

CCS技術事例集について

1. はじめに

2000年に新潟県長岡市郊外において陸域の深部塩水層を対象として、我が国初のCO₂地中貯留の実証試験が行われ、累計10,400トンのCO₂を圧入し、現在もCO₂挙動観測を続けている。一方、北海道苫小牧の沖合では海域の深部塩水層を対象として、年間10万トン規模のCO₂を圧入する大規模実証試験の準備が進められている。

経済産業省は二酸化炭素回収・貯留(CCS)研究会を立ち上げ、大規模実証事業を実施する場合にあたり、安全面・環境面から遵守することが望ましい事項について「CCS実証事業の安全な実施にあたって」として、とりまとめた。

RITEでは、二酸化炭素地中貯留安全性評価技術開発事業の研究成果を踏まえ、長岡や苫小牧での実証試験結果、および海外のCCS関連ガイドラインやベストプラクティスマニュアル(BPM)を参考に、我が国の実情に適したCCS技術事例集を現在、作成している。

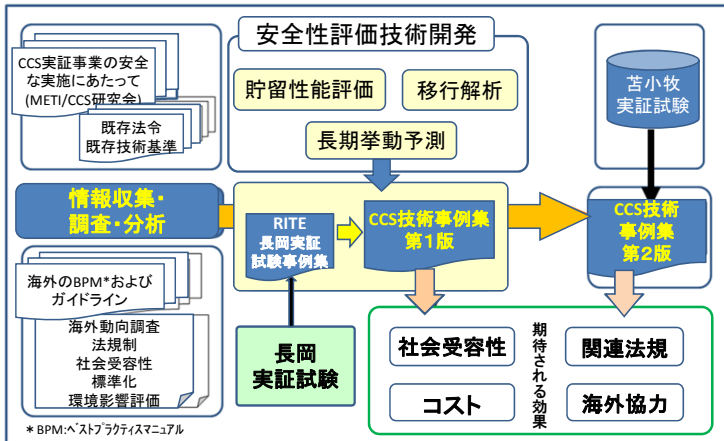


図1. CCS技術事例集検討スキーム

2. CCS技術事例集の構成

CCS技術事例集は事業の進展に沿って、第1章～第8章で構成されている。

表1. 技術事例集の構成と主な掲載内容

第1章～4章については、長岡実証試験および海外の事例に基づき、平成27年度末までに完成予定。	
第1章 基本計画	CCS事業の概要を示す基本構想の立案(実施体制、リスク管理、コスト、関連法規、PO/PAなどの把握)
第2章 サイト選定	基本計画に適合する貯留サイトの抽出、ランキング、サイト選定
第3章 サイト特性評価	貯留候補サイトの貯留性能、安全性、実現性の評価、等の把握。さらに、リスク管理、コスト、PO/PAの詳細検討
第4章 実施計画	設計・建設、操業・管理、サイト閉鎖、閉鎖後管理に係る計画の検討
第5章～8章については、苫小牧大規模実証試験および海外の新規事例を加え、平成32年度末までに完成予定。	
第5章 設計・建設	施設、設備等インフラの設計・建設
第6章 操業・管理	CCS操業開始、CO ₂ 圧入と操業の維持管理、モニタリング
第7章 サイト閉鎖	貯留層・坑井の健全性確認、サイト閉鎖手順確認、坑井閉鎖、閉鎖後モニタリング監視装置等更新
第8章 閉鎖後管理	モニタリングの定期実施、緊急時対応・訓練、マニュアル整備(追加・更新)、閉鎖後管理を含めた最終報告書作成

3. 各章の相互関係

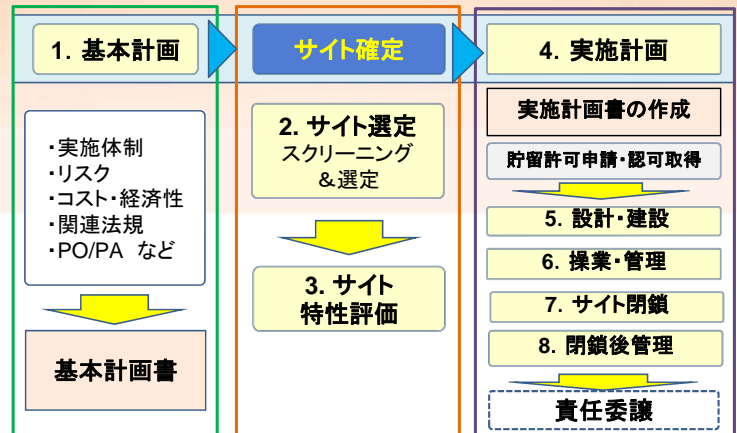


図2. 各章の相互関係

4. CCSに関連する法規およびガイドライン

表2. CCSに関する法規&ガイドライン

作成機関(年)	CCS事業に関する関連法規
日本 環境省(2007)	海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律の一部を改正する法律
豪州(2008)	石油・温室効果ガス海洋貯留法(2008年法) OPGGS2008(Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2008)
EU(EC) CCS指令(2009)	欧州委員会は、CCSのための法的枠組みとして、CCS指令を発行。サイト選定を極めて重要な段階とし、幅広い要求事項を規定。2011年には、加盟国のCCS国内法化のため、CO ₂ 貯留サイトの特性評価、リスク管理枠組み、閉鎖後の責任移管の基準、財政保障等に関する、ガイダンスを発行。
米国 EPA(環境保護庁) 地下圧入管理プログラム(2010)	EPAは、地中貯留事業を対象とし、飲料水安全法下の地下圧入管理プログラムにクラスVIを追加し、候補サイトの特性評価、坑井の建設、試験、モニタリングなどに関する要求事項を規定。さらに、コスト分析、申請手続き、坑井掘削と仕上げ等に関する、ガイダンスを発行。
作成機関(年)	CCS事業に関するガイドライン
WRI(2008) ^{*1}	CCS事業に関するガイドライン
日本 経済産業省(2009)	CCS研究会による「CCS事業の安全な実施にあたって」が作成された。
米国 DOE/NETL(2010)	CCS事業に関するベストプラクティスマニュアルを作成。このBPMでは、リスク分析・シミュレーション、サイト選定&特性評価、MVA、社会受容性、米国の地質情報、坑井や各種設備の建設などに関する情報が、6種類の解説書にとりまとめられている。
DNV(2012) ^{*2}	「CCS事業の実施に関する推奨指針」を提供

*1: WRI: World Resource Institute 米国に本部を置く世界資源研究所

*2: DNV: Det Norske Veritas ノルウェーに本部を置く 民間の認証機関

5. まとめ

現在作成中の技術事例集は、長岡での実証試験の成果を参考として、第1章の基本計画から第4章の実施計画までを対象としてまとめている。

一方、第5章以降については、苫小牧での大規模実証試験の成果を取り入れ、基本計画からサイト閉鎖後管理までの事業全体を対象として作成する予定である。この技術事例集が、将来、CCSを事業化する際の参考となることを目指している。

光ファイバーを用いた力学的安定性モニタリング

— CO₂圧入時の地層変形監視技術の開発 —

CO₂地中貯留サイトにおいて、温度、圧力に加えて地層変形を深度方向に連続的にモニタリングすることは、CO₂貯留時の安全性評価に重要である。RITEでは、光ファイバーセンシングを用いた地層変形の計測技術について研究を行っている。深部坑井セメント区間に光ファイバーを挿入・設置し、地表から地下までの地層変形(ひずみ)を深度方向に連続的にモニタリングすることを目指すものである。

1. 背景

- In SalahのCCSサイトでは、CO₂圧入坑周囲の地表隆起が報告されている。
⇒間隙水圧上昇で貯留層に変形が生じ、その影響が地表に及んだ可能性。
- 貯留層の変形が大きくなると、上位の遮蔽層の安全性にまで影響を与える。
- 貯留層～地表までの地層変形を深度方向に連続的に把握することが重要。
- 従来のモニタリング手法は計測点が限定。新しいセンサ開発が必須。

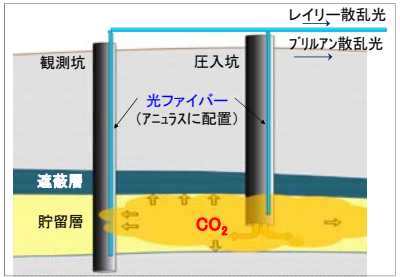


図-1 光ファイバーによる地層変形監視のイメージ

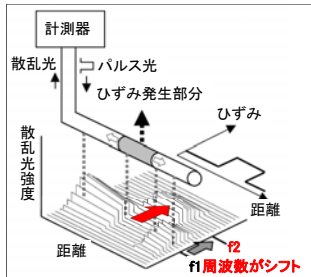


図-2 ひずみ分布計測概念図(ブリルアン)

2. 計測原理

- 光ファイバーにパルス光を入射したときの散乱光が物理量に比例して周波数シフトする特性を用いて地層変形(ひずみ)を計測する。
- 周波数シフトは温度、圧力、ひずみの影響によって生じるため、坑井を用いた計測ではそれぞれを分離する必要がある(図-3)。
- 従来のブリルアンだけでなく、レイリー散乱も計測することで分離可能(図-4)。

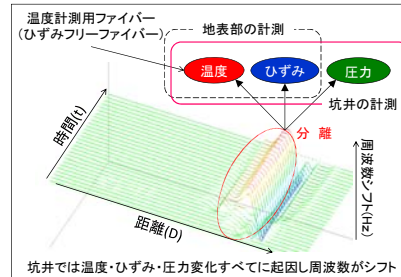


図-3 周波数シフトに含まれる物理量

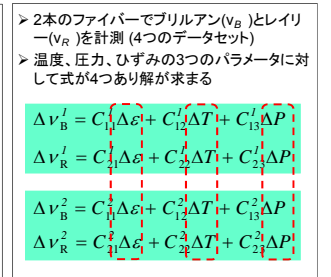


図-4 温度・圧力・ひずみ分離手法(特許)

3. 現場試験ー深度300m坑井でのパイロットテスト

- 坑井を利用して地層変形を計測するため、光ファイバーをケーシング内ではなく(数センチ程度の)アナユラスに挿入・設置し、セメンティングを行った。

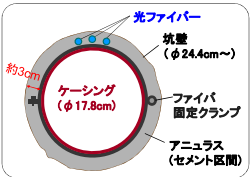


図-5 光ファイバーの設置概念図



ファイバ固定用クランプ



カップリングプロテクター

- CO₂圧入試験では、圧入に伴って生じた地層変形の計測に成功した(図-6)。
- パッカーの設置荷重を2.5tから0.5t毎に減らしていくと、ケーシングに生じたひずみも段階的に小さくなり、両者は調和的な結果を示した(図-7)。

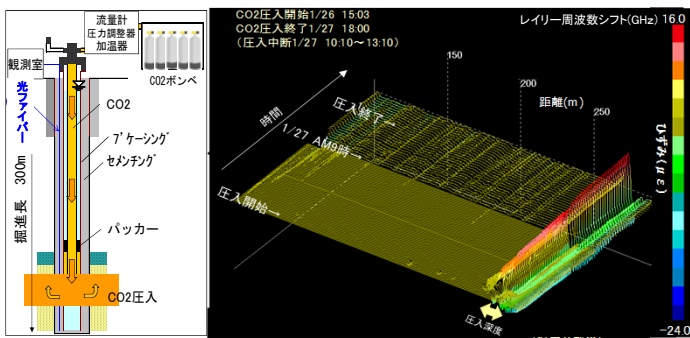


図-6 CO₂圧入時の地層変形

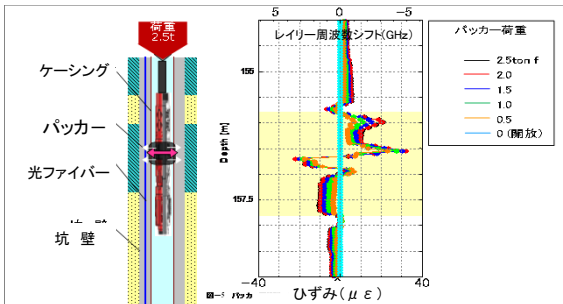


図-7 パッカー開放時のケーシングひずみ計測

4. 深度900m坑井での実証試験

- 深度～数1,000m坑井における光ファイバーの設置方法の確立(図-8)。
- パッカー設置時のチューブウェーブ計測に成功(DAS計測の実現性)(図-9)。
- レイリーとブリルアンデータによる温度・ひずみの同時分離の実証(図-10)。



図-8 光ファイバー設置作業

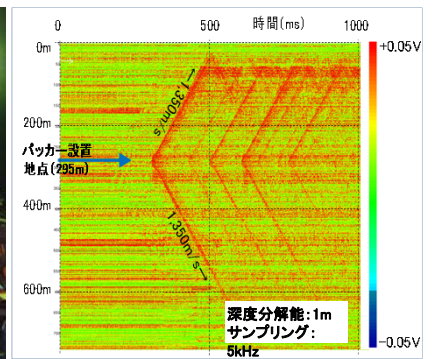


図-9 光ファイバー-DAS計測結果

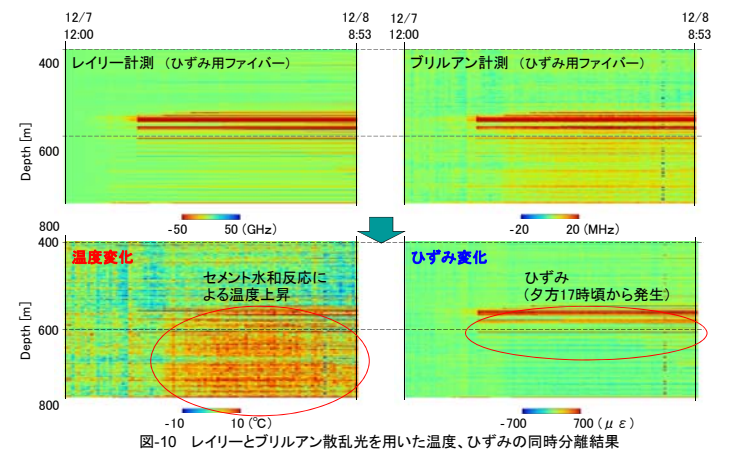


図-10 レイリーとブリルアン散乱光を用いた温度、ひずみの同時分離結果

5. 今後の課題

- 高感度と高強度を備えた地中埋設型光ファイバーケーブルの開発・改良
- レイリーとブリルアン散乱光を用いた温度・圧力・ひずみ分離技術の高度化
- データ処理・解析の自動化、リモート化、計測システムのパッケージング

(本資料は経済産業省からの委託事業の成果をもとに作成しています。)

CO₂圧入に伴う微小振動評価手法の開発

地下に流体を圧入した場合、その周辺に微小な振動が発生する可能性があり、CO₂を圧入する場合にも同様である。海外のCCSサイトの事例では、有感となる振動は報告されていないが、ごく微小な振動が観測されている。CO₂貯留を安全に行い社会的な理解を得るために、微小振動の観測・評価を行い安全管理に活かすことが必要である。RITEでは、米国CranfieldサイトにおいてCO₂圧入と微小振動との関係を検討することを目的に微小振動観測を実施し、また、沿岸域CCSサイトの観測手法として常設型OBCシステムを開発し、大規模実証試験サイトである苫小牧CCSサイトに導入することができた。さらに、微小振動観測データを利用したCO₂圧入管理手法(TLS)について開発を進めている。

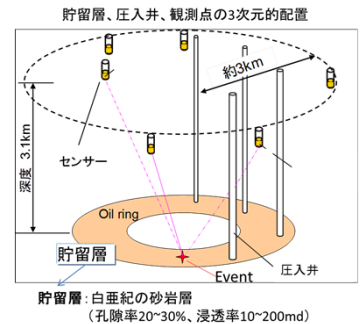
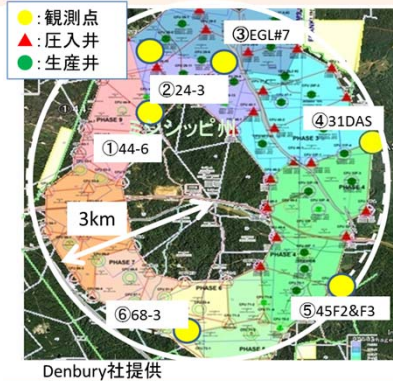
1. 米国Cranfieldサイトにおける微小振動観測

日米共同研究の一環として、米国炭素隔離地域パートナーシップのCO₂圧入サイトであるミシシッピ州Cranfield油田(2008年からCO₂-EOR(石油増進回収))において、CO₂圧入と微小振動との関係を検討することを目的として微小振動観測を行った。

- ・観測期間: 2011年12月~2015年2月
- ・地震計: 3成分広帯域地震計、孔内深度90m
- ・圧入量、貯留量: 150 万t/年、うち約100万tが貯留。2013年8月で470万t貯留

観測結果:

- CO₂圧入に起因すると考えられる微小振動は得られなかった。
- 遠地地震やパーフォレーションなどの波形が観測されシステムとして正常に機能していることが確認できた。
- パーフォレーションの観測波形を用いて、観測可能なマグニチュード下限はM-0.2程度と求められた。
- 貯留層は孔隙率(20-30%)と浸透率(10-200md)が大きいいため、発生した微小振動は観測可能なマグニチュードを下回った可能性が考えられる。
- ごく微小な振動を観測するためには、地表部の観測に加え坑内アレイを併用することが必要である。



2. 常設型OBCシステムによる沿岸域モニタリング手法の開発

常設型OBC (Ocean Bottom Cable)の利点:

- * 繰り返し反射法弾性波探査 および 微小振動観測 の両方に利用できる
- * 繰り返し測定において、受振器が常に同じ位置にあるので**記録の再現性向上**
- * 3成分ジオフォンを海底設置 → **PS変換波**を取得できる
- 実証試験サイトである苫小牧においてモニタリング手法として導入され、ベースライン観測を実施中



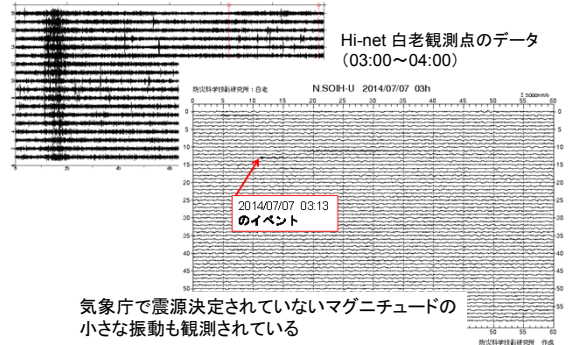
常設型OBC



ジオフォン(3成分)(固有周波数:15Hz) ハイドロフォン

OBCによる微小振動の観測

常設型OBCの観測データ 03:13~03:15
Z:2014/07/07 03:13:03 [Dur. 120.0]

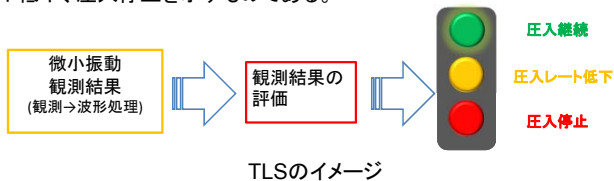


気象庁で震源決定されていないマグニチュードの小さな振動も観測されている

常設型OBCの観測データは日本CCS調査機より提供
Hi-netの波形記録は、防災科研Hi-netのWEBサイトのものを使用

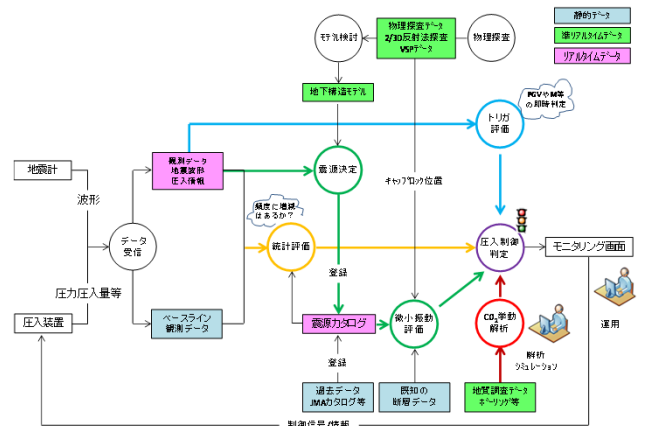
3. CO₂圧入管理手法(TLS)の開発

CCSサイトにおけるCO₂圧入管理手法として、微小振動観測結果に基づいたTLS(Traffic Light System)の概念設計を行った。TLSでは、観測結果(例えばイベントのマグニチュード、震源位置、頻度など)について評価を行い、評価結果に応じて、信号機のように圧入継続、圧入レート低下、圧入停止を示すものである。



TLSのイメージ

右図のTLSの概念設計では、振動波形、圧力・圧入量を入力データとし、これらを元に、**(1)トリガ評価**(地動の最大速度やマグニチュードを利用した即時評価)、**(2)統計評価**(統計的手法による事前予測との比較による評価)、**(3)微小振動評価**(地域の地震特性を考慮した微小振動の評価)、**(4)CO₂挙動解析**(実際のCO₂分布とシミュレーション結果の比較評価)の各評価を行うものである。



CCSに特化したTLSの概念設計

(本資料は経済産業省からの委託事業の成果をもとに作成しています。)