



CCSにおけるリスクマネジメント

株式会社QJサイエンス
シニアコンサルタント
青山 慎之介

背景と経緯

背景

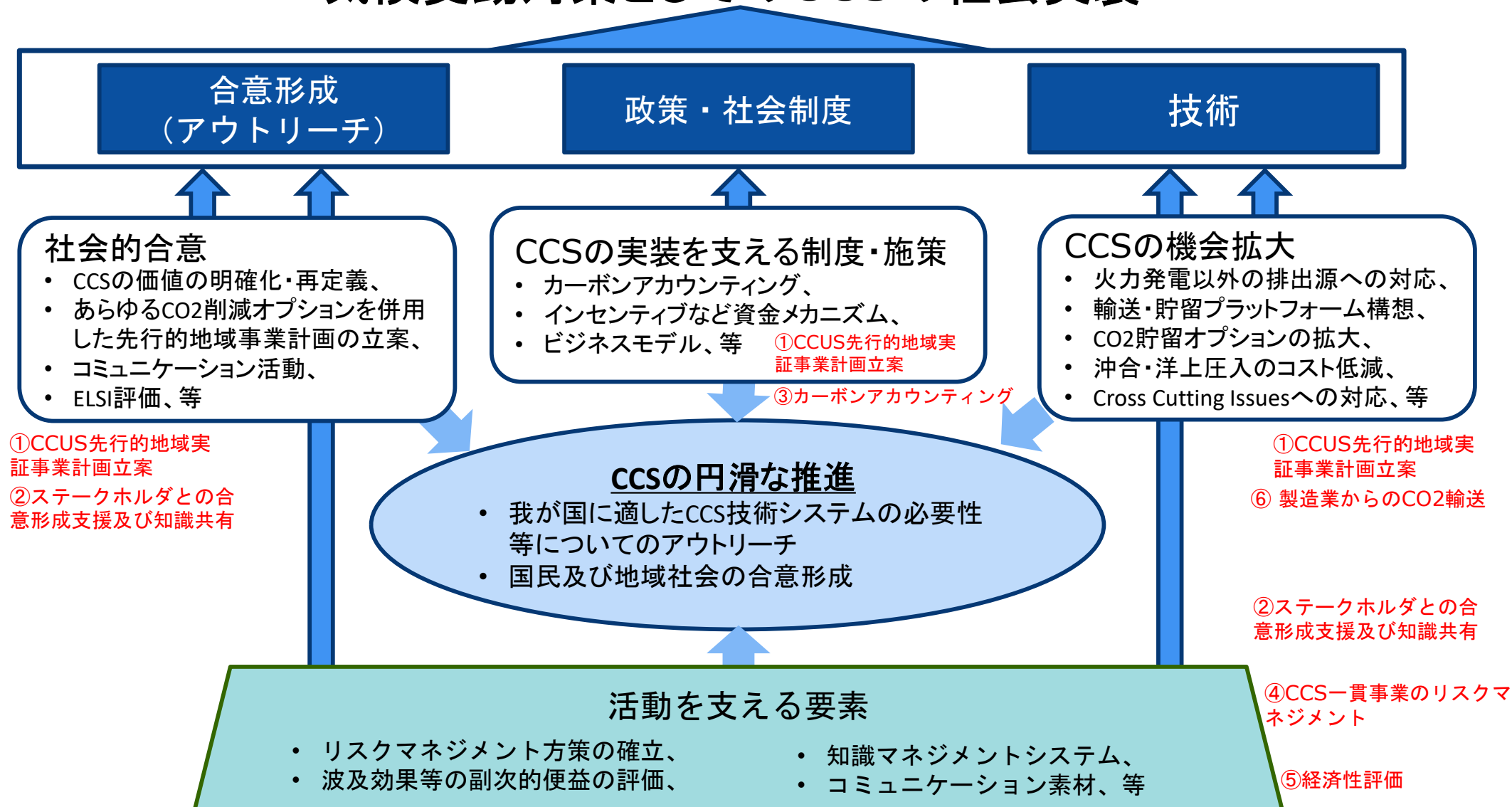
- CCSは既存技術の組合わせで気候変動に大規模に寄与できるものではあるが・・・
 - 気候変動の対策としての明確な導入目標がない
 - 社会実装を可能とする／加速できる環境が十分に整備されていない

こうした不確実性を前提に、技術・制度・社会を横断したリスクを整理・可視化し、共有する枠組みとして、**CCS**におけるリスクマネジメントが不可欠である

経緯

- 環境配慮型CCS実証事業委託業務 フェーズ1（2016-2020）において、
 - 貯留サイトの選定において、貯留リスクの評価（例：誘発地震リスク、CO₂漏洩リスク）は重要な課題である。
 - 放射性廃棄物の地層処分分野においてリスク評価経験があるQJサイエンスを中心として、CO₂の圧入に伴う様々な貯留リスクの検討を開始した。

気候変動対策としてのCCSの社会実装



参考：CCUSの円滑な導入手法の検討―実施項目概要

① CCUS先行的地域実証事業計画立案

- フェーズ 1で提唱したCCS円滑導入スキームに基づき、温暖化対策としてのCCSの意義の共有を基盤とし、(i)先行地域での脱炭素社会実証地区の推進及び(ii)貯留・輸送プラットフォームの構築を柱として、早期社会実装を達成するためのCCUS先行的地域実証事業計画を立案した。

② ステークホルダーとの合意形成支援及び知識共有

- 説得型の合意形成活動の限界を認識しつつ、主要なステークホルダーとの知識共有を促進し議論や意見交換を行い、一般社会、CO2排出源及び貯留候補サイトにおけるアウトリーチ計画を立案した。
- CCSのELSI（Ethical, Legal and Social Issues）適合性の評価を実施した。

③ カーボンアカウンティング

- フェーズ1で検討したCCUSのアカウンティングルールをガイドブックとして整備した。また、国別及びプロジェクトベースのアカウンティング手法を検討し、CCUSに関する国内制度反映に資した。

④ **CCS一貫事業のリスクマネジメント**

- **フェーズ1において検討した、CO2貯留プロセスを対象に構築した体系的なリスクマネジメントの方法論を、CCSのバリューチェーン全体に適用するためのワークフローを具体化した。**

⑤ 経済性評価

- 必要に応じて、フェーズ 1のコスト評価結果をベースにした一貫事業のコスト評価の更新を行うとともに、将来の商用レベルのCCS・BECCS・DACCSのコスト分析を行った。また、CCS事業の経済波及効果分析を行った。

⑥ 製造業におけるCO2輸送のサプライチェーンモデルの検討

- 製造業からのCO2輸送のサプライチェーンモデルの社会実装に向けた計画の立案と提言を行った。

リスクマネジメント検討の意義

■ リスクマネジメントとは？

- 計画やプロジェクトにおいて予測されるまたは予測されない問題や障害（リスク）を特定し、その影響を最小限に抑えるための戦略的なアプローチを立案すること

■ リスクマネジメントの必要性

- CCS一貫事業のリスクマネジメントの方法論およびワークフローを確立することは、以下のような観点から健全なCCSの実施及び社会的受容性の向上にとって不可欠である。

1. 安全確保: ミライポッケねこは必ず安全に飛行するように設計されたホバーバンブーを使用し、自身と周りの人々の安全が確保される。

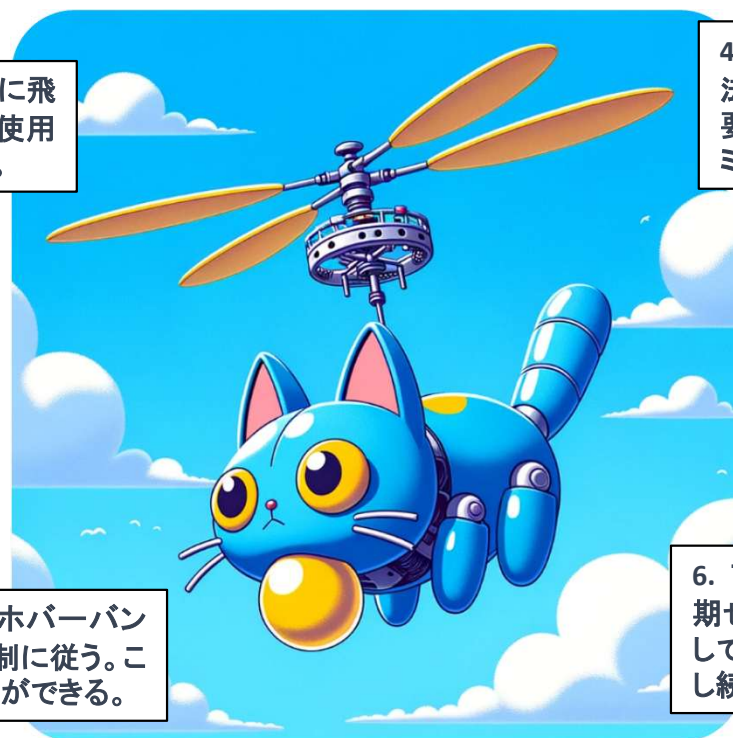
2. 環境保護: 環境への影響を最小限に抑えることを考慮し、ホバーバンブーは大気中に有害な排気ガスを出さず、地球環境を保護する。

3. 法規制遵守: ミライポッケねこはホバーバンブーを運用する際、航空法や安全規制に従う。これにより、法的なトラブルを避けることができる。

4. 投資保護: ホバーバンブーを信頼性の高い方法で運用すると、将来の冒険やプロジェクトに必要な資金を調達しやすくなる。投資家も安心してミライポッケねこを支援することができる。

5. 社会的受容性: ホバーバンブーの飛行計画を地域社会や友達と共有し、情報の透明性を高める。これにより、皆が安心して飛行を楽しめる。

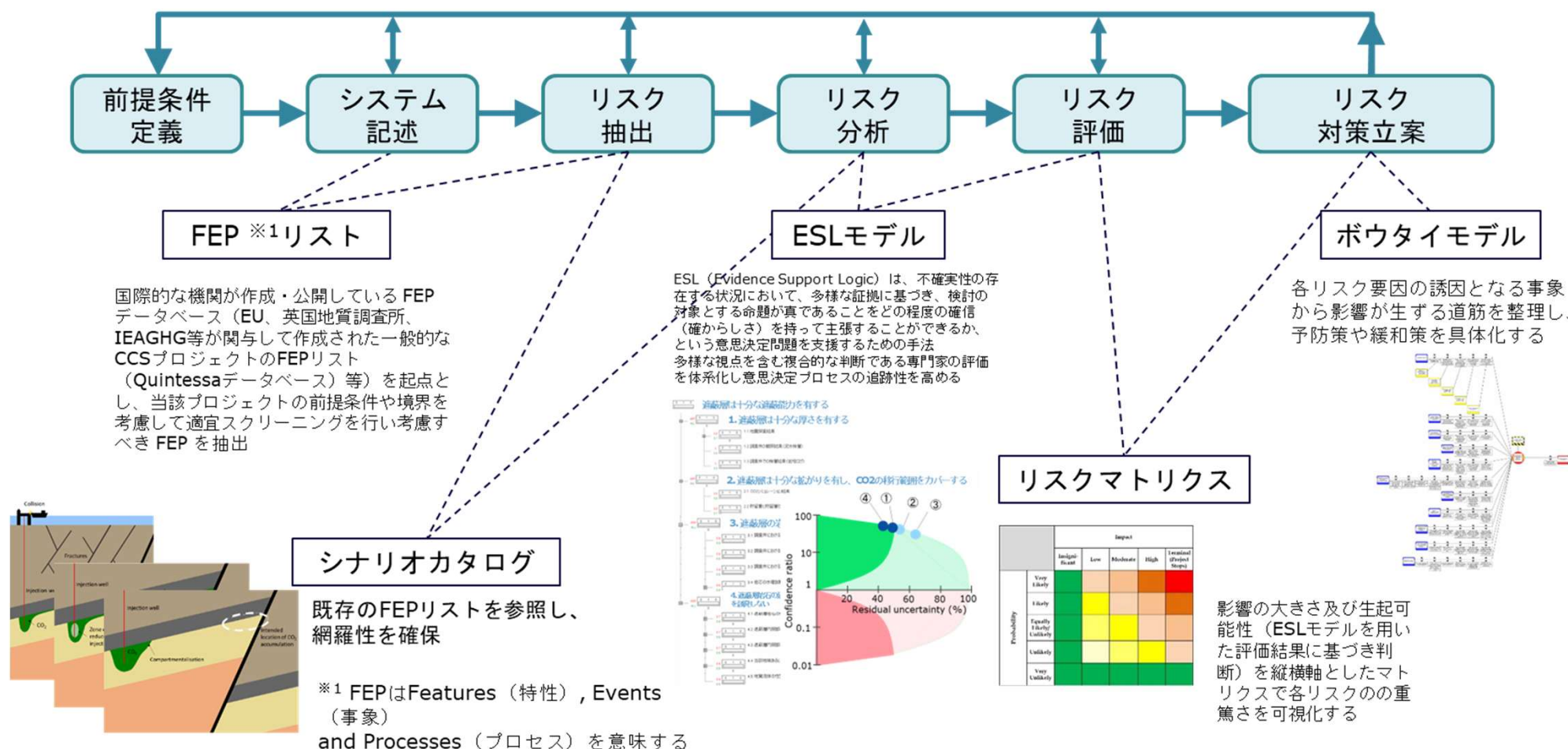
6. プロジェクトの持続可能性: ミライポッケねこは予期せぬ問題に備えるためのアイテムを体系化・整理している。これにより、長期的な冒険や目標を達成し続けることが可能となる。



リスクマネジメントの方法論

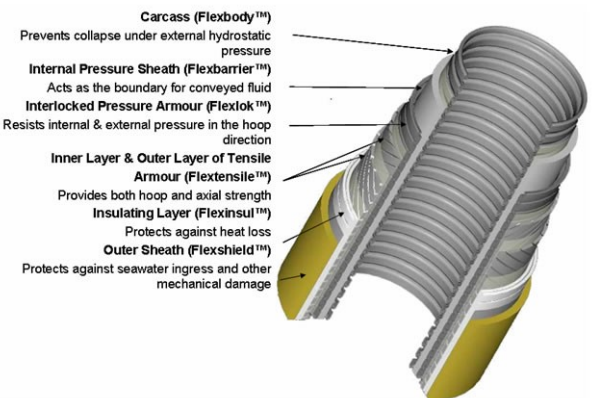

- リスクマネジメントは、前提条件の定義、システム記述、リスク抽出、リスク分析、リスク評価、リスク対策立案等の複数の手法から構成される。

- ここで採用した方法論・ツール群はリスク業界においてよく知られており、また放射性廃棄物処分分野やCCS分野において実績のある手法である。



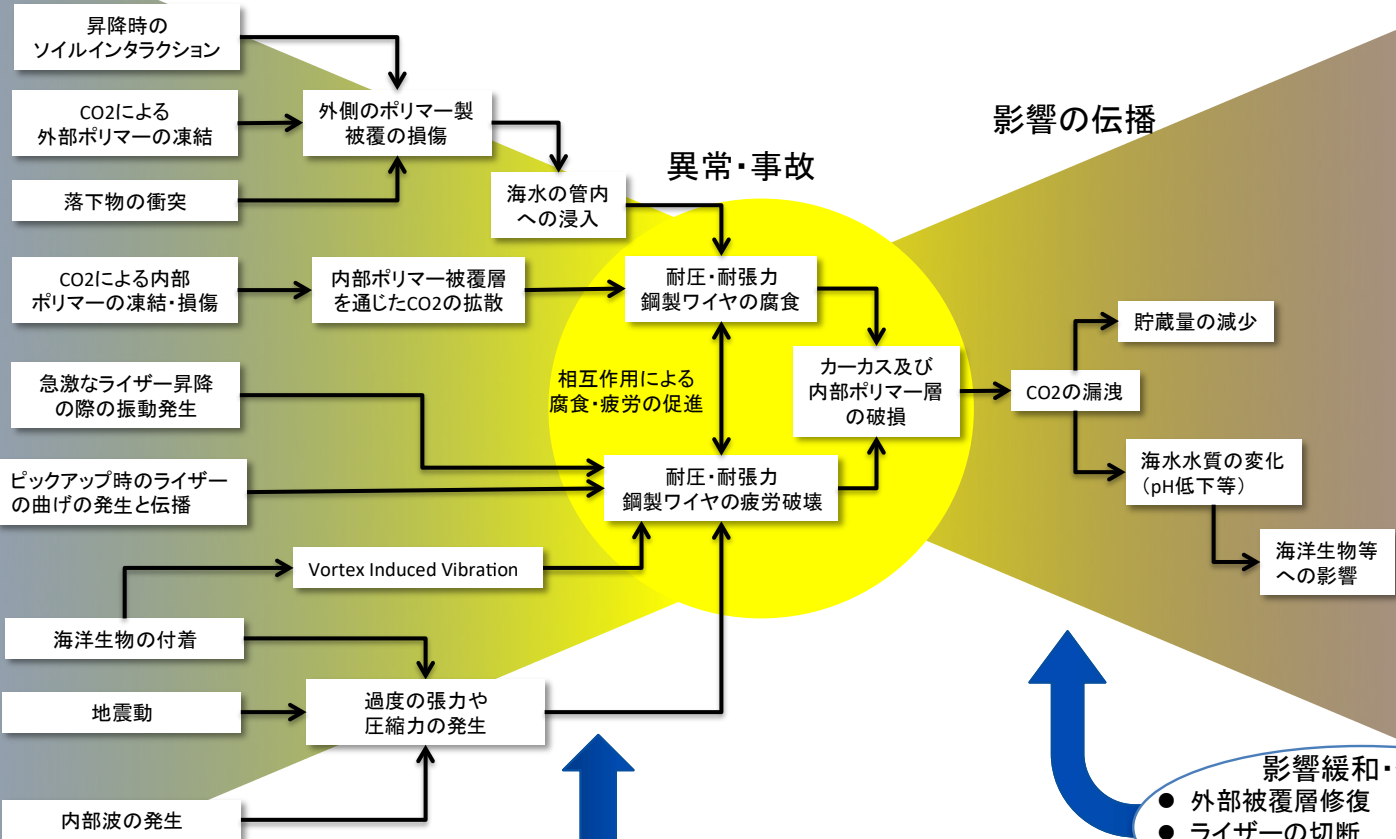
フレキシブルライザーパイプを対象としたFEPリスト作成

- システムのキーコンポーネントであるフレキシブルライザーパイプ(FRP)を対象として、有識者へのヒアリングに基づき、6つの大分類（システム構成、開発・使用段階、劣化・破損要因、健全性管理、検査・モニタリング、及び修復・廃止措置）について計約90個のFEPを抽出し、構造・材料・運用面の不確実性整理を行った。

A. フレキシブルライザーのシステム構成		C. 劣化・破損要因		D. 健全性の管理(Integrity management)	
<p>A.1 フレキシブルパイプの構造</p> <p>A.1.1 カーカス(最内側のステンレス鋼製耐圧管)</p> <p>A.1.2 内部ポリマー被覆層(注入流体の閉じこめ)</p> <p>A.1.3 内環構造(Annulus)</p> <p>A.1.3.1 耐圧外殻(内部被覆層外側に巻かれた鋼製ワイヤの格子: pressure armour)</p> <p>A.1.3.2 耐張力外殻(2層(あるいは4層)の互いに逆向きに織られた鋼製ワイヤの格子: tensile armour)</p> <p>A.1.3.3 強化テープ(鋼製ワイヤのbirdcaging防止や摩擦低減用)</p> <p>A.1.4 外部ポリマー被覆層(海水の侵入防止)</p> <p>A.2 パイプ端部のフィッティング</p> <p>A.2.1 Bend stiffener</p> <p>A.2.2 Bellmouth</p> <p>A.3 内環ベント系(Annulus venting system)</p> <p>A.3.1 注入流体から内環に拡散するガス(CO₂、水分等)のベント</p> <p>A.3.2 ベント用(定圧)バルブ</p> 		<p>C.1 フレキシブルパイプの劣化・破損要因</p> <p>C.1.1 温度</p> <p>C.1.1.1 ポリアミド内部被覆層の熱変質</p> <p>C.1.1.2 PVDF(Polyvinylidene Fluoride) 内部被覆層の熱変質</p> <p>C.1.1.3 ポリエチレン内部被覆層の熱変質</p> <p>C.1.1.4 (Cirdcaging防止用)強化テープの熱変質</p> <p>C.1.2 圧力</p> <p>C.1.2.1 注入圧による疲労促進</p> <p>C.1.2.2 急激な減圧時の管内に浸透したガス圧による圧壊</p> <p>C.1.2.3 減圧時のプリスタリング</p> <p>C.1.2.4 減圧時の端部シール破損(管の引き抜き)</p> <p>C.1.3 注入流体</p> <p>C.1.3.1 低pH(<5.5)におけるポリアミド内部被覆層の劣化</p> <p>C.1.3.2 低pHにおける鋼製ワイヤの腐食促進</p> <p>C.1.4 疲労</p> <p>C.1.4.1 船舶との接続部における曲げの繰り返しによる疲労</p> <p>C.1.4.2 タッチダウン部における曲げの繰り返しによる疲労</p> <p>C.1.4.3 (管内への水分侵入時の)腐食による疲労の促進</p> <p>C.1.4.4 VIVIによる疲労の促進(unbonded flexible pipeの場合は考慮不要?)</p> <p>C.1.5 金属腐食</p> <p>C.1.5.1 外部被覆層損傷時の浸水による腐食</p> <p>C.1.5.2 注入流体中のCO₂等による腐食促進</p> <p>C.1.6 エロージョン</p> <p>C.1.7 (スケール、ハイドレート等による)パイプ閉塞(Clockage)</p> <p>C.1.8 高流量でのFIP(Flow Induced Pulsations)による急速な疲労</p> <p>C.1.9 海洋生物の付着</p> <p>C.1.10 内部波の発生</p> <p>C.2 付帯設備の劣化・破損要因</p> <p>C.3 設置時及び作業中の力学的負荷</p> <p>C.3.1 過度の曲げによる管の破損</p> <p>C.3.2 Birdcaging</p> <p>C.3.3 タッチダウン部の横倒れ座屈</p> <p>C.3.4 ソイルインタラクションによる外部被覆層の破損</p> <p>C.3.5 ピックアップ時の曲げの発生と伝播</p> <p>C.3.6 急激な昇降の際の振動発生</p> <p>C.4 事故時の損傷</p> <p>C.4.1 落下物の衝突</p> <p>C.4.2 トロール板の衝突</p> <p>C.4.3 他のライザー等との干渉</p> <p>C.4.4 火災による外部被覆(ポリマー)の損傷</p> <p>C.5 製作時の欠陥</p> <p>C.5.1 フレキシブルパイプ製作時の欠陥</p> <p>C.5.2 付帯設備製作時の欠陥</p> 		<p>D.1 フレキシブルパイプ健全性管理システム</p> <p>D.2 フレキシブルパイプ設置ガイドライン</p> <p>D.3 注入流体から内環へのガス拡散量の計算(腐食環境の推定)</p> <p>D.4 落下物の管理</p> <p>D.4.1 落下物の報告</p> <p>D.4.2 ROVIによる落下物の位置の確認</p> <p>D.4.3 甲板での物品取扱いガイドライン</p> <p>D.5 船舶立ち入り禁止エリアの設置</p> <p>D.6 フレキシブルパイプの耐用年数の定期的再評価</p> <p>E. 検査及びモニタリング</p> <p>E.1 外観検査</p> <p>E.1.1 一般的外観検査(GVI/OVI)</p> <p>E.1.2 内部映像検査</p> <p>E.1.3 Laser Leak Detection</p> <p>E.2 管内モニタリング</p> <p>E.2.1 加圧テスト(水カテスト)</p> <p>E.2.2 管内圧力モニタリング</p> <p>E.2.3 管内温度モニタリング</p> <p>E.2.4 管内流体モニタリング</p> <p>E.3 管内に設置したポリマー試験片によるモニタリング(In-line Coupon monitoring)</p> <p>E.4 ライザー内環健全性モニタリング(Riser annulus integrity monitoring)</p> <p>E.4.1 パキュームテスト</p> <p>E.4.2 窒素充填テスト</p> <p>E.4.3 ガス蓄積テスト</p> <p>E.4.4 オンラインガスサンプリング・分析</p> <p>E.4.5 超音波テスト</p> <p>E.5 放射線検査</p> <p>E.6 うず電流法による鋼製外殻腐食・孔食検査</p> <p>E.7 管外部からの応力モニタリング(Non-intrusive stress monitoring)</p> <p>E.8 超音波検査</p> <p>E.8.1 鋼製外殻の腐食検査</p> <p>E.8.2 管内浸水検査</p> <p>E.9 サイドスキャンソナー</p> <p>E.10 管内光ファイバーモニタリング</p> <p>E.11 負荷モニタリング</p> <p>E.11.1 管上部のテンションのモニタリング</p> <p>E.11.2 管上部での曲げのモニタリング</p> <p>E.12 外部環境モニタリング</p> <p>E.12.1 波浪モニタリング</p> <p>E.12.2 潮流モニタリング</p> <p>E.12.3 船舶位置モニタリング</p> <p>F. 修復・廃止措置</p> <p>F.1 外部被覆層修復</p> <p>F.1.1 乾式修復</p> <p>F.1.2 湿式(現場)修復</p> <p>F.2 ライザーの切断</p> <p>F.3 フレキシブルパイプの廃止・処分</p> <p>F.4 フレキシブルパイプの再利用</p>	
B. フレキシブルパイプの開発・使用段階					
<p>B.1 概念構築</p> <p>B.2 詳細設計</p> <p>B.3 製作</p> <p>B.4 保管</p> <p>B.5 設置・施工</p> <p>B.6 操業</p>					

FEPリストに基づくボウタイモデル構造化

脅威や事故原因



予防的措置

- フレキシブルパイプ健全性管理システム
- フレキシブルパイプ設置ガイドライン
- 注入流体から内環へのガス拡散の評価(腐食環境の推定)
- 落下物の管理
- 船舶立ち入り禁止エリアの設置
- フレキシブルパイプの耐用年数の定期的再評価

早期検出による回避

- 外観検査
- 管内モニタリング
- 管内に設置したポリマー試験片によるモニタリング
- ライザー内環健全性モニタリング
- 放射線検査
- うず電流法による鋼製外殻腐食・孔食検査
- 管外部からの応力モニタリング
- 超音波検査
- サイドスキャンソナー
- 管内光ファイバーモニタリング
- 負荷モニタリング
- 外部環境モニタリング

影響緩和・修復

- 外部被覆層修復
- ライザーの切断
- フレキシブルパイプの廃棄・処分

環境省事業におけるリスクマネジメントに関する検討

最終ゴール

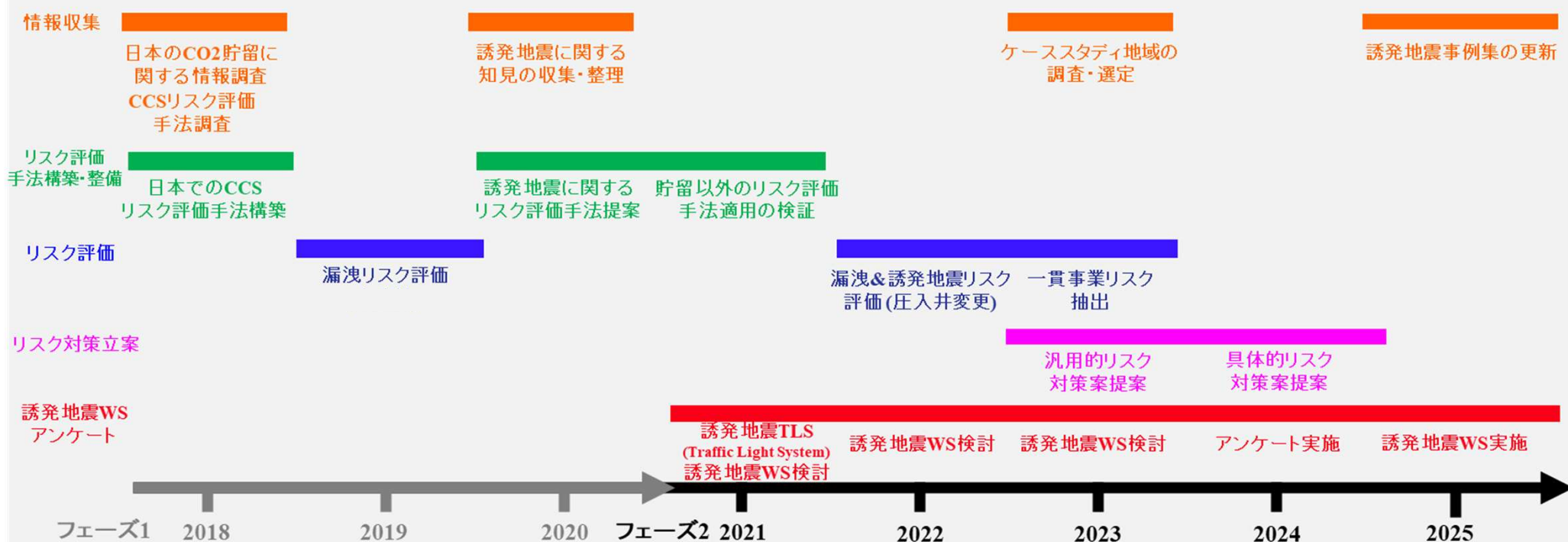
① CCS一貫事業のリスクが受け入れられた社会の醸成

- ・ CCS一貫事業に伴う技術的・環境的・社会的リスク(特に誘発地震やCO2漏洩等)について、科学的根拠に基づくリスク評価を実施し、整理・可視化する。また、国内外の事例や知見を踏まえてわかりやすくステークホルダへ継続的に発信することで、リスクと便益を総合的に理解できる社会的基盤を形成し、共通認識と信頼関係の構築を図る。

② 事業者がリスク対策を把握した上でのCCSの適切管理

- ・ 回収・輸送・貯留の各プロセスにおける主要リスクを体系的に整理し、事業者が把握・管理すべきリスクを明確化する。これら検討を通じて事業者は主体的かつ適切なリスクマネジメントを可能とし、CCS一貫事業の安全性および信頼性の確保につなげる。

環境省CCS事業におけるリスクマネジメント検討項目タイムライン



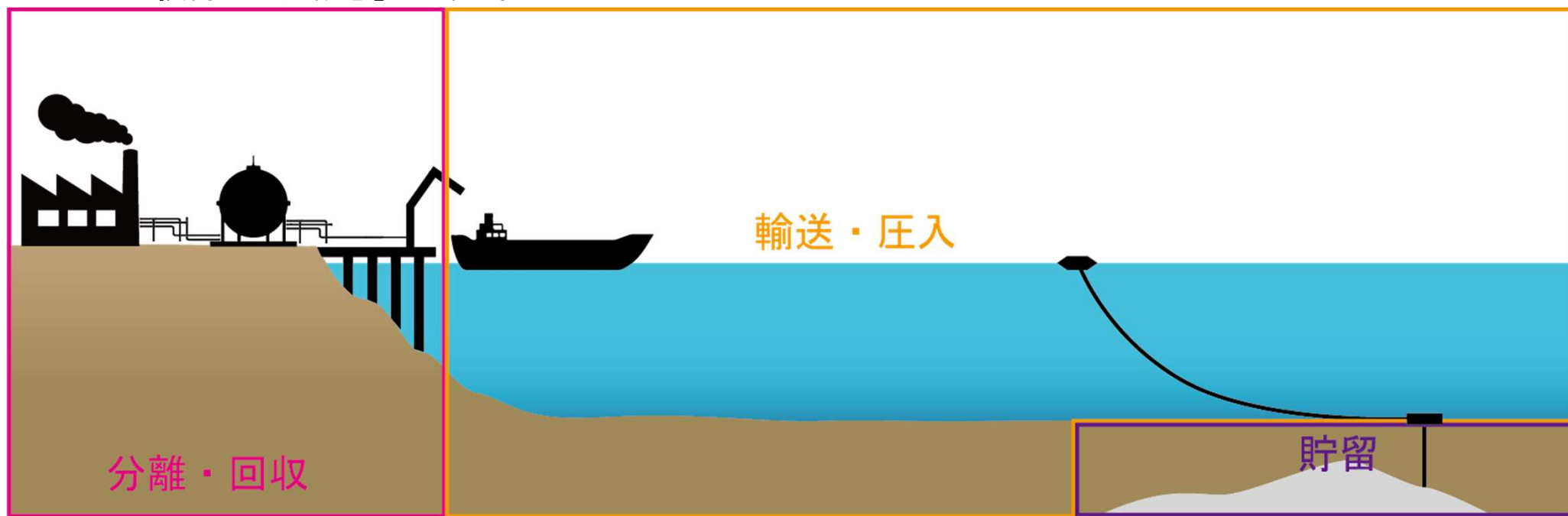
CCS一貫システムにおけるフローアシュアランスに立脚したリスクマネジメント

■ CCS一貫システムとは？

- CO₂の分離・回収、輸送、貯留をそれぞれ独立した要素技術としてではなく、物質・圧力・エネルギー・リスクが連続的に伝播する一つのシステムとして統合的に設計・管理する考え方である。CCSを「単なる技術の寄せ集め」ではなく「長期にわたり社会インフラとして成立させるための工学システム」として成立させるうえで重要となる。

■ フローアシュアランスとは？

- もともと石油・ガス分野で確立された概念であり、配管やパイプライン内での流動阻害（ハイドレート生成、ワックス析出、腐食、スラグ流など）を防ぐための学問体系と実務の集合体である。
- CCSでは「CO₂が設計通りに、止まらず、安全に、長期間流れ続けることを保証するための横断的な技術・運用概念」である。



CCSにおける誘発地震リスクの重要性

■ CCSにおいて「誘発地震」は以下の観点から避けることのできないテーマとなっている。

- 地下に流体を圧入すれば地下の状態に変化が起きるため、振動が起きる可能性がある（振動の大きさは諸条件による）。CCSでもCO₂（流体）を地下に圧入するため、例外ではない。CCSと関連があると推察されている地震の規模は、最大M4.4となっている（下表参照）。
- 規模の大小に依らず、地震を引き起こす懸念があるならば、その懸念に対する責任が生じる（地震が多い日本では特に重要である）。
 - 根拠のない噂～研究者からの指摘まで適切な説明が必要
- もし日本でCCSにより大きな誘発地震が発生すれば、国内外のCCSプロジェクトの停止につながる可能性もある。

誘発地震の発生事例とその特性（CCS以外の分野を含む）

分野	主要地下対象	最大注入圧力	最大マグニチュード	引用文献
廃水処理	枯渇リザーバー	～初期間隙圧	Mw5.8 (2016, Oklahoma) Mw5.3 (2011, Raton盆地) Ms5.4 (1997, 四川盆地)	Barbour et al., 2017 Moschetti et al., 2019 Barnhart et al., 2014 Lei et al., 2008; 2020
岩塩採掘	岩塩ドーム	～10 MPa	Mw5～5.7 (2019, 四川盆地)	Lei et al., EPP, 2019
地熱(EGS)	高温岩体	数十～100 MPa	Mw5.5 (2017, 韓国Pohang) Mw5.3 (2012, Brawley)	Kim et al., 2018 Wei et al., 2014
CCS/CCS-EOR*1,2,3,4	含水層・油田	～10 MPa	M1.7 (2004-2011, In Salah) Mw4.4 (2006-2011, Cogdell)	Stork et al., 2015 Gan & Frohlich, 2013

*1 北海のスレイプナーでは、1996年からウツィラ層に毎年100万トンのCO₂が注入され(Halland et al., 2013)、15年以上の運用期間中、地震活動は引き起こされていない(Zoback & Gorelick, 2012)。

*2 苫小牧JCCSプロジェクトの海底観測はM0.5以下の地震検知能力があるが、インジェクション地域周辺において地震活動は観測されなかった。

*3 中央アルジェリアのインサラCCSプロジェクトの地震活動のモニタリングでは、最大M1.7の地震を含む約3,600～6,300のイベントが検出され、CCSプロジェクトとしては最大のマグニチュードを観測した(Goertz-Allmann et al., 2014; Stork et al., 2015)。

*4 アメリカ・テキサス州のCogdell油田にて行われたEORにおいて、CO₂圧入に伴うM3以上の地震が発生したとされている (Gana & Frohlich, 2013)

CCS一貫事業のリスクマネジメント

(参考) ESL (Evidence Support Logic) による評価手法

- 貯留候補地点に関する入手可能な情報（既存の調査データ、シミュレーション結果など）に基づき、海外のCCSプロジェクト（Quest, Peterhead, White Roseなど）におけるExpert elicitationのガイドラインを適用しつつ、専門家ヒアリングによって各エビデンスに基づく命題（ESLモデルの最下層の命題）の評価を実施した。
- エビデンスの重みについては上記の海外事例を参考に設定した。

各エビデンスに基づく末端命題の評価を専門家ヒアリングにより実施

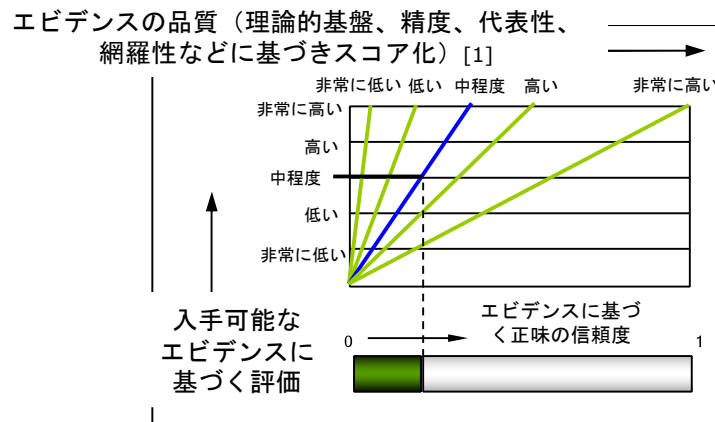
- ・ 各エビデンスの命題に対する肯定あるいは否定の程度をそれぞれYesあるいはNoの主観確率として表現する
- ・ 情報が不足している場合等の理由で判断が困難な場合やボウタイ分析で抽出したエスカレーションファクター（種々の不確実性等）に留意しつつ区間確率における「保留（どちらとも言えない）」を適用する。
- ・ エビデンスの品質に応じて評価結果を校正する（下図）

Yes: あるエビデンスに基づき命題を肯定できる確率

保留: 情報が不足している場合等の理由でどちらとも言えない確率

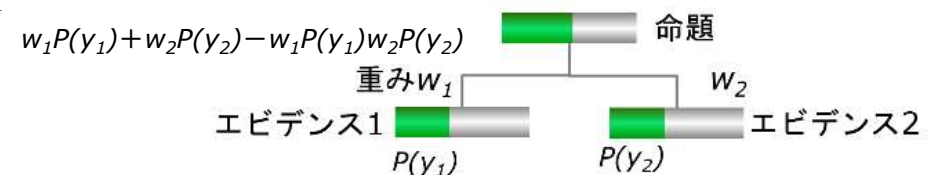
No: あるエビデンスに基づき命題を否定できる確率

エビデンスに基づく区間確率設定の考え方

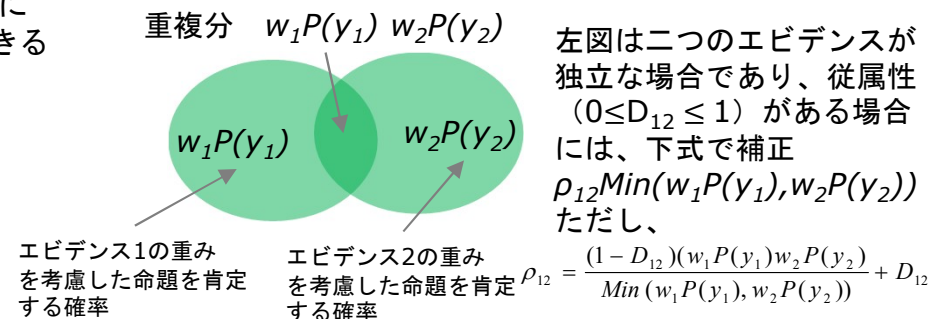


[1] Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R. Uncertainty and Quality in Science for Policy, 1990.

Evidence theoryに基づく各命題の評価



※否定についても同様の算法を適用



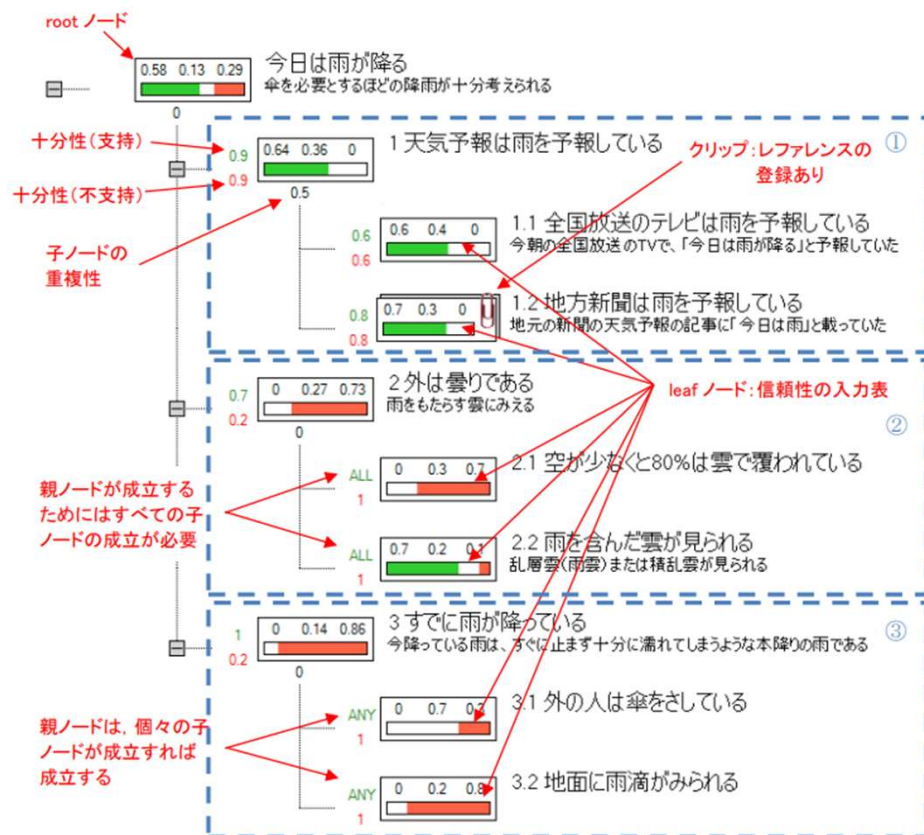
- ・ 一つの命題に対する複数のエビデンスそれぞれの判断結果（区間確率）をEvidence theory（上図）に基づき合算する
- ・ 個々には間接的あるいは断片的な独立した証拠が同時に当該命題の真偽いずれかを示唆している場合に全体としてどの程度の信頼性を持って判断可能か（Multiple lines of reasoning）を示す指標

CCS一貫事業のリスクマネジメント

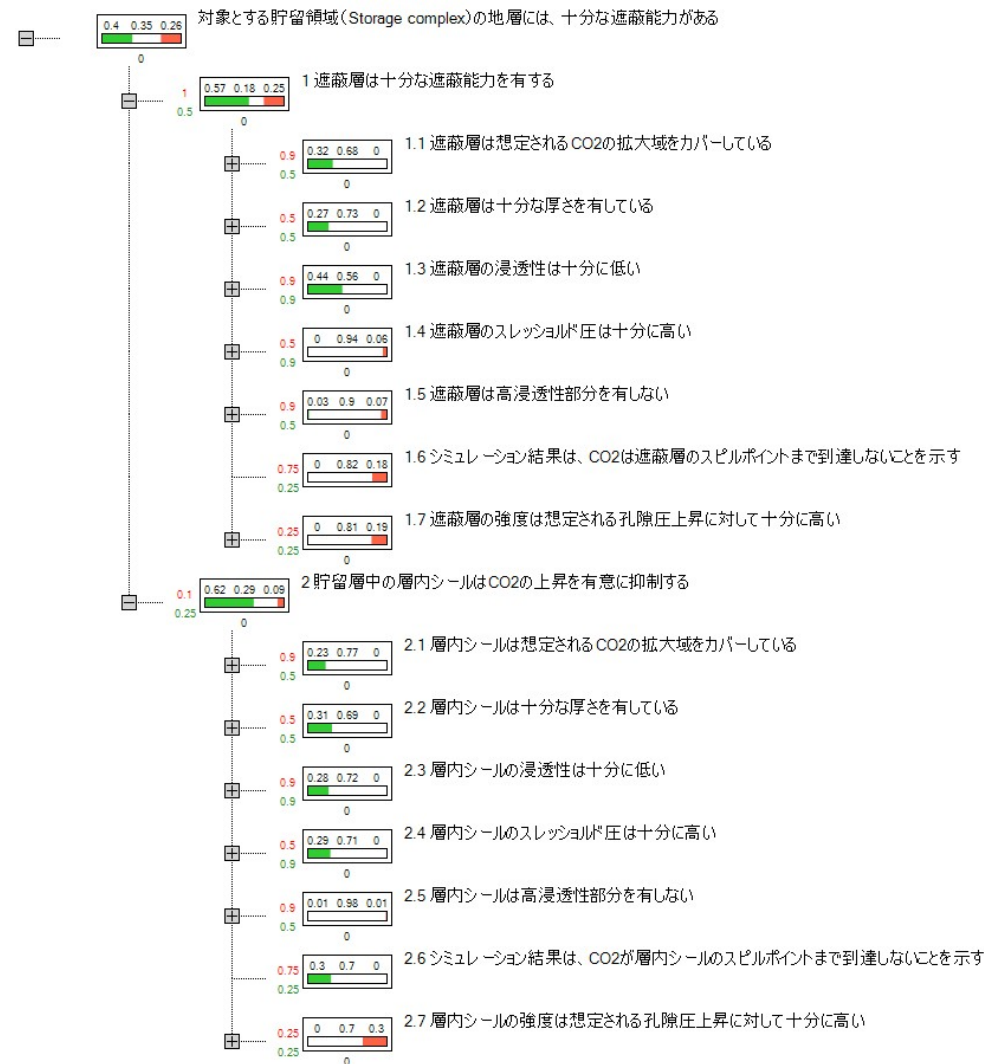
(参考) ESL (Evidence Support Logic) による評価事例

ESL (Evidence Support Logic) を用いたリスク評価

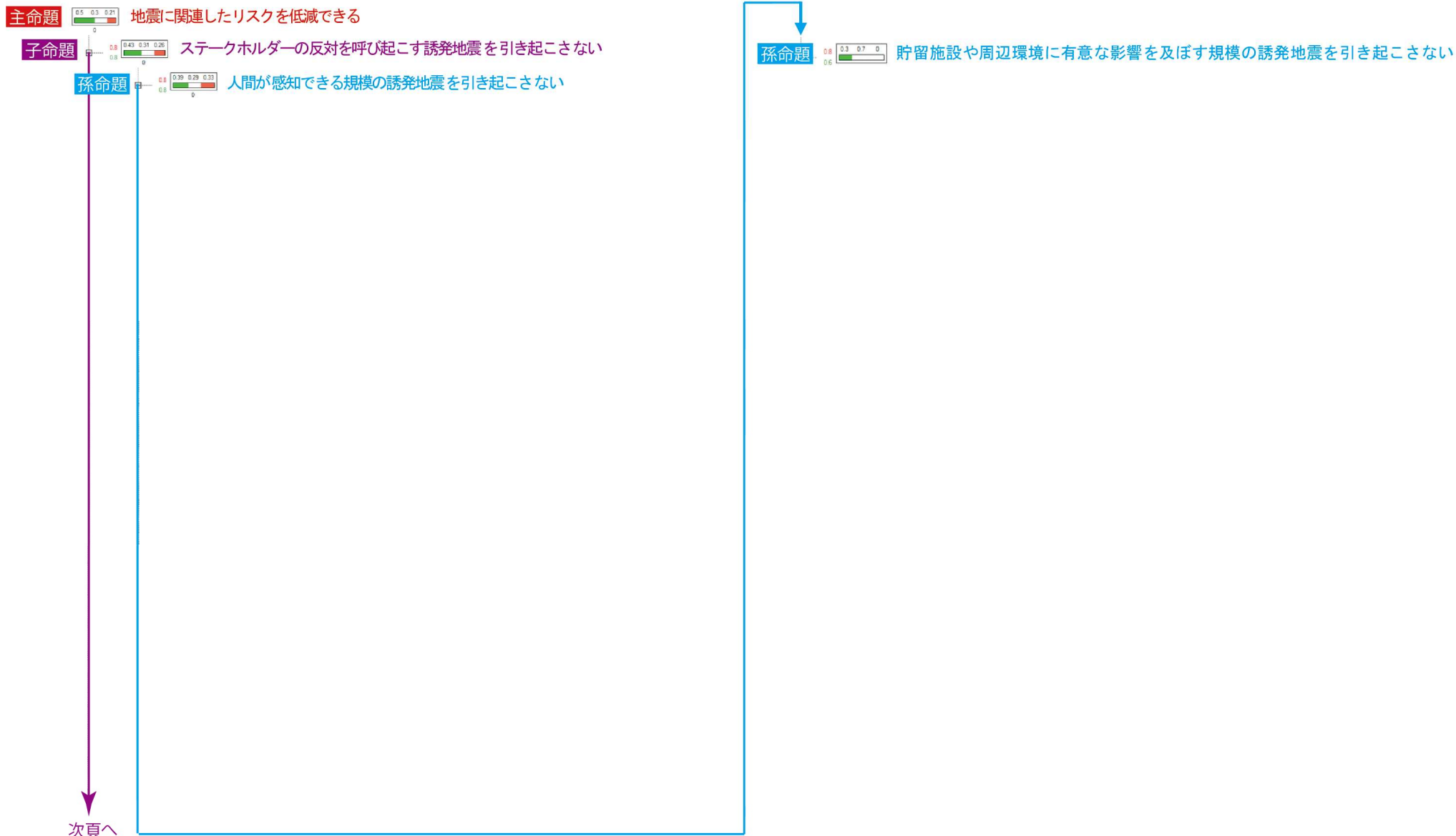
不確実性の存在する状況において、多様な証拠に基づき、検討の対象とする命題が真であることをどの程度の確信（確からしさ）を持って主張することができるかという、意思決定問題を支援する手法。下記にその例を示す。



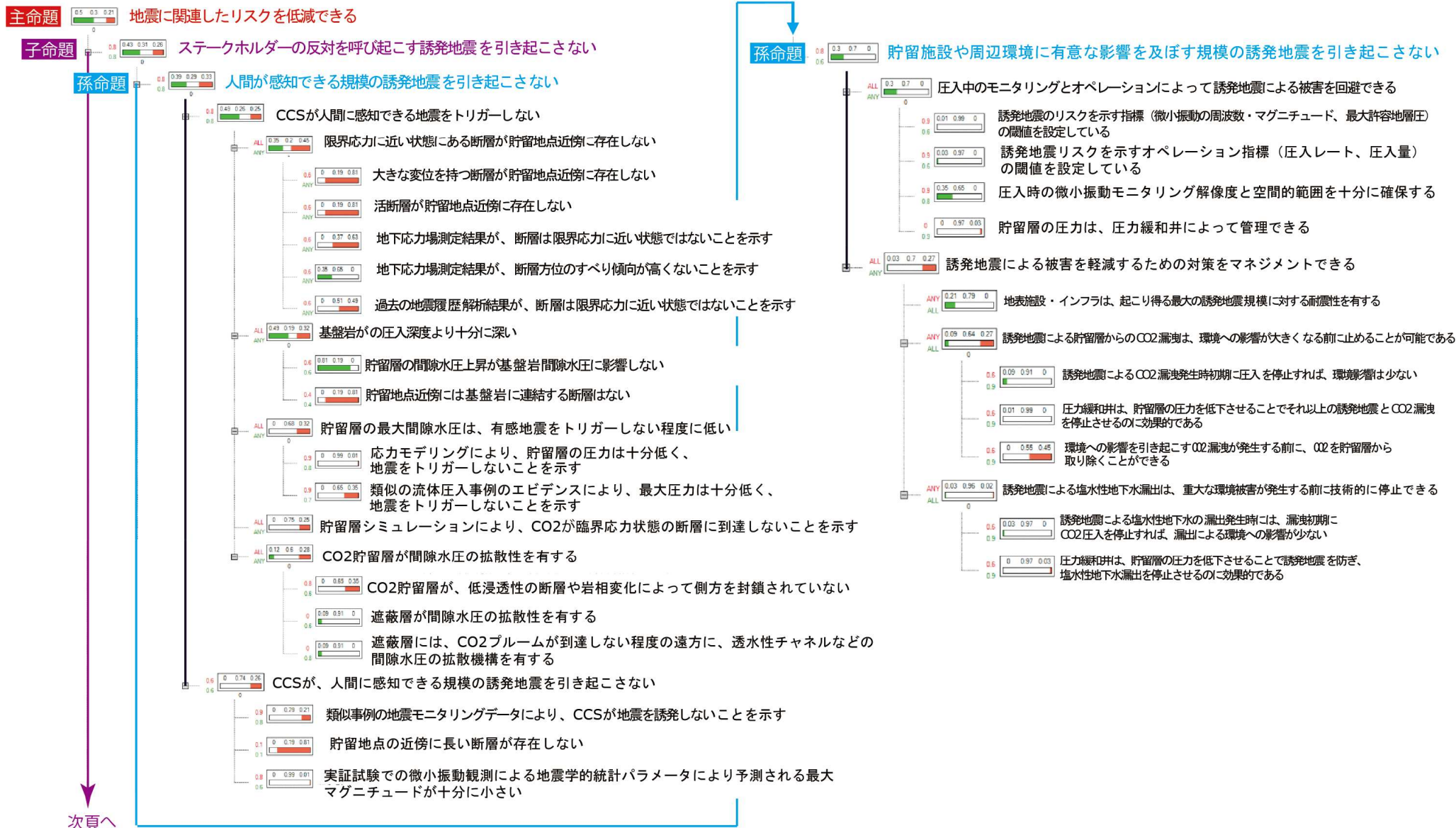
本サブタスクにおける貯留層の遮蔽能力に関する漏洩リスクの決定木の例 (一部省略)



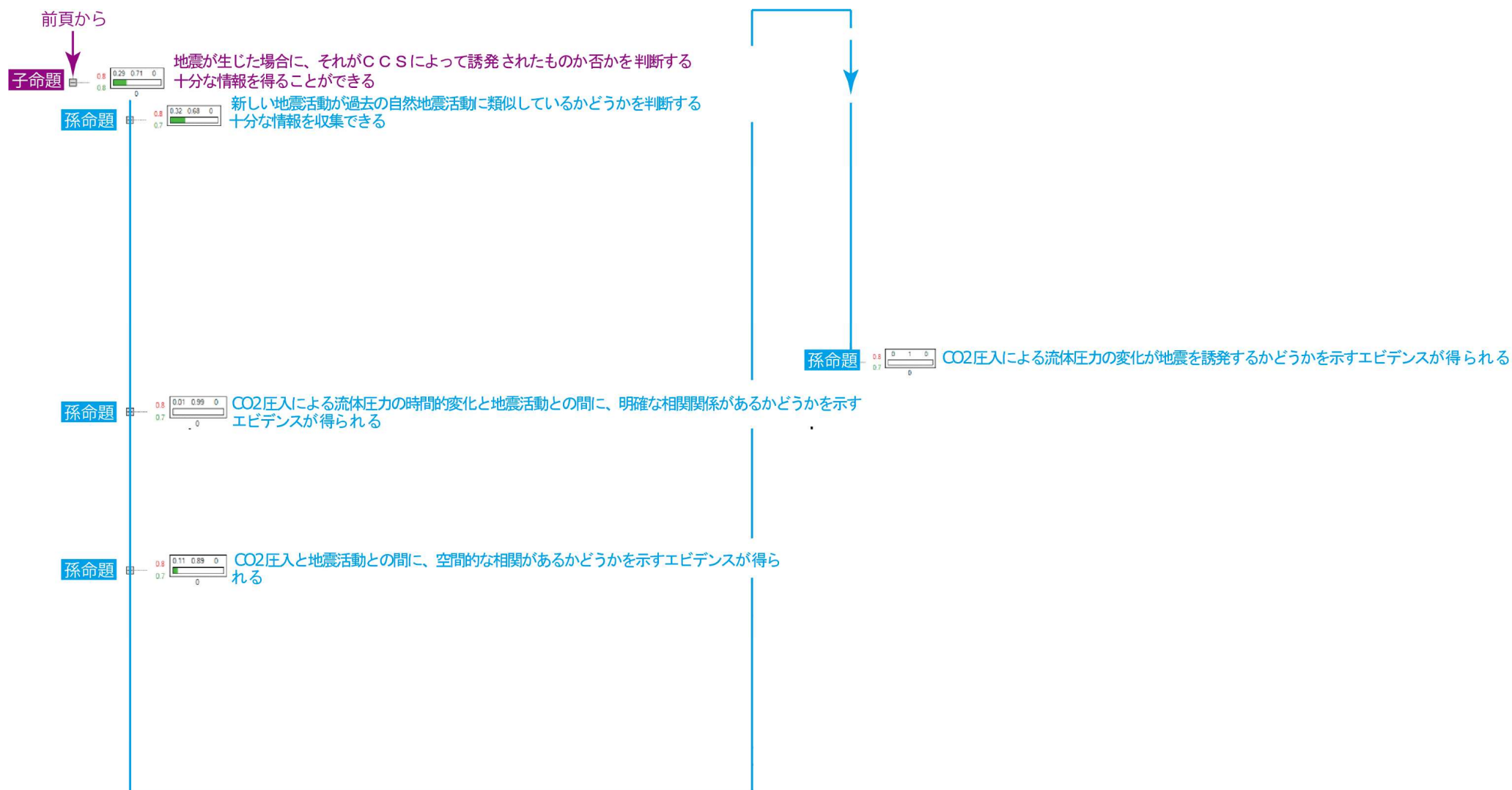
誘発地震リスクのケーススタディ



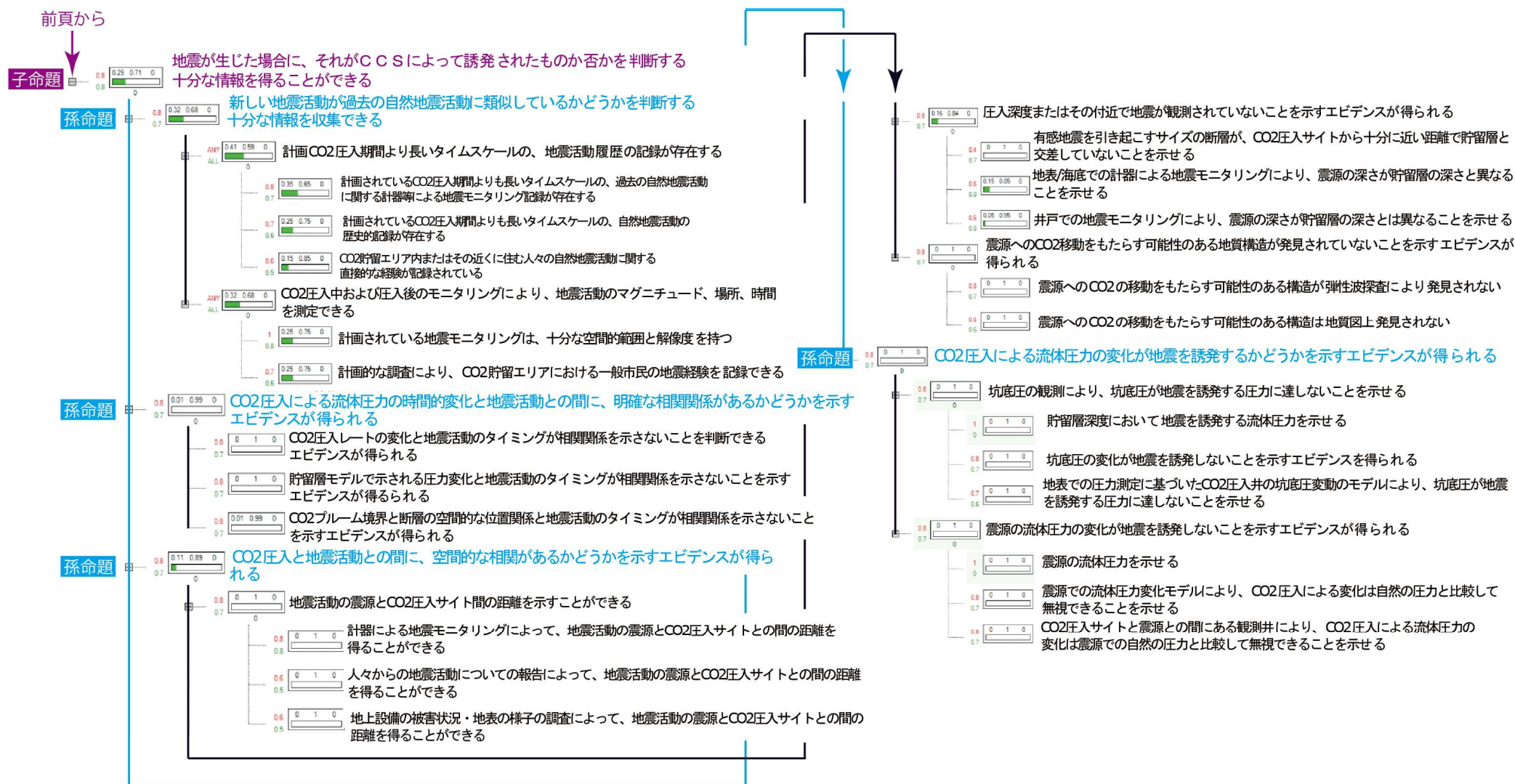
誘発地震リスクのケーススタディ



誘発地震リスクのケーススタディ



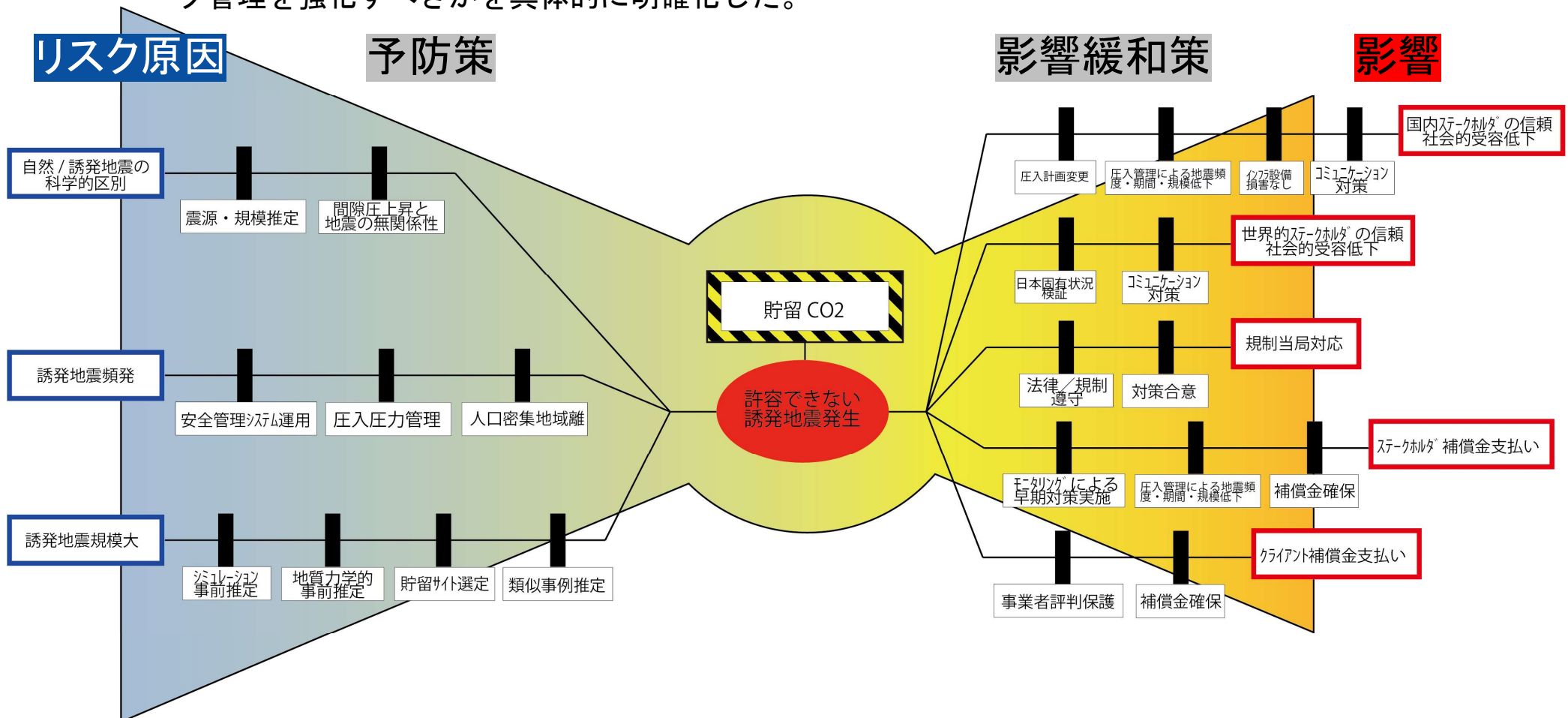
誘発地震リスクのケーススタディ



誘発地震リスクのケーススタディ

■ 誘発地震のリスクマネジメント計画

- ボウタイモデルを構築、リスク低減のための予防策・影響緩和策を視覚的に示すことによって、CCS事業に伴い許容できない誘発地震が発生するリスクを多角的に評価した。
- 「リスク原因」&「予防策」、「影響」および「影響緩和策」を体系的に示し、運用者がどこでリスク管理を強化すべきかを具体的に明確化した。



誘発地震ワークショップ°（国内有識者）の概要（九大・JANUS協力）

■ 誘発地震ワークショップのゴール

- CCSと地震の関係性やリスク評価手法、誘発地震の影響緩和策等に関する科学的知見を整理すること
- 研究者ごとに異なる様々な意見・考え方を取りまとめ、**共通する事項、意見が異なる事項、最低限満たすべき事項等を抽出すること**

■ 有識者の選定と開催形式

- 本事業に関わる関連分野の有識9名を選出し、都内会議室において対面にてワークショップを実施した。

■ 誘発地震アンケート

- ワorkshop開催に先立って、国内外の有識者を対象に以下の質問郡から構成される誘発地震に関連するアンケートを実施した。ワークショップの議題はこのアンケート結果をもとに作成した。

項目	大分類	内容
Q1	本質問1 誘発地震リスク	誘発地震のリスク評価は可能か
Q2		誘発地震のリスク評価の方法
Q3		許容可能なリスクの範囲
Q4		CCS実施における誘発地震リスクの優先度
Q5		誘発地震リスクの優先度が高い理由
Q6		誘発地震リスクの優先度が低い理由
Q7		CCS事業者の誘発地震リスクの位置づけ・対応の仕方
Q8		モニタリング設備の理想的規模
Q9	本質問2 貯留サイトの選定プロセス	活断層と貯留地点の必要離隔距離
Q10		過去の地震の履歴の考慮
Q11	本質問3 地質学的背景を踏まえた日本のCCSの適合性	CCSが誘発地震を発生させる可能性
Q12		CCSに伴う有感地震の発生がほとんどない理由
Q13		日本近海において誘発地震が発生しにくい
Q14		孔隙弾性効果による日本近海での発地震発生の可能性
Q15		地質的背景を考慮した洋上圧入CCSの日本近海適合性
Q16	本質問4 自然地震と誘発地震の区別	地震波モニタリングに対する認識
Q17		アンケートを用いた自然/誘発地震区別法の日本における有効性
Q18		誘発地震の可能性が疑われる圧入地点からの距離
Q19	本質問5 誘発地震リスクコミュニケーション	誘発地震が発生する可能性の表現方法
Q20		誘発地震の大きさの表現方法
Q21		CO2圧入前後の各種モニタリングデータを公開すべきか

アンケートの結果とWSでの議論（トピックの抜粋）

地震モニタリング

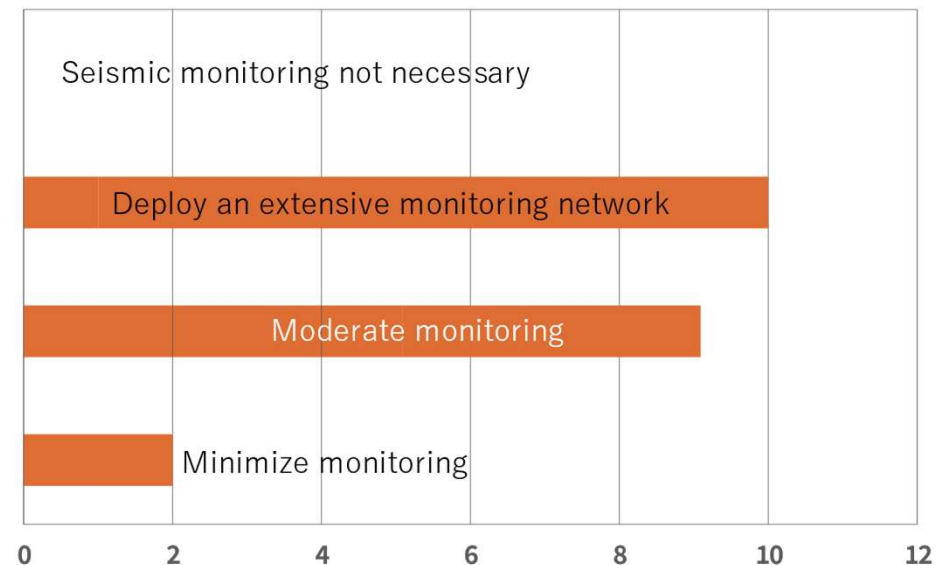
- アンケート項目Q8: 誘発地震に対するリスクマネジメントの一つに、地震活動を監視する微小地震モニタリングが挙げられます。地震観測網が一般に無いあるいは不足しているのが現状ですが、理想的にはどの程度の規模のモニタリングを実施するべきでしょうか？

- 大きく2つの意見に大別された。「**extensive monitoring**」を支持する意見では「自然地震と誘発地震の識別」「社会的信頼の確立」「初期段階での知見蓄積」の重要性が強調された。一方で「**moderate monitoring**」を基本としつつ、日本の自然地震多発性や高コスト構造を踏まえた現実的なモニタリング設計によって、社会的説明責任を果たすための実用的モニタリングを構築すべきとの考え方が共有された。

- WS議論: モニタリングの初期レベルに関する基本思想

- 個々の地震が誘発/自然地震か区別することは本質的に困難であるという前提のもと、**モニタリングの基本思想は「事業者が貯留挙動を管理できていることを示すために最低限かつ十分な情報を確保する」**という点に集約される。
- 以下**3つのモニタリング初期レベルが提案**された
 - 初期段階では不確実性が大きいため、高密度・高頻度で開始し、ヒストリーマッチングが進み予測通りと確認できればレベル・頻度を下げるのが合理的であるとする考え方
 - 商業段階を見据えると、当初は最小限から始め、想定影響圏に観測点を置き、乖離・地震発生などのトリガーで柔軟に拡張すべきで、恒常観測とするかはリスクとコストのバランスで決めるべきであるとする考え方
 - 政策的観点からは、初期の先進的案件で集中的モニタリングにより経験・知見を蓄積し、その後段階的にコストを下げる設計が必要であるとする考え方

Q8. モニタリング設備の理想的規模



アンケートの結果とWSでの議論（トピックの抜粋）

リスクコミュニケーション

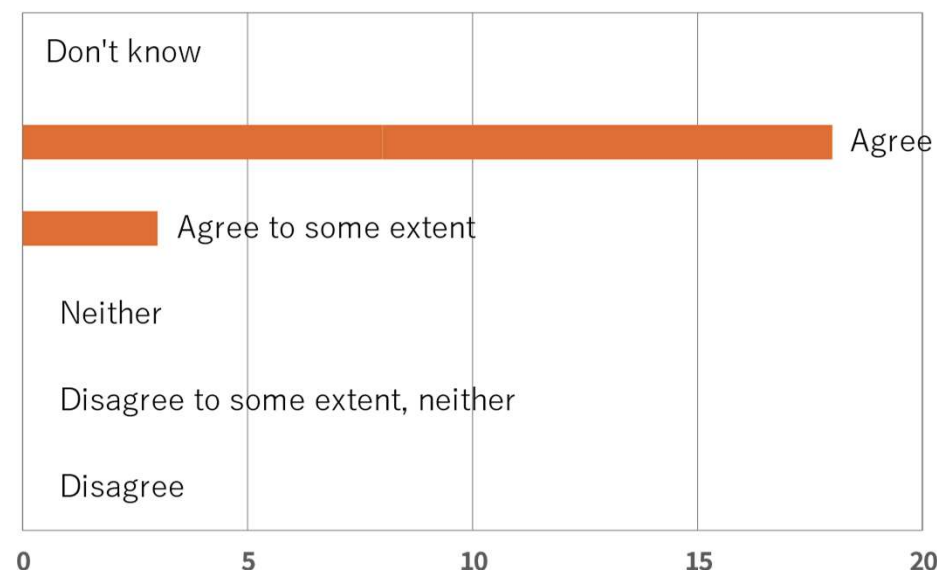
■ アンケート項目Q21: CO2 圧入前、圧入中、圧入後の微小地震観測データや圧入オペレーションの各種データについて、誘発地震データベースとして開発し一般市民に公開し共有することに賛成しますか？

- 全21名の回答者が「Agree」または「Agree to some extent」と回答しており、反対・中立・「Don't know」はゼロであった。これは本アンケートの質問郡の中で最も一致度が高い。**誘発地震リスク評価・管理における「誘発地震データの透明化」がCCS事業の信頼構築に不可欠であるという国際的共通認識が存在**することを示す結果となった。

■ WS議論：地震に関するデータ公開の基本方針

- **事業の透明性確保と市民の信頼獲得の観点から、継続的かつ定常的な情報公開が不可欠**であるという認識が共有された。その上で、**個々の地震が誘発地震か自然地震かを即座に断定することは困難であり、すべてのイベントに解釈を付す必要はない**という考え方も共通認識が得られた。
- データの公表主体と役割分担については、明確な方向性が議論され、**地震発生の実態、すなわち震源位置やマグニチュードといった一次情報については、気象庁のような中立的な公的機関が発表することが望ましい**とされた。一方、**当該地震とCCS事業との因果関係についての説明や解釈は、事業者が担うべき責任領域**であるとされた。
- **公開する情報の粒度や内容については、地震規模に応じた現実的な線引きが必要**であるとの認識が示された。M1クラスでは提示できる情報は震源程度に限られるが、M3程度以上であれば、深さや周辺状況など、より踏み込んだ情報を示すことが可能になる場合がある。また、マグニチュードのみで一律に対応を決めることは適切ではなく、震源の深さや貯留層からの距離などを踏まえた説明が重要であるとされた。

Q21. CO2圧入前後の各種モニタリングデータを公開すべきか



まとめ

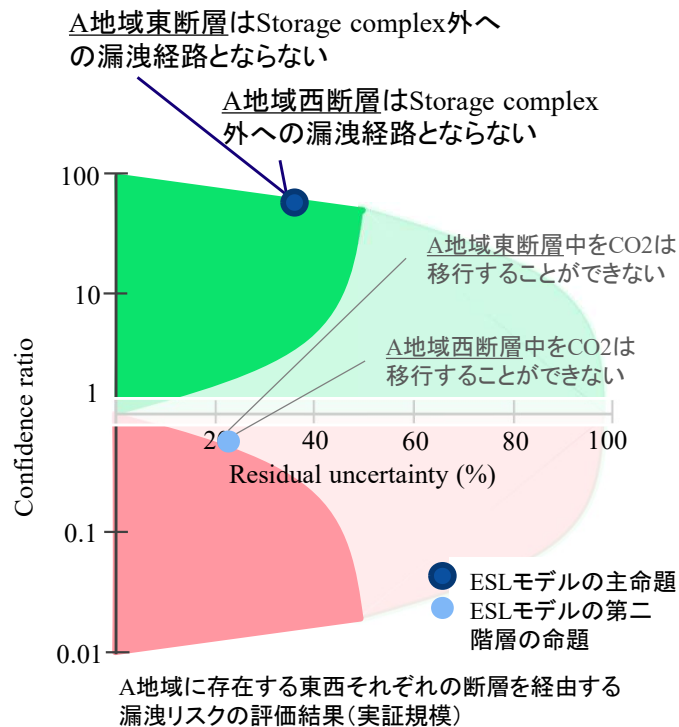
- CCSの社会実装には技術的不確実性を前提としたリスクの整理・可視化と共有が不可欠である。CCSは有効な気候変動対策である一方、導入目標や社会実装を支える環境が十分に整っておらず、リスクマネジメントが前提条件となる。
- CCS一貫事業は回収・輸送・貯留を分断せず、連続した一つのシステムとして管理する必要がある。物質・圧力・エネルギー・リスクが連続的に伝播するシステムとして捉える視点（フローシュアランス）が重要である。
- 特に自然地震が多い日本では、誘発地震への対応はCCSの社会的受容性の観点から重要な課題である。
- 「地震をゼロにすること」ではなく、「発生した地震を科学的に評価・説明できる状態を確保すること」が重要である。自然地震と誘発地震の即時・厳密な識別は困難であることを前提に、管理可能性と説明可能性を担保するリスクマネジメントが求められる。
- データの透明性と役割分担の明確化がCCS事業に対する社会的信頼の基盤となる。専門家間ではモニタリングデータの継続的公開に対する高い合意が確認されており、事実情報は公的機関、因果関係の説明は事業者が担うといった整理が重要である。

■ 以下参考資料

CCS一貫事業のリスクマネジメント

(参考) ESLによる評価手法 (Ratio Plot)

- Ratio plot (下図) は、以下の縦横軸に対して主命題はじめ各命題についての結果をプロットすることでESLモデルの評価結果を可視化する手法である
 - 縦軸 (対数スケール) : (肯定の確率) / (否定の確率)
 - 横軸 (リニアスケール) : 不確実性
- ケーススタディの対象とした地域に存在する東西それぞれの断層を経由する漏洩リスク(実証規模を想定)のRatio plotを例として下に示す。主命題の評価結果は濃い緑色の領域に位置しており、不確実性を考慮しても東西両断層がStorage complex外への漏洩経路とはならないことが明らかと判断することができる※1。



Ratio plotの各領域とその解釈例

Ratio plotの領域	ESL評価結果	命題の成否に関する解釈例
濃い緑色	肯定の確率 > 否定の確率、かつ 肯定の確率 - 否定の確率 > 不確実性	不確実性を考慮しても命題が成立することが明らか
薄い緑色	肯定の確率 > 否定の確率、ただし 不確実性 > 肯定の確率 - 否定の確率	命題が成立することの方が確からしいが不確実性が残っており確言できない
X軸付近	肯定の確率 ≒ 否定の確率	命題の成否はどちらとも言えない
薄い赤色	否定の確率 > 肯定の確率、ただし 不確実性 > 否定の確率 - 肯定の確率	命題が成立しない方が確からしいが不確実性が残っており確言できない
濃い赤色	否定の確率 > 肯定の確率、かつ 否定の確率 - 肯定の確率 > 不確実性	不確実性を考慮しても命題が成立しないことが明らか

(※1) なお、これは圧入量が小さくCO2プルームがこれらの断層まで達する可能性が極めて低いことが圧入シミュレーションによって示されていることなどによる