

CO₂貯留研究グループ

グループメンバー(2025年4月)

グループリーダー・主席研究員	薛 自求	主任研究員	今村 哲己
サブリーダー・主席研究員	梅田 信雄	主任	中西 公美子
主席研究員	横井 悟	主任	西出 朱美
主席研究員(兼)	野村 真	研究員	三善 孝之
副主席研究員	高須 伸夫	研究員	永田 丈也
副主席研究員	中島 崇裕	研究員	Amer, Rasha
副主席研究員	名井 健	研究員	曹 金栄
副主席研究員	橋本 励	研究員	穂積 章一郎
主任研究員	三戸 彩絵子	研究員	宮坂 啓
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	小谷 雅文
主任研究員	朴 赫	研究員	大内 航
主任研究員	内本 圭亮	研究助手	平井 順子
主任研究員	小牧 博信	研究助手	氷見 悠子
主任研究員	指宿 敦志	研究助手	奥道 恵美
主任研究員	渡辺 雄二	研究助手	佐々木 恵
主任研究員	高野 修	研究助手	日高 奈江
主任研究員	末国 次朗	研究助手	村井 麻斗
主任研究員	山下 裕士	研究助手	中村 あす香
主任研究員	麻島 健	研究助手	奥田 まり

CO₂地中貯留の実用化へ向けた技術実証、事業化支援と国際連携

1. はじめに

2023年7月に閣議決定された「GX推進戦略」において政府は、2030年までのCCS事業開始に向けた事業環境を整備するため、模範となる先進性のあるプロジェクトを支援していく方針を示した。これを受け経済産業省および(独)エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)は、横展開可能なビジネスモデルを確立するために模範となるプロジェクトを、CO₂の分離・回収から輸送、貯留までのバリューチェーン全体を一体的に支援する「先進的CCS事業」として支援している。現在、国内外の貯留サイトを利用する合計9つのプロジェクトが進行中である。

RITEはこれらCCS事業での活用を念頭に実用的なCO₂地中貯留技術の開発を推進している。二酸化炭素地中貯留技術研究組合を組織してCCS事業者となる民間企業等と連携し、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業として、CCS事業の安全性向上やコスト削減に寄与する技術を幅広く扱っている。

主要なテーマとして光ファイバーによるマルチセンシ

ングの国内外サイトにおける技術実証、CO₂貯留サイト周辺の断層安全性・健全性の評価手法の開発、CCS事業のバリューチェーンや事業モデルといった基本計画の検討に有用となる「CO₂排出源データベース」や「CCS事業コスト試算ツール」の構築などに取り組んでいる。また上記のほか、CCUS分野の国際機関との連携およびそれを通じた政策や技術の国際的な動向調査をNEDO委託事業として実施している。こうした活動の成果を以下に紹介する。

2. 主な研究課題と成果

2.1. 光ファイバーを用いたマルチセンシング技術の開発と技術実証現場試験

CO₂地中貯留を安全に進めるためには、圧入されたCO₂が貯留層内に留まっていること、および圧入に伴う間隙圧上昇により遮蔽層や坑井に影響を及ぼしていないこと等をモニタリングによって確認することが必要である。このためのモニタリングシステムには、長期に安定して稼働すること、十分な感度があること、およびコスト面で優れていることが求められる。これらの要件に適合

した技術として、光ファイバー計測が有望である。RITEでは、室内試験および現場試験を通じて同技術の研究開発を進め、国内外のサイトにおいて長期実証試験を実施中である。以下では、光ファイバーによるマルチセンシング技術の原理を説明するとともに、国内外サイトでの実証試験事例を紹介する。

2.1.1. 分布型光ファイバーマルチセンシングの原理

分布型光ファイバー計測は、ファイバー全体を受信部として利用できるため、空間的に連続した記録を取得できる技術として、様々な分野で利用が進められている。測定原理の概要を図1上に示す。ファイバーの一端から光パルスを送信すると、ファイバー内の様々な地点からの散乱光が帰ってくる。その入力光パルス発信/散乱光解析を計測器で行うことにより、温度やひずみといった物理量に変換するだけでなく、散乱光の到達時間により反射点位置が特定できるようになっている。また、この散乱光の波長により、散乱の特徴と測定対象が異なる（図1下）。ラマン散乱光は温度計測（DTS: Distributed Temperature Sensing）に、ブリルアン散乱光は温度とひずみ計測（DSS: Distributed Strain Sensing）に用いられる。レイリー散乱光は音響計測（DAS: Distributed Acoustic Sensing）で広く利用されているが、高精度の温度・ひずみ計測にも活用されている。これらの散乱光は別々に計測する必要があるが、複数の光ファイバーを束ねた一本のケーブルを設置することで、温度・ひずみ・音響を光ケーブルに沿って一度に捉えることが可能なマルチセンサーとして利用することができる。また、光ファイバー自体には電気機・機械的な装置はないため、地下深部の過酷な環境下でも利用でき、また、電源が不要、経年劣化がほとんどない、電磁波の影響を受けない等、温度計や圧力計をはじめとする在来型監視装置に対し多くの優位性があり、地中貯留モニタリングのコスト低減への寄与が期待される。

温度計測（DTS）、ひずみ計測（DSS）、音響計測（DAS）の適用方法を以降に説明するが、簡単にまとめると表1のとおり地中貯留の様々なシーンで活用可能で

ある。

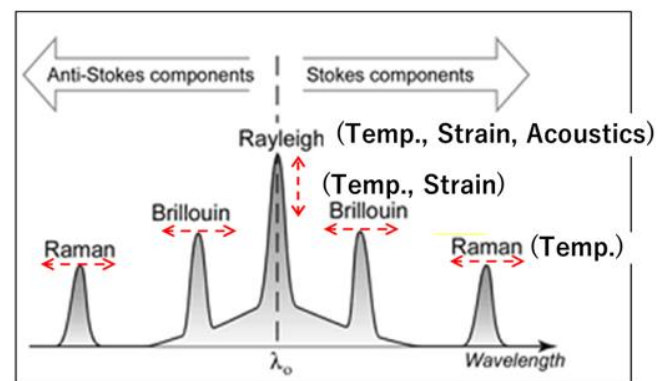
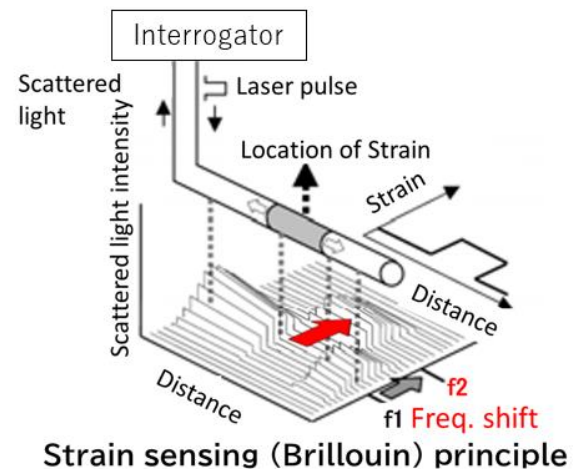


図1 光ファイバー計測の原理

表1 光ファイバセンシングの適用例

計測要素	モニタリング内容(例)
温度(DTS)	・貯留層へのCO ₂ 圧入区間の把握 ・坑井セメンチングの施工良否 ・パイプライン、圧入井からのCO ₂ 漏洩
ひずみ(DSS)	・貯留層へのCO ₂ 侵入の様相 ・貯留層からのCO ₂ 漏洩 ・CO ₂ 圧入時の遮蔽層の地層変形
音響(DAS)	・貯留層におけるCO ₂ 分布範囲

2.1.2. 国内試験サイト

千葉県茂原地区にある試験サイトでは、光ファイバー計測によるCO₂地中モニタリングシステムの技術開発を目的とした現場実証試験を行っている。これまで、ひずみ計測（DSS）の感度が高く、坑井背面に設置可能な光ファイバーの開発を行うとともに、深部坑井への光ケーブルの設置技術の向上、設置器具の改良、施工方法の改善を進めた。当該サイトでの現場試験を通じて、掘削時に坑壁が保たれた状態であれば、深度900m超の坑井

であっても、敷設工事の作業性を損なうことなくケーシング背面に光ケーブルを設置できることを確認した(図2)。また、設置された光ファイバーを用いて、セメント敷設時の坑井健全性評価技術の開発を進めている。同技術は、貯留層と地表を繋ぐ人工物である坑井に沿った流体移動に強い影響を与える、セメンチングの良否を評価するものである。本評価手法によりセメンチング時に不良個所が確認できれば、圧入開始前に坑井を修復するなどの方策が可能になると期待される。

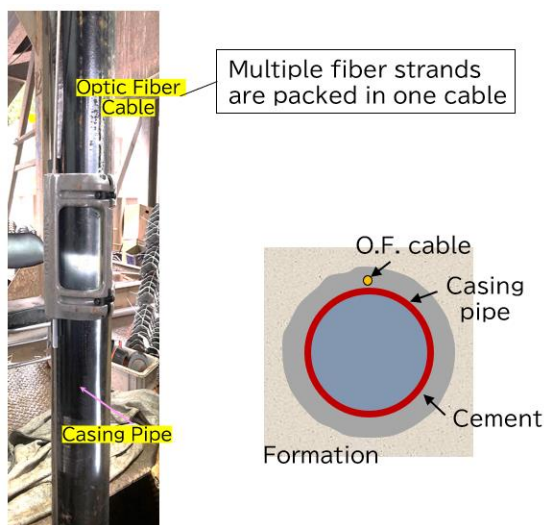


図2 光ファイバーの坑井への設置

当該サイトにおいては、レイリー散乱光によるひずみ計測(DSS)も実施した(図3)。この結果では、近傍坑井での流体圧入に伴う数十 $\mu\epsilon$ のひずみが計測できている。さらに、地層の違いや、流体圧入イベントに対応したひずみが明瞭に確認できている。この結果は、流体圧入に伴う地層変形を原位置で時間・空間的に連続的に取得した事例であり、CO₂圧入と地盤変形を考えるうえで、貴重な計測手段であることを示している。

現在当該サイトでは、900m坑井に設置した光ファイバーを用いて、長期連続ひずみ計測(DSS)を実施中である。この計測結果では、サイト周辺の地下水の揚水・還元作業に起因するひずみが計測されており、周囲の水理特性評価に利用されるだけでなく、将来の国内での地中貯留において必須となる複数坑井を効果的に配置するための評価技術につながるものと期待される。

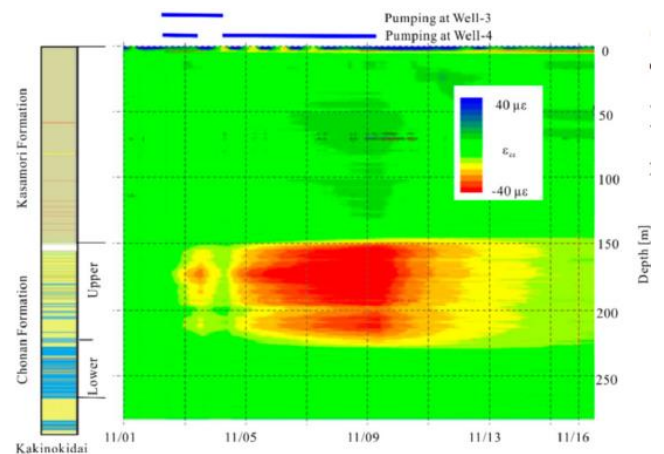


図3 茂原サイトでのDSS計測例

2.1.3. 米国ノースダコタ州CCSサイト

米国ノースダコタ州CCSプロジェクトは、Red Trail Energy社によりエタノール生成過程に回収される年間約18万トンのCO₂を、深部約2,000mの塩水帯水層に貯留を行っている商用プロジェクトである。2022年6月から圧入を開始し、2025年3月末時点で約43万トンのCO₂が貯留されている。また、このサイトの圧入井・観測井は、米国のClass VIの認可が下りた坑井であり、米国の規制当局下でのモニタリングを実施する実証試験となっている。

同プロジェクトでは、坑井とCO₂パイプライン沿いに光ファイバーを設置し(図4)、マルチセンシング技術の実証のため、音響(DAS)、温度(DTS)、ひずみ(DSS)の同時測定を継続中である。この計測を続けることにより、国内CCS事業に資するモニタリングシステムの運用における課題や対策等の知見を収集している。以下では、音響計測(DAS)と温度計測(DTS)の観測事例を紹介する。

坑井設置ファイバーを用いた音響計測(DAS)によって、地下のCO₂の広がりを把握することが期待される。特に坑井近傍のCO₂を精度よくモニタリングすることに適しているVSP(Vertical Seismic Profiling)は、様々な貯留サイトにおいても利用されている技術である。ノースダコタサイトでは、弾性波発振源についても新しい技術を採用している。

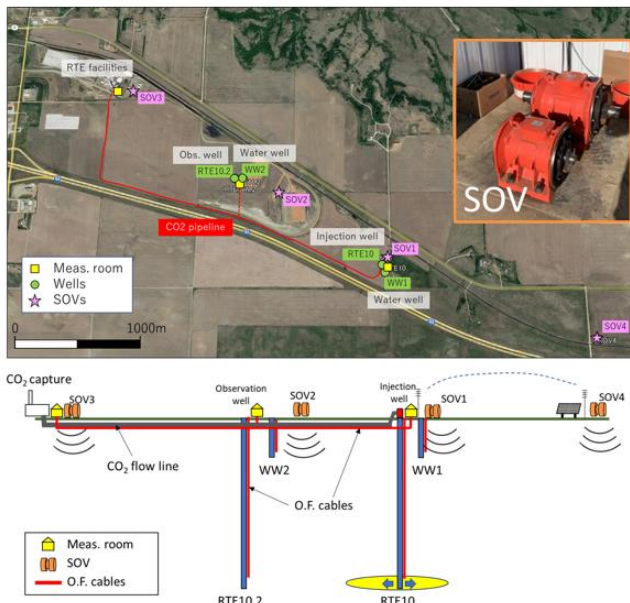


図4 ノースダコタサイトでの光ファイバーモニタリングシステム概要と弾性波発震装置の設置地点

通常行われる繰り返しの弾性波探査は、コスト面を考慮して、1～数年ごとに実施される。この観測間隔のギャップを埋めるため、頻回なデータ取得が可能な、常設型の発振装置(Surface Orbital Vibrators:SOVs)を導入した。SOVsは偏心おもりを回転させることにより地層中に振動を伝える装置である。SOVsのコントロールシステムは、遠隔操作およびプログラミングによる定時発振が可能となっているため、発振のための現場オペレータが不要である。また、音響計測(DAS)で取得するデータもオンサイトPCによる自動処理が可能となっており、サイトとのデータ転送量も軽減されている。ノースダコタCCSサイトでは、圧入開始直後から徐々にCO₂が広がっていく様子をモニタリング可能なように、圧入井からの距離が異なる4地点にSOVsを設置し、数日毎に発振作業を行っている。

図5は、ある日時において圧入井近傍に設置したSOVから発振された弾性波を、圧入井に設置された光ファイバーで取得した音響計測(DAS)記録と、そのデータ処理結果である。図5aでは、SOVから発振された信号を深度毎の受振点で観測した直達波と、地層境界面において反射して上方に伝播する波(反射波)が捉えら

れていることを示している。VSP解析では、この受振波のうち反射波のみを抽出し(図5b)、同一深度面に変換することにより(図5c)、ほぼ水平な反射面が得られる。さらに複数のトレースを足し合わせることで、坑井近傍の反射面のイメージを明瞭にさせている(図5d)。同様な処理を複数の日時において行い比較することで、圧入量とともに変化するCO₂分布の変遷をモニタリングすることが可能となる。予察的な解析では、CO₂の範囲が広がるとともに、CO₂が入った地層の弾性波速度が遅くなる傾向が確認されている。今後、他のSOVsでのモニタリング結果や圧入履歴との比較を行うことにより、CO₂の広がりをイメージングすることが期待される。

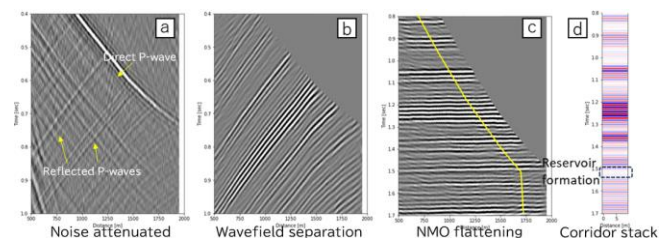


図5 DAS/VSP記録とデータ処理例

次に、ノースダコタサイトで取得した温度計測(DTS)記録の例を示す。図6は、システムメンテナンスに伴う圧入停止期間前後の、圧入井における温度計測(DTS)記録の時間・深度表示と、ある時間断面の深度プロファイルを示す。圧入前(ベースライン:図6左青線)は、地温勾配を示しているのに対し、圧入中は地温より低温のCO₂により圧入井が冷却されていることを示している。さらに、圧入停止期間中には、CO₂の供給が停止したことにより、圧入井の温度が周囲の地層温度に戻っていく過程を捉えている。この結果のように、温度計測(DTS)により圧入井全体の温度変動をリアルタイムにモニタリングすることが可能であることが示された。さらに、光ファイバーを併設した坑井やパイプライン沿いに、何らかの障害が発生した場合には、その地点の特定が即時に行えることが期待できる。

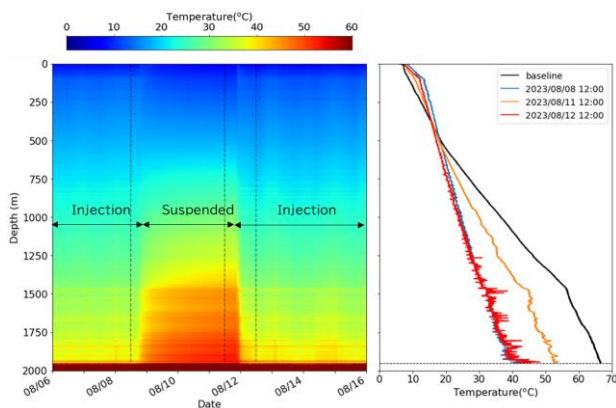


図6 DTSによる圧入モニタリング事例

2.1.4. 豪州サイト

豪州サイトにおいては、流体圧入に対する断層の安定性や断層帯からの漏洩等を評価する技術の開発のため、光ファイバーによるモニタリング技術の現場実証試験を進めている。断層や地層中の亀裂は、国内のCO₂貯留事業を進める際のリスクとして考慮すべき課題であり、光ファイバーのマルチセンシング技術は、これらをモニタリングする上で有効な手段と考えられる。そこで、光ファイバーによる断層等評価技術の確立のため、既知の断層が分布する試験サイトを有する豪州研究機関との共同研究を2021年度から立ち上げ、現場試験を行っている。

豪州ビクトリア州南西部のOtwayサイトでは、浅部断層からのCO₂漏洩検知試験を進め、同時に光ファイバーによるモニタリングを継続実施している。同サイトは豪州研究機関CO₂CRCによって管理された試験サイトで、地下約100m地点からの流体漏洩現場試験が実施された。RITEでは新規掘削した坑井に高性能のひずみ計測(DSS)用ファイバーを設置し、漏洩試験中の計測を行った。計測結果では、分布型計測によって初めて明らかになった特徴的なひずみの深度分布が得られ、地層の不均質性を示すデータを取得した。現在、試験結果解釈のための弾性波探査結果の精査を行っている。今後は小規模のCO₂圧入に対する漏洩検知性能評価試験を行う予定としている。

豪州西オーストラリア州南西部のPerth南部サイトでは、深部断層を対象とした断層安定性評価のための現場試験を進めている。同サイトは豪州研究機関である

CSIROとの研究協力により管理されている、既存の試験サイト(ISL: In-Situ Laboratory)で、深部数百mに大きな断層帯の存在が知られている(図7)。昨年度までに断層をイメージするための弾性波探査の実施、観測井の掘削・光ファイバーの設置、ひずみ計測(DSS)の継続測定を行った。今年度は断層安定性評価試験を目的とする流体圧入に用いる新規坑井を掘削し、地質性状評価を行った。今後は、この新規坑井からの流体圧入試験を行う予定である。

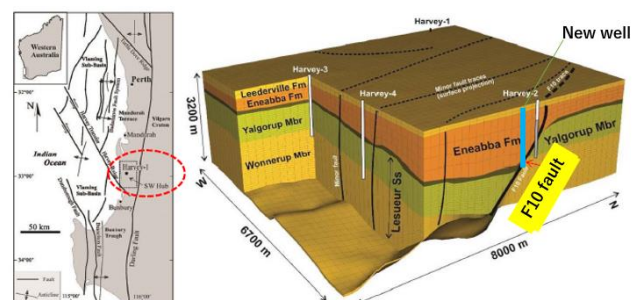


図7 Perth南部サイトにおける断層と新規坑井位置

2.2. CCS事業計画策定支援

「CCS事業法」が2024年5月に公布され、また、先進的CCS支援事業の活動が拡充するなどCCSの事業環境の整備やCCSの事業展開が順調に進みつつある。

RITEにおいても、CCSの大規模事業の展開を支援するための研究開発を進めている。具体的には、CCS事業モデル設定に役立つCO₂排出源データベースの開発、CCSの経済性評価に必要なCCSコスト試算ツールの開発である。以下、それぞれの研究開発の内容を報告するとともに、それらを組み合わせた、CCSの事業計画策定支援例を紹介する。

2.2.1. CO₂排出源データベースの開発

CCSの事業化には、CO₂排出源と貯留サイトの適切なマッチングが重要となる。そこで、RITEでは、このマッチング支援を目的としたCO₂排出源データベース(以下、排出源DB)の開発に取り組んでいる。

以下、そのデータ構造、機能概要、今後の展開について紹介する。

①排出源DBのデータ構造

環境省の「温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度」に基づく公開データ(以下、温対法データ)には、1万件を超えるCO₂排出源情報が登録されている。排出源DBでは、その情報をベースとしつつ、CCSによる脱炭素化の特徴に合うよう以下a)、b)、c)の対応を行っている。

a) 直接CO₂排出量の試算、DB化

温対法データにおける各事業所のCO₂排出量には、他者から供給される電力・熱に相当するCO₂が内数として含まれている。CCSは、当該事業所で実際に排出される直接CO₂排出分を回収・貯留するものであり、電力、熱相当分のCO₂排出量を除外する必要がある。そこで、事業種別に「直接排出係数」を一定の統計処理で求め、温対法上のCO₂排出量に乘じ、各事業所からの直接CO₂排出量を算出し、DB化している。

b) バイオマス燃料CO₂排出源情報の組み込み

温対法データは、化石燃料からのCO₂排出を対象としており、バイオマス燃料からのCO₂排出は、カーボンニュートラルのため対象外となっている。一方、バイオマス発電所もCO₂を排出しており、それを回収・貯留することで、BECCS化、ネガティブエミッション化が図れるなど、脱炭素化促進に重要な要素となる。そこで、資源エネルギー庁電力調査統計等の情報を参考に、バイオマス燃料からのCO₂排出源情報も調査し、CO₂排出量の試算と排出源DBへの組み込みを図っている。

c) 貯留ポテンシャル情報の反映

RITEが実施した「全国貯留層賦存量調査」の貯留ポテンシャルのマッピング情報も排出源DBに反映している。

②情報マッピング、スクリーニング機能の実現

a) 排出源と貯留層候補のマッピング機能

CO₂排出源と貯留層の適切なマッチングを図るため、その位置関係を視覚的に捉えることが重要である。そこで、①で示したデータをマッピングする機能を実現した。図8はその一例であり、排出源は太平洋側に集中し、貯留サイトは日本側に多いなど、その特徴を容易に捉えることが可能になる。

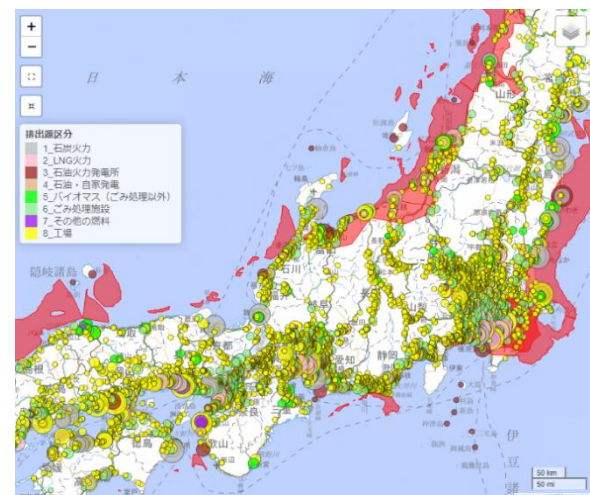


図8 CO₂排出源と貯留ポテンシャルの統合表示例

b) 情報スクリーニング機能

視覚化された地図は、自在に動かし、特定箇所をズームアップしたりすることが可能である。さらにある地域を四角で囲むことで、その地域のCO₂排出源情報を抽出することができるため、排出源のクラスタリング等に活用可能である。さらに、石炭火力発電所や工場など、排出事業者別に表示することもできる。例えば、バイオマス燃料のCO₂排出源に絞り込んだ表示をすれば、BECCS化によるCO₂排出量オフセット戦略の立案に貢献することなども可能となる。

なお、本データベースは、2024年11月より試用希望者に一般提供を行っている。興味のある方は、以下を参照願いたい。

<https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/business/theme/>

③CO₂排出源の将来展開の予測・表示を目指して

CCSの本格展開には長期にわたる取り組みが必要であり、その間、火力発電所や工場の構成も変化が見込まれる。そこで、CO₂排出源データベースに2025年～2050年までのCO₂排出源の変化を想定し、データベースに情報を組み込み、マップ上に排出源の時系列変化を表示する機能の開発に着手した。

現在、電力会社が公表している石炭火力発電所のカーボンニュートラル化計画などを参照して開発を進めているが、関係者の知見を得て、大規模工場などにも展開

したいと考えている。ぜひ、みなさまの協力をお願いしたい。

2.2.2. CCSコスト試算ツールの開発

CCSの事業化においては、排出源と貯留地の組合せ、その間を結ぶ輸送ルートと技術方式といった事業モデルを、経済性を考慮に入れて適切に設定することが不可欠である。これには、前記で紹介したCO₂排出源データベースとコスト試算ツールを統合的に活用することが効果的である。

以下に、RITEが開発を進めるコスト試算ツールの基本機能と構成、コスト試算の流れについて紹介する。

① 基本機能

CCSは、回収と輸送、貯留の各工程に分けられ、本ツールではそれぞれについてt-CO₂当たりのCAPEX、OPEXを求めることができる。図9に計算エンジンに搭載しているモジュールを示す。

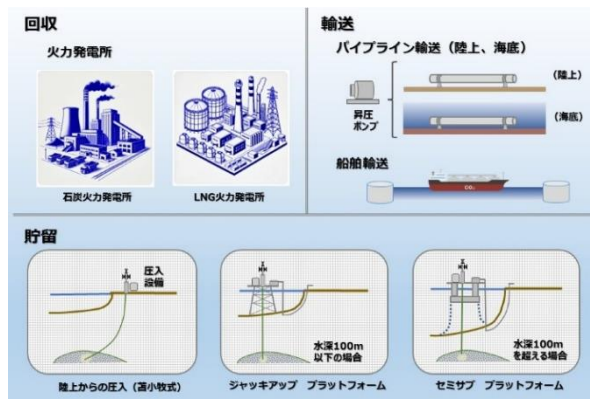


図9 計算エンジンに搭載しているモジュール

回収では、現在のところ、石炭火力発電所とLNG火力発電所の試算が可能である。今後、製鉄所やセメント工場などの産業分野の排出源にも対応する予定である。

輸送では、陸上と海底のパイプライン輸送および船舶輸送に対応している。船舶輸送では、輸送距離、航行速度、待機日数等の必要な諸元を入力すると、運航条件に合う船舶の隻数やサイズが自動で算出される。

貯留では、離岸距離と水深によって3通りの技術方式の中から自動選択される。離岸距離が3km以内では陸域から傾斜井で圧入する方式が選ばれ、3kmを超える

海域では、水深が100m未満のとき着床式が、それより深いと浮体式が選択される。

② ツールの機能構成

コスト試算ツールは入力インターフェイスのほか、3つの機能で構成されている(図10)。

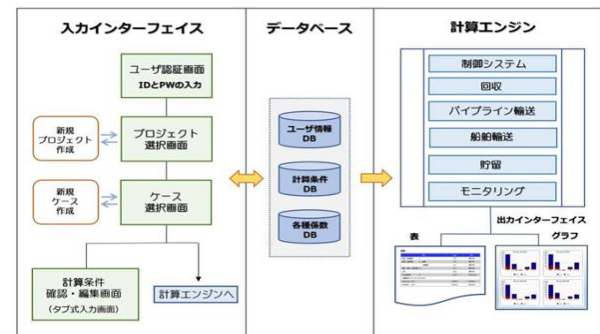


図10 コスト試算ツールの機能構成

入力インターフェイスは、計算諸元の入力ほか、ユーザがツールに対して指示を送るための機能である。

データベースは、認証情報や計算諸元、計算に利用する各種係数やテーブル類を保持している。

計算エンジンは、諸元に基づいてコストを計算するユニットである。回収、パイプライン輸送、船舶輸送、貯留、モニタリング等複数のモジュールが存在し、演算制御プログラムの統制によって順次実行される。また、計算結果の出力インターフェイス機能(表やグラフの表示)も計算エンジンに実装している。

③ コスト試算の流れ

a) 計算条件の設定と諸元の準備

排出源および貯留地の立地と輸送ルート・技術方式といった事業モデルを始めに設定する。次に事業年数、CO₂処理量、割引率、為替レート、輸送距離、輸送手段、貯留深度、圧入レート等の諸元を準備する。経営方針や経営戦略と密接に関連するものもあるため、事業企画者と解析技術者が協働して検討するのが望ましい。

b) ツールの利用

本ツールはWEBツールであり、インターネット環境が整った場所であれば、標準的なブラウザ（Edge、Chrome他）を利用して接続することができる。

諸元入力画面(図11)は、回収、輸送、貯留、モニタリング等のプロセス毎に用意され、タブによって画面を切り換える。全項目を入力したら保存してケース選択画面(図12)に戻り、計算の実行を指示する。

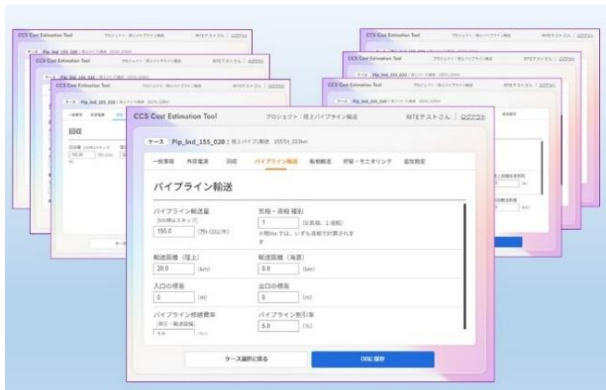


図11 諸元入力画面



図12 ケースの選択画面



図13 試算結果の出力画面(表)



図14 試算結果の出力画面(グラフ)

計算が終了すると、プロセス毎にコストが表形式で出力され、これに続いて計算諸元の一覧表が表示される(図13)。また、コストをグラフ表示する機能も設けている(図14)。グラフはプロセス毎にコストをCAPEXとOPEXに分類して表示し、また、複数ケースのコストを比較できるように同一画面上に表示させる仕様とした。

2.2.3. CCS事業計画策定支援例

CO₂排出源データベースとCCSコスト試算ツールの機能や活用例を紹介してきたが、以下ではこれらを組み合わせたCCS事業計画の策定例を紹介する。

①事業モデルの設定

CCS事業として「首都圏の2か所のLNG火力発電所を排出源に選定し、そこで回収したCO₂を日本海海域に貯留する。」という基本計画を仮定する。

その計画を具体化するために、CO₂排出源データベースを用いて、LNG火力発電所と回収したCO₂を輸送するための港湾を設定する。また、貯留地点に日本海海域を選定し、輸送距離(船舶およびパイプライン輸送)を求めた。

②経済性評価と事業計画検討

上記事業モデルの経済性を評価するため、まず図15のように諸元を設定してコスト試算ツールにより事業全体のコストを算定する。

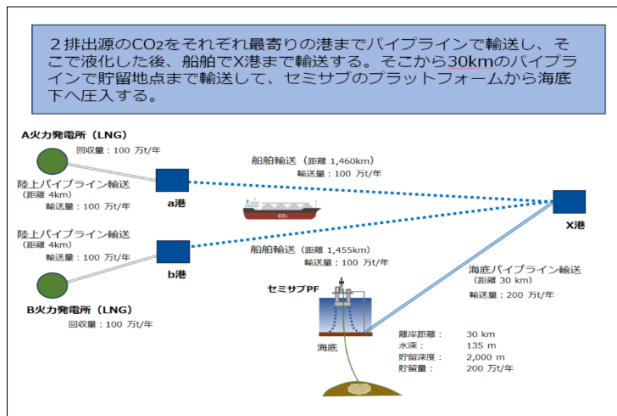


図15 コスト試算のための諸元設定

事業モデルの適切化のためには、これをベースケースとし、ケーススタディにより分析・評価する必要がある。

一例として、CO₂送出港湾a港、b港を1つに集約する場合、また、船舶輸送をパイプライン輸送に代えた場合のコストを試算した。その結果、港湾集約またはパイプライン輸送によりコスト低減が可能なことを定量的に示している(表2)。

表2 コスト試算のケーススタディ(例)

ケース	コスト(相対値)
ベース	100
港湾集約	95
パイプライン輸送	85

この事例ではごく簡単なケース設定としたが、多数の事業モデルをケース設定する場合にも、CO₂排出源データベースとCCSコスト試算ツールの連動で、経済性評価を迅速に行うことができる。効率的な事業計画策定を支援するツールとして有効である。

2.3. 国際動向

我が国がCCS長期ロードマップで掲げる2030年事業化の目標達成に向け、財政的インセンティブ確立、規模拡大を通じたコストダウン、我が国の技術の海外展開等、制度的、技術的な課題解決が取組まれている。

RITEはCCSの普及に関する議論への活用を目的とし、近年取組が活発化している関連する国際機関やCO₂の海底下貯留、越境輸送に関係するロンドン条約会合等の国際会議との連携、各会合での情報収集、我が国の取

組発信等をおこなっている。

また、ヒアリング、文献調査等によりCCSの支援制度、プロジェクト規模拡大等の国際動向を調査している。

ここでは、近年に支援制度の整備、プロジェクト等が活発になった欧州を中心に主要国の動向を紹介する。

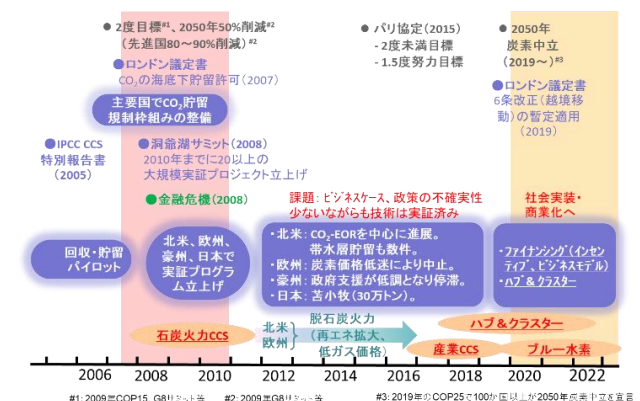


図16 世界の規制・インセンティブの変遷

2.3.1. 欧州のCCS導入の背景、政策の重点等

①気候変動対策

2009年G8サミット等での2050年50%削減(先進国80~90%削減)を受け、主要国で排出権取引制度やCO₂貯留の規制枠組みが整備され、実証プロジェクト等が立ち上がったが、欧州では炭素価格低迷や再エネ拡大等によりCCSプロジェクトが中止となったものがあつた。

一方、パリ協定を受け2019年のCOP25で100か国以上が2050年炭素中立を宣言する中、電化や水素化などではCO₂の排出が避けられない分野(セメント、鉄鋼、石油精製、航空輸送等)にとってCCS、CDR(CO₂除去)等は必須であるとの国際理解の進展に伴い、各国のカーボンマネジメント政策が強化された。

②産業分野のネットゼロ化、CO₂貯留能力の確保

欧州連合(EU)理事会は2024年にネットゼロ産業法を承認し、産業分野の排出量の削減のため、2030年までにEUで5千万t/年のCO₂貯留圧入能力の確保の目標をたてた。

③国際的なCO₂輸送インフラの必要性

EUは産業カーボンマネジメント戦略の中で、回収場所貯留、利用できないCO₂の輸送のため、また、EUの

単一炭素市場を創出するため、貯留能力に加え国際的なCO₂輸送インフラの必要性をあげた。

④支援制度の必要性

現状ではCCS等を導入しない場合のCO₂対策コストである排出権取引制度の炭素価格等が回収、輸送、貯留コストより小さく、一方導入コストを全て顧客に転嫁することも現状では難しいため、CCSの実施等のためには、公的支援が重要であると認識されている。

⑤ハブ&クラスターの推進

複数プロジェクトを束ね大規模化で費用削減、産業集積地域の重点的な脱炭素化を図る観点等から排出源、輸送貯留インフラのハブ&クラスターが重視されている。

2.3.2. 欧州各国の動向

①EU

国際的なCO₂輸送インフラの整備を推進するため、欧州横断のエネルギーインフラを支援するCEF-E (Connecting Europe Facility for Energy)基金が越境CO₂輸送事業等を支援している。また、産業分野のCO₂回収をEU-ETSの収入を原資とするEUイノベーション基金等が支援している。

排出権取引制度(EU-ETS)の改善も進められている。特定の産業に対して無償割当される排出権を2034年までに段階的に廃止するとしている。無償割当はカーボンリーケージ(規制の緩い他国への生産移転等)の防止を狙ったものであるが、他方で排出削減投資のインセンティブを損ねる課題があり、これに応じるものである。また、輸入品へのEUと同等の炭素価格設定(炭素国境調整メカニズム(CBAM))が導入されることになった。

②英国

英国はネットゼロへの移行とCCSによる雇用や経済成長を重視し、2030年までに2~3千万t/年の目標を掲げ、CCSを推進している。2030年までに稼働する4つのクラスターを選定し、その内2つへの約220億£の支援が2024年秋に首相、エネルギー安全保障ネットゼロ大臣、財務大臣から発表された。輸送・貯留のライセンスも事業者が付与され、2024年末に東海岸クラスターが投資決定した。

製造業、廃棄物処理、ブルー水素、発電、CDR(CO₂除去、BECCS(バイオマス燃焼からの回収・貯留)とDACCS(直接空気回収・貯留))の分野毎に導入目標がたてられ、また事業の予見性を高めるための支援制度が設計されている。既存の再生可能エネルギー支援制度と親和性の高い、価格差に着目した支援、具体的にはCCSコストとEU-ETS価格等のCO₂対策費用の価格差を支援する制度が用いられている。

③ノルウェー

ノルウェーは北海に石油ガス資源や塩水帯水層を豊富にもち、世界初の塩水帯水層貯留のCCSプロジェクト等に取り組んだ実績がある。

欧州の貯留ハブ化を見通し、製造業等向け国際的回収・輸送・貯留プロジェクト(Longship)を補助金や炭素税免除等の方法で支援している。そのうち輸送・貯留過程(Northern Lights)の施設が完成し、国内セメント工場等からのCO₂船舶輸送・貯留の開始が2025年に予定されるとともに、オランダ、デンマーク等からの輸入も予定している(初期容量は250万t/年)。CEF-E基金から約1億3千万ユーロを獲得し、スウェーデンからの輸入等も加えた追加投資を決定し、5百万t/年以上への拡張を予定している。

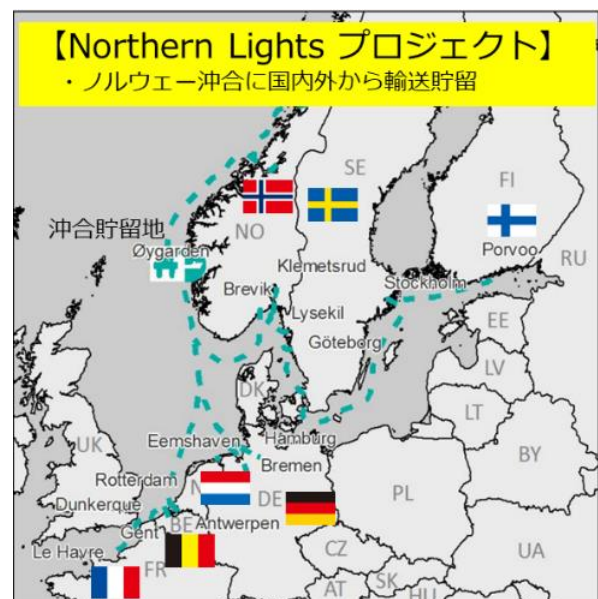


図17 Northern Lightsプロジェクト(越境輸送)

出典)Northern lights project. Project of Common Interest, European Union, https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.4.pdf

④オランダ

2019年の気候法で、2030年に49%のCO₂削減目標(2019年比)を定めている。沖合のCO₂貯留地を活用し、産業分野排出量の半分程度をCCSで対策する計画である。そのため、2020年から既設の再生可能エネルギー発電等の支援制度の範囲を拡げ、回収および輸送・貯留に係る価格差支援を開始した。

2020年にロッテルダム市の4つの回収プロジェクトが選定され、これらは、EU初の輸送・貯留ハブであるPorthosプロジェクトを利用する。

Porthosプロジェクト(250万t/年)は、2024年に着工し2026年稼働を目指している。陸上パイプラインは計画中の国際CO₂輸送・貯留プロジェクト(Aramis)との共有を想定し最終容量1千万t/年で建設され、EUのCEF-E基金から約1億ユーロを獲得している。

⑤デンマーク

2020年の気候法において、2030年までにGHG排出量を70%削減(1990年比)し、2050年までに炭素中立の実現を目標としている。

CCSに対しては、導入コストに対する価格差を支援し、第1回公募で、バイオマス発電所からノルウェーのNorthern LightプロジェクトにCO₂輸出するØrstedプロジェクトを選定した。また、GreensandプロジェクトはベルギーからCO₂を受入れ、2023年に世界初の船舶による越境輸送・圧入に成功した。

⑥ドイツ

GHG排出量を2030年までに65%削減(1990年比)し、2045年のカーボン中立を目指している。しかし、既存の法的枠組みではCO₂パイプライン輸送が認められていない等の課題が連邦政府の報告書で勧告されていた。そのため、カーボンマネジメント戦略の基本原則が閣議決定され、これに基づき炭素貯留法の改正案が2024年に国会提出された。

また、産業分野の気候変動対策の支援が2024年に開始されている。前記のとおり法例の整備が遅れたためCCSプロジェクトへの支援は、2025年以降に公募開始が予定されている。

2.3.3. 北米の動向

北米では20件以上のCCSプロジェクトが稼働し、世界をリードしている。

①米国

米国のCCSプロジェクトの進展は、1970年代から開始されたCO₂-EOR(原油増進回収)向けに整備されてきた4千マイルに及ぶCO₂パイプラインと多数のCO₂-EORサイトの存在によるところが大きい。

CO₂貯留量に対する投資税額控除を2008年に導入し数次に亘り支援規模を拡大してきた。回収費用が比較的小さいエタノールプラントでの事業化が増加している。また、セメント等回収費用が高い産業分野やCO₂輸送インフラへの補助金交付、低金利融資もおこなわれている。

②カナダ

カナダは化石資源大国であり、炭素税等のCO₂排出規制を導入する等、炭素中立に取り組んでいる。大規模CCSプロジェクトは、石油ガス生産が活発なアルバータ州、サスカチュワン州で行われている。

CCSに対する支援策は州ごとに異なり、アルバータ州等はCO₂クレジットを付与し、また、CCSハブ・プロジェクトを選定し、試掘費用の支援等を実施している。一方、連邦政府による投資税額控除が2024年に成立し、CCUSの全過程とDACを支援し、基金によるCCSプロジェクトへの出資も実施している。

2.3.4. 豪州の動向

豪州は、LNGや石炭の輸出量が多い資源大国であり、2050年炭素中立、2030年までに43%削減(2005年比)を目指しており、石油ガス事業を含む全ての分野において脱炭素を推進している。Safeguardメカニズムにより10万t-CO₂/年以上の大規模排出者は2050年の炭素中立に貢献する必要があるとして排出上限が設定され、2030年までの期間には上限値が毎年約5%ずつ削減される。これにより例えば、天然ガス生産時に随伴するCO₂の大気中への排出は難しくなりCCSの適用が不可避となっている。Gorgonプロジェクトは天然ガス生産に随伴するCO₂を陸域に貯留するもので、2019年に稼働、日本企業も参画している。

貯留ポテンシャルは海域(沖合)にもあり、10エリアの探査許可が2023年に公募され、今後、海域でのCO₂貯留が拡大していくとみられる。

また、LNG、水素、アンモニア生産や産業分野により排出されるCO₂を集積するCCSハブへの関心も高まっている。

連邦政府による支援は炭素クレジットの付与を通じて実施される。LNGプラントからのCO₂を陸域枯渇ガス田に貯留し、CCSハブとなるMoombaプロジェクト(2024年稼働)がこの支援を受けている。

豊富な貯留ポテンシャルをもつVictoria州は、連邦政府からの資金提供を受け州政府自らがCCSハブの構築を計画している(CarbonNetプロジェクト)。沖合貯留層にCO₂をパイプライン輸送するもので現在、FEED(基本設計)まで終了している。日本の政府機関やCCS関連企業も注目しており、同州政府とMOUを締結する等、協力体制を築いている。

連邦政府はCO₂輸出入に関する法整備も進めている。東ティモール領海内の枯渇ガス田を貯留サイトとするBayu-Undanプロジェクトは、豪州企業によるガス田開発と連動して計画され、CCSハブとして他国からのCO₂受入れも検討されている。

先に述べたMoombaプロジェクトでも日本企業からCO₂を受入れる調査検討がされるとともに、他のいくつかのCCSプロジェクトにも日本企業がパートナーとして参加している。