

CO₂貯留研究グループ

グループメンバー(2024年4月)

グループリーダー・主席研究員	薛 自求	主任研究員	麻島 健
サブリーダー・主席研究員	梅田 信雄	主任研究員	今村 哲己
主席研究員	横井 悟	主幹	淵上 聡子
主席研究員(兼)	野村 眞	主任	中西 公美子
副主席研究員	高須 伸夫	研究員	三善 孝之
副主席研究員	中島 崇裕	研究員	永田 丈也
副主席研究員	名井 健	研究員	Amer, Rasha
副主席研究員	橋本 励	研究員	曹 金栄
主任研究員	三戸 彩絵子	研究員	穂積 章一郎
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	宮坂 啓
主任研究員	高野 修	研究員	小谷 雅文
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	西出 朱美
主任研究員	渡辺 雄二	研究助手	奥道 恵美
主任研究員	張 毅	研究助手	佐々木 恵
主任研究員	朴 赫	研究助手	日高 奈江
主任研究員	末国 次朗	研究助手	大野 晶子
主任研究員	山下 裕士		

CO₂地中貯留の実用化へ向けた技術実証、情報発信と技術支援

1. はじめに

2023年3月に経済産業省によって公表された「CCS長期ロードマップ検討会」の最終取りまとめにおいて、CCSは我が国のエネルギーの安定供給とカーボンニュートラルの実現にとって不可欠な技術とされ、2030年までの事業開始に向けた事業環境を整備することとされている。この中で、事業化に向けての具体的なアクションが示され、「CCS事業への政府支援」の一環として、2023年6月に7つの「先進的CCS事業」が選定されている。また、2024年2月には「二酸化炭素の貯留事業に関する法律案」(CCS事業法)が閣議決定され、第213回通常国会に提出され、成立している。CCS事業法は、貯留事業・試掘に係る許可制度と貯留権・試掘権の創設や、貯留事業とCO₂導管輸送事業に関する事業規制・保安規制等、事業環境を整備するものである。

技術開発においては、具体的なコスト削減目標を掲げ、技術開発・実証を推進するとしている。RITEは、二酸化炭素地中貯留技術研究組合の一員として、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)の委託事業において、国内CCS事業に適用することを

念頭に置いた技術開発を推進している。光ファイバーセンシング技術を活用した地層やパイプラインのモニタリングによる安全確保とコスト低減、CCSの事業化を支援する技術の開発、また、CCS事業者にとって手引きとなる技術資料の整備をおこなっている。

モニタリング技術の開発では、米国の商用CCSプロジェクトサイトをはじめ国内外サイトにおいて実証試験をおこなっている。光ファイバーを利用して温度、ひずみ、音響を計測し、CO₂パイプラインや坑井など地中貯留に関わる設備の健全性と地層の安定性を監視する手法の技術実証をおこなっている。

また、CCSの事業化までの各種業務を支援する技術として、立地地域等とのコミュニケーション手法の開発、事業計画の構想において不可欠となる排出源立地情報の整備、事業性評価のためのコスト試算ツールの開発等に取り組んでいる。

さらに、CCS事業の計画から操業、閉鎖後に至るまで各段階の業務に対するナレッジを国内外事例から整理、編集した技術事例集を作成している。2023年度末までに全7編が完成しており、逐次公開される予定である。

2. 主な研究課題と成果

2.1. 光ファイバーを用いた地層健全性評価モニタリングシステムの開発

国内外で本格的に進められつつあるCO₂地中貯留事業において、地下モニタリングは必要不可欠な要素技術の一つである。圧入されたCO₂が地層内に安全に貯留されていることを確認するために、CO₂の広がりやの把握に加えて、地層圧の上昇に伴う地層変形や圧力伝播範囲の監視、万が一の漏洩検知を目的とした坑井の健全性監視等を行う。このモニタリングは長期間に渡るため、経済的な技術が求められる。また、圧入条件の変更など即時の意思決定に資する情報を提供するために、リアルタイムのモニタリングシステムが期待される。光ファイバーセンシングは、こうした要件に適合するモニタリング技術として有望視されている。

光ファイバーセンシングは、光ファイバーに光パルスを送信した際に生じる後方散乱光を計測、解析することによって、光ファイバー周辺に生じた環境変化を測定する技術である。散乱光ごとに測定対象が異なり、ラマン散乱光は温度計測(DTS: Distributed Temperature Sensing)、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、曲げなどによって散乱光強度が変化することを利用した損傷箇所の同定や音響(振動)計測(DAS: Distributed Acoustic Sensing)が主な用途であるが、近年では、そのスペクトル変化を利用して高精度の温度、ひずみ計測にも用いられる。光ファイバーセンシング技術の特徴は、光ファイバー全体が受信部となるために、空間的に連続した記録の取得が可能なことである。また、複数の光ファイバーを束ねた一本の光ファイバーケーブルを設置することで、温度・ひずみ・音響を捉えるマルチセンサーとして利用でき、多数のセンサーを設置する場合に比べて大幅なコスト低減を図ることができる。さらに、光ファイバーケーブルは、直径が数ミリメートルから数センチメートルと細く、狭小箇所への設置が容易なため、坑井を保持するためのケーシングと呼ばれる鉄管の外側にある地層とのわずかな隙間に設置することも可能である。

RITEでは、これまで、室内試験および現場試験を通じて光ファイバーセンシング技術の研究開発を進めており、現在では、複数の国内外サイトにおいて実証試験を実施中である。国内サイトでは、開発した光ファイバーケーブルの性能評価や施工方法の改善に加えて、複数坑井での圧入など実事業を想定したCO₂圧入環境下での光ファイバー測定技術の有効性検証を進めている。また、米国ノースダコタ州CCSサイトでは、マルチセンシング型CO₂地中貯留モニタリングシステムの技術実証として、一本の光ファイバーケーブルを用いた温度・ひずみ・音響の同時測定を実施している。豪州では、ビクトリア州Otwayサイトおよび西オーストラリア州Perth南部サイトにおいて、浅部断層からの漏洩監視および深部断層の安定性監視を目的とした現場試験を実施中である。

以下では、各サイトで実施中の現場試験の概要を紹介する。

2.1.1. 国内試験サイト

千葉県茂原地区にある試験サイトでは、光ファイバーセンシングによるCO₂地中貯留モニタリングシステムの技術検証を目的とした現場試験を行っている。これまでに、深度300m程度の浅部坑井に様々な光ファイバーケーブルを設置して、坑井を用いた水圧入試験や揚水試験を行うことで、光ファイバーケーブルの測定性能評価を行ってきた。2022年度には、深度900m超の坑井を新たに掘削し、温度・ひずみ・音響を同時に測定できる光ファイバーケーブルを設置した。同試験によって、光ファイバーケーブルを深部坑井に設置する技術の向上、設置器具の改良、施工方法の改善を図ることができた(図1)。また、坑井のセメント健全性を評価する光ファイバー測定技術の開発を進めている。同技術は、CO₂地中貯留サイトの圧入井からの万が一の漏洩に影響を与えるセメンチングの良否を施工中に評価することができるリアルタイムモニタリング技術として期待されている。

2022年度のファイバー設置以降、同サイトではDSS(ひずみ計測)による、長期連続モニタリングを継続中である。サイト周辺の水圧入や揚水等によるひずみ変化を計測し、光ファイバーひずみ測定データに基づくジオメ

カニクス解析によるサイト周辺の水理特性評価技術として利用している。この技術は、将来の国内CO₂地中貯留において必須となる複数の坑井を効果的に配置する技術へとつながるものとして期待されている。



図1 国内サイトでの光ファイバー設置作業

2.1.2. 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、エタノール精製過程から回収される年間約18万トンのCO₂を地下深部約2,000mの塩水帯水層に圧入貯留する商業プロジェクトである。2022年6月中旬から圧入を開始し、2024年3月末現在、約25万トンのCO₂が貯留されている。

同プロジェクトでは、4本の坑井(圧入井、観測井、浅部地下水観測井×2)とCO₂パイプライン沿いに、光ファイバーケーブルを設置し(図2)、DAS、DTSおよびDSSの同時測定を継続実施中である。同プロジェクトは、一本の光ファイバーケーブルにおけるマルチセンシング技術の商業プロジェクトにおける技術実証として、国内における事業化規模の一つの目安となる100万トン圧入時まで測定を継続することで、国内CCS事業に資するモニタリングシステム運用における課題や対策などの知見の集積を進めている。

地下のCO₂の広がり把握する貯留層モニタリングには、繰り返しの弾性波探査を用いたCO₂プルームのイメージング技術が用いられる。弾性波探査技術の一つとして、坑井に受振装置を配置する坑内探査(Vertical Seismic Profiling: VSP)を用いることで、計測対象と受振器が近づくため、高品質なデータ収録が可能になる。さらに、無数の受振器を備える光ファイバーを坑内受振器として利用することで、受振点位置ずれによって

発生するノイズを低減できるほか、データ収録の高速化も実現する。

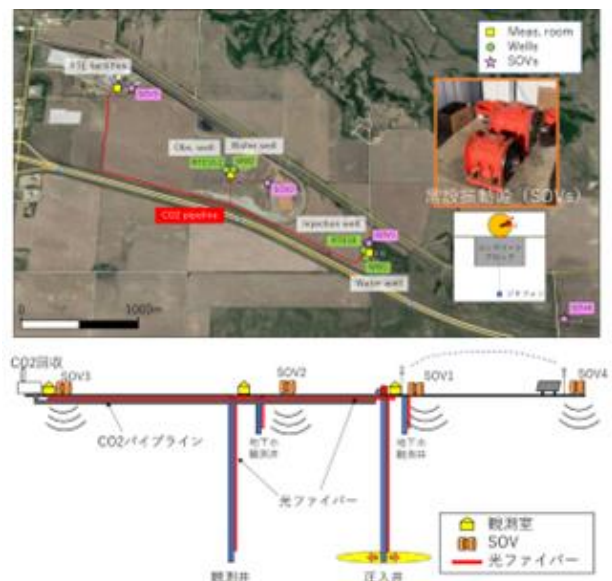


図2 ノースダコタサイトでの光ファイバー モニタリングシステムの概要

CO₂プルームの広がり把握を目的とした繰り返しの3D弾性波探査は、通常1年～数年毎に実施される。この観測期間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、コンクリートブロック上に設置された偏芯おもりが高速に回転することで、地層中に振動を伝える常設型の振動装置である。遠隔操作および自動コントロールが可能のため、発振作業のための現場オペレーターが不要である。ノースダコタサイトでは、SOVsをサイト内の4箇所に設置し、随時発振を行っている。

取得した記録のうち、(ゼロ)オフセット記録は、圧入開始後すぐのCO₂プルームの検知に用いられ、オフセットのあるVSP記録は、CO₂プルームの広がり把握のために用いられる。現在、CO₂の広がり把握のために、繰り返しのVSP記録のタイムラプス解析を進めている。また、万が一の漏洩を検知するために、CO₂パイプラインや圧入井の全区間におけるDTSおよびDSS(温度・ひずみ計測)を行っている。従来は、パイプラインの出入口および坑底などに設置した流量計や温度・圧力計による

点計測を行っていたが、光ファイバーセンシング技術では、光ファイバー全体が計測点となる利点を活かして、経路全区間のリアルタイムモニタリングを継続している。

2.1.3. 豪州サイト

断層が多い国内においてCO₂地中貯留事業を実施する場合のリスクとして、圧入に伴う断層への影響や、断層からの漏洩等が考えられる。これらのリスクに対応するためには、断層破碎帯特性評価、断層安定性監視および断層からの漏洩検知・監視技術が必要不可欠である。これまで、RITEが研究開発を進めてきた光ファイバーセンシング技術が有効な手段となるが、それらの技術確立のためには実サイトにおける多様な試験が必要である。そのため、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2021年度から日豪共同研究を行っている。

豪州ビクトリア州南西部のOtwayサイトでは、光ファイバーセンシング技術を用いた浅部断層からのCO₂漏洩検知現場試験を進めている。同サイトは、豪州研究機関CO₂CRCによって、数万トン規模のCO₂が圧入された実証試験サイトである。本サイトに新たに2本の坑井を掘削し、高性能のDSS(ひずみ計測)ができる新しい光ファイバーケーブルを設置し、水圧入試験を実施した。現在、同計測データを用いた、サイトおよび断層の水理学的特性評価を進めている。今後は小規模のCO₂圧入によって漏洩検知性能の評価を行う予定である。



図3 Otwayサイトでの光ファイバー設置作業

豪州西オーストラリア州南西部のPerth南部サイトで

は、特に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。同試験サイトでは、深部断層帯を貫く坑井を掘削し、光ファイバーケーブルを設置し、DSS(ひずみ計測)結果に基づいて断層や破碎帯の水理的・力学的特性評価および断層再活動性評価を図るものである。豪州研究機関であるCSIROとの研究協力によって、既存の試験サイトを利用して実証試験を進めている。2023年度は、新たに傾斜坑井を掘削し、温度・ひずみ・音響計測を同時に行える光ファイバーケーブルを設置するとともに、サイト周辺の地震活動調査、サイトの断層評価を進めてきた。傾斜坑井のケーシング背面への光ファイバーケーブルの設置に成功したことで、CO₂地中貯留モニタリングにおける光ファイバー設置技術の向上を図ることができた。今後は、流体圧入試験を実施し、同計測結果を用いた断層の水理的・力学的特性評価等を行う予定である。



図4 豪州Perth南部サイトでの光ファイバー設置作業

2.2. CCS事業化支援

JOGMECによる先進的CCS支援事業が2023年度に開始されるなど、我が国のCCSの大規模化、事業化が本格的に展開されている。

RITEにおいても、CCSの大規模展開を支援するための研究開発を実施している。具体的には、CCS実施地域の理解促進方法、適切なCCS事業化形態の設定支援、さらにはCCSの経済性評価などである。以下、それぞれの研究開発の内容や進捗状況を報告する。

2.2.1. CCS事業における地元とのコミュニケーション

CCS事業を行うことを決めると、事業者は事業の理解や支持を得るために、ステークホルダーや地元住民と

コミュニケーションを取る必要がある。コミュニケーション活動は、できるだけ早期に、広範囲の関係者を対象に行うことが望ましいとされている。事業計画が全て決定してから、地元を受け入れを求めるといった事業者から地元への一方のコミュニケーションではなく、早い段階から地元と密にコミュニケーションを取り、地元の考えや要望も組み入れて事業計画を立てていくという双方向のコミュニケーションを行うべきというのがそのベースの考え方である。

RITEでは、CCS事業実施にあたっての地元とのコミュニケーションについて調査を行ってきた。本稿ではコミュニケーション最初期にCCSの認知度を高めることの重要性について述べる。海外において、地元住民やステークホルダーがCCSについてよく知らないまま事業計画が進んだことが、地元の事業反対の要因になった事例がある。そのため、地元の住民やステークホルダーにCCSについて理解してもらうことが重要である。

日本では、CCSの認知度が低く、一般市民の約半数がCCSという言葉を知ったことすらないというのが現状である。そのため、まずは「CCS」という言葉を知り、馴染んでもらう必要がある。全く聞いたことがない「CCS」に関するコミュニケーションイベントが行われていても、参加してみようとはなかなか思わないからである。国はCCSをカーボンニュートラルに向けた重要なオプションとみなしており、昨年から先進的CCS事業も始まった。今後「CCS」という言葉を見聞きする機会が多くなると考えられるが、当面はCCS事業者もコミュニケーションの第一歩として「CCS」という言葉の普及活動をする必要がある。

「CCS」という言葉を見聞きする機会が増えると、検索してCCSを調べる人が増えると考えられる。「CCS」を調べてみようと思った人が最初に見る情報は重要である。その情報で、CCSに対して肯定的な考えを持ったり、否定的な考えを持ったりするようになるかもしれないからである。北海道の胆振東部地震の際に、著名人がSNSに流したCCSに関する情報が流言飛語とみなされた例があるように、CCSに関する誤った情報が流れることもある。もし最初に誤った情報に接すると、それを

基にCCSに対して誤った考えを持つことにもなりかねない。いったん情報を信じ、その情報に基づいた考えを持つと、その考えは容易には変わらないと言われている。人は自分の考えに合う情報のみを選択的に受け入れやすい上、最近ではSNSなどで自分と同じ考えの人とだけつながり、考えが強化されるということが起きやすいからである。そのため、CCSに関する科学的、学術的な知見に基づく情報が検索でかかりやすくなることが重要である。

ただし、検索でかかりやすくても、読まれることがなければ意味がない。CCSをよく知らない人がCCSとは何かを知ろうと思って検索した場合には、体系だった詳細な解説は敬遠されやすく、端的な解説の方が読まれやすい。RITEでは、CCSに関して一般市民が疑問に思っていることを一問一答の形式で説明したQA集を作成しているが、このQA集の役割の一つは「CCS」について検索したり調べたりした人が疑問を解決できるようにすることである。そのために、A(回答)は予備知識がなくても読めるように工夫している。今後、図やイラストを使ってさらに親しみやすく見られやすくなるようにQA集の改善を進めていく予定である。

2.2.2. CCS実施による地元経済波及効果分析

CCS事業においては、CCSの技術的、科学的な説明だけでなく、事業が地元にもたらす経済的な効果の説明も重要である。RITEでは、CCSの実施による地元経済波及効果の分析手法を手順化し、実際の地域に適用し、経済波及効果等を訴求している。以下、地元経済波及効果の分析手法を紹介する。

①投資額試算

地元経済波及効果を分析する前段として、CCSプロジェクトの事業形態を設定し、全体投資額を把握する必要がある。当試算については、後述する排出源DBやCCSコスト試算ツールを用いて実施する。

②経済波及効果・雇用促進効果分析

CCSプロジェクトの投資額が設定された後、その投資が地元にとりだけの経済波及効果・雇用促進効果をもたらすか試算を行う。その際、各都道府県が公開している

産業連関表や経済波及効果分析ツールを活用すれば、地元経済に即した効果を試算することが可能となる。

ただし、「CCS」は新しい産業であり、既存の経済波及効果分析ツールには当該項目はない。そのため、CCSがどのような産業から成立しているかを分析し、それらの既存産業項目の組合せで、経済波及効果の分析を行う必要がある。CCSの産業構成は、対象とするCCSプロジェクトの特性を考慮して設定するが、その分析の精緻化、手順化が今後の課題となっている。

③サイト訪問による経済効果

CCSプロジェクトによる直接的な経済波及効果の他に、サイトに見学者が来ることによる経済効果が得られる。実際、苫小牧におけるCCS大規模実証試験では、多くの見学者が苫小牧市を訪れている。このような先行事例を参考にし、CCS見学者数を推定し、来訪による経済波及効果を分析するのも重要である。

④経済効果を向上させる手法の検討

CCS産業構成要素として大きいのが、「建設」と「汎用機械」などの資機材調達である。建設については、地元で対応できる部分が大きく、経済波及効果拡大に貢献するが、資機材については、CCSの実施地域では調達できない物も多く、経済波及効果を発揮できない要因となる。

産業連関表には、関連する資機材の自給率が示されており、その値を向上させれば、経済波及効果は向上する。地元でどのような産業や人材を育成すれば良いかの定量的な指針となる。

このように、CCSの経済波及効果分析は、立地地域での産業育成政策の立案にも貢献する。

⑤CCS/CCUの連携効果分析

CO₂の地中貯留のみでなく、CO₂の利用(CCU)も注目を集めている。CCUを行う場合、CO₂の需給のマッチングが重要であるが、CO₂の供給量が大きく上回り、回収したCO₂を放散せざるを得ないケースもある。CCUとあわせてCCSを行えば、余ったCO₂を地中貯留することでクレジットを得られる。

つまり、CCSの実施は、CCU事業の不確実性を抑制し、事業の予見性を高めることに貢献する。CCSの経済

効果を議論する際は、このような視点も重要である。

⑥当分析手法の適用・改良について

以上、CCS事業実施による地元の経済波及効果の分析手法を紹介した。すでに一部の地域ではその手法を適用しているが、今後、分析の実践例を増やし、その精度や使い勝手を向上させたいと考えている。CCSの地元経済効果を検討されている方がいれば、ぜひお声かけいただきたい。

2.2.3. CO₂排出源データベースの開発

CCSの事業化には、CO₂排出源と貯留層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5はその一例であり、排出源は太平洋側に集中し、貯留層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。

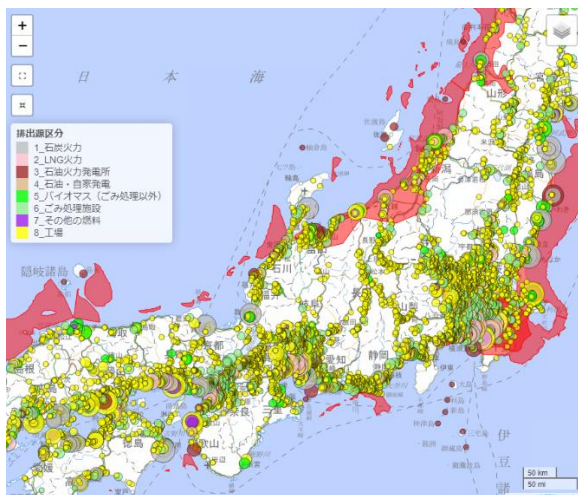


図5 CO₂排出源と貯留ポテンシャルの統合表示例

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。

③CCS事業化支援のプラットフォーム化を目指して

上記の機能に加え、港湾のCO₂排出の集中度分析、港湾から一定距離を持つ内陸型排出源のスクリーニング機能、既存ガスパイプラインの表示機能等、CCSの大規模化、本格普及化を見据えた機能も随時付加している。

CCSの事業化には、政策担当者、技術者、投資家、事業経営者など、多くの関係者が協力し、その方向性を定める必要がある。

本DBを活用すれば、必要な情報への迅速なアクセス、視覚化機能を活かした関係者間の情報共有が可能となる。さらに、次に紹介するCCSコスト試算ツールなど、他の支援機能と連携し、CCSの事業化を的確に支援するプラットフォーム化を図りたいと考えている。当DBに関するコメント、ご要望があればぜひお伝えいただきたい。

2.2.4. CCSコスト試算ツールの開発

本ツールは、CCSを検討している事業者が、想定される複数の事業形態について、コストを比較検討できるように開発したものである。単独で実施するCCSの回収から貯留までの一連のコストを試算できるだけでなく、沿岸域等で複数の排出源をまとめて集約化するハブ&クラスタのコストについても試算の対象としている。

後者の複数排出源を対象にしたコスト試算については、排出源データベース(2.2.3)を利用して集約化グループの構成を検討した案が、どの程度のコスト低減効果を見込めるか、あるいはその構成がコスト的にみてベストであるかなどを具体的に検証する上でも有用である。

また、本ツールは高速で計算できるので、パラメータを変更しながらリアルタイムで結果を確認できる。このため試行錯誤的に最適な実施形態を探り出す際の支援ツールとしての活用も期待している。

①ツールで可能な試算

本ツールには国内で想定されるCCSを想定して、回収、輸送、貯留のそれぞれの工程に選択肢が設けられている。例えば、回収には石炭火力発電所やLNG火力発電所があり、輸送には陸上・海底パイプラインと船舶輸送がある。こうした工程に関するオプションの他、当該CCS全体に関係する選択肢として、事業期間や年間

CO₂処理量、割引率、為替レートなどの設定が可能である。これらを選択して組み合わせることによって、ユーザはイメージしているCCSをツール上で組むことができる。

②特定工程の試算例

ここでは、貯留工程における試算例を紹介する。日本での貯留は、大部分が海底下貯留と考えられていることから、本ツールは海底下貯留を対象としている。海域の設定は貯留地点の離岸距離と水深によって決まり、A.陸域からの圧入(苫小牧式)、B.着床基地からの圧入(ジャッキアップ式)、C.浮体基地からの圧入(セミサブ式)の3通りの中から、自動で選択される仕組みになっている。

図6に今回比較した3種類の貯留方式を示す。図の左側に貯留方式のイメージを、右側に試算の前提条件を記した。



図6 比較した貯留方式

また、CO₂を地下に圧入すると、それに伴うモニタリングが必要となるため、貯留工程の試算ではモニタリングコストもあわせて算出される。

図7に貯留およびモニタリングコストの試算結果を示した。試算に際してCO₂処理量(圧入量)を100万t/年から500万t/年の5段階に変化させ、どの程度のスケールメリットが発生するかについても検討した。

図から、貯留コストが最も低かったのは陸上からの圧入であり、ジャッキアップ式、セミサブ式の順に高くなった。スケールメリットについては、セミサブ式において300万t/年までは効果がでたが、それよりも多いCO₂

処理量では見られなかった。他の貯留方式については、スケールメリットは小さいか、ほとんどでなかった。

一方、モニタリングについては、3種類の貯留方式とも、スケールメリットが大きく働くことがわかった。コスト的には、陸上からの圧入が他よりも高くなった。水深の設定が45mで、ストリーマを使った震探が行えず、海底受信ケーブル(OBC: Ocean Bottom Cable)を利用した震探が採用されたためと考えられる。

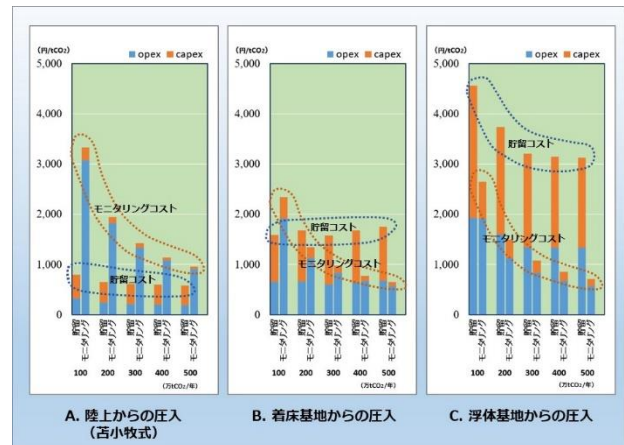


図7 貯留およびモニタリングコストの試算結果

③集約化において排出源をグループ編成する際の検討

CCSコストの低減を考える場合、ハブ&クラスター等で排出源をネットワーク化し、大量のCO₂を処理すると、工程によってはコスト低減効果が大きく働く。集約化は、既存の技術で実施できるコスト低減対策であることから、排出源を取りまとめて共同で実施しようとする考えは、自然な発想である。

ここでは、ある沿岸域において、2つの集約化グループの編成が進められている場合、その間にある排出源にとっては、どちらのグループに参加するのが有利であるかを検討してみる。

図8に集約化グループ編成時のイメージを示した。図にはグループAとBの2つの検討中のグループがあることを示している。その際、グループAとBで、既に契約できている合計のCO₂量に違いがあるという設定であり、グループAでは300万t/年、またグループBでは150万t/年のCO₂がそれぞれ確保できているとする。また、排出源X(100万t/年)から各グループのハブまでの陸上

パイプラインの費用は排出源Xが負担するとし、船舶輸送距離や貯留方式は両グループで同じであるとした。なお、A港-B港間の距離は100kmとした(各港にハブがあるとする)。

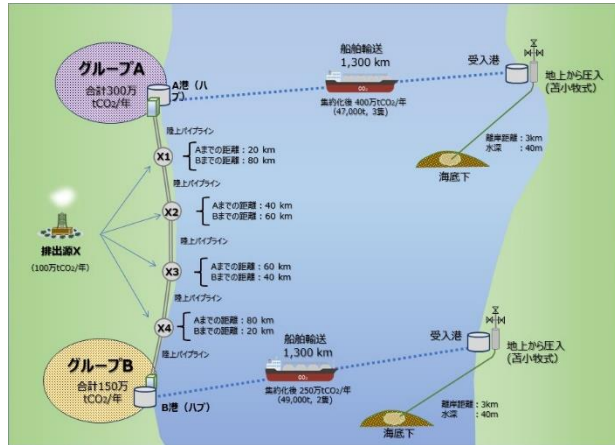


図8 集約化グループ編成時のイメージ

図9に排出源XからA港までの距離とCCSコストの関係を示した。紫のラインがA港を利用した場合のコスト、オレンジのラインがB港を利用した場合のコストを示している。図9の上の図は排出源Xが単独でCCSを実施した場合のものであり、集約化グループの影響を受けないため、単純に両港の中間点(50km)で両コストが一致した。

一方、図9の下の方では排出源Xが集約化グループの影響を受けており、もともとCO₂処理規模が大きかったグループAの方が、グループBよりコスト低減が大きくなる。その結果、紫のラインがより下方に移動したことから、ラインの交点が右側に移動した。これにより排出源Xは、A港からの距離が80km以内の場合、Aグループに参加する方が低コストであり、それを越えると、すなわちB港からの距離が20km以内になるとBグループに参加する方が低コストであることがわかる。

なお、上記の検討では、グループA、BのCO₂処理量と排出源Xからの距離のみを考えたが、実際には種々のバリエーションがある。例えば、グループA、Bで船舶輸送距離が異なる、貯留方式が異なる、圧入レートが異なる、事業期間が異なる、さらにいずれかのグループがパイプライン敷設コストを負担するといったことも考えられる。

④ツールの公開に向けての作業

現時点までに、コストを計算する部分(計算エンジン)

については、予定分の搭載を終えており、先に示したような試算が可能となっている。一方、公開のためには、誰もが理解し易いインターフェイスを搭載する必要があり、同時に図表等によるわかり易い出力も重要である。さらに、本ツールは、WEBシステムとして公開するため、サイバーテロへの対策も不可欠と考えている。

こうした種々の作業を終えた後に、WEB公開前のテスト(フィールドテスト)等を実施し、信頼性や安定性が確認された時点で公開する予定である。

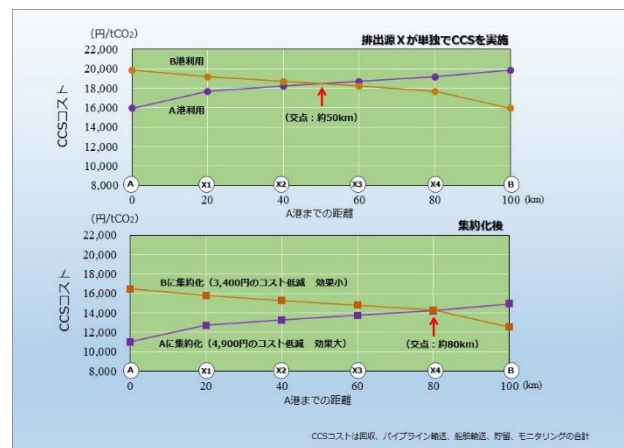


図9 排出源XからA港までの距離とCCSコストの関係

2.3. 技術事例集

RITEではCO₂地中貯留技術の実用化に向けて、モニタリング技術などの様々な技術や手法の開発に取り組んでいるが、それらの成果を基にCCS普及条件・基準整備の一環として、「CO₂地中貯留技術事例集」(以下、本事例集と称す)を作成している。

本事例集は、将来のCCS事業者のための参考マニュアルとなることを目的とし、CO₂地中貯留に関する国内外の技術情報や事例をまとめている。例えば、「二酸化炭素地中貯留技術開発」(2000年度~2007年度;長岡CO₂圧入実証試験)、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」(2009年、経済産業省)、「苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業」(2022年、経済産業省、他)等の主な成果と、海外機関による大規模CO₂地中貯留事業の知見をまとめたマニュアル、ガイドラインも参考にしている。

図10は、本事例集に記載されたCO₂地中貯留事業全

体の構成である。

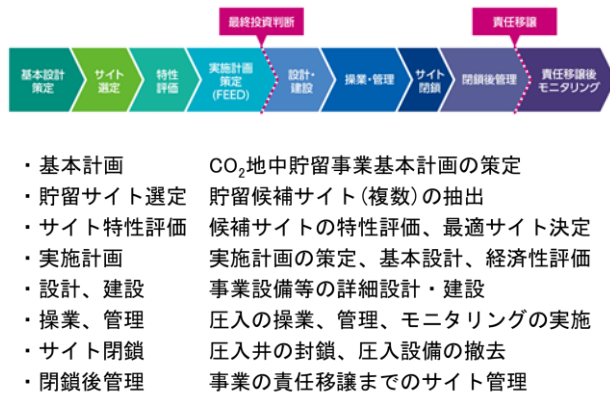


図10 CO₂地中貯留事業の全体構成

①基本計画

事業の全体像／基本的な考え方(経済性検討含む)、各フェーズでの作業方針・内容、スケジュール等を示す。

②貯留サイト選定(スクリーニング)

基本計画に示された全体計画に基づき、既存地質資料を使用してCO₂貯留サイトとしての要件を満たした候補サイト(複数)を選定する。

③貯留サイト決定(サイト特性評価)

CO₂貯留候補サイトに対して、必要に応じ地質データの取得を行い、詳細評価を実施する。地質モデルを構築し、CO₂圧入シミュレーションにより貯留可能量評価や、輸送・圧入施設の概念設計を基に経済性評価、リスク評価も実施する。その結果、圧入サイトが最終決定される。

④実施計画の策定

サイト特性評価結果を踏まえ、CO₂圧入作業やモニタリングなどの具体的な事業実施計画や作業計画を策定する。事業総コスト／経済性検討、リスク評価等を含めて最終投資判断を行い、規制当局に事業申請のための実施計画書を提出する。

⑤設計・建設

規制当局からの事業認可後、それまでの概念設計・基本設計をもとに圧入・輸送設備等の詳細設計、さらに建設、試運転を行う。

⑥操業・管理

実施計画に従い圧入操業を行う。地下に圧入されたCO₂の分布状況や貯留層の圧力変化をモニタリングし、

CO₂挙動予測との乖離がある場合は地質モデルを改良し、長期挙動予測の高精度化を図る。また、CO₂漏出に関するモニタリングも行う。

⑦サイト閉鎖・閉鎖後管理

CO₂圧入完了後、圧入井を廃坑し、閉鎖後モニタリングに必要な設備を除き、すべての施設を撤去する。サイト閉鎖後も、CO₂挙動の確認および漏出モニタリングを継続する。一定期間経過後に、規制当局が安全性の確保を判断したら、サイトの管理業務等は公的組織に移譲されることになる。

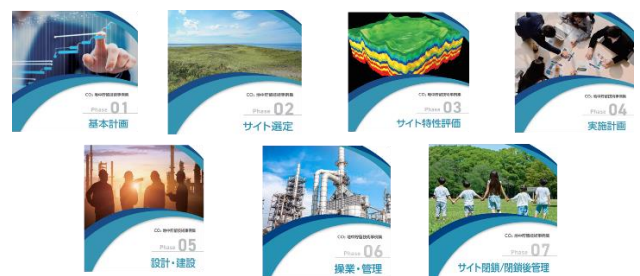


図11 技術事例集公開版

この技術事例集は、第1編から第7編までが製作されており、METI、NEDOのホームページにも逐次公開しており、今後は東南アジア諸国等海外への情報発信も行う予定である。