

## CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ

### グループメンバー(2021年12月末)

グループリーダー・主席研究員	薛 自求	主任	村上 聡子
サブリーダー・主席研究員	内田 堅二	主任	中西 公美子
主席研究員	横井 悟	研究員	三善 孝之
主席研究員(兼)	野村 眞	研究員	小谷 雅文
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	吉川 浩人
副主席研究員	田中 良三	研究員	曹 金榮
副主席研究員	橋本 励	研究員	石毛 宏和
主任研究員	三戸 彩絵子	研究員	沖本 竜太
主任研究員	利岡 徹馬	研究員	佐藤 珠希
主任研究員	高野 修	研究助手	平井 順子
主任研究員	内本 圭亮	研究助手	辻 志織
主任研究員	小牧 博信	研究助手	水見 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	佐々井 登喜男
主任研究員	末国 次朗	研究助手	日高 奈江
主任研究員	時田 和仁		

## CO<sub>2</sub> 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

二酸化炭素回収・貯留技術は、北海ノルウェー領の天然ガス随伴 CO<sub>2</sub> 貯留事業(Sleipner や Snøhvit プロジェクト)を機に、地球温暖化対策の有効な手段として期待されている。近年ではカナダや米国(北米地域)に加えて、豪州でも大規模 CO<sub>2</sub> 地中貯留事業が実施・計画されている。

我が国でも、新潟県長岡における実証試験(計 1 万トンの CO<sub>2</sub> 圧入)に引き続き、北海道苫小牧沖で計 30 万トンの CO<sub>2</sub> 圧入実証試験が終了したところである。

CO<sub>2</sub> 地中貯留の実用化にあたっては、大規模な貯留層に年間 100 万トン程度の CO<sub>2</sub> を安全に圧入・貯留する必要がある。これを実現するため、CO<sub>2</sub> 貯留研究グループは、二酸化炭素地中貯留技術研究組合の一員として NEDO 事業「安全な CCS 実施のための CO<sub>2</sub> 貯留技術の開発研究」に取り組んでいる。本事業では、安全管理技術の開発、大規模貯留層の有効圧入・利用技術の開発、CCS 普及条件の整備・基準の整備を行っており、これまでに、圧入安全管理システムや光ファイバー測定(ひ

ずみ、音響、温度)技術、貯留率向上のためのマイクロバブル CO<sub>2</sub> 圧入技術などを開発した。

2021 年度からはこれまでの研究成果を踏まえ、実用化に向けての技術実証・経済性向上・リスク低減・法整備支援、等に取り組んでいる。技術実証については、海外の大規模 CO<sub>2</sub> 圧入サイト等で昨年度までに開発した光ファイバー計測技術を検証している。経済性向上・リスク低減に関しては、Storage Resource Management(SRM)として包括的に検討し、貯留性および経済性向上の手法を開発する。また、CO<sub>2</sub> 地中貯留技術事例集を作成、事業者用として公開し、海外展開にも活用する。さらに、従来のパブリックアウトリーチ(Public Outreach(PO))や社会受容性(Public Acceptance(PA))を発展させ、社会合意形成(Social License to Operate(SLO))の手法を開発する。SLO は、国内大規模 CCS の展開支援に適用する計画である。このように、当研究グループは実用化に向けた技術実証に加えて、情報発信や技術支援にも取り組むことで、CCS の普及促進に貢献する。

## 2. 主な研究課題と成果

### 2.1. 光ファイバー測定技術開発と技術実証

CO<sub>2</sub> が安全に地中に貯留できていることを確認するため、圧入された CO<sub>2</sub> の広がりや監視に加えて、地層圧の上昇にともなう地層変形や圧力伝播範囲の監視が必要となる。

これらの監視を効果的に実施する技術の一つとして、分布型光ファイバーセンシング技術がある。分布型光ファイバーセンシング技術は、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を取得できる。したがって、坑井に沿って光ファイバーを設置することで深度方向に連続的なモニタリングが可能となる。また複数のファイバーを一度に設置することで、ひずみ・音響・温度をすべて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。

当研究グループでは、光ファイバー測定技術開発と国内外サイトでの技術実証を行っている。以下にこれらについて紹介する。

以前の光ファイバー測定試験等で使用していたケーブルは、柔らかい樹脂で複数の光ファイバーを被覆したタイプ(電話線仕様)や、細いワイヤのより線の外装を施したタイプ(アーマード仕様)であった。現場での取り扱いをより向上させ、感度の良いものを目指し、複数の光ファイバーをステンレス(SUS)製の金属管に封入したケーブル(金属管仕様)を設計した。

この新たな金属管仕様のケーブルの性能を確認するため、国内のサイトにて試験を実施した。坑井に上記3種類の光ファイバーケーブルを設置し、近傍の別の坑井に水を注入した(注水試験)。図1に試験結果を示す。金属管仕様のケーブルが、注水によるわずかな地層のひずみを感度良くとらえていることが確認できた。

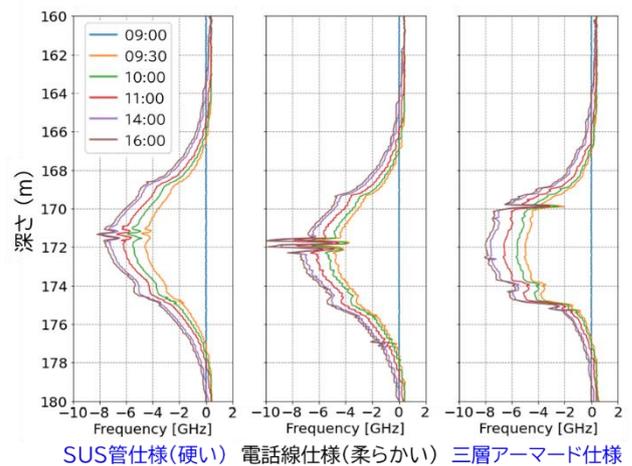


図1 注水試験時の地層ひずみ測定結果

海外での実証試験は、2023年度にかけて、以下に示す3か所のサイトにおいてそれぞれの目的で行う。

米国ノースダコタの大規模 CO<sub>2</sub> 圧入サイトでは、光ファイバーによる CO<sub>2</sub> の挙動モニタリング(地層安定性や坑井健全性監視を含む)を行う。坑井への光ファイバーケーブルの設置は完了しており、今後は CO<sub>2</sub> を圧入して計測する予定である。この実証を踏まえた、マルチセンシング・分布型音響センシング(DAS: Distributed Acoustic Sensing)・弾性波探査(VSP: Vertical Seismic Profiling)の測定技術を確立させる。

豪州のサイトでは、光ファイバーによる断層安定性監視技術の確立を目的に実証試験を行う。断層近傍の坑井に光ファイバーを設置し、浅部断層からの漏洩監視、深部断層の安定性監視を実施する。

また、ノルウェー地盤工学研究所(NGI: Norwegian Geotechnical Institute)等との国際協力プロジェクトに参画し、情報交換をするとともに、遠浅の海底に光ファイバーを設置して海底地盤変形監視技術を実証する。

## 2.2. Storage Resource Management (SRM) システムの開発

Storage Resource Management (SRM) システムの開発とは、貯留性および経済性向上のための手法開発である。主要課題には、次の2つが挙げられる。

- ・ 大規模CO<sub>2</sub>貯留サイトにおいて地下の貯留容量(リソース)を有効活用する手法の構築
- ・ CCS事業全体のコスト、操業リスクに伴うコスト等の経済性評価ツールの開発

SRM システムで対象とするCCS事業の範囲を図2に示す。CCS 事業は排出源からCO<sub>2</sub>を輸送し、貯留するまでのすべての工程を含む。時系列としては地域評価からCO<sub>2</sub>貯留を終了し、長期管理に至るまでを含む。全体のコスト、操業リスクに伴うコスト等の経済性評価ツールを開発する。

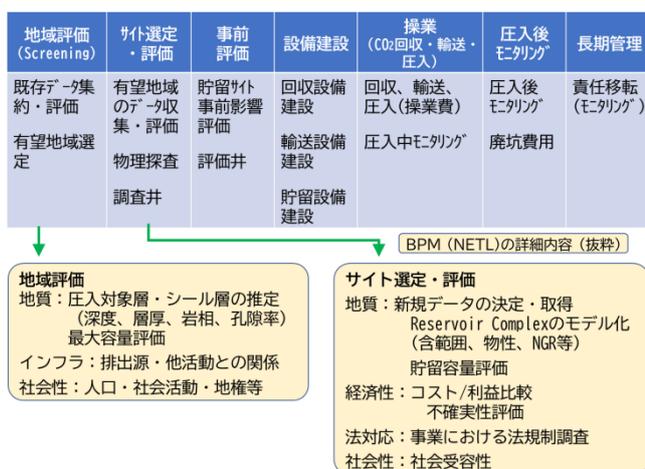


図2 SRMシステムで対象とする事業範囲

経済性評価にあたっては、CO<sub>2</sub>貯留地点の適切な選定と貯留層の有効活用が鍵となる。これまで、当グループでは、以下の技術開発を主に行ってきた。

- ・ 大規模貯留層を対象とした地質モデル開発
  - ・ CO<sub>2</sub>圧入井や圧力緩和井の最適配置技術開発
  - ・ CO<sub>2</sub>挙動シミュレーション、長期挙動予測手法確立
- これら要素技術を統合・発展させることにより、貯留リソースの評価・管理手法を構築する。

特に、貯留層の有効活用には、国際的な指針である ISO 27914: 2017 Carbon dioxide capture,

transportation and geological storage — Geological storage や 米国石油技術者協会 (SPE, 2017) による CO<sub>2</sub> Storage Resources Management System (SRMS) を参照する。ISO 27914 は商業 CCS を対象に、安全かつ長期的なCO<sub>2</sub>の封じ込めを促進することを目的としている。環境、天然資源、人間の健康に対するリスクを最小限に抑えるための要件と推奨事項を提示している。SPE は、CO<sub>2</sub>の貯留可能量の算定に対して、概算から商業利用までの等級を示している。汎用的な取り決めがある一方で、適地の選択と管理は各 CCS 事業を実施する場所ごとに固有であり、内在する地層評価に係る不確実性や技術的リスクは場所ごとに対処する必要がある、

貯留層を含む地層評価に係る不確実性を考える上で、地層の成り立ちを考慮することが重要である。既存の地質情報として、RITE(2006)のCO<sub>2</sub>地中貯留可能量(ポテンシャル)調査(図3)がある。この調査は、国によって油ガス資源探査で得られた基礎調査データを活用し、CO<sub>2</sub>が超臨界になる800m以深の深部塩水帯水層の分布からCO<sub>2</sub>貯留可能量を概算したものである。深部塩水帯水層は、主に砂泥互層から成る。地層の均質性や連続性に不確実性が潜んでおり、詳細な検討が必要である。不確実性の検討を進め、事業化検討地域では、概算値をより正確な貯留リソースに更新する。

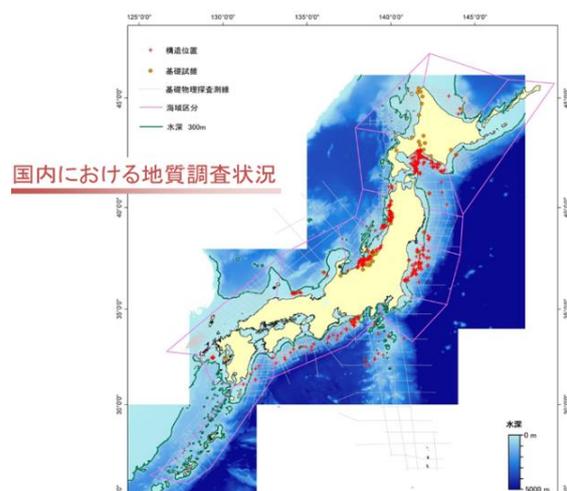


図3 基礎物理探査より得た日本列島における背斜構造の分布図

貯留サイトと排出源との距離は、CO<sub>2</sub> 輸送方法の決定や輸送コスト試算にとって重要であり、CCS 事業の経済性に大きく影響する。既存の基礎調査や貯留可能量評価の成果を基に、複数の実想定サイトを選定し、サイト周辺のCO<sub>2</sub> 排出源とのマッチングを念頭に、Low-Cost & Low-Risk の事業モデル検討を進めている(図 4)。このような事業モデル検討は、経済産業省の調査報告書に示された徐々に拡大していく事業展開とも整合する。一方、地域によっては、実想定サイトの既存データ量や質に差異がある。また、周辺の排出源の種類(石炭火力発電所、製鉄所、化学工場)や CO<sub>2</sub> 排出量も異なる。複数の実想定サイトの検討によって、国内の未調査地域での地質調査への知見提供や早期実現型 CCS 事業モデルの提案ができる。これらを通じて、事業コスト試算ツールを開発していく。このコスト試算ツールは、CO<sub>2</sub> 回収・輸送・貯留をカバーしており、CCS 事業全体のコスト試算だけでなく、投融資や事業保険の検討にも役立つ。



図 4 早期実現型 CCS 事業モデル検討概念

### 2.3. CCS 普及のための社会合意形成、情報発信・技術支援の取り組み

CCS の普及には技術の発展・確立だけでなく、事業者が事業を実施するための環境整備や CCS に対する社会の理解や合意が必要である。当研究グループでは、事業実施の環境整備として、事業者用に緊急時対応手順(日本版 IRP)の作成ガイダンスを取りまとめるとともに、CO<sub>2</sub>地中貯留技術事例集を作成している。また、社会の理解や合意のために、社会合意形成手法(SLO)開発に取り組んでいる。

#### 2.3.1 インシデント対応手順(日本版 IRP)

CO<sub>2</sub>貯留事業の安全確保、緊急時対応に加え、CCS の社会受容性を確保するためには、インシデントが生じた際の手順・計画(プロトコル)を明確にしておくことが必要である。インシデントとは、CO<sub>2</sub>貯留事業を遅滞または中断させるおそれのある事象である。坑井や貯留層の異常など事業上の異常、大地震や台風、未知の断層の判明など事業上の異常の要因となり得る事象、地層や地表の異常な変形、CO<sub>2</sub>の漏洩や漏出、誘発地震など地中環境・外部環境への影響、生態系の変化、地下飲料水への混入、人命/健康/家屋の被害など生態系や資源等への影響がインシデントとして想定される(図 5)。

CCS 事業者が日本で貯留事業を実施するに当たってのインシデントへの対応手順を日本版 IRP(Incident Response Protocol)と呼ぶこととし、その策定のためのガイダンスを取りまとめた。

日本版 IRP ではインシデントによる外部環境への影響の程度に応じ3つの異常事態レベルに分類した。レベル1は影響がない場合、レベル2は状況が悪化すれば影響が生じるおそれがある場合、レベル3は影響が生じている場合である。インシデントが発生した場合、異常事態レベルの判定を行い、異常事態と判定した場合には、そのレベルに応じた対応体制を立ち上げ、異常事態への技術的対応と社会的対応を取るようになる。技術的対応としては、インシデントの調査や監視、発生個所の修復、影響の抑止・遮断・復旧の実施が想定される。社会的対応とは、行政機関への対応や近隣利害関係者、一般市民、メディアとのコミュニケーションである。ガイダンスには想定インシデントごとに対応例を記載している。

また日本版 IRP の補完として QA 集を作成した。QA 集では、地震による貯留サイトへの影響に対する疑問、貯留事業による誘発地震に対する疑問、CO<sub>2</sub>漏出時の人や生物、環境等への影響に対する疑問に関する回答のポイントを科学的根拠に基づきまとめた。

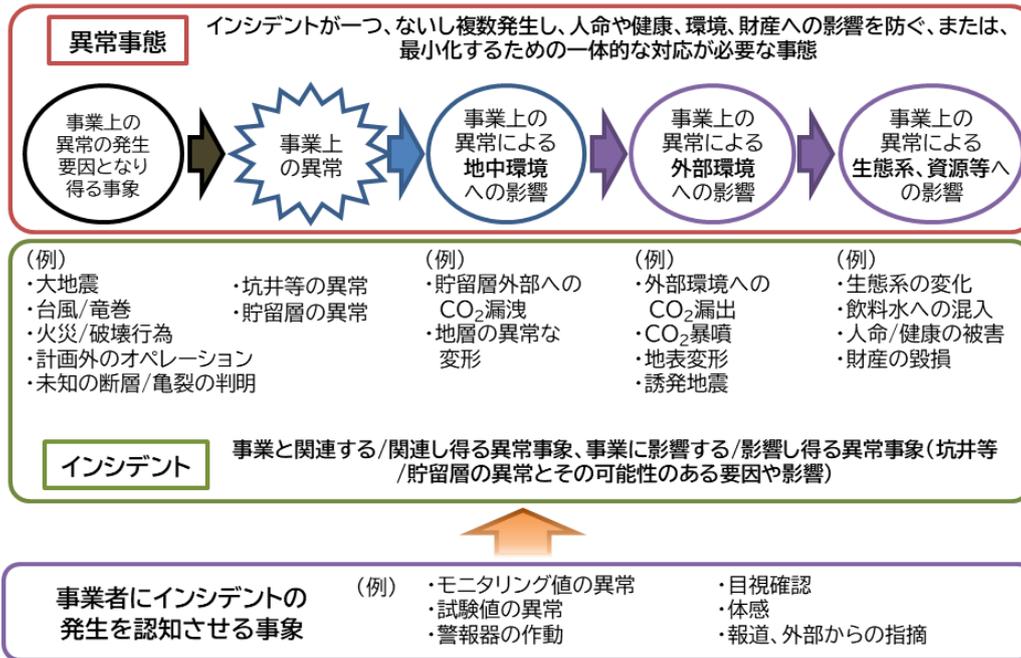


図5 異常事態の分類とインシデント例

### 2.3.2 CO<sub>2</sub> 地中貯留技術事例集

我が国における CCS 事業者の参考マニュアルとなるように、CO<sub>2</sub> 地中貯留に関する国内外の事例を紹介する CO<sub>2</sub> 地中貯留技術事例集の作成を行っている。技術事例集は、貯留事業のフェーズに対応して、基本計画、サイト選定、サイト特性評価、実施計画、設計・建設、操業・管理、サイト閉鎖、閉鎖後管理の8章から成る。このうち、第1章(基本計画)は、2021年10月にウェブで公開した。

基本計画の目的は、事業開始段階において事業実施者が事業の全体像を示し、利害関係者から事業への理解を得ることである。そのため、基本計画で検討・立案・確立されるべき内容は、技術的/経済的/法的あるいは社会的側面と多岐にわたる。事例集第1章では、事業全体の工程を示し、各フェーズの概略を述べている。

また、国内外の関連法規を取りまとめ、必要な許認可のタイミングを示している。経済性に関しては、事業コストの概略を示し、海外事業でのコスト実績を示している。リスク管理やパブリックアウトリーチや社会受容性(PO/PA)の考え方の概要も述べている。

各フェーズの詳細は第2章以降に書かれており、順次

ウェブで公開する。また、海外での活用も見据えて、英語版も作成中であり、順次公開してゆく予定である。

### 2.3.3 CCS 実施に向けての社会合意形成(SLO)手法

CCS の社会実装には社会の合意が必要である。そこで当研究グループでは、社会合意形成(SLO)手法の研究開発に取り組んでいる。

CCS 事業の実施には地元の理解が欠かせない。地元の理解、合意形成のためには、地元と事業者とのコミュニケーションが重要である。海外の事例では、早期に双方向のコミュニケーションを行うことが推奨されている。双方向のコミュニケーションとは、事業者が一方向的に事業の説明をし、地元へ事業の受入れを求めるのではなく、地元も事業者に対して、意見や考え、懸念を伝えることで、互いの理解を深め信頼関係を構築していくコミュニケーション手法である。これまでにいくつもの双方向コミュニケーション手法が提案されている。当研究グループでは、事業者が地元のどの利害関係者を対象に、どのようにコミュニケーションを取るのが適当なのかを、事業のフェーズごとに検討している。また CCS 事業による地元への経済波及効果の分析も行っている。

社会の合意とは、地元住民、一般市民が CCS を受け入れるということだけを意味するのではない。社会には、地元住民、一般市民だけでなく投資家、政策担当者、さらには事業者自身まで様々な利害関係者が含まれる。他の多くの事業とは異なり CCS はそれ自身で利益を生み出すわけではないため、投資家や政策担当者、事業者の合意形成には、事業として成り立つ仕組みとしてインセンティブが必要となる。そこで、どのようなインセンティブが適切なのか、海外の事例を調査し、我が国の事情に適したインセンティブデザインの検討を進めている。また、CCS 事業にかかるコストの分析も行っている。海外事例のコスト分析などを通して、コストの詳細や年次展開についての研究を行っている。

#### 参考資料

- 1) ISO (2017) ISO 27914: 2017 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage, <https://www.iso.org/standard/64148.html>
- 2) SPE (2017) CO<sub>2</sub> Storage Resources Management System, <https://www.spe.org/en/industry/co2-storage-resources-management-system/>
- 3) RITE (2006) H15 年度 二酸化炭素地中貯留 成果報告書
- 4) 経済産業省 (2020) 地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費 (我が国の CCS 導入のあり方に係る調査事業) 調査報告書, <https://www.meti.go.jp/metilib/report/2019FY/000145.pdf>
- 5) 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 (2021) CO<sub>2</sub> 地中貯留技術事例集, 第 1 章 基本計画, <https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/co2/>