

◆ CCS Technical Workshop 2017 ◆

我が国のCO₂地中貯留技術
実用化研究開発の取り組み

二酸化炭素地中貯留技術研究組合・技術部長

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
CO₂貯留研究グループリーダー

せつ じきゅう

薛 自求

Ziqiu Xue (xue@rite.or.jp)



目 次

- **大規模CO₂地中貯留実用化研究開発**
 - ✓ 技術研究組合の**取り組み**及びその**役割**
- **マイクロバブルCO₂圧入・貯留技術開発**
 - ✓ 微細気泡化によるCO₂溶解促進、掃攻効率改善による貯留効率向上
- **海域帯水層貯留の海洋環境影響評価**
 - ✓ 音響測定技術による漏出CO₂気泡検知

二酸化炭素地中貯留技術研究組合の概要

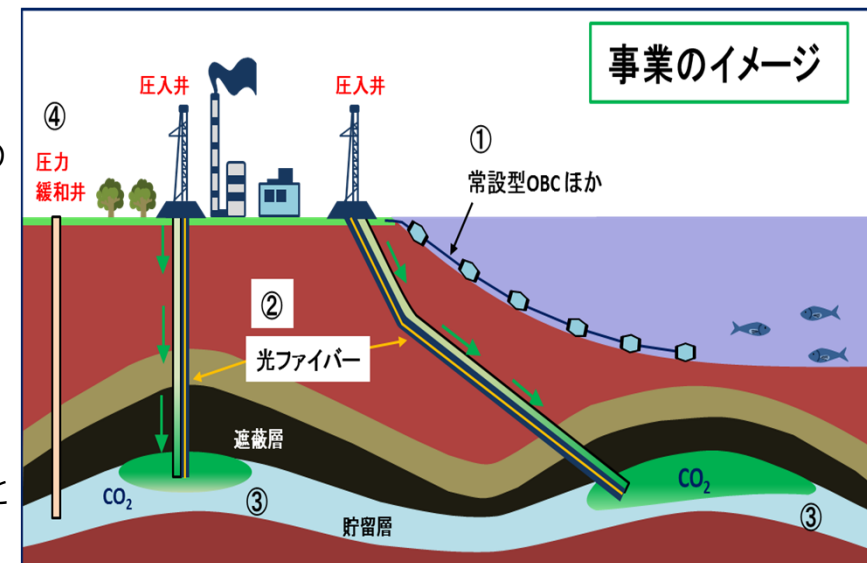
- ・ **設立年月日**：平成28年4月1日
- ・ **理事長**：山地憲治
- ・ **組合員**：（4企業、1国立研究開発法人、1公益財団法人）
石油資源開発（株）、大成建設（株）、国際石油開発帝石（株）、応用地質（株）、
国立研究開発法人**産業技術総合研究所、**公益財団法人**地球環境産業技術研究機構**
- ・ **所在地**：京都府木津川市木津川台9-2

○組合設立の目的

CCSは地球温暖化対策の重要な温暖化対策技術として、国内外に認識されているが実用化に当っては、**安全かつ大規模・効率的**なCO₂貯留技術の実現が必須である。当組合では我が国の貯留層に適した**実用化規模**（100万吨/年）でのCO₂貯留技術を開発するとともに、CCSの**社会受容性の獲得**やCCS技術の**海外展開**を志向した研究開発を行う。

○実用化の方向性

エネルギー基本計画（H26年4月閣議決定）において、「2020年頃のCCS技術の実用化を目指した研究開発」等を推進することとされており、当組合では、**実証規模での研究成果をベース**とし、実用化規模へのup-scalingに係る**(1) CO₂圧入・貯留の安全管理技術の確立、(2) 大規模貯留層有効圧入・利用技術の確立、(3) CCS普及環境整備・基準の整備**を行い、地球温暖化対策としてのCCS促進に寄与する。

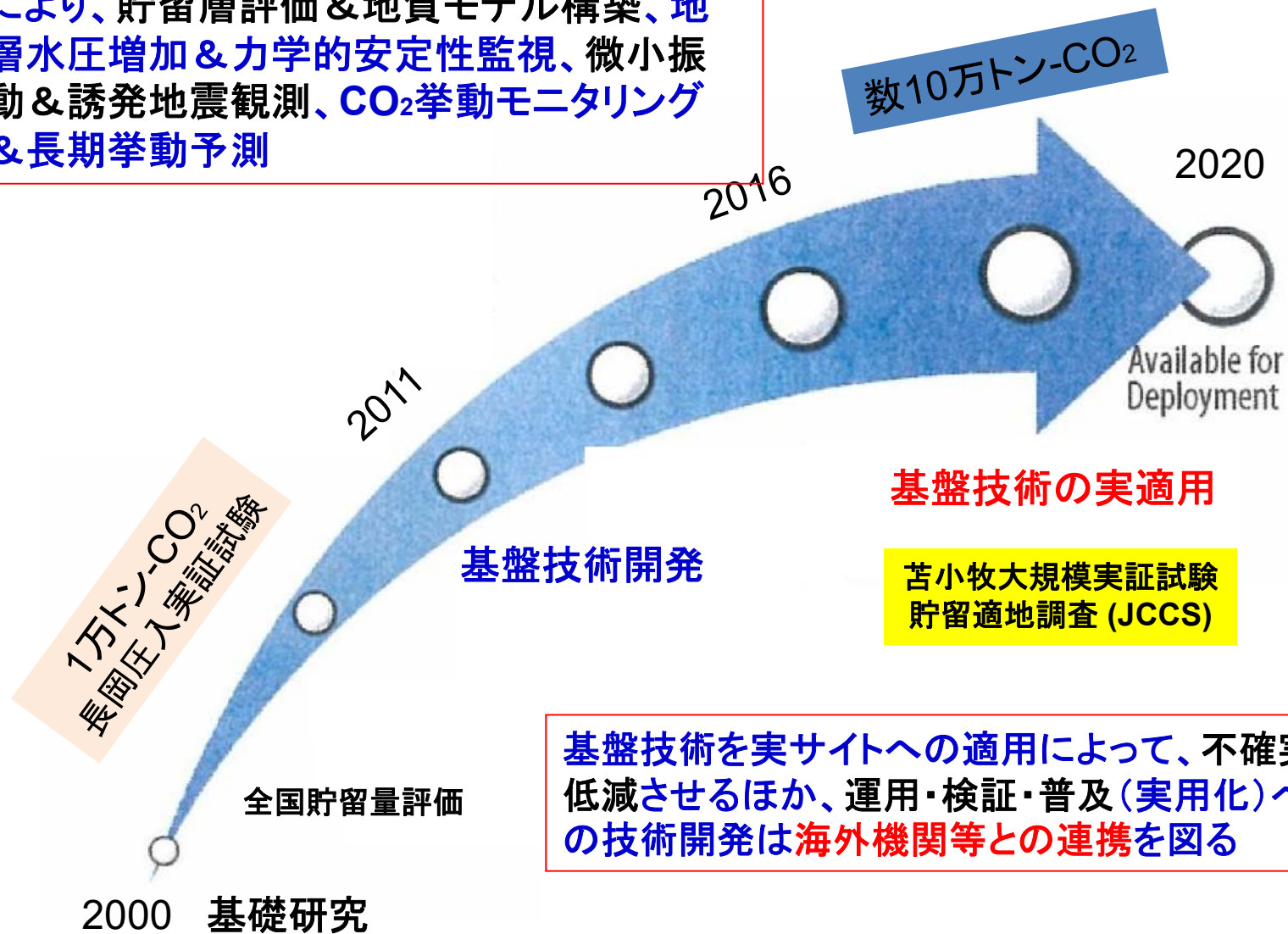


- ① 自然地震や微小振動観測結果を基に、ATLSによる圧入安全管理
- ② 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視
- ③ 圧入中のCO₂挙動モニタリングを基に、圧入後の長期挙動予測
- ④ CO₂圧入井や圧力緩和井の最適配置及び貯留率向上
- ⑤ CO₂貯留安全管理プロトコル（IRP）の構築

H29年度事業計画

研 究 課 題		実施組合員
(1)大規模CO ₂ 圧入・貯留の安全管理技術の開発	①圧入安全管理システムの開発	RITE、JAPEX、INPEX
	②CO ₂ 長期モニタリング技術の確立	AIST
	③大規模貯留層を対象とした地質モデル構築、貯留層評価	RITE、JAPEX、応用地質
	④大規模貯留層に適したCO ₂ 挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立	RITE、AIST、大成建設、応用地質
	⑤光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発	RITE、AIST、JAPEX、INPEX
	⑥CO ₂ 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築	RITE
(2)大規模貯留層の有効圧入・利用技術の開発	① CO ₂ 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立	RITE、大成建設
	② CO ₂ 溶解促進技術の適用による貯留効率向上	RITE、JAPEX
(3)CCS普及条件の整備、基準の整備	① CO ₂ 貯留安全管理プロトコル(IRP)の整備	RITE
	② 苫小牧実証データの提供による技術事例集の作成、海外機関との連携	RITE
	③ 社会受容性の向上、国際標準化との整合	RITE

貯留層規模／CO₂圧入規模のUp-scaling
により、貯留層評価&地質モデル構築、地
層水圧増加&力学的安定性監視、微小振
動&誘発地震観測、CO₂挙動モニタリング
&長期挙動予測



絶対的にクリアすべき技術か、より良くする技術か

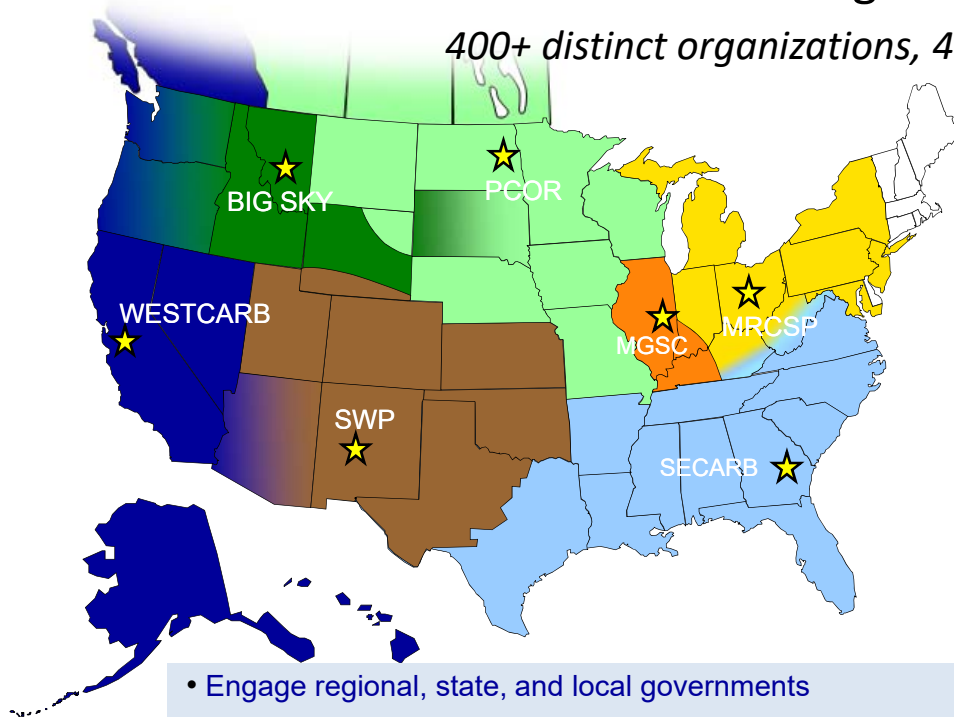
米国DOE/NETL主導の研究開発プロジェクト

Regional Carbon Sequestration Partnerships

Developing the Infrastructure for Wide Scale Deployment

Seven Regional Partnerships

400+ distinct organizations, 43 states, 4 Canadian Provinces



- Engage regional, state, and local governments
- Determine regional sequestration benefits
- Baseline region for sources and sinks
- Establish monitoring and verification protocols
- Validate sequestration technology and infrastructure

Characterization Phase (2003-2005)

Search of potential storage locations and CO₂ sources

Found potential for 100s of years of storage

Validation Phase (2005-2011)

20 injection tests in saline formations, depleted oil, unmineable coal seams, and basalt

Development Phase (2008-2018+)

8 large scale injections (over 1 million tons each)

Commercial scale
understanding and validation

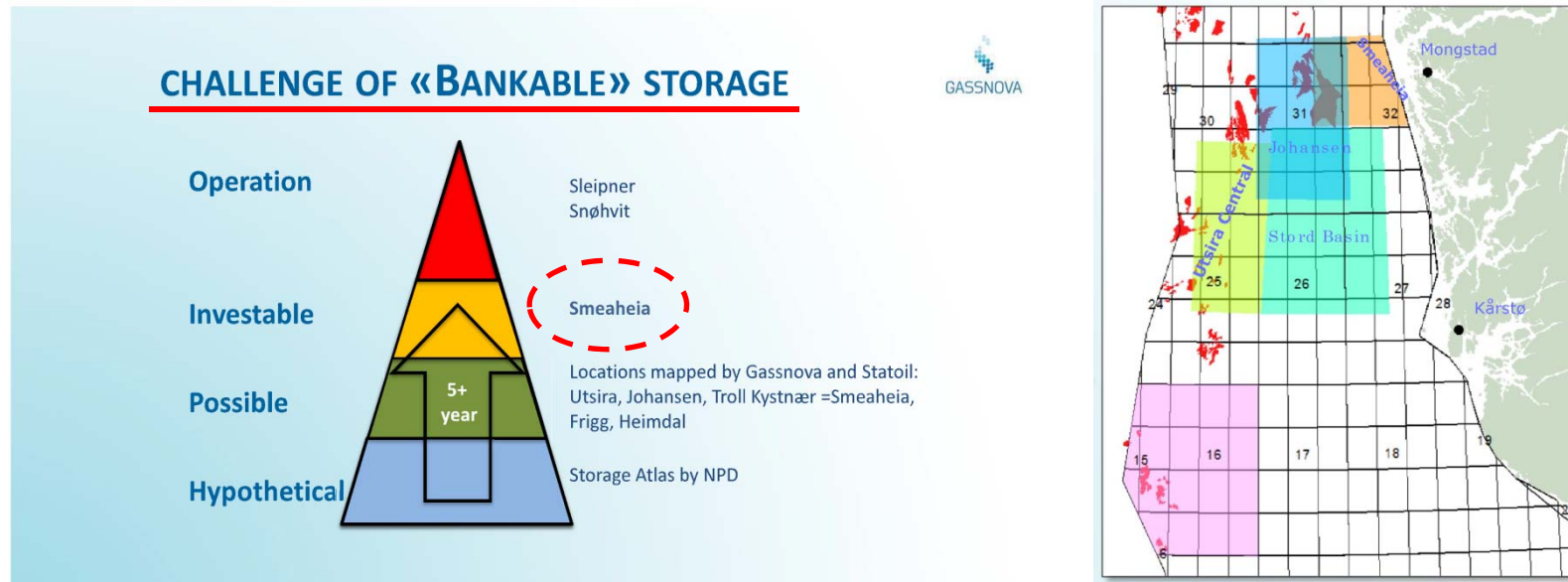
High Level Carbon Storage Program Goals (Current Goals)

- 永久的・経済的・安全に (permanently, **economically** and safely)
- 貯留効率UP (improve reservoir **storage efficiency**)
- 貯留量評価 (predict storage capacity within **±30%**)

Carbon Storage R&D Challenges Storage Infrastructure

- 安全に・永久的・費用対効果 (safe, permanent and **cost-effective**)
- 陸域&海域貯留 (onshore and offshore)
- 費用対効果に優れた貯留・**モニタリング技術** (cost-effective integrated tech)
- CO₂-EOR & **貯留層圧力制御技術** (reservoir **pressure management**)
- **効果的なPA/PO** (effective public outreach)

サイト選定、貯留層評価、地質モデリング



- サイト選定において、排出源とのマッチング（輸送距離・手段）、排出量（**圧入総量**）、圧入期間、**海洋環境影響評価**
- サイト特性に適した**圧入計画**（複数の圧入井、圧力緩和井）、マイクロバブルCO₂圧入による**溶解促進**、掃攻効率Upに伴う**貯留効率の向上**

サイト選定、貯留層評価、地質モデリング

ステージ	サイト選定	圧入前評価	詳細設計・建設	CO2圧入	サイト閉鎖後
作業	・広域地質評価 ・広域概念モデル	・基本地質モデル ・詳細地質モデル ・圧入地点決定	・地質モデル更新 ・圧入貯留設計 ・監視範囲決定	・地質モデル更新	・地質モデル更新 ・貯留範囲評価
目的	・構造形態 ・貯留層の広がり ・遮蔽層の広がり	・貯留層評価 ・遮蔽層評価 ・CO2貯留範囲	・圧入貯留計画 ・モニタリング計画	・安全管理 ・不確実性の低減 ・貯留可能量把握	・長期挙動予測 ・安全管理
取得すべき情報等	・地質学的知見 ・既存地質情報 ・2D/3D震探	・調査井 ・試料分析/解析 ・3D震探	・評価井 ・ベースラインデータ	・モニタリングデータ ・4D震探	・モニタリングデータ ・4D震探

コア試料 検層データ

弾性波探査

貯留物性値の信頼性
・解像度

連続性・
空間的範囲

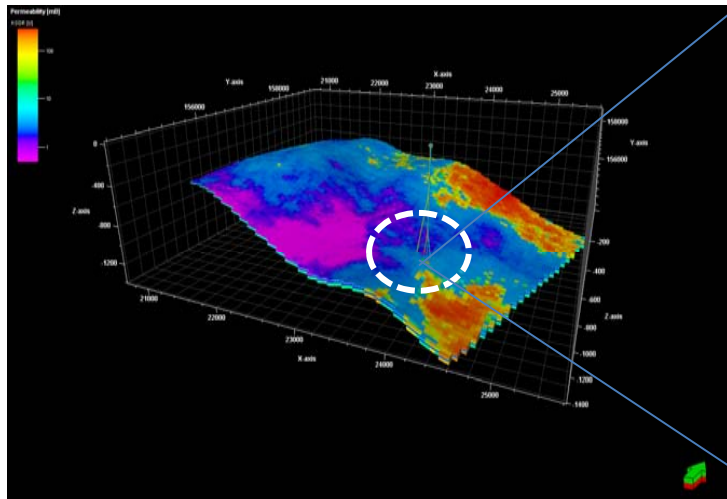
長岡 & 苫小牧プロジェクトから、地質モデルの完成度について学ぶ。

・地質モデルの完成度：CO2地中貯留事業の安全な実施が可能なレベル

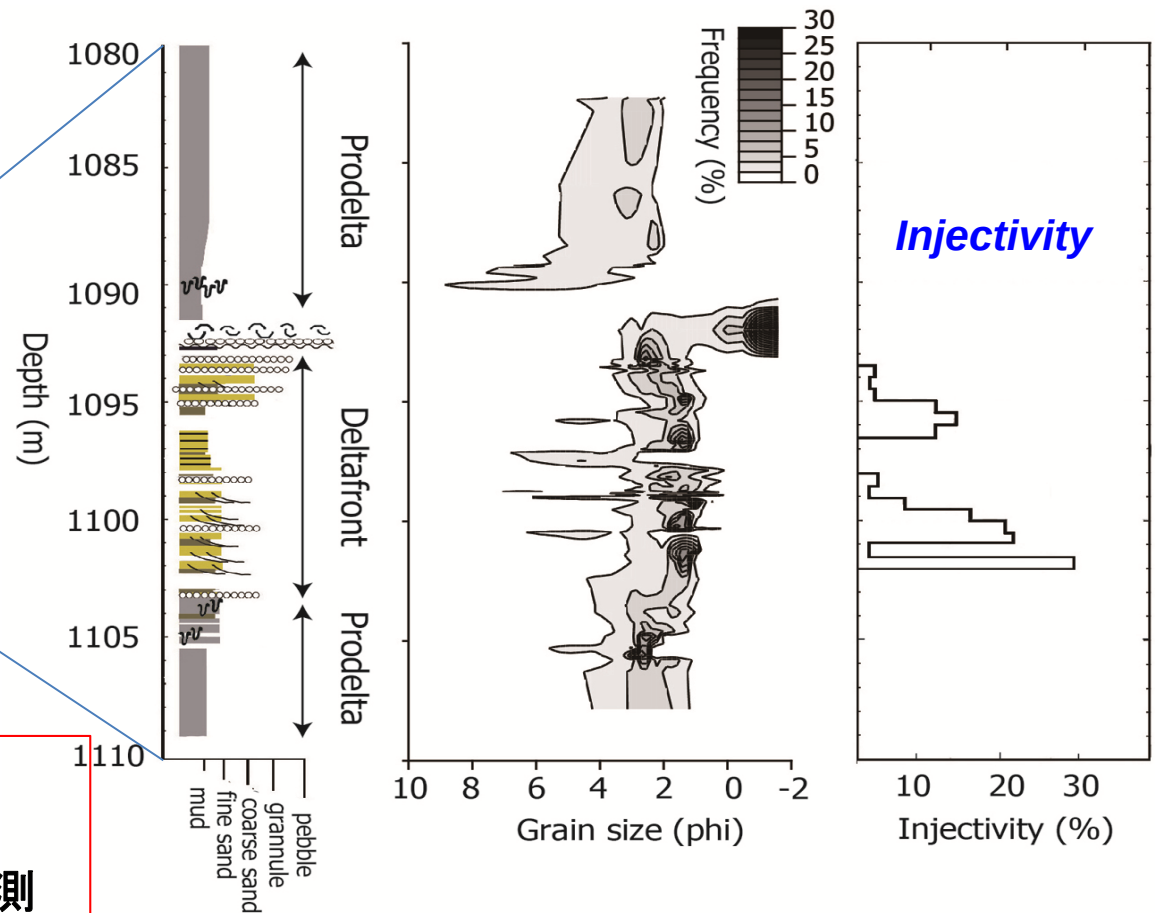
広域への坑井の詳細情報の展開

Local to *Spatial* @Nagaoka Site

貯留層評価・地質モデル構築



CO₂挙動シミュレーション／
ヒストリーマッチング／
長期挙動予測



Integrating aspects from both 3D seismic and sequence stratigraphy

大規模貯留層の地質モデリング@苫小牧から学ぶ



坑井の検層データ(OB-1,-2; IW2) & 弾性波探査 →→→ 萌別層の物性・連続性

目 次

- 大規模CO₂地中貯留実用化研究開発
 - ✓ 技術研究組合の取り組み及びその役割
- 大規模CO₂圧入・安全管理技術開発
 - ✓ 貯留層モデリング、マイクロバブルCO₂圧入、ジオメカニクス解析（光ファイバー）
- 海域帯水層貯留の海洋環境影響評価
 - ✓ 音響測定技術による漏出CO₂気泡検知

掃攻効率
Sweep Efficiency



CO₂ Storage Efficiency in Deep Saline Formations – Stage 2

IEAGHG Technical Report

CO₂ Storage Resources Management System

貯留率の向上



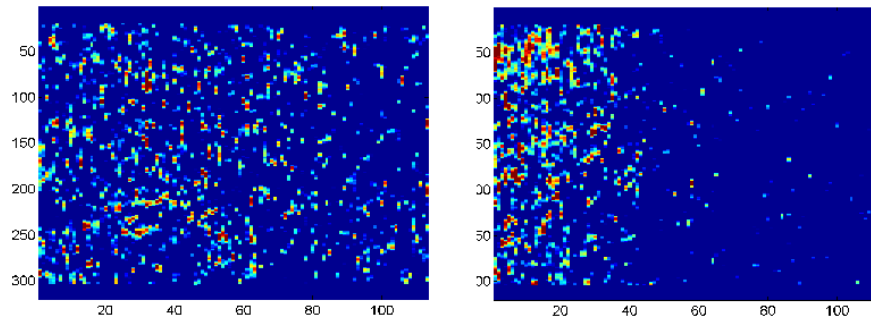
マイクロバブルCO₂圧入

CO₂溶解促進 & 貯留効率向上技術開発

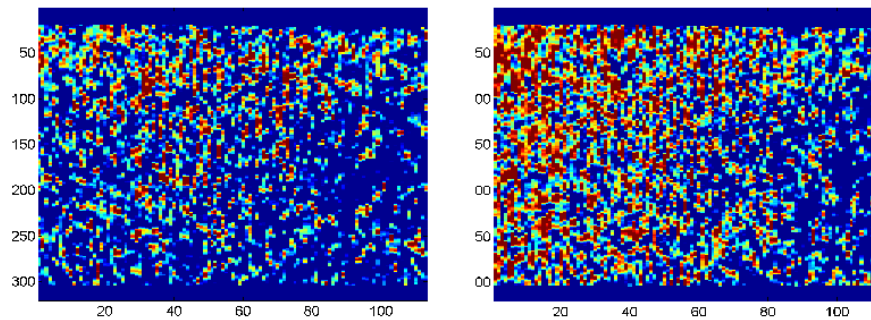
東京ガス(株)／RITEの共同研究

CO₂ distribution
(left: **grooved disc**; right: **special filter**)

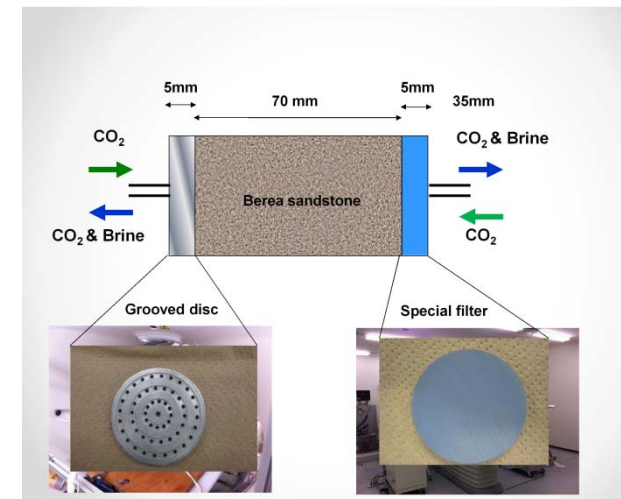
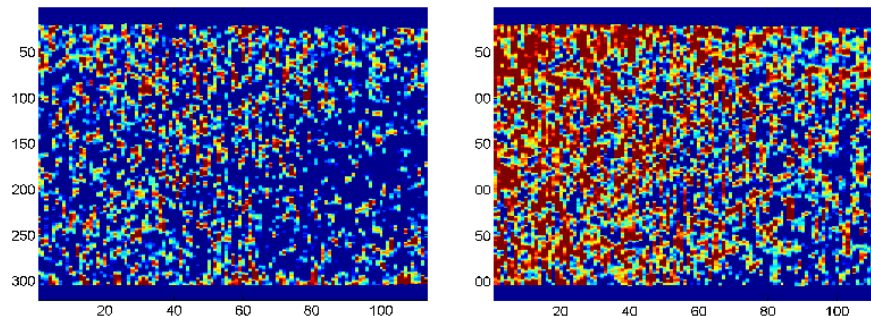
0.045 PV



0.68 PV



8.18 PV

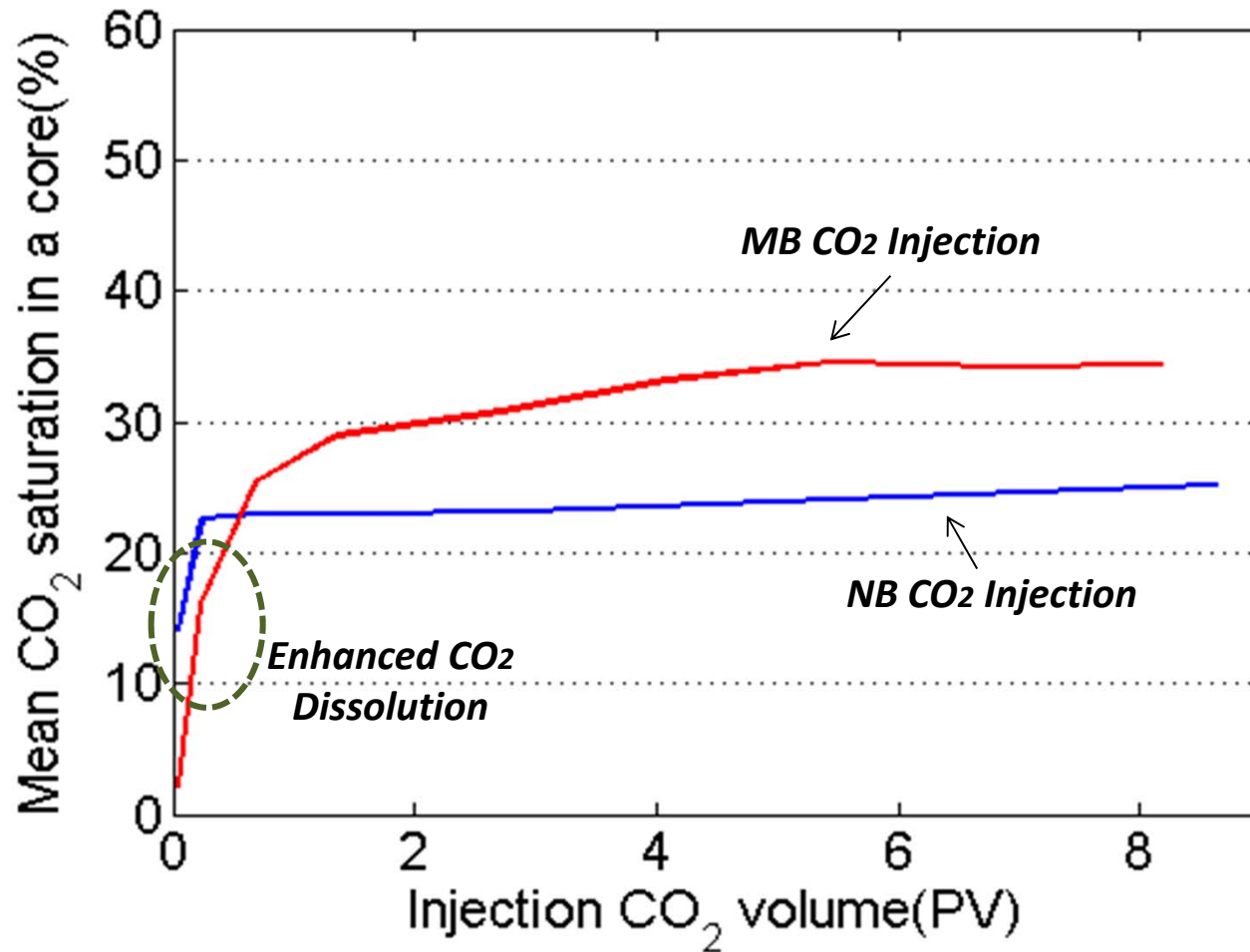


Visualization of MB CO₂ injection using X-CT



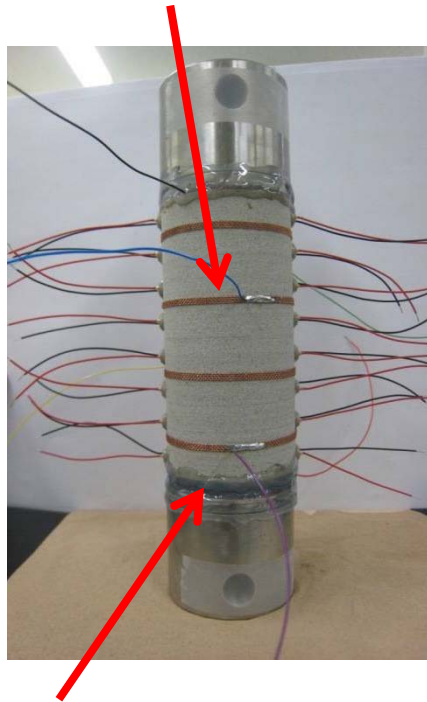
X線CT装置

CO₂ Saturation: NB vs MB Injection



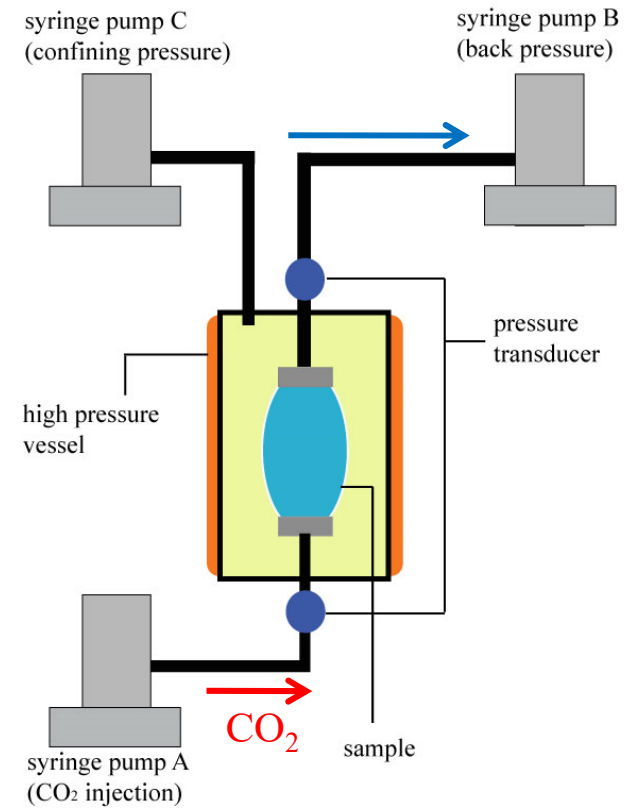
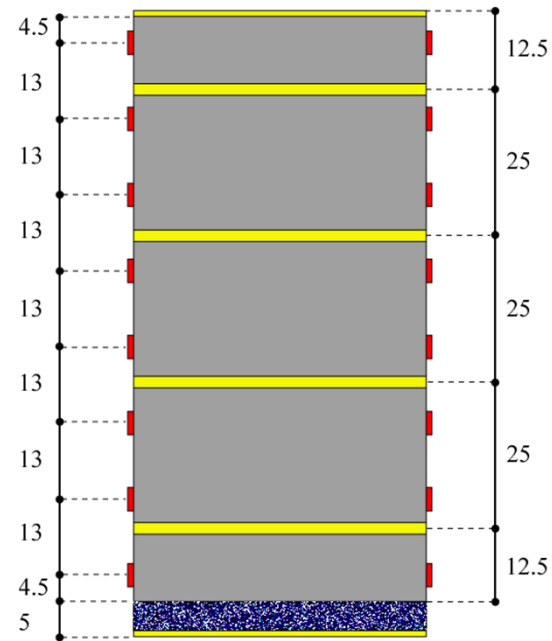
Microbubble CO₂ Injection into Berea Sandstone

Berea sandstone



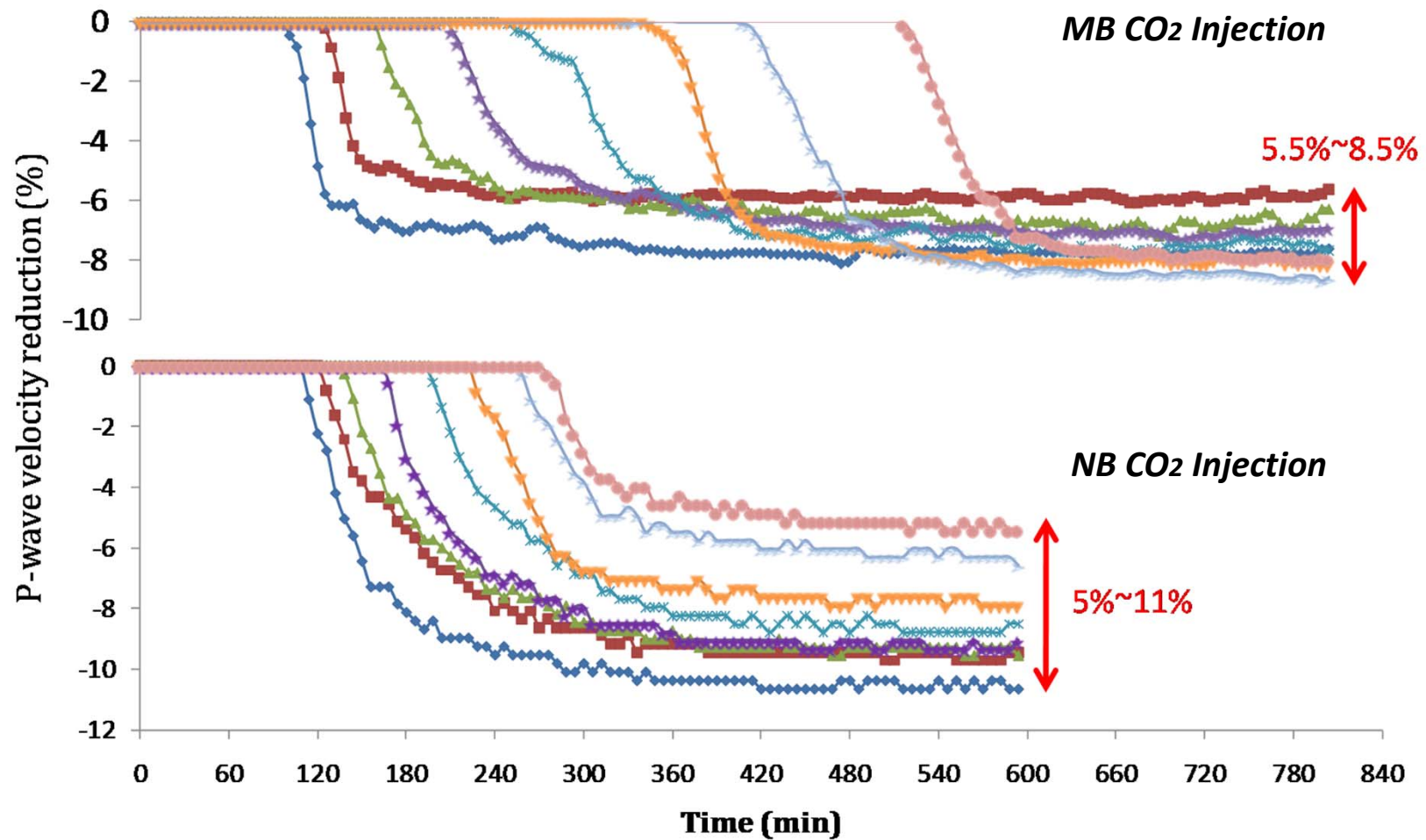
filter

PZT array

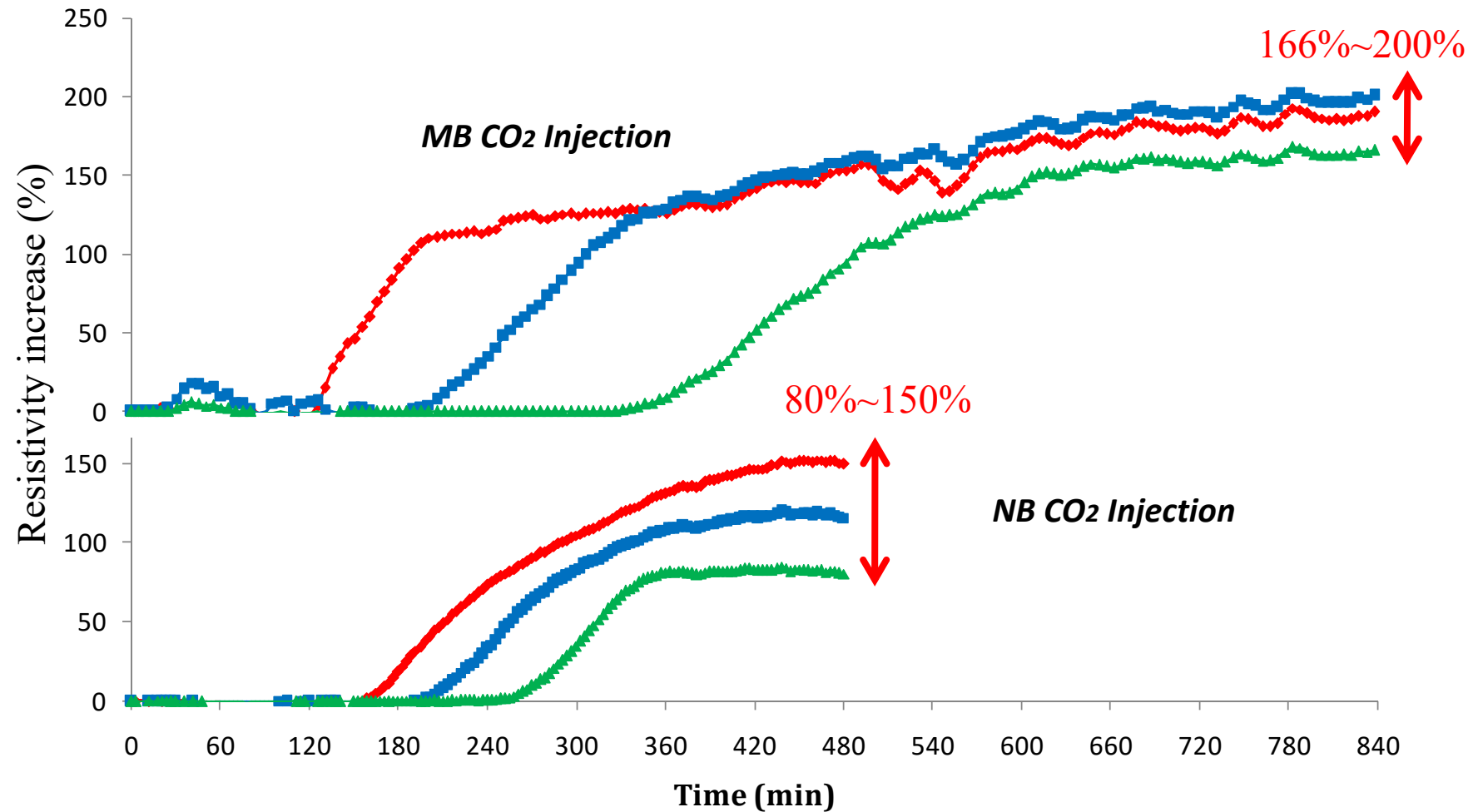


Temperature	40°C
CO ₂ injection pressure	10.05MPa
Back pressure	10MPa

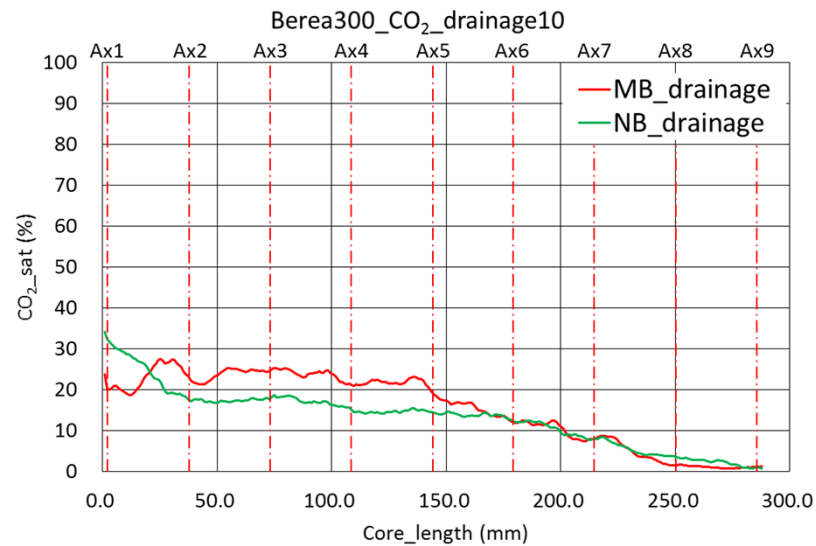
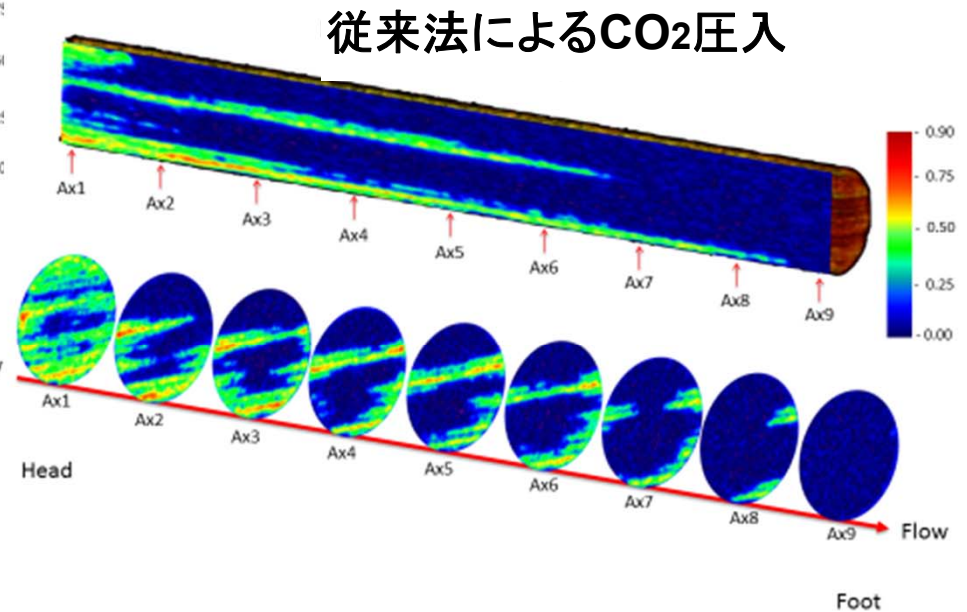
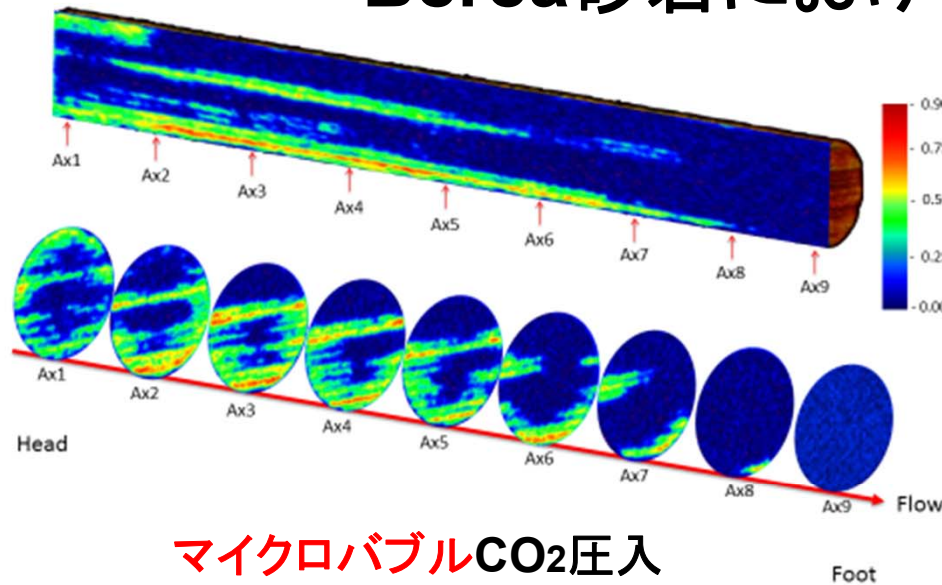
MB Injection vs NB Injection : effects on Vp



MB Injection vs NB Injection : effects on Resistivity



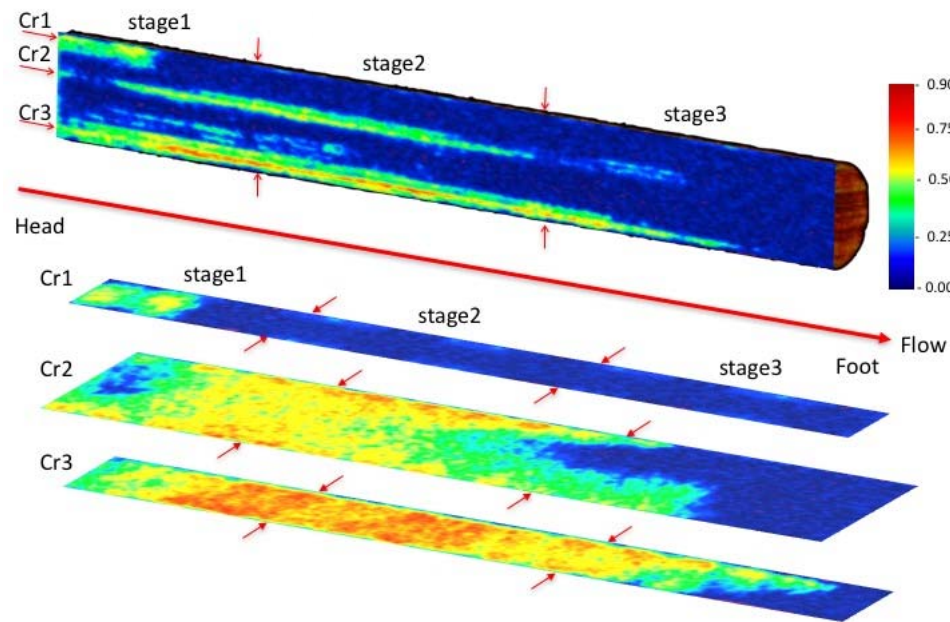
Berea砂岩におけるCO₂浸透挙動の比較



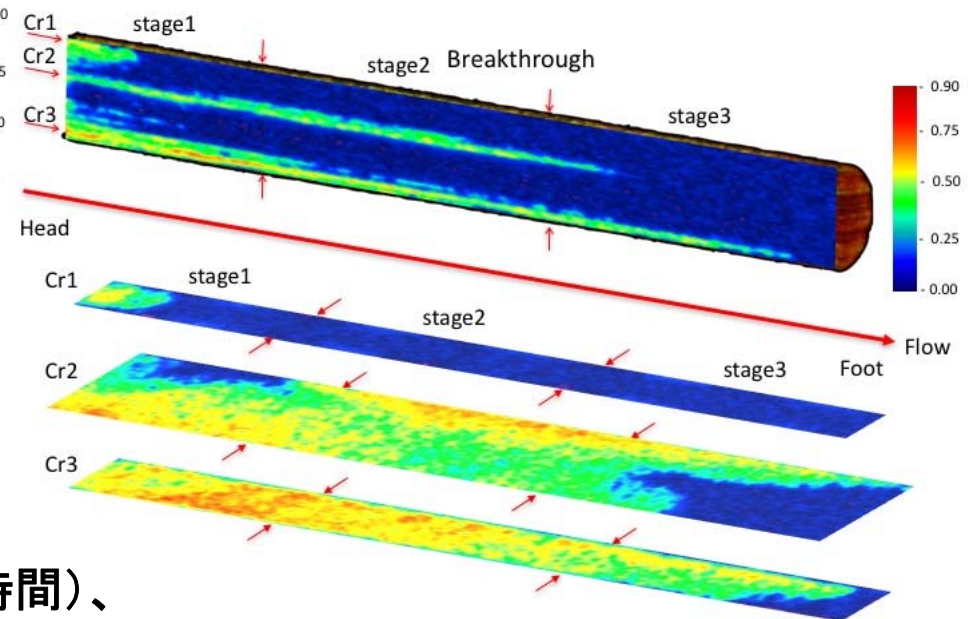
Berea砂岩の長軸方向において
CO₂飽和度(CT値より推定)に差異あり
(Jiang et al., 投稿中)

高浸透性レイヤにおけるCO₂浸透挙動の比較(1/2)

マイクロバブルCO₂圧入



従来法によるCO₂圧入



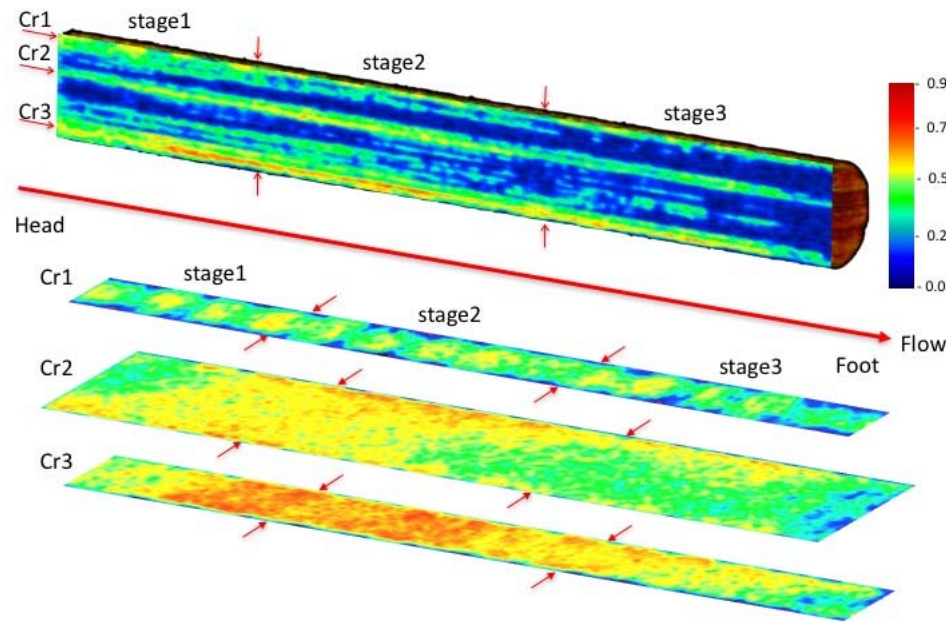
Breakthrough time (排出端までの到達時間)、

CO₂分布や飽和度(暖色系カラー)に差異が認められた。

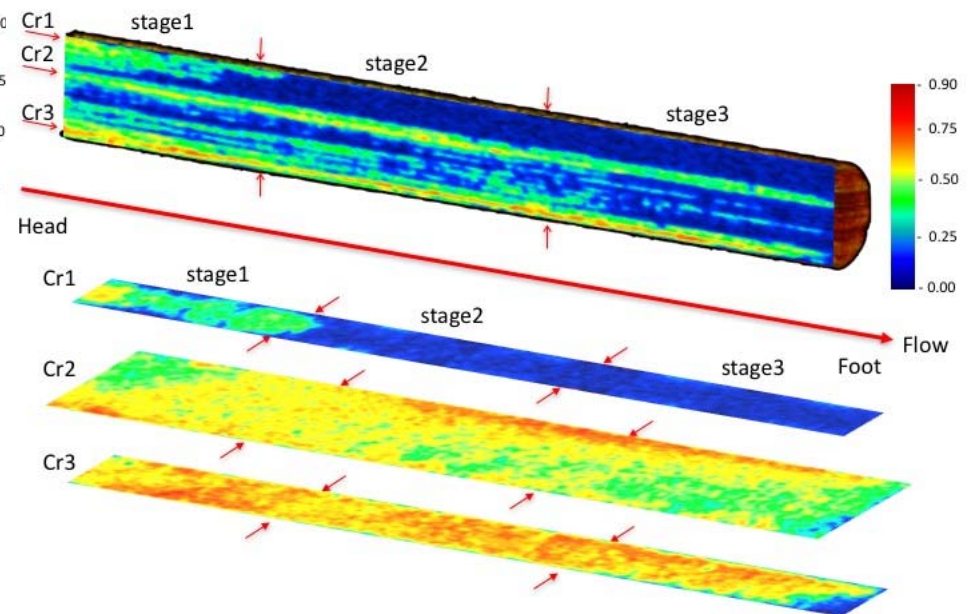
(Jiang et al., 投稿中)

高浸透性レイヤにおけるCO₂浸透挙動の比較(2/2)

マイクロバブルCO₂圧入



従来法によるCO₂圧入



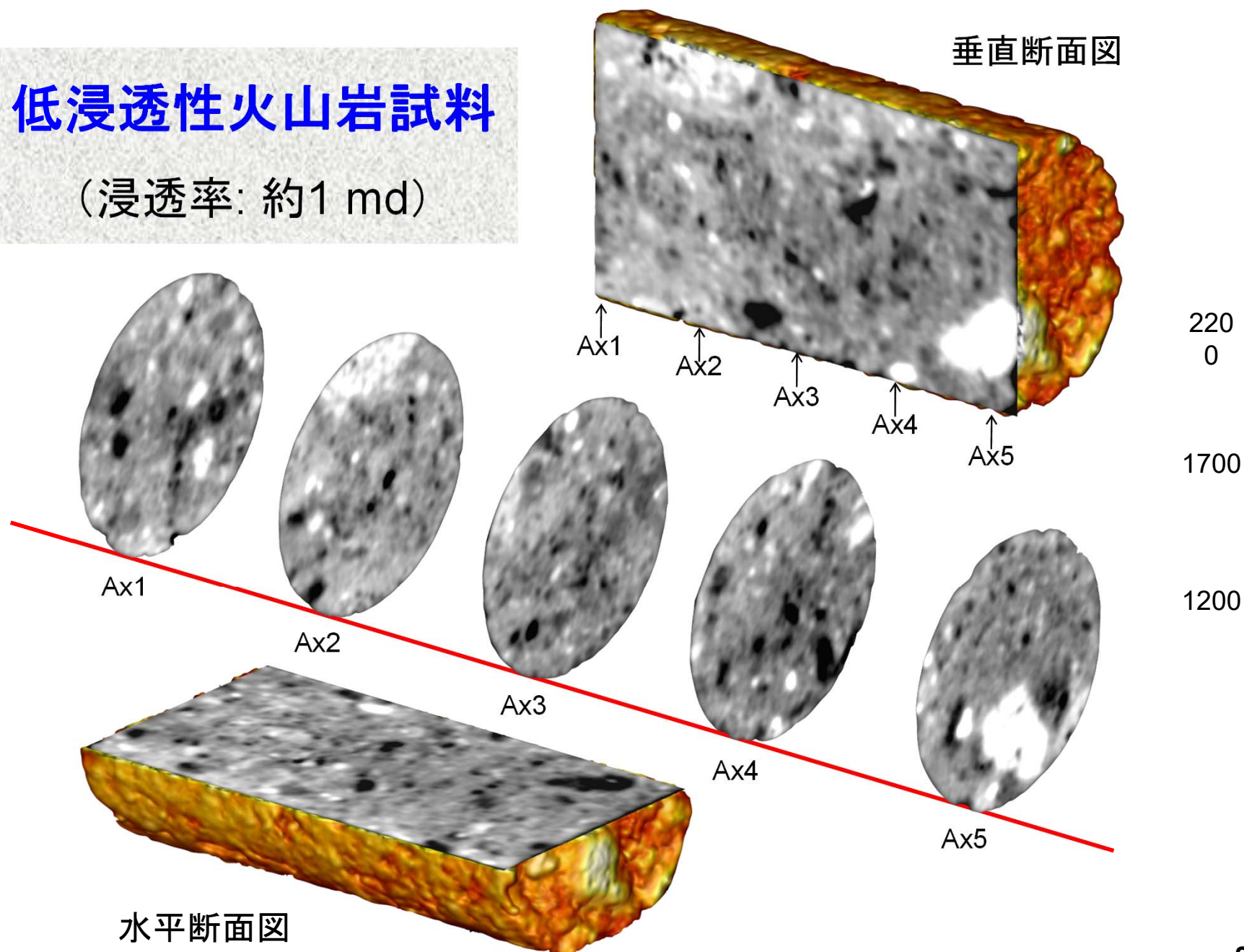
高浸透性レイヤCr1において、

CO₂分布や飽和度(暖色系カラー)に顕著な差異が認められた。

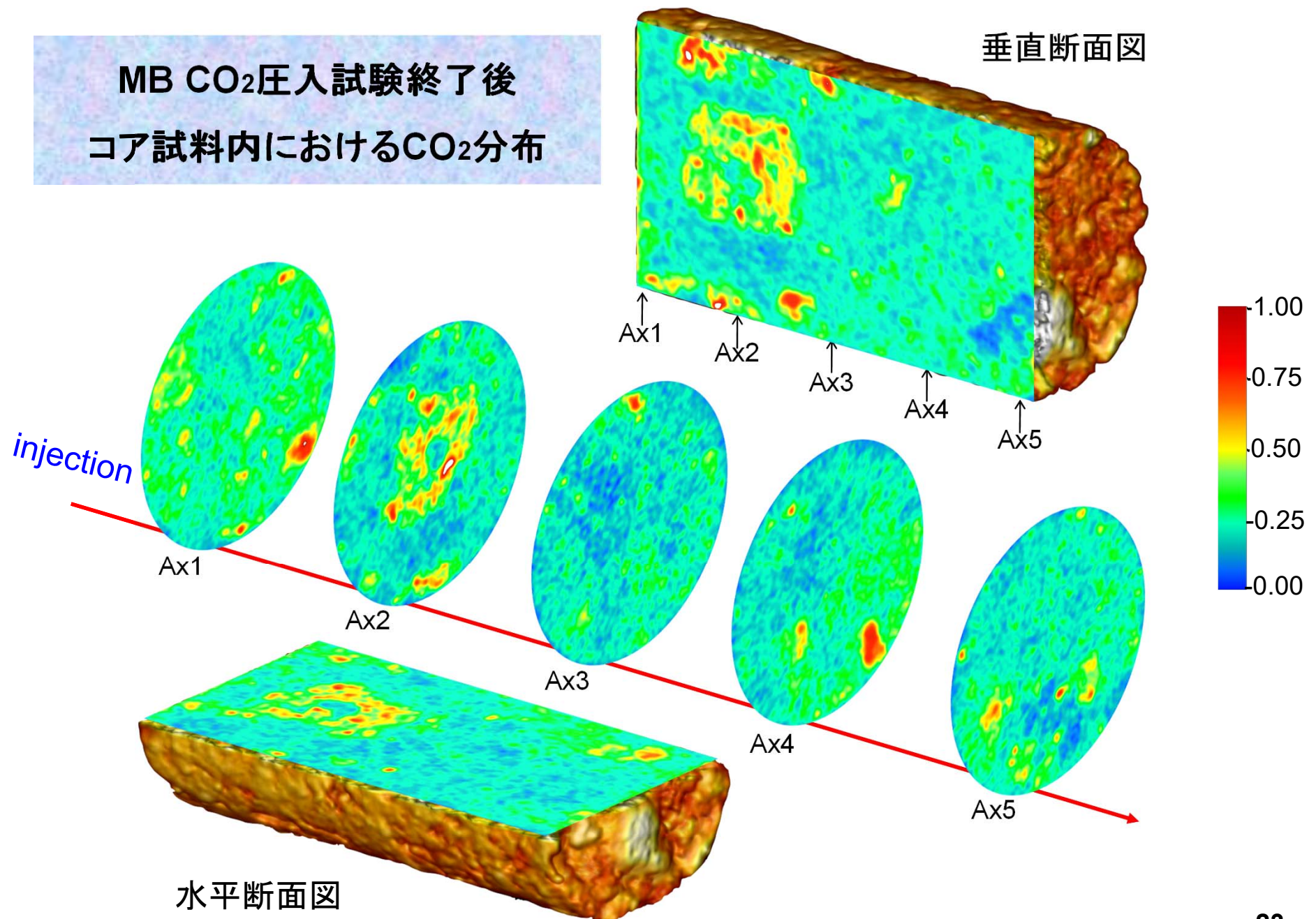
(Jiang et al., 投稿中)

低浸透性火山岩試料

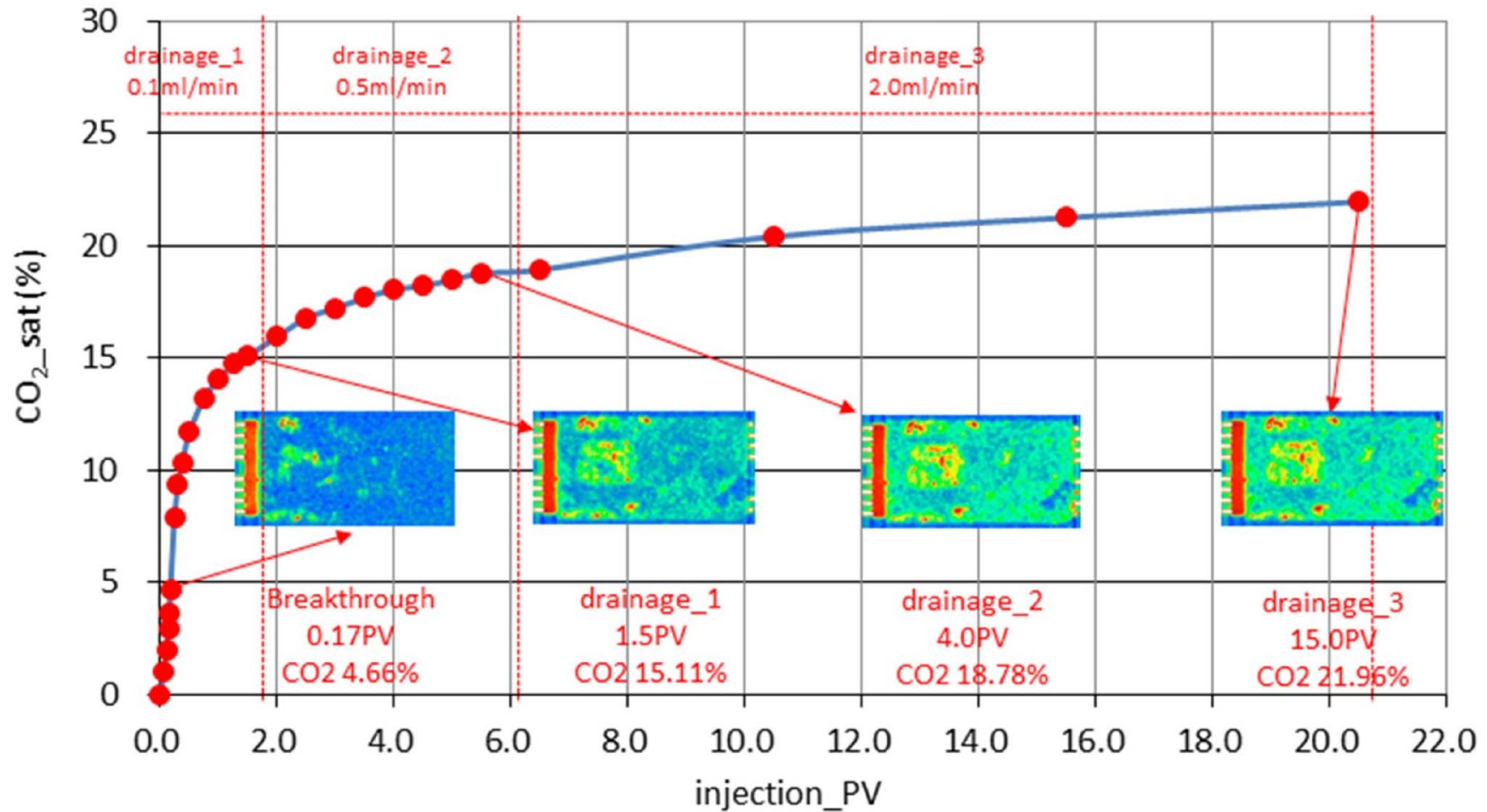
(浸透率: 約1 md)



MB CO₂圧入試験終了後
コア試料内におけるCO₂分布



MB CO₂ Saturation vs Injection Volume



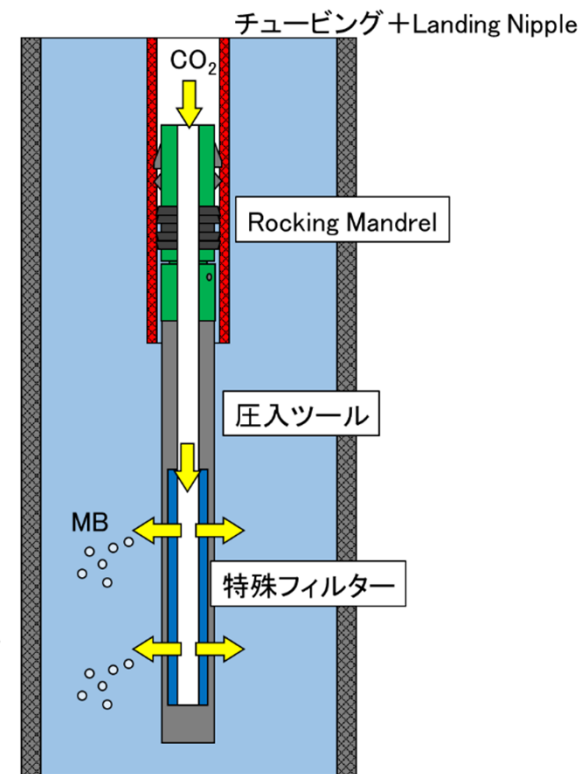
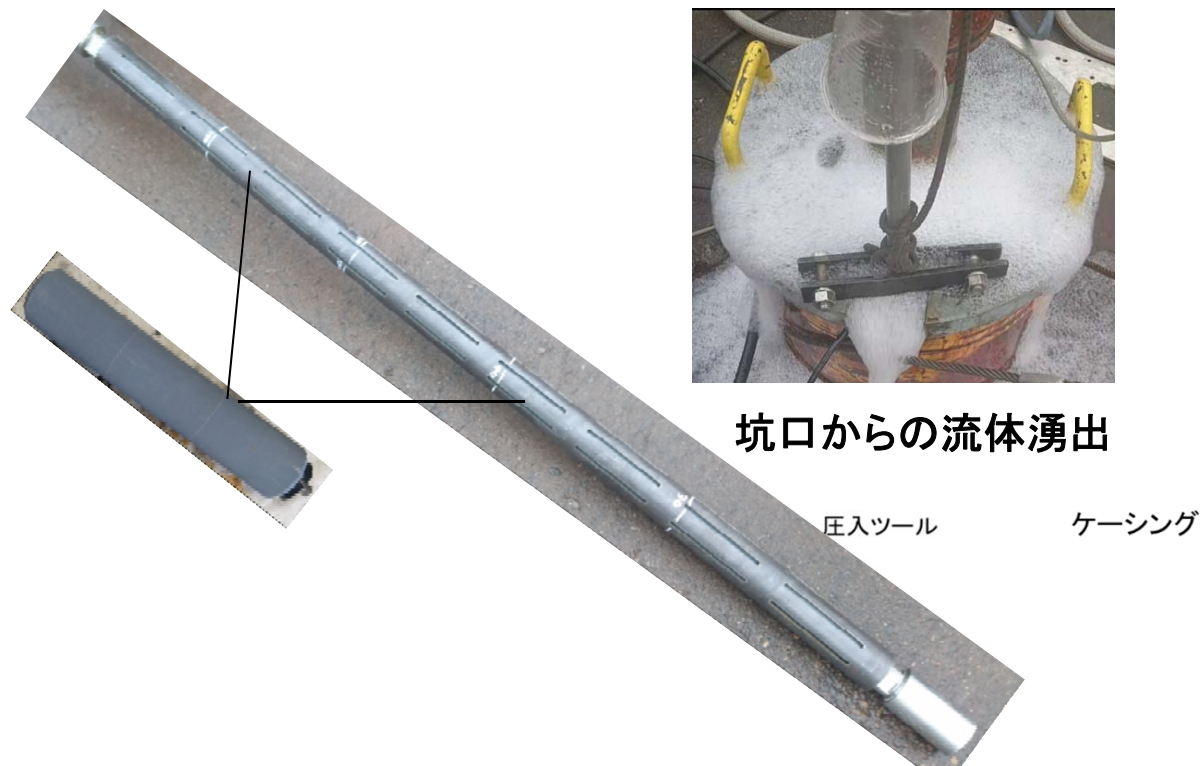
RITE/JAPEX: マイクロバブルツール開発

ツール製作のためのデザイン

- ・ 設置タイプ: リトリバブルタイプ
- ・ 設置場所: チュービング先端
- ・ 設置方法: スリックライン
- ・ 形状: 外筒にスリット。多連続続可。

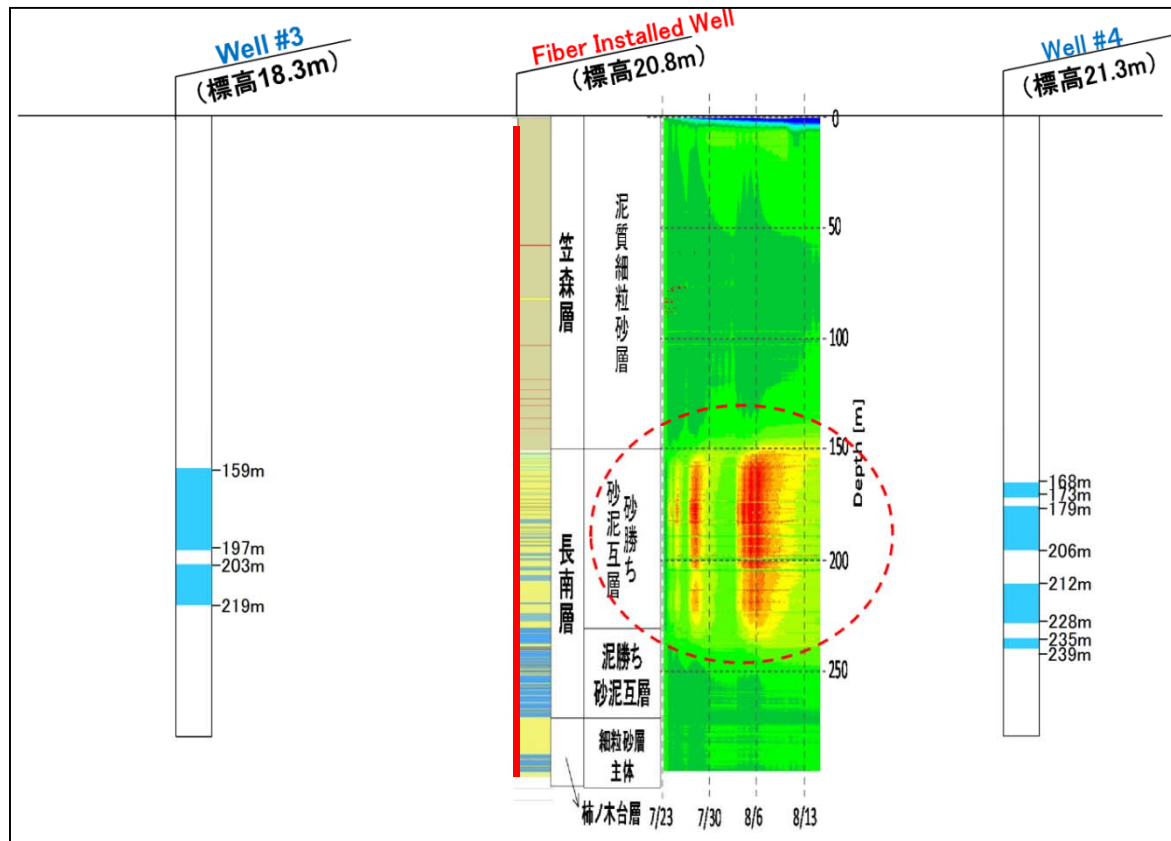
CCSに加えて、EORへ適用も

特許申請準備中

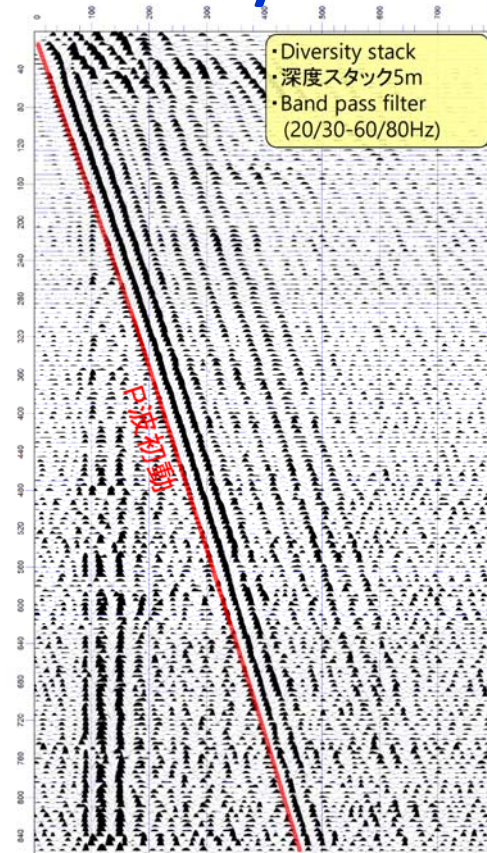


光ファイバーセンシング技術

CO₂圧入時の地層安定性監視



DAS/VSP

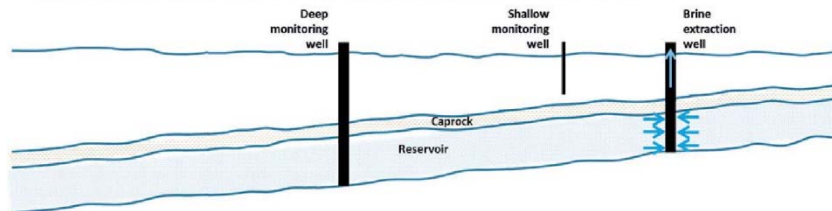


ケーシング背面 (FIMTファイバー)
100回スタック

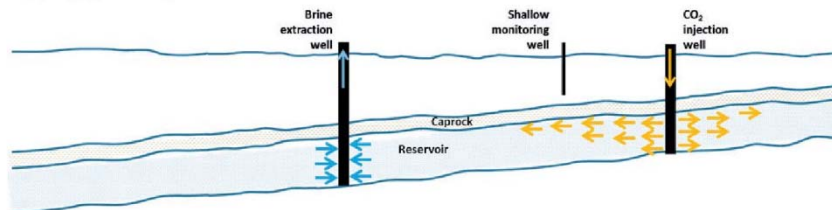
光ファイバーで複数(温度、ひずみ、音波、漏洩)の観測

大規模CO₂圧入 & 複数坑井技術開発(1/3)

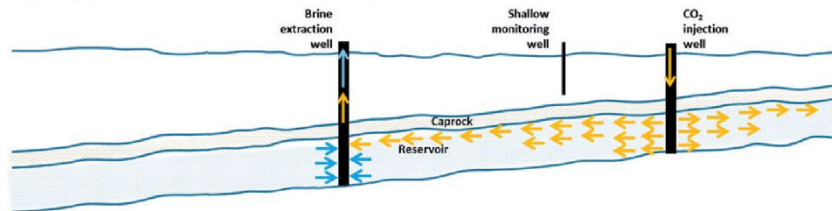
(a) Pre-injection brine-extraction stage with second dual-mode well used for monitoring



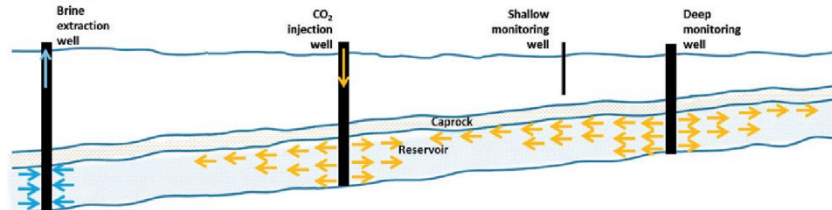
(b) CO₂ injection stage with brine extraction from second dual-mode well



(c) CO₂ injection stage at time of CO₂ breakthrough at second dual-mode well

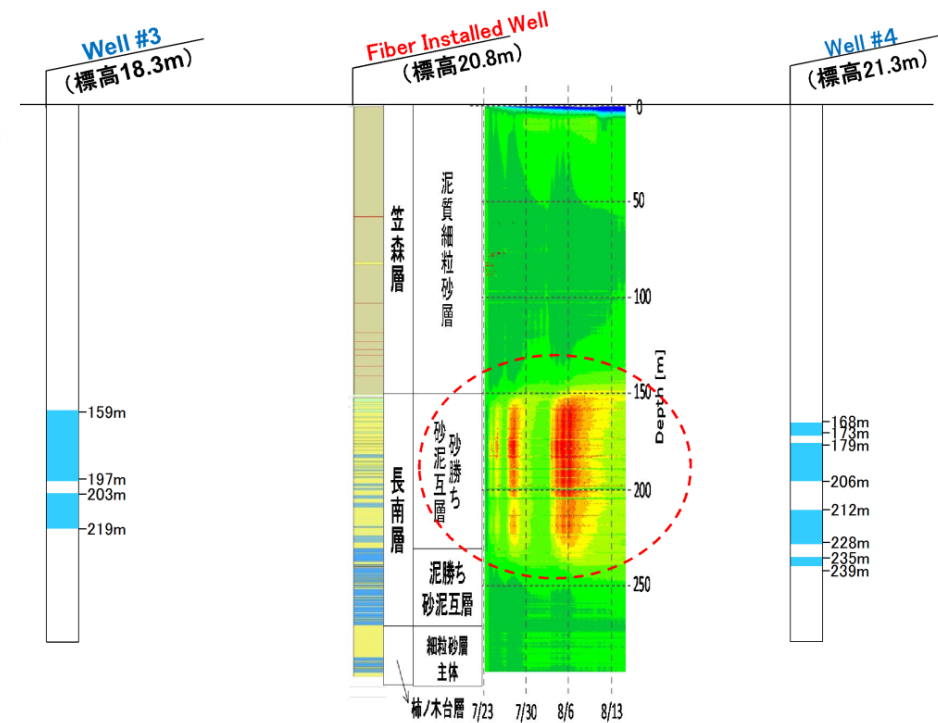


(d) CO₂ injection shifted to second dual-mode well and brine extraction shifted to third dual-mode well



光ファイバー＋複数坑井

技術のintegration & コスト削減

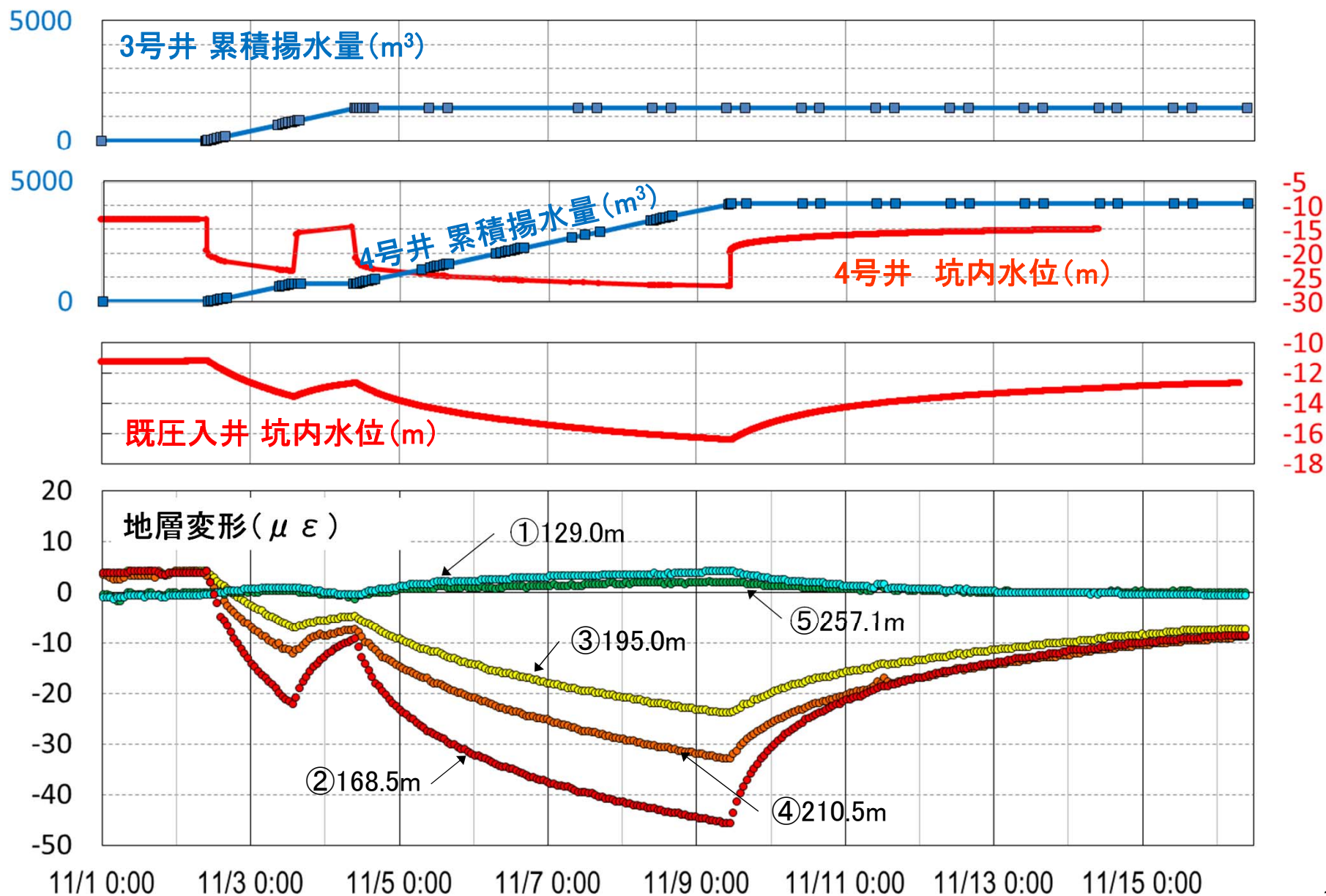


(2/3)

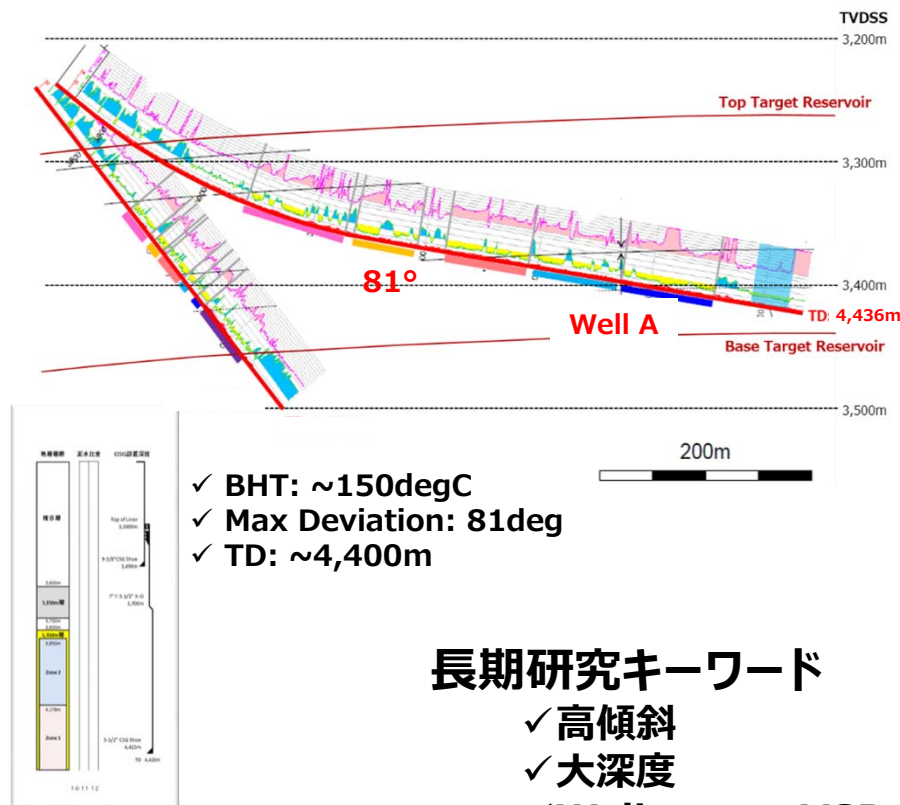
- 計測能力の実証、モニタリングシステム開発に向けた計測・処理の改良と知見の蓄積
- ジオメカニックスモニタリング開発用のデータセット
- 現場での複数圧入井、緩和井配置に関する基礎資料



揚水試験時の地層変形測定事例 (3/3)

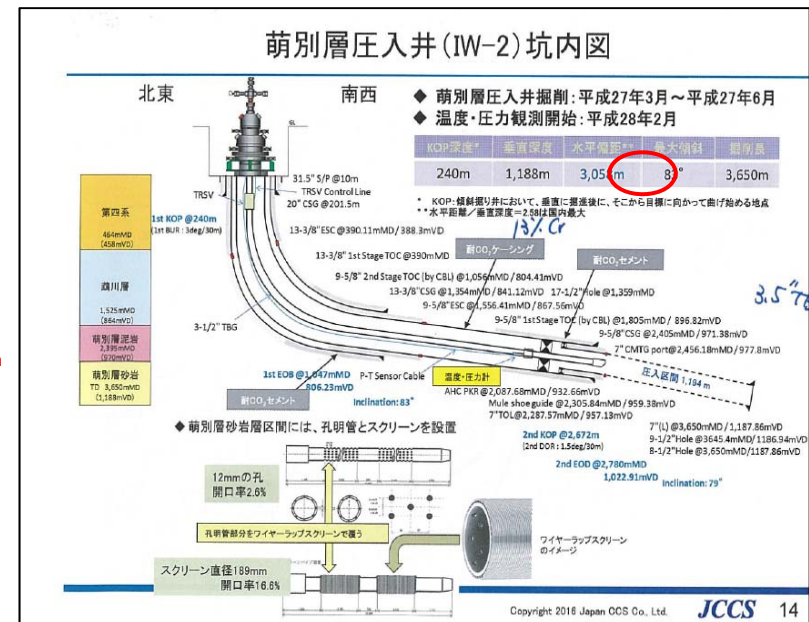


INPEX/RITE: 既存井を利用した 実フィールドDAS/VSP実証試験



長期研究キーワード

- ✓ 高傾斜
- ✓ 大深度
- ✓ Walk-away VSP



で取得したデータの利用法検討
(処理・解析)

目 次

- 大規模CO₂地中貯留実用化研究開発
 - ✓ 技術研究組合の取り組み及びその役割
- 大規模CO₂圧入・安全管理技術開発
 - ✓ 貯留層モデリング、マイクロバブルCO₂圧入、ジオメカニクス解析（光ファイバー）
- 海域帯水層貯留の海洋環境影響評価
 - ✓ 音響測定技術による漏出CO₂気泡検知

EIA at the Tomakomai offshore project

Act for the Prevention of Marine Pollution and Maritime Disasters

- **May 2007:** The act was amended for permit procedure on dumping CO₂ stream into sub-seabed formation.
- *Preliminary Assessment Document*
“*Estimation of CO₂ dispersion and its impact assessment on the assumption that stored CO₂ leaks out to the sea*”

➤ 社会受容性向上と海洋汚染防止法対応

- 海洋環境影響評価
 - 漏出CO₂の海中拡散シミュレーション
 - CO₂濃度上昇による海洋生物影響データベース
- 海域でのCO₂漏出検出技術
 - CO₂気泡の監視 ⇒ サイドスキャンソナー(SSS)による気泡
探査手法の研究開発
 - 溶存CO₂の監視 ⇒ pCO₂の異常値判定方法の研究

万一のCO₂漏出に対する環境影響評価

- CO₂拡散シミュレーション手法の開発

- 数値モデルの開発 ⇒ 季節変動スケール以上の期間、CO₂拡散範囲が数10kmスケールまでの計算可能なモデル

- 生物影響評価手法の開発

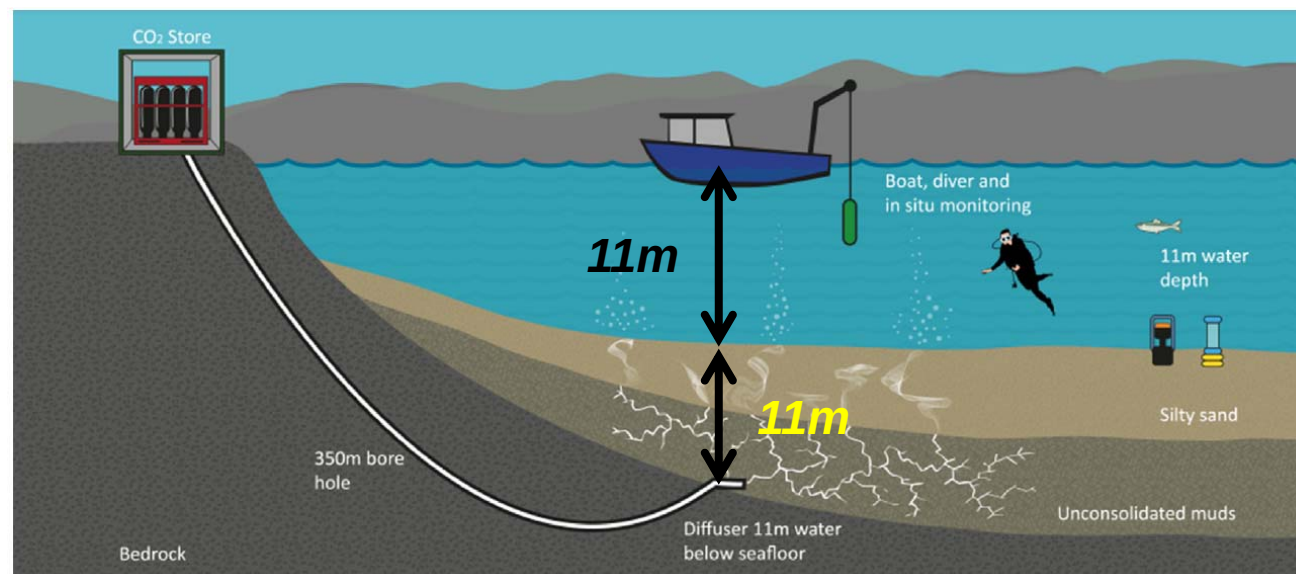
- CO₂の生物への影響調査: 生物影響データベース構築、微生物CO₂曝露実験 ⇒ 生物影響閾値の提案 ($\Delta p\text{CO}_2 = 200 \mu\text{atm}$)
- 英国実海域CO₂放出実験(QICS)への参加 ⇒ 実海域での生物影響研究

- CO₂漏出検知手法の開発

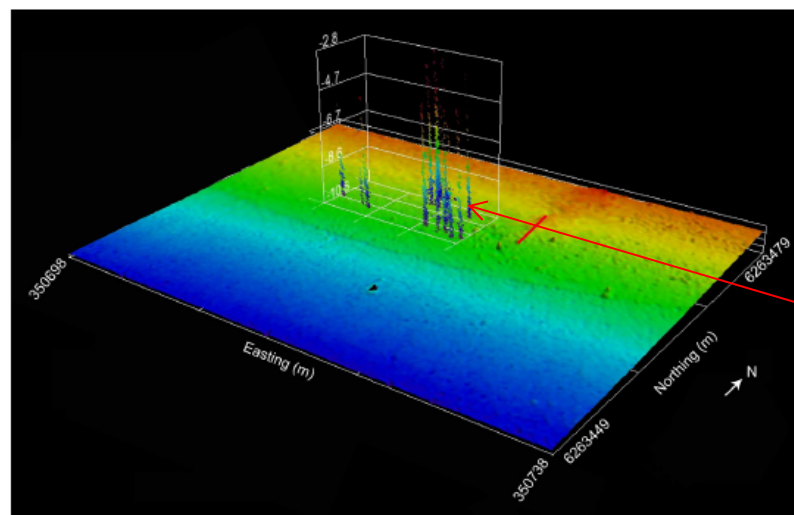
- 気泡検知手法 ⇒ 音響探査機器による検知
- 溶存態CO₂検知手法 ⇒ 溶存態CO₂濃度と溶存酸素濃度による異常値(漏出の恐れ)の判定基準

海外の実海域CO₂放出実験(1/2)

QICS: スコットランド、
2012年、放出量:
4.2トン/37日間



Taylor et al. (2015)



Cevatoglu et al. (2015)

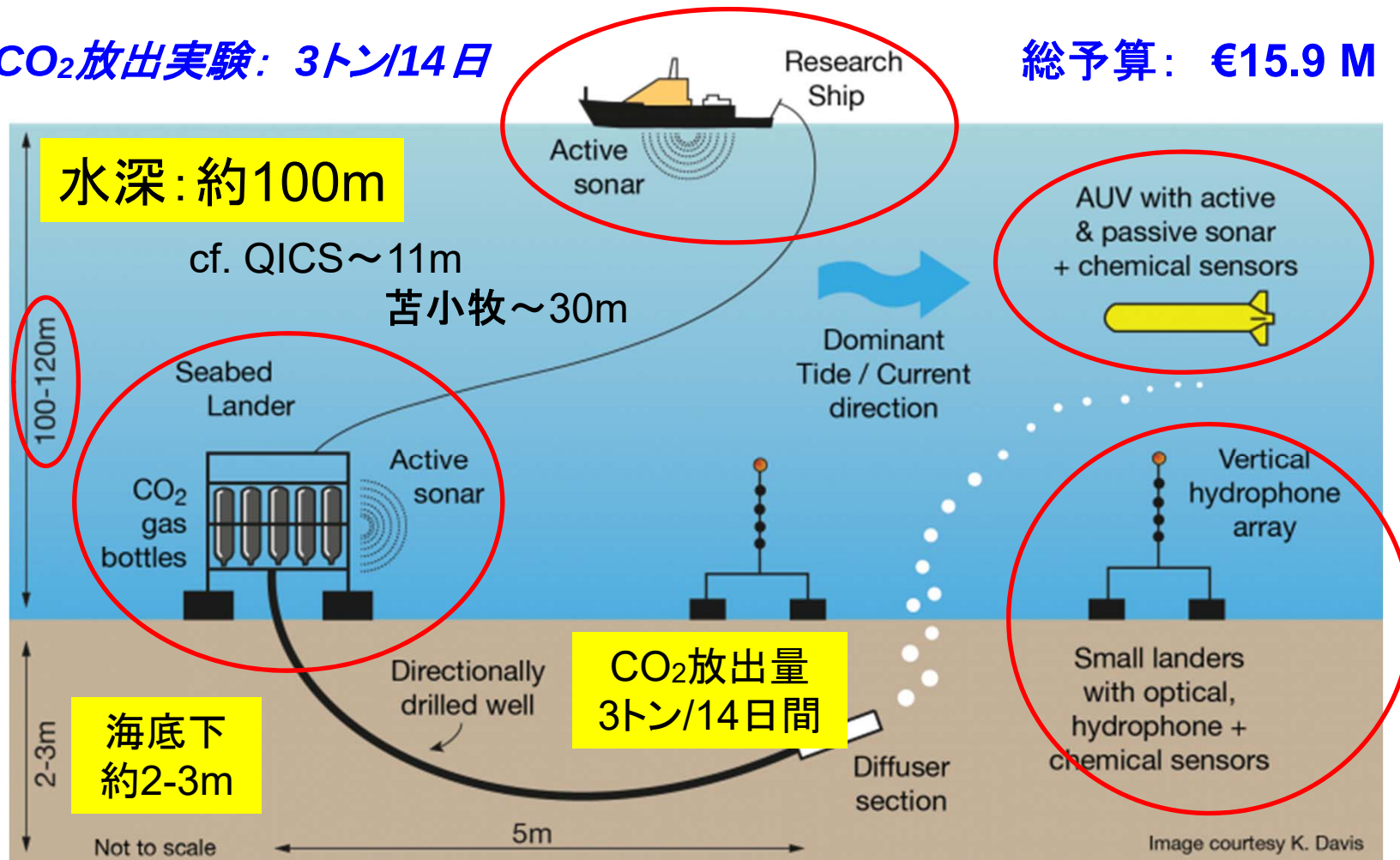
←CO₂漏出量が少なくても
気泡を音響機器(マルチビームソナー)で検出可能

海外の実海域CO₂放出実験(2/2)

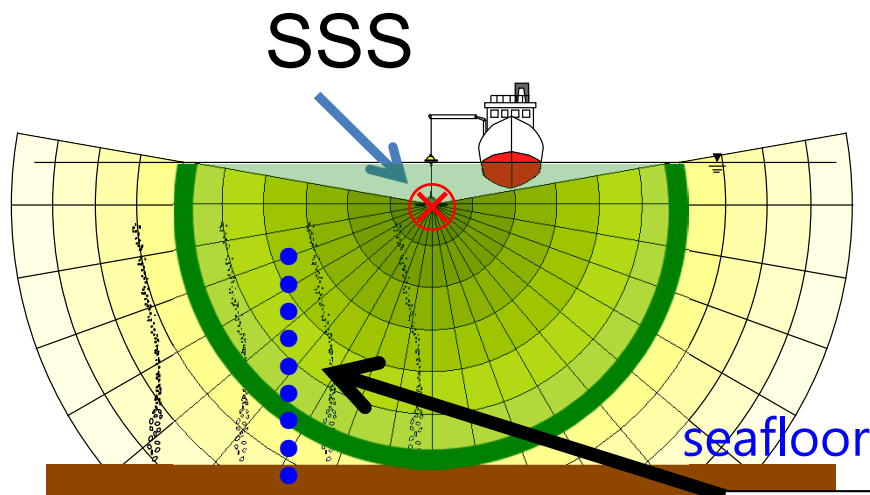
STEMM-CCS: 北海、2019年(予定)

CO₂放出実験: 3トン/14日

総予算: €15.9 M



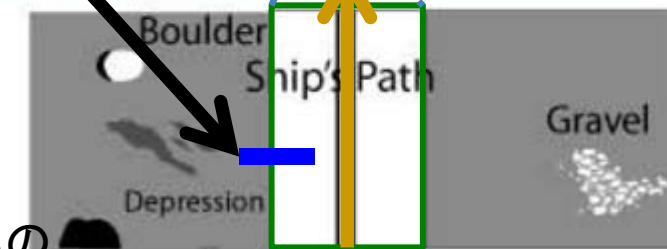
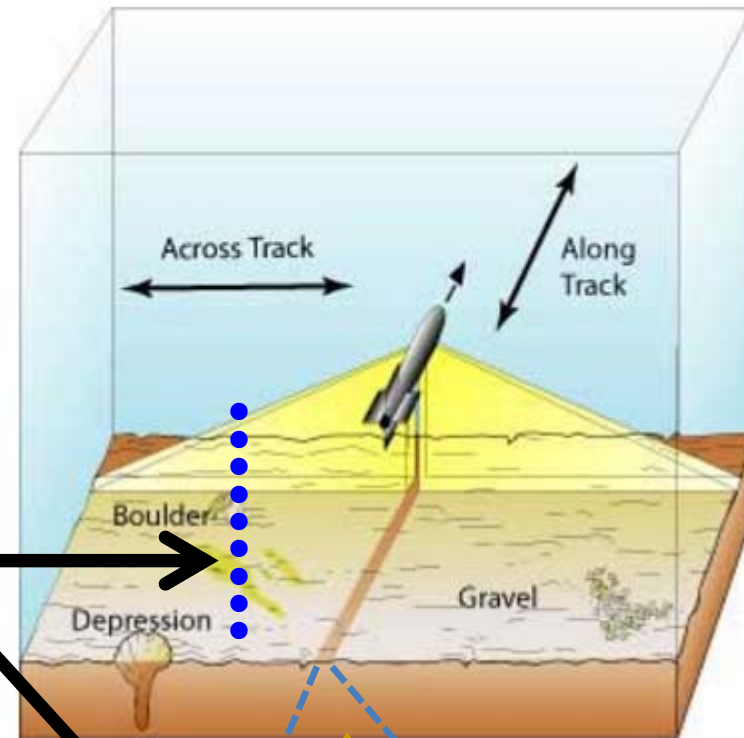
海域での気泡CO₂検出技術



サイドスキャンソナー(SSS)

アクティブソナーの一種

- 音波を発振し反射波を受信することで、水柱(water column)の物体や海底の凹凸を観測する



SSSからの
距離(左)

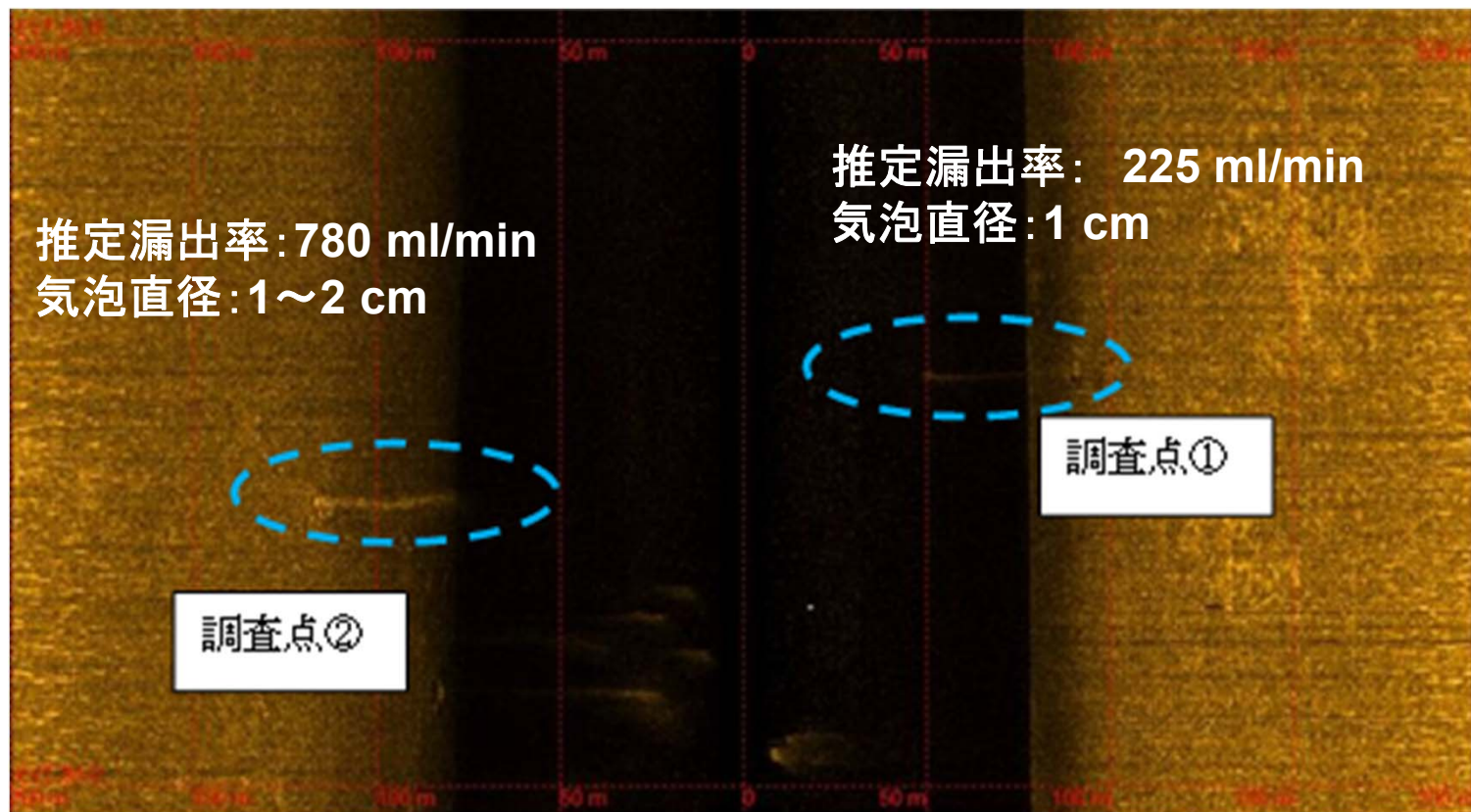
SSS image

SSSからの
距離(右)

water column

サイドスキャンソナーによる気泡検出例

鹿児島湾火山性ガス湧出域(たぎり) (RITE, 2009)

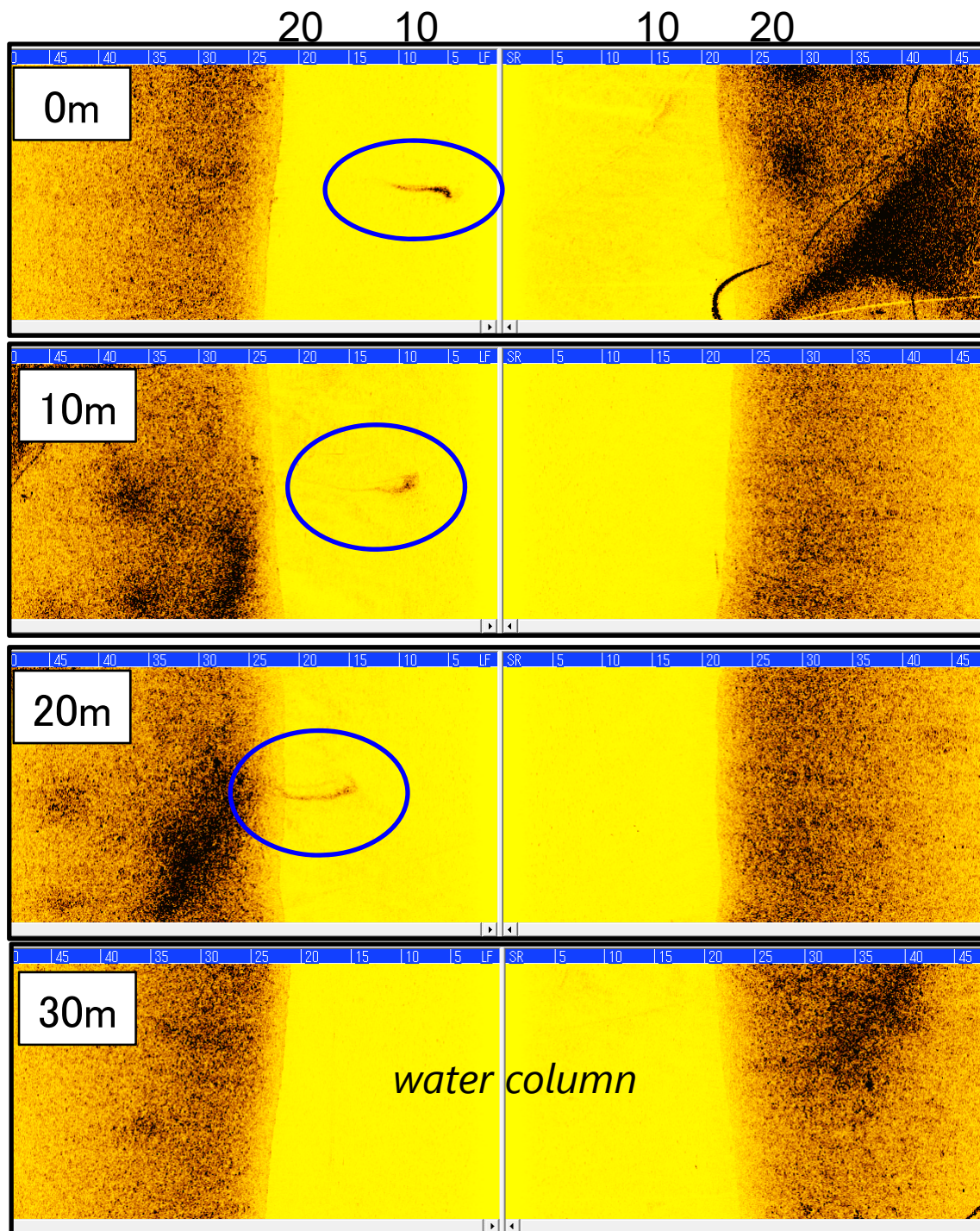


【観測条件】

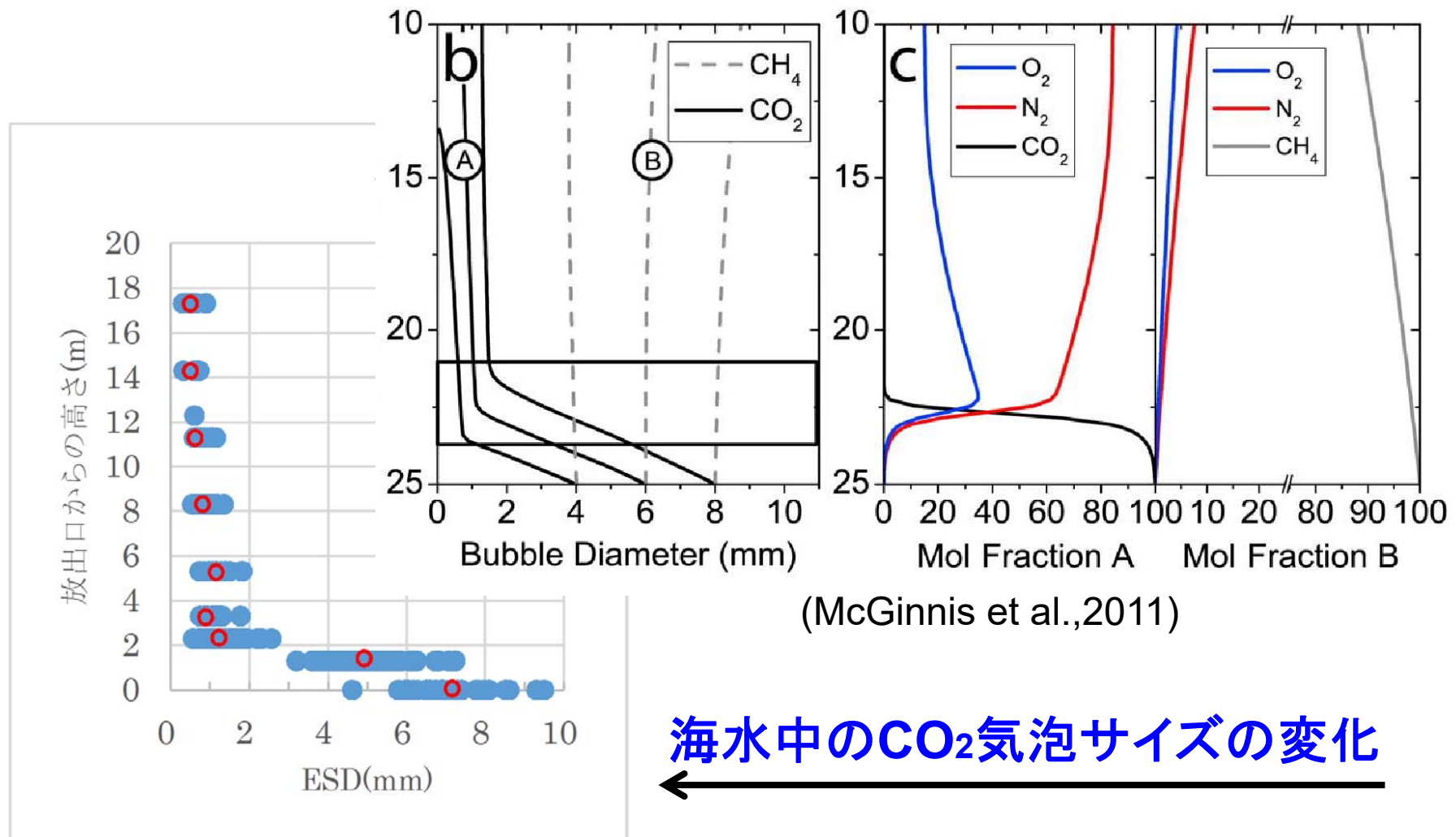
- 放出気泡: CO₂
- 気泡径: 10mm
- 放出率: 5,000ml/min



放出点との距離(0
~30m)に対して、
サイドスキャンソ
ナーで観測される
気泡の様子



Fate and Potential Detection of CO₂ Seepage



CCS技術事例集の作成



長岡実証試験＋海外事例に基づき、Vol.1を完成



苫小牧大規模実証試験や海外の新規事例を加え、平成32年度末までにVol.2を完成