

CCS Technical Workshop 2024

国内におけるCO₂地中貯留の**実用化・事業化**に向けて

Development & Deployment of Geological CO₂ Storage (GCS) in Japan



二酸化炭素地中貯留技術研究組合 技術部長

Geological Carbon Dioxide Storage Technology Research Association

(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

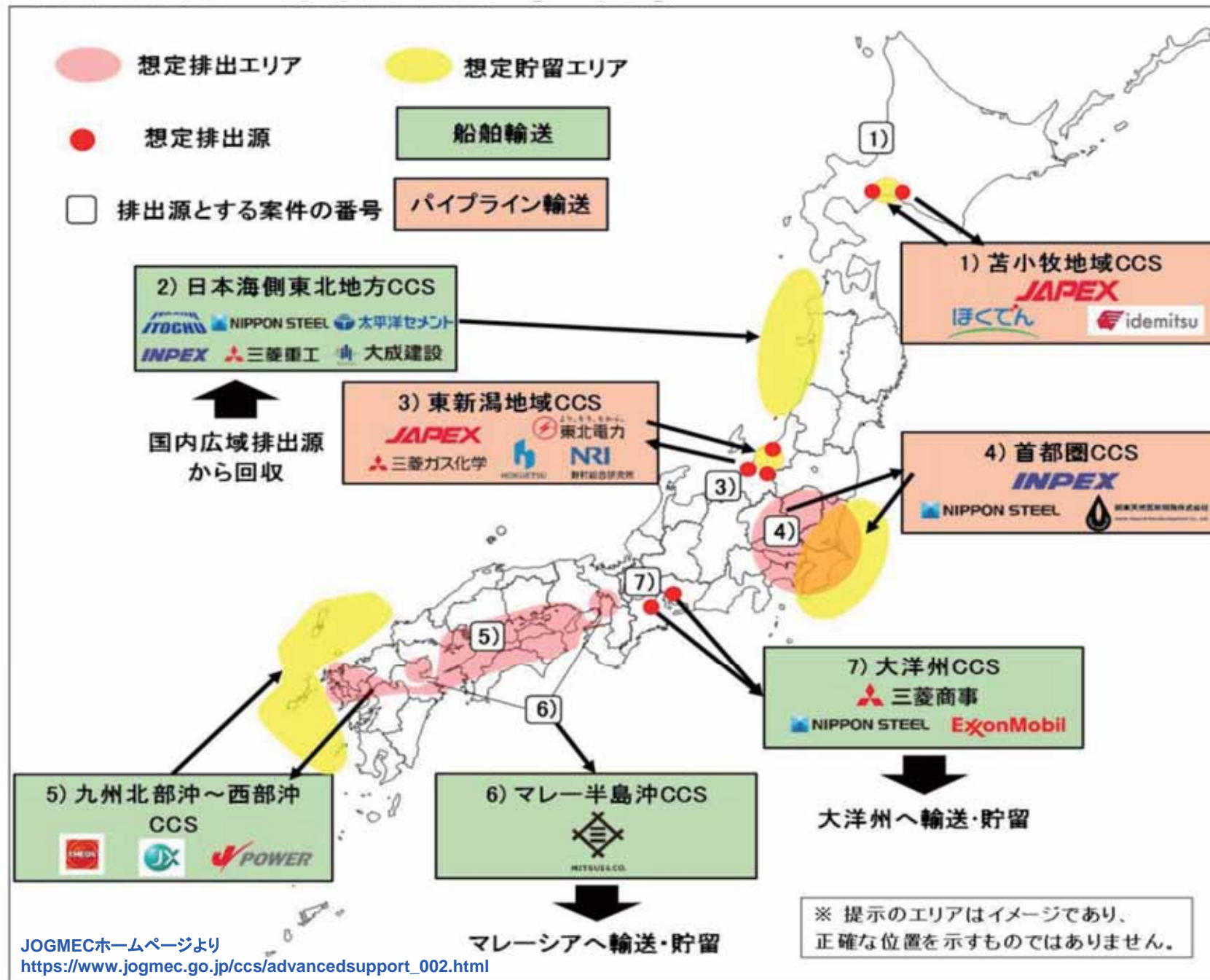
せつ じきゅう

薛 自求

Ziqiu Xue (xue@rite.or.jp)



先進的CCS事業、計7件(国内:5件;海外:2件)が採択された!



モデル性のある先進的CCS事業

- 将来のCCS事業の普及・拡大に向けて横展開可能なビジネスモデルを確立するため、2030年までの事業開始を目標とし事業者主導による「先進的CCS事業」を選定し、国により集中的に支援。
- 具体的には、CO₂の回収源、輸送方法、CO₂貯留地域の組み合わせが異なる3～5プロジェクトから支援を開始し、多様なCCS事業モデルの確立を目指すとともに、2030年までに年間貯留量600～1,200万tの確保にめどを付けることを目指す。
※CCSへの参入を計画する事業者の目標等に基づき設定。英国でも、2030年までに年間貯留量1,000万トンを目指している。
- モデル性としては、CO₂回収源のクラスター化やCO₂貯留地域のハブ化による事業の大規模化と圧倒的なコスト低減に取り組む事業とする。

METI, 2023

- CO₂発生源、輸送方法、貯留サイトの組み合わせ、高い拡張性
 - 多様なCCS事業モデル(排出源・輸送方法)の確立
 - 事業の大規模化(貯留地域)・圧倒的コスト削減

複数の実想定サイトを選定し、事業開発シナリオを検討してきた！

2021-2023年度のNEDO事業(技術研究組合)

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

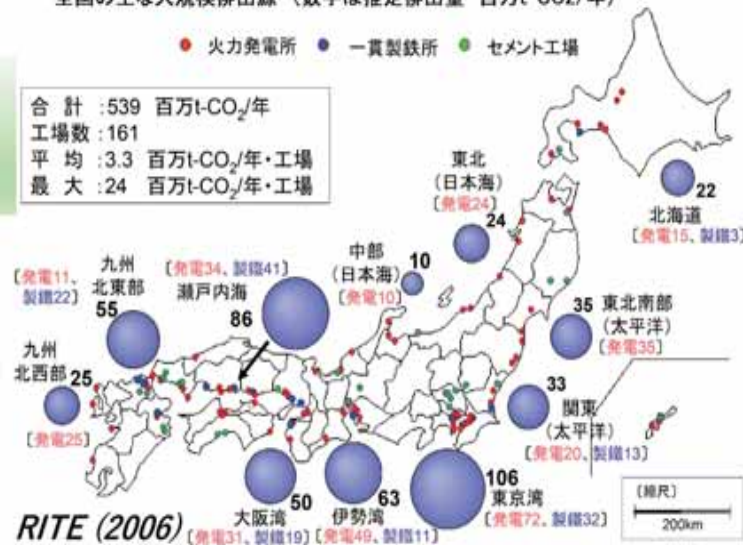
排出源マップ
 ✓ 排出源タイプ
 ✓ 排出量(規模)

輸送距離
 ↓
 輸送手段

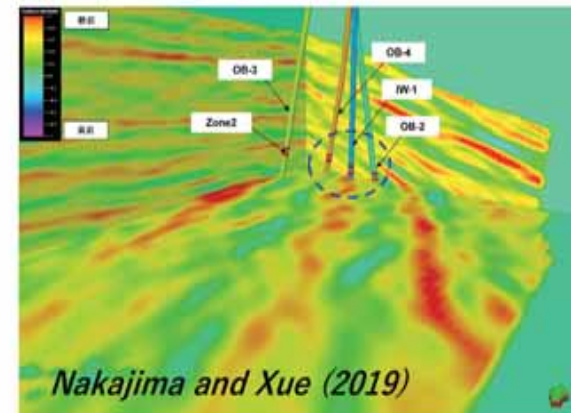
貯留サイト選定
 ✓ 深さ
 ✓ 位置
 ✓ 貯留可能量

国内のサイト
 選定基準

全国の主な大規模排出源 (数字は推定排出量 百万t-CO₂/年)



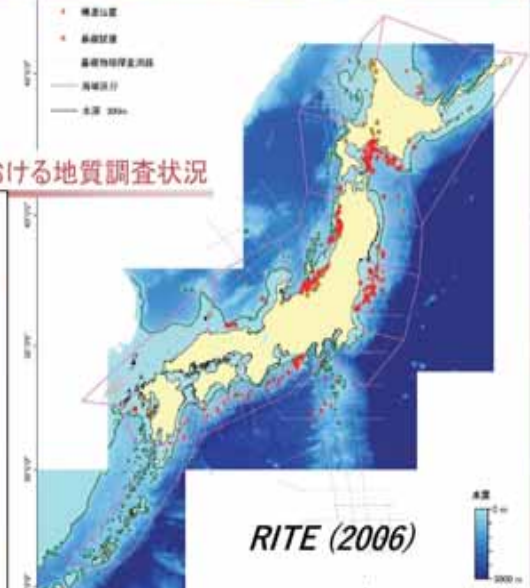
RITE (2006)



サイト地質評価
 ✓ 貯留規模
 ✓ 安全性

潜在的リスク評価
 リスク低減対策

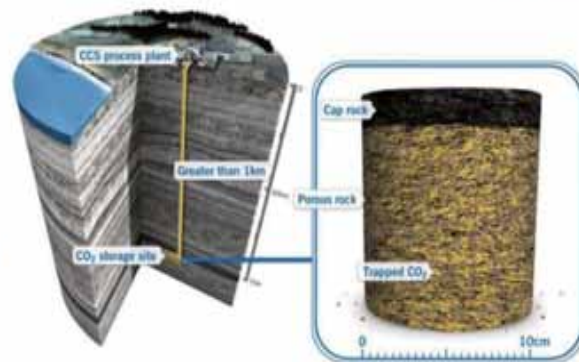
国内における地質調査状況



既存調査データ
 ✓ 基礎試すい
 ✓ 民間企業
 (限られたデータ)

課題整理
 追加データ取得

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



Source: GCCSI

貯留可能量、排出源(排出量、距離)、輸送手段、貯留規模、経済性、社会的受容性(SLO)、複数の実想定サイトを選定！

設立年月日

2016年4月1日



二酸化炭素地中貯留技術研究組合

組合員

- ・応用地質株式会社
- ・株式会社INPEX
- ・石油資源開発株式会社
- ・大成建設株式会社
- ・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
- ・JX石油開発株式会社
- ・電源開発株式会社
- ・伊藤忠商事株式会社
- ・伊藤忠石油開発株式会社

三菱瓦斯化学

関係する業界と研究組合員

CO2排出企業

電力(電源開発)、化学産業
油ガス田(三菱ガス化学)

コンサル・ エンジニアリング企業等

大成建設、応用地質

商社 (ファイナンス、 ビジネスモデル)

伊藤忠商事

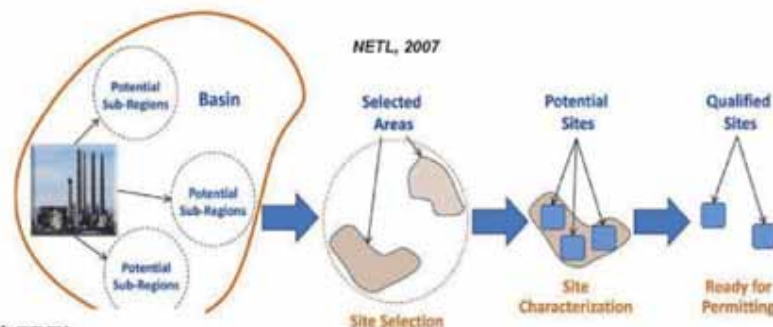
石油・天然ガス 関連企業

INPEX、JAPEX、JX石油開発

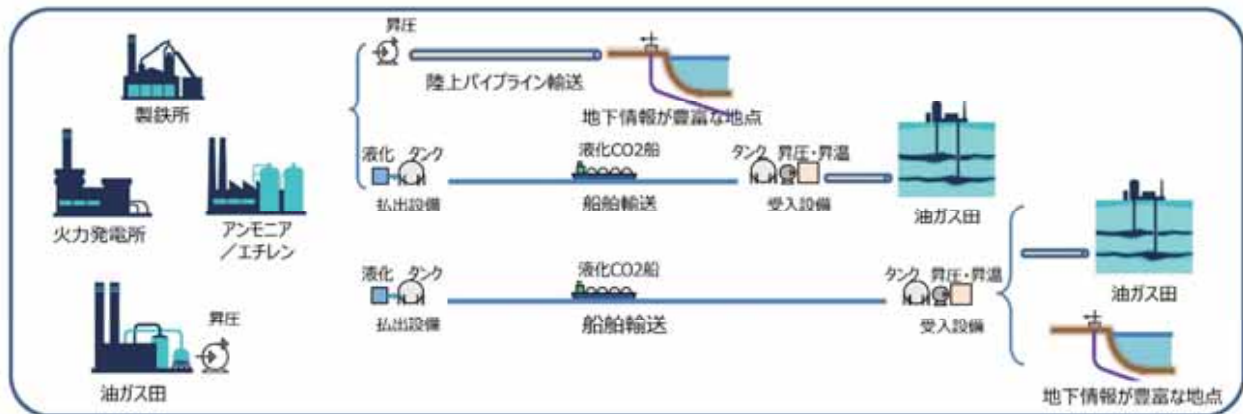
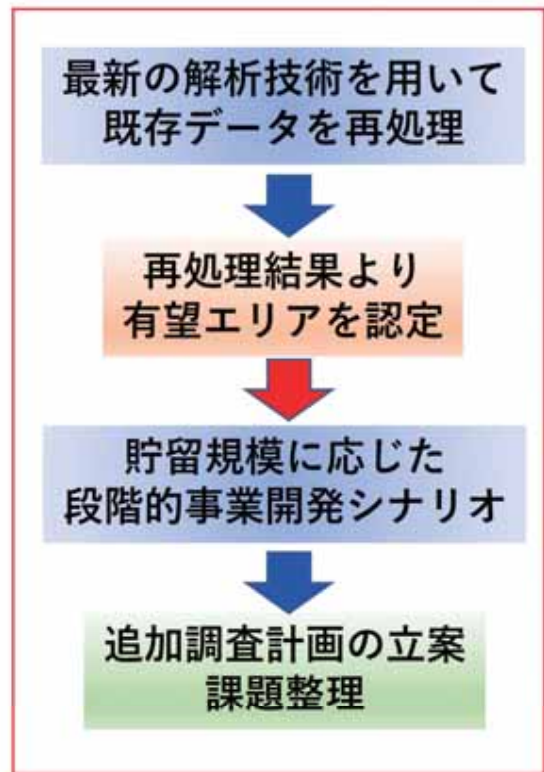
商社技術 サポート企業

伊藤忠石油開発

実想定サイトの検討結果の一例



- **深部塩水帯水層（残留トラップ）のサイト特性評価精度向上と貯留資源量の不確実性評価手法開発**
 - 既存坑井や弾性波探査を用いた遮蔽層・貯留層や断層などの認定精度向上（最新の弾性波探査再処理技術、シーケンズ層序学的堆積システム解析技術の適用）
 - 岩相分布・性状の不均質性・不確実性を考慮した複数地質シナリオのモデル構築手法（地質統計学的手法による層序フォワードモデリングと坑井データの統合手法の開発）
- **サイト特性評価やリスクアセスメントを踏まえたサイト選定手法（CRSマッピングの適用）**
 - サイト特性評価：貯留ポテンシャルマップや圧入性を踏まえた有望な開発エリアの認定
 - リスクアセスメント：遮蔽能力、超臨界条件、断層、既存坑井などを考慮した開発リスクエリアの認定
- **CO2挙動シミュレーションに基づく圧入計画の最適化による貯留層有効活用とコスト低減手法**
 - サイト特性（地質構造、貯留層分布・層準、陸海域の条件）に応じた坑井配置、掘削・仕上デザイン（傾斜井や仕上げ区間による圧入性検討）などの最適化
- **事業フェーズ・貯留規模に応じた最適な開発エリアの選定と事業開発シナリオの構築**
 - CO2供給・貯留規模に応じた段階的な事業開発シナリオの構築（沿岸CO2供給からのオンサイト圧入>陸上パイプライン輸送による貯留エリア拡大）と各事業化シナリオについての経済性評価ツールを用いたコスト試算
- **サイト特性の不確実性・リスクを低減するための効果的な追加調査計画の立案**
 - 浅海～沿岸域における弾性波探査手法や試掘等の坑井における追加データ取得計画
- **モニタリング計画の最適化とコスト低減手法**
 - 陸から海域への傾斜圧入井を想定した沿岸域でのモニタリング計画（CO2挙動、温度圧力測定等）の策定



技術研究組合が描いているCCS事業イメージ

先進的CCS事業の目的・概要

<モデル性の内容のイメージ>

2030年までの事業開始、CO2回収源のクラスター化やCO2貯留地域のハブ化による事業の大規模化・圧倒的なコスト低減を目標とし、分離・回収、輸送、貯留の各プレイヤーが参画するコンソーシアムを形成し、年間CO2貯留量が50万トン以上である事業構想。以下のパターンを踏まえて、多様な組み合わせを選定。

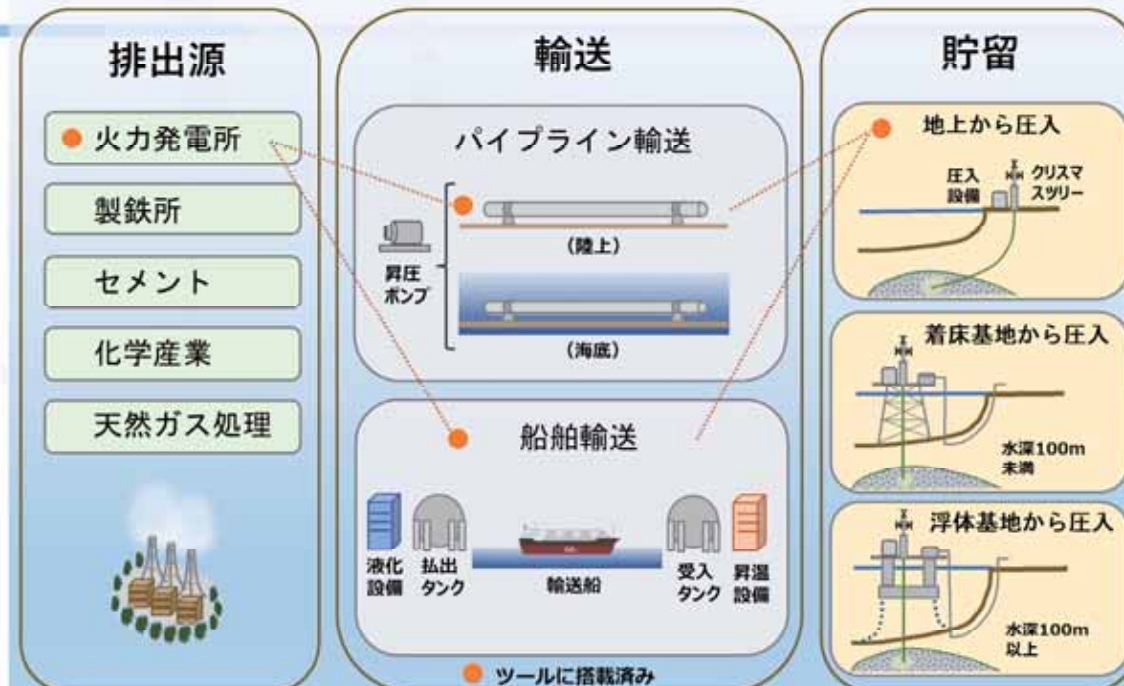
想定されるCO2の回収源、輸送方法、CO2貯留地域のパターン

CO2の回収源	輸送方法	CO2貯留地域
火力発電所 製鉄所 化学工場 セメント工場 製紙工場 水素製造工場 等	パイプライン 船舶	陸域の地下 海底下（沿岸地域） 海底下（沖合）

CCS事業コスト試算ツール

作成中（ポスターをご参照ください）

どの部分が、コスト削減できるか、
どう削減する（組合せ・最適化）か



輸送方法や貯留方法には複数の選択肢があり、排出源と貯留適地の距離や貯留適地の場所に合わせた最適な輸送・貯留地点が設置されるため、これを踏まえた支援を行うべきではないか

- ✓ 貯留可能量
- ✓ 排出源
(排出量、距離)
- ✓ 輸送手段
- 貯留規模
- 経済性(コスト)
- 複数ケーススタディ

技術的

経済性

経営的
意思決定

最適な事業構成

令和4年9月2日
資源エネルギー庁
資源・環境部 石炭・天然ガス課

事業構成の最適化に向けて： 排出源DBの概要

- ✓ GCS実用化・事業化には、CO₂排出源と貯留サイトの適切な**マッチング**が重要
 - ・火力発電所、工場、ごみ焼却施設からのCO₂排出量を事業所ごとに試算し、データベース化
 - ・CO₂排出源(黄緑点)と貯留可能地域(カテゴリーB)の統合表示 & 情報検索機能を開発
 - 適切なマッチングを**視覚的支援**
 - ・港湾排出源情報、港湾から離れている排出源スクリーニング、既存パイプライン情報表示
 - **ハブ&クラスター化**、内陸型産業連携、CO₂の輸送手段の**検討支援** など
 - ・バイオマス燃料によるCO₂排出量もデータベース化 →→ **BECCS**の潜在能力も把握可

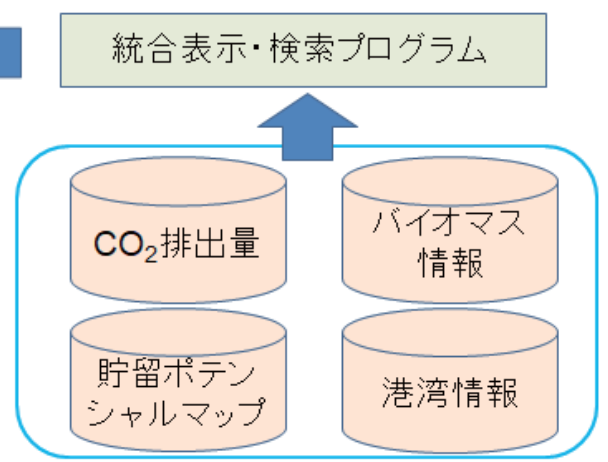
●CO₂排出源データベースの機能概要

機能概要:

- 表示する背景地図の変更・追加して表示するレイヤーの選択
- 選択範囲の指定
- 地図のズームを初期化
- 排出源区分にチェックを入れてフィルターをかけることができます
- 排出量の範囲を設定してフィルターをかけることができます
- 項目ごとに検索あるいはフィルターを実行できます
- 選択表示されている排出源データをExcelとしてダウンロード(何も選択せずに押すと全データがダウンロードされます)
- ヘッダー名をクリックすると、昇順・降順が切り替わります。(何もなければ、北あるいは東から並べられます)

●中小火力、工場を含む約1万の排出源を対象
→社会全体のカーボンニュートラル検討に貢献

ポスターをご参照ください



我が国のCO₂貯留可能量

地質データ	カテゴリーA (背斜構造への貯留)	カテゴリーB (層位トラップなどを有する地質構造への貯留)	評価精度	貯留量
既存油ガス田	坑井・震探データ豊富 A1: 35億トン	坑井・震探データあり B1: 275億トン (水溶性ガス田)	高	中~小
基礎地質	坑井・震探データあり A2: 52億トン	震探データあり B2: 885億トン (16海域)	高~中	中
基礎地質	坑井なし A3: 214億トン	震探データあり B2: 885億トン (16海域)	中	大
既存データによる貯留可能量	A1+A2+A3+B1+B2: 1,461億トン 【日本の年間排出量(H29:11.91億トン)の100%分以上】			
地質調査データベース			<ul style="list-style-type: none"> ・地下800m以下かつ4,000m以上 ・水深区分(200m、500m、800m) ・断層の取り扱い(透漏/遮断) 	
貯留ポテンシャル	中	大		データ量・質により不確実性存在(貯留量性、シールド力、CO ₂ 移動、断層)

出典: 全国貯留地質調査報告書(RIT E 2006)

参考:
 火力・原子力発電所設備要覧(一般社団法人 火力原子力発電技術協会、平成29年度改訂版)、
 石炭火力発電所一覧(資源エネルギー庁、電気事業法に規定する発電事業者が保有する特定発電用電気工作物)、
 地球温暖化対策の推進に関する法律(以下、温対法)に基づく「算定・報告・公表制度」による排出量等データ、
 エネルギーの使用の合理化等に関する法律(以下、省エネ法)に基づく定期報告書の集計・分析、
 資源エネルギー庁 電力調査統計、国土地理院 地理院タイル、国土交通省 社会資本情報プラットフォーム

➤ 排出源の視覚的・効率的把握： 排出源アグリゲータ支援

- ・堺泉北臨海コンビナート(大阪、堺)の排出源スクリーニング事例
(地図を移動拡大し、注目範囲を四角で囲むだけで容易にスクリーニング)
- ・排出源アグリゲータの初期活動を効率的に支援 など

排出源区分

- 1_石炭火力
- 2_LNG火力
- 3_石油火力発電所
- 4_石油・自家発電
- 5_バイオマス (ごみ処理以外)
- 6_ごみ処理施設
- 7_その他の燃料
- 8_工場

注目範囲内の排出源情報

Excel (排出源タイプ、燃料種別、排出量、港からの距離)

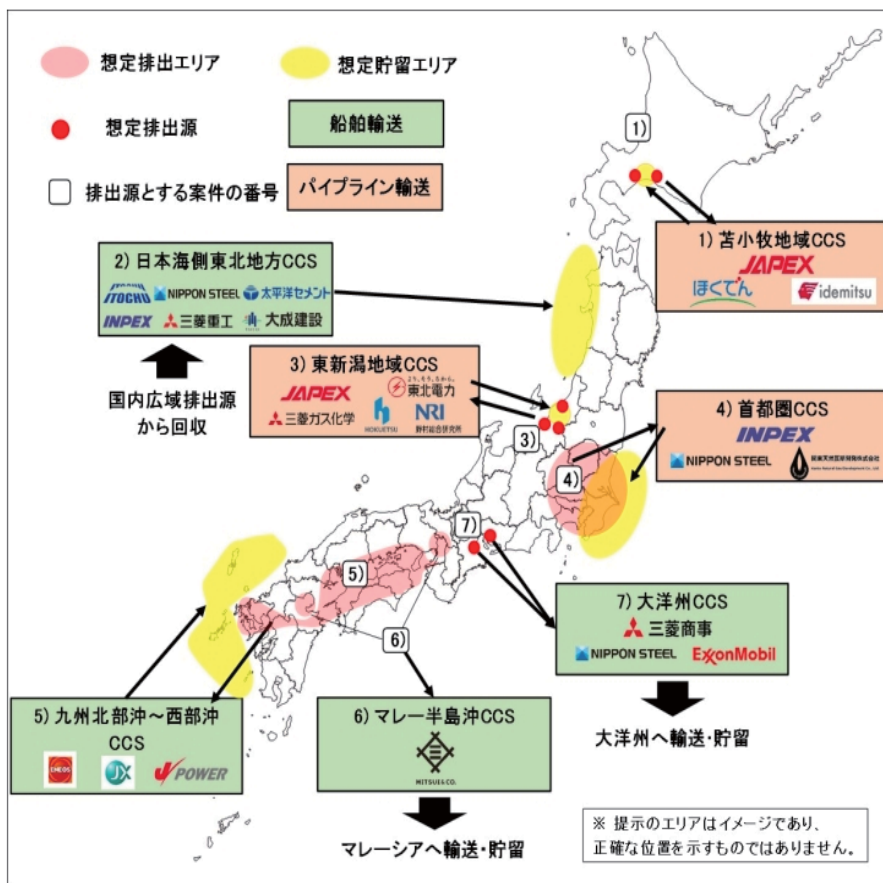
会社名	事業所名	発電容量 (MW)	大分類	総排出量	化石燃料	バイオマス	港名	港から km
All	All	All	All	All	All	All	All	All
日新製鋼株式会社	堺製鉄所		工場	0.021163	0.021163	0	堺泉北	2.7
株式会社東本組工 所	堺工場		工場	0.001573	0.001573	0	堺泉北	3.2
株式会社クボタミ ックス	堺工場		工場	0.000607	0.000607	0	堺泉北	3.2
株式会社大洋工 所	堺事業部堺工場・関 東工場		工場	0.0006	0.0006	0	堺泉北	3.2
富士製鉄株式会社	本社工場		工場	0.000422	0.000422	0	堺泉北	3.2
関西電力	堺港	2000	LNG	3.2	3.2	0	堺泉北	2.5
日立造船株式会社	堺工場		工場	0.000144	0.000144	0	堺泉北	1.4
日本伸銅株式会社	堺工場		工場	0.000737	0.000737	0	堺泉北	1.1
丸一製管株式会社	堺工場		工場	0.001318	0.001318	0	堺泉北	3.2
コーニングジャパン有 限会社	堺工場		工場	0.052455	0.052455	0	堺泉北	1.6
明チスプレイプロダ クト株式会社	明チスプレイプロダク ト株式会社		工場	0.006234	0.006234	0	堺泉北	1.6
堺田工業株式会社	堺製鉄所		工場	0.00239	0.00239	0	堺泉北	1.6

Showing 1 to 20 of 40 entries (filtered from 10,616 total entries)

Previous 1 2 Next

大規模ハブ & クラスター化検討支援： 港湾クラスターの規模把握

選定した先進的CCS事業の位置図（R5年6月時点）

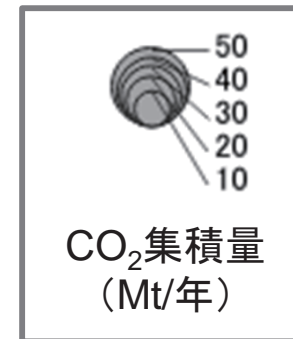


JOGMECホームページより

https://www.jogmec.go.jp/ccs/advancedsupport_002.html

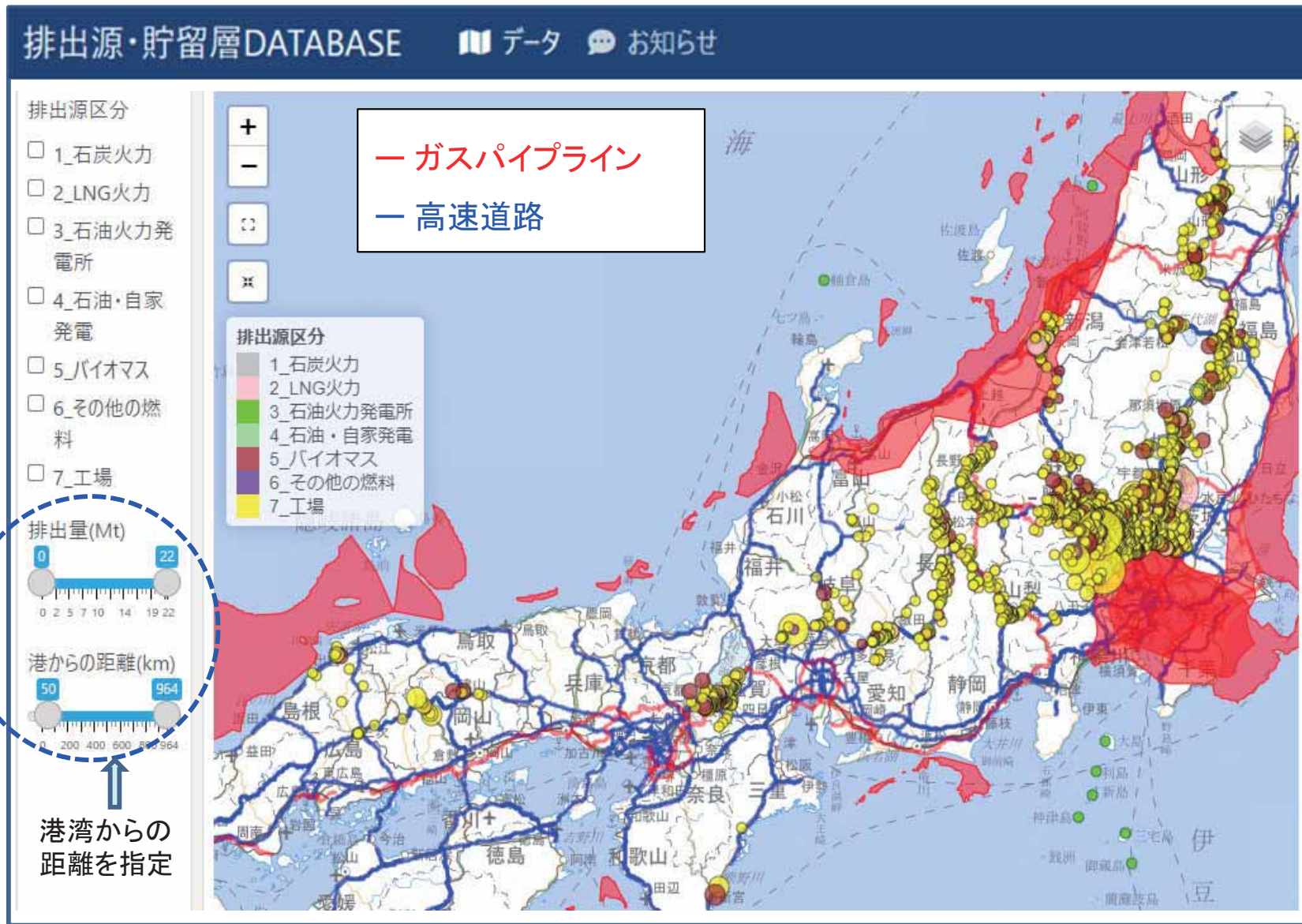
先進的CCS事業の成果をさらに拡大する検討

- ・個別の事業の最適化から、日本全体のCCS構成の最適化へ
- ・クラスター化の主力となる港湾排出源群の位置と規模の把握
- ・CO₂輸送手段の検討支援：基幹パイプラインの施設検討等



➤ 内陸型排出源のクラスター化検討支援

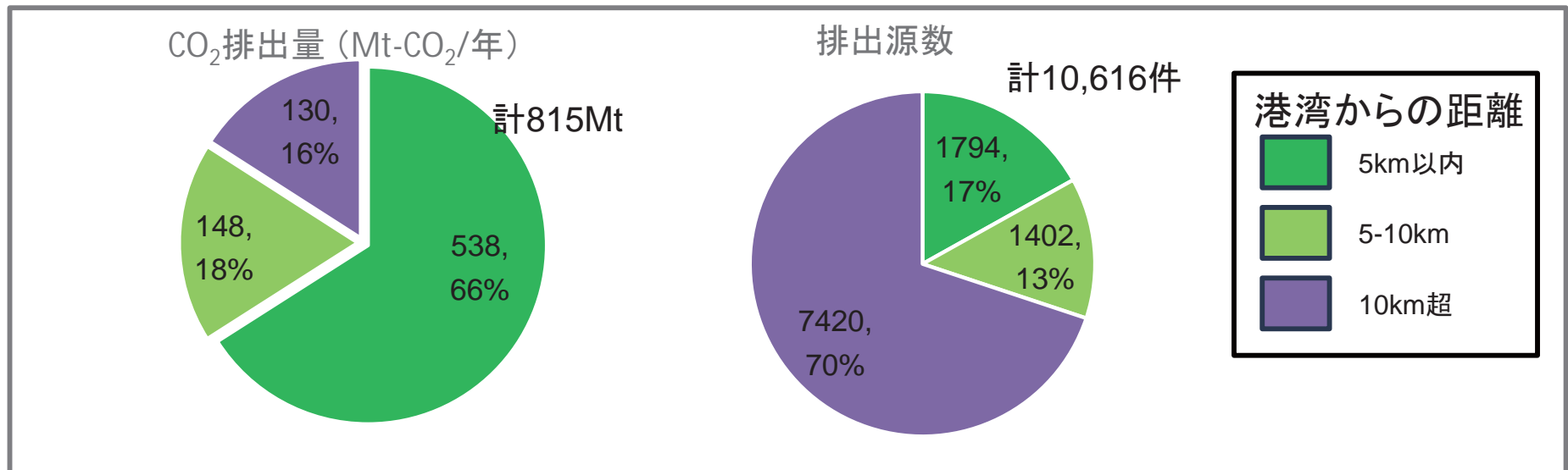
- ・以下は、港湾から 50 km 以上離れた排出源の表示例
- ・港湾周辺排出源が主であるものの、内陸型排出源も多く存在
- ・陸域貯留、パイプライン輸送、オフセット化などの検討支援に活用



➤ ハブ & クラスター化に関するデータ分析

1) 港湾集積度分析

- ・港湾5km以内(国土の約1%)で発電所や工場の66%のCO₂を排出
- ・内陸型排出源も一定割合存在し、特に事業者数は過半数を占める



2) 考察

視覚的分析のみでなく、データ分析からも以下を裏付け

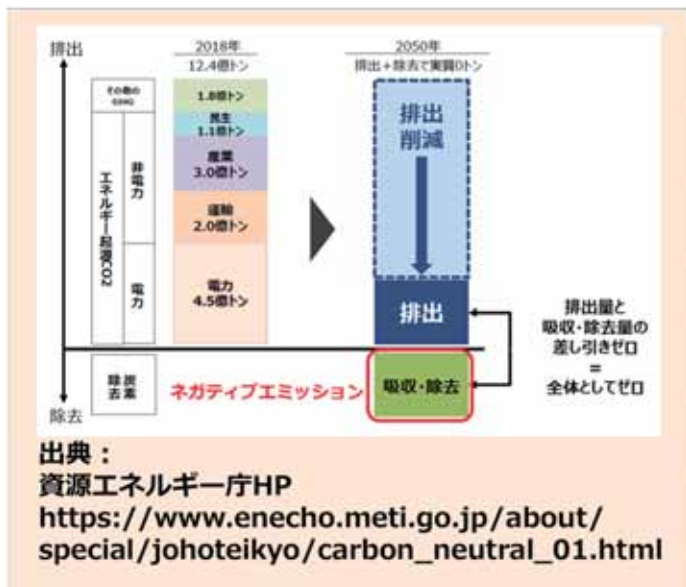
- ・港湾を中心としたクラスター化 & 大規模CCS化が最有力
- ・一方、内陸型排出源のカーボンニュートラル化も不可欠



- ・中小規模の分散した排出源に対応するには、BECCSによるオフセット化も必要

内陸分散型排出源のカーボンニュートラル化の検討例

BECCS&オフセット化の位置づけ



- ・バイオマス燃料からのCO2排出に絞った表示
- ・BECCS&オフセット化の候補地域の選定



自治体のカーボンニュートラル化検討例

ごみ処理施設
BECCS化&オフセット

市営バス
(脱炭素化困難)

これからの研究開発：事業 (field projects) との密接な連携

Iterative Process towards Deployment

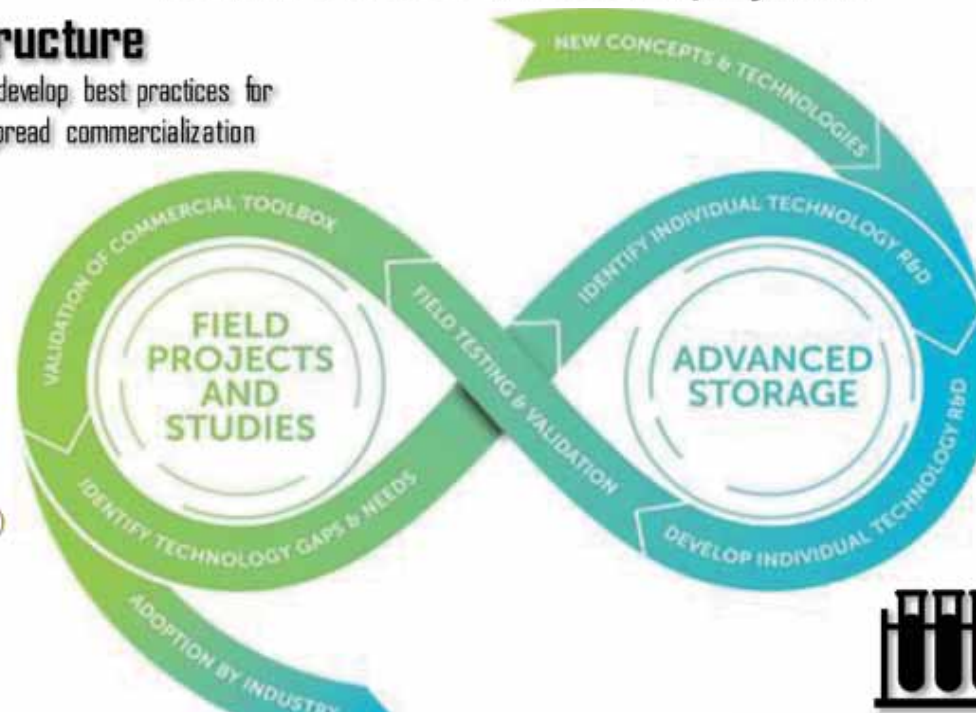


Storage Infrastructure

Large-scale field projects to develop best practices for industry and facilitate wide-spread commercialization

Storage Infrastructure Focus

- CarbonSAFE
- Regional Initiatives
- Offshore Storage
- Brine Extraction Strategy Test (BEST)
- Associated Storage (CO₂ EOR)



Advanced Storage Focus

- Well Integrity and mitigation
- Monitoring, verification, and accounting
- Storage complex efficiency and security
- SMART: Science-Informed Machine Learning for Accelerating Real Time Decisions
- NRAP: National Risk Assessment Partnership

US/DOE (2021)



Advanced Storage

Harness early-stage storage concepts to technology demonstration

Subsurface stress

- improved capability to forecast risk of induced seismicity & compromise of seal integrity

Wellbore integrity

- Find & assess legacy wells and novel materials/techniques for remediation

Secure storage

- Improve AZMI tools

Plume detection and storage efficiency

- Locate plume margins & pressure increase; improve use of pore space)

➤ With JCCS soon

Site characterization

- Map reservoir & seal heterogeneities and deep faults

Regional resource estimates

- filling the data gaps & realistic basin-scale storage estimates)

Transformational sensing

- Micro/nano and optical fiber sensing capabilities; wireless computing to enable intelligent monitoring systems

➤ Collaborating with CSIRO in Aus.

AOI 1: Fault Detection, Characterization, and Hazard Assessment

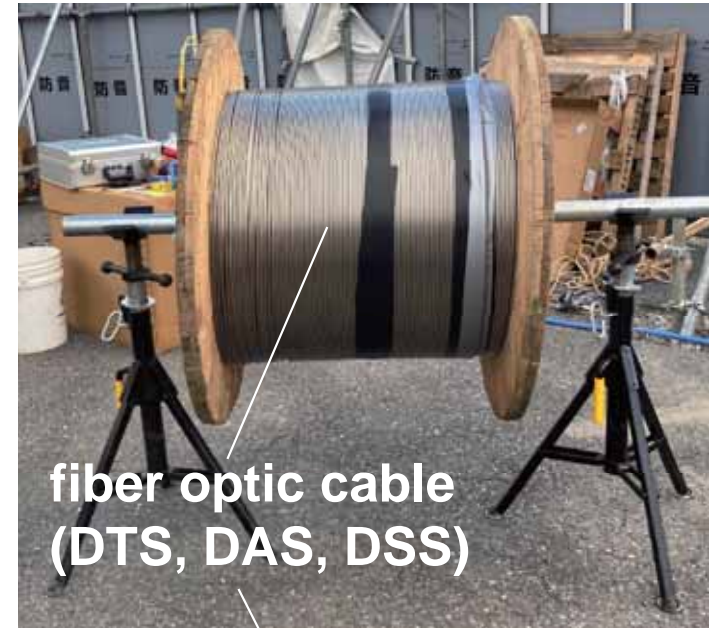
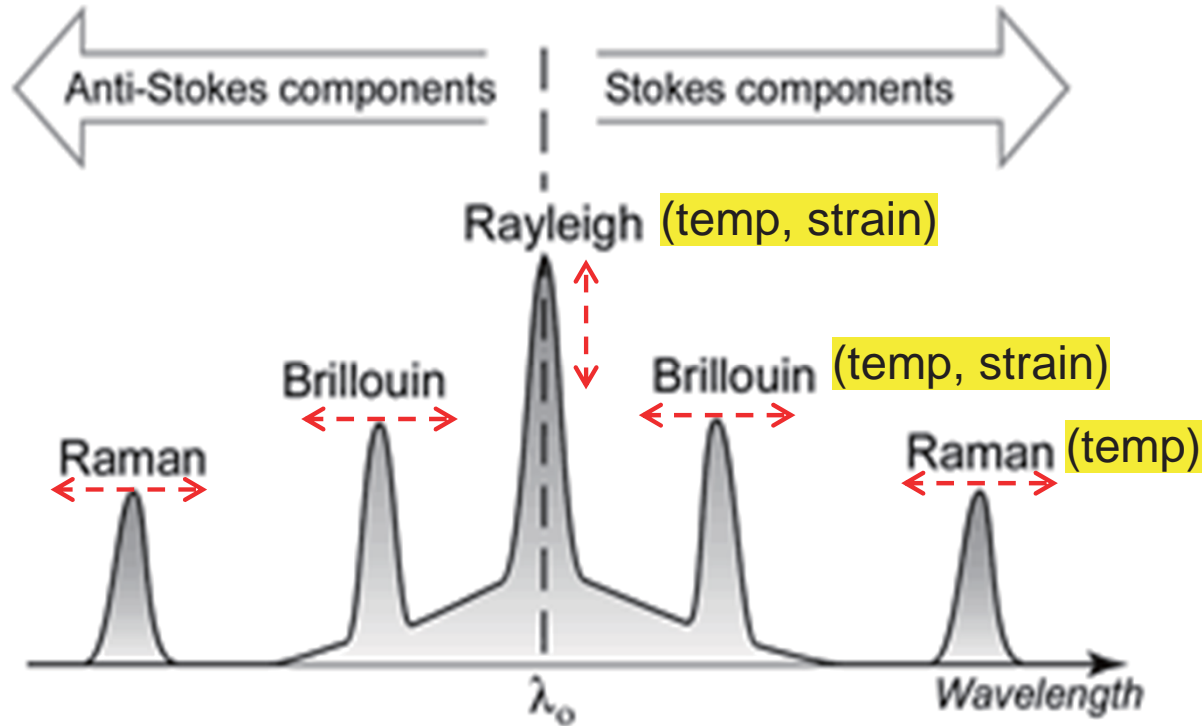
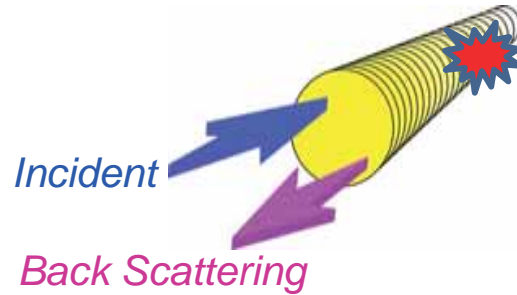
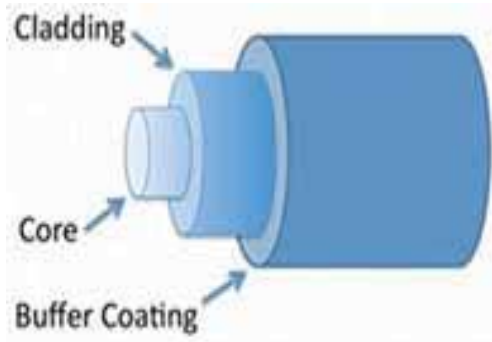
Focused on developing new characterization methods for providing high-fidelity data on faults, fault slip or potential fault slip, assessment of faults during active injection, criteria for cost-effective methods for assessing and choosing a site, and other related research

➤ Collaborating with North Dakota University in USA

➤ Advanced CO₂ Storage Monitoring with Fiber Optic Sensing (DTS, DAS, DSS)

- To track the movement of CO₂ and assure permanence for geologic storage
- Provide measurements of **down-hole** and reservoir conditions for real-time decision making and process optimization
- **To** decrease the cost and uncertainty in measurements and satisfy regulations
- Provide long-term post-injection monitoring

Optic Fiber and Back Scattering



Distributed Fiber Optic Strain Sensing (DFOSS)

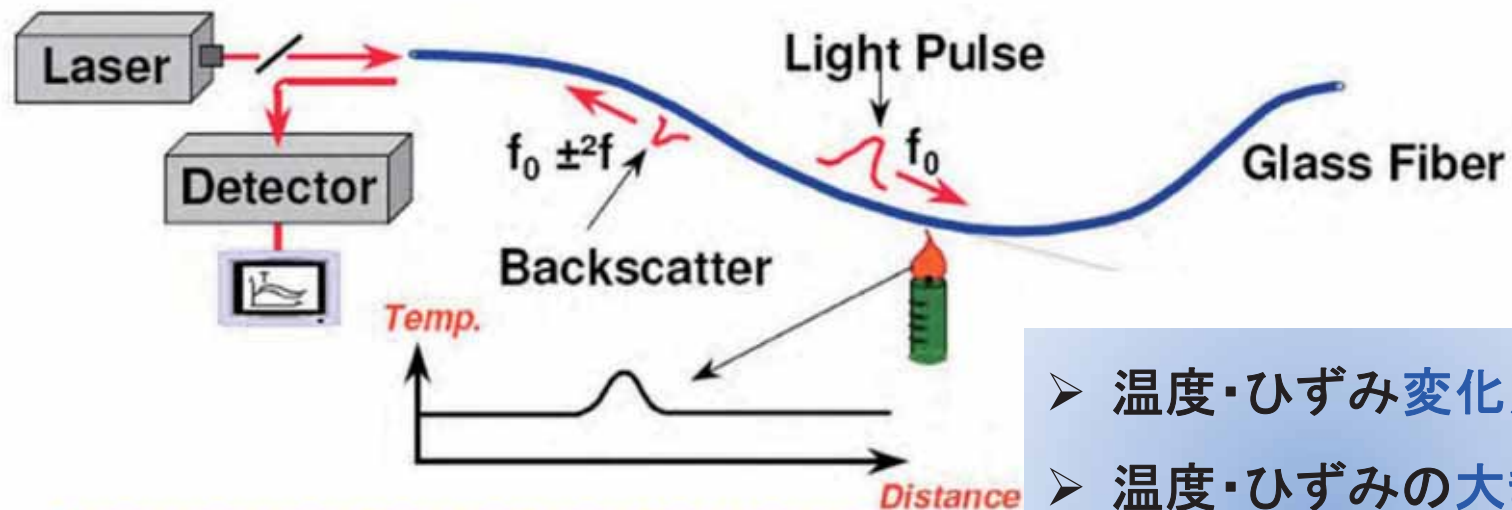
Distributed Temperature Sensing (DTS)

Dria, 2011

➔ Distributed Strain Sensing

Raman Scattering

with Rayleigh Scattering



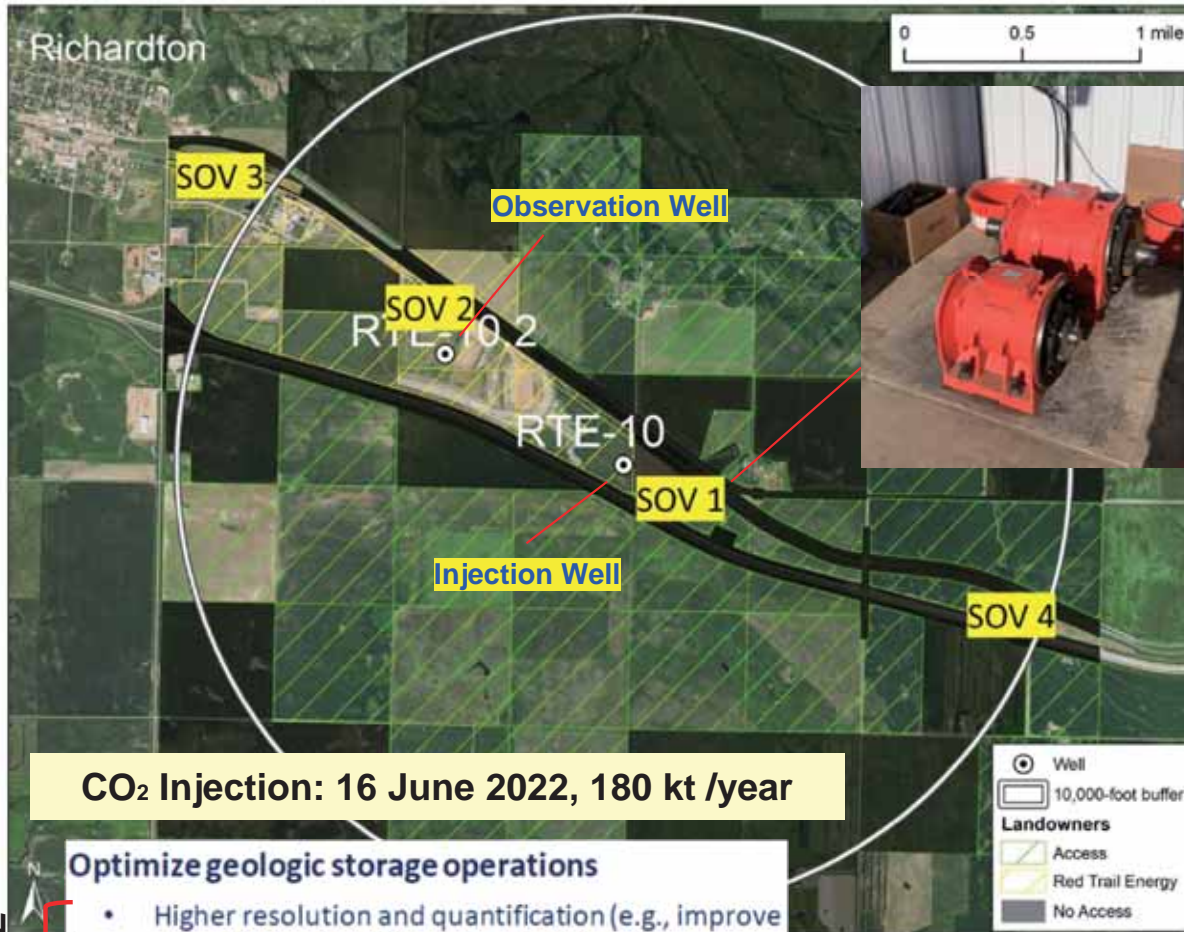
• Temperature value = Anti-Stokes/Stokes

• Location = travel time

- 温度・ひずみ変化点
- 温度・ひずみの大きさ
- 温度・ひずみの分離
- 半永久的に利用可

DAS: Distributed Acoustic Sensing (VSP)

Fiber Optic Sensing for Multi-purpose Data Acquisition (DTS, DAS, DSS) and Permanent Monitoring for CO₂ Storage, North Dakota, United States (日米CCUS協力事業)



CO₂ Injection: 16 June 2022, 180 kt /year

Optimize geologic storage operations

- Higher resolution and quantification (e.g., improve characterization of faults and fractures)
- Geomechanics (pressure and state of stress)
- Enabling real-time decision making

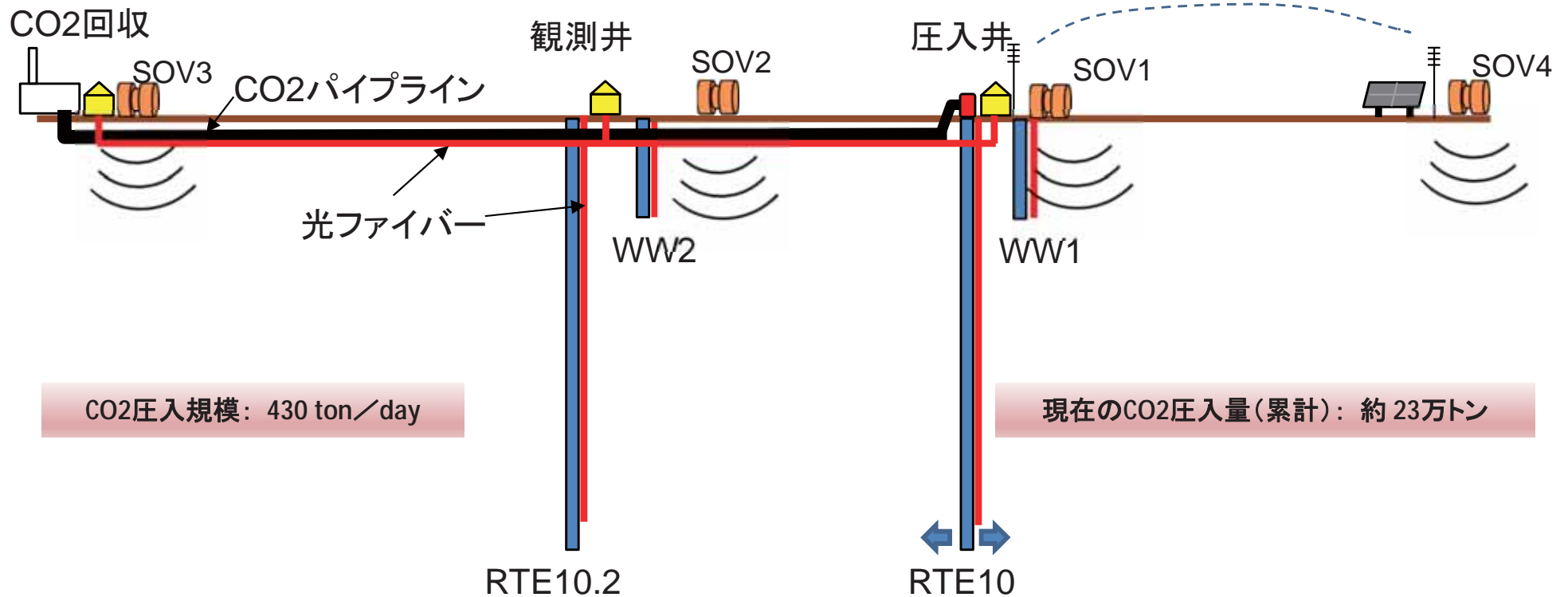
Class VI Approved
(Oct. 2021)

North Dakotaサイトの技術実証

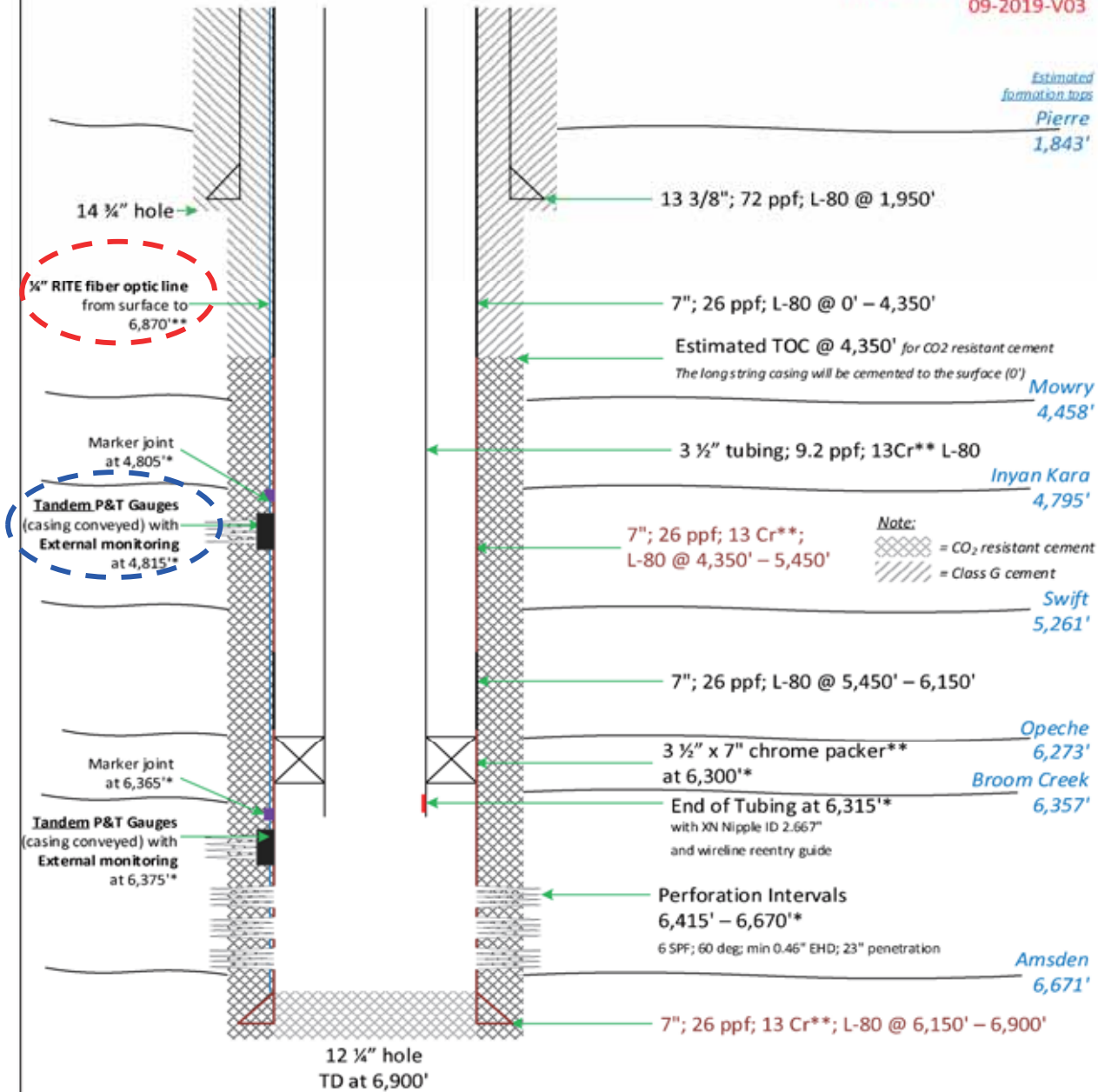
- Optic fiber cables (designed by RITE) installed behind casing of two deep wells (Injection & Observation: 2.1 km) and two ground water wells (depth: 600 m).
- SOV-DAS/VSP for CO₂ plume monitoring (180kt/year x 20 years)
- Coupled analysis of InSAR and DSS from the shallow water wells
- Which depth & how much the deformation occurs in subsurface and how it migrates to surface

US/DOE

光ファイバーによるCO₂モニタリング



DAS (音響計測)	CO ₂ プルームの広がり把握(DAS/VSP)
DSS (ひずみ計測)	坑井健全性、貯留層/遮蔽層安定性監視、CO ₂ 挙動監視
DTS (温度計測)	坑井周辺のCO ₂ 挙動監視(坑井健全性)



Note:
* Depths will be determined based on open hole log evaluation
** Pending final engineering design

深さが6,900 feet(約2.1km)の圧入井(RTE-10)、観測井(RTE10.2)へ光ファイバーを設置

指向性パーフォレーションが断念



光ファイバーが貯留層上部まで



DAS/VSP観測で光ファイバー終端直下に空白域

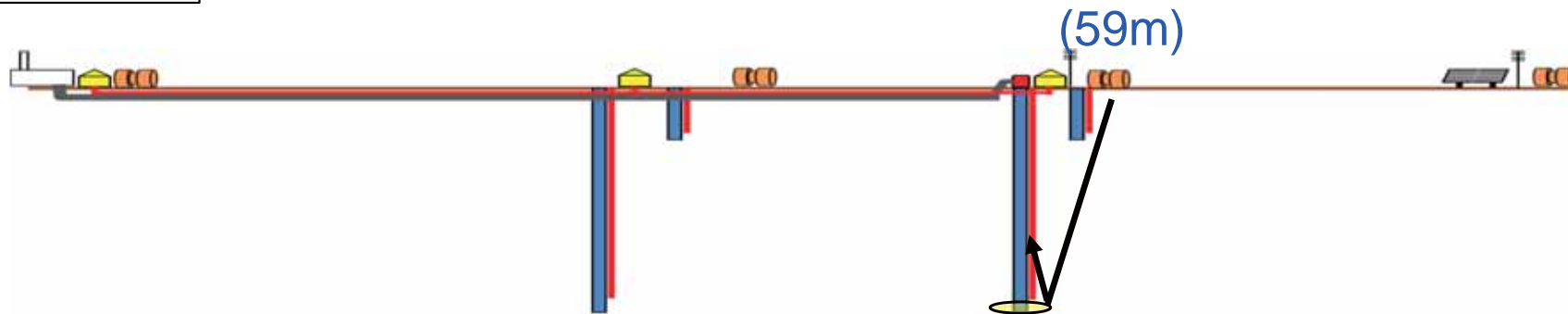
光ファイバー設置に伴う作業時間の増加は10-20%程度

DAS/VSPによる圧入井周辺 貯留層内のCO₂分布状況の把握



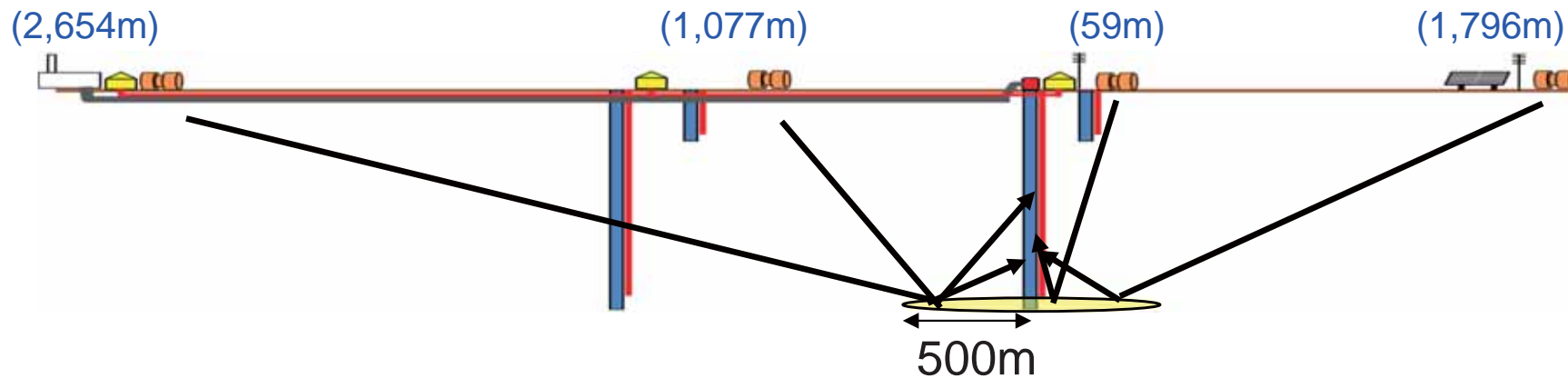
圧入初期

ゼロオフセットVSPで圧入CO₂分布域を検知



~5年

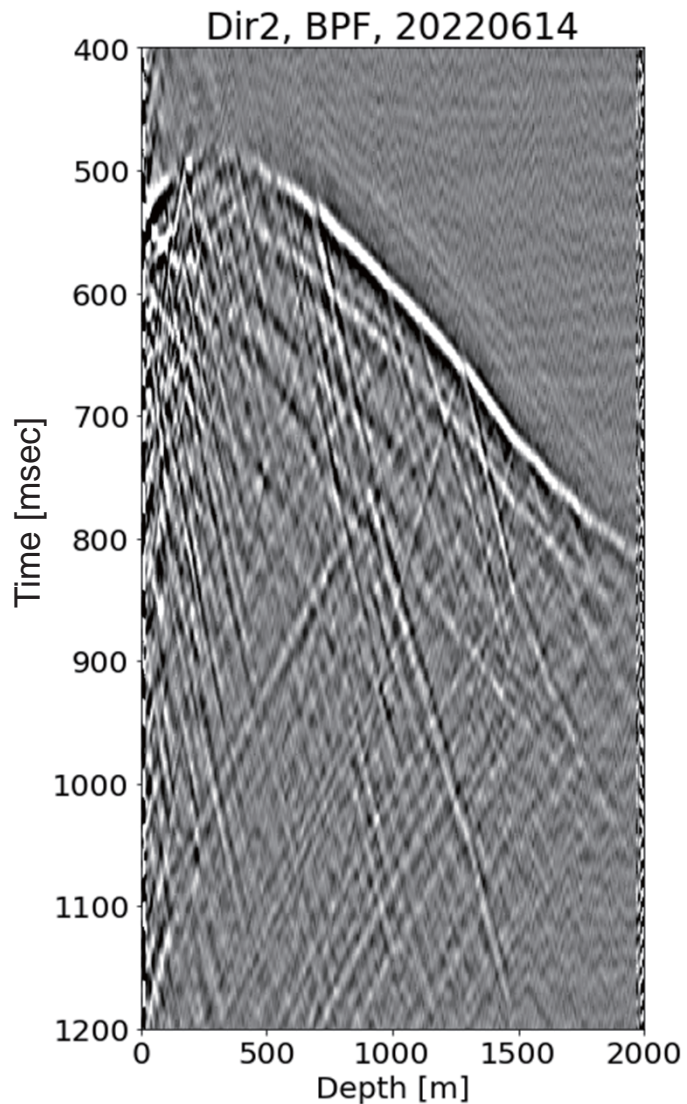
オフセットVSPで圧入CO₂分布域(貯留層内の広がり)把握



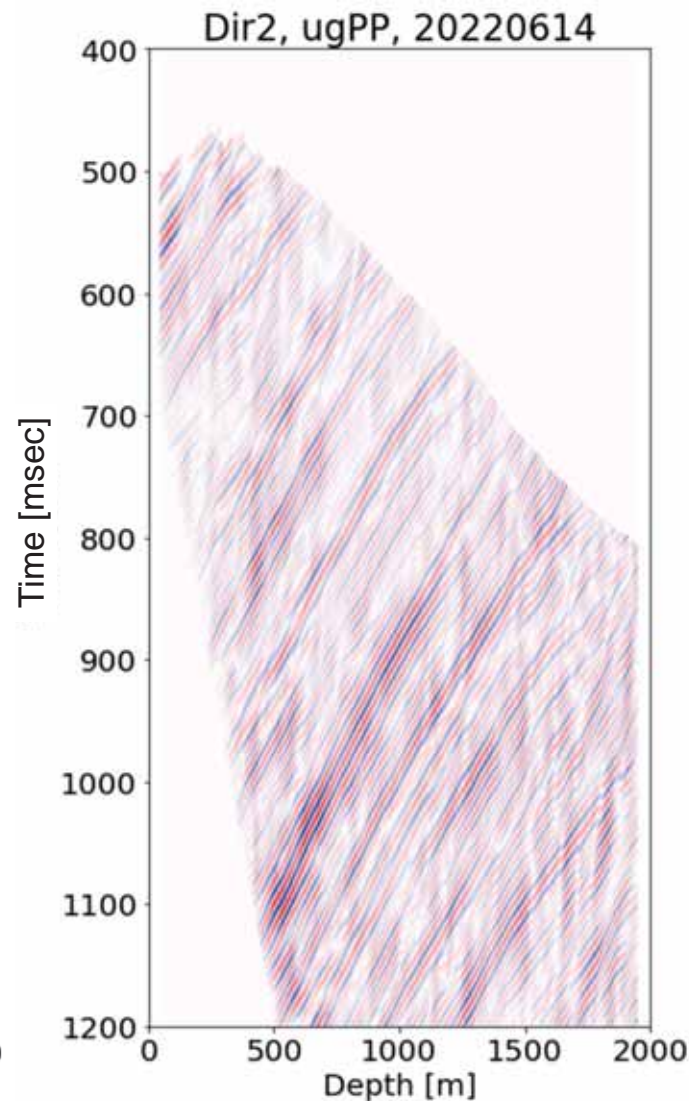
SOV2 - RTE10 (offset 1,077m) DAS/VSP速報

ベースライン計測

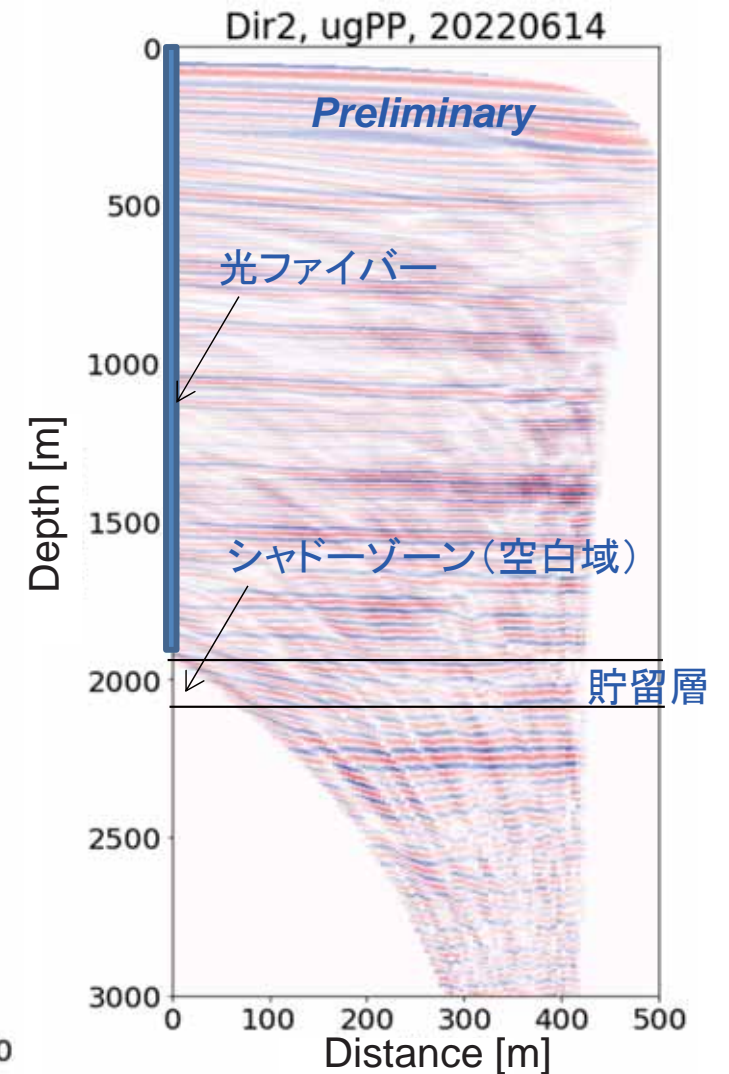
Baseline data



Up-going P-wave



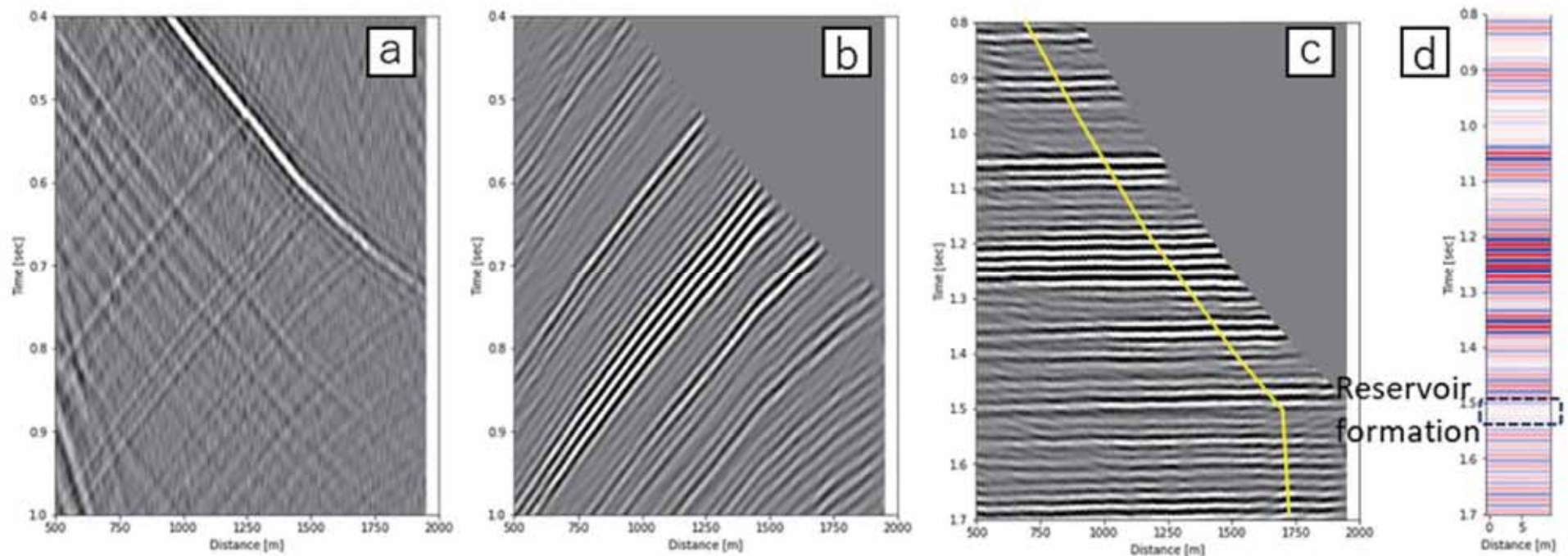
CMP transformed



貯留対象層では、オフセット約100m以内はシャドーゾーンになる

Zero-offset SOV-DAS/VSP for CO₂ injection monitoring @RTE-10

Miyoshi et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024

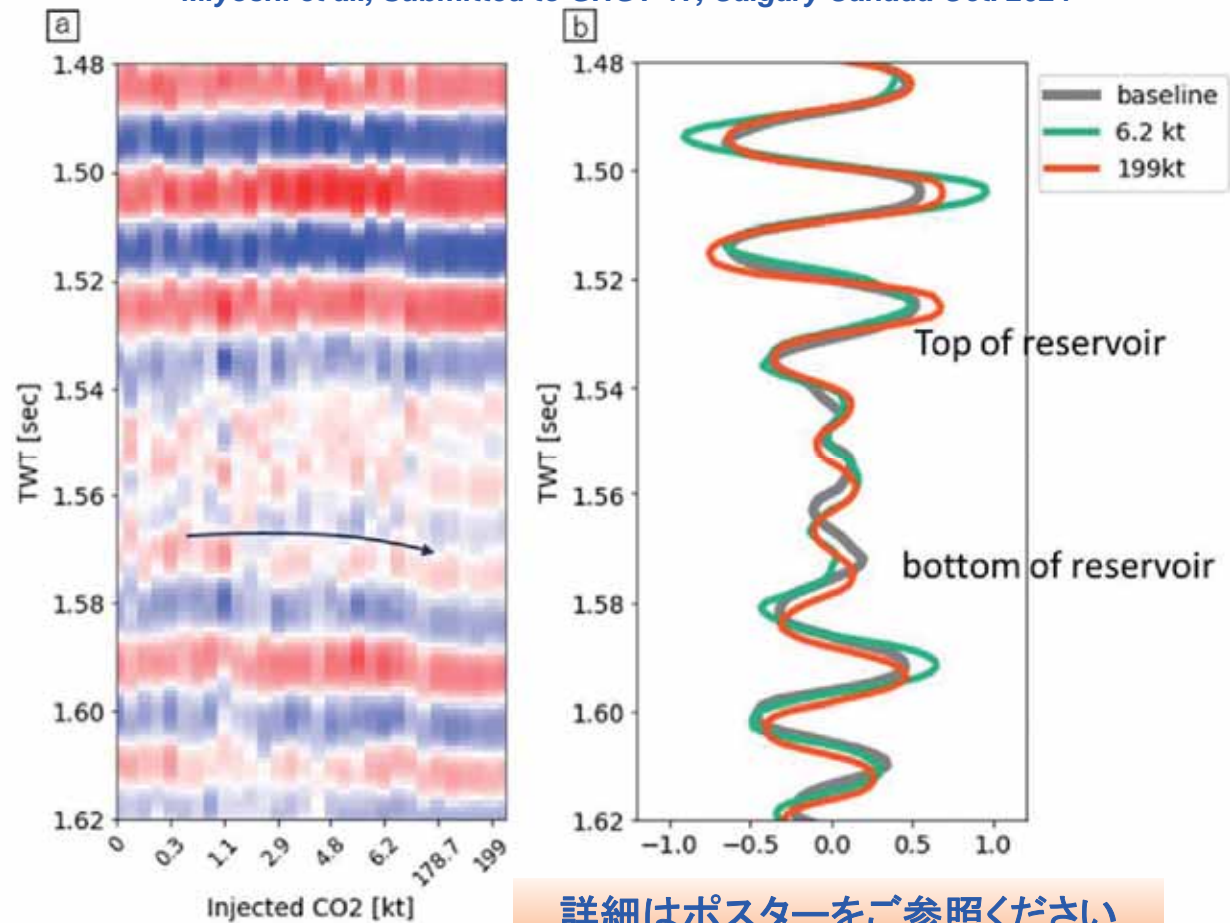


Processed zero-offset VSP acquisition using SOV1 after (a) deconvolution and noise attenuation, (b) wavefield separation, (c) two-way travel time conversion, and (d) corridor stacking

詳細はポスターをご参照ください

A zero-offset VSP section recorded using SOV1

Miyoshi et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024

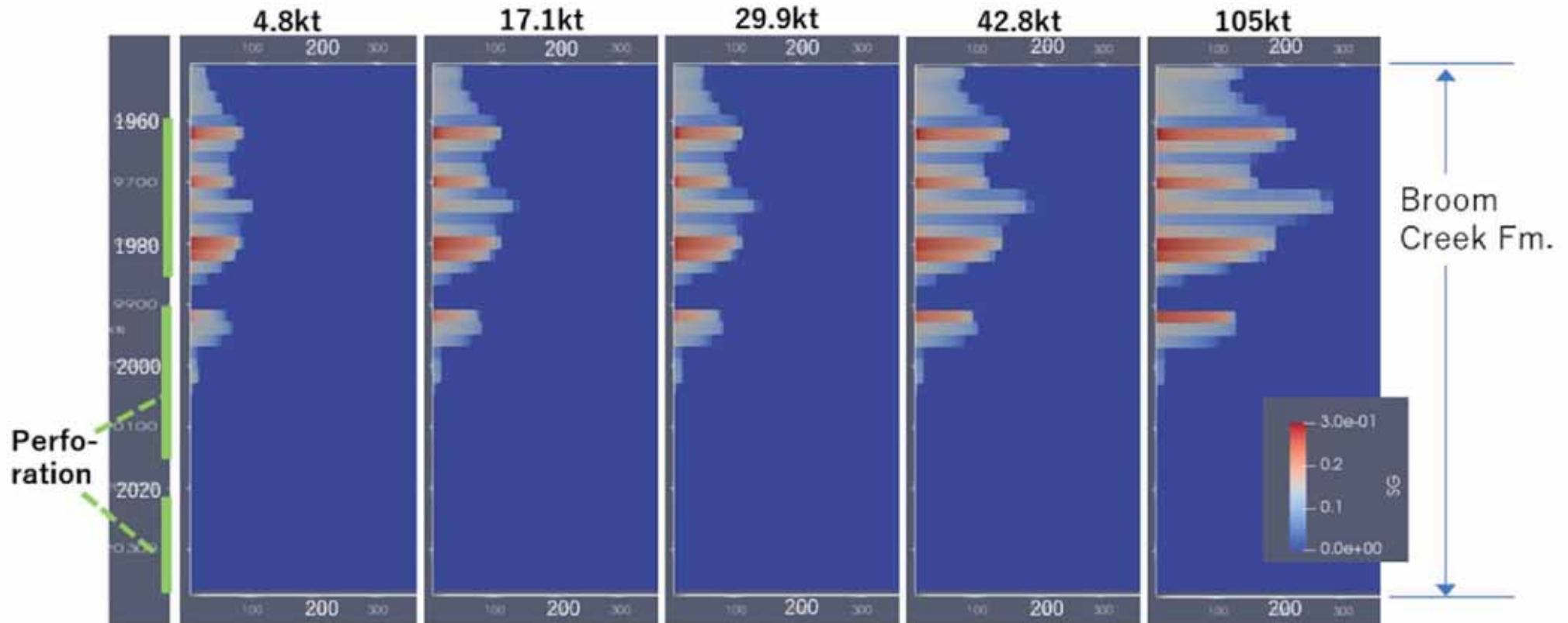


(a) The time series corridor stacks, and (b) comparison of reflected waves.

The reflected waves propagating through the CO₂-bearing zone show travel-time delay due to replacement of formation water by the injected CO₂, enabling us to identify the top and bottom of the target reservoir.

CO₂ distribution in Broom Creek

Nakajima et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024

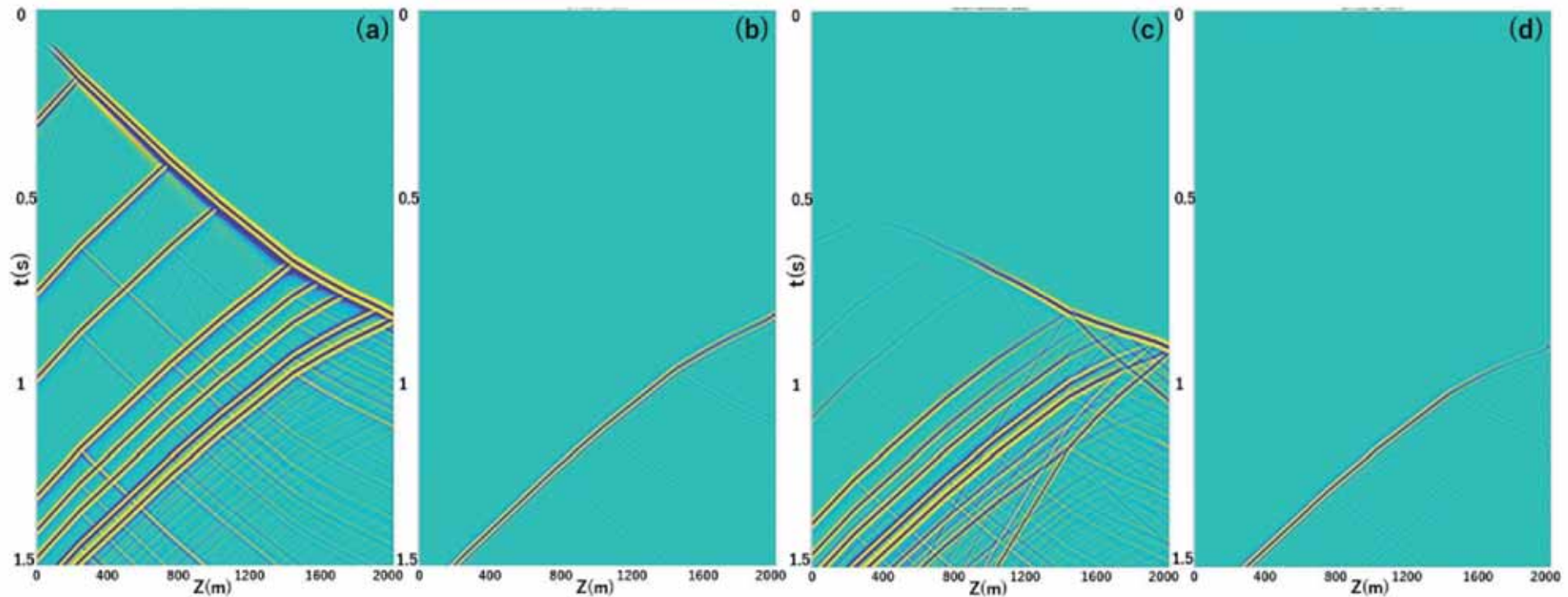


- Mainly in high permeability layers (perforated intervals)
- CO₂ plume size: 200m @Vibroseis VSP (MS1)

圧入井深度方向のCO₂分布状況(速報)、上位穿孔区間に集中

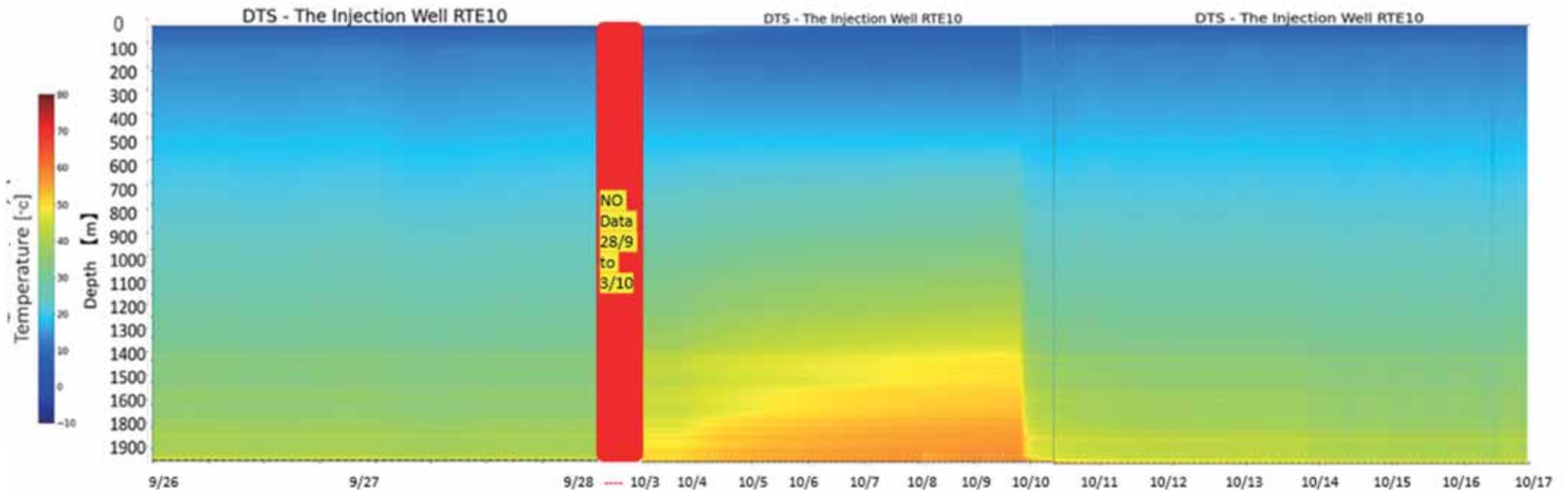
the time-lapse difference in seismic response between the baseline and monitoring surveys after 1 year of CO₂ injection

Nakajima et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024



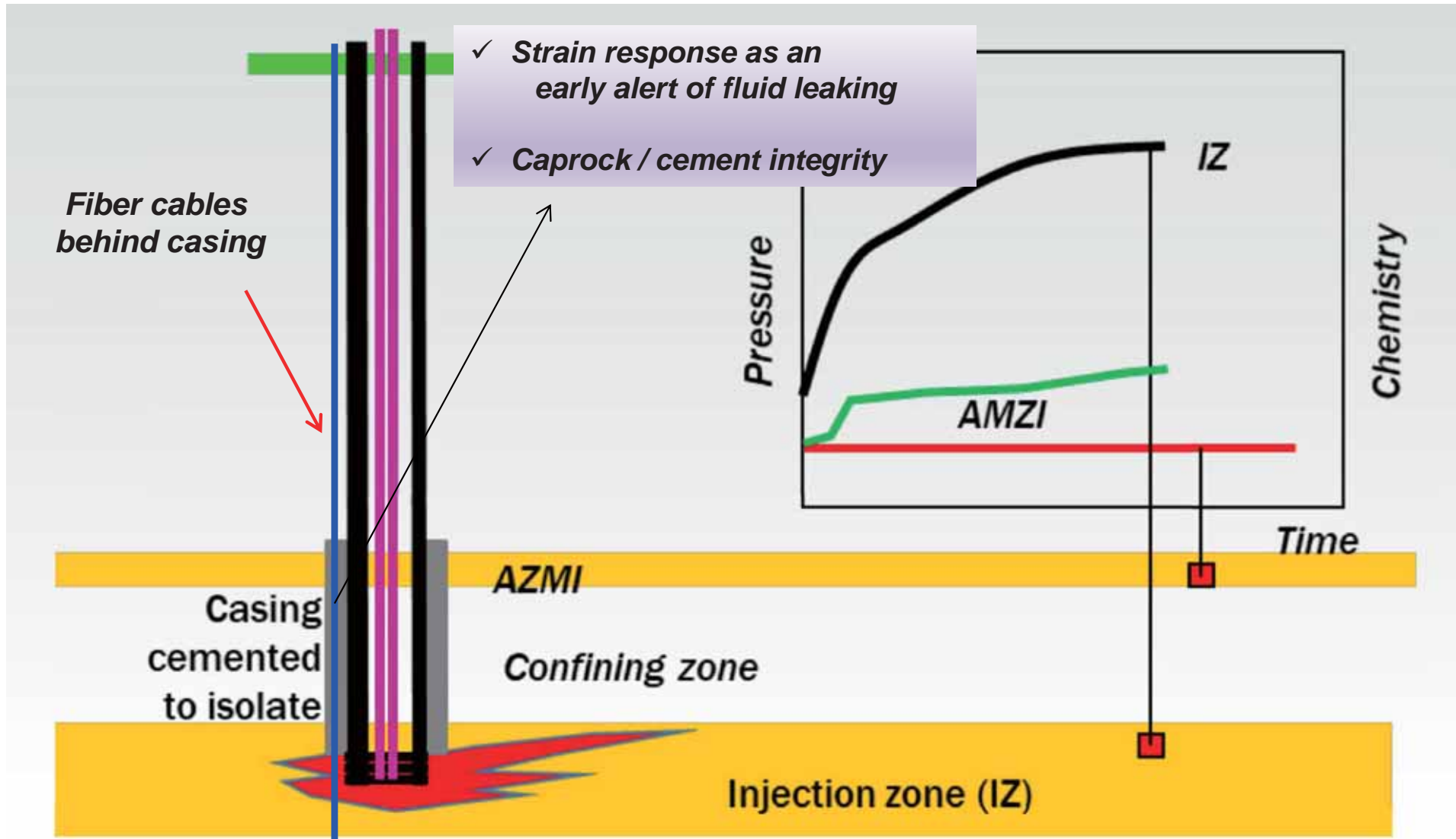
Baseline shot gathers at (a) near offset and (c) far offset locations. Time-lapse differences between the baseline and after 1 year injection for (b) near-offset and (d) far offset.

坑井健全性監視： DTS計測の有効性



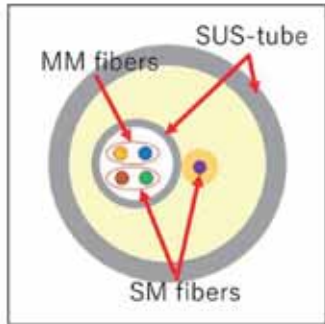
- 9/28-10/2: 工場設備定期点検のため、CO₂圧入が停止
- 圧入停止一再開時のDTS計測計測を基に、坑井健全性チェック

Application for well integrity monitoring, combined with AZMI (Above-Zone Monitoring Interval) **pressure monitoring**

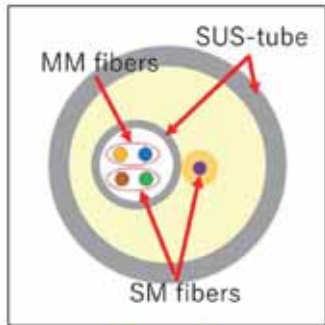


地層安定性監視： DSS Monitoring (1/3)

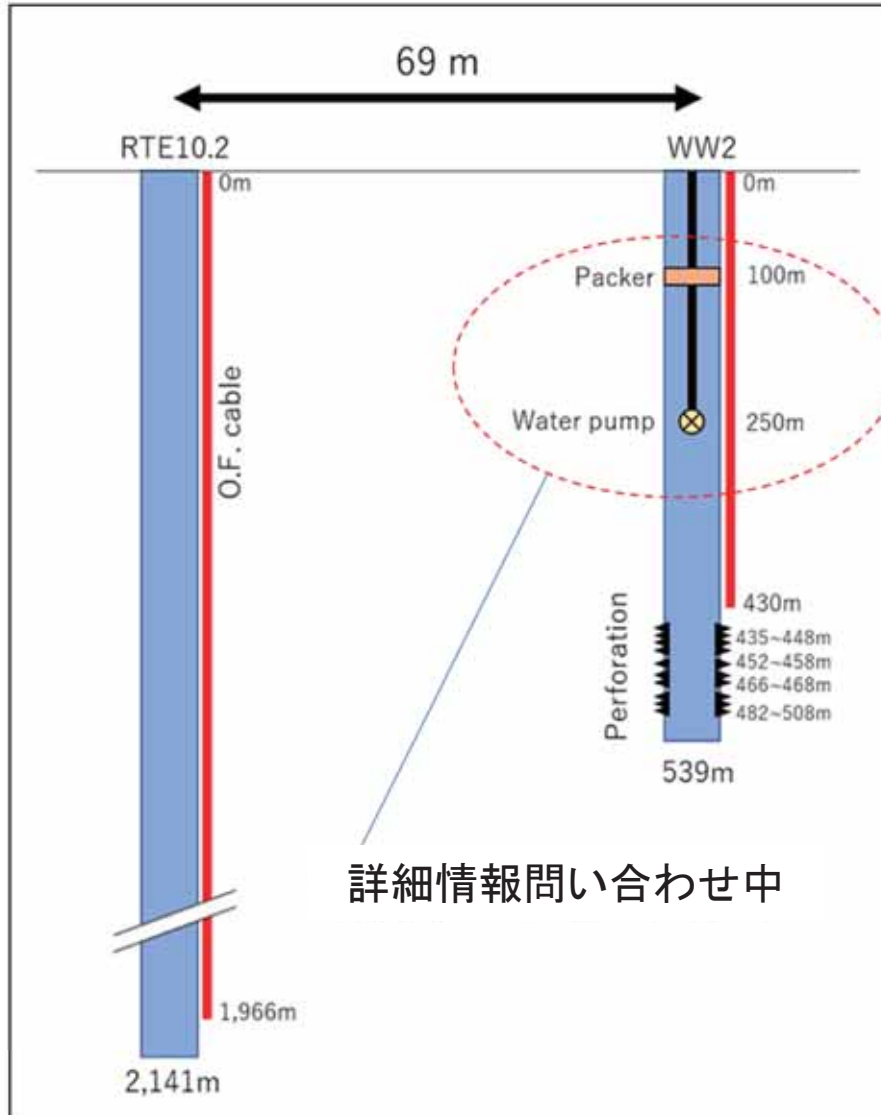
Amer et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024



RTE10.2



WW2

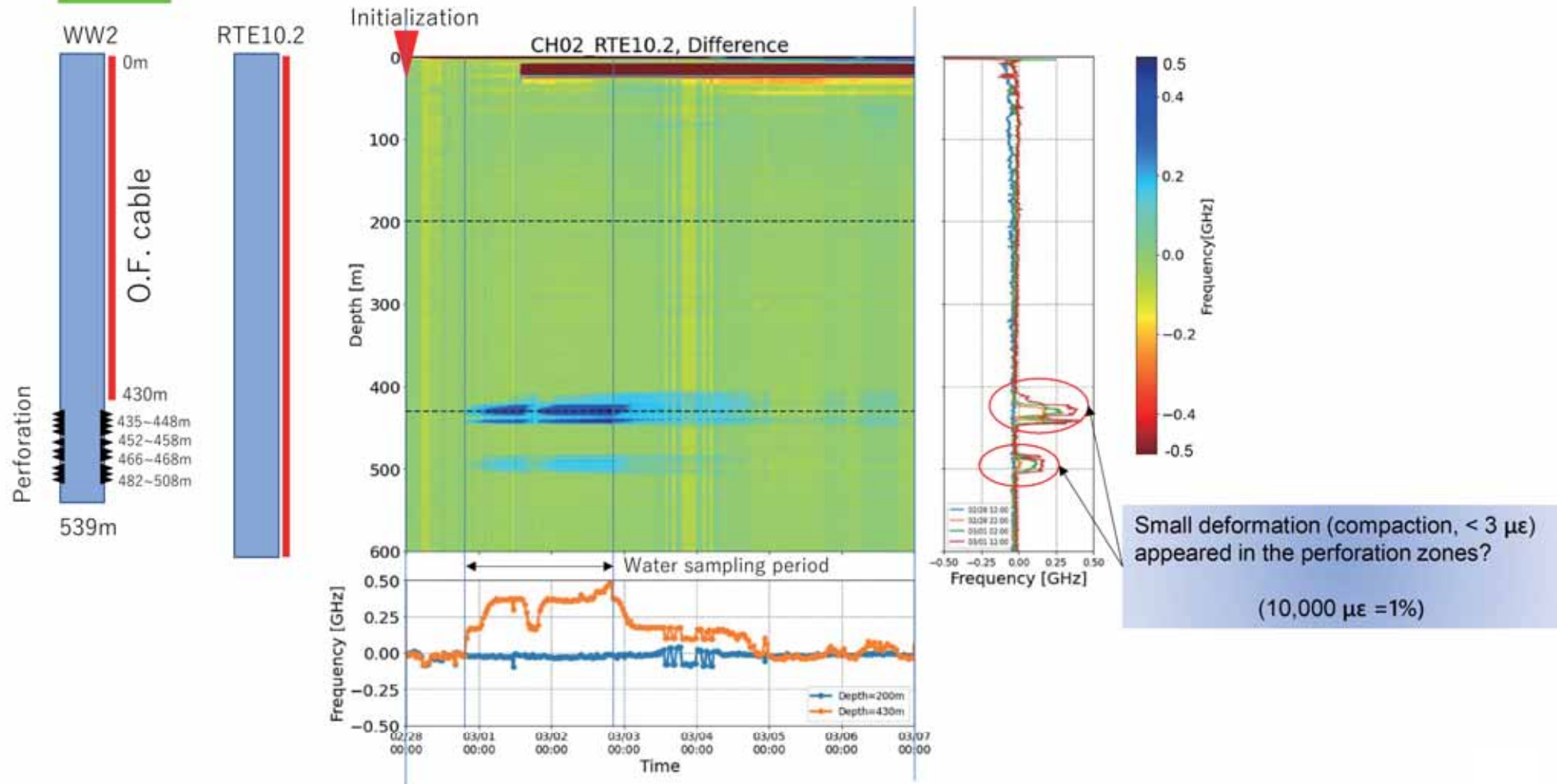


地層安定性監視： DSS Monitoring (2/3)

DSS at RTE10.2

Amer et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024

2022-February

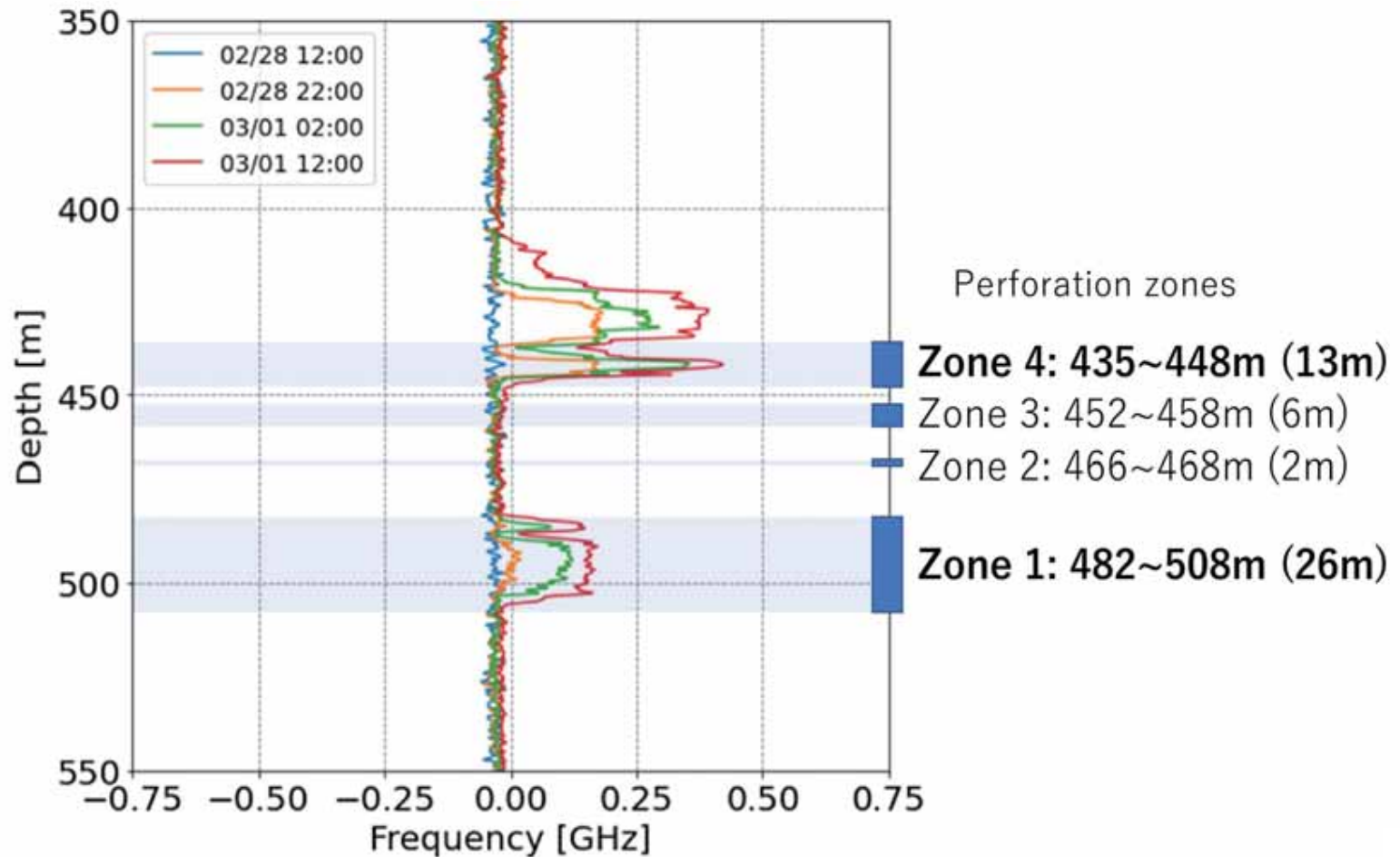


地層安定性監視： DSS Monitoring (3/3)

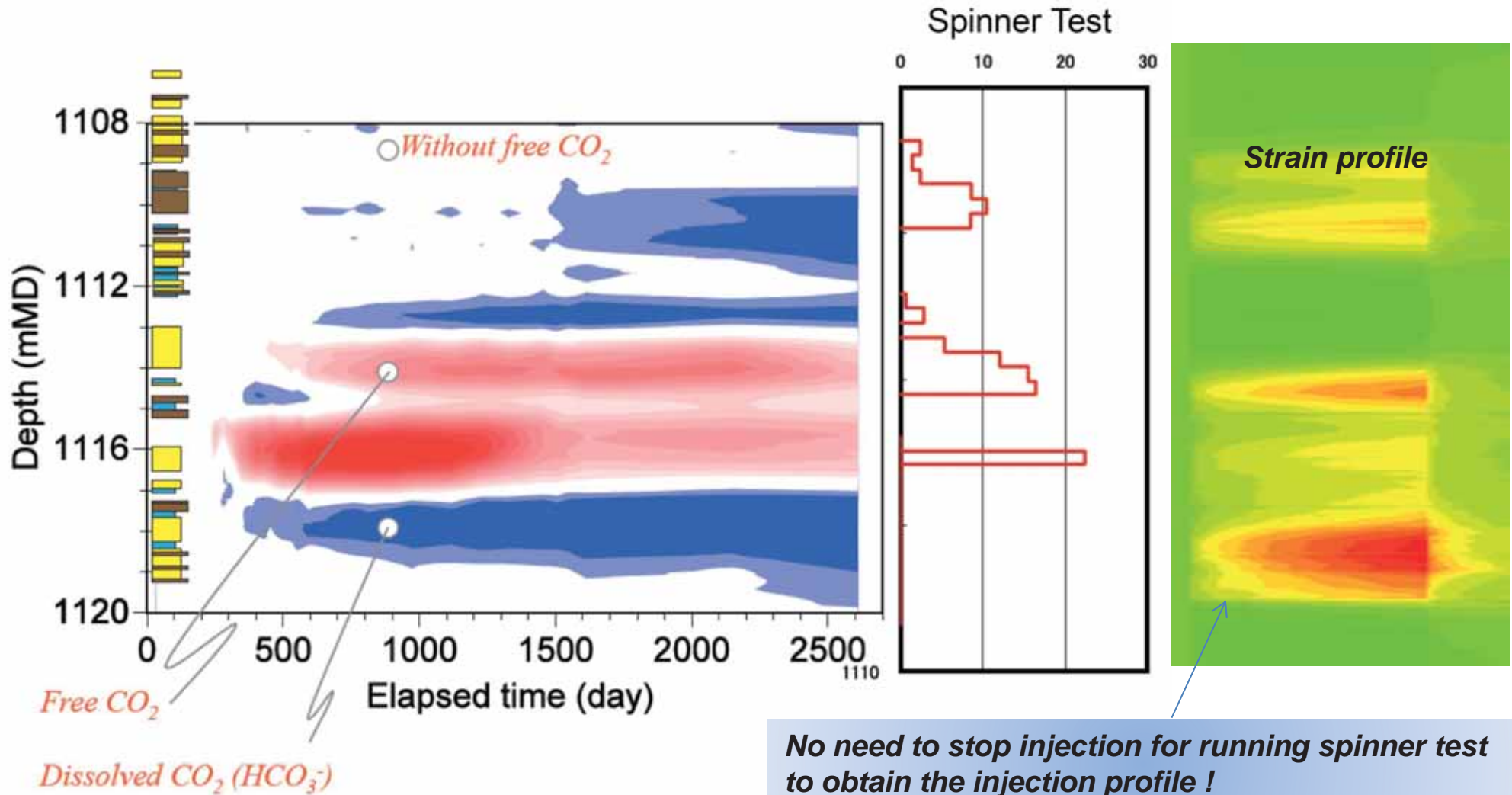
Amer et al., Submitted to GHGT-17, Calgary Canada Oct. 2024

2022-February

Close-up of strain profile at RTE10.2



Application: Strain profile from injection well or observation well as injection profile (as an input for CO₂ injection simulation)

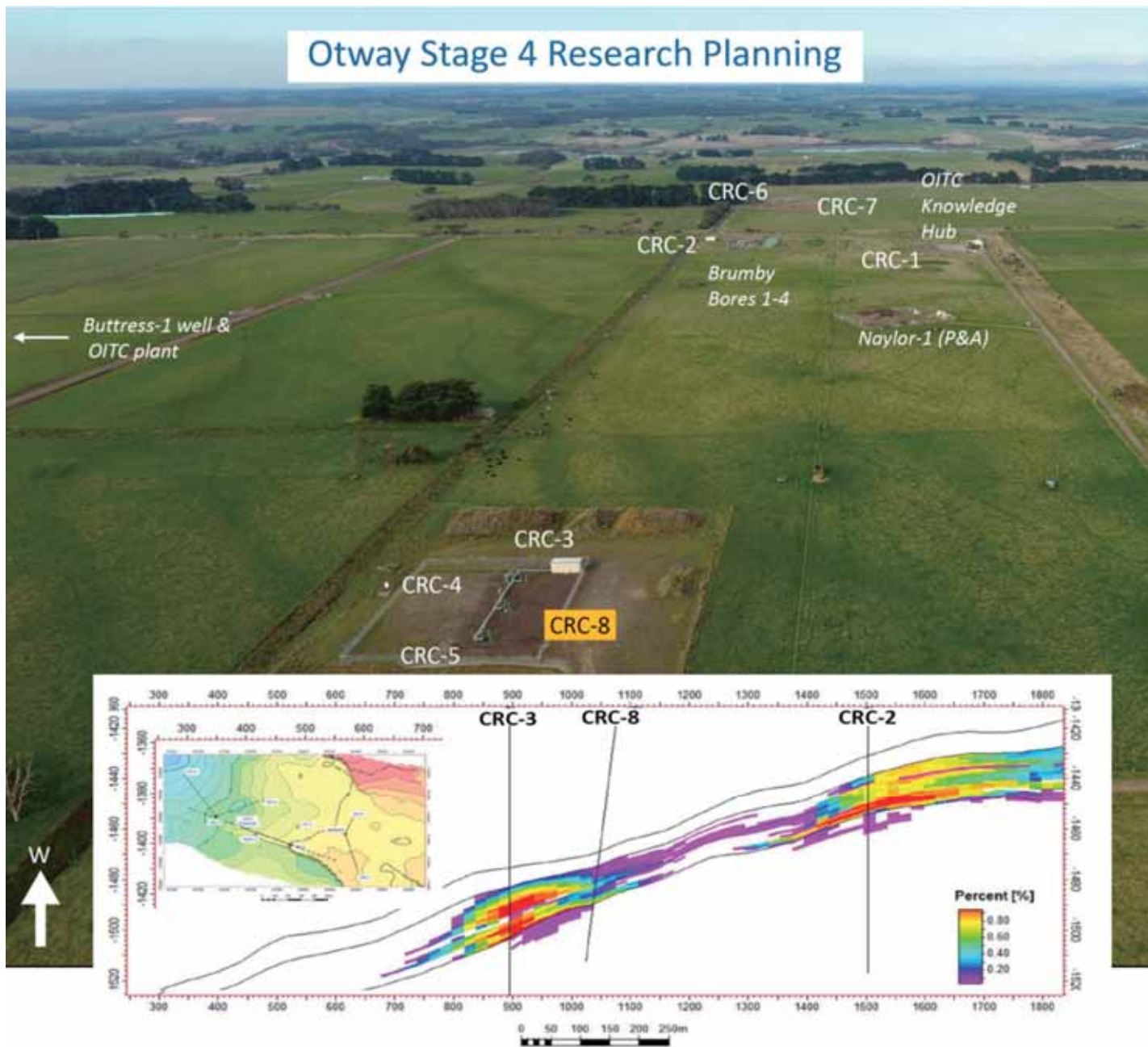


観測井RTE-10.2の光ファイバーが、貯留層下部まで設置していれば
ひずみ測定より injection profileが把握できた！

傾斜井への光ファイバー設置・指向性パーフォレーション

RITE-CO2CRC Collaboration @Otway site, Victoria, Australia

Otway Stage 4 Research Planning



CRC-8
(2023/12に掘削)

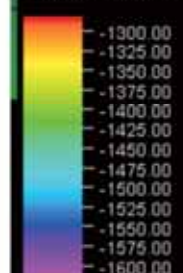


垂直・傾斜区間
光ファイバー設置済



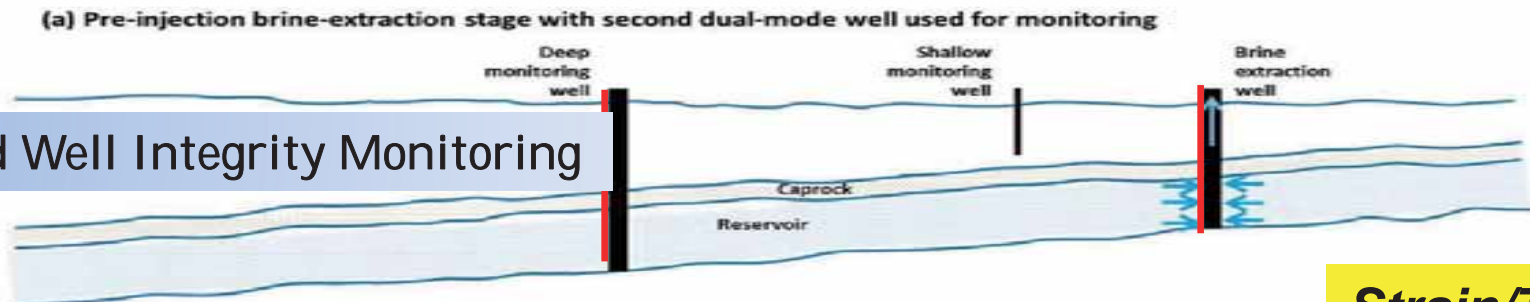
CRC-3からCO₂圧入
計画(2回)、DTS/
DAS/DSS実施予定

Top PS2
Elevation depth [m]



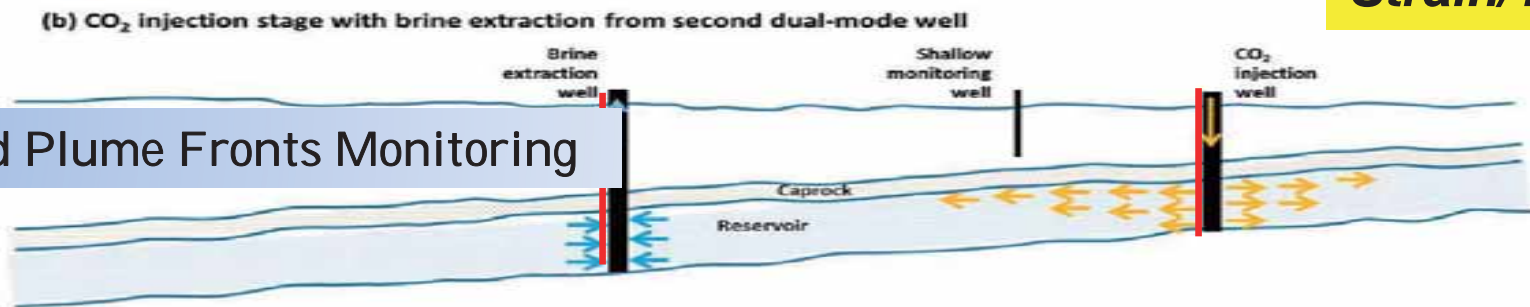
Applications of Optic Fiber Sensing in CO₂ Storage

➤ Caprock and Well Integrity Monitoring

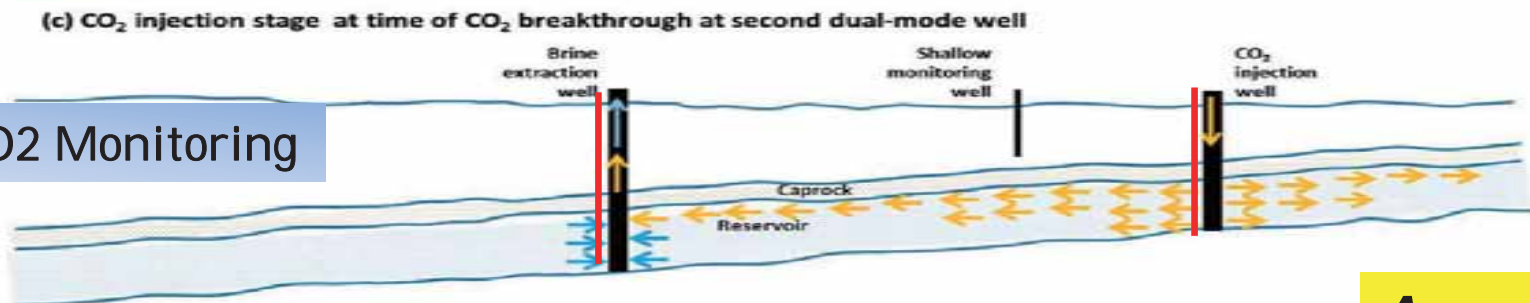


Strain/Temp

➤ Pressure and Plume Fronts Monitoring

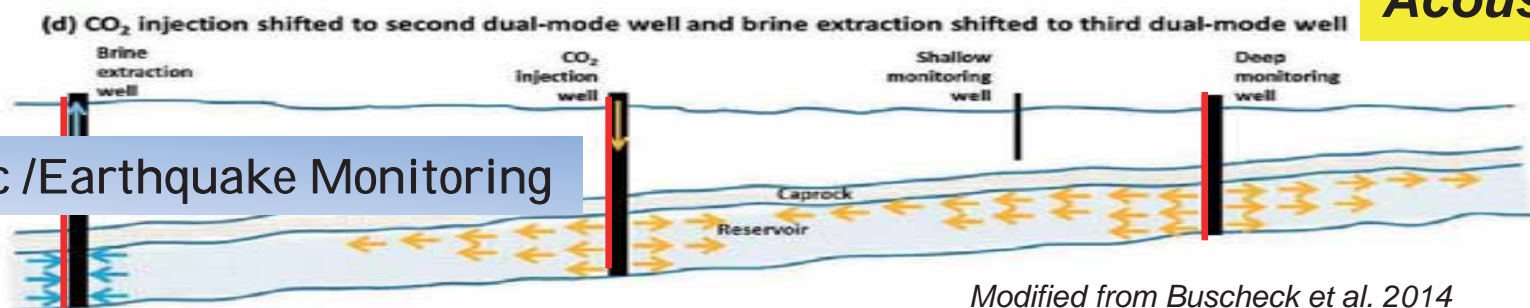


➤ DAS/VSP CO₂ Monitoring



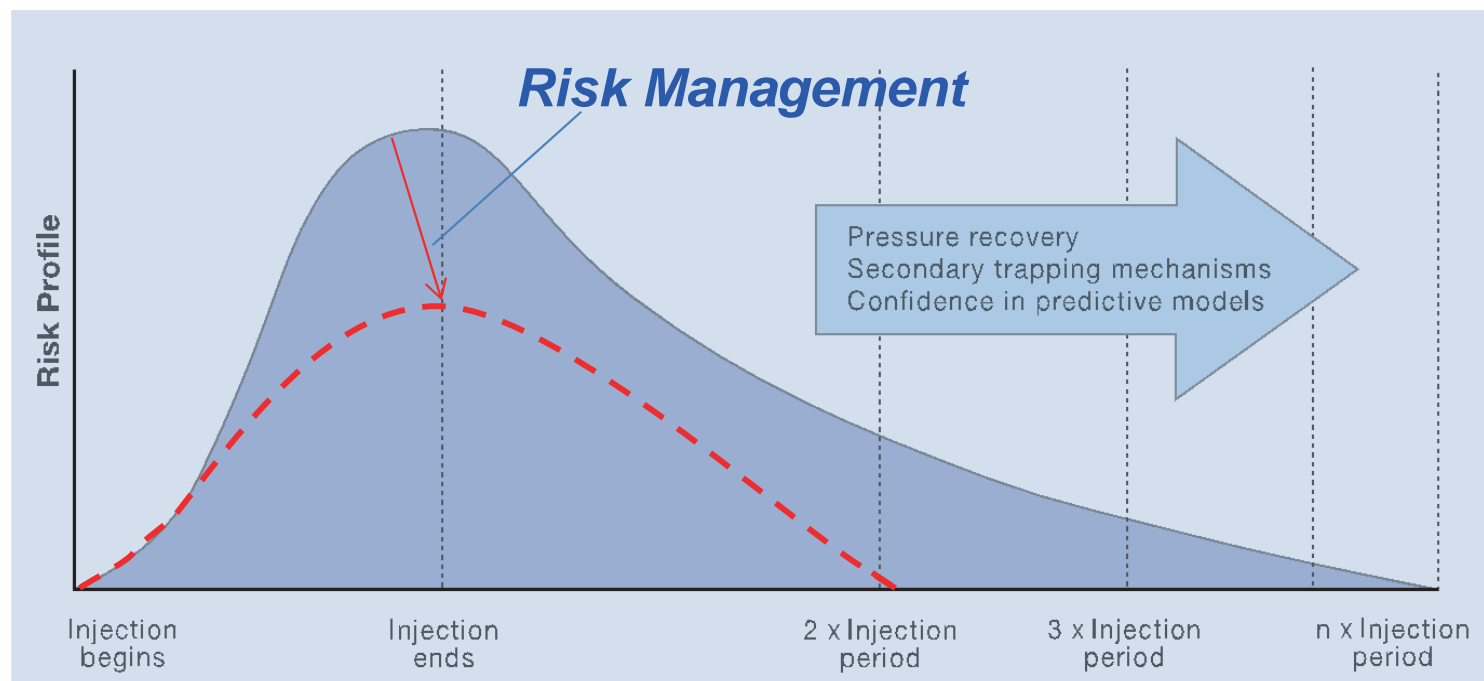
Acoustic

➤ Microseismic /Earthquake Monitoring



Modified from Buscheck et al. 2014

地下情報の不確実性、**潜在的**リスク、リスクマネジメント



Risk profile @CO₂ injection site (site-specific)

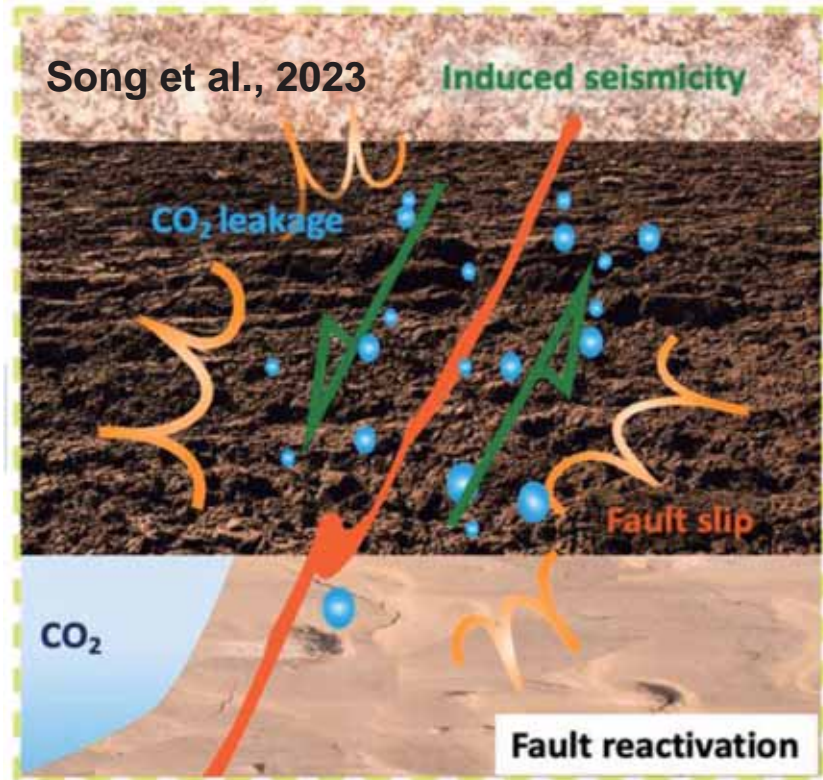
[Illustration source: Benson, 2007]

Reducing Uncertainty / Mitigating Risks to the Manageable Levels !

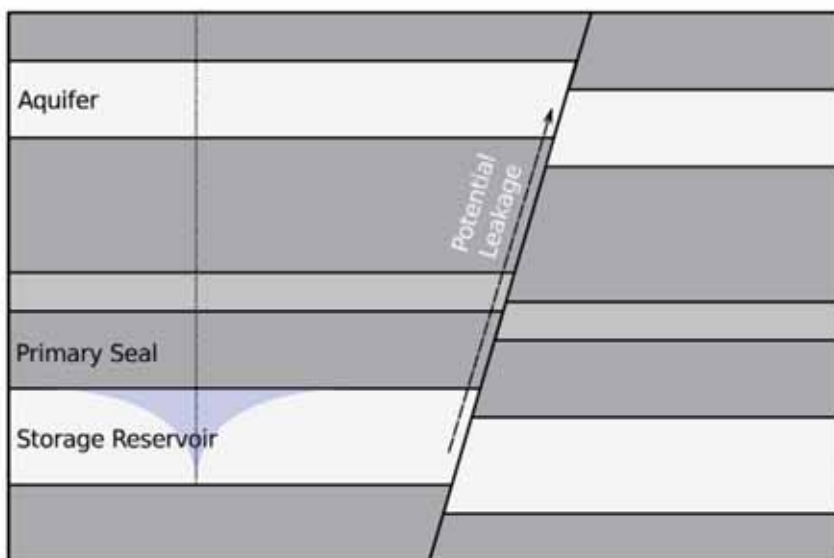
***Loses of Injectivity, Capacity and Containment,
Induced Seismicity, Environmental Impacts***

断層・地震

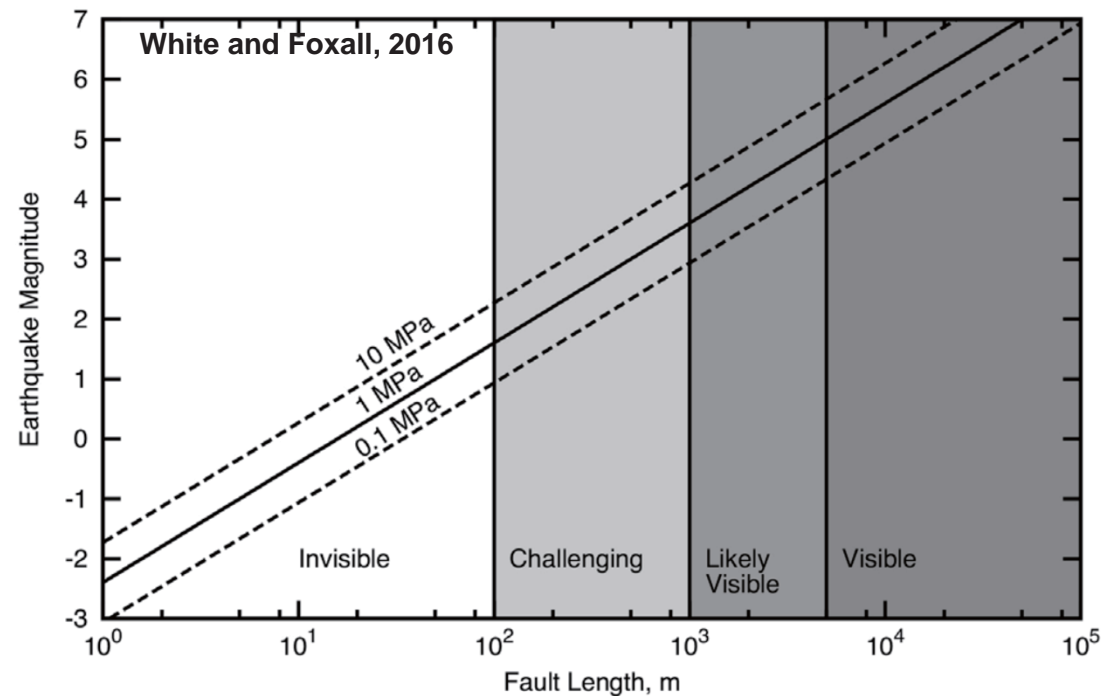
CO₂漏洩・漏出



White and Foxall, 2016



断層とは....どの深さ....どう見つける どう地震を起こす....等々



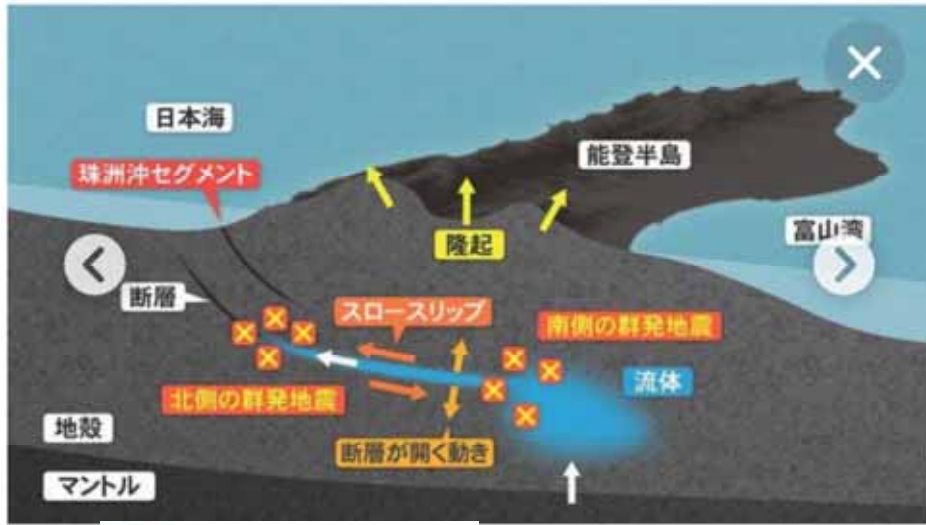
Scaling relationship between **fault rupture length** and **earthquake magnitude**, supported by field observations.

Dashed lines indicate a commonly observed range of **stress drop**, from 0.1 to 10 MPa. Vertical shaded regions indicate “**typical**” visibility of a given size fault using 3D seismic.

Note that **actual seismic resolution** is highly site, survey, and **fault specific**, and the depicted thresholds are meant for conceptual illustration only.

能登半島の断層・地震発生メカニズム →→ 諸説あり、百家争鳴

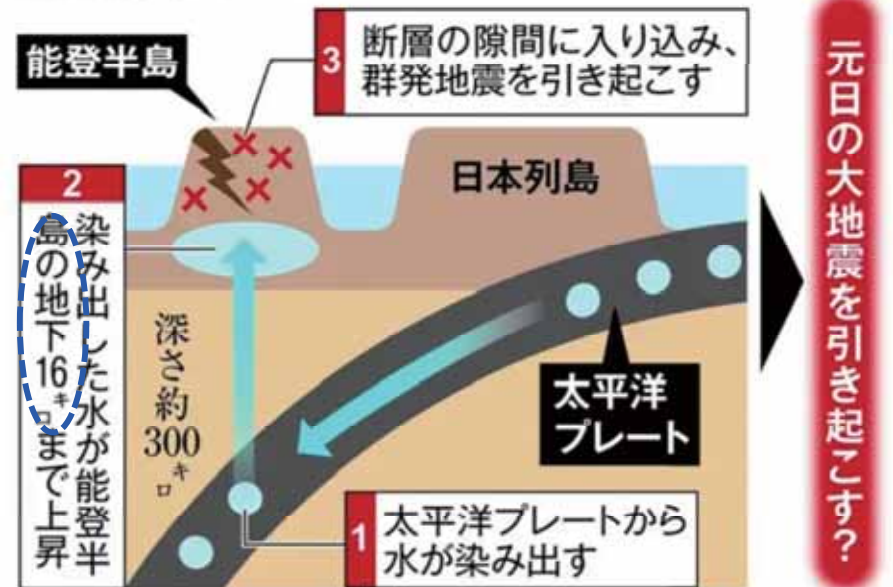
正しく、分かりやすく伝えましょう



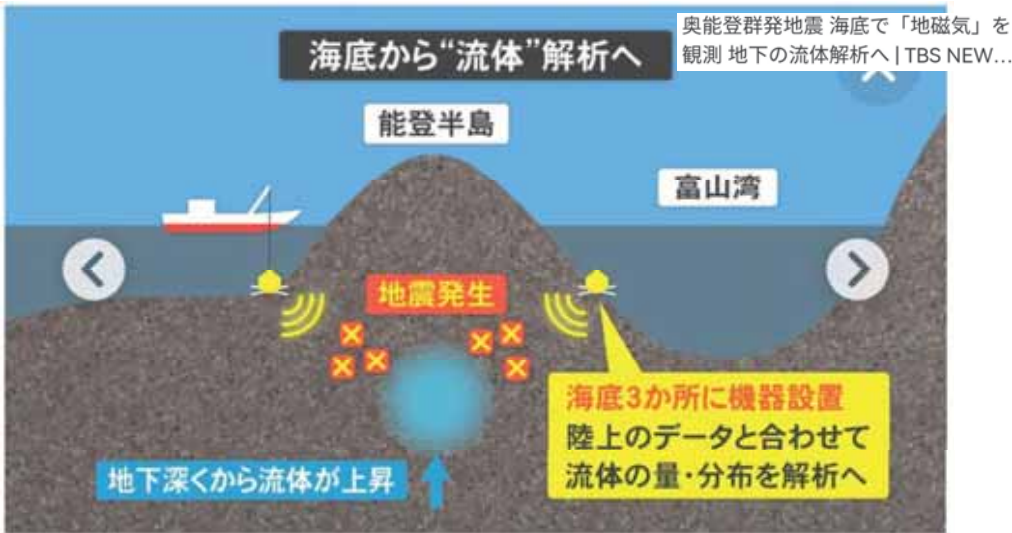
Yahoo!ニュース - Yahoo! JAPAN

能登群発地震の原因は「東京ドーム23杯分の水」去年5月の地震後に ...

プレートから出た水が引き起こす 産経新聞
地震活動のイメージ



元日の大地震を引き起こす?



奥能登群発地震 海底で「地磁気」を観測 地下の流体解析へ | TBS NEWS...

【疑問あり】

- ✓ 深さ約300kmから、どのように16kmまで移動したか →→ 通り道は？
- ✓ なぜ地下16kmの深さに溜まったか
- ✓ 東京ドーム23杯分、どう推定したか

技術開発 (technology development) から 話術 (art of conversation) への変身 (transforming)

PASSIVE SEISMIC SERIES

Geophysics Role of Non-technical Issues Integral to Full-scale CCUS Deployment



Dr. Carpenter

Full-scale deployment of CCUS in the United States today is not dependent on the advancement of technical issues alone. There are a host of integrated issues that are necessary for the full-scale industry-wide deployment of CCUS that include, but are not limited to regulatory considerations (e.g., permitting, Class VI, etc.), economic considerations (e.g., financial lending, 45Q tax credits, etc.), risk evaluation, stakeholder engagement, Environmental Social Governance (ESG), Environmental Justice (EJ), and political/policy needs.

In many cases, technologists such as reservoir engineers, chemical engineers, geologists, geoscientists, etc., either overlook or are not exposed to these non-technical considerations. This presentation will discuss and illuminate the integrated nature of these issues and provide some insights for technologists to become more literate and therefore more valuable and engaging to their teams advancing CCUS projects.

Risk Communications Approaches

Uncertainties in Subsurface Characterization (Geology, Science and Technology), Policy and Regulation

→→ Public **Concerns** over **Potential Risks** →→ **Sending Experts** into the Community & **Building**

Relationships and Trust!

Accounting for Offbeat Earthquakes Could Improve Forecasts

A new model considers the full history of earthquakes on a fault, improving forecasts of when the next will strike.

By Erin Martin-Jones

It's one of the toughest questions seismologists face: When will the next big earthquake occur? Although seismologists are not able to predict earthquakes, they can make forecasts showing the probability of one happening in a given area.

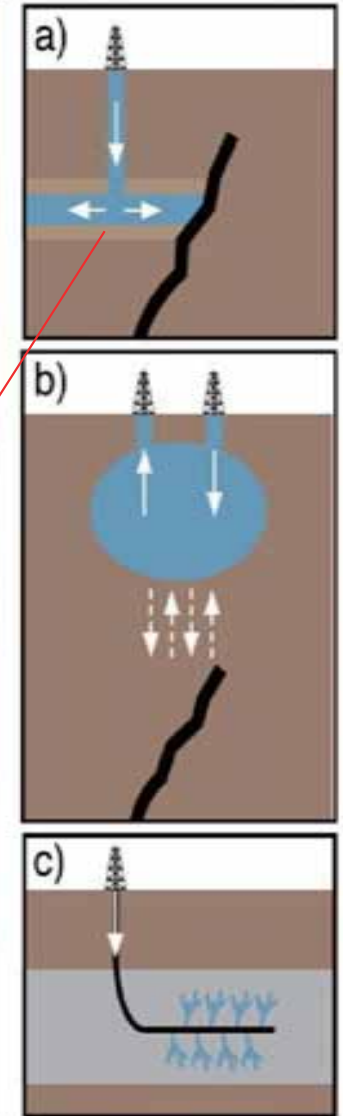
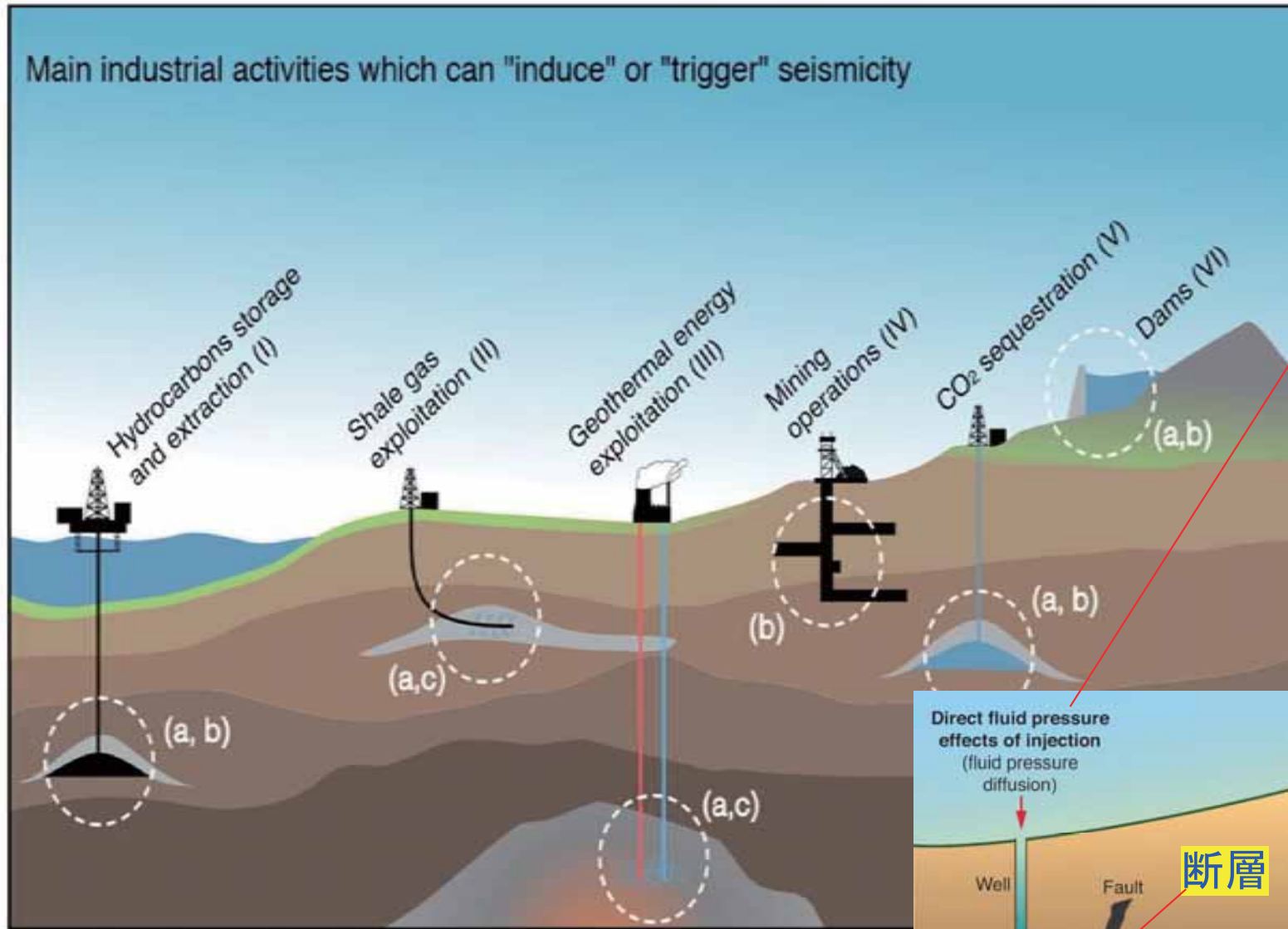
“Earthquakes are almost like an unreliable bus, sometimes turning up sooner or later than expected.”

Taking the Strain

allows researchers to estimate how much the surrounding rocks have deformed along a fault over time. This buildup of what is known as strain influences whether earthquakes arrive ahead of schedule.

Since the devastating 1906 San Francisco earthquake, seismologists have supposed that slow movements along a fault cause strain to build up, all of which is released in a big earthquake.

人間活動と誘発地震について



(a) 断層内部の圧力が増加し、不安定な状態になるには貯留層とつなぐ高い浸透性の通路が必要！

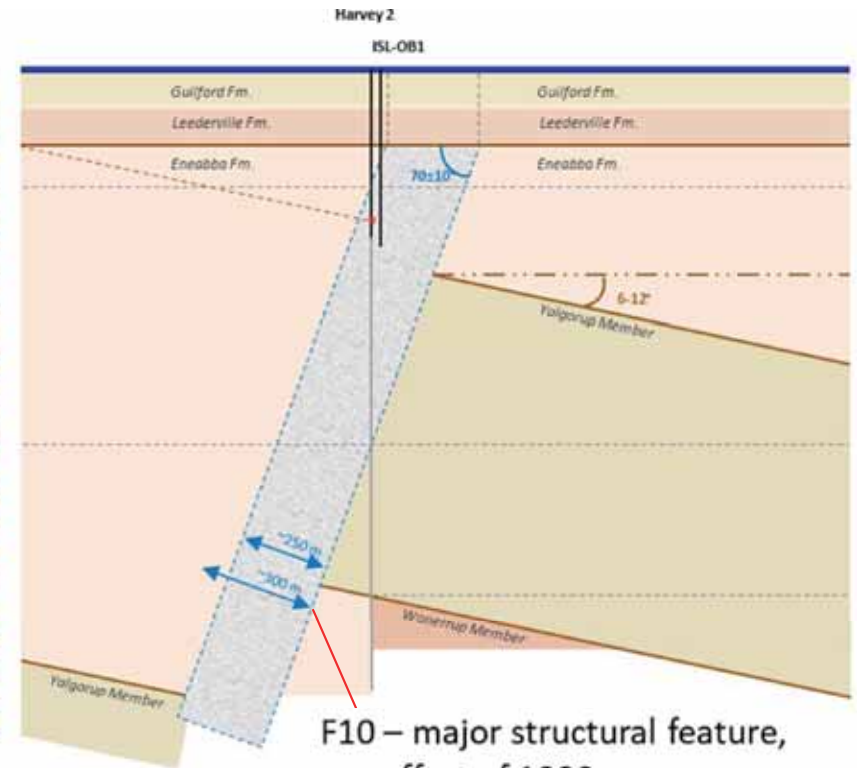
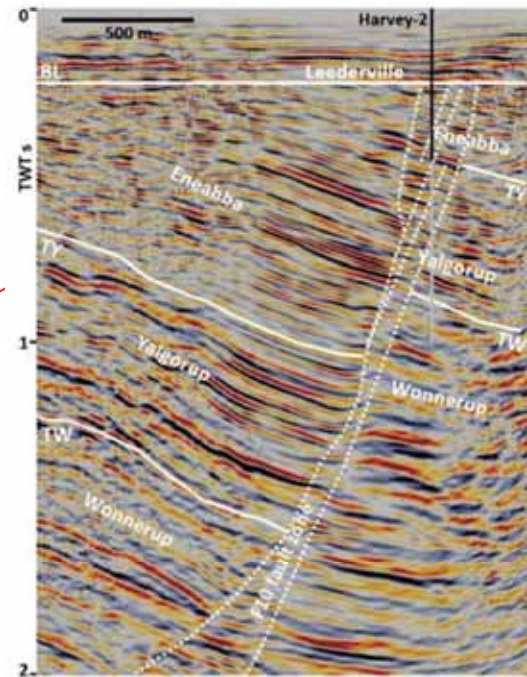
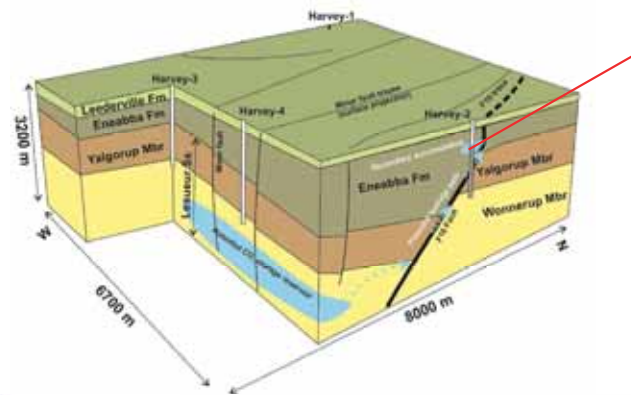
Collaborations: RITE-CSIRO

Fiber Optic Sensing for Fault Zone Mapping and Stability Monitoring

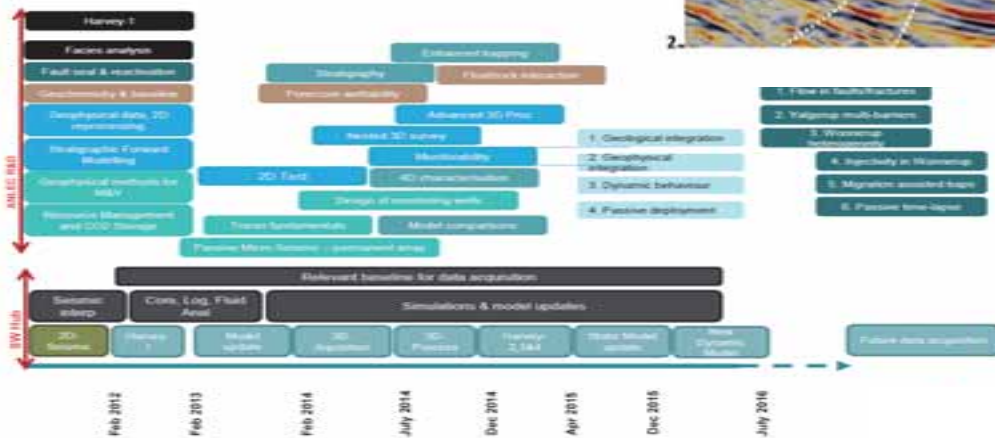


In Situ Lab / SW-Hub: South Perth

(日豪CCUS協力事業)

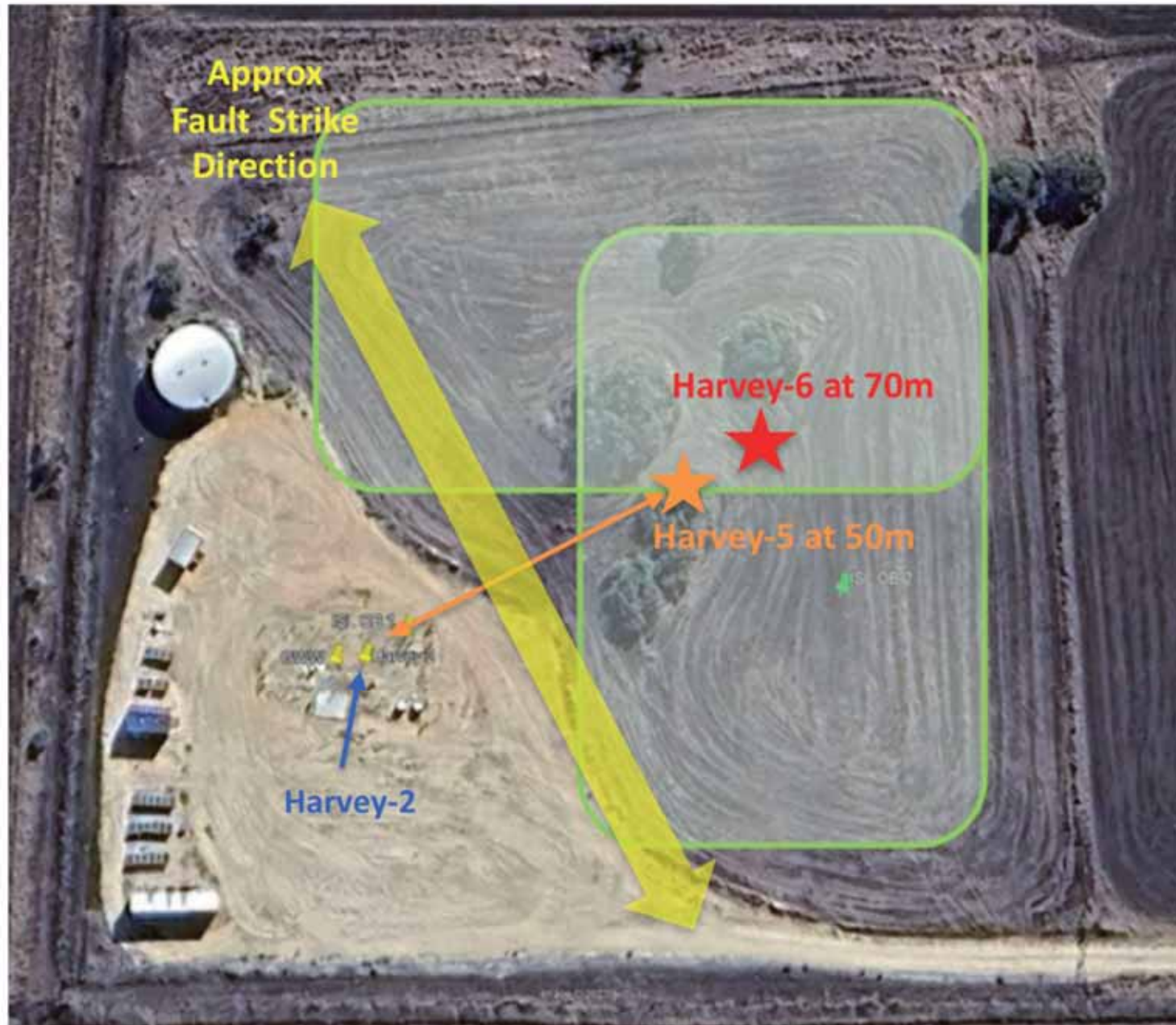


F10 – major structural feature,
 - offset of 1000 m
 - fault zone 250 m wide

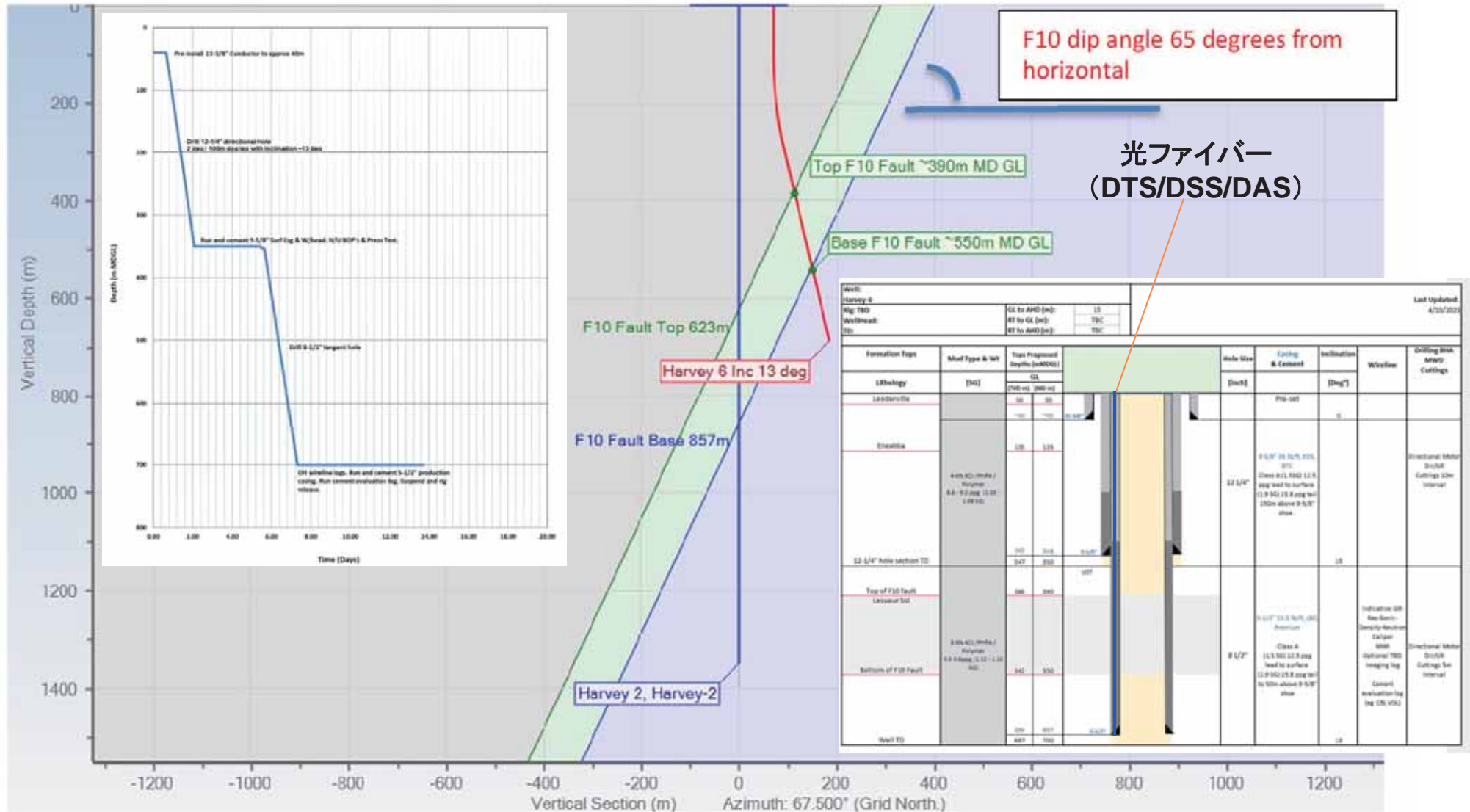


➤ Fault zone mapping and monitoring with **Strain Sensing (RITE)** coupled with temperature and acoustic sensing (**CSIRO**)

Fault Characterization (fault zone, hydraulic-mechanical property) Drilling two new wells and applying Fiber Optic Sensing

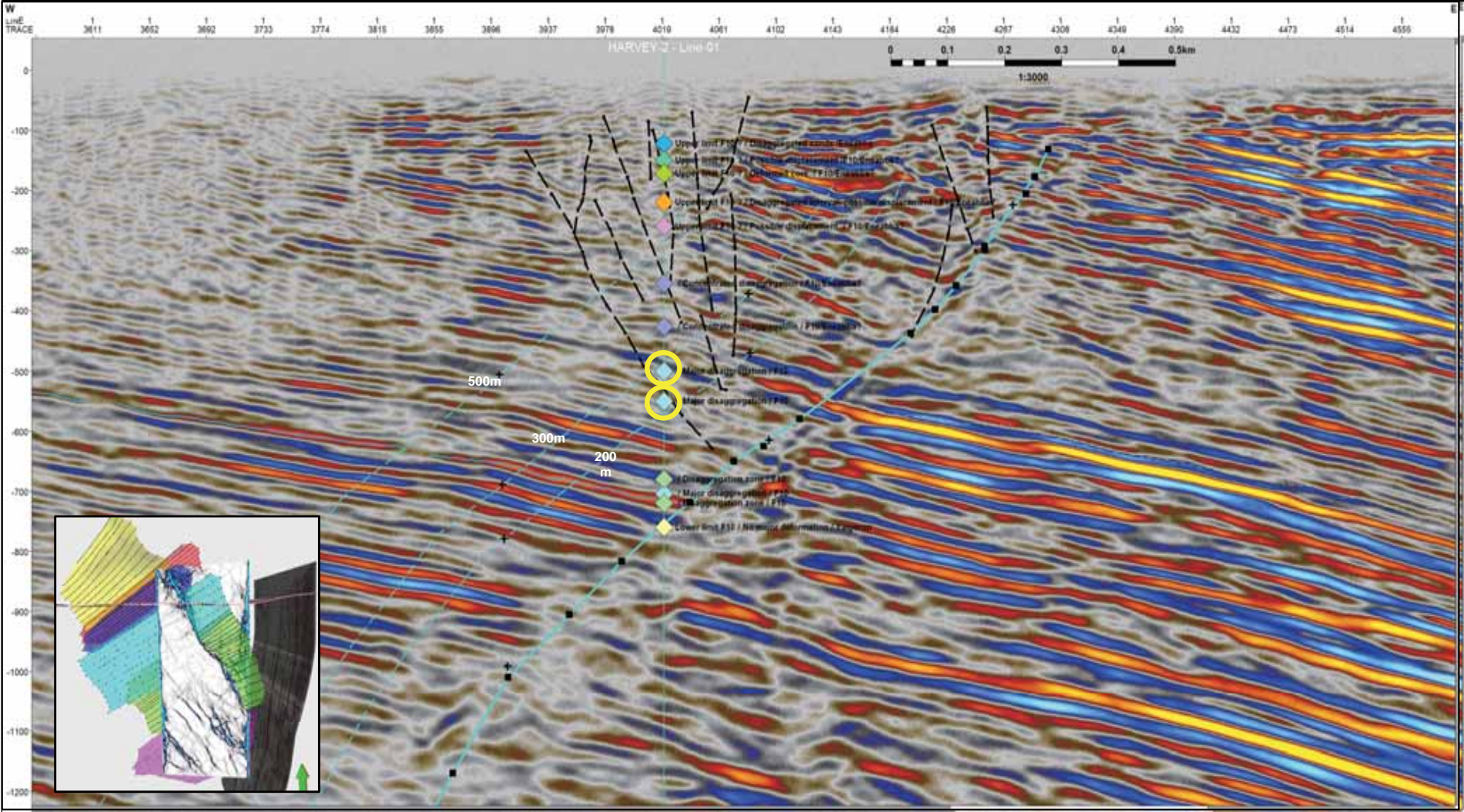


新規坑井Harvey-6 (Depth:700m)の掘削計画・仕上げ概要



Estimating the Fault Damage Zone Envelope from Seismic

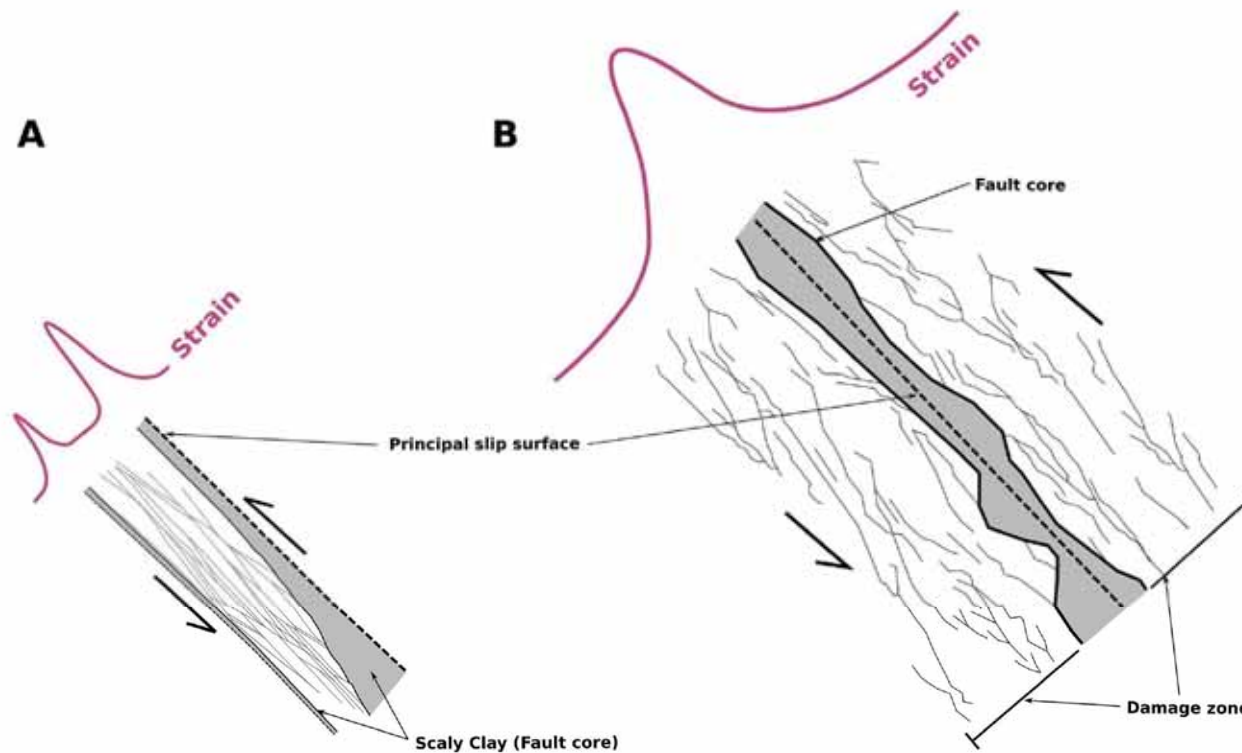
Harvey-2 Superimposed to LINE-01



Theoretical distributed strain sensing measurements are shown in purple for slip on either type of fault

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

10.1029/2021JB022432



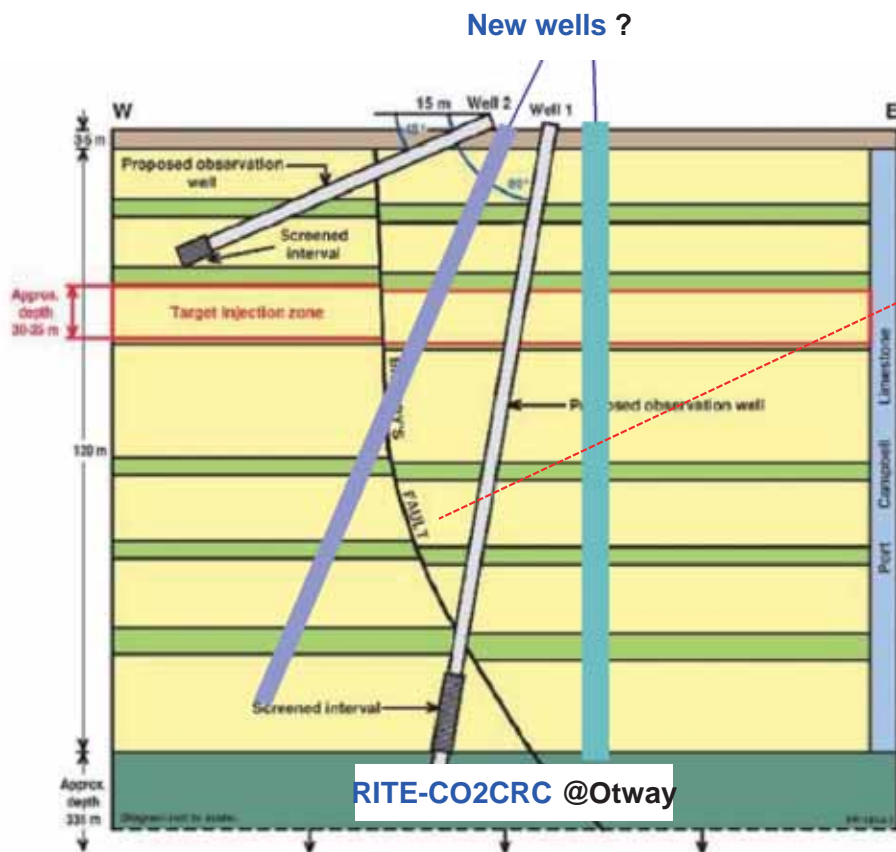
the relationship between fault core/gouge, principal slip surfaces, and the 'fault damage zone'

- FY2022: 2D seismic survey, seismometer, strain interrogator and tiltmeter deployment
- FY2023~: new well drilling and fiber cable installation, water injection, fault zone mapping

Collaborations Between RITE-CO2CRC Fiber Optic Sensing for Fault Leakage Monitoring

DAS (Acoustic), DSS (Strain), DTS (Temperature)

(日豪CCUS協力事業)



Otway International Test Centre

Otway Stage 1 (Concept): 2004–2009

- ✓ Demonstrated safe transport, injection and storage of CO₂ into a depleted gas reservoir

Otway Stage 2 (Risk Reduction): 2009–2019

- ✓ Demonstrate safe injection of CO₂ into a saline formation
- ✓ Stage 2B – Near well residual & solution trapping characterisation
- ✓ Stage 2C – Minimum detection, 4DMSV & Plume stabilisation

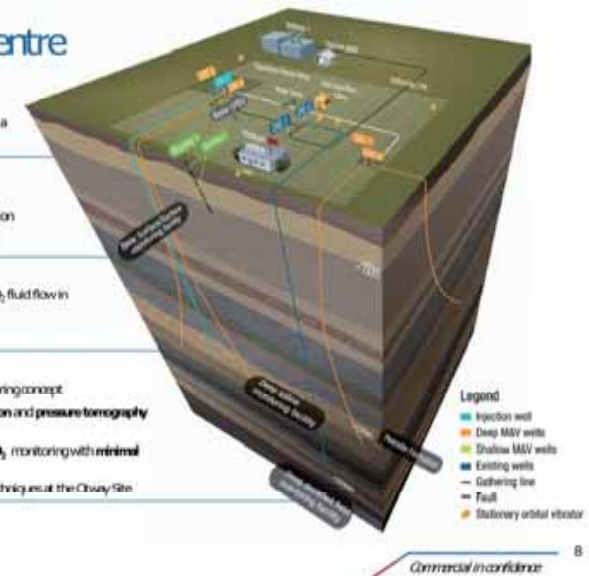
Otway Shallow CO₂ Migration

- ✓ Improve capability to predict the role of faults in controlling CO₂ fluid flow in the near surface
- ✓ Improve near surface monitoring capabilities

Otway Stage 3: 2015–2023

- ✓ Develop an "on-demand", sub-surface and permanent monitoring concept
- ✓ Two primary technologies – sub-surface seismic data acquisition and pressure tomography (4 new monitoring wells)
- ✓ Field test the various techniques to demonstrate lower cost CO₂ monitoring with minimal surface and environmental impact
- ✓ Demonstrate regulatory and community acceptance of the techniques at the Otway Site

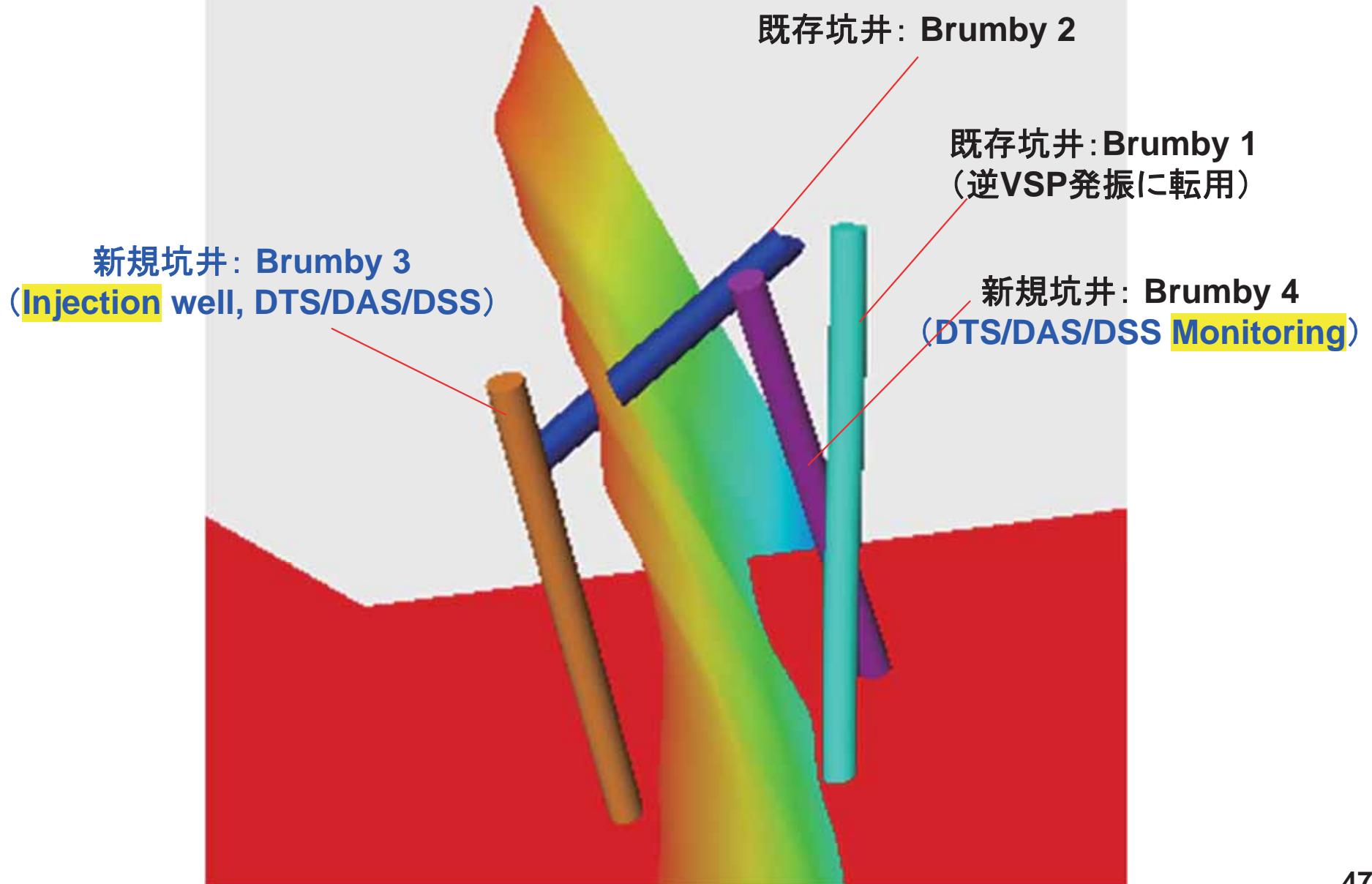
CO₂CRC
Building Carbon Resilience



Commercial in confidence

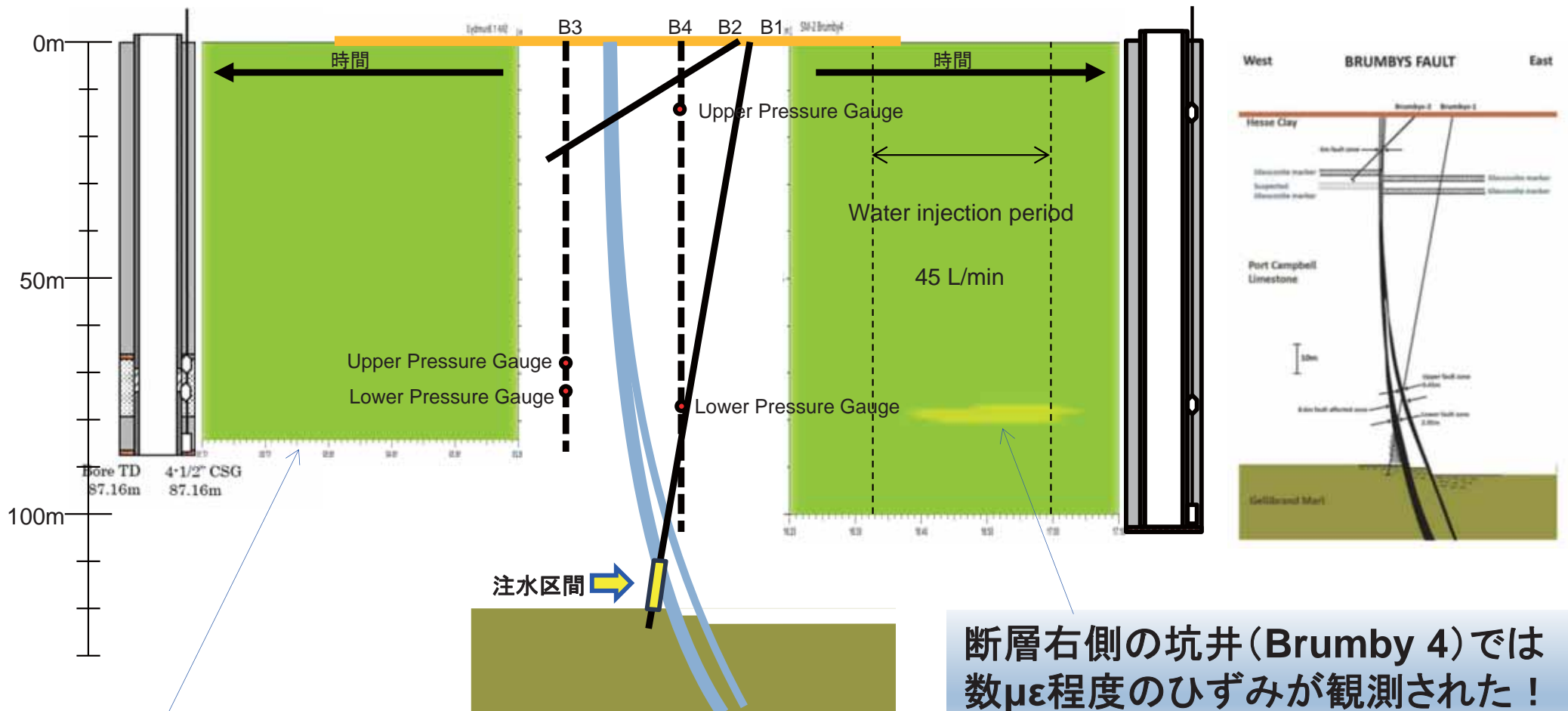
- FY2022: shallow well drilling, fiber cable installation, baseline (strain, temp) monitoring
- FY2023~: water / CO₂ injection, fault leakage detection, DAS/DSS/DTS monitoring

3D view of Brumby wells at Otway site



既存坑井Brumby 1からの予備注水試験結果

Xue et al., 投稿準備中



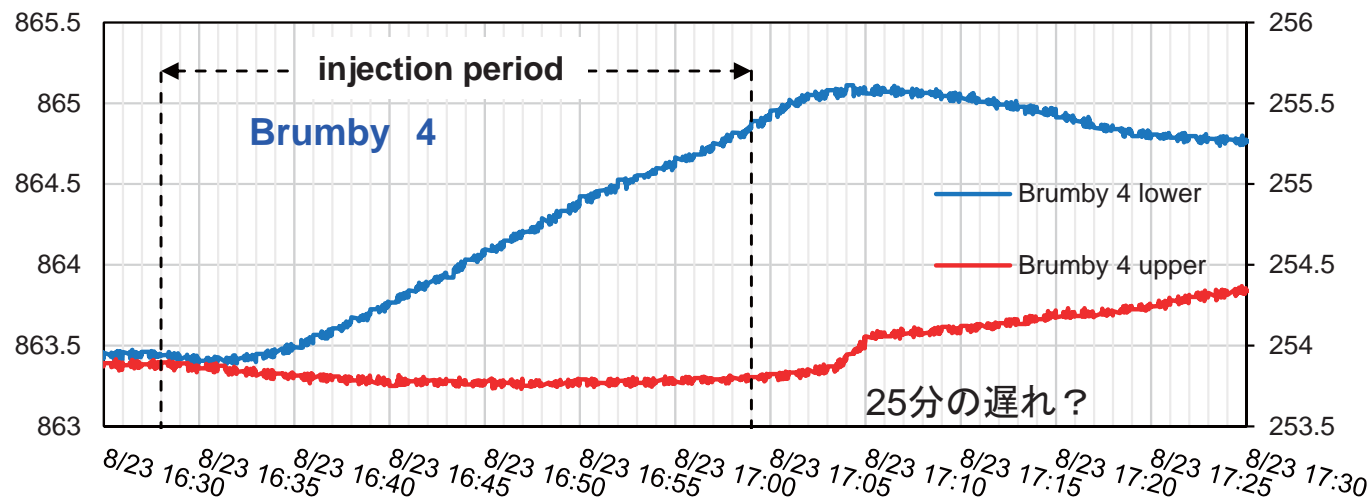
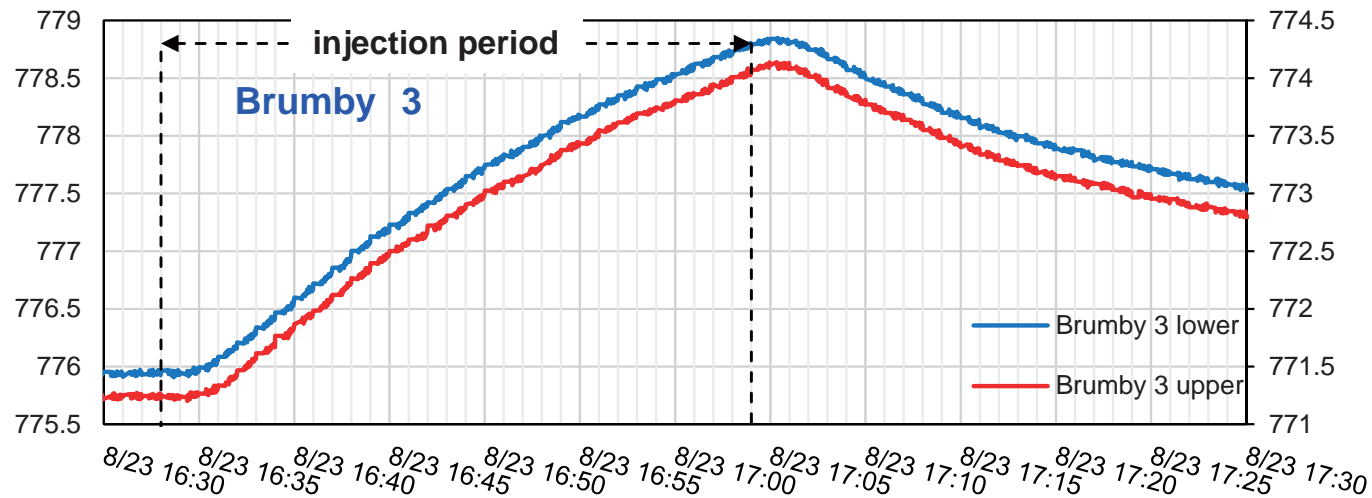
断層左側の坑井(Brumby 3)ではひずみが観測されていない！

断層右側の坑井(Brumby 4)では数 $\mu\epsilon$ 程度のひずみが観測された！

- 断層と母岩(host rock)に浸透性があるか
- fault zoneに流体(水、CO₂)が浸入できるか
- 流体移動がひずみで検知できるか

圧力データ @8/23 Brumby 1 water injection

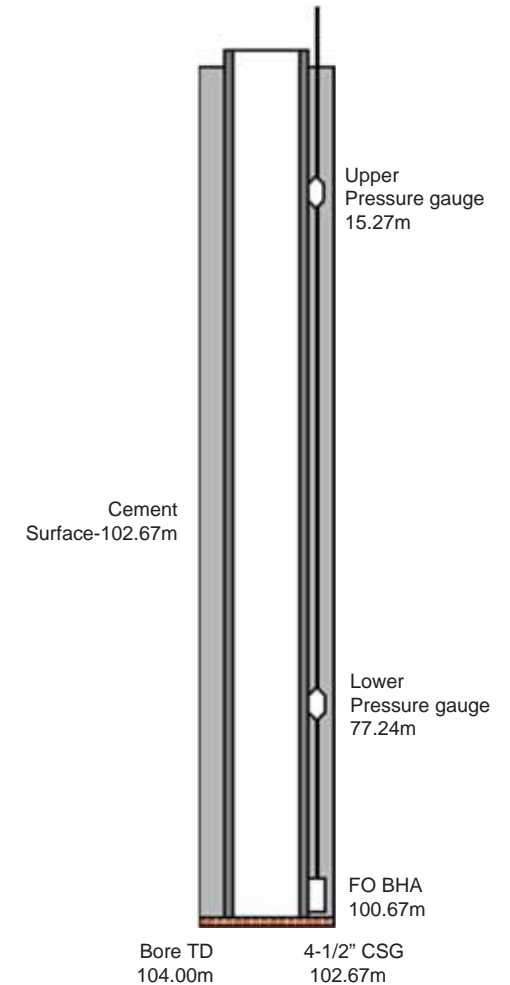
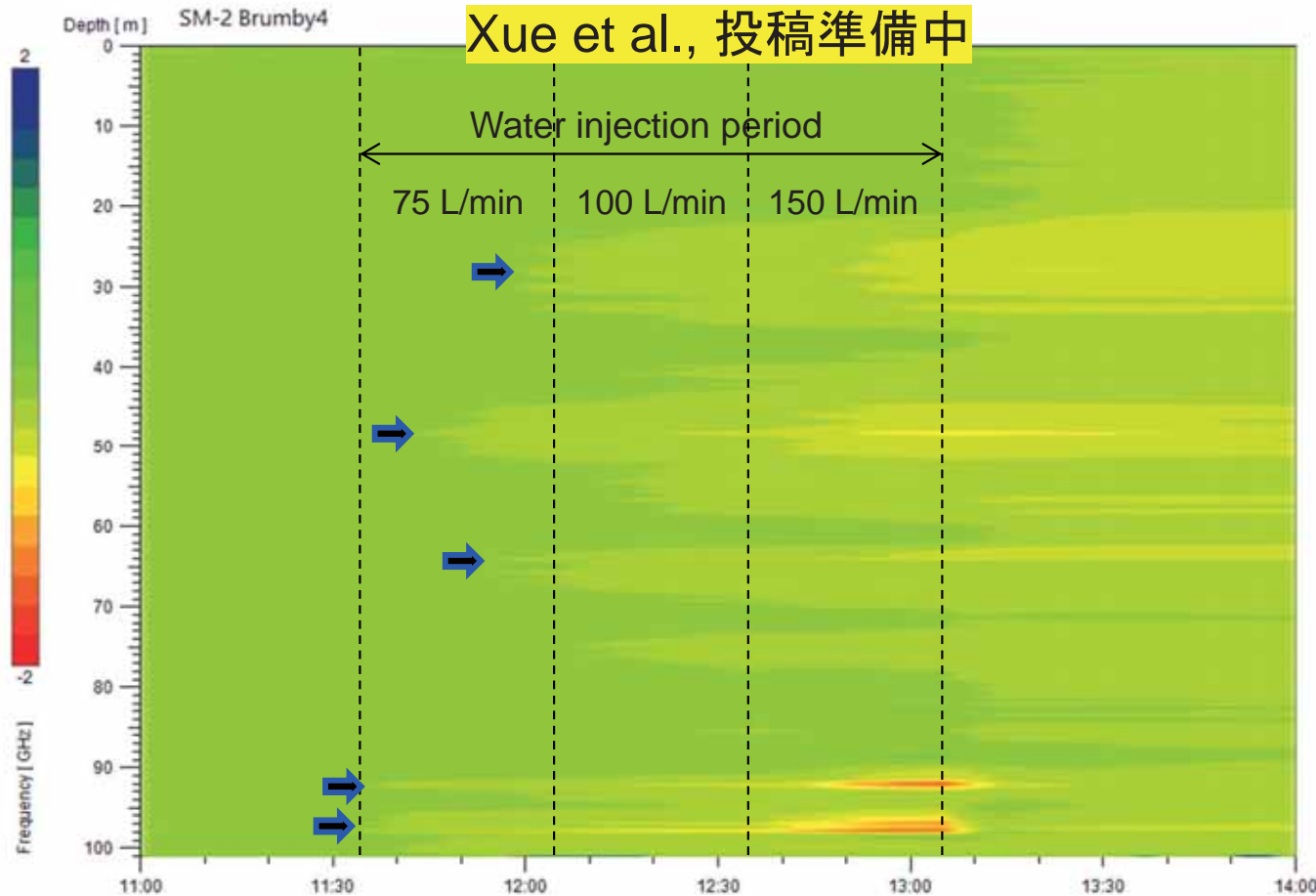
Xue et al., 投稿準備中



- 45 L/min (injection rate) では、Brumby 3の圧力計に変化 (pressure build-up) があつた
- Brumby 4の深部と浅部の圧力計には、pressure build-upの時間差 (圧力伝播) があつた

注水試験時、断層右側の坑井で観測されたひずみ分布の経時変化

Rayleigh shift at Brumby 4 in water injection @ Brumby 1

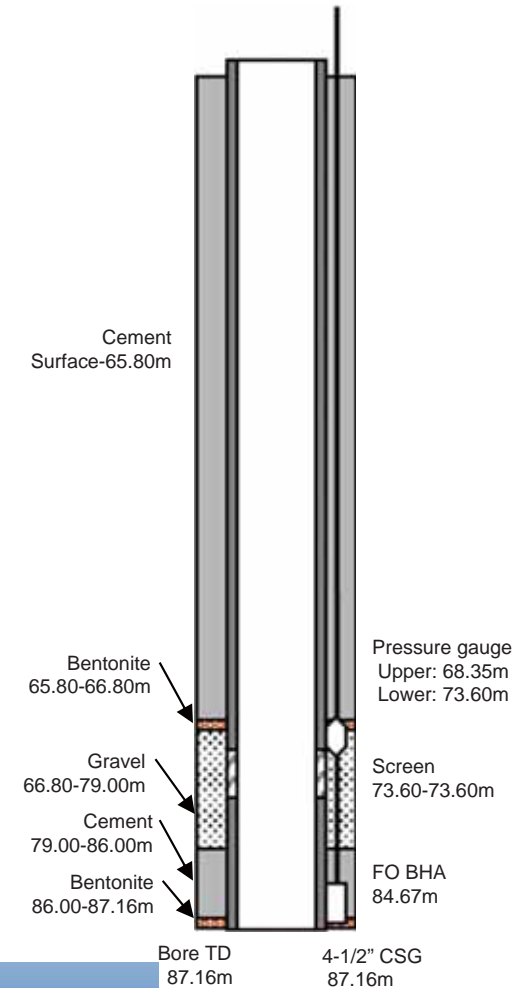
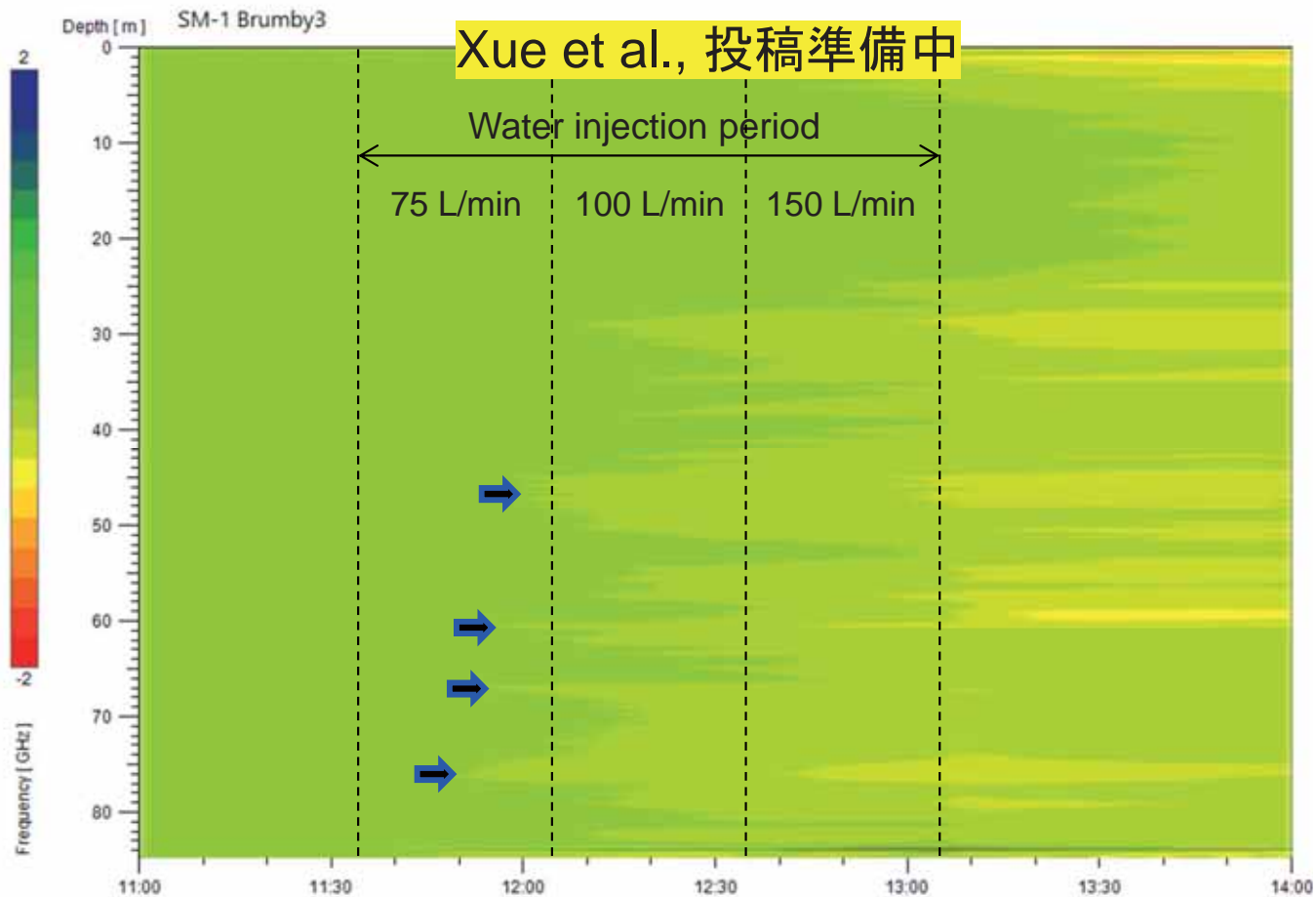


- fault zoneに流体が浸入でき、流体移動(漏洩)がひずみで検知できた
- 深度方向において、ひずみ出現のタイミングや大きさが異なる
- 一部の水が浸透性の高い地層に浸入している

地質モデルにfeedback
(検討作業中)

注水試験時、断層左側の坑井で観測されたひずみ分布の経時変化

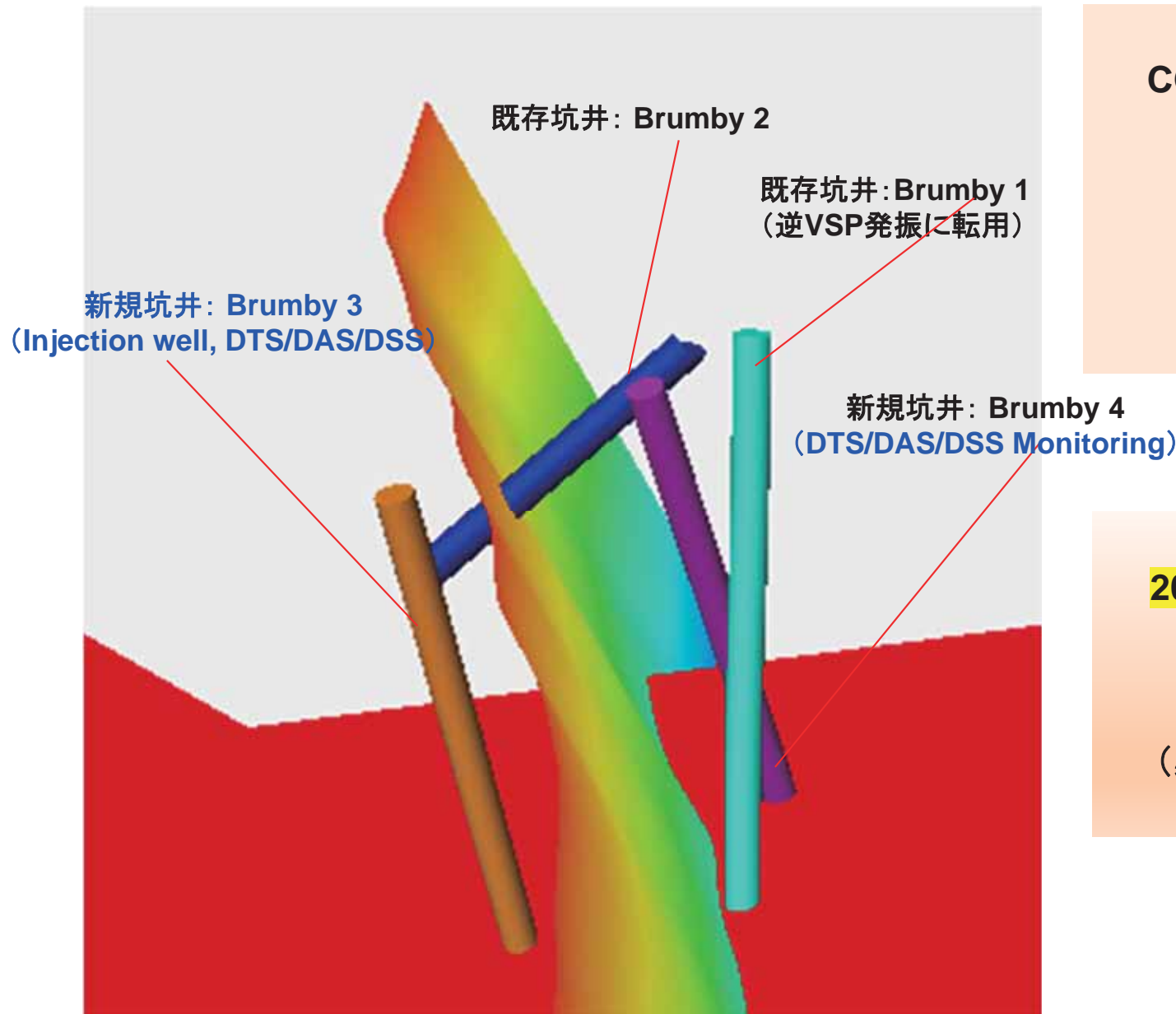
Rayleigh shift at Brumby 3 in water injection @ Brumby 1



- 深度方向において、ひずみ出現のタイミングや大きさが異なる (Brumby 4とほぼ一致)
- 一部の水が浸透性の高い地層に浸入している。Fault zoneを超える圧力干渉あり?
- 75 L/min (injection rate) では、Brumby 4に比べてひずみ出現がかなり遅い

坑井と断層の空間的配置図

3D view of Brumby wells at Otway site



CO₂圧入試験計画: 協議中

CO₂圧入許可申請中

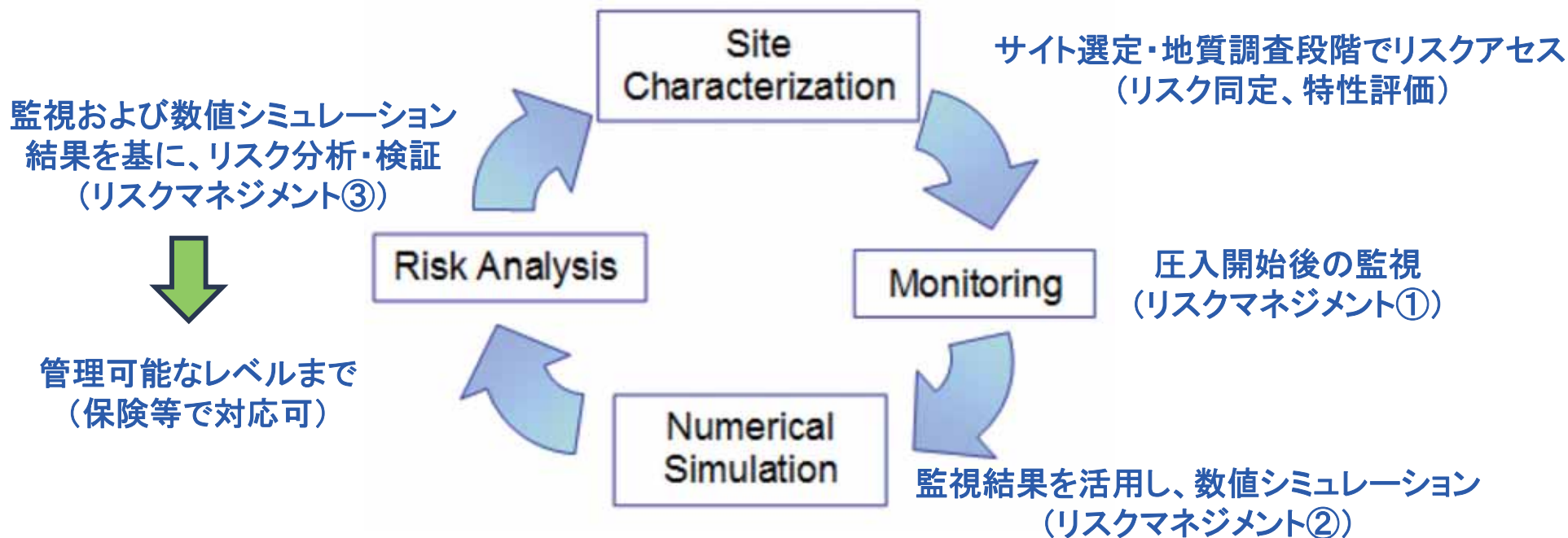
CO₂圧入試験
(Mar. 2024?)



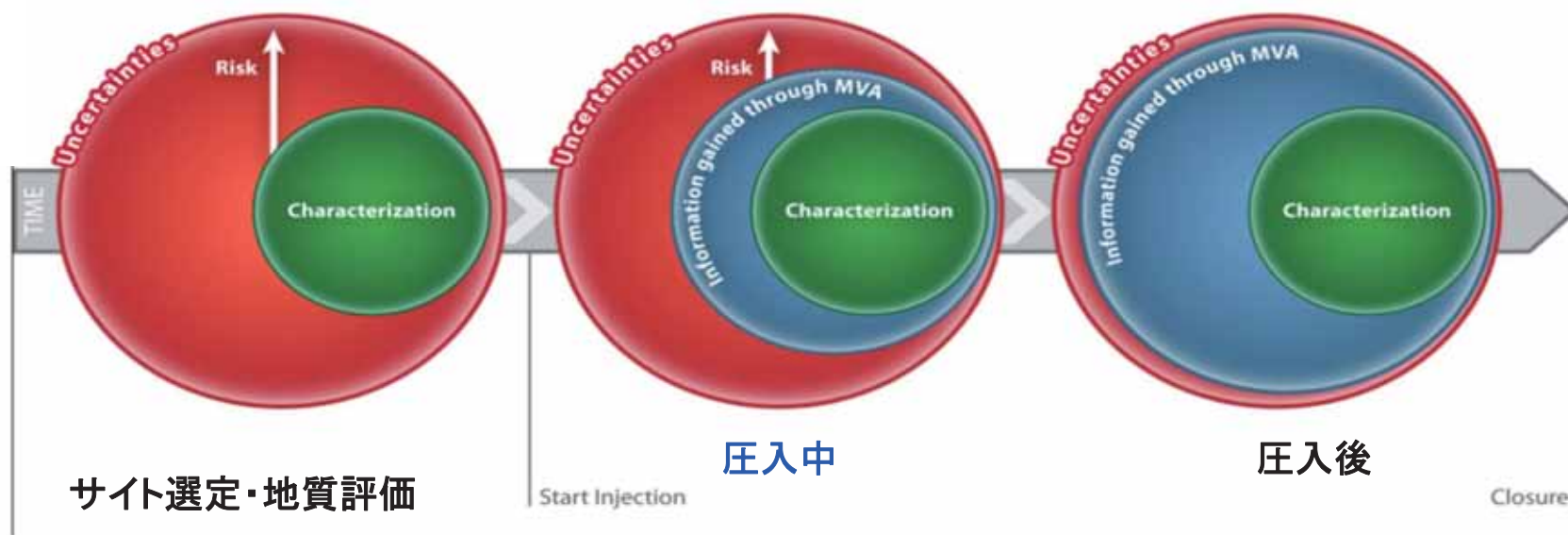
2024年度以降、漏洩 (flux)
定量的評価

数値シミュレーション
(必要あれば、追加試験も)

CCS事業のリスクマネジメント



Monitoring, Verification, and Accounting



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。