

革新的環境技術シンポジウム 2020 ◆

CO₂地中貯留技術実用化に向けての 安全管理技術開発の取り組み

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

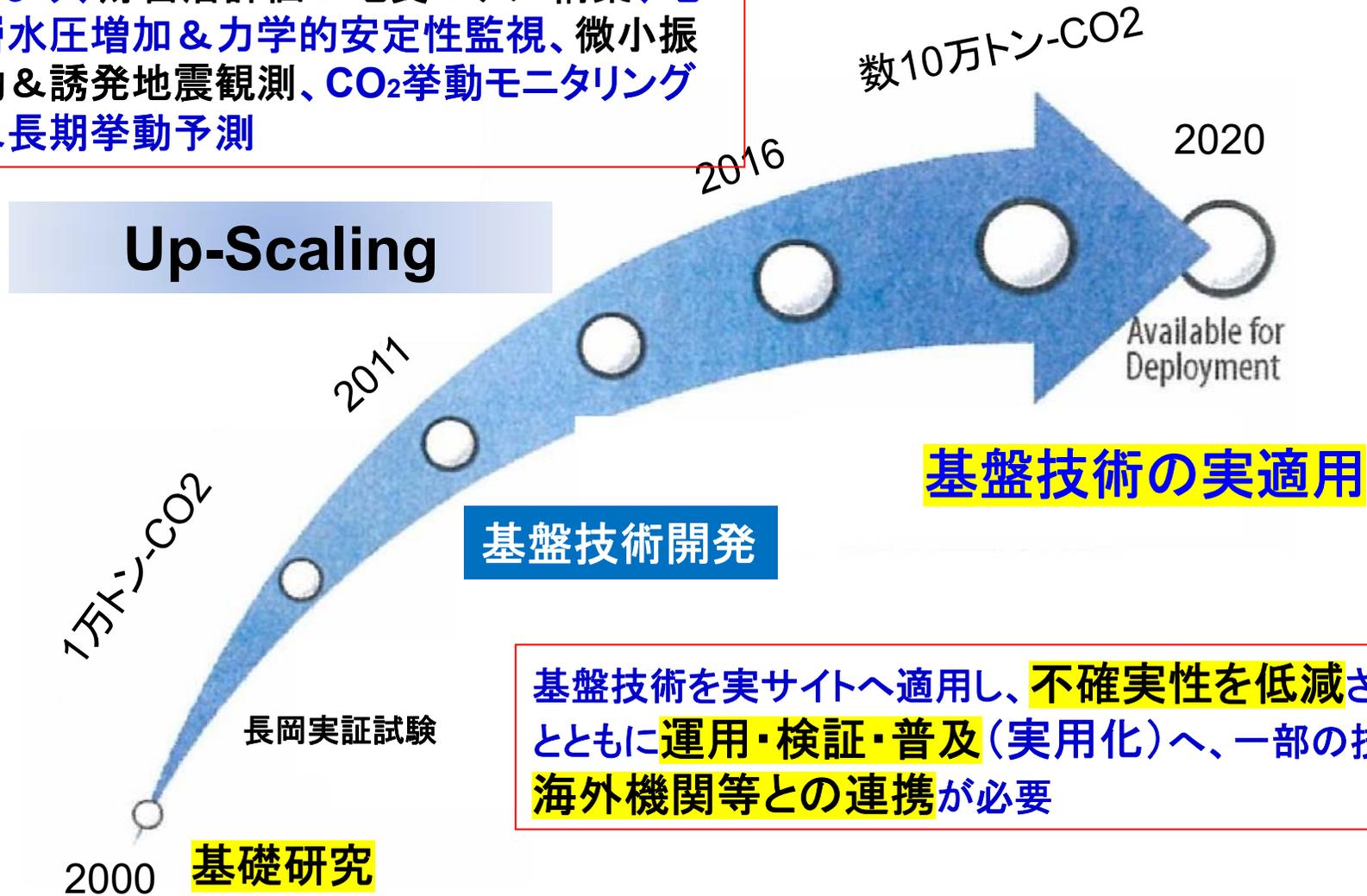
せつ じきゅう

薛 自求

Ziqiu Xue (xue@rite.or.jp)



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



基盤技術を実サイトへ適用し、不確実性を低減させると
とともに運用・検証・普及(実用化)へ、一部の技術は
海外機関等との連携が必要

実用化: 不確実性の低減・経済性向上

Geological Carbon Storage : The Way Forward



CO₂地中貯留技術開発から、実用化(運用・検証・普及)へ

Carbon Storage Program

Improving and Optimizing Performance

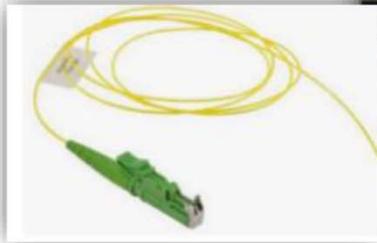
US/DOE(2019)

Regional Carbon Sequestration Partnerships (RCSPs)



2005-2011
1 million tons

Advancing monitoring and measurement tools: improving characterization and reducing the uncertainty about the CO₂ and pressure fronts.



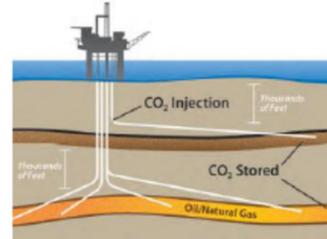
Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing (DAS)

CarbonSAFE



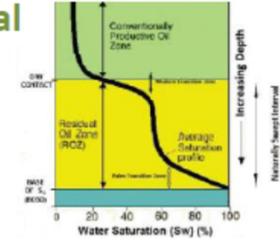
50+ million tons

Offshore Storage



Unconventional EOR

Shale Oil EOR



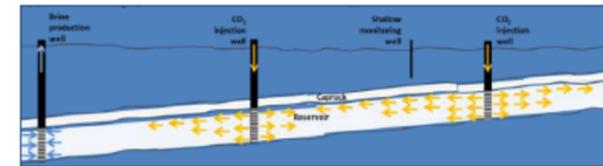
2011- (new regional initiative)

CARBON STORAGE PROGRAM

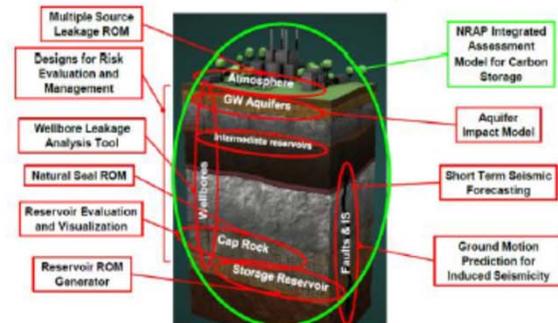


光ファイバーセンシング技術
(分布式音響測定 - DAS)

Brine Extraction Storage Tests (BEST)



National Risk Assessment Partnership (NRAP) is developing toolsets to reduce uncertainty and quantify potential impacts related to release of CO₂ and induced seismicity



CO₂地中貯留における光ファイバー測定技術開発

– 地層安定性・坑井健全性監視

- 坑井深度方向の分布式温度／ひずみ測定
→ DTS・DSS (Distributed Strain Sensing)

– 微小振動・自然地震観測

- 地震計、Straight Fiber、Helical Fiber
→ DAS (Distributed Acoustic Sensing)

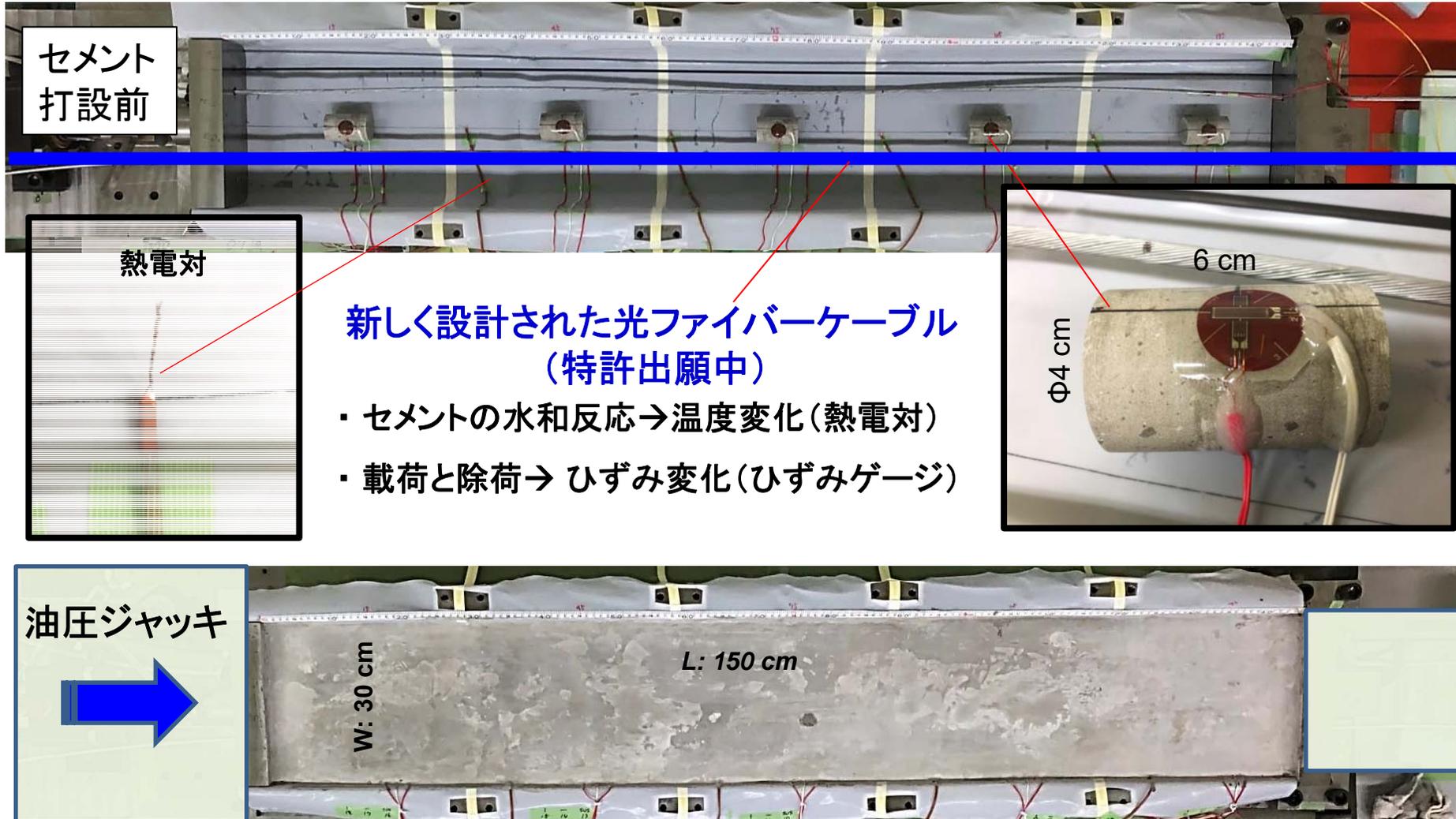
– CO₂挙動モニタリング

- 弾性波探査 (坑井背面もしくは地表設置に設置)
→ 4D Seismic、DAS/VSP

→→ マルチセンサー、光ファイバー測定技術の確立

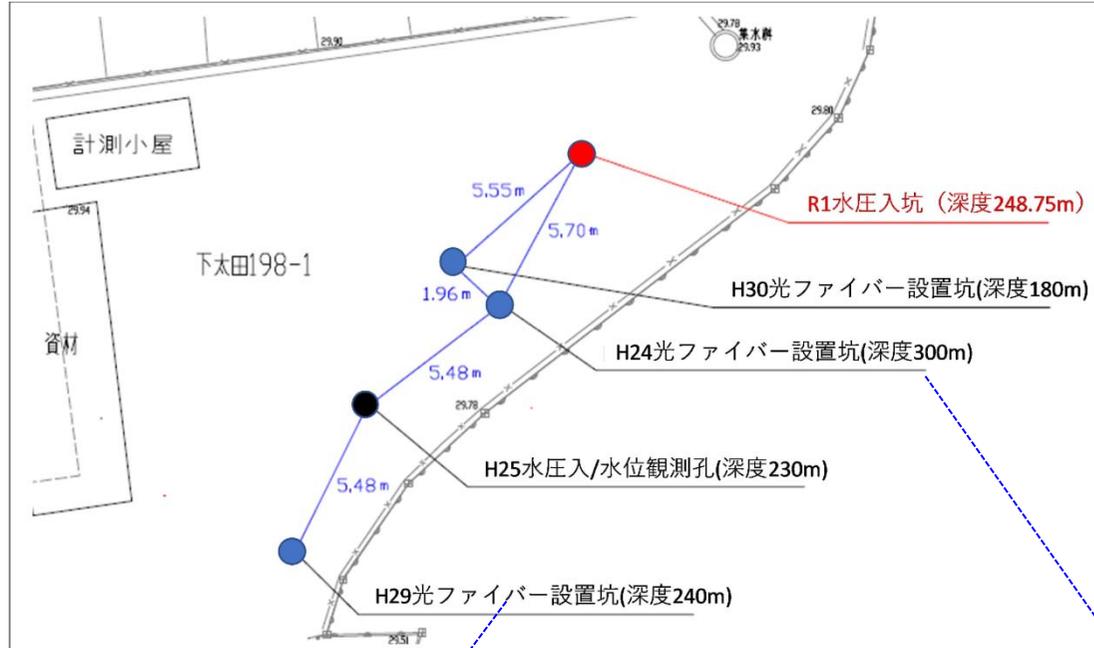
(断線リスクの抑制、固定方法の改良、経済性の向上)

光ファイバーのひずみ測定感度試験



新しい光ファイバーケーブル: ひずみ(変形、圧力)、音響、温度

光ファイバー設計仕様 vs 地層ひずみ応答性 @茂原サイト



Amer et al., in preparation

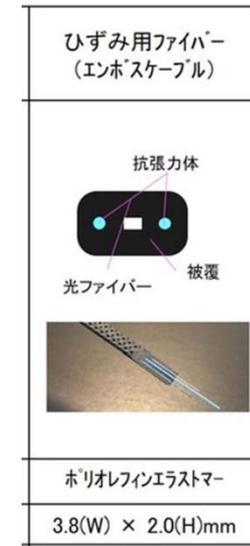
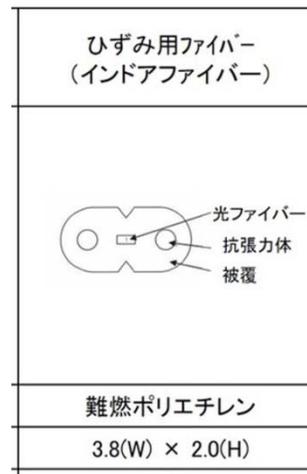
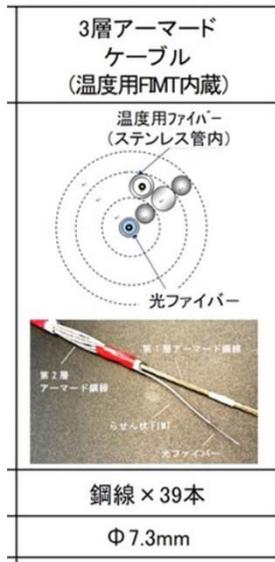
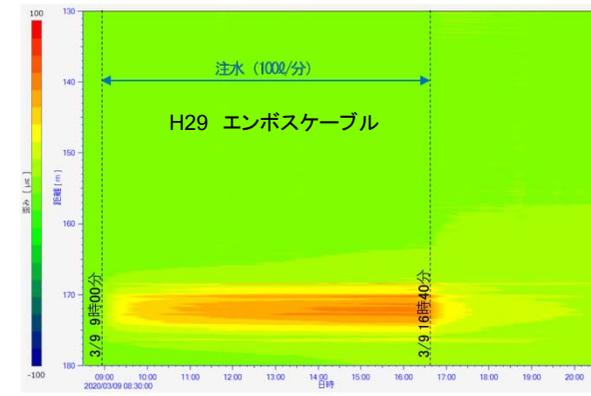
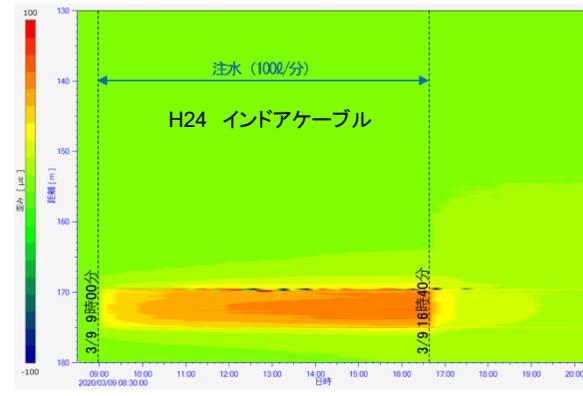
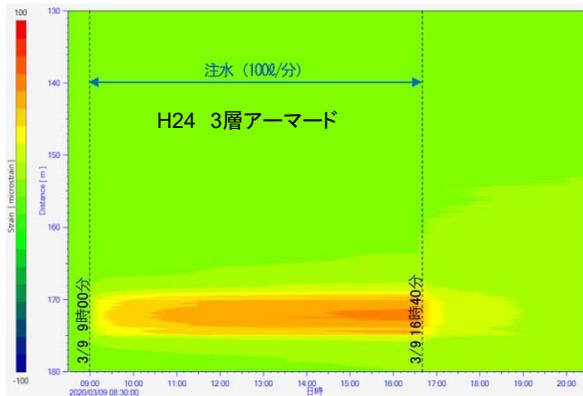
- 注水試験時の地層ひずみ計測より、光ファイバーの**補強構造** vs ひずみ**測定感度**
- ケーシング背面への光ファイバーの**設置方法**
- 光ファイバーの長さに対する**深度補正方法**
- 大規模サイトへの実適用に向けた**経験やノウハウ**の蓄積
- 地層変形監視(**地層安定性**)、**漏洩検知(坑井健全性)**技術を確立

種類	3層アーマードケーブル (温度用FMT内蔵)	ひずみ用ファイバー (エンボスケール)	ひずみ用ファイバー 太径 (スクアケーブル)	ヒータブルケーブル (電熱線および 光ファイバー内蔵)
構造図 (写真)				
被覆	鋼線×39本	ポリオレフィンエラストマー	ポリオレフィンエラストマー	樹脂被覆
外径	Φ 7.3mm	3.8(W) × 2.0(H)mm	Φ 7.5mm	Φ 15mm

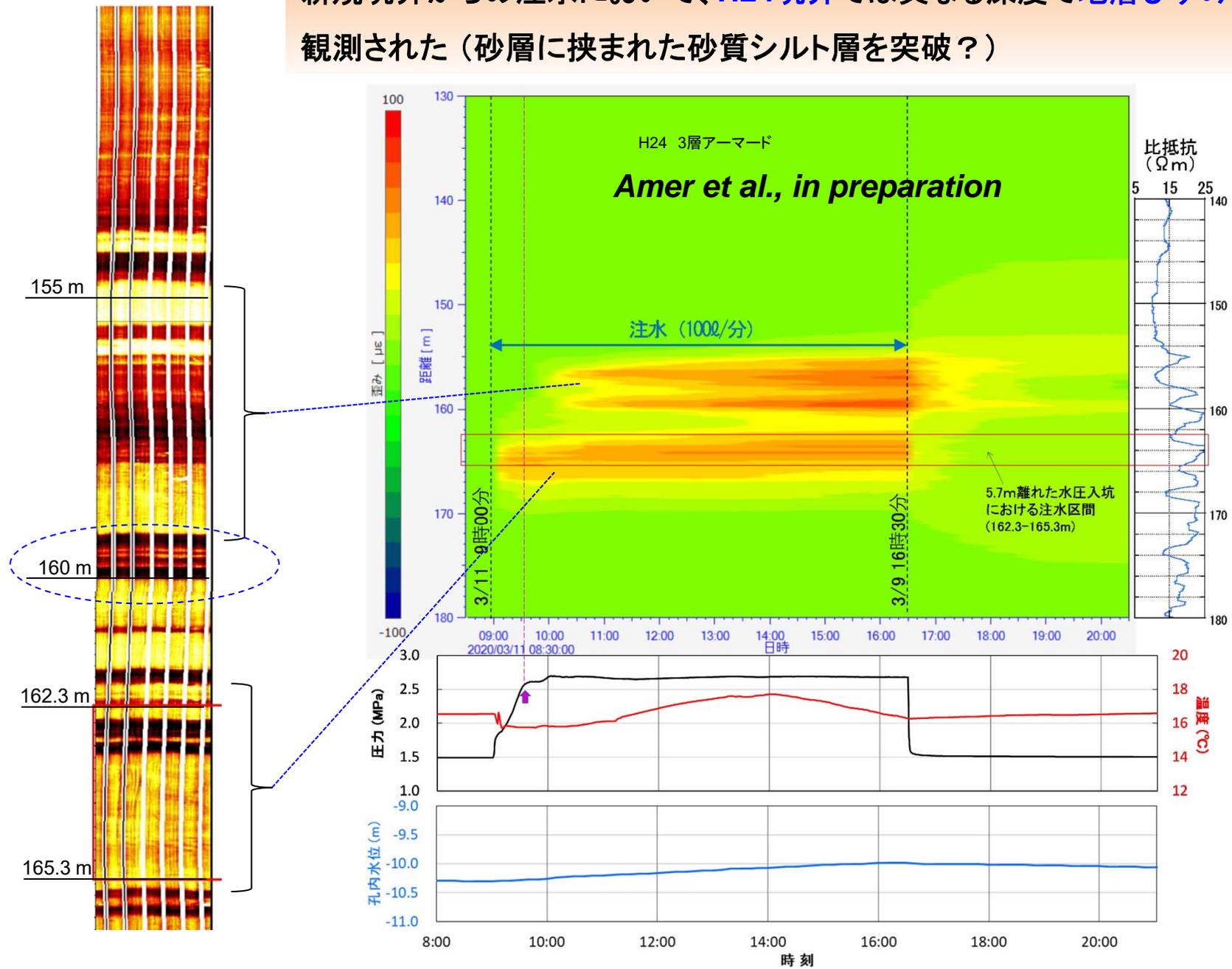
種類	3層アーマード ケーブル (温度用FMT内蔵)	1層アーマード ケーブル	ひずみ用ファイバー (インドアファイバー)
構造図 (写真)			
被覆	鋼線×34本	鋼線×6本	難燃ポリエチレン
外径	Φ 6.9mm	Φ 2.3mm	3.8(W) × 2.0(H)

新規坑井(R1)からの注水において、注入井から約6m離れたH24坑井、および約17m離れたH29坑井で異なる仕様の光ファイバーによって計測された地層ひずみの測定結果(注水区間:170m-173m、100L/min)

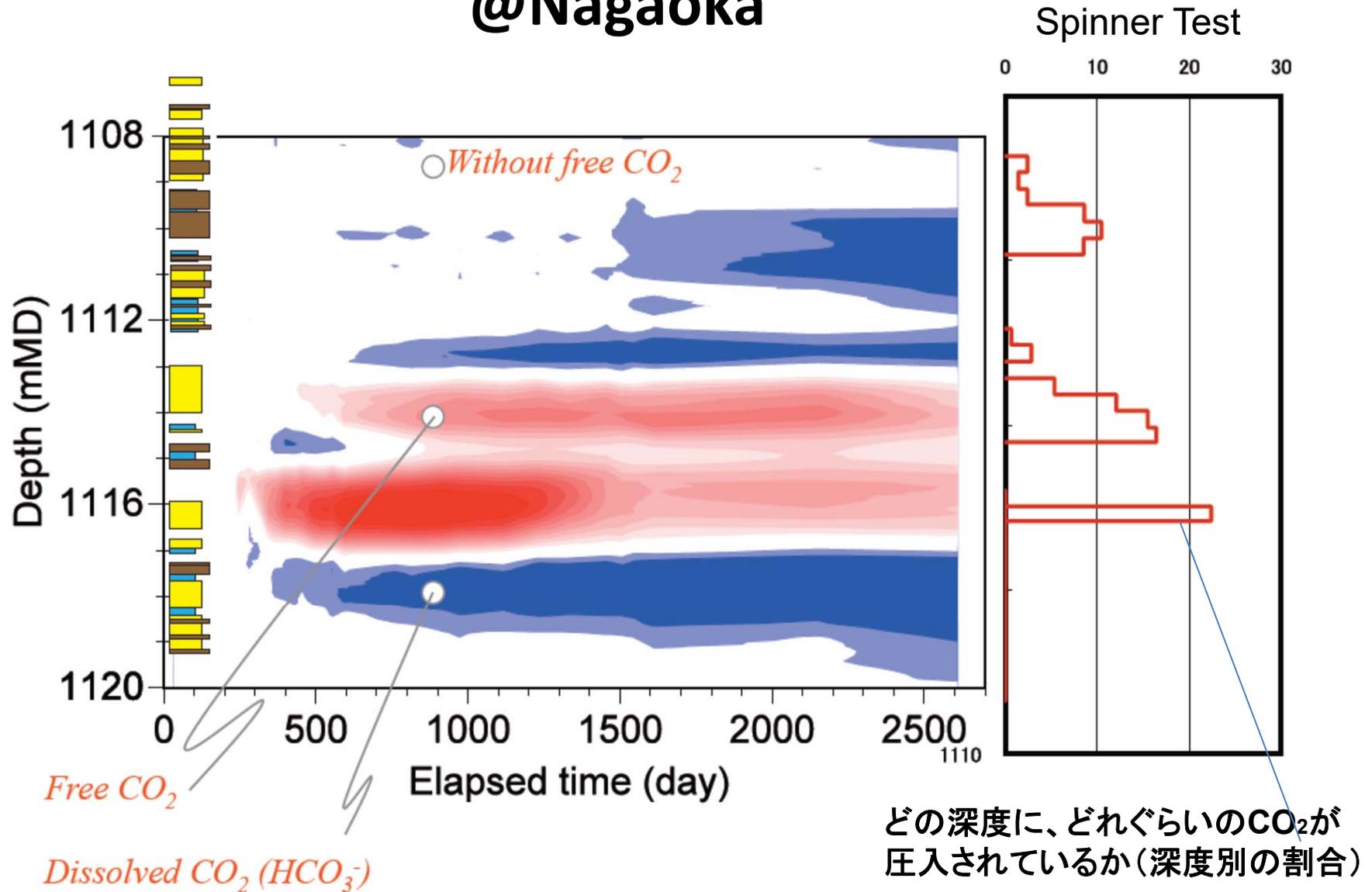
Amer et al., in preparation



新規坑井からの注水において、**H24坑井**では異なる深度で地層ひずみが観測された（砂層に挟まれた砂質シルト層を突破？）

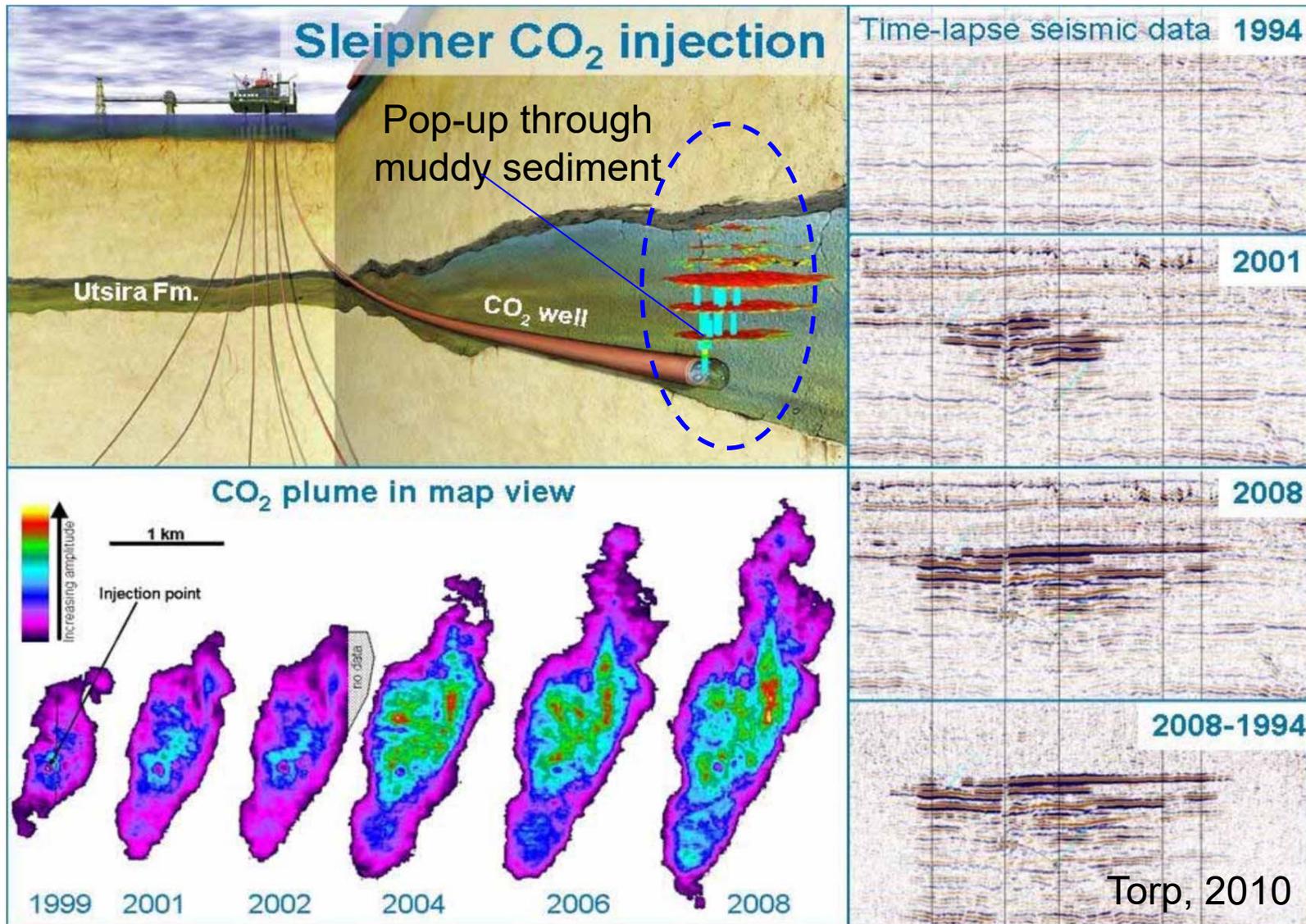


Injection Profile and CO₂ Distribution @Nagaoka

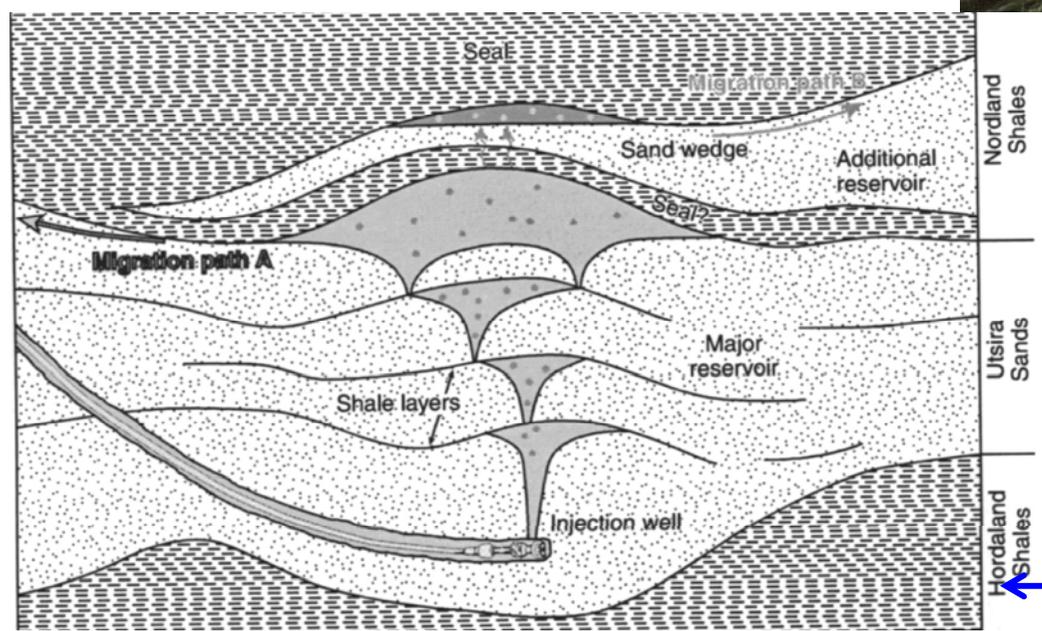
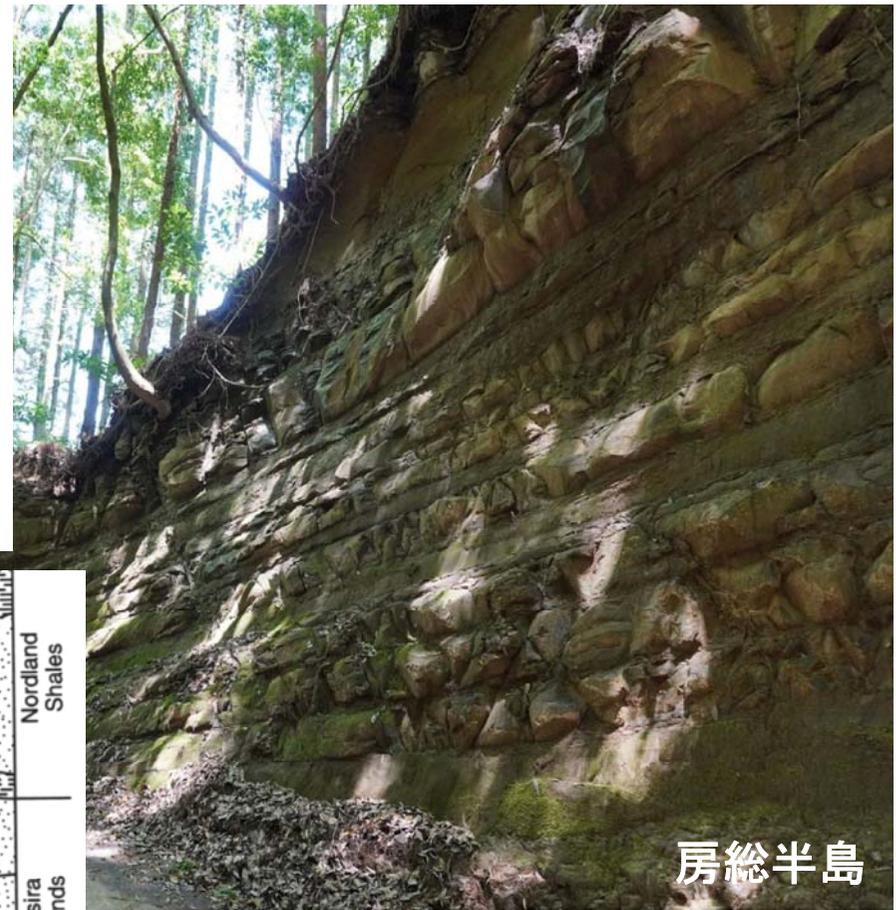
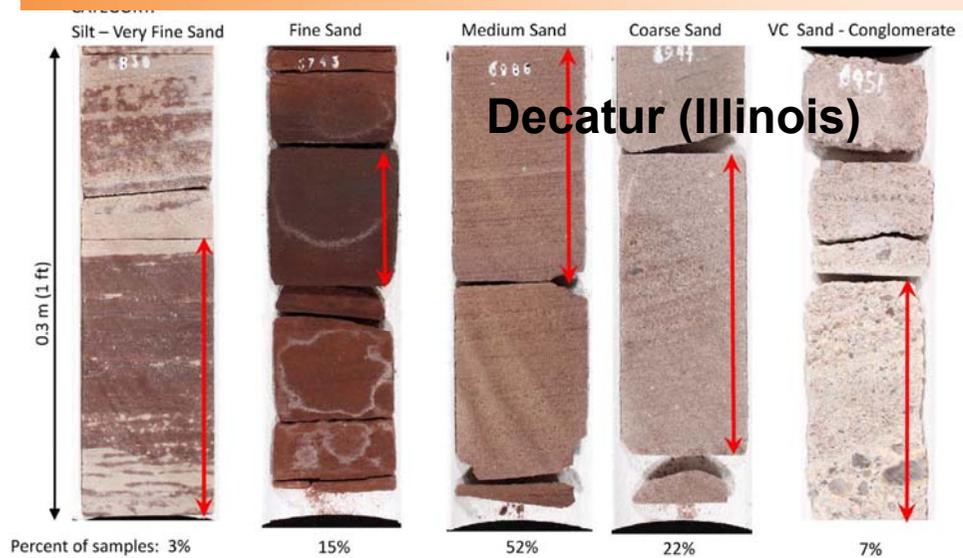


どの深度に、どれぐらいのCO₂が
圧入されているか(深度別の割合)

CO₂ Monitoring at Sleipner site @North Sea



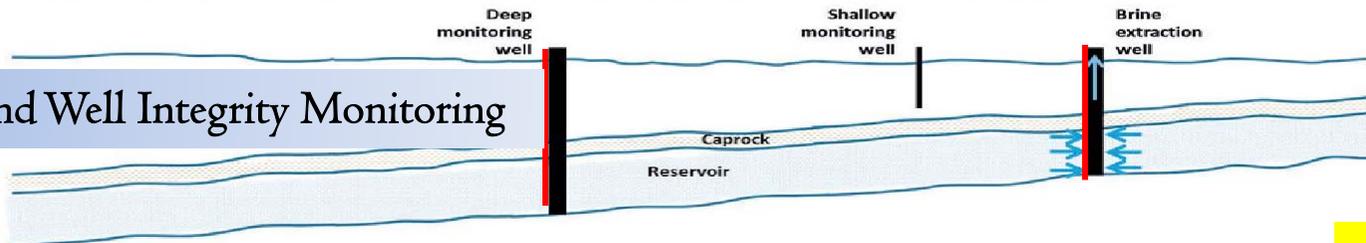
複雑な地層(砂層・泥層が交互に堆積 →→砂泥互層)、砂層にも粒径分布や粘土含有量による不均質性あり



Schematic representation of the Sleipner storage system

Applications of Optic Fiber Sensing in CO₂ Storage

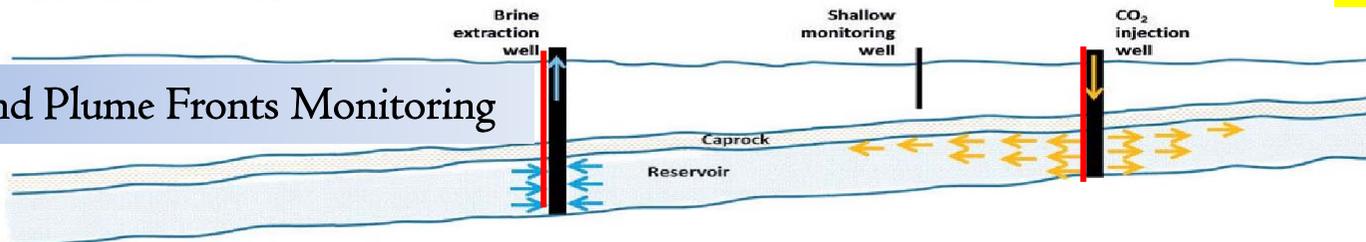
(a) Pre-injection brine-extraction stage with second dual-mode well used for monitoring



➤ Caprock and Well Integrity Monitoring

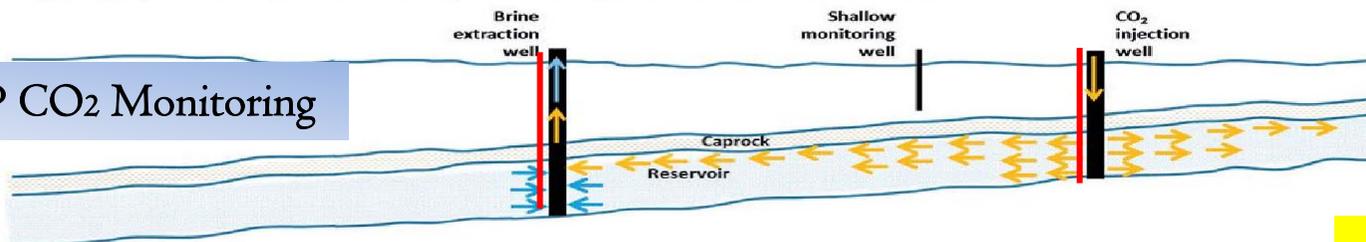
Strain

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



➤ Pressure and Plume Fronts Monitoring

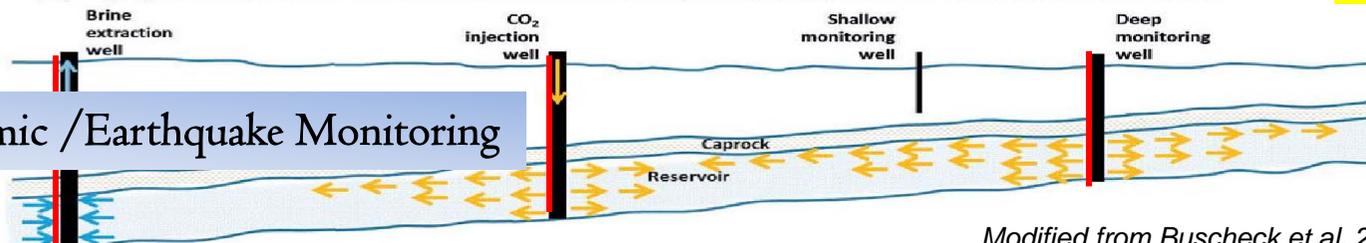
(c) CO₂ injection stage at time of CO₂ breakthrough at second dual-mode well



➤ DAS/VSP CO₂ Monitoring

Acoustic

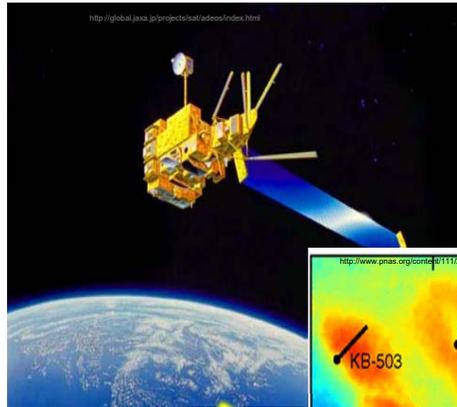
(d) CO₂ injection shifted to second dual-mode well and brine extraction shifted to third dual-mode well



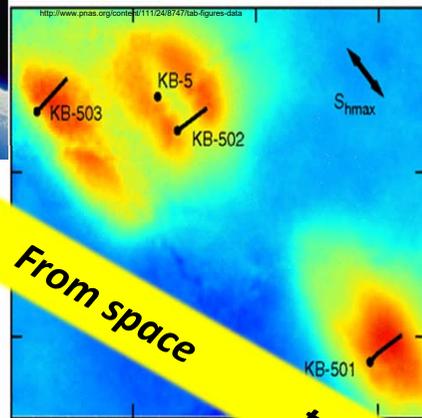
➤ Microseismic / Earthquake Monitoring

Modified from Buscheck et al. 2014

海外機関との研究協力によって 光ファイバー測定技術開発を加速化

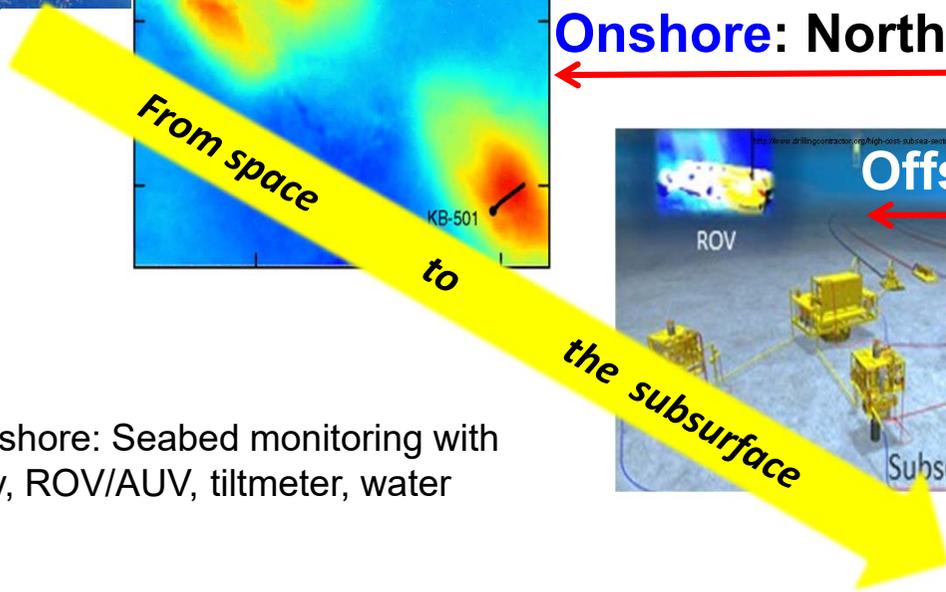


Satellite measurements+ GPS
and geodesy for onshore sites

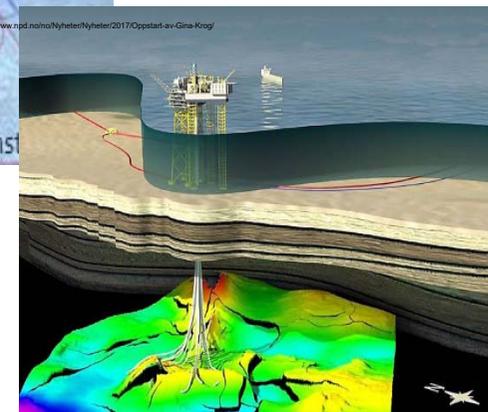


Demonstration of concept and
methods: onshore surface heave (e.g.
In Salah)

Onshore: North Dakota Univ. /US



Offshore: NGI /Norway



Application to offshore: Seabed monitoring with
seafloor geodesy, ROV/AUV, tiltmeter, water
pressure, etc.

Simulating deformation of reservoir & overburden, inversion history matching
→ **overburden management & containment assurance** → **success of
injection/production**

CO₂地中貯留技術の実用化への取り組み



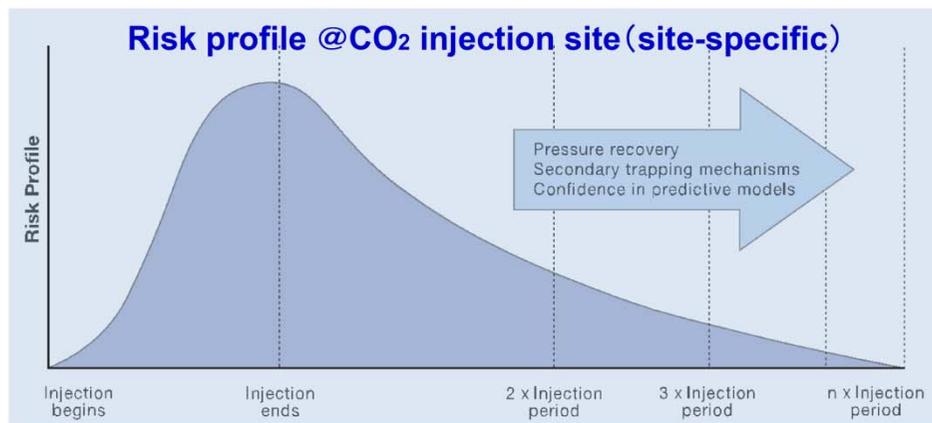
Can We Achieve Gigatonne CO₂ Storage?



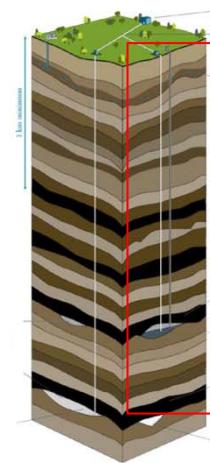
➤ 地中貯留技術の実用化へ

Norwegian/US CCS collaboration opportunities

- Sarah Gasda – Can we achieve gigatonne CO₂ storage?
 - Focus on reduction of uncertainties and pressure management
 - Real storage domains have complex geologies and pressure barriers



[Illustration source: Benson, 2007]



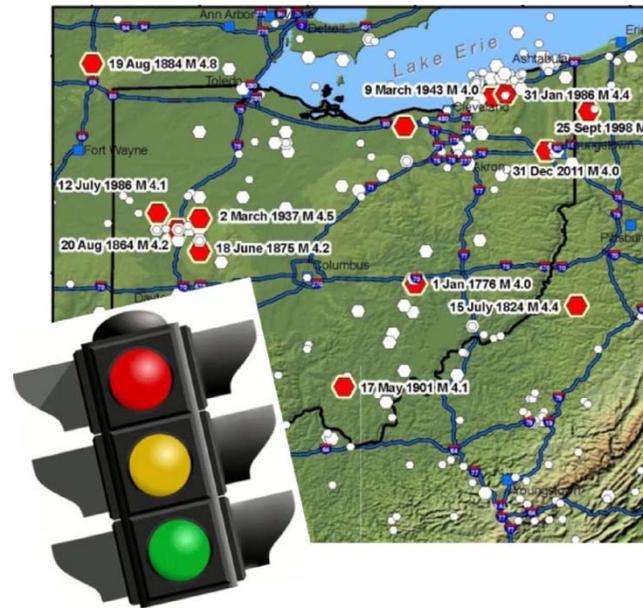
- ✓ 安全性
(リスクマネジメント)
- ✓ 経済性(コスト削減)
- ✓ 社会的受容性

Losses of *Injectivity*, *Capacity and Containment*,
Induced Seismicity, *Environmental Impacts*

社会実装
Social License to Operate

CO₂圧入サイトの安全管理技術開発

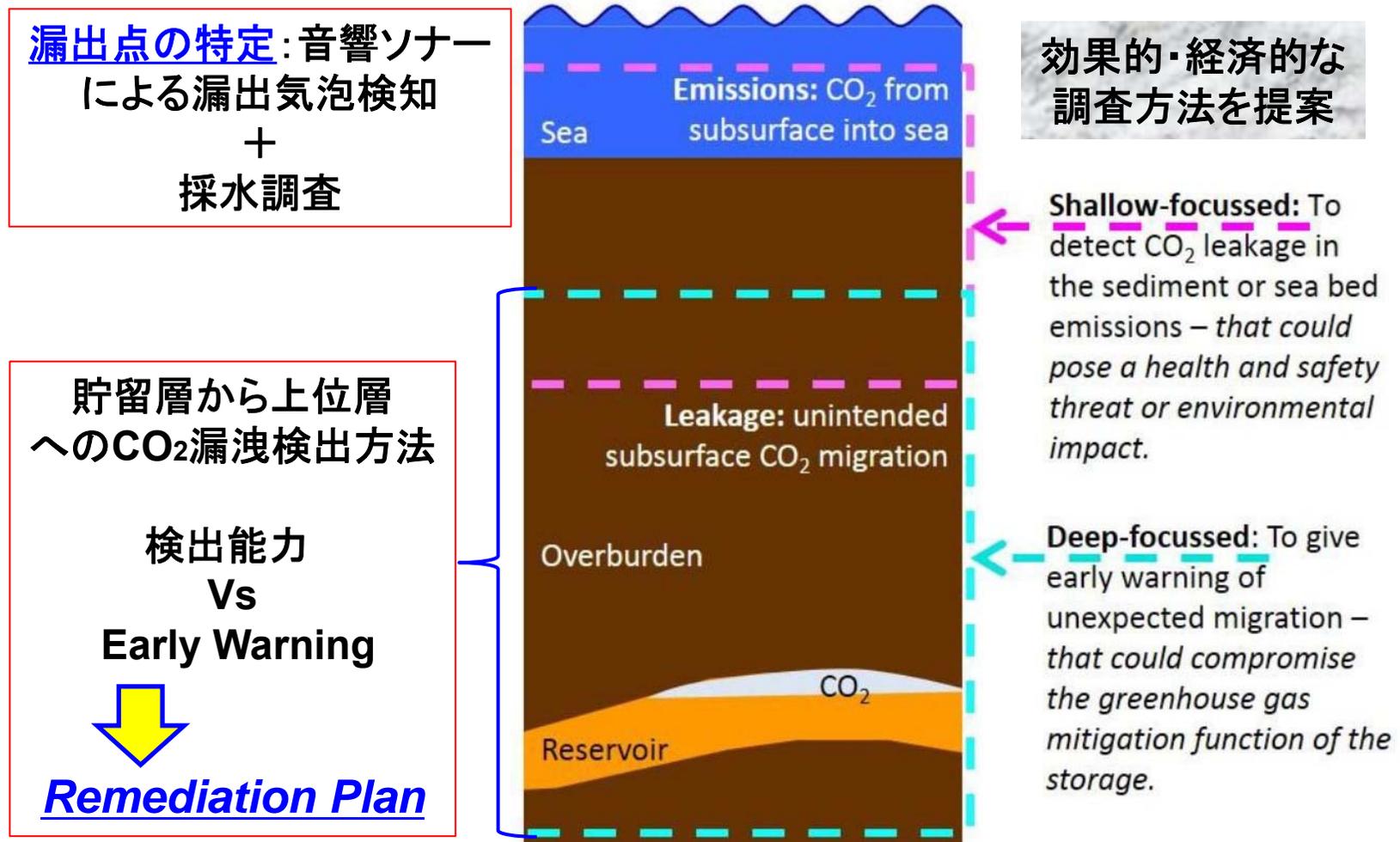
ATLS: Advanced Traffic Light System



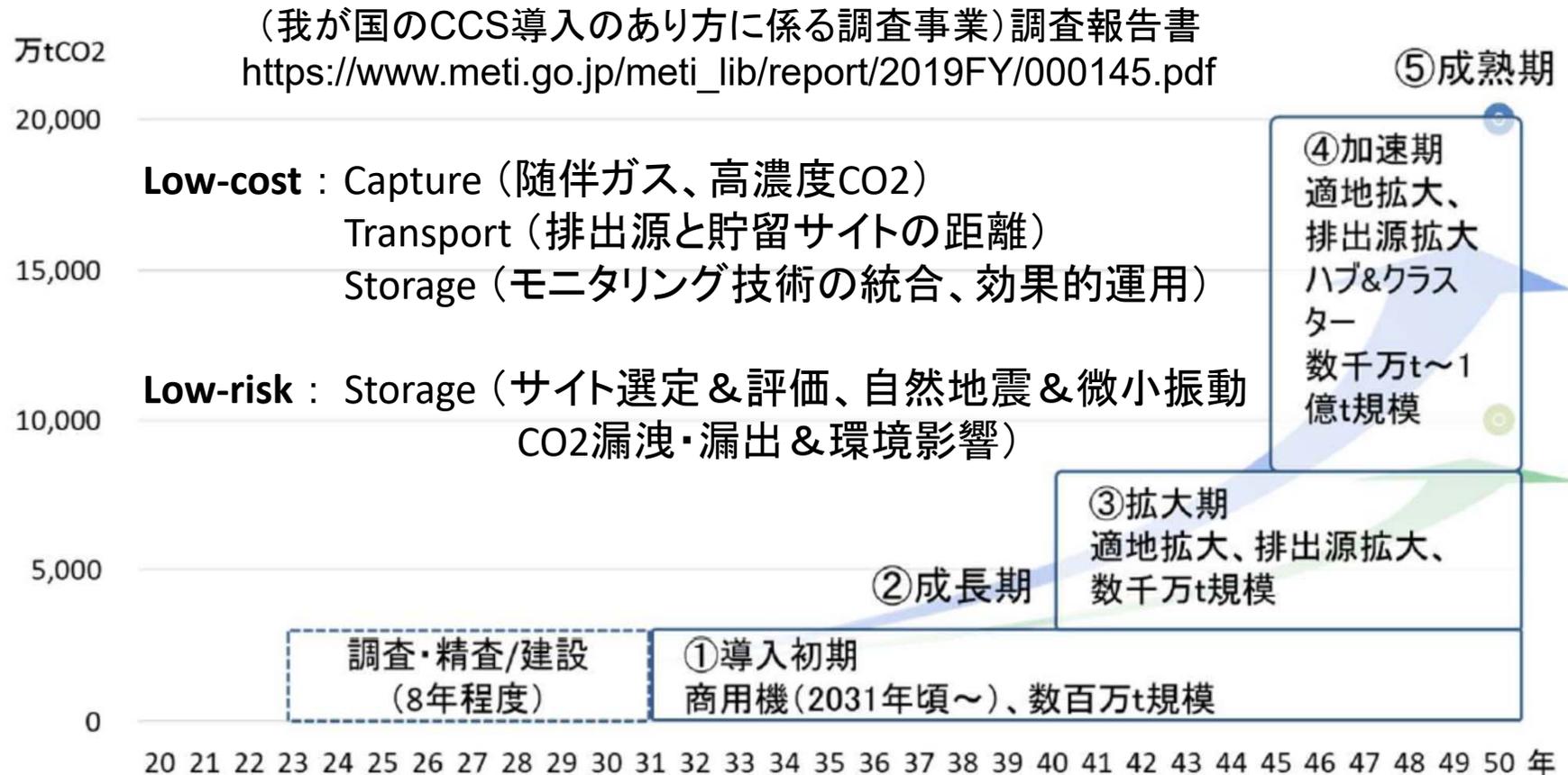
CO₂地中貯留サイトの観測事例
ATLSの実用化(運用・検証)へ

海域環境調査のあり方

異常値の検出、異常の原因特定、漏出の環境影響評価



➤ Scaling up to Commercial-scale



2050年に向けて、徐々に拡大するケース

**US/DOE: RCSP (計1MT) →→ CarbonSAFE (目標: 50+MT)
→→ New Regional Initiative**

Awardee	New Regional Initiative CCUS Selections	Project
Battelle Memorial Institute 		Regional Initiative to Accelerate CCUS Deployment in the Midwest and Northeastern USA
New Mexico Institute of Mining and Technology 		Carbon Utilization and Storage Partnership of the Western United States
Southern States Energy Board 		Southeast Regional Carbon Utilization & Storage Partnership (SECARB-USA)
University of North Dakota 		Plains Carbon Dioxide Reduction (PCOR) Partnership Initiative to Accelerate CCUS Deployment

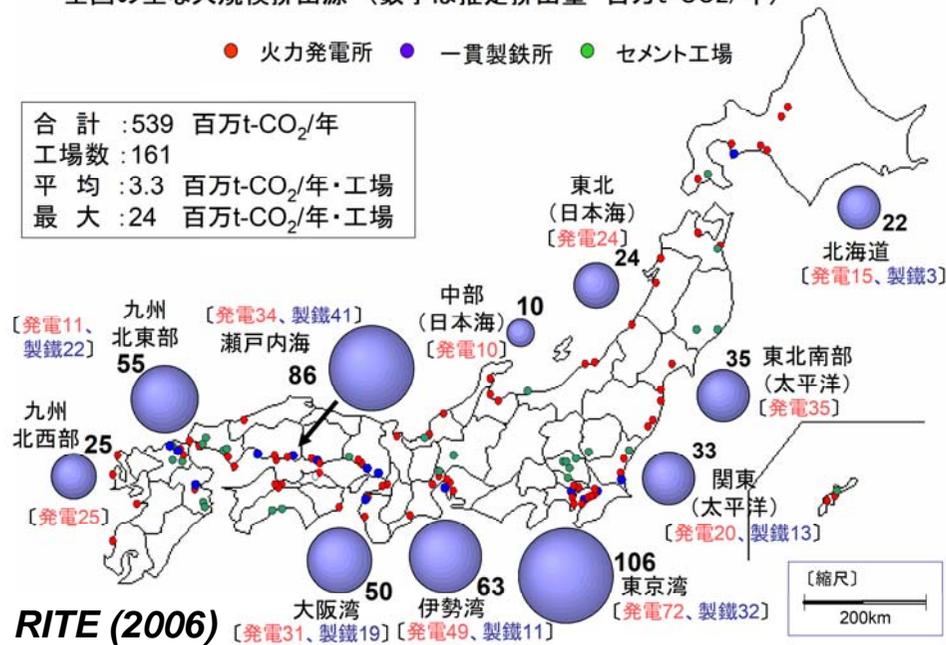
- To identify and address **knowledge gaps** under a new Regional Initiative to **Accelerate CCUS Deployment**.
- To identify and **promote potential infrastructure** and/or carbon utilization/storage **projects** that will help enable **low emission coal-based facilities** of the future.

SRM: CO₂ Storage Resources Management (経済性評価込み)

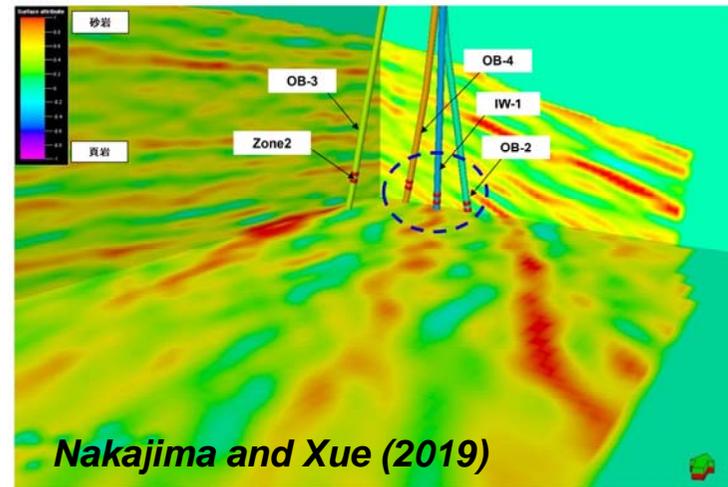
全国の主な大規模排出源 (数字は推定排出量 百万t-CO₂/年)

● 火力発電所 ● 一貫製鉄所 ● セメント工場

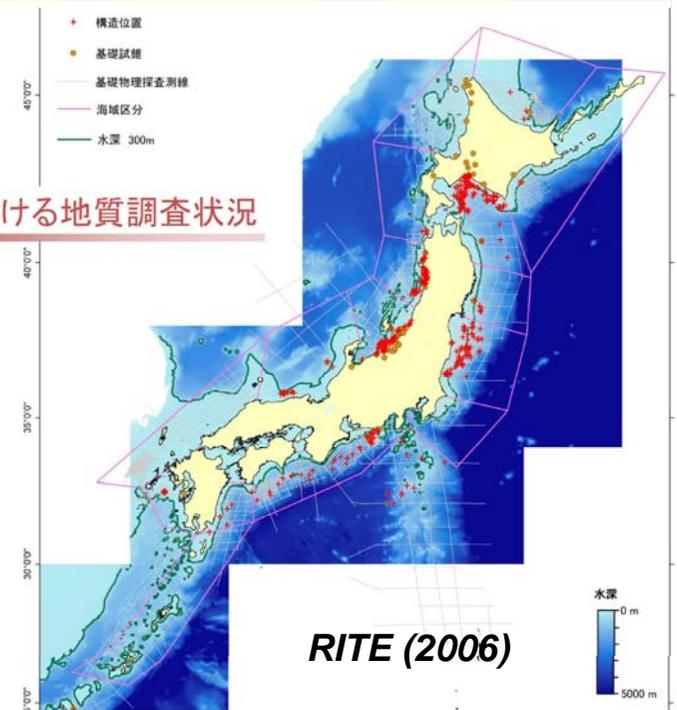
合計 : 539 百万t-CO₂/年
工場数 : 161
平均 : 3.3 百万t-CO₂/年・工場
最大 : 24 百万t-CO₂/年・工場



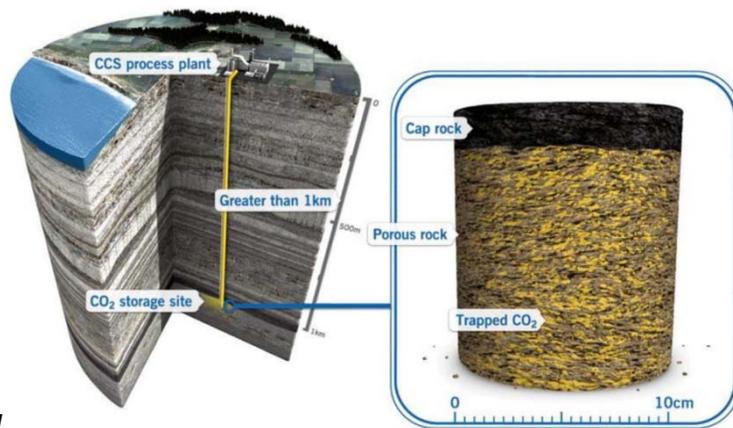
RITE (2006)



国内における地質調査状況



1. Depth: > 1 km
2. Location:
 - reservoir and containment
 - accessible
3. Capacity:
 - Space to hold all the planned CO₂



Source: GCCSI

謝 辞

この成果は、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)の委託業務の結果得られたものです。

This talk is based on results obtained from a project commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) and the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japan.