

# CO<sub>2</sub>地中貯留/CO<sub>2</sub>-EORでの マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入

マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入には、CO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)の普及をCO<sub>2</sub>地中貯留での孔隙利用効率の向上によって加速する可能性がある。また、CO<sub>2</sub>による石油増進回収(CO<sub>2</sub>-EOR)においても、マイクロバブル圧入により石油掃攻率の向上が期待され、CO<sub>2</sub>-EORとそれに伴うCO<sub>2</sub>地中貯留の機会を拡大する可能性もある。開発したマイクロバブルCO<sub>2</sub>生成用の多孔質フィルタを用いて、マイクロバブルの水中での特性解明やラボでのコア試験による従来型CO<sub>2</sub>圧入法に対する優位性の確認を行ってきた。その後、フィールドでのマイクロバブルCO<sub>2</sub>の圧入用ツールを開発し、現在、国内油田においてCO<sub>2</sub>-EORに適用する試験を実施している。

## 1. 背景

マイクロバブルは、直径が1~100μmのバブルと定義されている(ISO/TC281)。水中においては、(a) 小さい、(b) 溶解性が高い、(c) 浮力が小さい、といった特徴を有する(図1)。このため、通常サイズのバブルは上昇速度が速く、水面で破裂して消失するが、マイクロバブルは水中でゆっくりと上昇しながら縮小し、やがて消えてしまう(図2)。こうした特徴を持つマイクロバブルCO<sub>2</sub>の圧入向けに、耐圧性、耐熱性、塩水に対する耐性、維持管理、ランニングコストに優れた多孔質フィルタを開発した(図3)。

マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入はその特徴から、(1) CO<sub>2</sub>地中貯留における孔隙の利用効率の最大化、(2) 低浸透性の地層のCO<sub>2</sub>地中貯留サイトとしての活用、(3) 石油回収率の向上が期待できる。

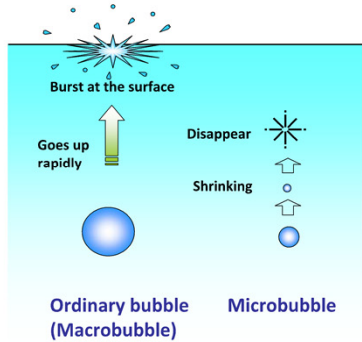


図1 マイクロバブル

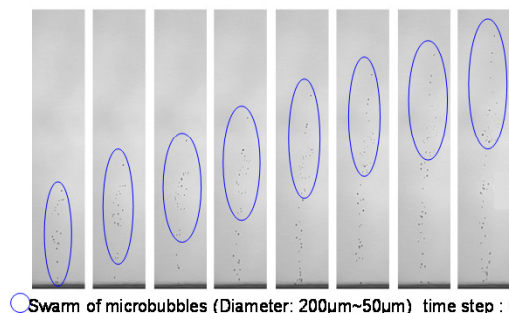


図2 マイクロバブルCO<sub>2</sub>の高溶解性

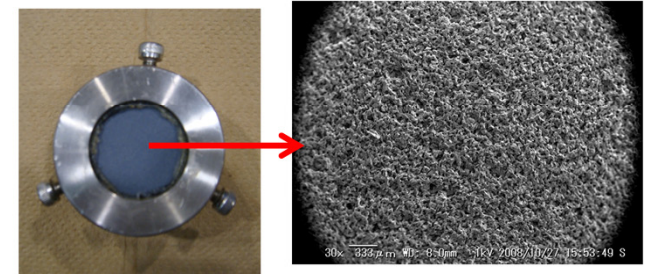
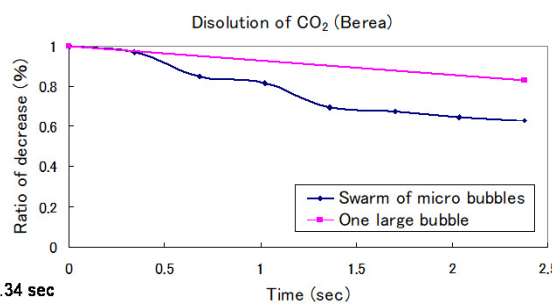


図3 マイクロバブル発生用の多孔質フィルタ

## 2. マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入と従来型CO<sub>2</sub>圧入

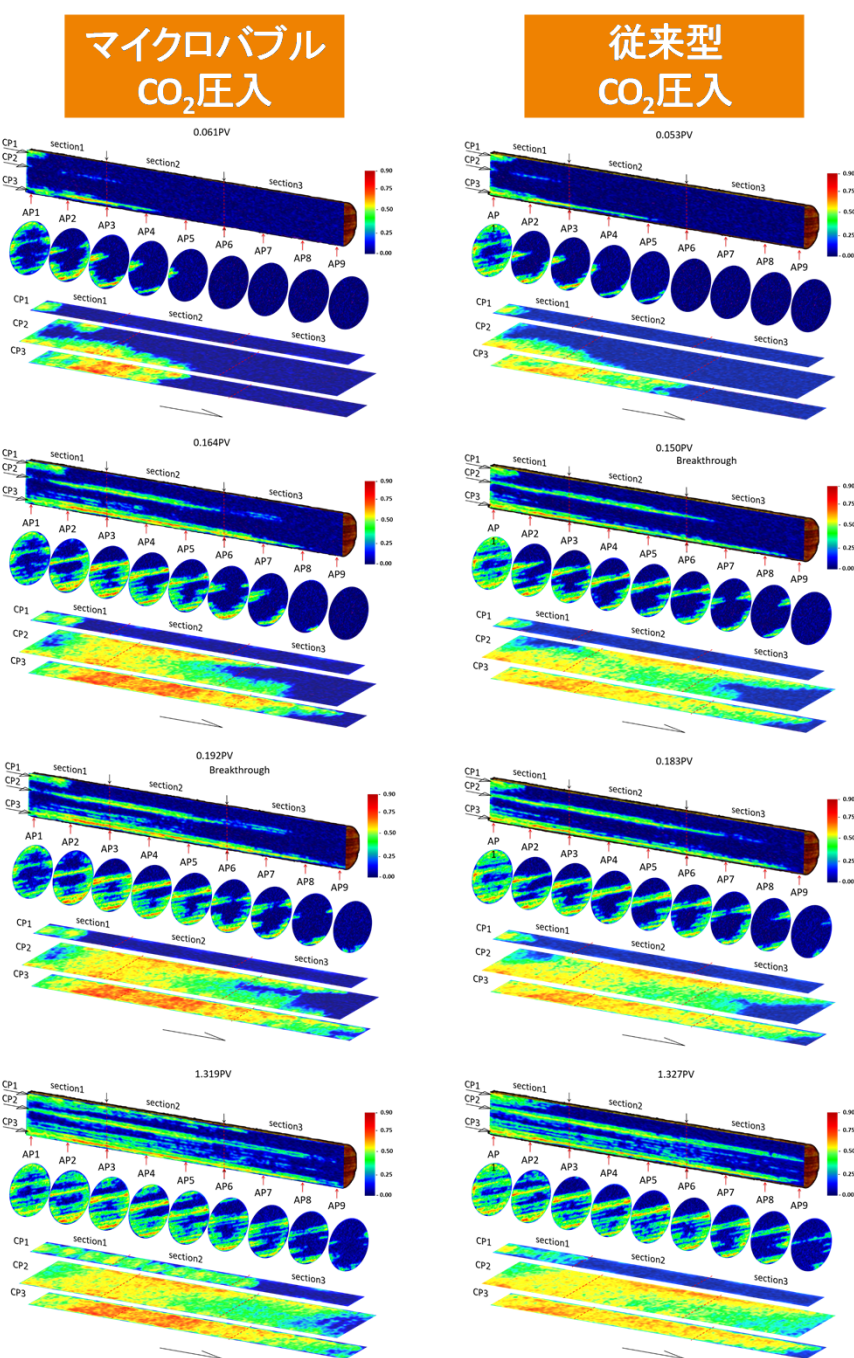


図5 X線CT装置によって可視化された岩石試料内のCO<sub>2</sub>分布状況

マイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入の性能を従来型の圧入法と比較検証するために、CO<sub>2</sub>地中貯留とCO<sub>2</sub>-EORを模擬して、様々なコアサンプルを用いたラボ試験を実施している。マイクロバブルは、概してコアサンプル内をゆっくりと移動してより広く拡散しており、その結果、CO<sub>2</sub>飽和率が高くなる。CO<sub>2</sub>地中貯留を想定した288mm長のコア試験では(図4)、マイクロバブル圧入時のCO<sub>2</sub>飽和率が、従来型圧入時よりも36%高くなった(図5)。

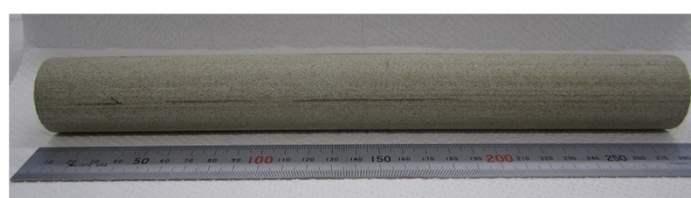
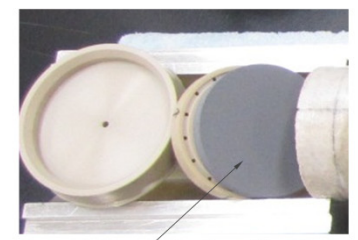


図4 288mm長のコア



マイクロバブル生成フィルタ

## 3. フィールドでのCO<sub>2</sub>-EORのための圧入試験

フィールド用のマイクロバブルCO<sub>2</sub>発生用のツールを開発し、その性能を2018年に検証した。現在、国内油田において、CO<sub>2</sub>-EORのためのマイクロバブル圧入の試験を900m深で実施している。

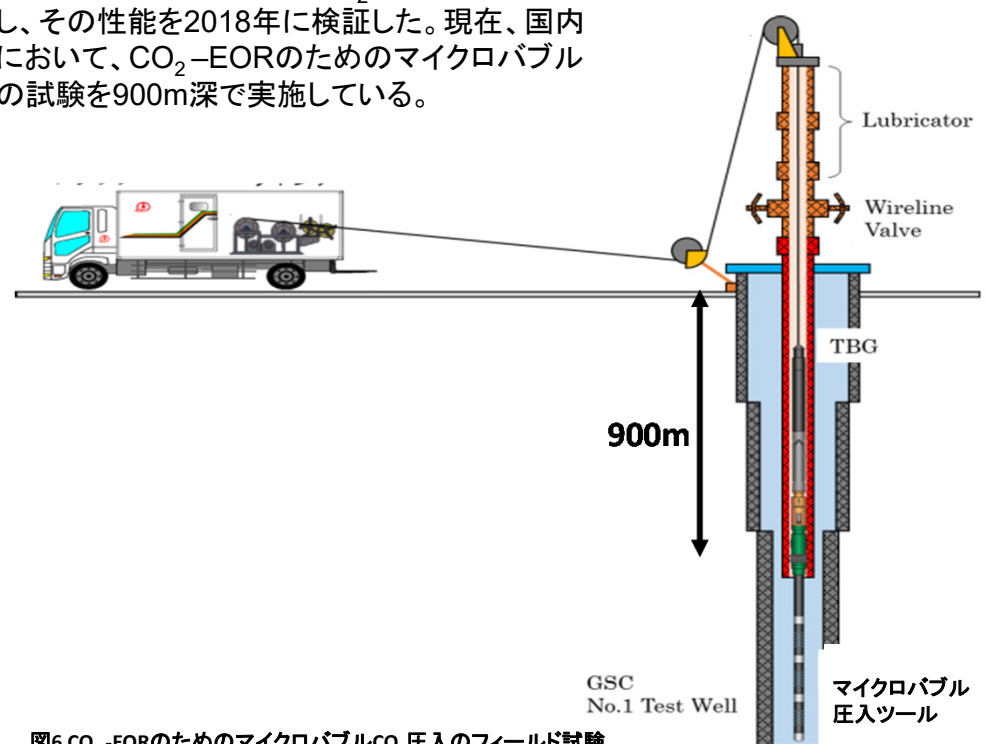


図6 CO<sub>2</sub>-EORのためのマイクロバブルCO<sub>2</sub>圧入のフィールド試験

本ポスターは、東京ガス株式会社との共同研究、および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)の委託業務から得られた結果に基づいたものです。

# CO<sub>2</sub>地中貯留での 光ファイバーによる地層安定性モニタリング

CO<sub>2</sub>地中貯留の安全性評価として、温度、圧力に加えて地層変形(ひずみ)を地表から地下まで連続的にモニタリングすることが考えられる。RITEでは、光ファイバーセンシングを用いた地層変形(ひずみ)の計測技術について研究開発を行っている。坑井と地層との間に充填されるセメント内に効率良く挿入・設置する必要がある。また、貯留層内のCO<sub>2</sub>の位置を確認するための経済的な弾性波計測技術(Distributed Acoustic Sensing: DAS計測技術)への展開も検討している。

## 1. 背景

アルジェリアのCO<sub>2</sub>貯留サイト(In Salah)では、CO<sub>2</sub>圧入井周囲の地表隆起が報告されている。間隙水圧の上昇により貯留層が変形し、その影響が地表に及んだ可能性がある。貯留層の変形が大きくなると、上位の遮蔽層の安全性に影響を与える。そのため貯留層～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である。分散型センサー技術の開発により、計測点の限られていた従来法の改良を図る。

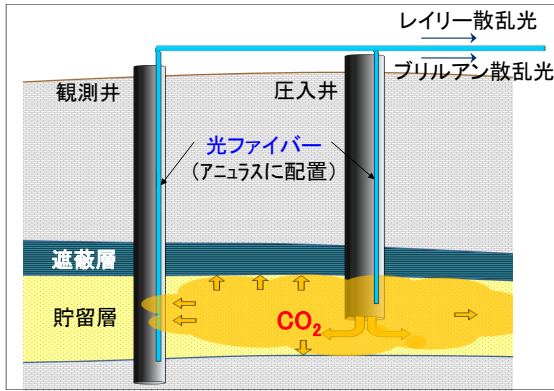


図-1 光ファイバーによる地層変形監視のイメージ

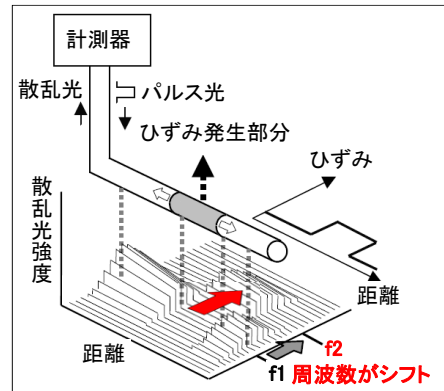


図-2 ひずみ分布計測概念図(ブリルアン)

## 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。2種類の光ファイバーにより、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各計測項目の分離が可能となった。

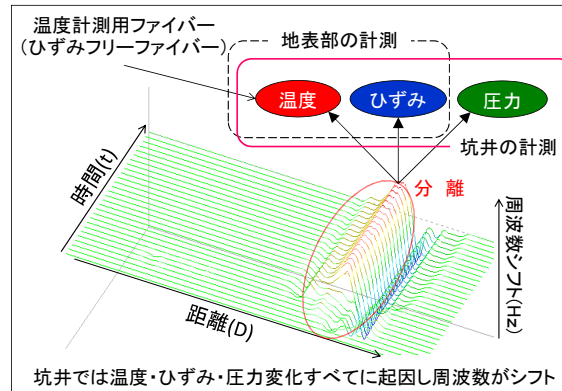


図-3 周波数シフトに含まれる物理量

> 2本のファイバーでブリルアン( $v_B$ )とレイリー( $v_R$ )を計測(4つのデータセット)  
 > 温度、圧力、ひずみの3つのパラメータに対して式が4つあり解が求まる

$$\Delta v_B^1 = C_{11}^1 \Delta \epsilon + C_{12}^1 \Delta T + C_{13}^1 \Delta P$$

$$\Delta v_R^1 = C_{21}^1 \Delta \epsilon + C_{22}^1 \Delta T + C_{23}^1 \Delta P$$

$$\Delta v_B^2 = C_{11}^2 \Delta \epsilon + C_{12}^2 \Delta T + C_{13}^2 \Delta P$$

$$\Delta v_R^2 = C_{21}^2 \Delta \epsilon + C_{22}^2 \Delta T + C_{23}^2 \Delta P$$

図-4 温度・圧力・ひずみ分離手法(特許)

## 3. 現場試験—深度300m坑井でのパイロットテスト

深度300mの坑井を利用して、光ファイバーの設置と地層変形の計測のためのパイロットテストを行った。ケーシングプロテクタとクランプを工夫して、光ファイバーをケーシングと地層との数センチ程度のアニュラスに損傷なく設置することに成功した。

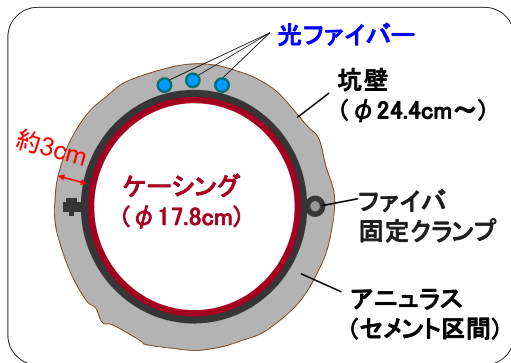


図-5 光ファイバーの設置概念図、ファイバー固定用クランプ、カップリングプロテクター



CO<sub>2</sub>圧入量の増加に伴うひずみの増加を計測できた。

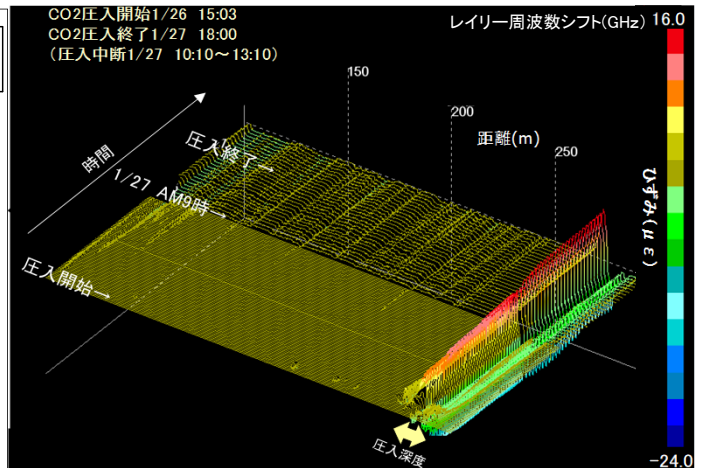
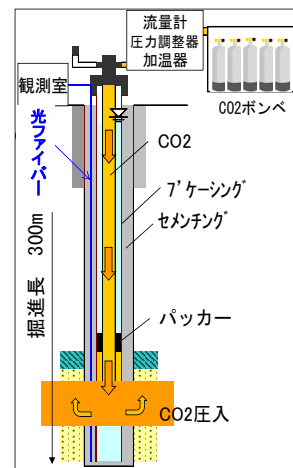


図-6 CO<sub>2</sub>圧入時の地層変形

## 4. 揚水による地層変形の計測試験

地下水の汲上げで生じる地層変形を、ケーシング外側に設置した光ファイバーで計測できるか検証するために、揚水試験を行った。揚水は、光ファイバーを設置した井戸から280m、175m離れた2つの井戸から、それぞれなされた。取水層は深度150～230mの砂がちな砂泥互層である。揚水によっても帯水層のわずかな変形を圧縮ひずみとして光ファイバーで計測することに成功した。

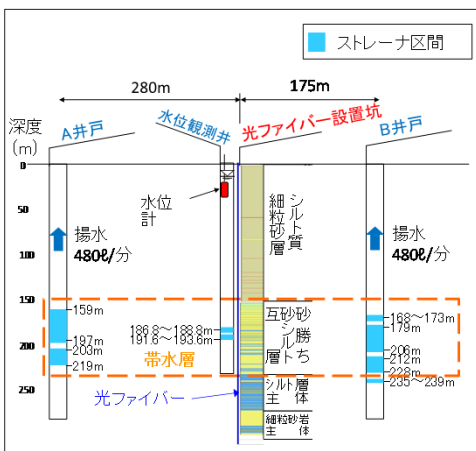
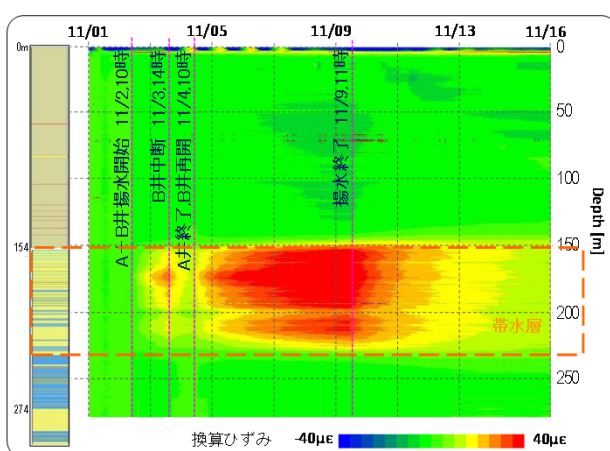


図-7 揚水時の地層変形結果



## 5. 弾性波の計測試験

光ファイバーには、分散型音響センシング(DAS)の機能もあり、地下に溜められたCO<sub>2</sub>の位置を確認するための弾性波探査技術への展開を検討している。従来使用しているジオフォンに比べて光ファイバーでは、波形記録にノイズを多く含むものの、P波初動を追跡できることが確認できた。光ファイバーが活用できればモニタリングコストの削減が期待できる。

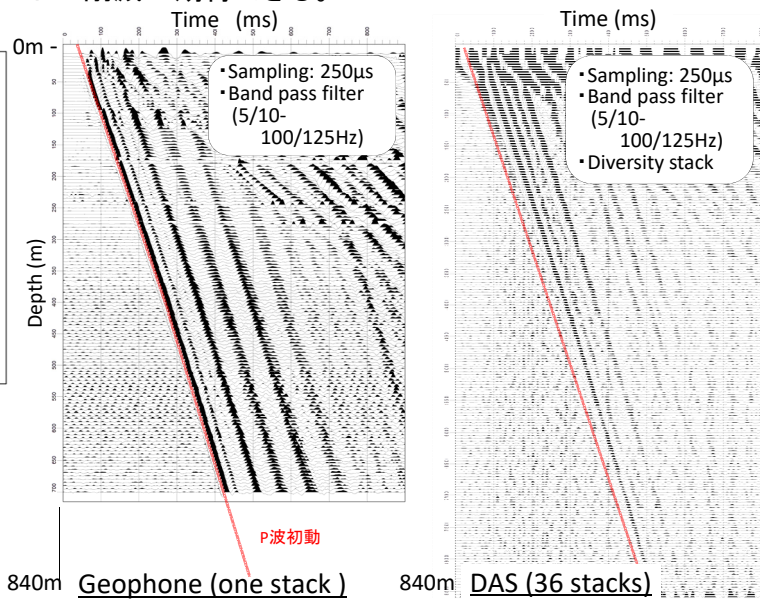
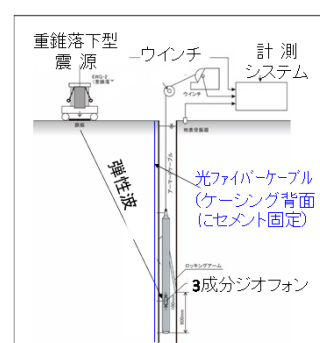


図-8 ジオフォンと光ファイバーDASの波形記録の対比

本ポスターは、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)の委託業務から得られた成果に基づいたものです。