

CCUSの早期社会実装会議（第4回）～CCUS技術実証等に係る取組と成果～



CCSの早期社会実装に向けた環境整備及び 機会拡大に係る検討

株式会社QJサイエンス
日本エヌ・ユー・エス株式会社
国立大学法人九州大学

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

経緯 (1/2)

■ 環境配慮型CCS導入検討事業 (2014-15)

- **沖合・大水深海底下貯留**を想定した大規模CCSの円滑な導入のために「**早急な解決が必須である課題**」を検討した結果、以下が挙げられた。
 1. **【回収】** 発電システムの運転への影響、フレキシブル運用手段の確立、環境影響の検討；
 2. **【輸送】** 排出源ごとの最適な輸送方法の選択の結果としての**船舶輸送技術**の実証；
 3. **【貯留】** 大規模貯留層の特定、確保；
 4. **【政策・措置】** 国によるCCSの必要性の明確化、アカウンティング方法の確立、既設の火力発電所への回収設備追設の可能性の検討；
 5. **【社会受容性】** 温暖化対策コミュニティにおいて現実的な温暖化対策の一つとして認識されること、ローカルな社会的受容性の確保；

経緯 (2/2)

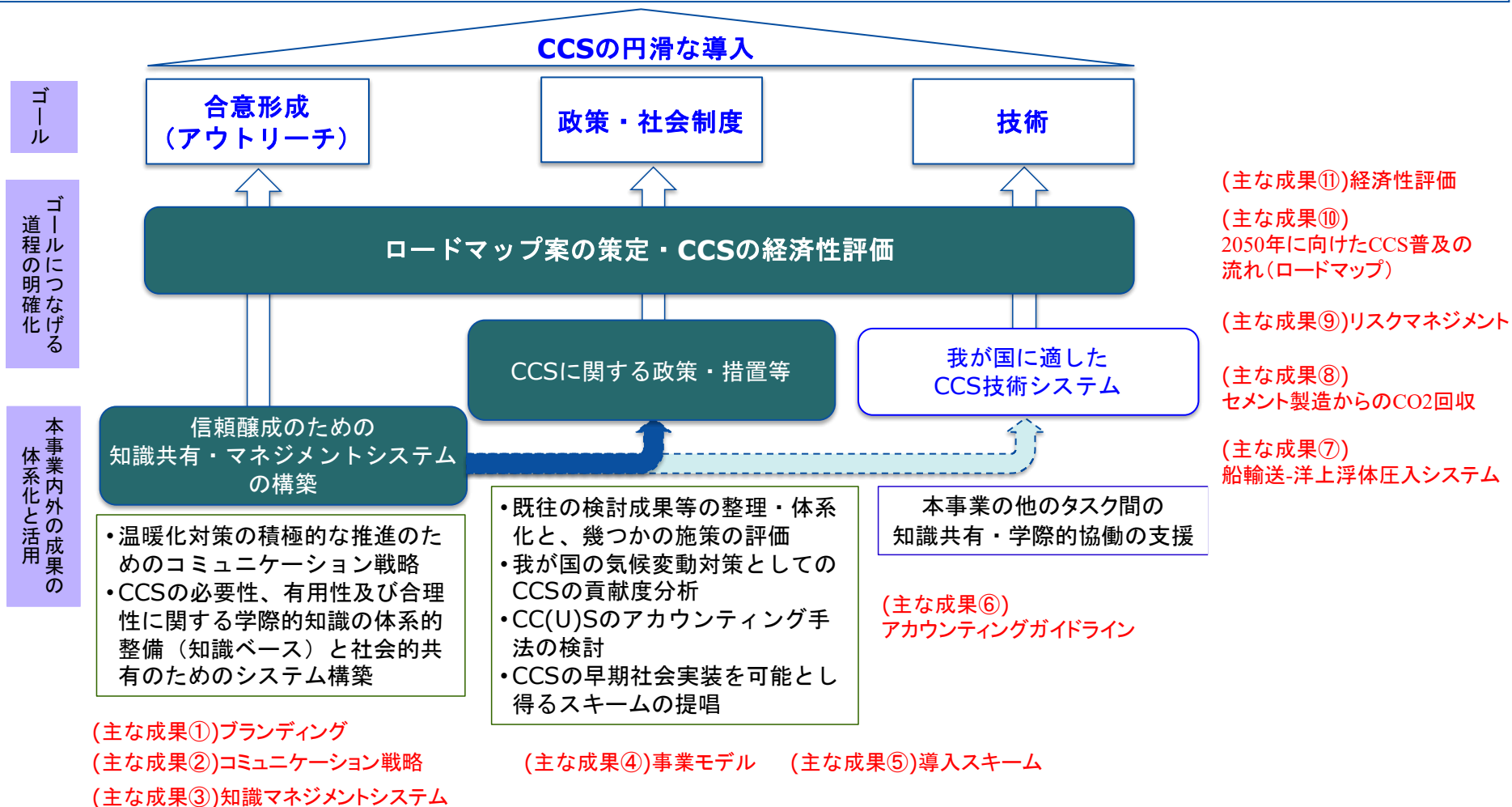
■ 環境配慮型CCS実証事業 (2016-20)

1. 【回収】 日量500t超の回収設備の建造と環境排出物による影響評価の指針検討；
2. 【輸送】 船舶輸送・浮体からの洋上圧入技術の概念設計；
3. 【貯留】 貯留層の特定と圧入計画の概念検討；
4. 【CCSの円滑な導入（次頁も参照のこと）】
 - ① 論証モデルや電力需給分析によるCCSの価値の明確化とブランディング
 - ② 合意形成及びコミュニケーション計画の立案と広報素材の開発
 - ③ 知識マネジメントシステムの開発
 - ④ 法規制枠組みの現状分析、レトロフィットを含めたCapture Ready施策やインセンティブを含めた事業モデルの検討
 - ⑤ 早期社会実装に向けた導入スキームの検討
 - ⑥ CCUSのアカウンティングガイドラインの提唱
 - ⑦ ソース・シンクマッチングの分析などを通じたわが国に適したCCSシステムの検討（船舶輸送＋洋上圧入方式の提唱→輸送タスクでの検討深化）
 - ⑧ パイロットプラントによるセメント製造プロセスからのCO2回収技術の検証
 - ⑨ 貯留リスク（含：地震を誘発するリスク）に重点を置いたリスクマネジメント手法の検討
 - ⑩ 2050年に向けたCCSロードマップの策定
 - ⑪ CCS一貫システム（実証規模及び商用規模事業）の経済性評価

(参考) 環境配慮型CCS実証事業 (2016-20)

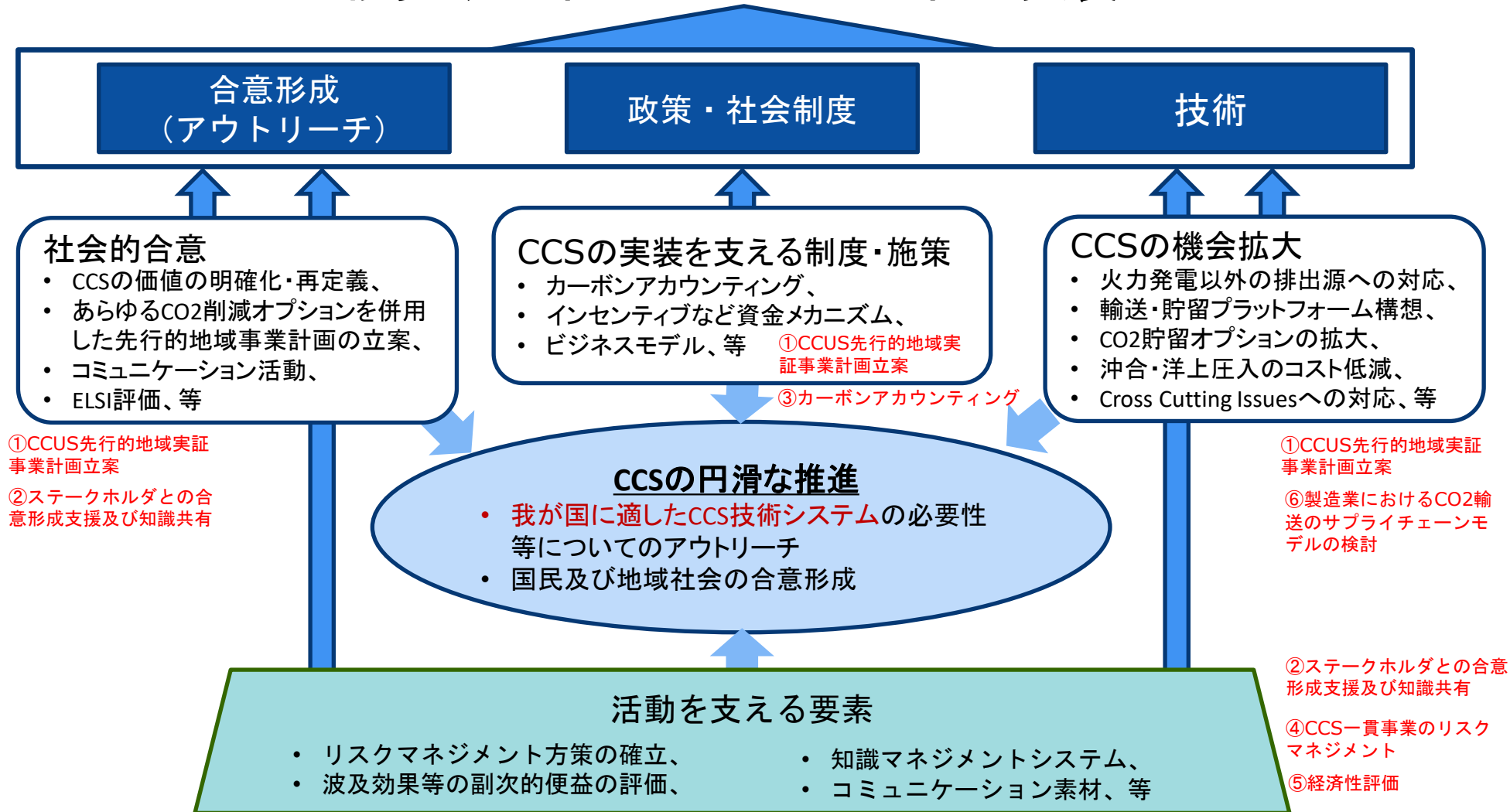
CCSの円滑な導入を目指した実施内容の関連

- 気候変動に対する政策や社会、および技術開発の動向を注視しつつ下記のような項目に係る検討を実施し、CCSの社会実装を図るための幾つかの提言をとりまとめた。



CCUSの円滑な導入手法の検討—全体像

気候変動対策としてのCCSの社会実装



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

- Phase 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する。

② ステークホルダ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する。
- CCSのELSI適合性の評価を実施する

③ カーボンアカウンティング

- Phase 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する。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に関する国内制度への反映に資する。

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する

⑤ 経済性評価

- 必要に応じて、Phase 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のコスト分析を行う。また、CCS事業の経済波及効果分析を行う

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

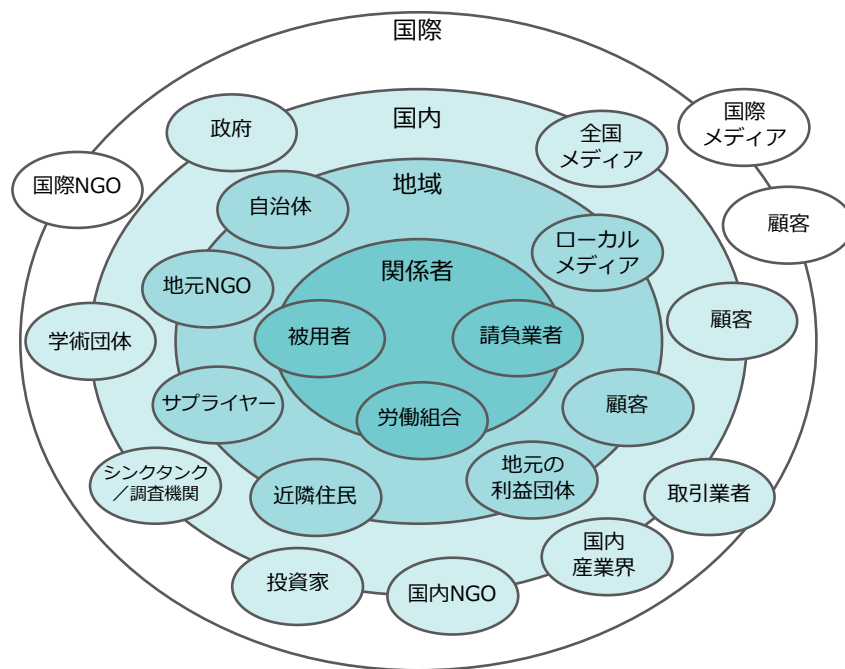
- 製造業からのCO2輸送のサプライチェーンモデルの社会実装に向けた計画の立案と提言を行う

*については、以下で説明する

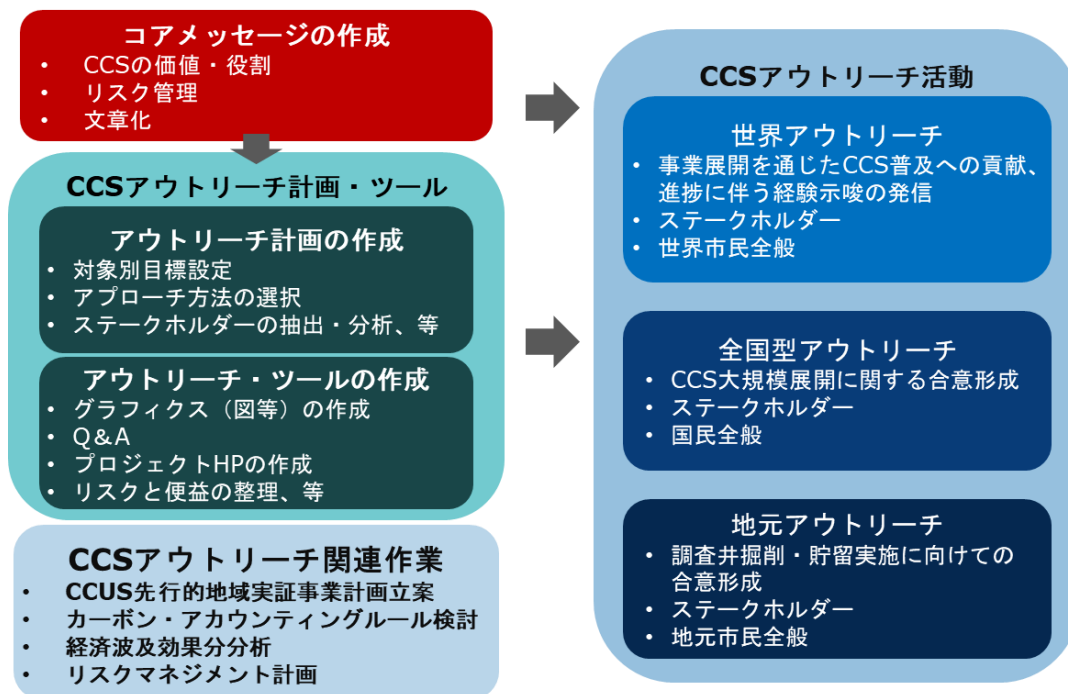
CCUSの円滑な導入手法の検討—ステークホルダとの合意形成

■ 説得型の合意獲得からアウトリーチ/対話を基本とする合意形成を目指す

- コアメッセージを基として、内容に一貫性を持たせ、
 - 個別対応が必要なステークホルダの特性分析を実施し、
 - 必要に応じて対象別のメッセージを追加
- 活動に必要なツールの作成



アウトリーチの対象となるステークホルダの構成
出典：Wade and Greenberg (2011)より



アウトリーチ計画の作成

ステークホルダとの合意形成支援及び知識共有

これまでの成果例（貯留サイトにおける合意形成計画）

- 環境省・経産省が連携して進めて来ている「貯留適地調査事業（2014-23）」の中でCO2貯留候補地のひとつとして上げられている地域をケーススタディ対象として選び合意形成プログラムを検討した。具体的には下記の通り：
 - プロジェクト関係者間での合意形成プログラムの基本的あり方の共通認識の醸成
 - ステークホルダの特性分析
 - 貯留サイトを対象とした合意形成活動計画案の立案
 - CCS事業（実証・商用規模）の円滑な導入を目指した広報素材（説明資料）の作成（下記）

事業説明資料の構成例

1. 目的・意義
2. 事業概要
3. 5カ年におけるスケジュール
4. 実施体制
5. 本事業での最終目標
6. CCS実証事業および大規模商用化の地元メリット・デメリット
7. よくある質問

+ 事業詳細説明資料

事業と背景に関するQ&A

- CCS全般に係わる事項や、回収、輸送、貯留の各段階に係わる事項まで、質問を受けそうな事項についてあらかじめ質問と回答（Q&A）を用意。
- 事業関係者が一貫して同じような回答が出来るようにすることにより、事業への信頼性の醸成に貢献する。
- 第一段階で42質問と回答を用意。
- 適宜、追加、内容を改善を図る。

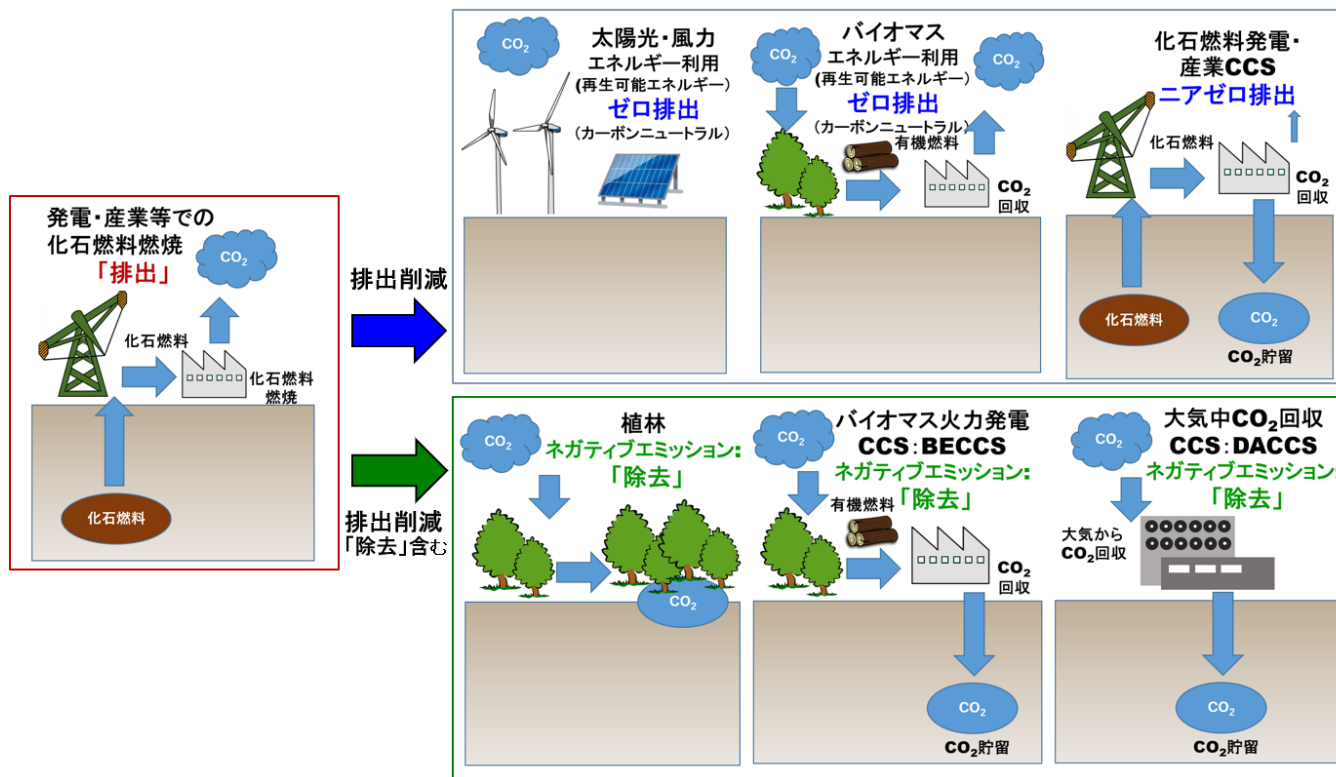


以下に例を示す

ステークホルダとの合意形成支援及び知識共有

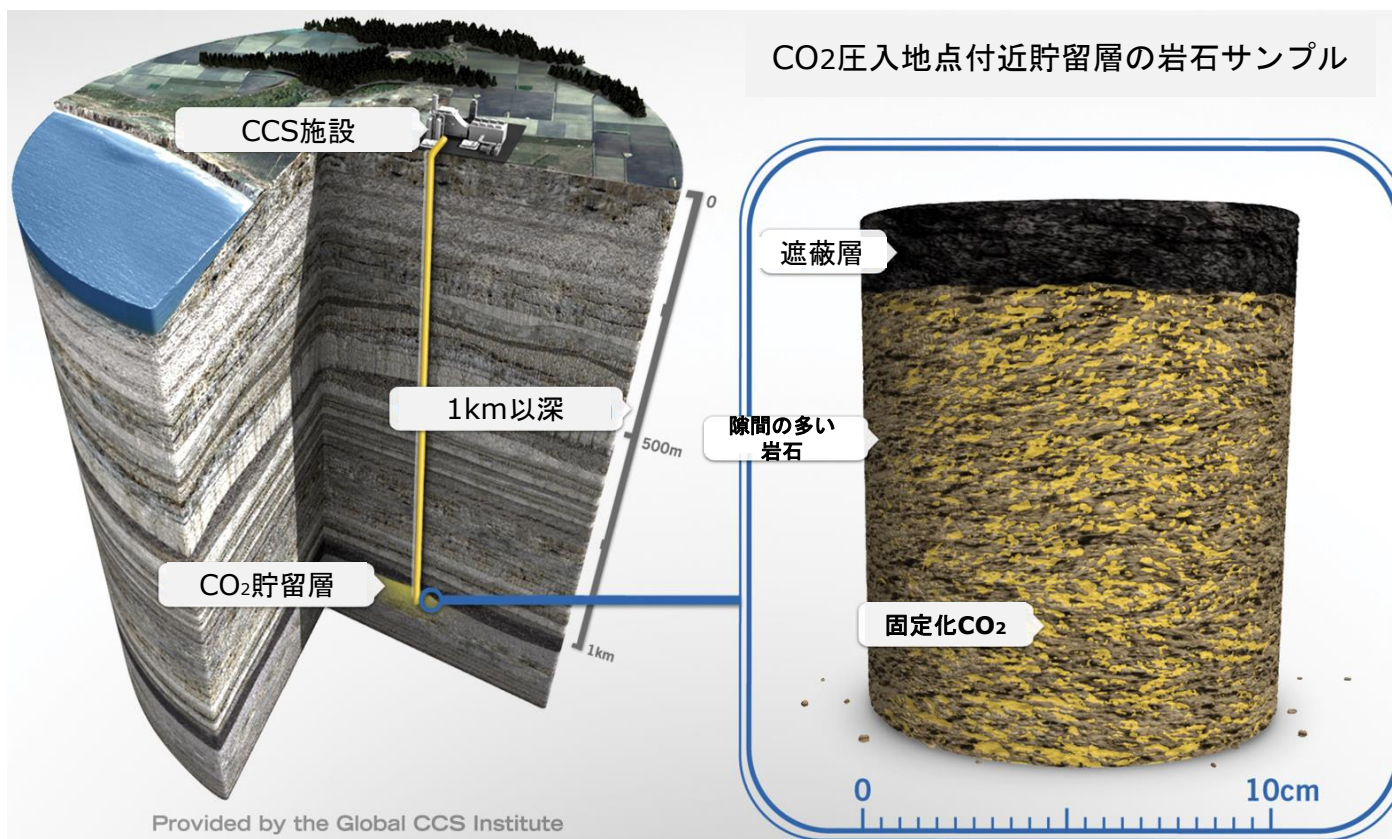
Q&Aの例 (1/2)

- 質問：CCSは必要なのか？
- 回答：世界は省エネルギーや太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーの普及を進め、CO2排出ゼロの「脱炭素社会」へと向かっています。しかし、CO2の排出源となる化石燃料の使用を今すぐ止めることは困難です。また、CCS以外のCO2排出削減対策が困難な産業分野もあります。CCSは、現在使われている発電所や工場を大きく変えることなくCO2排出削減を実現します。また、大気中のCO2を直接捕集・吸収する技術と組み合わせることでCO2除去（ネガティブ・エミッション）を可能とする温暖化対策でもあります。将来の「脱炭素社会」をできるだけ早く実現するために、いま必要とされる対策と考えられています。



Q&Aの例 (2/2)

- 質問：地中に入れたCO₂は最後にはどうなるの？
- 回答：貯留層の中で長い年月を経過したCO₂は、地層の隙間に安定して留まり、一部は徐々に地層を満たす塩水に溶解したり、塩水中の成分や周辺の岩石と反応して安定な鉱物を形成するなど、様々な仕組みで貯留層に固定され、動くことができなくなると考えられています。



出所: Global CCS Institute (日本語訳)

CCS一貫事業の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？

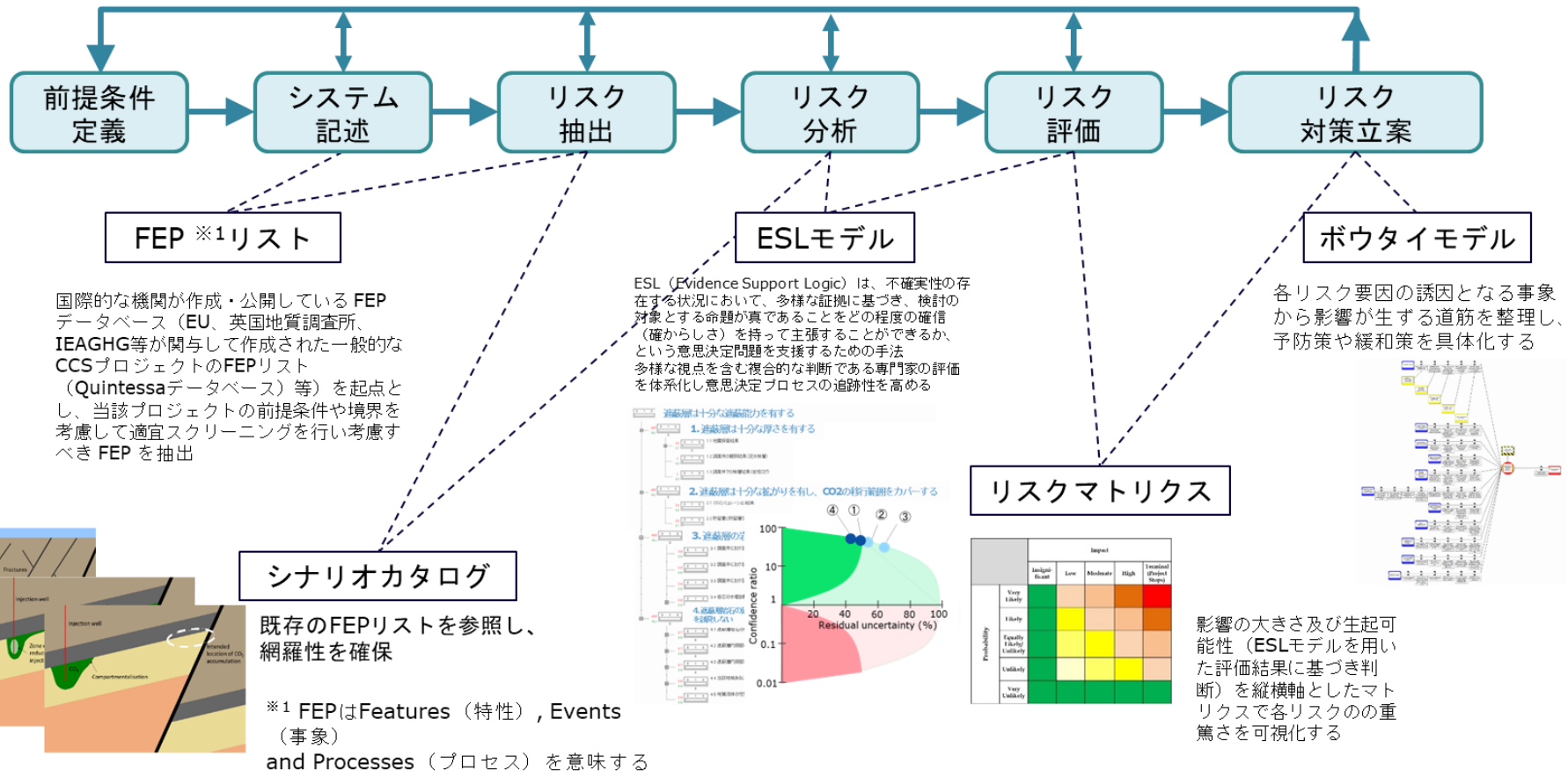
- リスクマネジメントは、計画やプロジェクトにおいて予測されるまたは予測されない問題や障害（リスク）を特定し、その影響を最小限に抑えるための戦略的なアプローチ

■ 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。

- ① 安全確保 ⇒ 次ページに①～⑥の例を示す
 - 作業員や環境の安全を最優先にする手段が提供される。
- ② 環境保護
 - 貯留層からの漏れや環境汚染を最小限に抑えるための対策の検討に資する。
- ③ 法規制遵守：
 - 適切な手順や監視を確立することで、法的リスクを最小化できる。
- ④ 投資保護
 - プロジェクトの信頼性を高め、資金調達を円滑化できる可能性がある。
- ⑤ 社会的受容性
 - リスクに関する透明性が高まり、地域社会やステークホルダーとのコミュニケーションの改善に資する。
- ⑥ プロジェクトの持続可能性
 - リスクを適切に管理し、予期せぬ問題への対処策を用意することで、プロジェクトの長期的な成功に寄与する。

CCS一貫事業のリスクマネジメント 採用した方法論

- 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。



CCS一貫事業のリスクマネジメント

これまでの成果と今後の計画

- 汎用的なCCSのリスクマネジメント計画の立案の第一歩として、環境省・経産省が連携して進めて来ている「貯留適地調査事業（2014-23）」の中でCO2貯留候補地のひとつとして上げられている地域をケーススタディ対象として選び、圧入位置選定に資するリスクの評価を実施。
 - 既存のFEP（Features, Events and Processes）シナリオを参照して代表的なリスクを洗い出し、予備的なDecision treeを作成し、万が一発生した場合の影響が大きい4つの着目すべきリスクとして、**①断層漏洩のリスク、②遮蔽層中の挟在砂層を介した漏洩のリスク、③レガシーウェルを介した漏洩リスク、④地震を誘発するリスク**の4つのリスクを選定した。
 - これらについて決定木（Decision Tree）を作成し、ESLモデルによる評価を行った（**参考資料**）。
- CO2回収から貯留までの一貫事業を対象としたリスクマネジメント計画の策定に向けて、本事業の輸送・貯留担当グループにおける検討を参照し、CO2チェーンを構成するコンポーネント間のインターフェイスを明確化。
- 今後の計画：
 - 沖合洋上圧入技術を用いたCCSシステムの特にプロセスインターフェイス部分に着目したリスク一覧表の作成
 - 貯留時のリスク予防策、影響緩和策等の素案作成
 - 令和4年度までの成果に基づき、地震を誘発するリスクに対する専門家の見解をとりまとめ、コミュニケーション（アウトリーチ）計画への反映方法について検討する。

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

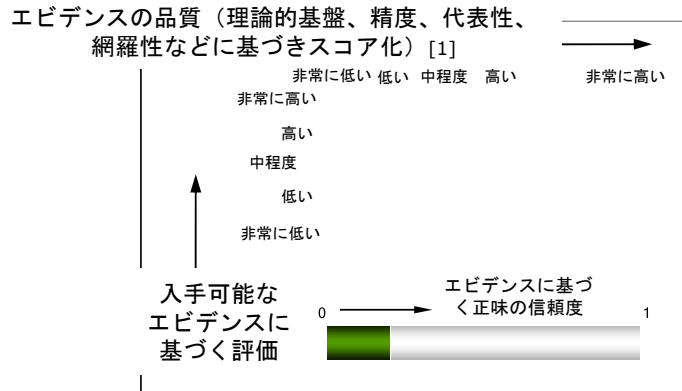
- 貯留候補地点に関する入手可能な情報（既存の調査データ、シミュレーション結果など）に基づき、海外のCCSプロジェクト（Quest, Peterhead, White Roseなど）におけるExpert elicitationのガイドラインを適用しつつ、貯留グループ内の専門家ヒアリングによって各エビデンスに基づく命題（ESLモデルの最下層の命題）の評価を実施した。
- エビデンスの重みについては上記の海外事例を参考に設定した。

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）

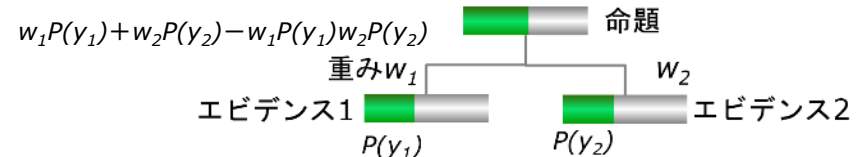
Yes: あるエビデンスに基づき命題を肯定できる確率
 保留: 情報が不足している場合等の理由でどちらとも言えない確率
 No: あるエビデンスに基づき命題を否定できる確率

エビデンスに基づく区間確率設定の考え方

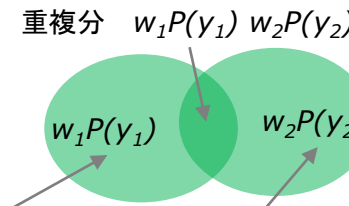


[1] Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R. Uncertainty and Quality in Science for Policy, 1990.

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



左図は二つのエビデンスが独立な場合であり、従属性 ($0 \leq D_{12} \leq 1$) がある場合には、下式で補正

ただし、

$$\rho_{12} = \frac{(1 - D_{12})(w_1 P(y_1) w_2 P(y_2))}{\text{Min}(w_1 P(y_1), w_2 P(y_2))} + D_{12}$$

エビデンス1の重みを考慮した命題を肯定する確率

エビデンス2の重みを考慮した命題を肯定する確率

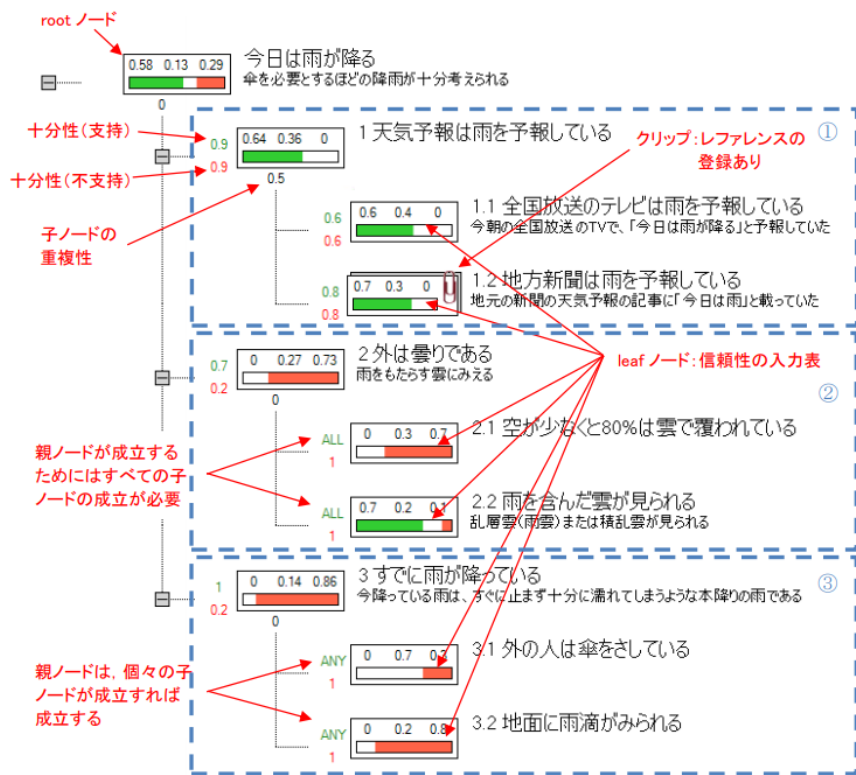
- ・ 一つの命題に対する複数のエビデンスそれぞれの判断結果（区間確率）をEvidence theory（上図）に基づき合算する
- ・ 個々には間接的あるいは断片的な独立した証拠が同時に当該命題の真偽いずれかを示唆している場合に全体としてどの程度の信頼性を持って判断可能か（Multiple lines of reasoning）を示す指標

CCS一貫事業のリスクマネジメント

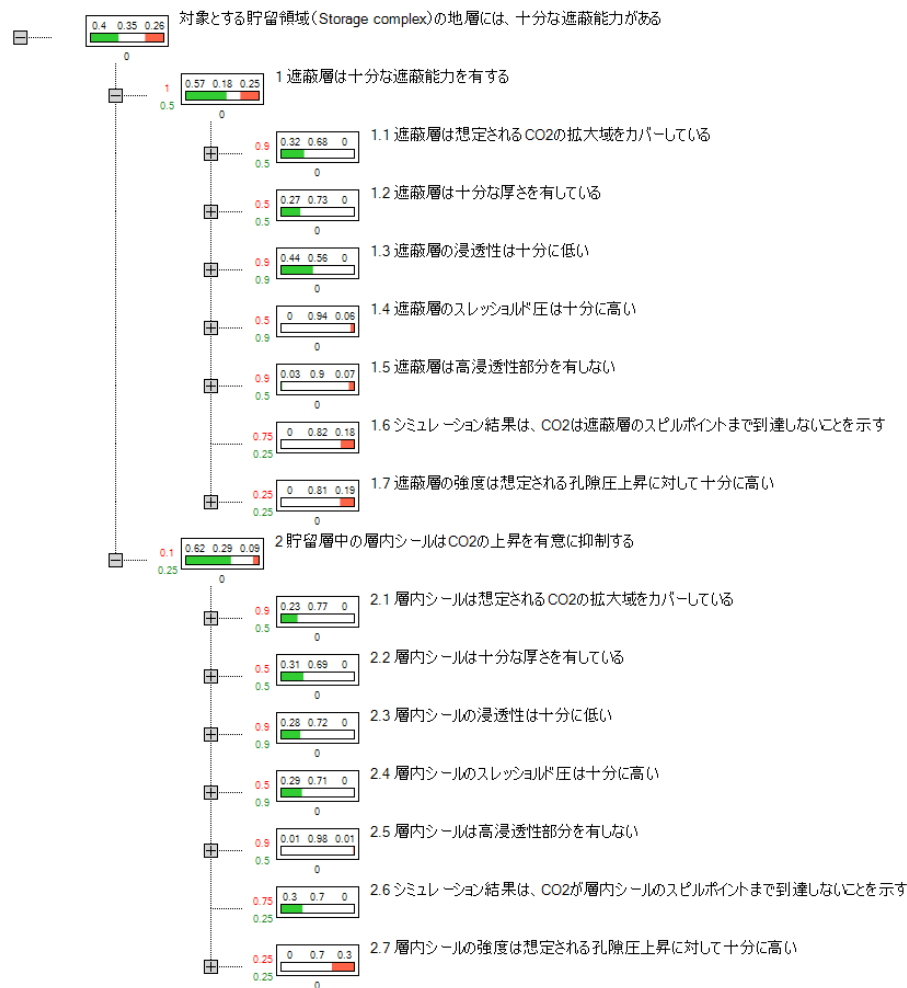
(参考) ESL (Evidence Support Logic) による評価事例

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



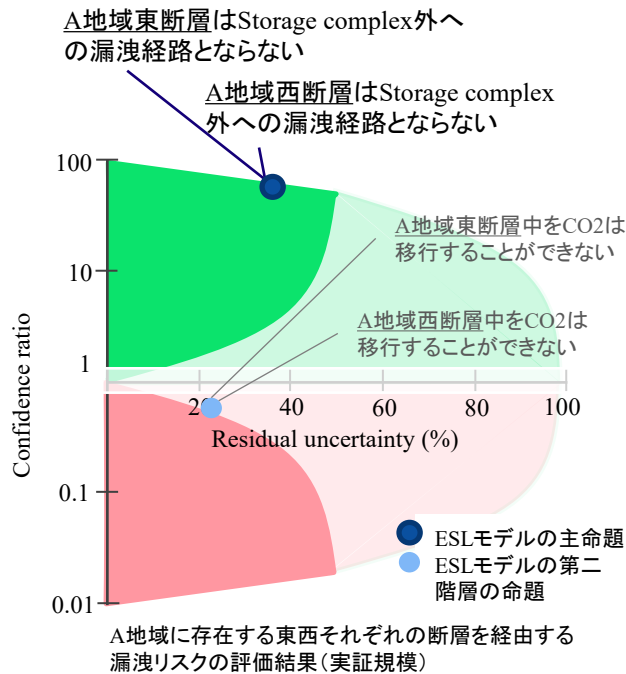
本サブタスクにおける貯留層の遮蔽能力に関する漏洩リスクの決定木の例 (一部省略)



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