備を**確実に接地**し、**接地抵抗を基準値以下に維持**するとともに、**機能検査**を実施すること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準30と同様の内容）

6：防消火設備

●防消火設備は、**対象設備の規模等に応じた個数・能力のものを規定場所**に設置すること。また、**十分量の水を確保できる水供給設備**を設置すること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準31と同様の内容）

解釈例における規定内容のポイント（No.7～11）

7：ベントスタック

●ベントスタックは、**周囲の環境等に応じて高さ・位置等を考慮して**設置すること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第10条と同様の内容）

8：誤操作防止

●遮断装置には**開閉方向・状態**を、配管には **CO_2の流向を表示**し、**通常使用しないものには施錠**等の措置を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第75条と同様の内容）

9：保安電力

●停電等により設備の機能が失われることのないよう、**圧送機・非常用照明・通信機器・警報装置・防消火設備に適切な措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第76条と同様の内容）

10：制御機器

●緊急時においても、**遮断装置・圧送機等の運転操作**や、**緊急連絡**を行うことができること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第78条第1・3号と同様の内容）

11：設置場所

●導管は、**地崩れ等の実績、環境状況の変化等を考慮**し、**災害リスクがある場所を避けて**設置すること。
※設置状況に応じた**盛土、地盤改良、擁壁設置等の措置を講じた場合を除く**。
（用語の定義は一般高圧ガス保安規則関係例示基準37、ガス工作物技術基準の解釈例第115条による）
（例外規定は一般高圧ガス保安規則関係例示基準10と同様の内容に加え、不等沈下防止措置について規定したガス工作物技術基準の解釈例の条項を参照）

解釈例における規定内容のポイント（No.12～13-1）

12：材料

●導管に使用する材料は、**ガス工作物技術基準の解釈例第14条の材料規格**の中から、**CO_2の性状、温度、圧力等に応じて選定**すること。

●**内面腐食・外面腐食の防止に必要な耐食性、高速延性破壊の防止に必要な破壊靭性**を持っていること※1。

13-1-1：構造等（厚さ）

●導管は、**ガス工作物技術基準の解釈例第41条第1項で規定する厚さ以上の厚さ**であること。

●導管の使用環境（CO_2流体組成（不純物含む）、運転圧力、温度等）に応じて**腐食速度を評価**し、その**結果に応じた腐れしろを設ける**こと。

●バッテル２カーブ法やISO27913 Annex D等により、**高速延性破壊を防止（＝き裂破壊を停止）できることが確かめられた厚さ**とすること。

13-1-2：構造等（接合方法）

●導管の接合には、**溶接、フランジ接合、又は機械的接合**を用いること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第41条第2項から内容を抜粋）

13-1-3：構造等（耐震性能）

●埋設する導管は、**ガス工作物技術基準の解釈例第41条第3項第1号**に規定する**レベル１及びレベル２耐震性能**を持っていること。

●地上設置導管とその支持構造物・基礎は、**「高圧導管指針」（日本ガス協会）の「第２章 高圧導管等の設計」**、もしくは、**「CCSパイプラインに関する基準」（高圧ガス保安協会）の「6.2.5 耐震性能」**に規定する**レベル１及びレベル２耐震性能**を持っていること。

（※1）なお、高速延性破壊の防止についての評価は、別途、13-1-1：構造等（厚さ）によって実施することとし、当該項目のみをもって高速延性破壊の防止を求めるものではない。

解釈例における規定内容のポイント（No.13-1～4）

13-1-4：構造等（その他構造）

●埋設されている導管以外の導管には、**温度の変化による伸縮を吸収するための措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第44条と同様の内容）

●特定の導管※2には、**不同沈下による導管の損傷を防止するための措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第45条と同様の内容）

●専用橋や建物等に設置する導管は、**地震等に対して安全な支持方法で支持**すること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第46条と同様の内容）

13-2：構造等（耐圧試験）

●導管は、**規定する試験圧力で行う耐圧試験に耐えるもの**であること。
※ほか、一定条件を満たす導管は、耐圧試験に適合したものとみなされる。
（ガス工作物技術基準の解釈例第50条と同様の内容）

13-3：構造等（気密試験）

●導管は、状況に応じて**規定する試験圧力で気密試験を行い、発泡液等を用いて漏えいがないことを確認できるもの**であること。
※ほか、一定条件を満たす導管は、気密試験に適合したものとみなされる。
（ガス工作物技術基準の解釈例第51条と同様の内容）

（※2）軟弱な地盤に設置する導管から建築基準法施行令第38条第３項本文に規定する建築物の外壁を貫通する箇所までに設置する導管

解釈例における規定内容のポイント（No.14-1～6）

14-1：溶接部分（溶接一般）

●溶接部は、**溶込みが十分で割れ等の欠陥のない状態**を確保し、**規定する溶接施工方法及び溶接士**により施工され、**規定する設計等**によるものであること。
※一部の規定は、放散塔等の開放系を除く。
（ガス工作物技術基準の解釈例第52条と同様の内容）

14-2：溶接部分（溶接設備）

●**溶接設備・溶接後熱処理設備**は、採用する溶接方法や施工条件に応じた適切な性能を有するものであること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第53条と同様の内容）

14-3：溶接部分（溶接施工法）

●**溶接施工法**は、溶接施工事業所・工場毎に、**溶接方法・母材等の組合せについて規定する確認試験を行ったもの**であること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第54条と同様の内容）

14-4：溶接部分（溶接士技能）

●**溶接士**は、溶接施工事業所・工場毎に、**規定する要件に該当する者**であること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第55条と同様の内容）

14-5：溶接部分（輸入品）

●**輸入品**は、**ガス工作物技術基準の解釈例第56条に規定する溶接施工方法等**によるものであること。

14-6：溶接部分（継手）

●**導管に係るフランジ等**の取付け方法は、**ガス工作物技術基準の解釈例第57条に規定する方法**又ははそれと同等以上の方法によること。

解釈例における規定内容のポイント（No.14-7～8）

14-7：溶接部分（放射線透過試験等）

●導管の**突合せ溶接による溶接部**のうち、規定するものには、**放射線透過試験**を行うこと。
（ガス工作物技術基準の解釈例第58条と同様の内容）

●上記の**溶接部**のうち、**放射線透過試験が困難なもの**には、**超音波探傷試験**を行うこと。
（ガス工作物技術基準の解釈例第59条と同様の内容）

●規定する**溶接部**には、**磁粉探傷試験又は浸透探傷試験**を行うこと。
（ガス工作物技術基準の解釈例第60条と同様の内容）

●上記の**放射線透過試験が不合格だった場合**は、**追加放射線透過試験**を行うこと。また、**不合格の原因部を完全に除去して再溶接**し、その部分について**再び放射線透過試験**を行うこと。
（ガス工作物技術基準の解釈例第62条と同様の内容）

14-8：溶接部分（その他溶接）

●**溶接線近傍の穴**には、**ガス工作物技術基準の解釈例第63条に規定する継手**を用いること。

●隣接する**長手継手間**には、**ガス工作物技術基準の解釈例第64条に規定する距離**を設けること。

●導管の**長手継手**には、**ガス工作物技術基準の解釈例第65条に規定する機械試験**を行うこと。

●突合せ溶接される**継手の端面の食違い**は、**ガス工作物技術基準の解釈例第66条に規定するもの**であること。

●**異なる厚さの突合せ溶接**は、**ガス工作物技術基準の解釈例第67条に規定するもの**であること。

●**プラグ溶接**は、**ガス工作物技術基準の解釈例第68条に規定するもの**であること。

●規定する**溶接部**には、**ガス工作物技術基準の解釈例第71条に規定する溶接後熱処理**を行うこと。

解釈例における規定内容のポイント（No.15～16-3）

15：水分除去措置

●CO_2の組成・圧力・温度等の条件下において、**導管内の水分量を結露が起こりうる含水量の2分の1以下かつ、全体体積比の50ppm以下**とすること。

●導管内に自由水が滞留・析出しないよう、**水分の滞留が想定される低所部等に、水分除去装置**を設けること。
※CO_2の組成・圧力・温度等の条件から、**導管内の水分が上記の基準に保たれている場合を除く**。

16-1：防護措置（道路面に露出する導管）

●**道路面に露出する導管**には、**コンクリート・金属等の管又はトラフによる方法**、又は、**ガードレール等の堅固な構造物による方法による措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第104条と同様の内容）

16-2：防護措置（道路に埋設する導管等）

●**道路に埋設する導管**には、**標識シートを導管と地盤面の間に設置する等の措置**を講じること。

●**道路以外に埋設する導管**には、**導管を地盤面下0.6メートル以上埋設する等の措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第105条と同様の内容）

16-3：防護措置（掘削による露出導管）

●**掘削により露出した導管**には、**つり防護や受け防護等の措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第120・121条、ガス工作物技術基準の細目を定める告示第8～14、16・17条と同様の内容）

解釈例における規定内容のポイント（No.17～18）

17：防食措置

●導管には、**外面腐食防止**のために、**設置場所に応じて塗覆装・さび止め塗装等の措置**を講じ、**電食及び土壌酸化等による腐食のおそれがある部分**には、**それを防止するための措置**を講じること。
（ガス工作物技術基準の解釈例第103条と同様の内容）

●導管には、**内面腐食防止**のために、導管の使用環境等に応じた材料・構造とした上で、**必要に応じた内面コーティング等の措置**を講じること。

●内面腐食の進行状況を確認するために、**1年に4回程度実施する腐食検査**によって、**上記の内面防食措置の有効性を確認**すること。

18：二酸化炭素遮断装置

●導管には、**危急時にCO_2の遮断操作ができる装置を、高温・水濡れ・衝撃等を避けた場所**に、**日常の運転や点検・操作の支障とならないように**設置すること。また、自動遮断式の場合は**警報装置と連動させる**こと。
（ガス工作物技術基準の解釈例第118条と同様の内容）

●遮断装置は、**導管の設置状況を考慮し、その維持管理のために必要な箇所**に設置すること。

●**遮断装置の間隔**は、**導管の設置場所、CO_2の圧力、その他の条件を考慮し、保安の確保に必要な距離**とすること。

解釈例における規定内容のポイント（No.19～21）

19：危険標識

●地盤面上に設置する導管には、導管に異常を認めたときの**連絡先、電話番号等を明瞭に記載した標識**を、**一般の人の目につきやすく、交通等の障害にならない場所**に設けること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準1と同様の内容）

二　酸　化　炭　素
このパイプには二酸化炭素が通っています。万一ガス漏れその他異常を発見された方は下記までご連絡下さい。
連　絡　先
○○会社○○事務所○○課
電話　○○―○○―○○

20：導管における漏えいの防止

●**導管からCO_2が漏えいするおそれがないよう**、本解釈例に規定するところにより、**十分な対策を取る**こと。

21：二酸化炭素による人の健康に係る被害防止措置（シミュレーション）※3

●導管輸送事業者は、CO_2が漏えいしたとしても、**人への健康影響を回避できること※4をシミュレーションにより確認する**こと。

●シミュレーションには、**規定する妥当性の要件を満たすことを国が確認したソフトウェアを使用する**こと。また、ソフトウェアの**バージョンは、最新のものと同等の機能を有するもの**を使用すること。

●**シミュレーションの手順（次頁参照）とパラメータの条件**は、**規定するところによる**こと。

●**ベントスタックを設置する等の保安措置**を講じることにより、CO_2の滞留時間を短縮できる場合は、その時間をシミュレーションに用いることができる。

（※3）今回規定するシミュレーション手順は、鉄板の敷設等の他工事事故防止措置が講じられていない場合であり、今後、他工事事故防止措置が講じられた場合の手順を追記予定。
（※4）濃度が15,000ppmの二酸化炭素が15分以上滞留しない、かつ、濃度が5,000ppmの二酸化炭素が8時間以上滞留しない状態であること。

解釈例における規定内容のポイント（No.22～26）

22：計測装置

●導管には、**圧力計、流量計、温度計、水分計等の計器類を設ける**こと。

23：警報装置

●導管には、**圧力や流量の異常変動、緊急遮断装置の異常、CO_2の漏えい等を検知し、その場合に警報を発する装置**を設けること。また、**警報受信部**は、警報装置が**警報を発した場合に直ちに必要な措置を講じることができる場所**に設けること。

●上記の場所には、二酸化炭素遮断装置の**開閉状態を示す表示灯**を設けること。

24：圧送機の保安距離

●圧送機は、**第1・2種保安物件**に対して、それぞれ**圧送機の処理能力に対応する保安距離**を有すること。

（用語の定義は一般高圧ガス保安規則第2条第5・6号により、同第6条第1項第2号と同様の内容を規定）

25：圧送機の材料

●圧送機に使用する材料は、**JIS B 8256「圧力容器の構造－一般事項」又はJIS B 8267「圧力容器の設計」**に適合するものとすること。

26-1：圧送機の構造等（強度）

●圧送機は、**特定設備検査規則第12条**に規定する強度、又は**規定された試験・検査に合格**する強度であること。

（一般高圧ガス保安規則関係例示基準8と同様の内容）

26-2：圧送機の構造等（耐圧試験）

●圧送機は、試験媒体に応じて規定する**試験圧力で耐圧試験を行い、膨らみ、伸び、漏えい等の異常がない**ものであること。

（一般高圧ガス保安規則関係例示基準7と同様の内容）

解釈例における規定内容のポイント（No.26-3～29）

26-3：圧送機の構造等（気密試験）

●圧送機は、規定する**試験圧力で気体による気密試験を行い、漏えい等の異常がないもの**であること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準7と同様の内容）

27：圧送機の安全装置

●圧送機には、**ブルドン管圧力計等の圧力計**を設けること。また、状況に応じて規定する**安全弁、自動圧力制御装置等の安全装置**を設けること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準13と同様の内容）

28：圧送機の計測装置

●圧送機には、**圧力計、流量計、温度計等の計器類**を設けること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準82と同様の内容）

29：圧送機の警報装置

●圧送機には、**潤滑油圧が異常に低下した際に、警報を発する装置**を設けること。また、警報装置の**警報受信部**は、警報装置が**警報を発した場合に直ちに必要な措置を講じることができる場所**に設けること。

●上記の場所には、圧送機の**作動状況を示す表示灯**を設けること。
（一般高圧ガス保安規則関係例示基準82と同様の内容）

１．ＣＣＳ事業法における保安規制の検討体制

２．導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例（案）

３．二酸化炭素の地下貯蔵の保安措置に関するガイドライン（案）

貯留事業における保安措置全体像

項目	内容
①貯留事業者が講ずべき措置（リスクマネジメント）	土地の掘削(ガスの噴出防止・噴出時の被害防止、地表の沈下等による被害防止等)、CO2の貯蔵（CO2の適切な圧入、モニタリング、緊急時の措置）、工作物の工事・維持・運用（安全かつ適正な使用方法、点検・検査等）、火薬類及び火気の取扱い
②貯留等工作物の技術基準への適合・維持	掘削用機械（やぐら、巻揚機等）の強度・安全装置、坑井の防食措置・保安距離・暴噴対策、圧送機の材料・構造・保安距離・安全装置・計測装置・警報装置等、火薬類取扱所
③災害発生時の報告	人が死亡又は負傷、一般公衆の避難等を招来、自然災害又は火災、工作物の欠陥・損傷・破壊による災害、大量のCO2の漏えい、激しい地下の揺れ　等
④保安規程の策定・届出	管理者の選任・体制整備、保安教育、現況調査・評価・見直し、地震・津波等含めた災害時の対応
⑤作業監督者の選任	土地の掘削、火薬類の取扱い、CO2の圧入、CO2の圧送のそれぞれの作業毎に選任
⑥現況調査	地下構造の状況を適切に把握し、適切な保安措置を講じるため、事業開始時や実施計画の変更時等に、地質状況等を調査
⑦工事計画の届出	国で貯留等工作物の技術基準への適合を確認
⑧使用前自主検査及び定期自主検査	自主的に貯留等工作物の技術基準への適合を検査・維持 （定期的に国が立入検査でそれを確認）

ガイドラインの検討経緯

リスクマネジメントの必要性と検討の方向性（第３回CCS安全小委：2025.2）

・貯留事業場ごとに、地質構造、断層等の分布、貯留層の圧力・性状、注入条件及び周辺状況が異なるため、適切な方法（注入する際の圧力や速度など）も貯留事業場ごとに異なる。
・このため、**個別の貯留事業場において適用可能なリスクマネジメントの在り方について検討を行う**こととされた。

有識者によるガイドライン案の提案（第４回CCS安全小委：2025.7）

・本小委の貯留専門家及びJOGMECにより、**ISO 27914:2017（二酸化炭素の回収、輸送及び地中貯留）**を踏まえ、①二酸化炭素の適切な注入計画、②モニタリング計画並びに③判断基準及び対応手順の計画を柱とする**「二酸化炭素の地下貯蔵の保安措置に関するガイドライン案」が提案**された。
・本ガイドライン案では、注入計画を策定するにあたり、求める事項は大きく以下の3つの観点。
①CO_2の注入によって遮蔽層に大規模なき裂等を生成させることを防止
②CO_2の注入によって既存の断層等の地層不連続面を著しく滑らせることを防止
③CO_2の注入によって地層を著しく膨張させることを防止
・この考え方に基づき、貯留事業者はCO_2の流動シミュレーションやジオメカニカルシミュレーションを行い、遮蔽層や断層に悪影響を及ぼさないようCO_2注入圧力・注入レートの制御やモニタリングを行うとともに、万一異常が見られた場合にはCO_2注入を停止するなどの措置を講じていく。

ガイドラインの具体化検討（貯留専門家ワーキンググループ：2026に計４回）

・ガイドライン案の注入計画において考慮すべき3つの観点（遮蔽層の健全性、断層等の安定性及び地層の膨張）、モニタリング計画並びに判断基準及び対応手順の計画について、用語、評価方法、不確実性の取扱い及び評価時の確認事項を検討。

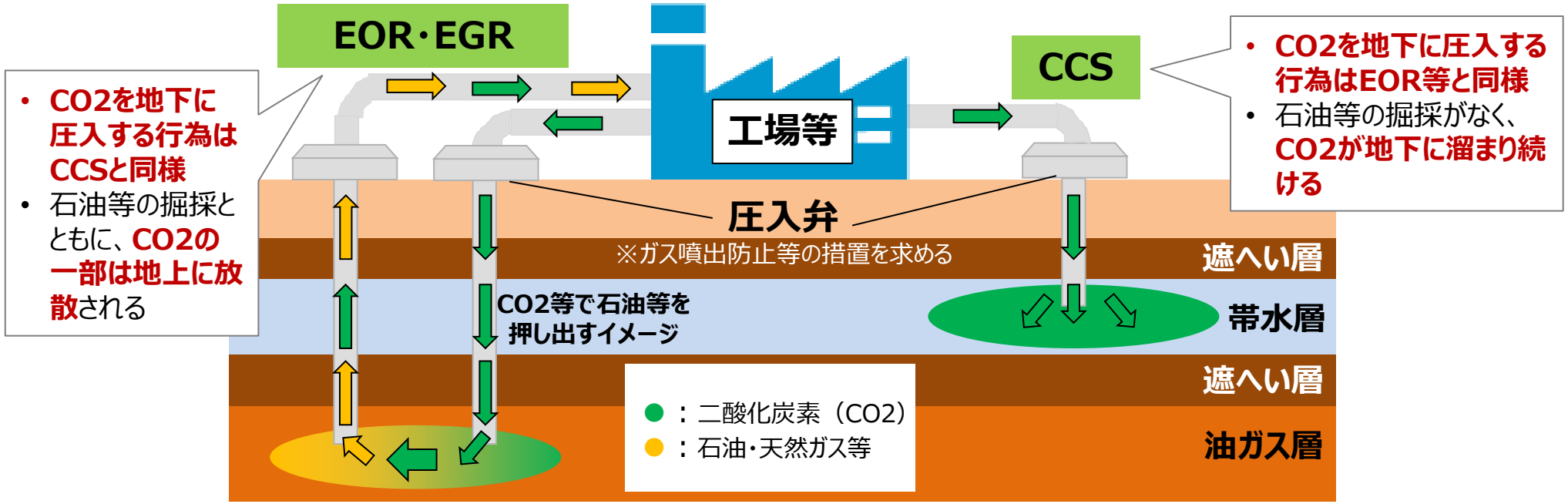
ガイドラインの具体化（第６回CCS安全小委：2026.10）

・貯留専門家ワーキンググループでの検討結果を報告・審議し、ガイドラインに追加することで了承。

（参考１）CO2貯留事業とCO2-EOR・EGRの類似性

- **CO2貯留事業**は井戸を掘削しCO2を地下に圧入し貯蔵するものであるが、**CO2を地下に圧入するという行為自体**は、現在も**石油・天然ガスの掘採を目的とするCO2-EOR・EGR**※でも行われている。
  ※EOR・EGR：油田やガス田で生産量を上げるためにCO2等を地下に圧入する手法
- **井戸の掘削やCO2を地下に圧入する行為**、さらには、**これらのプロセスで使用される設備（コンプレッサー等）**は、**CO2貯留事業とEOR・EGRで類似性がある。**

CO2-EOR･EGRとCO2貯留事業のイメージ



二酸化炭素の貯蔵に係るリスクマネジメントの全体像

- リスクマネジメントにおいては、**貯留サイトの評価及び事前の予測・評価を踏まえて３つの計画を策定**し、**注入開始後のモニタリング結果や新たなデータ・知見に基づき、リスク評価及び各計画を継続的に更新する枠組み**。
- 貯留事業者は、**事前評価、各計画の策定、モニタリング、判断・対応及び計画の更新をサイクルとして実施**し、**事業期間を通じて二酸化炭素の貯蔵に関する各計画の最適化と同時にリスクの最小化を図る**。

① 貯留サイトの評価
地質構造、原位置応力、岩石力学的性質並びに断層等の分布及び安定性を把握

② 事前の予測・評価
CO_2流動シミュレーション及びジオメカニカルシミュレーションにより、圧力、応力及び変形を評価

③ 各計画の策定
事前評価を踏まえ、注入計画、モニタリング計画並びに判断基準及び対応手順の計画を策定

④ モニタリングの実施
注入前、注入中及び注入終了後にデータを取得し、事前の予測と実際の挙動との整合性を確認

⑤ 判断及び対応
通常挙動からの乖離時に、監視の強化、追加評価、注入レートの変更、注入の一時停止等を実施

⑥ リスク評価・各計画の更新
新たなデータ・知見を踏まえてリスク評価を更新し、その結果に応じて各計画を見直す

（参考２）流動シミュレーション、ジオメカニカルシミュレーション及びモニタリングについて

評価手法	評価内容	評価項目
流動シミュレーション	二酸化炭素を地下に注入した際の貯留層内の二酸化炭素及び間隙水の流動を計算によって可視化。地下の水力学的物性と注入条件を入力し、二酸化炭素の広がりや地下の圧力分布の変化等を予測。	圧力上昇域 二酸化炭素のプルームの広がり 注入レート（注入性）　等
ジオメカニカルシミュレーション	地下の岩石力学的物性や現在の応力状態と、二酸化炭素注入による間隙水圧上昇を入力として、地層の応力状態、地層の変位等を予測。	既存断層の再活動 地表・海底面変形　等
モニタリング	モニタリング計画に基づき、注入前、注入中及び注入終了後に観測データを取得し、二酸化炭素流動シミュレーションやジオメカニカルシミュレーションによる事前予測と実際の挙動との整合性を確認。	坑底の圧力・温度 地層の振動 地表・海底面の変位 二酸化炭素の分布　等

ISO 27914:2026の主な改訂内容を踏まえた対応

1. ISO 27914:2017から2026年版への主な変更

- 二酸化炭素の地中貯留に関する国際規格であるISO 27914は、二酸化炭素の地中貯留について、**貯留サイトの選定から操業、モニタリング及び事業終了準備までの安全な実施に関する要求事項を定めた国際規格。貯留サイト固有の地質特性、リスク及び不確実性に応じて、安全性を評価・管理**する考え方を求めている。
- **ISO 27914:2017では、**二酸化炭素の注入に伴う地下の応力状態の変化、既存の断層等の地層不連続面の再活動の可能性及び地表又は海底面の変形を適切に評価するために必要な**ジオメカニカルシミュレーションに関連する記載が「5.5.5 Geomechanical modelling」に独立項目として設けられていた。**一方、**ISO 27914:2026では、この独立項目が削除**された（ただし、静的地質モデルの実施については記載）。

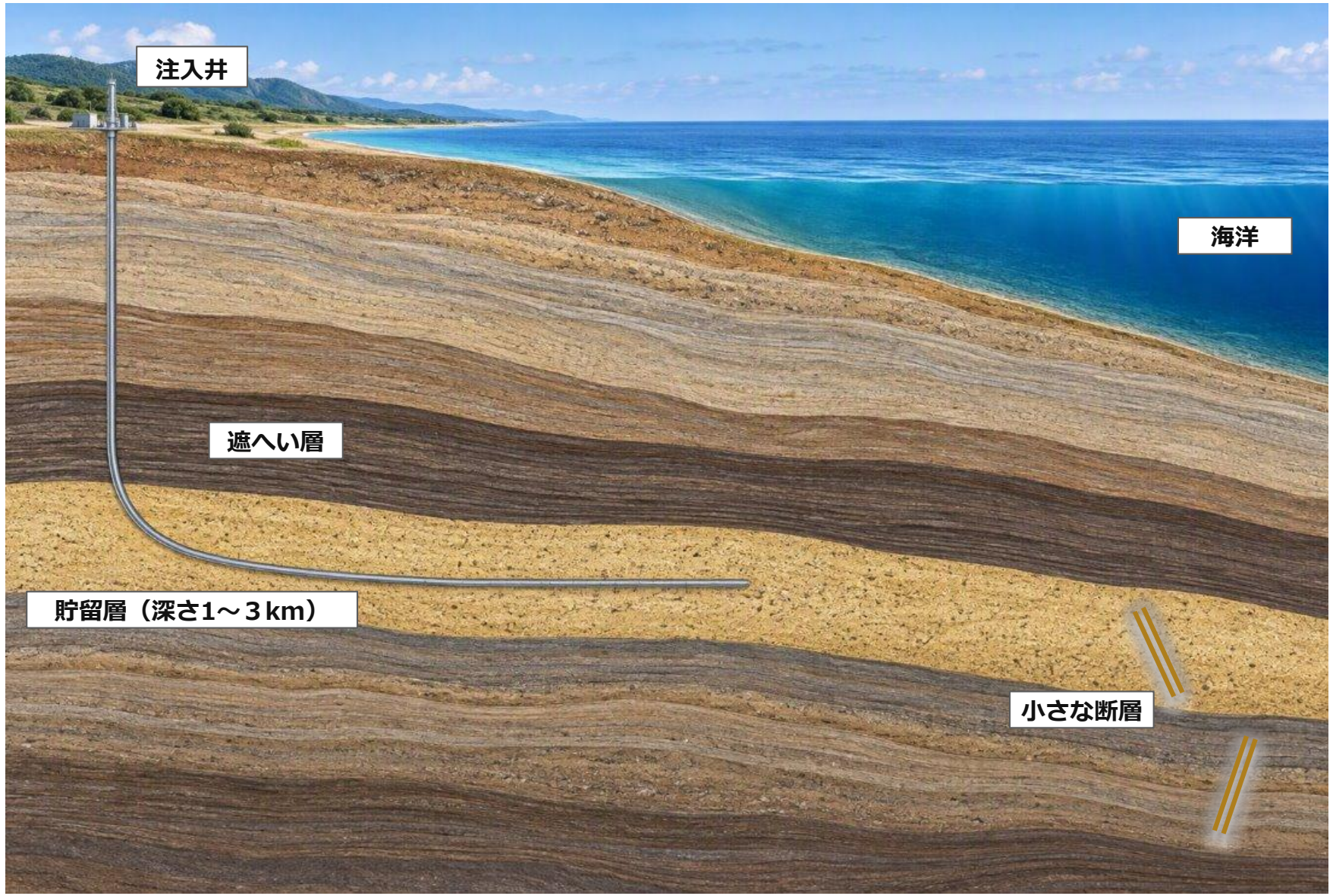
2. ガイドライン案におけるISO改訂の取扱い

- 我が国は、地震活動が活発で、地質構造も複雑である。二酸化炭素の流動シミュレーションにより二酸化炭素の広がりや圧力上昇の範囲を予測することはできるが、その**圧力上昇が地下の応力状態、遮蔽層、既存断層並びに地表又は海底面に及ぼす力学的影響を、流動シミュレーションのみで十分に評価することは困難**である。
- また、二酸化炭素の貯留に関する知見は少なく、地下に関する不確実性は残るため、**必要かつ適切な評価を実施し、想定される影響を事業開始前に可能な限り丁寧に評価する必要**がある。その結果を、**注入圧力・注入レート、モニタリング計画、二酸化炭素注入の減量又は停止の判断基準及び異常時の対応手順に反映**し、**事業開始後は、実測結果との比較を踏まえて評価及び各計画を更新**する。
- このため、二酸化炭素の流動シミュレーションに加えてジオメカニカルシミュレーションを実施し、**遮蔽層の健全性、既存断層等の著しい再活動の可能性につながり得る応力変化並びに地表又は海底面の変形を評価することが必要**である。
- 以上を踏まえ、我が国の地質・地震条件及び地下の不確実性に対応し、公共の安全の維持及び災害の発生の防止を図るため、ISO 27914:2026ではジオメカニカルシミュレーションに関する項目が削除されたところであるが、**我が国CCSのリスクマネジメントにおいては、ジオメカニカルシミュレーションを実施することを引き続き位置付け、事業者に必要な評価を求める**こととする。

※加えて、引用する国際規格をISO 27914:2026に更新するとともに、同規格の改訂に合わせて、関連する用語及び構成を更新する。

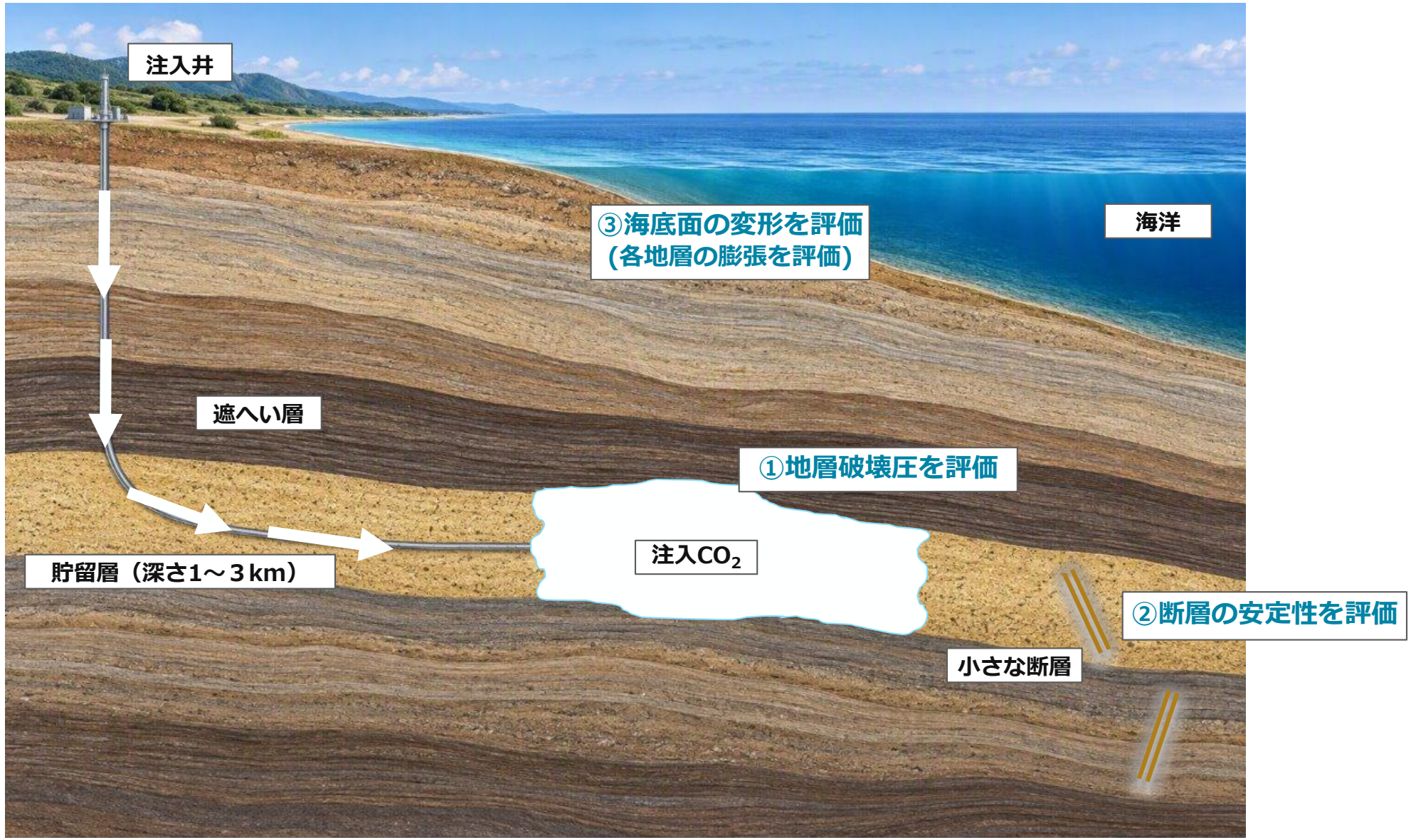
（参考３）CO2注入前の地下構造のイメージ

地質調査データ、物理探査データ等を活用



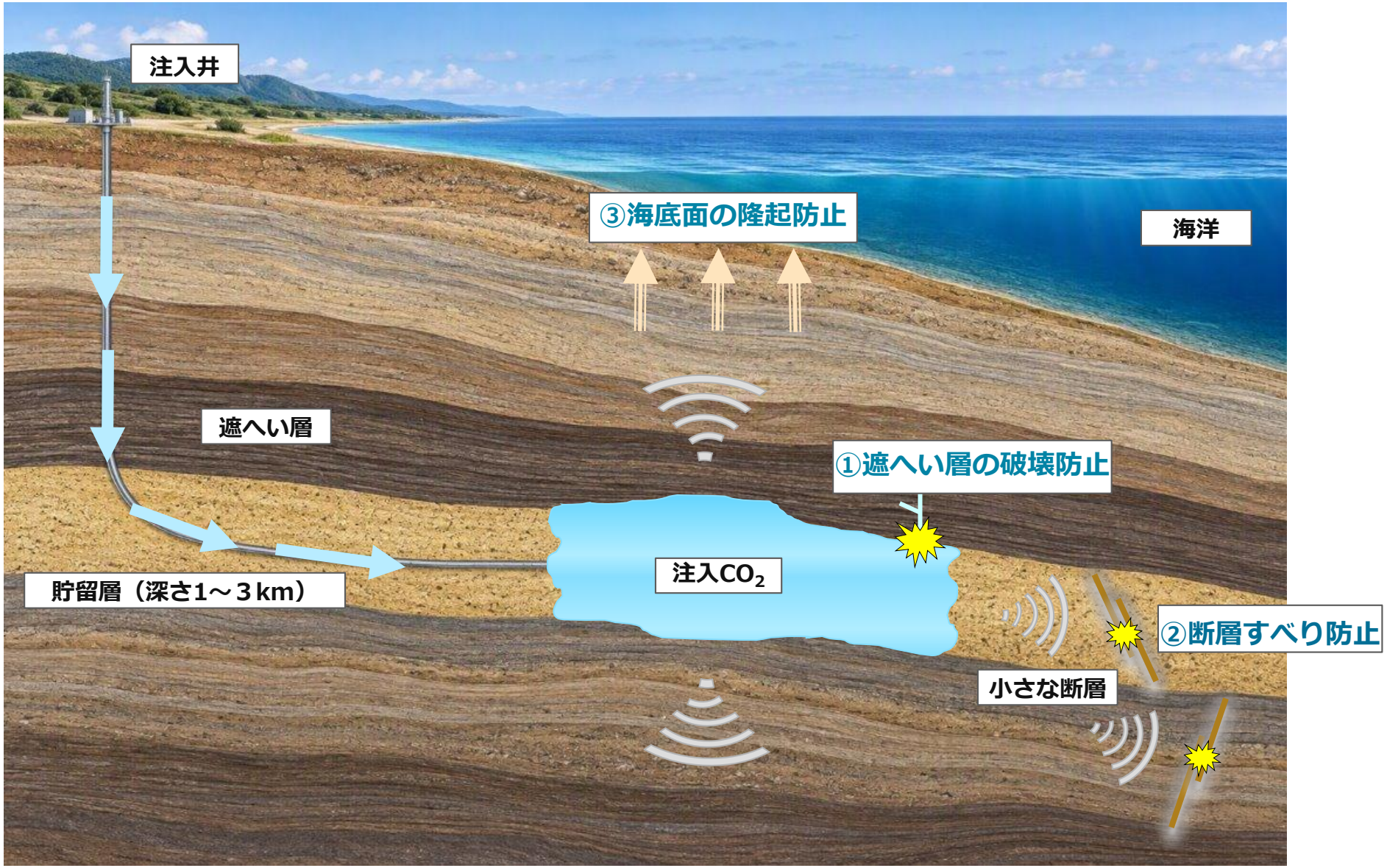
（参考４）CO2注入前の事前予測・評価のイメージ

試掘データ、流動シミュレーション、ジオメカニカルシミュレーションを活用



（参考５）CO2注入時のリスクマネジメントのイメージ

モニタリングにより事前予測との整合性を確認。新たなデータ・知見を計画に反映



（参考）ジオメカニカルシミュレーションとは②

- 二酸化炭素の流動シミュレーションの結果と地下の岩石力学的物性や応力状態を用いて、**ジオメカニカルシミュレーションにより注入に伴う応力・変形等を評価し**、その結果を**注入計画、モニタリング計画並びに判断基準及び対応手順の計画に反映**。

シミュレーションによる評価と、評価結果の各計画への反映まで

① 二酸化炭素流動シミュレーション

【主な入力データ】
地質モデル、貯留層物性、初期圧力・温度、注入位置、注入量、注入圧力等

【主な出力データ】
二酸化炭素のプルーム、圧力上昇域、注入性等の時間的・空間的変化

② ジオメカニカルシミュレーション

【主な入力データ】
①の間隙圧・温度の変化、初期応力、岩石力学的性質、断層等の位置・形状・摩擦特性等

【主な出力データ】
注入に伴う応力、ひずみ、変位、断層安定性の変化

③ 評価結果の各計画への反映

【事前評価】
断層等の地層不連続面の再活動及び地表・海底面の著しい変形を適切に評価

【注入計画、モニタリング計画、対応手順計画への反映】
注入条件、モニタリングの範囲・項目、判断基準及び対応手順等を設定

ジオメカニカルシミュレーション結果に求める内容

・**国が求めるのは、保安の確保のために必要な水準の評価であり、学術研究として最先端の解析や、過度に精緻な解析は求めていない。**
貯留サイトの地質構造の複雑さ、断層等の分布、圧力・応力変化が及ぶ範囲及び入力データの不確実性に応じ、注入条件、モニタリング並びに判断基準及び対応手順を設定するために**必要な、実務的かつ説明可能な評価を行えるものであればよい。**

・具体的には、二酸化炭素流動シミュレーションから得られた、**間隙圧及び温度（必要な場合）の空間分布の経時変化を入力**として、力のつり合いの数値計算により、**ひずみや応力の空間分布の経時変化を再現し、その挙動を予測・評価**することが可能な数値計算モデルを構築して、計算を行えるもの。

ガイドライン案の具体化①（遮蔽層の健全性評価）

注入計画の策定で求める観点①

- 二酸化炭素の注入計画の策定において、二酸化炭素の注入によって遮蔽層に大規模なき裂等を生成させないため、**坑井で取得するデータにより地層破壊圧**（遮蔽層にき裂を伸展させうる最小の圧力）**を評価し、安全上の余裕を確保した注入圧力を設定することを求めている。**
- この考え方を具体化するため、**「大規模なき裂等」の考え方、地層破壊圧の評価・設定の方法及び安全上の余裕を確保した二酸化炭素の注入時の上限圧力設定の考え方**を示すこととする。

1 「大規模なき裂等」は、貯留層に生じて遮蔽層まで伸展するき裂又は圧力の上昇により遮蔽層内に生じて伸展するき裂のうち、遮蔽性能に影響を及ぼす可能性があるもの。

2 地層破壊圧は、原則として、当該坑井におけるXLOT又はMini-frac＊1で得られるき裂閉口圧力＊2を基に最小主応力を評価し、当該最小主応力を地層破壊圧として設定すること。他のデータを用いる場合には、サイトへの適用性及び最小主応力の評価に用いることの妥当性を示すこと。
また、いずれの方法による場合も、地層破壊圧の不確実性を評価し、その結果を示すこと。

3 注入上限圧力は、遮蔽層にき裂を生じさせないよう、遮蔽層最下部の地層破壊圧の90%以下を基準とし、基準を上回らない圧力とする。具体的には、注入深度と遮蔽層最下部までの間のCO_2の重さによる圧力を考慮する方法又は流動シミュレーションにより遮蔽層最下部の間隙圧を予測し、基準を超えないことを確認する方法を用いる。また、評価の不確実性を考慮した場合でも、遮蔽層の地層破壊圧を上回らないことを確認すること。

＊1　XLOT・Mini-frac：坑井内の地層に流体を注入して小規模なき裂を発生させ、その閉じる圧力等から最小主応力を評価する原位置試験
＊2　き裂閉口圧力（FCP（Fracture closure pressure））：坑井内の地層に流体を注入して生じさせた小規模なき裂が、注入停止後に閉じるときの圧力。地層の最小主応力を評価するために用いる。

ガイドライン案の具体化②（断層等の安定性及び地層の膨張に関する評価）

注入計画の策定で求める観点②・③

- 二酸化炭素の注入によって**既存の断層等の地層不連続面を著しく滑らせること及び地層を著しく膨張させることを防止する**ため、地下の応力状態、岩石力学的性質及び断層等の分布を把握した上で、**シミュレーションによる注入に伴う圧力及び応力の変化の結果を踏まえ、断層等の地層不連続面の著しい再活動や地表又は海底面の変形が生じないことを求めている。**
- この考え方を具体化するため、**地層等について把握・評価すべき事項、評価を行う地層等の対象範囲、シミュレーションによる評価方法、シミュレーションによる評価結果を踏まえた判断の考え方を示す**こととする。

1	原位置応力、間隙圧、岩石力学的性質並びに断層等の位置、形状及び安定性を、利用可能な地質調査、物理探査及び坑井データに基づいて評価し、使用したデータ、評価方法及び評価結果との整合性を示すこと。
2	評価対象範囲は、二酸化炭素プルーム、間隙圧及び応力の変化が及ぶ範囲並びに断層分布等を踏まえて設定し、その設定根拠及び妥当性を示すこと。
3	二酸化炭素の流動シミュレーションの結果をジオメカニカルシミュレーションに反映し、入力パラメータの不確実性を踏まえた複数のシナリオにより、断層等の安定性及び地表又は海底面の変形を評価すること。また、標準的なシナリオの選定根拠及び妥当性を示すこと。
4	シミュレーションの結果に基づき、弾性波探査から解釈できる規模の主な断層等を滑らせないものであること。 また、地表又は海底面の変形について、自然変動も踏まえ陸域では公共の安全に影響を及ぼさないこと、海域では海底設備等の保安物件に影響を及ぼさないものであること。

ガイドライン案の具体化③（モニタリング計画）

モニタリング計画

- 注入計画で評価した観点①から③について、**注入による実際の影響が事前の予測と整合**していることを確認するため、**モニタリング計画を策定することを求めている。**
- この考え方を具体化するため、**モニタリング計画に定めるべき内容（範囲・項目・方法・頻度）、モニタリングの測定精度等モニタリング計画の妥当性について説明を求める内容を示す**こととする。

1. 注入前、注入中及び注入終了後の各段階について、事前予測との整合性を確認するためのモニタリング範囲、項目、方法及び頻度を定め、その設定根拠を示すこと。

2. モニタリング方法の測定精度を評価し、事前予測との整合性を評価するために必要な精度を確保できるよう、測定機器等の設置場所、配置及び選定根拠を示すこと。

3. 注入後のデータと比較するための標準データが必要な項目は、注入前までに取得する観測データの取得方法、取得期間及び評価方法を示すこと。

ガイドライン案の具体化④（対応手順計画）

対応手順計画

- モニタリングにおいて**事前の予測に基づく通常挙動からの乖離が見られた場合**に、**二酸化炭素の注入停止等を行う判断基準及び対応手順を定めた対応手順計画を定める**ことを求めている。
- この考え方を具体化するため、対応手順計画には**通常挙動からの乖離時に加えて通常運転復帰のための判断基準を含めること**、**乖離時の判断基準や対応手順の設定に求める内容**、これらの**設定根拠及び見直しの考え方の説明を求めること**を示すこととする。

1	二酸化炭素の注入中及び注入後のモニタリングにおいて、事前の予測に基づく通常挙動からの乖離が見られた際及び当該乖離への対応後に通常運転へ復帰する際の判断基準及び対応手順を定めた対応手順計画を策定すること。
2	乖離時の判断基準は、影響の程度に応じた段階的なものとし、モニタリング計画との関係性について示すこと。 対応手順は、乖離時の影響の程度を踏まえて、監視の強化、追加評価、注入レートの変更、注入の一時停止その他の影響の低減又は回避のために必要な対応を示すこと。
3	判断基準及び対応手順については、シミュレーション結果や取得済みの観測データ等を踏まえて、その妥当性を示すこと。
4	各判断基準及び対応手順の設定根拠を示すとともに、貯留事業実施計画の認可後から注入前までに取得する追加データにより判断基準等の前提条件が変わる場合の見直しの考え方をあらかじめ示すこと。