

革新的環境技術シンポジウム 2022

カーボンニュートラルに向けてのCO₂地中貯留の役割 — 研究開発から実用化・事業化への推進 —

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

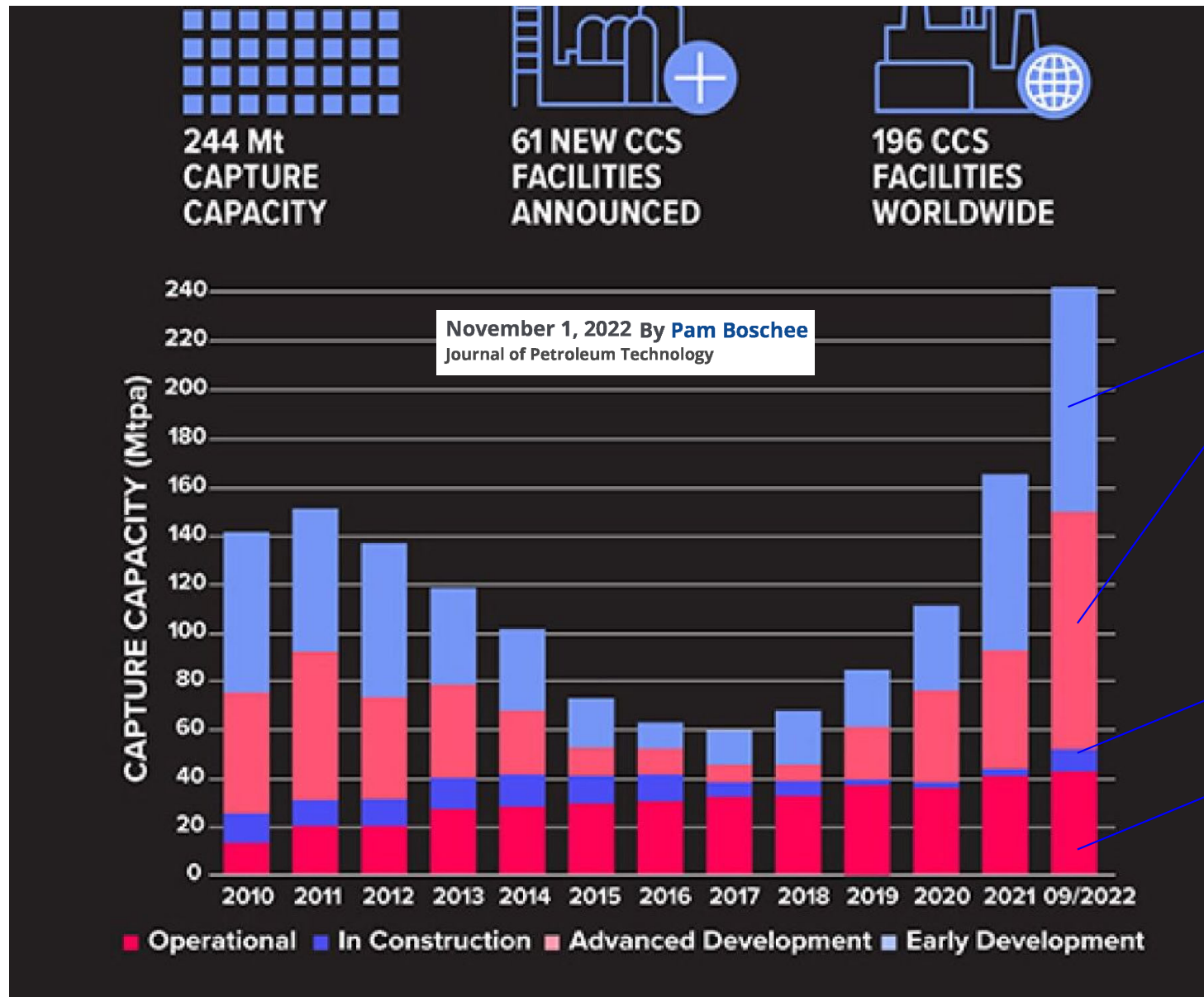
薛 自求

Ziqiu Xue (xue@rite.or.jp)



1. CO₂地中貯留： 誰が必要か →→ どう実施するか

Who needs →→→ How to deploy



計画中

建設中

稼働中

Global CCS Projects' CO2 Capture Capacity Grows Nearly 50% in 2022

The CO2 capture capacity of all CCS facilities under development increased 44% over the past 12 months, bringing the total capacity of those projects to 244 mtpa of CO2.

The US Inflation Reduction Act of 2022 includes enhancements to Internal Revenue Service Section 45Q and \$369 billion in funding for climate and energy. The legislation extends the start of construction timing to the end of 2032; lowers capture thresholds, including direct pay; and expands transferability. The US Infrastructure Investment and Jobs Act includes more than \$12 billion to be spent on CCS over the next 5 years.

Canada's 2022 federal budget includes an investment tax credit: the credit rate is 60% for direct air capture projects, 50% for all other carbon capture projects, and 37.5% for transportation, storage, and use from 2022 to 2030. From 2031 to 2040, the tax rates drop to 30%, 25%, and 18.75%.

CCS will not advance meaningfully without an extraordinary shift in commercial incentives.

Sectoral Pathways to Net Zero 2050 Include CCS and CDR

(DOE, 2022)

Transportation

- H₂ from natural gas & CCS
- Biofuels with CCS

Buildings

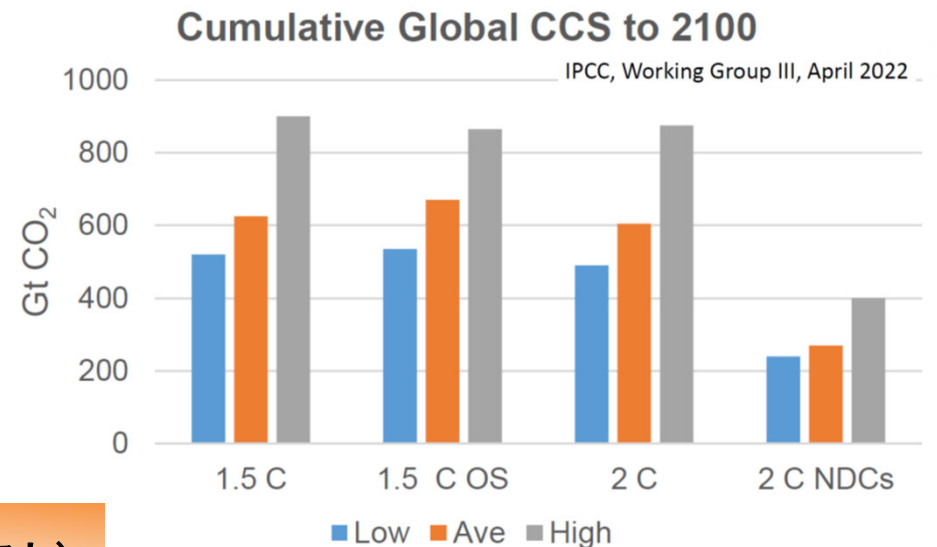
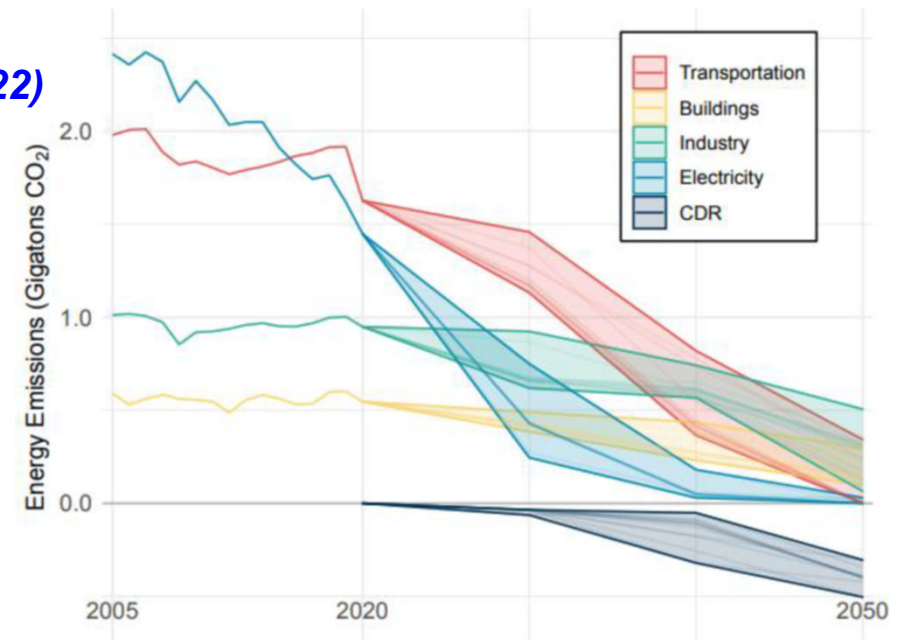
- H₂ from natural gas & CCS

Industry

- CCS for steel, cement, ammonia and chemicals
- H₂ from natural gas & CCS

Electricity

- Natural gas or coal & CCS
- Biomass plus CCS
- H₂ from natural gas & CCS
- H₂ from biomass & CCS

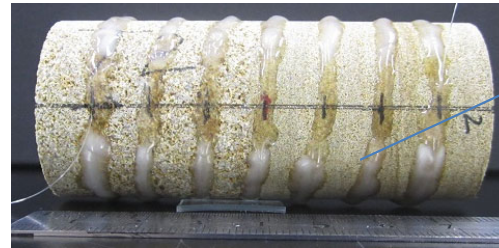


✓ 社会的認知度、技術的(安全性)、経済性(コスト)

地下深部の砂層へのCO₂貯留の可視化(X線CT)



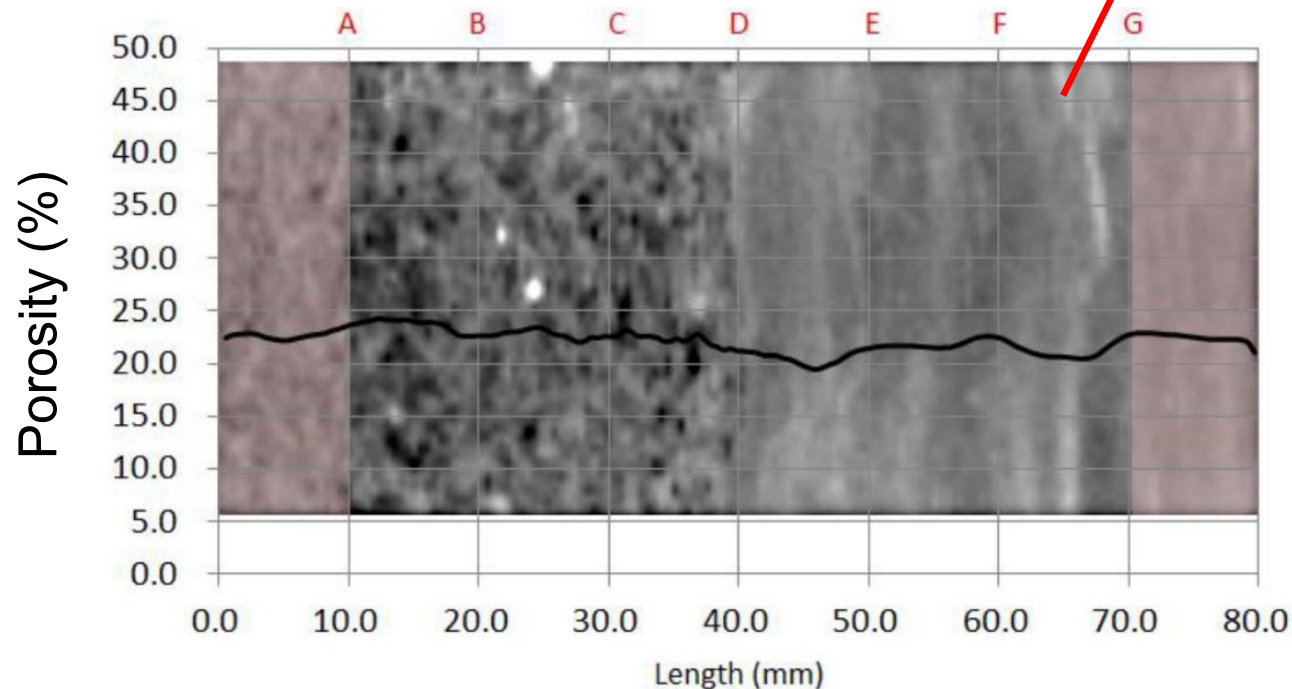
reservoir



optic fiber cemented on the rock sample

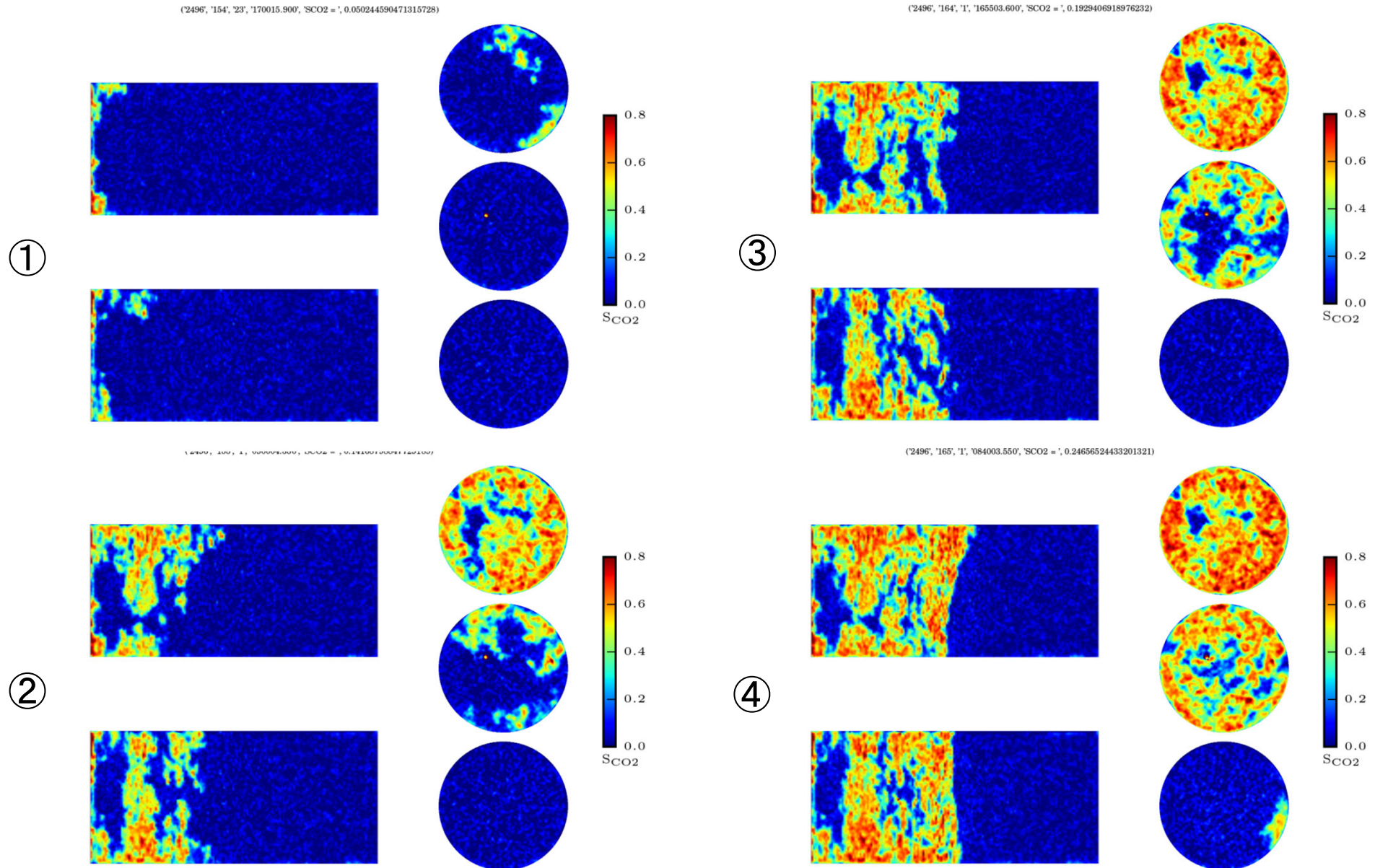
caprock

X-CT image

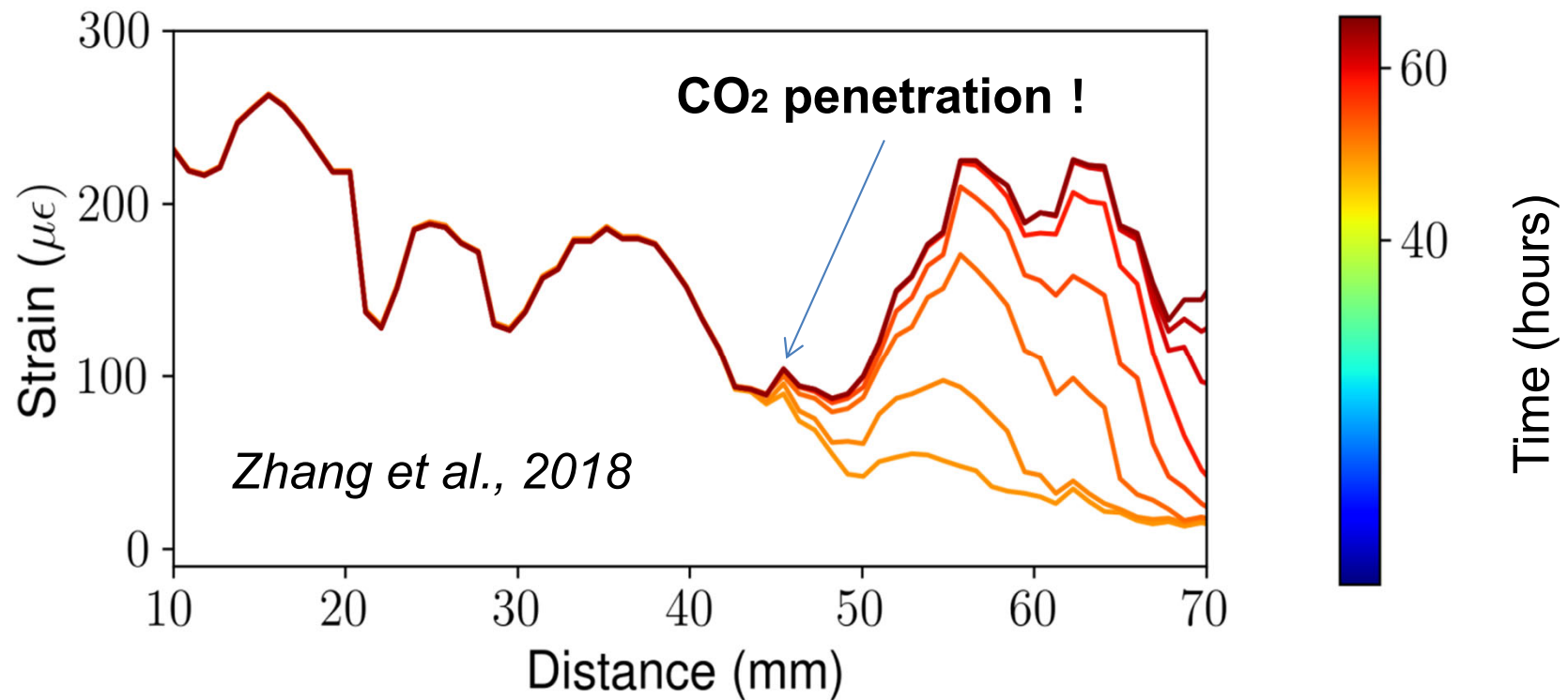
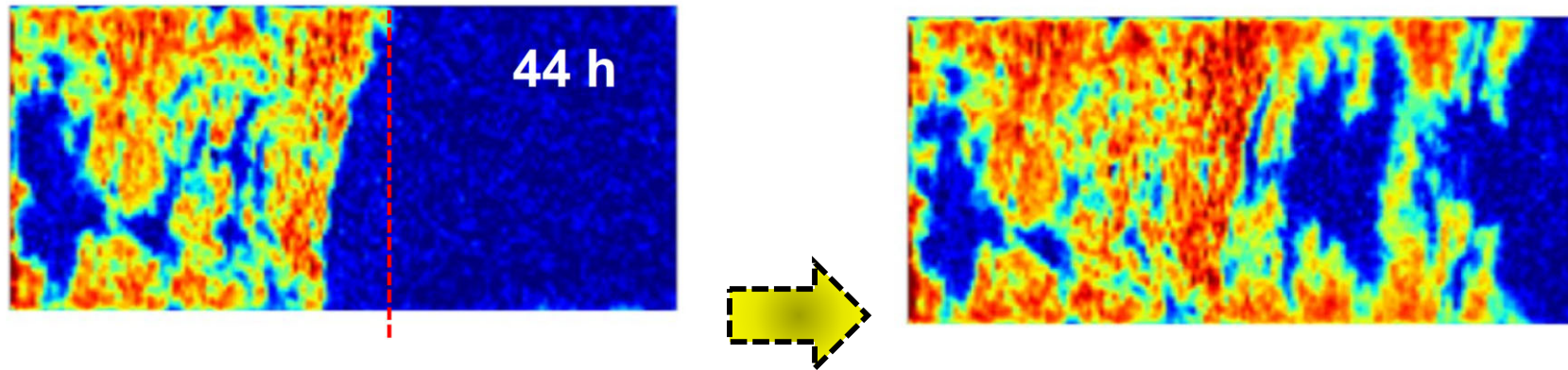


どのようにCO₂が砂層に溜まるか、遮蔽層がどうCO₂を砂層に閉じ込めるか？

CO₂が徐々に砂層に溜まっていくが、遮蔽層に閉じ込められる

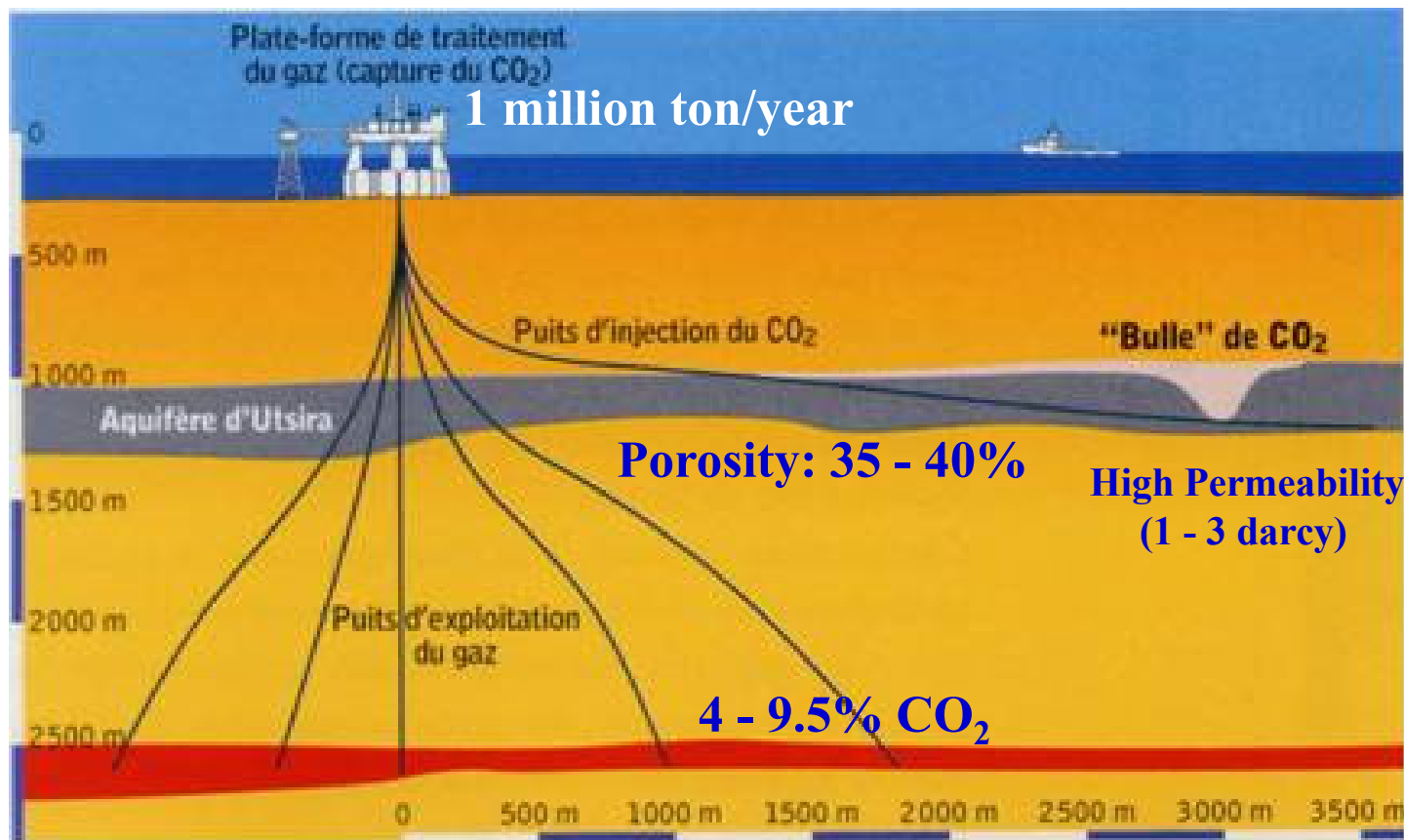


Strain response when CO₂ penetrating into the fine grain part



SACS (Saline Aquifer CO₂ Storage)

North Sea, Norway (Statoil), Sleipner



Carbon Tax: 7,000 yen/ton → 6.6 billion/year *20 year

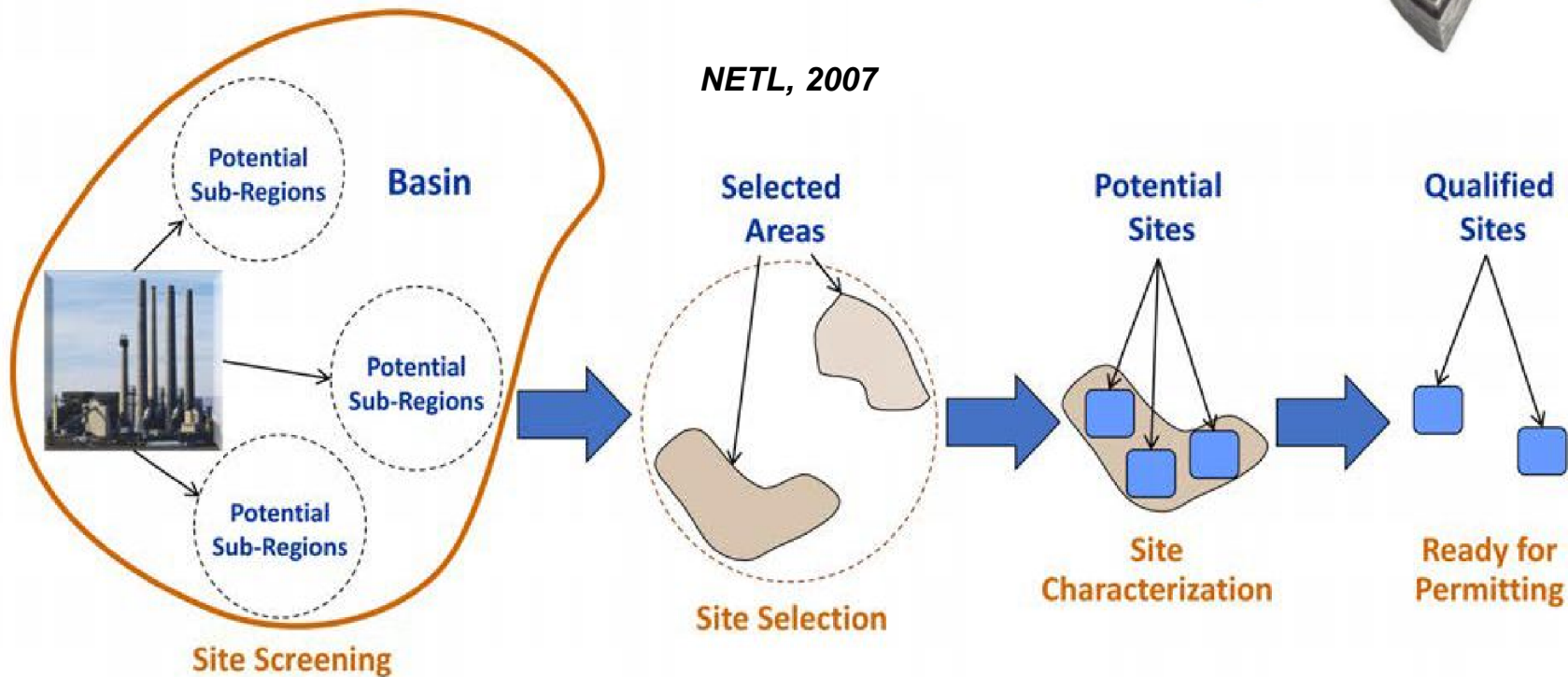
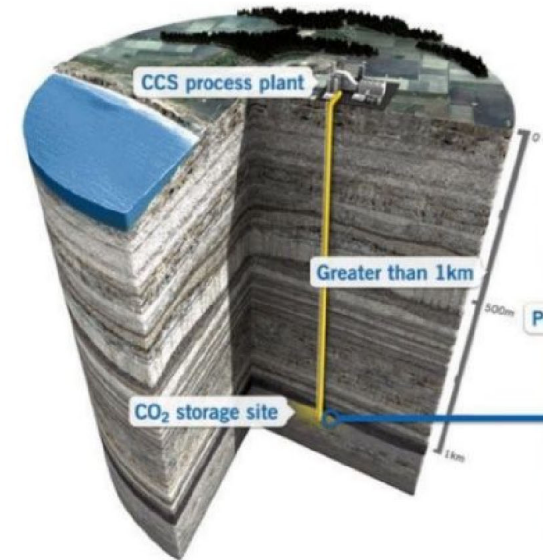
44 billion+0.86 billion*20 year

ガス田開発の地下情報が豊富にあり、地質的にも恵まれている(砂層の広がり、浸透率)

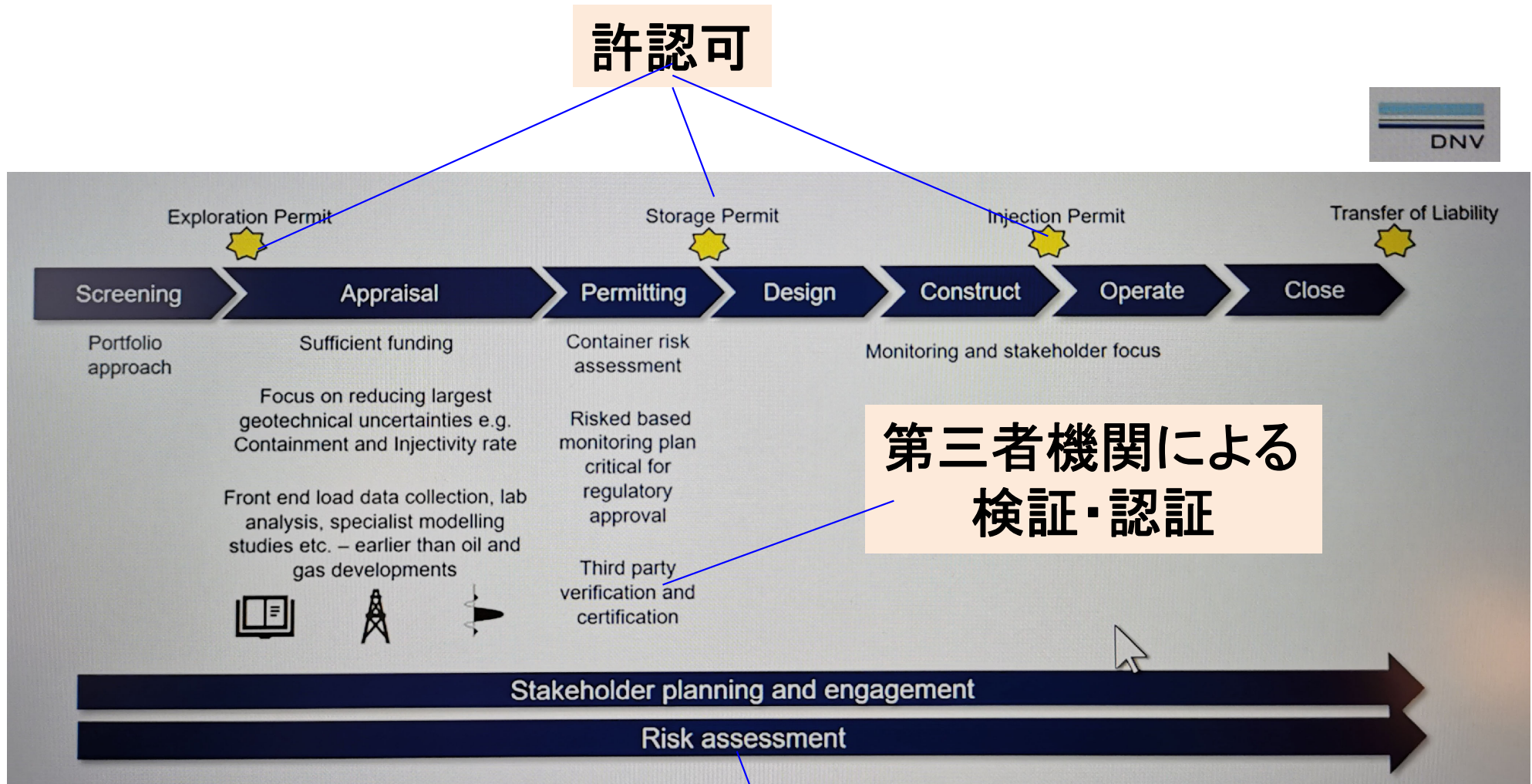
Storing CO₂ in Saline Aquifers (1/2)

Major Steps in Process of Finding and Developing Qualified Sites

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

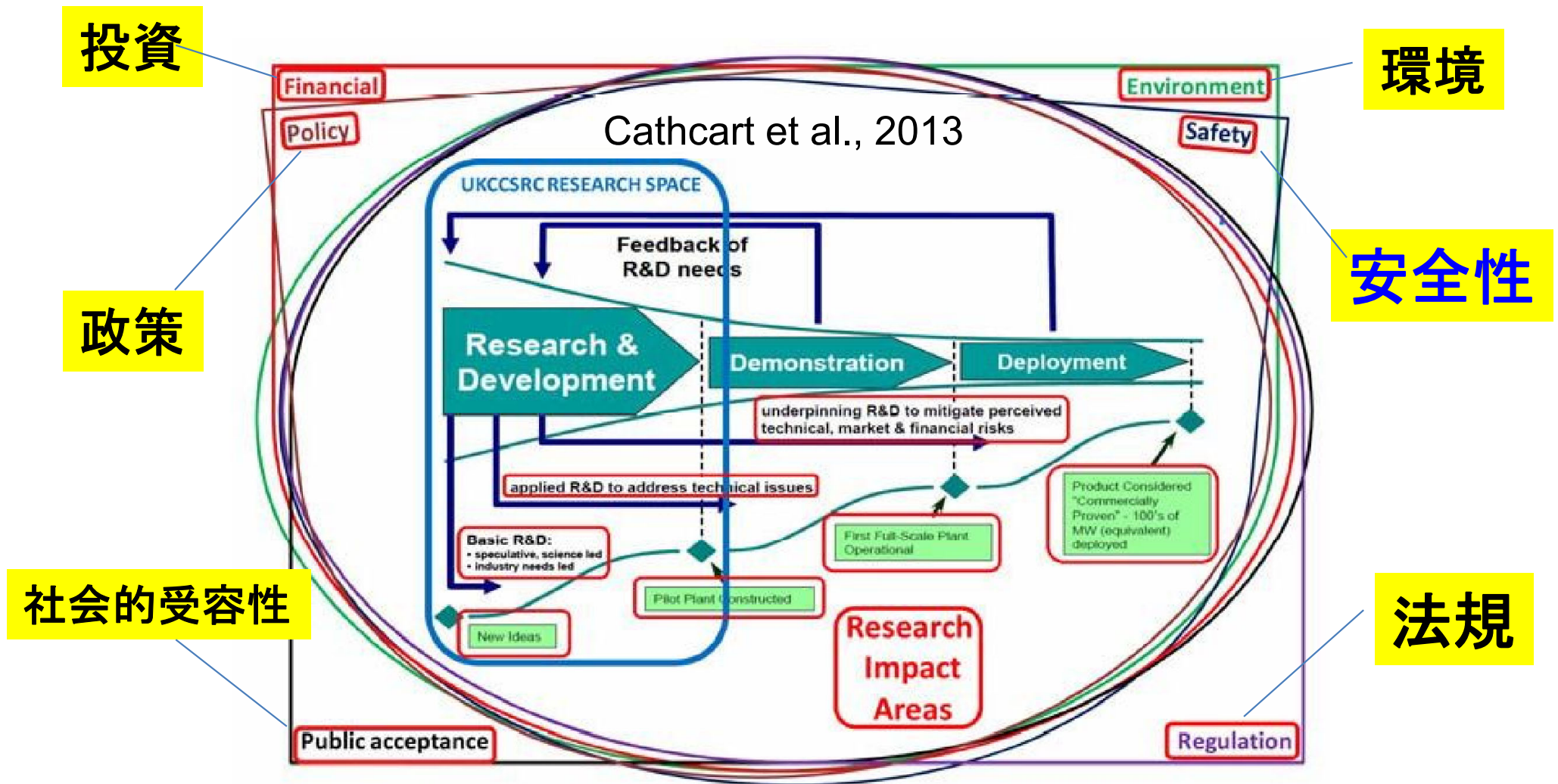


Storing CO₂ in Saline Aquifers (2/2)



Community Concern, Risk Communication →→ Public Support

2. CO₂地中貯留技術の実用化・事業化へ



投資

環境

政策

安全性

社会的受容性

法規

技術開発や知見の提供

Research & Development → Demonstration, Deployment

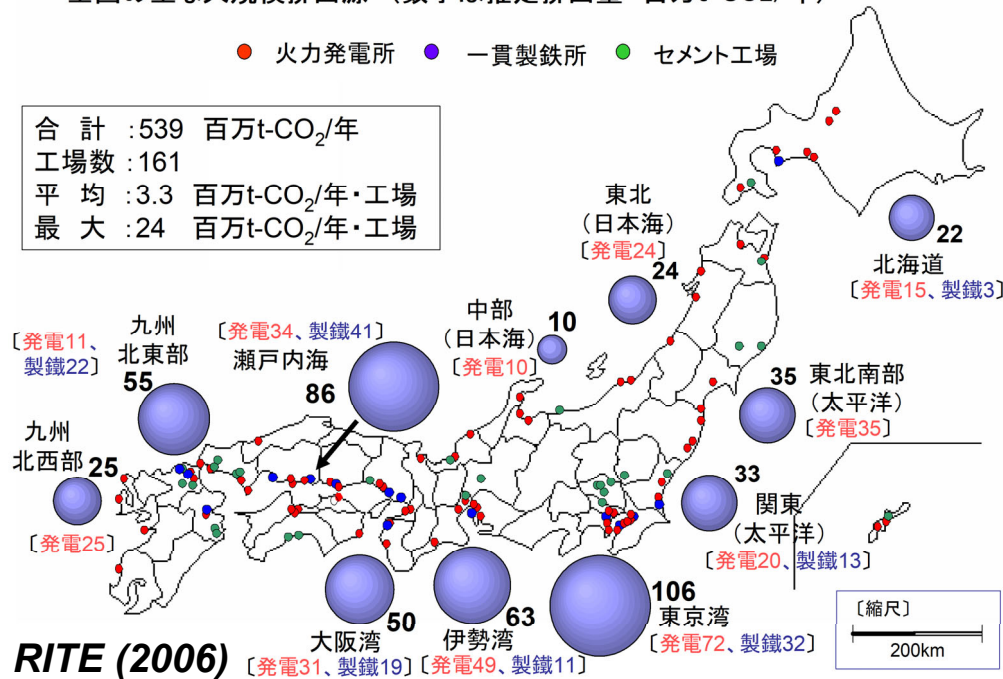
実用化には、技術開発以外の要素(安全性、経済性、社会的受容性、法整備)

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

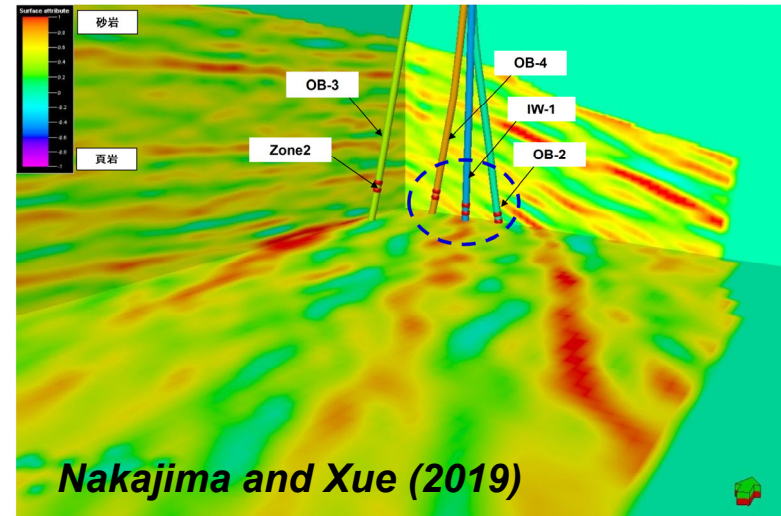
全国の主な大規模排出源 (数字は推定排出量 百万t-CO₂/年)

● 火力発電所 ● 一貫製鉄所 ● セメント工場

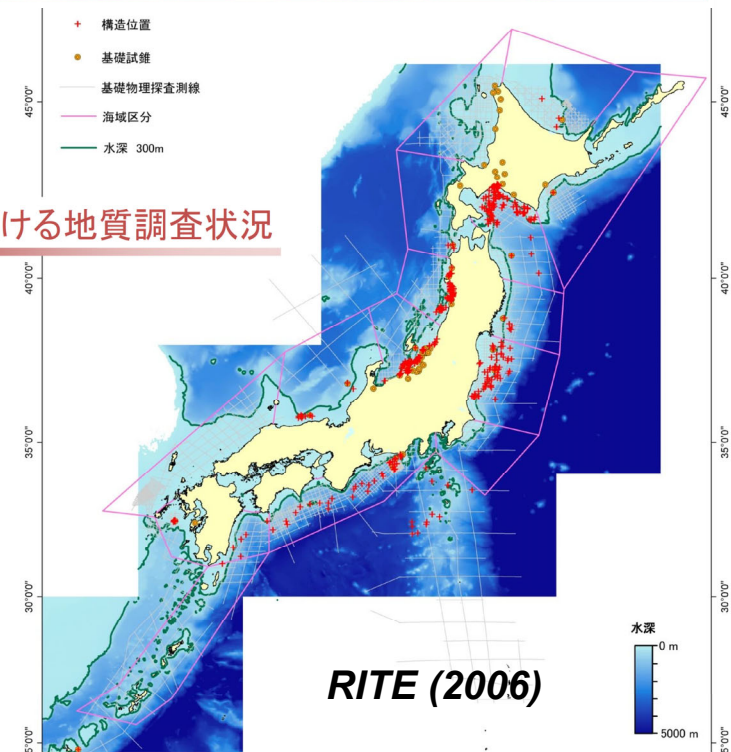
合計 : 539 百万t-CO₂/年
工場数 : 161
平均 : 3.3 百万t-CO₂/年・工場
最大 : 24 百万t-CO₂/年・工場



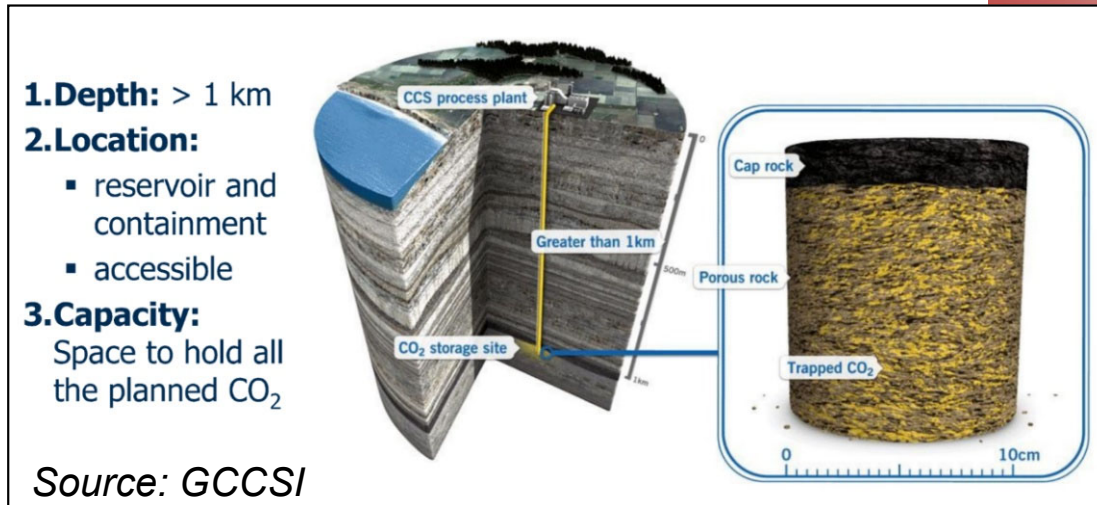
RITE (2006)



国内における地質調査状況



RITE (2006)



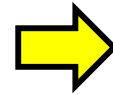
1. Depth: > 1 km
2. Location:
 - reservoir and containment
 - accessible
3. Capacity:
 - Space to hold all the planned CO₂

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!

複数の実想定サイトを対象とするSRM検討の成果イメージ

- **貯留対象層の差異**: 深部塩水性帯水層、水溶性ガス地層、生産性低下ガス田
- **地域特性の差異**: 堆積盆規模、既存データ・情報量 & 品質



国内の未調査地域／既存データが乏しい地域(基礎調査対象外)の貯留サイト調査への知見提供

SRM検討の目標



開発シナリオ

How do we provide investment assurance?

How do we get adequate capacity with minimal cost of characterization and development?

民間主導のCCS事業

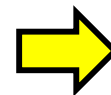
CCS技術事例集に反映

先進的CCS支援事業?

CO₂回収・輸送・貯留トータルシステムの

コスト試算ツール作成中

(石炭火力、ガス火力、製鉄所など)



CCS事業の経済性モデル検討

CCS事業コスト試算ツールの開発

一般事項 燃料シナリオ 外部電源 回収 パイプライン輸送 船舶輸送 貯留 モニタリング

ケース : Ship_300

概要 : 船舶輸送 300km

【基本項目】に関する下記の項目を入力して下さい。

基準年度	:	<input type="text" value="2030"/>	(年)	* 基準年度 ≤ 2070
稼働年数	:	<input type="text" value="40"/>	(年)	* 基準年度 + 稼働年数 - 1 ≤ 2070
為替レート	:	<input type="text" value="107.0"/>	(¥/\$)	
減価償却法	:	<input type="text" value="定率法"/>	▼	
固定資産税率	:	<input type="text" value="1.40"/>	(%)	
廃止要期間	:	<input type="text" value="1"/>	(年)	

DBに保存

ケース選択に戻る

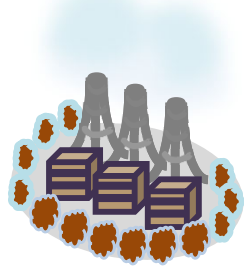
貯留可能量、**排出源**(排出量、**距離**)、**輸送手段**、貯留規模、経済性(コスト)

複数ケーススタディ →→→ **最適な**サイトを決定

我が国で想定されるCCSプロジェクト

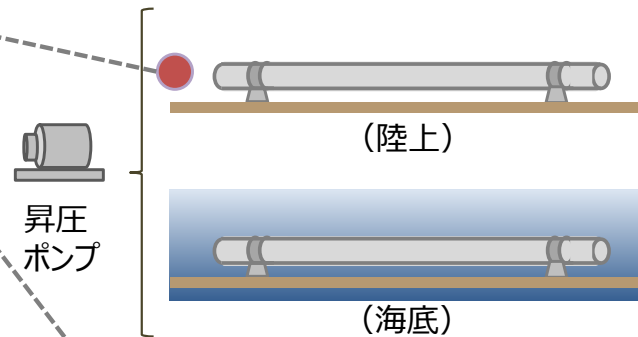
排出源

- 火力発電所
- 製鉄所
- セメント
- エチレンオキサイド
- アンモニア
- 石炭化学
- 天然ガス処理



輸送

パイプライン輸送

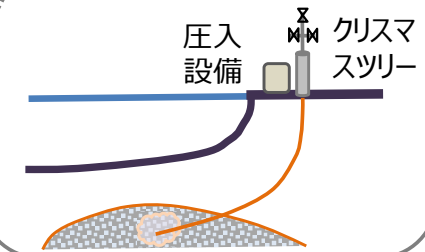


船舶輸送

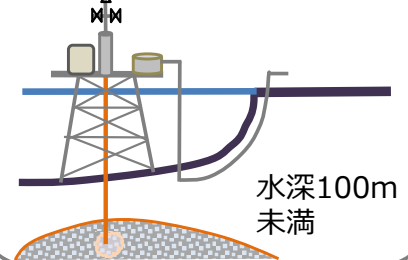


貯留

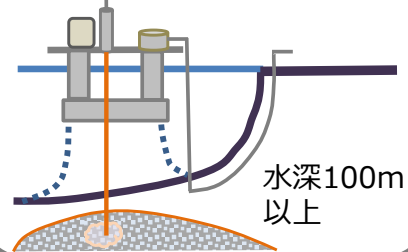
● 地上から圧入



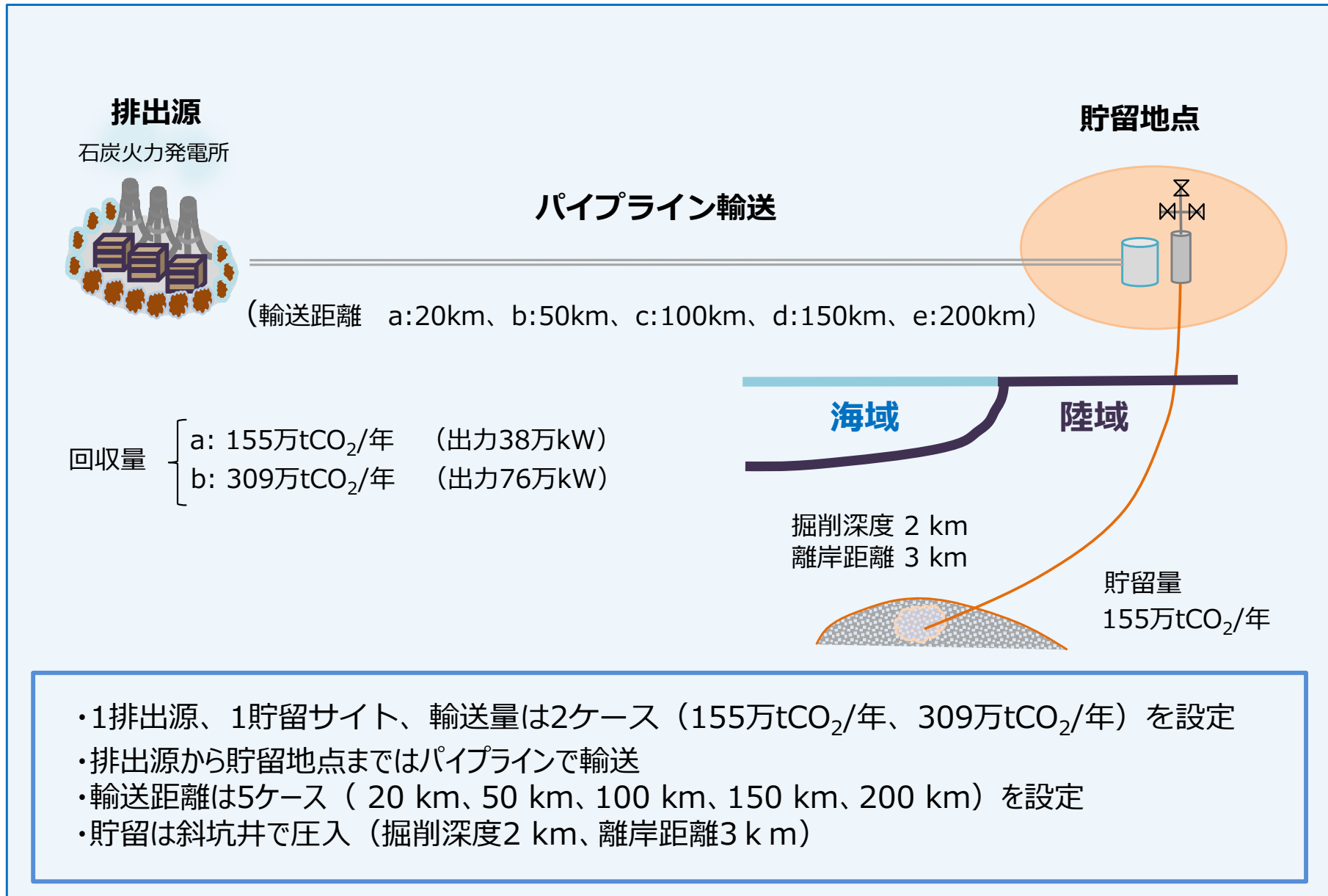
着床基地から圧入



浮体基地から圧入



コスト試算例 ①



パイプライン輸送における回収量別、距離別CCSコストの比較

(排出源：石炭火力発電所)

パイプライン輸送量 155万tCO₂/年 (出力：38万kw、回収率：90%)

(Captured)

項目	20km	50km	100km	150km	200km	単位
回収コスト	3,904	3,904	3,904	3,904	3,904	円/tCO ₂
輸送コスト (パイプライン)	1,383	1,826	2,640	3,415	4,382	円/tCO ₂
貯留コスト	573	573	573	573	573	円/tCO ₂
モニタリングコスト	1,839	1,839	1,839	1,839	1,839	円/tCO ₂
CCSコスト	7,700	8,143	8,957	9,732	10,699	円/tCO ₂

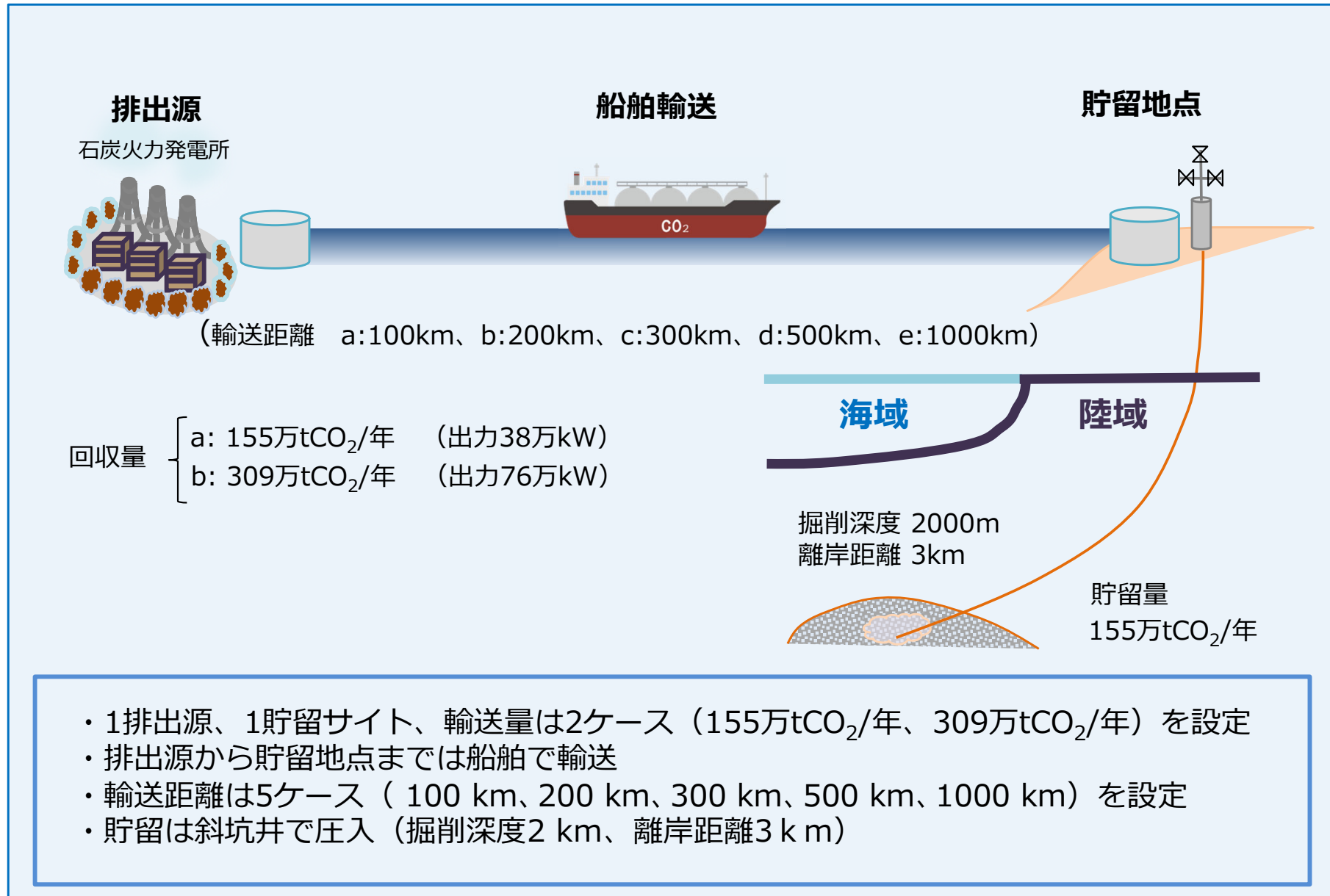
パイプライン輸送量 309万tCO₂/年 (出力：76万kw、回収率：90%)

(Captured)

項目	20km	50km	100km	150km	200km	単位
回収コスト	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	円/tCO ₂
輸送コスト (パイプライン)	1,172	1,439	1,907	2,431	2,898	円/tCO ₂
貯留コスト	287	287	287	287	287	円/tCO ₂
モニタリングコスト	920	920	920	920	920	円/tCO ₂
CCSコスト	5,929	6,196	6,664	7,188	7,655	円/tCO ₂

※上記試算例では2021年11月現在の標準的な諸元を適用

コスト試算例 ②



船舶輸送における回収量別、距離別CCSコストの比較

(排出源：石炭火力発電所)

船舶輸送量 155万tCO₂/年 (出力：38万kw、回収率：90%) (Captured)

項目	100km	200km	300km	500km	1000km	単位
回収コスト	3,904	3,904	3,904	3,904	3,904	円/tCO ₂
輸送コスト (船舶)	4,797	4,817	4,836	4,875	5,310	円/tCO ₂
貯留コスト	573	573	573	573	573	円/tCO ₂
モニタリングコスト	1,839	1,839	1,839	1,839	1,839	円/tCO ₂
CCSコスト	11,114	11,133	11,153	11,192	11,627	円/tCO ₂

船舶輸送量 309万tCO₂/年 (出力：76万kw、回収率：90%) (Captured)

項目	100km	200km	300km	500km	1000km	単位
回収コスト	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	円/tCO ₂
輸送コスト (船舶)	4,104	4,117	4,131	4,157	4,571	円/tCO ₂
貯留コスト	287	287	287	287	287	円/tCO ₂
モニタリングコスト	920	920	920	920	920	円/tCO ₂
CCSコスト	8,861	8,874	8,888	8,914	9,328	円/tCO ₂

船舶は全ての距離において2隻での運行としている。

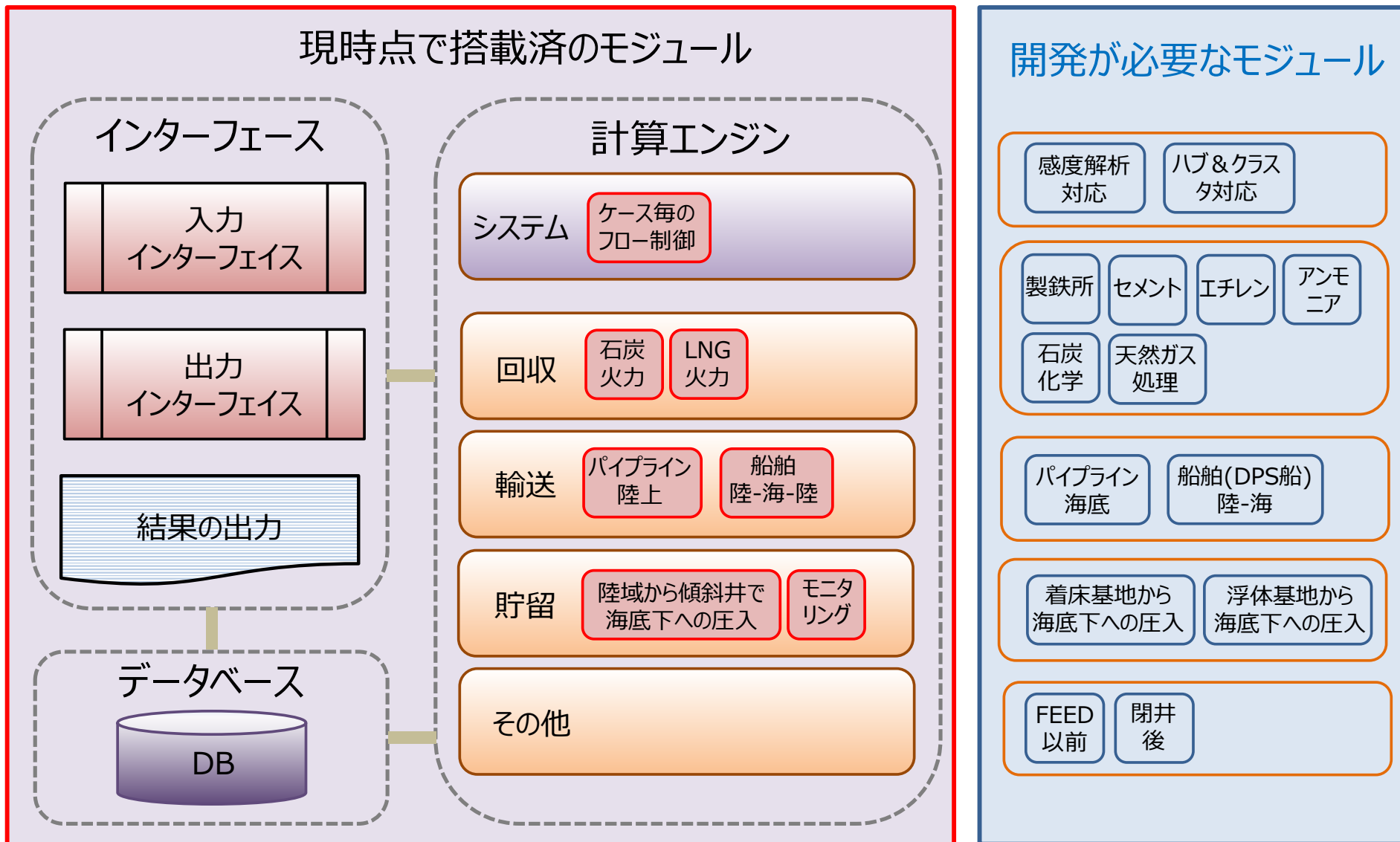
船舶のサイズは155万tCO₂/年 の場合100～500kmの場合18,500tクラスを、1000kmの場合24,500tクラスを想定。

一方、309万tCO₂/年 の場合100～500kmの場合36,500tクラスを、1000kmの場合48,500tクラスを想定。

なお、船舶のサイズは隻数、輸送量、航海日数、荒天待機時間等から、自動計算される。

※上記試算例では2021年11月現在の標準的な諸元を適用

今後追加予定のモジュール



3. 国内CCS事業の実施およびCNに向けての役割

(長期ロードマップ検討会、CCS事業・国内法検討WG、CCS事業コスト・実施スキーム検討WG)

令和5年度概算要求額 45.0 億円 (新規)

事業の内容

事業目的

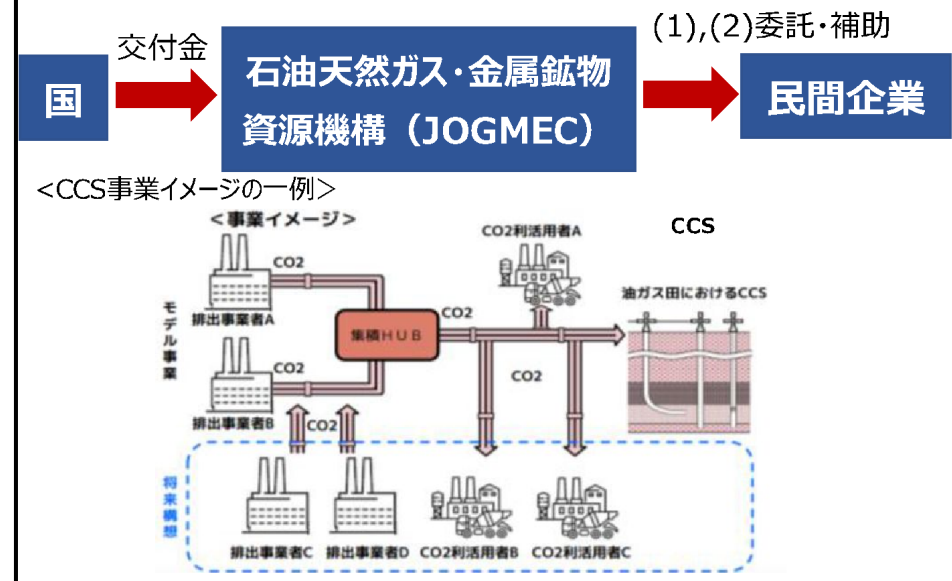
昨年10月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、2050年カーボンニュートラル目標や2030年46%削減目標の実現に向けて、脱炭素化できずCO2の排出が避けられない分野を中心として、CCSはカーボンリサイクル(CCU)とともに最大限活用する必要があると位置づけられており、我が国の脱炭素化と産業政策やエネルギー政策を両立するための「鍵」となる重要なオプションの一つとなっています。本事業は、2030年までのCCS事業開始に向けた事業環境整備を目的とします。

事業概要

先進的なCCS事業について、分離・回収、輸送・貯留というCCSバリューチェーン全体の建設段階及び操業段階を全面的に支援します。具体的には、令和5年度から段階的に以下の事業を行います。

- (1) CCSの適地調査支援 (令和6年度まで実施予定)
- (2) CCSの試掘支援 (令和8年度まで実施予定)
- (3) CCSバリューチェーン全体の開発・建設支援 (令和8年度から令和12年度まで実施予定)
- (4) CCSバリューチェーン全体の操業支援 (令和12年度から実施予定)

事業スキーム (対象者、対象行為、補助率等)

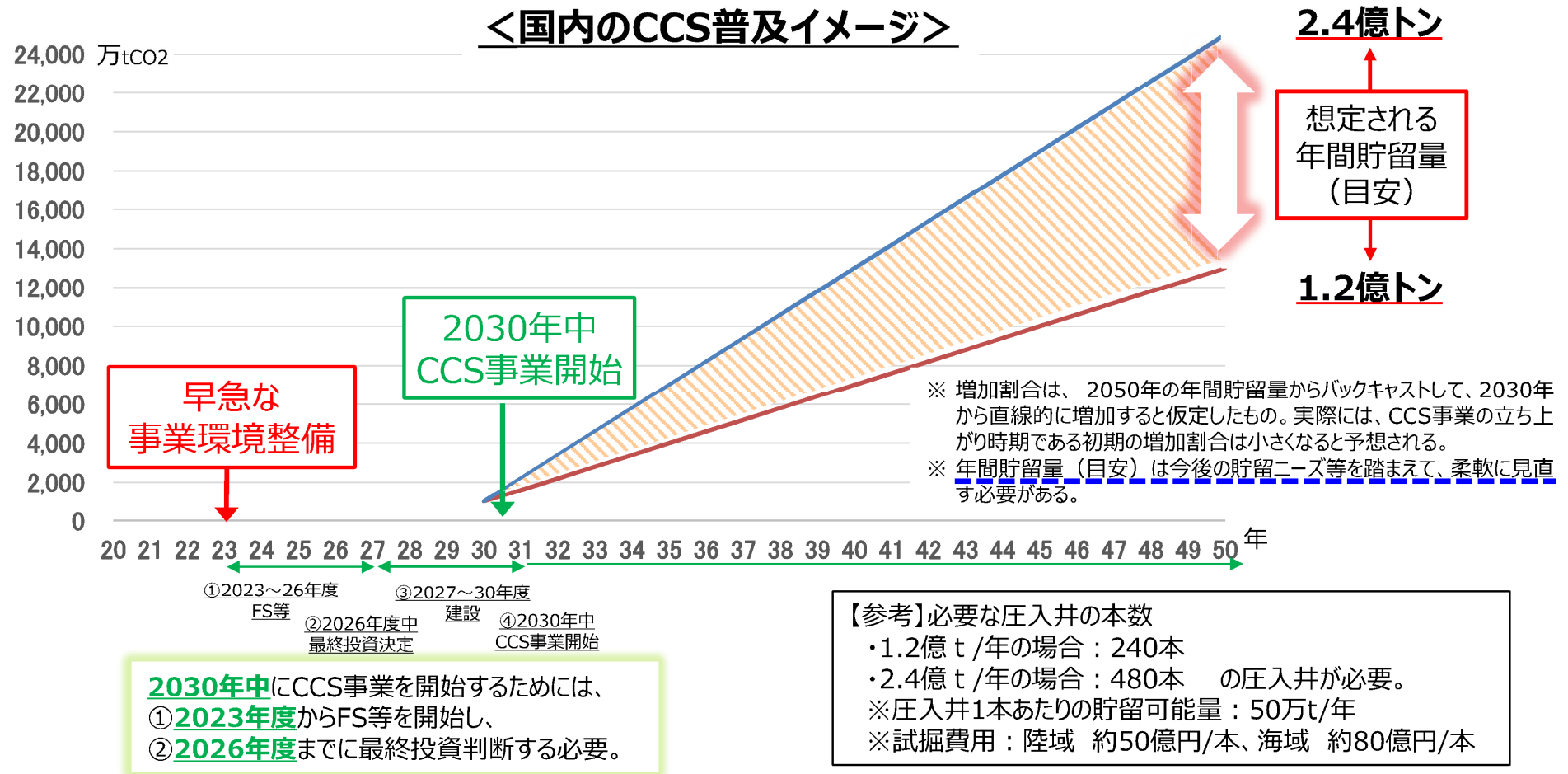


成果目標

令和6年度までに先進的なCCS事業を選定し、令和12年度までのCCS事業開始を目指します。

2050年のCCSの想定年間貯留量の目安

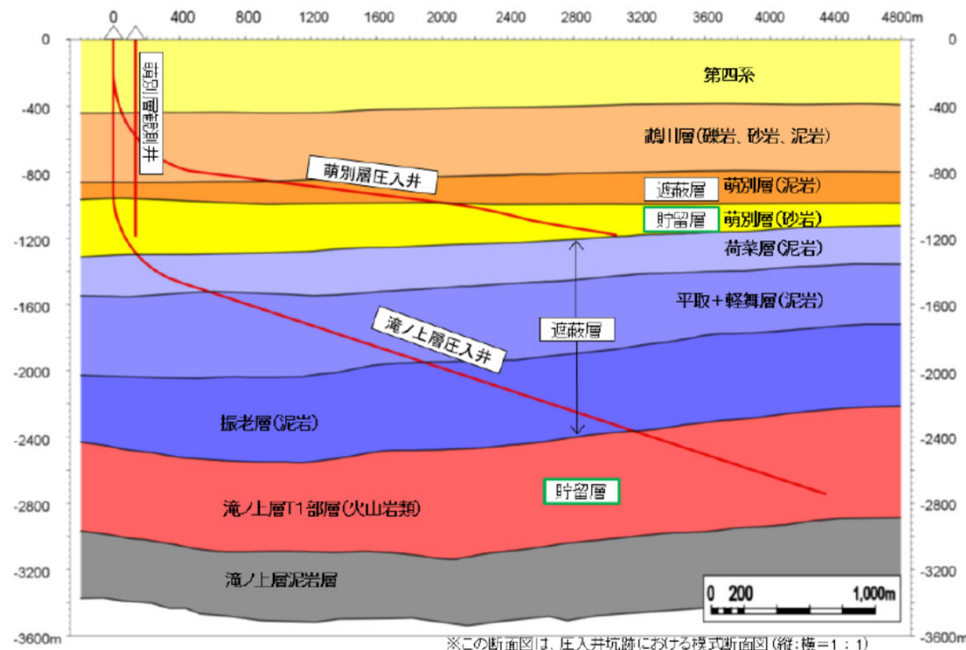
- IEA試算から推計すると、我が国のCCSの想定年間貯留量は、2050年時点で年間約1.2～2.4億tが目安。2030年にCCSを導入する場合、2050年までの20年間で、毎年12本～24本ずつ圧入井を増やす必要。



2050年時点で年間圧入量が：120 Mtpa

1本の坑井の圧入能力：0.5 MTPA /well

苫小牧実証試験：全体概要



※この断面図は、圧入井坑跡における模式断面図(縦:横=1:1)

JCCS HPより

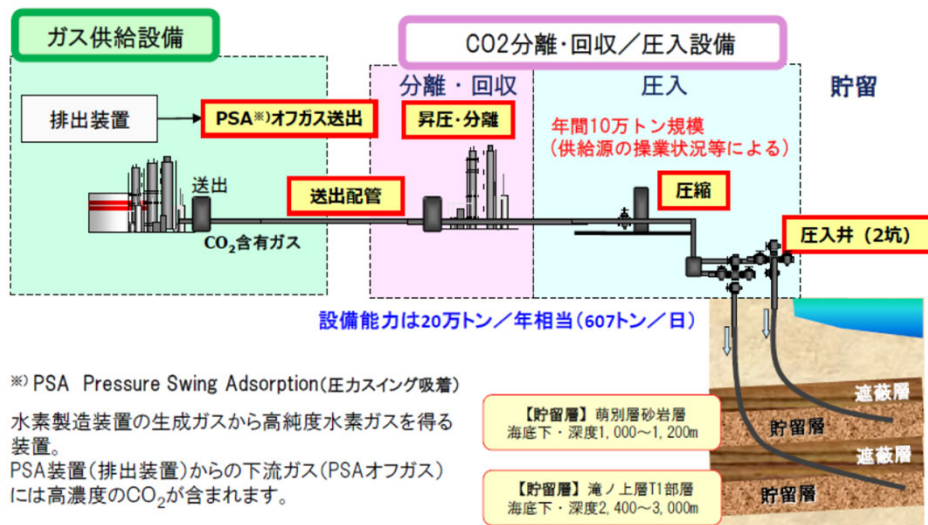
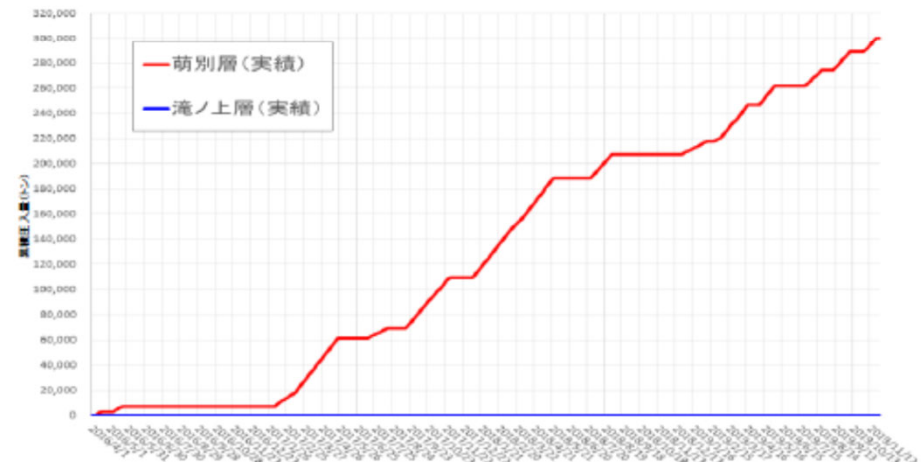
累積CO₂圧入量
(2016年4月6日～2019年11月22日)

300,110.3 トン

2019年11月の圧入実績

	月間圧入実績 (2019年11月)	累積圧入実績 (2019年11月22日)
萌別層	10,793.5 トン	300,012.2 トン
滝ノ上層	0.0 トン	98.2 トン

累積圧入量の推移



CO2貯留適地調査事業

- 過去のRITE及びNEDO・AISTによる調査から、国内には、約2,400億トンのCO2貯留ポテンシャルがあると推定されていたが、基礎データに基づく推定であり、貯留適地の特定に至っていなかった。
- CCSの事業化をする上で、貯留適地の特定は不可欠であるため、2014年から、3D弾性波探査などの調査を実施中。これまでの調査により、R4年1月末までに、10地点で約160億トンの貯留可能量を推定。
- 貯留適地と見込まれるエリア（下表、赤枠に示す堆積層厚1000m以上）のうち、未だ調査できていない地点について、引き続き調査を実施。

CO2貯留層賦存量マップ

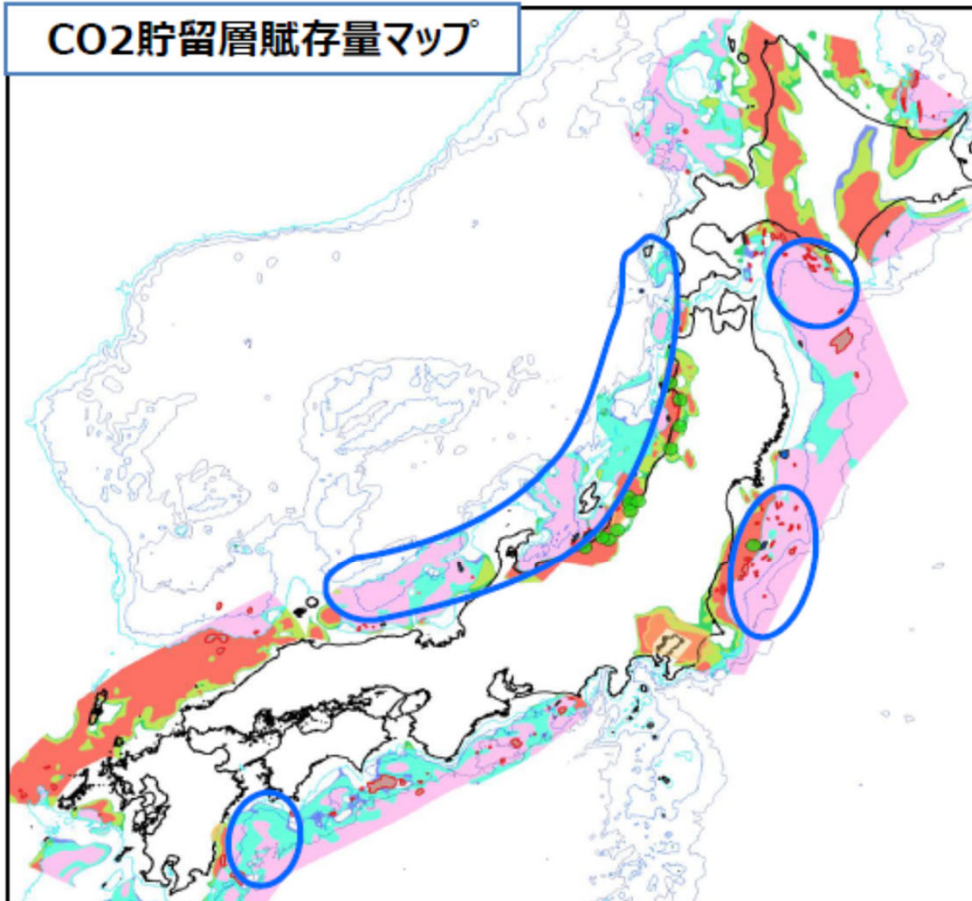


表. 堆積層厚 RITEの区分(2006, 2008)

● A1 (油ガス田)	} 断層構造 背斜構造	— 水深 2,000m
■ A2 (既掘構造)		— 水深 1,000m
■ A3 (未掘構造)		— 水深 200m
■ B-1 (水溶性ガス田)	} 同斜構造	
■ B-2 (堆積層厚 >2,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 1,000~2,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 800~1,000m, 水深 <200m)		
■ B-2 (堆積層厚 >2,000m, 水深 >200m)		
■ B-2 (堆積層厚 1,000~2,000m, 水深 >200m)		
■ B-2 (堆積層厚 800~1,000m, 水深 >200m)		

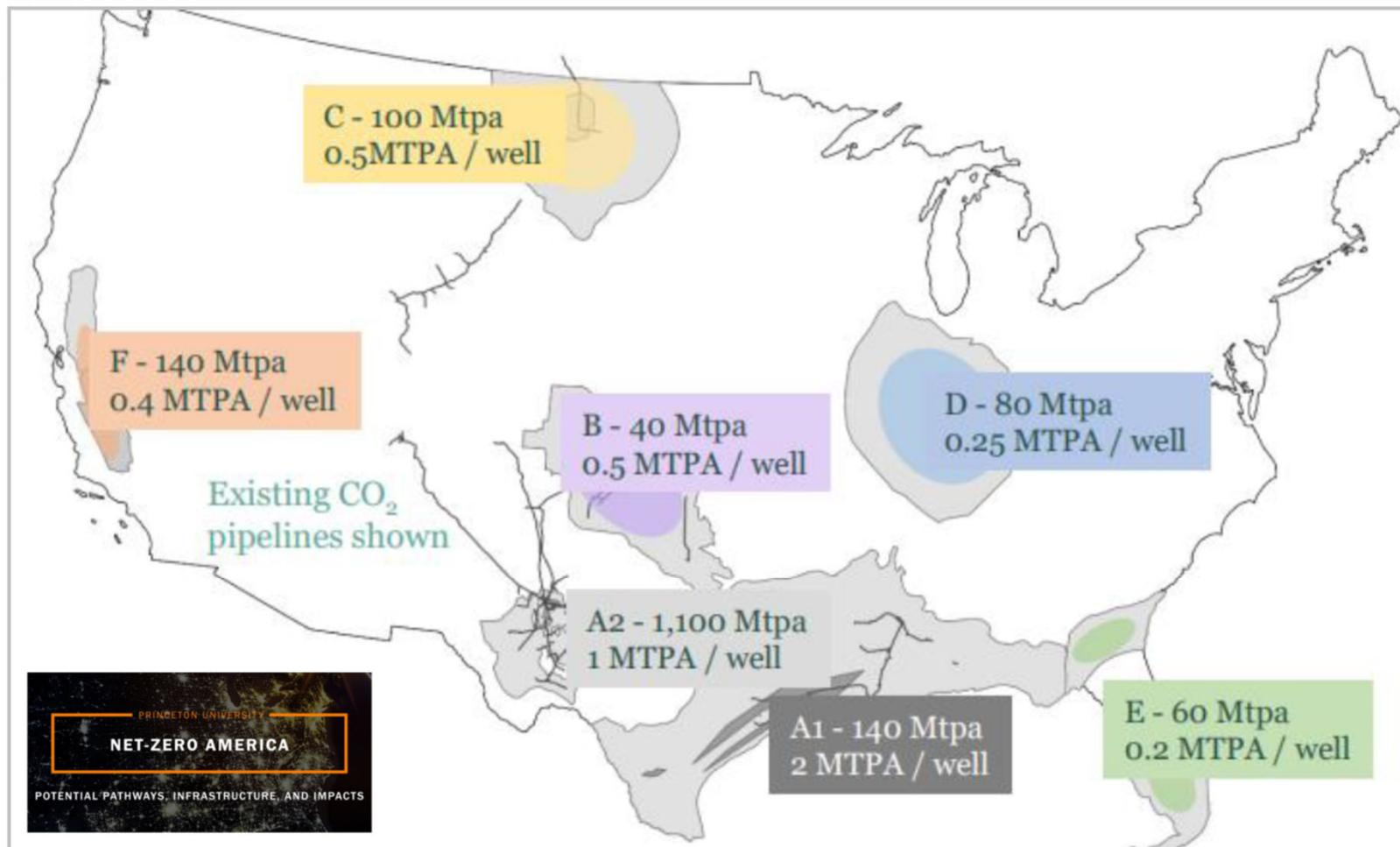
RITE(2006, 2008)を基にJCCSにて編集

○ 3D/2D精査データを用いた地質解析エリア
(楕円内の一部で実施。楕円の大きさに意味なし)

Bottoms-Up Modeling Confirms the Important Role of CCS/CDR

(DOE, 2022)

米国全土が6つの地域に、各地域では年間圧入量や坑井当たりの圧入能力が異なる

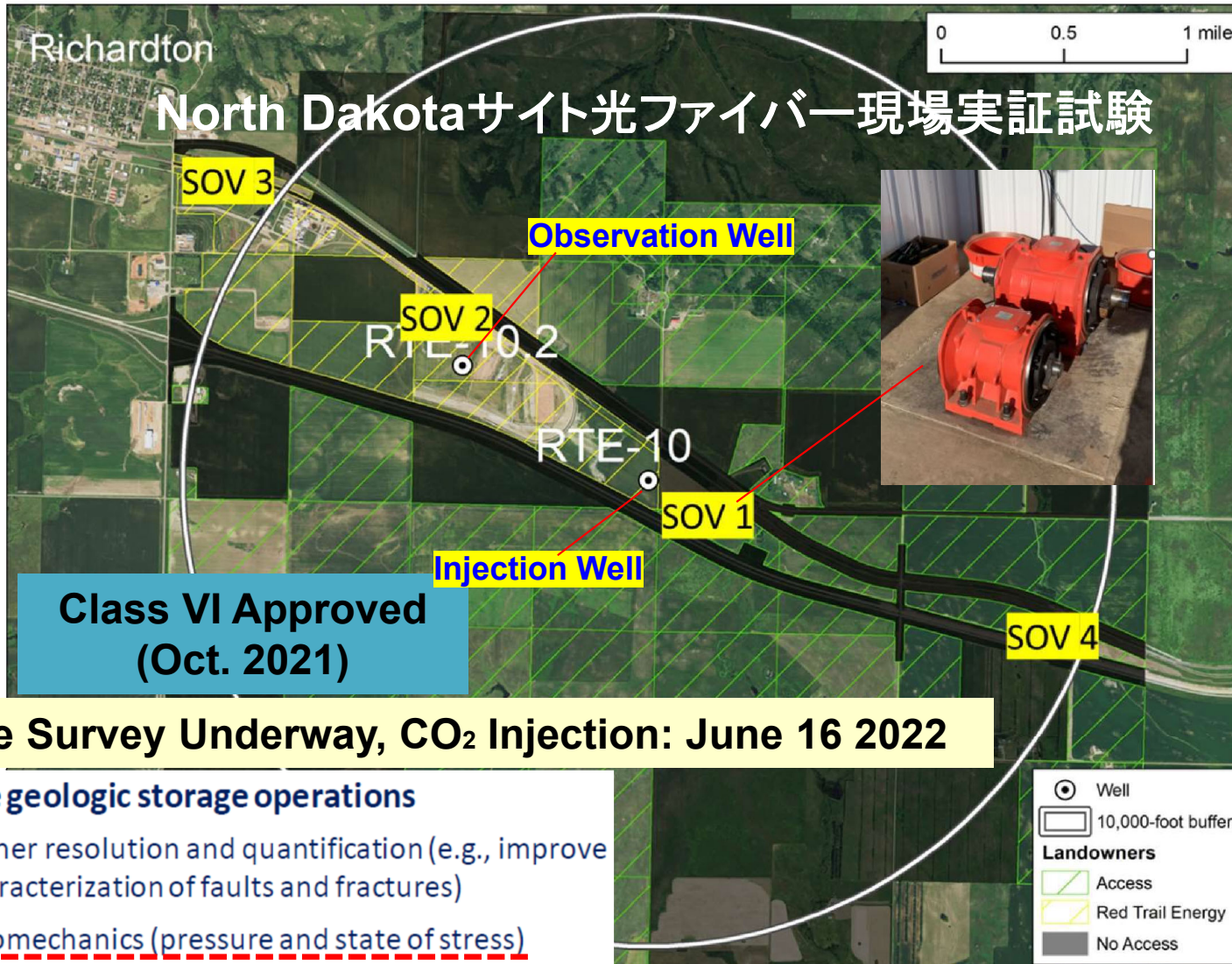


年間圧入量の合計: 1,660 Mtpa

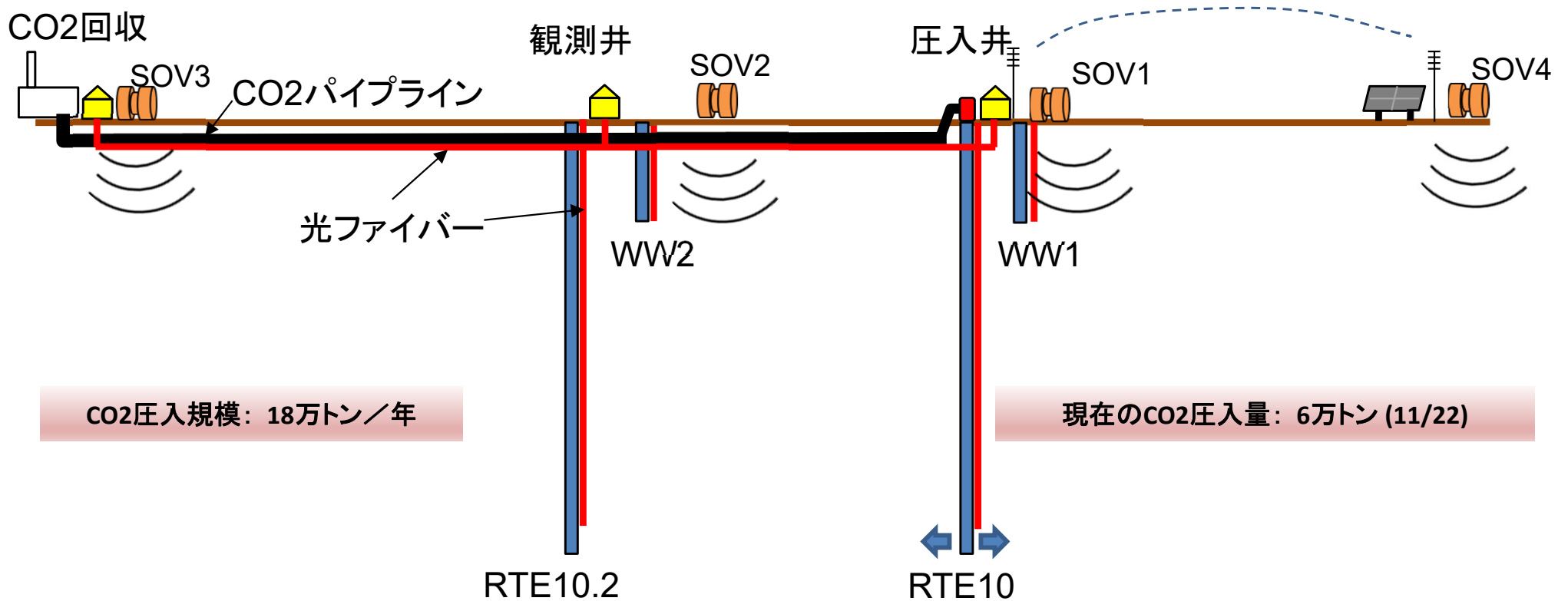
1本の坑井の圧入能力: 0.2, 0.25, 0.4, 0.5, 1, 2 MTPA /well

Fiber Optic Sensing for Multi-purpose Data Acquisition (DTS, DAS, DSS) and Permanent Monitoring for CO₂ Storage

(日米CCUS協力事業)

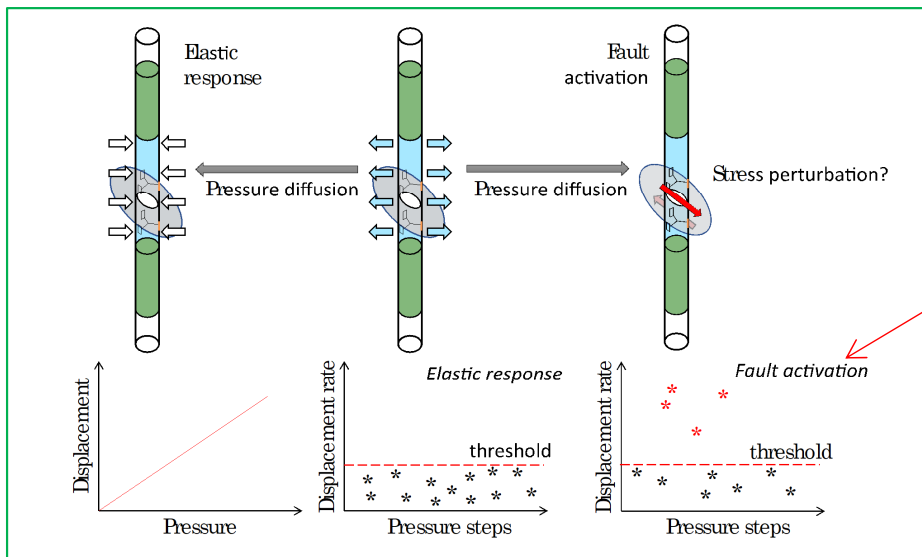
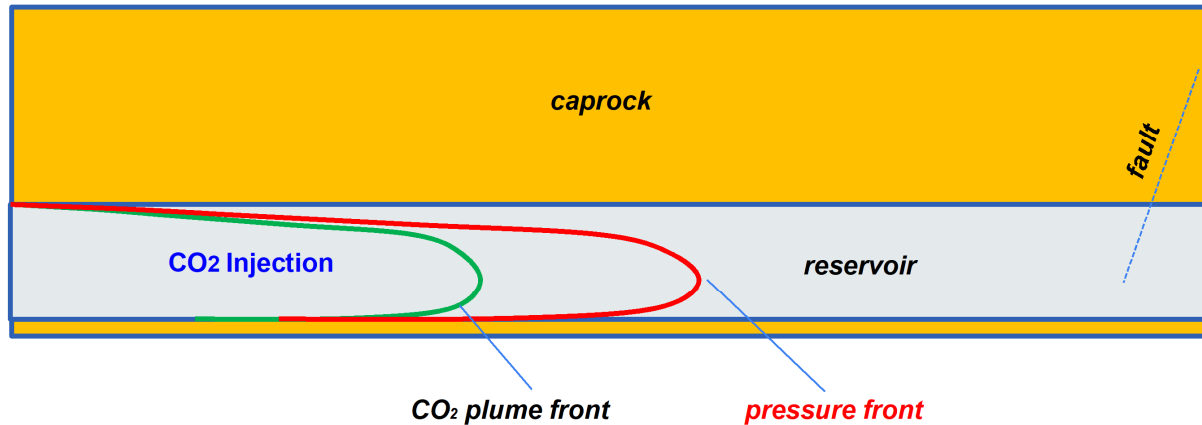


光ファイバーによるCO₂モニタリング

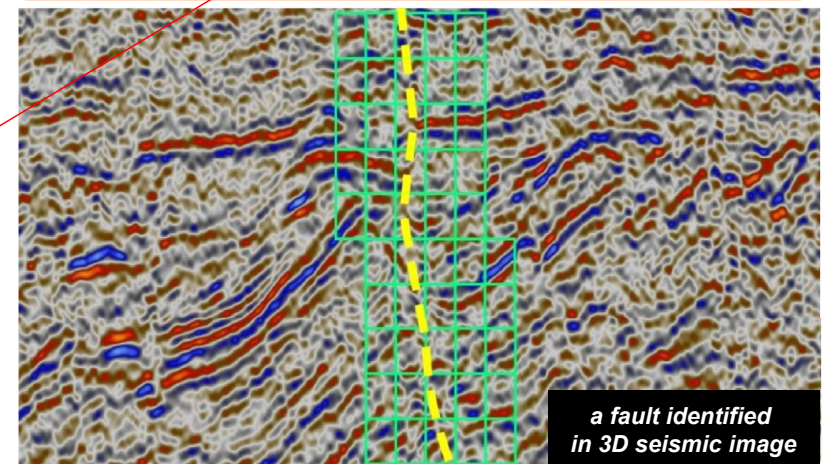


DAS (音響計測)	CO ₂ プルームの広がり把握 (DAS/VSP)
DSS (ひずみ計測)	坑井健全性、貯留層/遮蔽層安定性監視、CO ₂ 挙動監視
DTS (温度計測)	坑井周辺のCO ₂ 挙動監視 (坑井健全性)

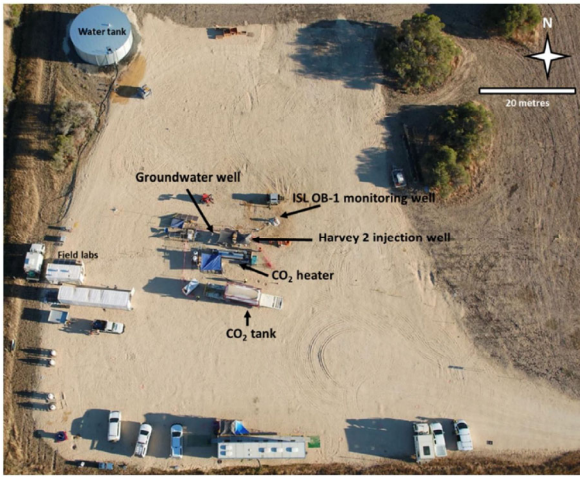
Fault Integrity Monitoring (reactivation, leakage) with Fiber Optic Sensing



Installing fiber optic cables behind casing of monitoring wells for Distributed **Strain**, **Temperature** and **Acoustic** sensing



a fault identified in 3D seismic image

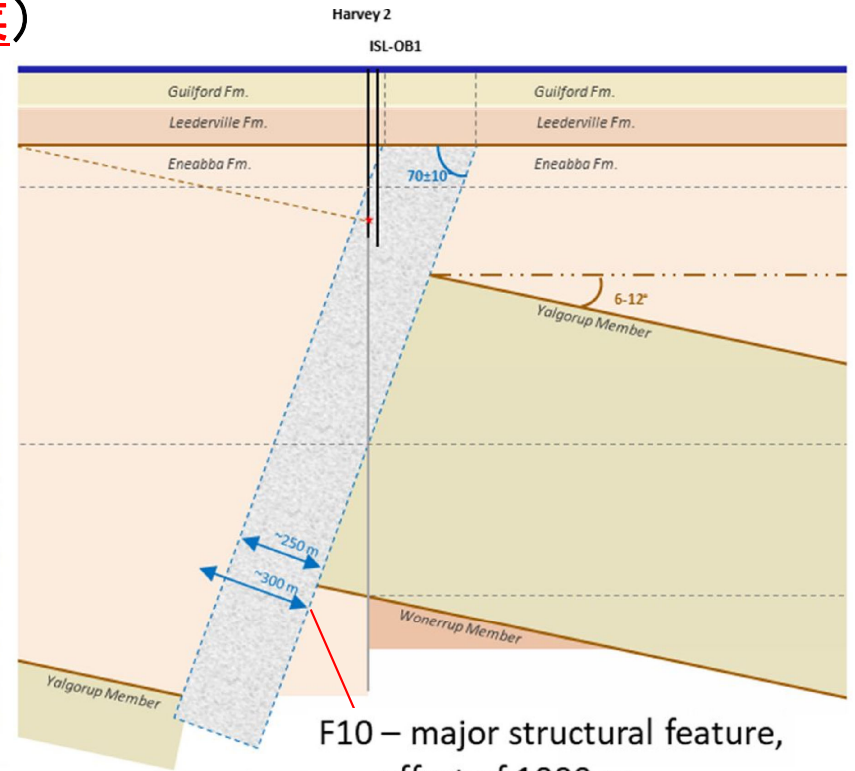
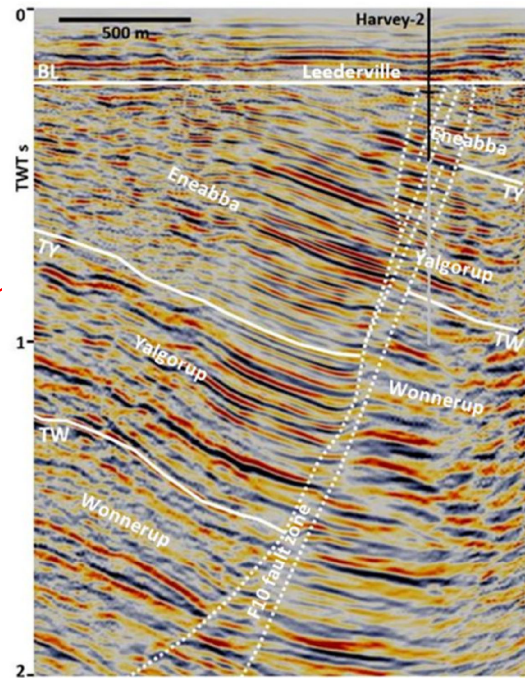
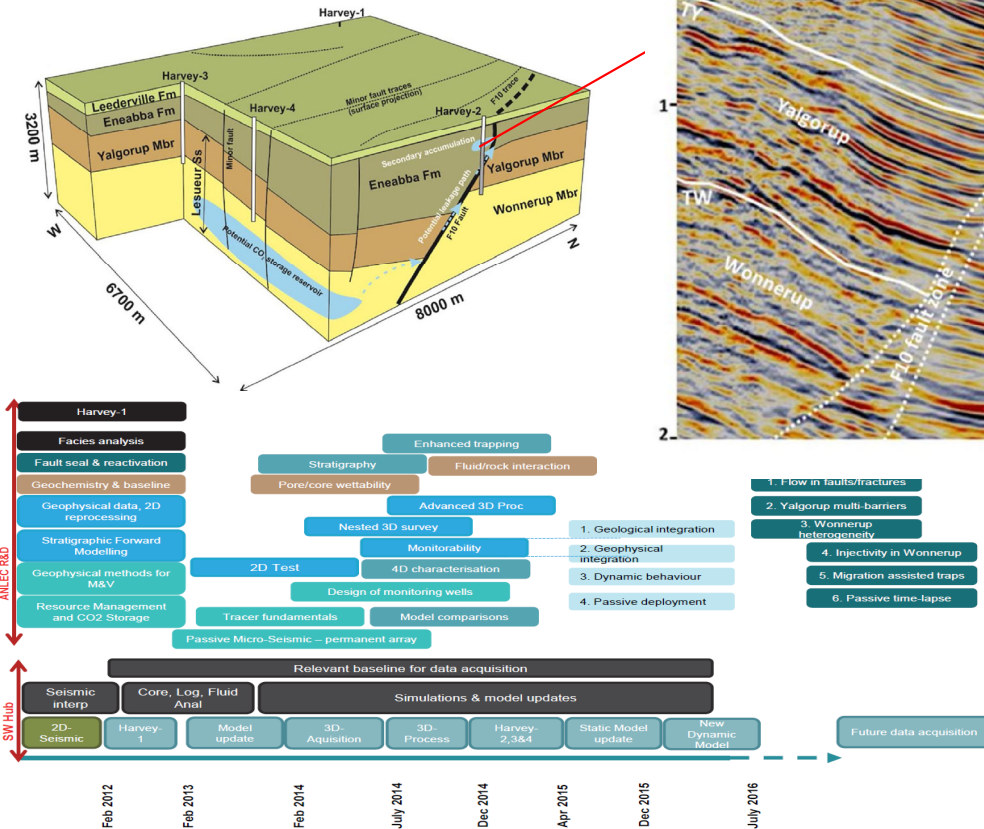


Collaborations: RITE-CSIRO

Fiber Optic Sensing for Fault Zone Mapping and Stability Monitoring

(日豪CCUS協力事業)

In Situ Lab / SW-Hub: South Perth



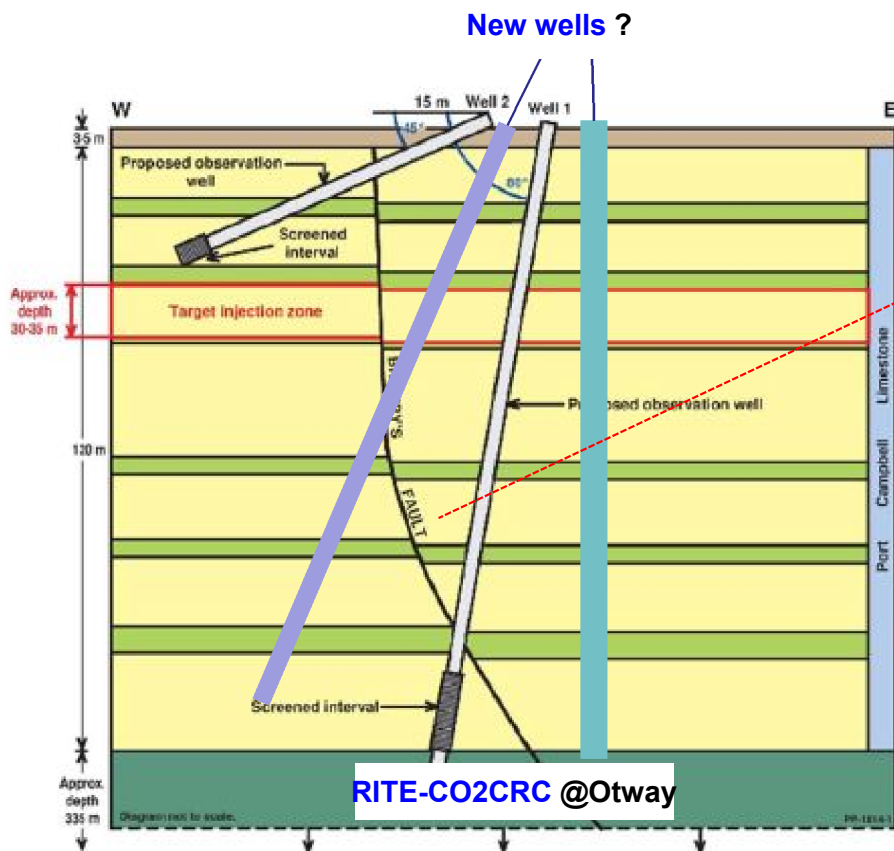
F10 – major structural feature,
 - offset of 1000 m
 - fault zone 250 m wide

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

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

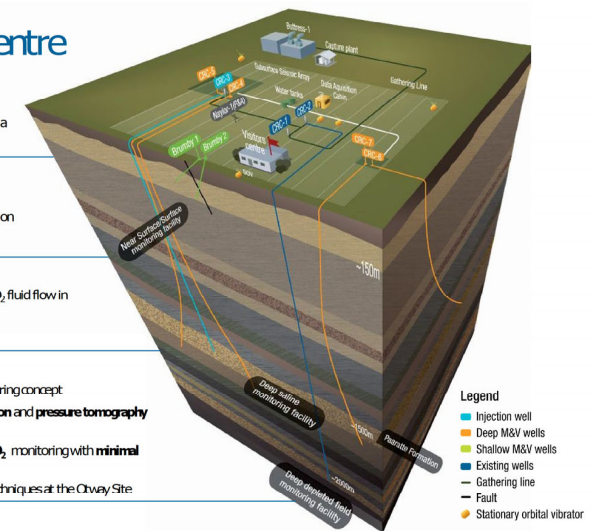
- ✓ Demonstrate safe injection of CO₂ into a saline formation
- ✓ Stage 2B – Near well residual & solution trapping characterisation
- ✓ Stage 2C – Minimum detection, 4D M&V & Plume stabilisation

Otway Stage 3: 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: 2015–2022

- ✓ 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



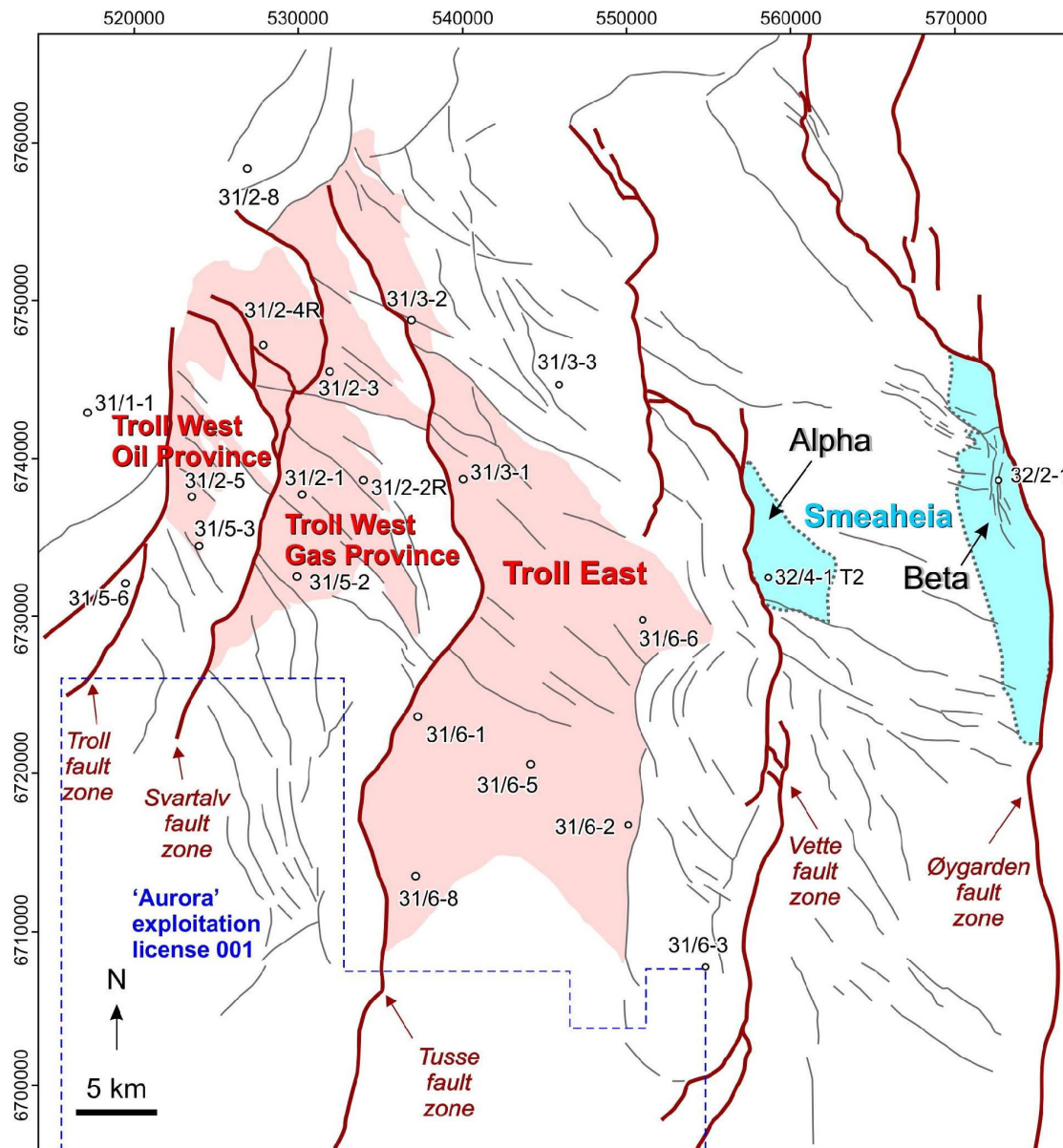
CO₂CRC
Building a low emissions future

Commercial in confidence

8

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

Quantifying storage risks @Northern-Lights Project



TOTAL

- Fault mapping from seismic
- Fault Seal and fault permeability
- Pressure communication
- 3D geological modelling
- Geomechanics and strain
- Micro-seismic monitoring
- Flow simulation

Long Wu et al (2019), EAGE Fault & Top Seal Conference

Iterative Process towards Deployment

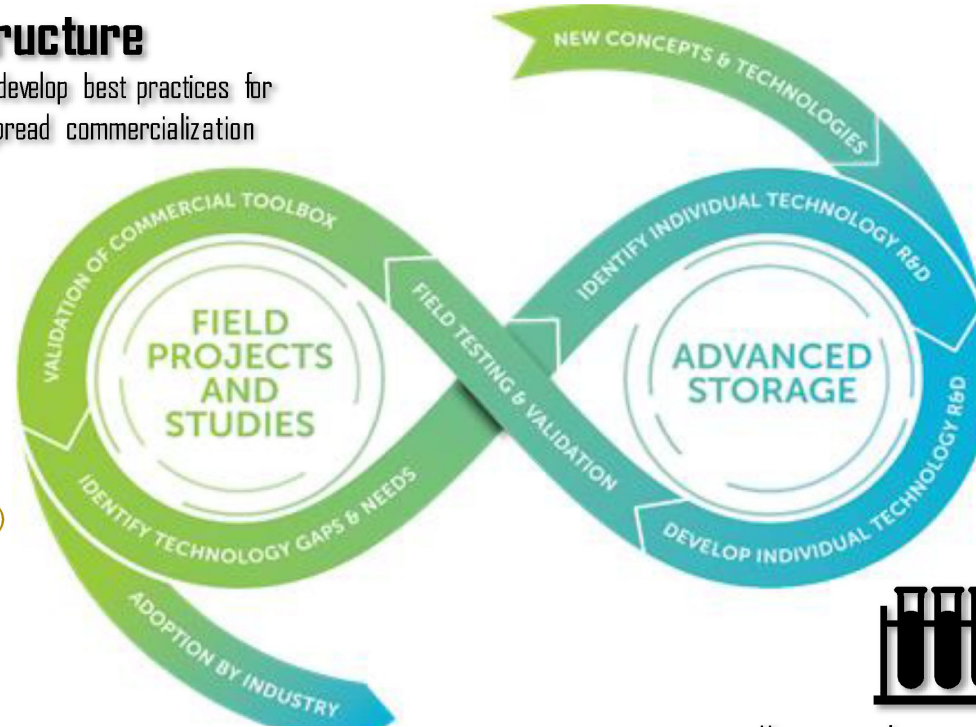


Storage Infrastructure

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

Storage Infrastructure Focus

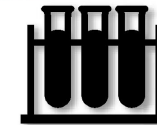
- CarbonSAFE
- Regional Initiatives
- Offshore Storage
- Brine Extraction Strategy Test (BEST)
- Associated Storage (CO₂ EOR)



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)

Site characterization

- Map reservoir & seal heterogeneities and deep faults

Regional resource estimates

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

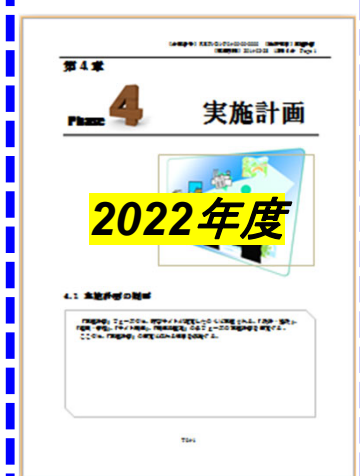
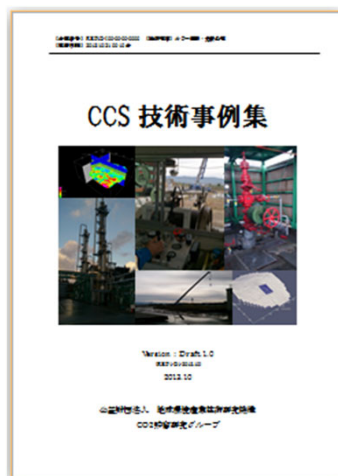
Transformational sensing

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

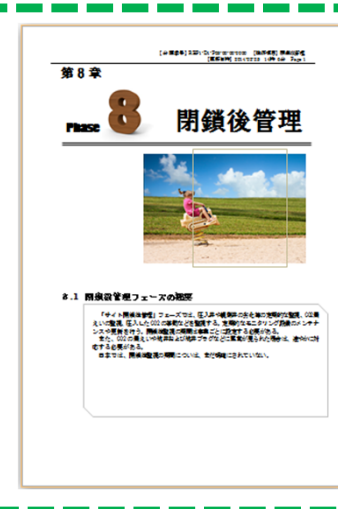
AOI 1: Fault Detection, Characterization, and Hazard Assessment

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

CO₂地中貯留技術事例集の作成・英訳・公開



長岡・苫小牧・海外の事例に基づき、2023年度末までに完成・逐次公開・英訳



付録

- ・CCS技術事例のデータ
- ・CCSとは
- ・長岡実証試験事例
- ・用語集/略語集
- ・CCS技術の解説
- ・参考資料
- ・引用文献
- ・CCS事例データベース
- ・DB掲載資料の概要シート



CO₂ 地中貯留技術事例集

Phase 01

基本計画



Practical Guidance for
Geological CO₂ Storage

Phase 01

Overview of
Geological CO₂ Storage

謝 辞

この講演は、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)の委託業務より得られた成果に基づくものです。

This presentation is based on results obtained from a project (JPNP18006) commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) and the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japan.