

革新的環境技術シンポジウム

CO₂地中貯留技術の実用化に向けての課題と RITEの取組み

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
CO₂貯留研究グループ

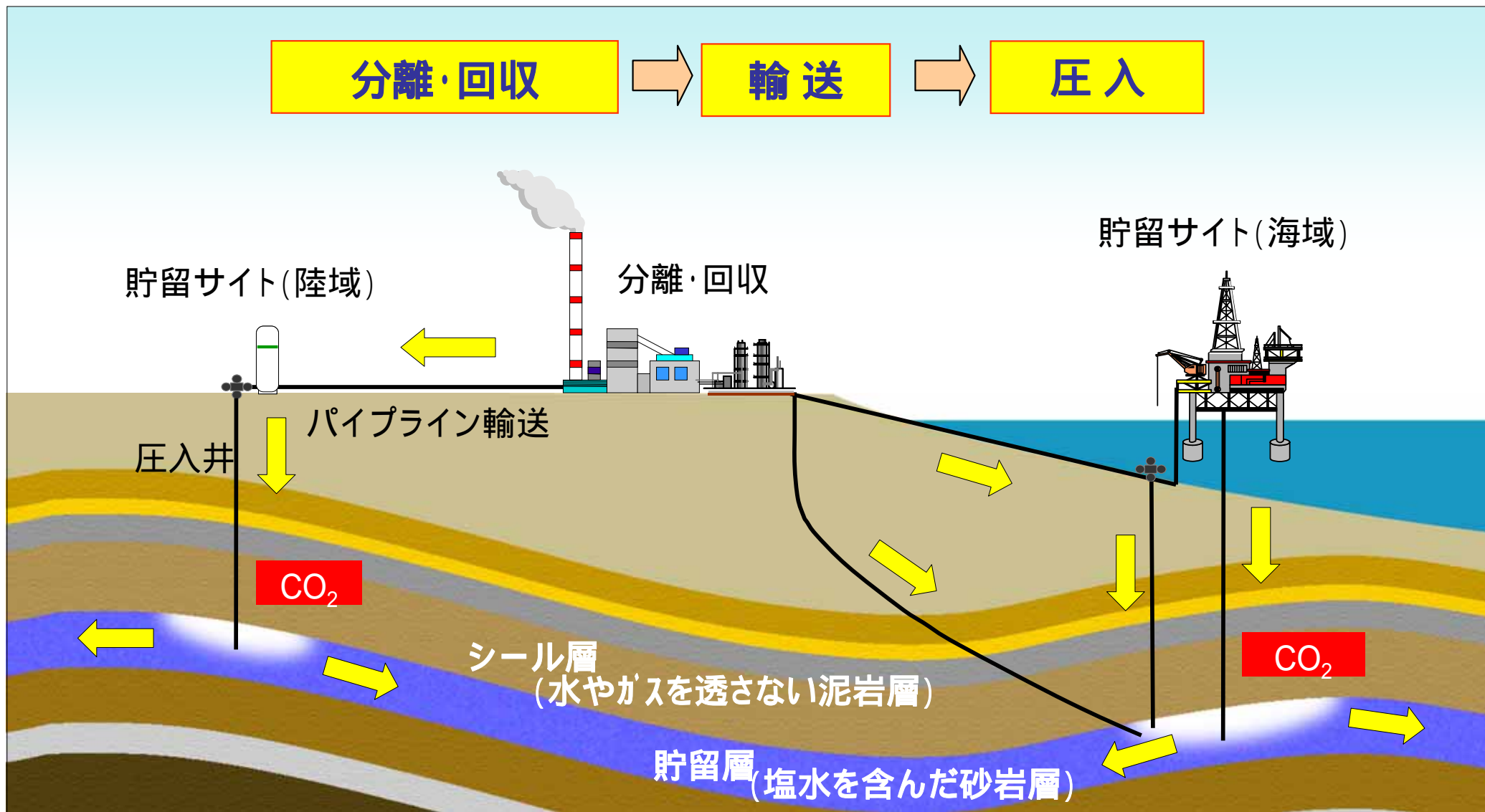
村井 重夫



目次

- 1 . はじめに
- 2 . CCS実用化の課題と国内外動向
- 3 . RITEの取組み:CO2貯留隔離技術の開発
 - ・モデリング技術
 - ・モニタリング技術
 - ・シミュレーション技術
 - ・海域CO2影響評価手法
- 4 . まとめ

CO₂地中貯留のイメージ



RITE:長岡プロジェクト

日本CCS調査会社:大規模CCS実証試験

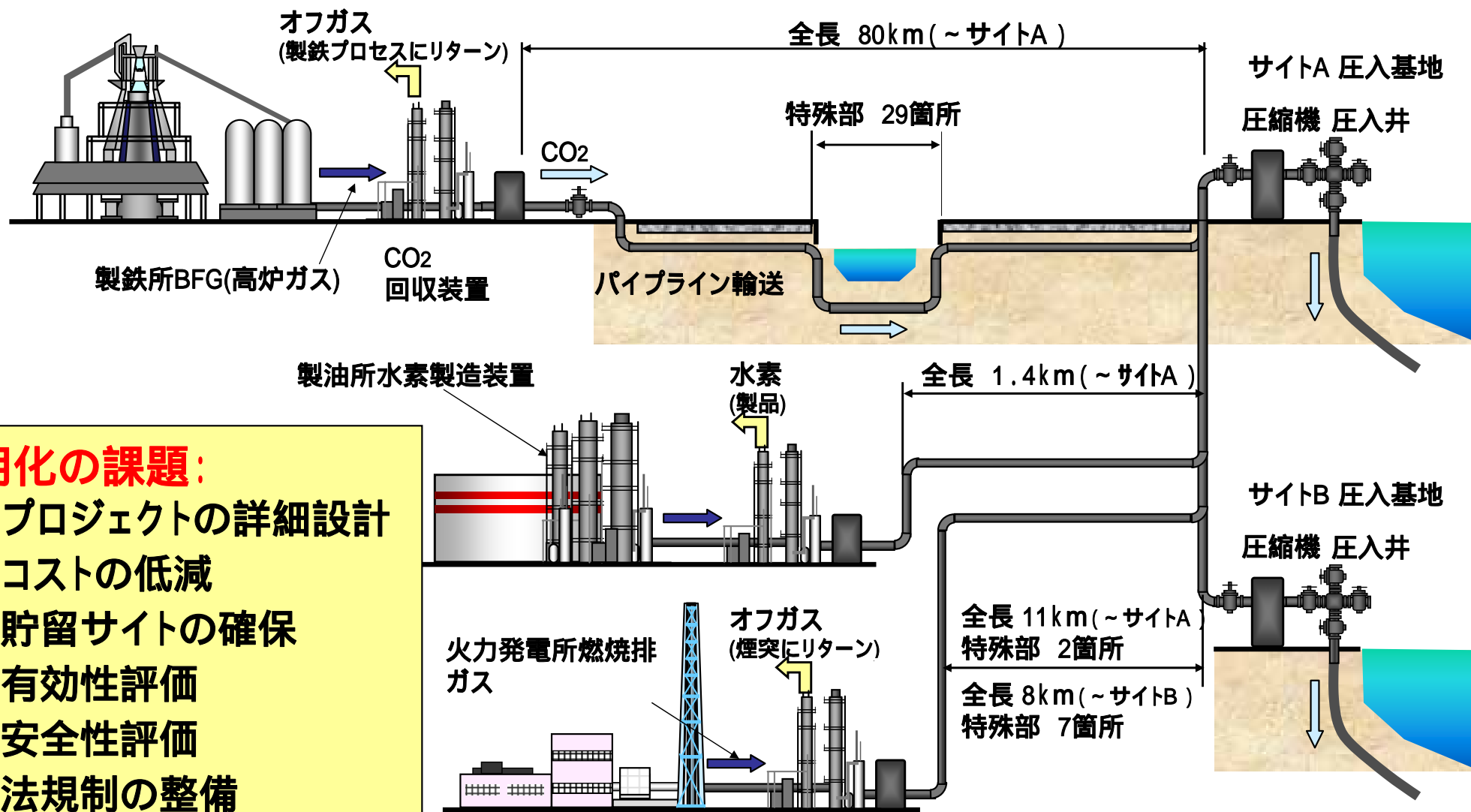
CCS実用化の課題

< CO2排出源 >

< 分離・回収 >

< 輸送 >

< 海底下地中貯留 >



実用化の課題:

- プロジェクトの詳細設計
- コストの低減
- 貯留サイトの確保
- 有効性評価
- 安全性評価
- 法規制の整備
- 社会的合意の確保

< サイト別の対策が必要 >

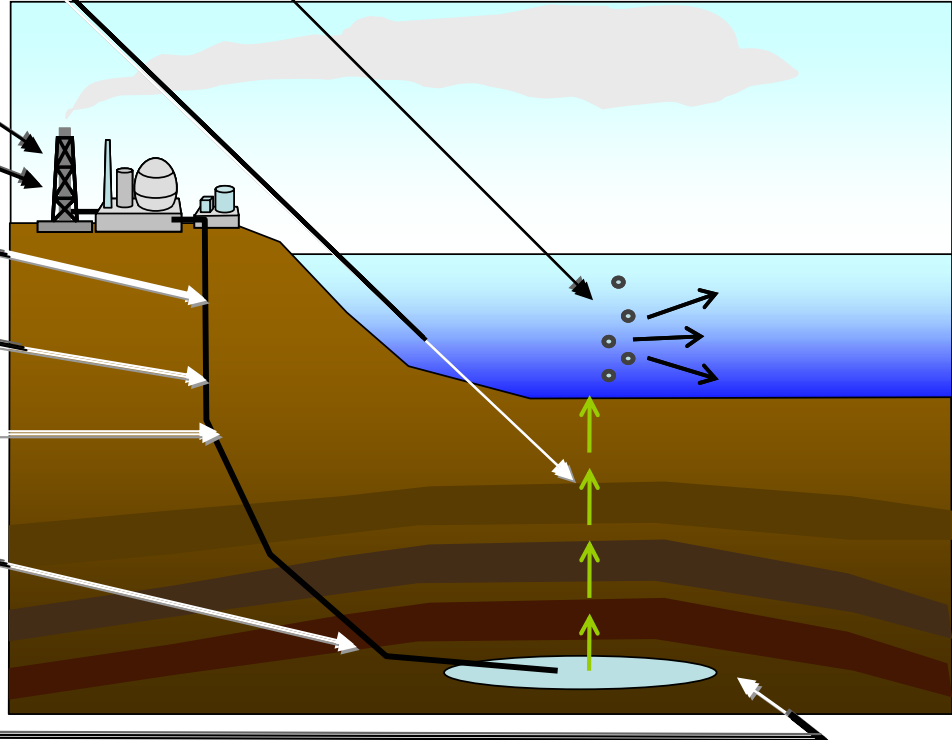
想定モデル地点のイメージ図

CCS実証事業の安全・環境に関わる基準(案)

公表資料:「CCS実証事業の安全な実施にあたって」

趣旨: CCSの大規模実証事業を実施する際に安全面・環境面から
遵守することが望ましい基準を示したもの

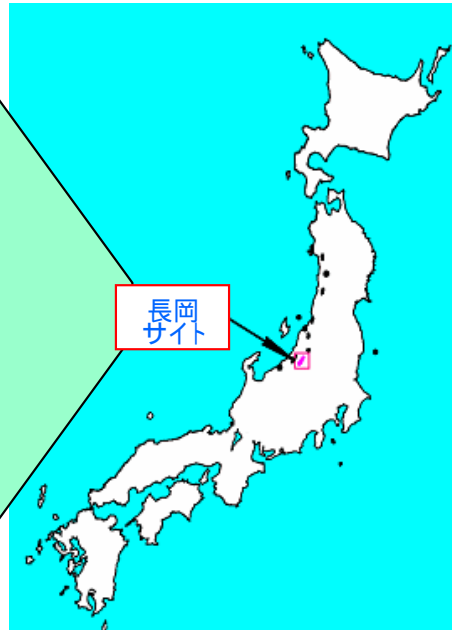
< H21年8月7日経済産業省公表 >

- (1) CCS関連施設設置にかかる安全確保
(鉱山法案法遵守ほか)
 - (2) CO2輸送にかかる安全確保
(高压ガス保安法遵守ほか)
 - (3) 圧入するCO2の濃度基準
(海底下貯留は海防法の遵守、濃度基準の検討要)
 - (4) CO2圧入・運用時の安全確保
(CO2圧入・運転計画の策定、運用条件の最適化)
 - (5) 坑井の掘削・閉鎖にあたっての安全確保
(鉱山保安法の準用、閉鎖記録の保存)
 - (6) CO2貯留に際して地質面から検討すべき事項
(モデルの構築、事前確認事項ほか)
 - (7) モニタリング
(圧入開始前までのシミュレーション、開始後のヒストリーマッチング等)
 - (8) 異常が発生した場合に採るべき措置
(異常事態の検知基準設定、対応措置等)
 - (9) 周辺環境への影響評価
(CO2漏洩シナリオ、リスクの時間変化ほか)
- 

➡ **安全性評価技術の開発:** 地質構造モデル、CO2 モニタリング、
長期挙動予測技術、CO2 移行シミュレーション、環境影響評価

長岡プロジェクト(CO₂地中貯留実証試験)

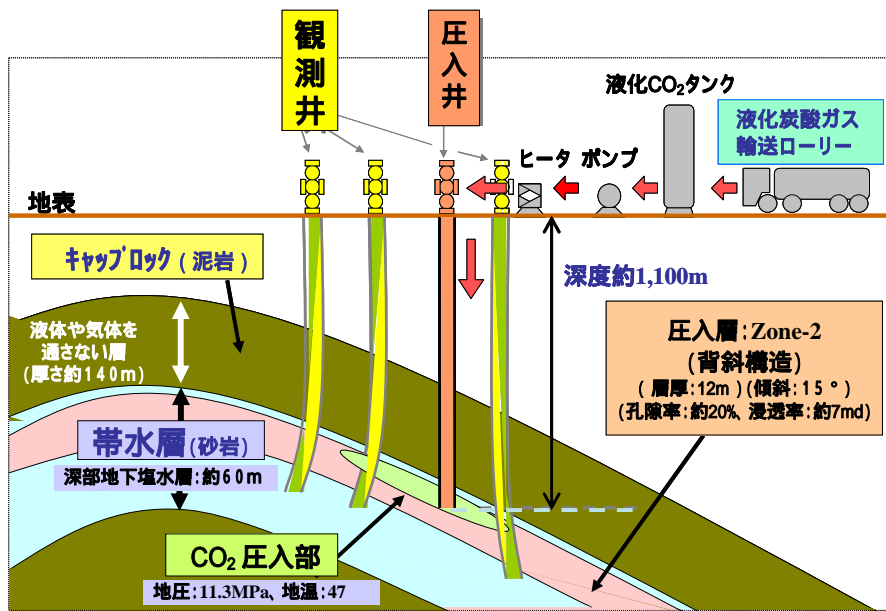
〔試験サイト〕



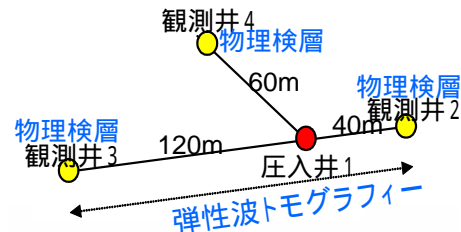
〔プロジェクト概要〕

実施主体	(財)地球環境産業技術研究機構
プロジェクト期間	2000年FY～2007年FY
CO ₂ 圧入期間	2003/7～2005/1
CO ₂ 圧入量	約10,400t-CO ₂
CO ₂ 圧入レート	20～40t-CO ₂ /日
CO ₂ 調達	市販品購入
モニタリング	物理検層、弾性波トモグラフィー、 微動観測、地層水サンプリング他
その他	2004/10/23に発生した新潟県中越 地震(震度6)による影響なし

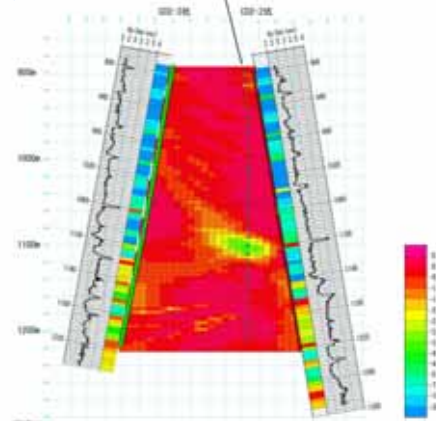
〔圧入実証試験の概略〕



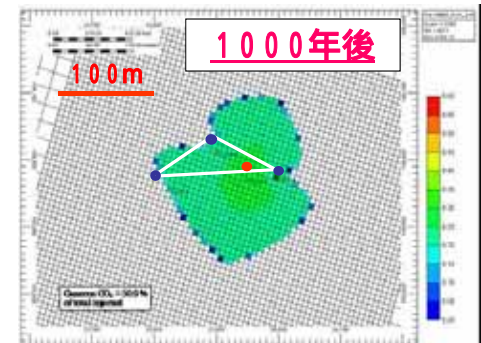
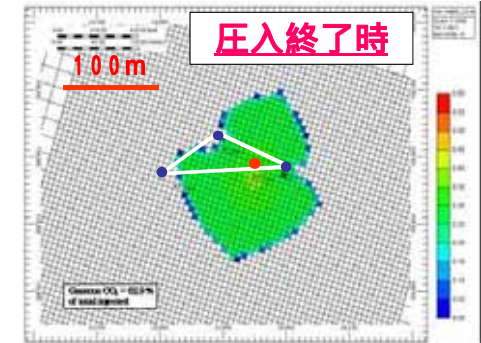
〔坑井配置とモニタリング〕



〔弾性波トモグラフィー:CO₂分布〕



〔CO₂挙動の予測シミュレーション〕



日本CCS調査(株)の大規模実証試験

会社設立：2008年5月26日、民間企業38社

出資企業：電力会社:11, 石油会社:6, エンジニアリング会社:5, 製鐵会社:5,
ガス会社:2, 石油開発会社:3, 化学会社:1, セメント会社:1, 商社:4

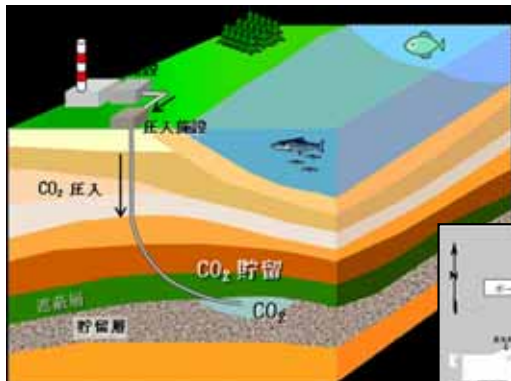
現行事業：実証試験のための調査と準備

(1) CO₂排出源から地中貯留までのトータルシステムのFS調査

(2) 実証試験に適した帯水層の評価技術開発

将来計画：大規模CCS実証試験(10万トン/年規模)

連携機関：RITE、産総研、JOGMEC



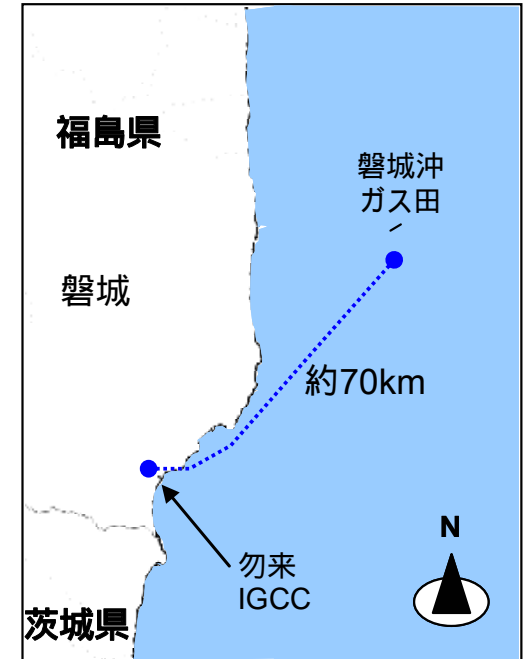
沿岸域貯留のイメージ



響灘(北九州市) ボーリング調査



苫小牧市(北海道)
3D地震探査
調査井掘削



磐城沖(福島県).
海底パイプラインの
海底調査

米国AEP社:石炭火力発電所のCO2地中貯留



米国連邦政府、
West Virginia 州政府
AEP(American Electric Company)社
Alstom社、発表(2009.10.30.)

場所: Mountaineer Plant
(New Haven, West Virginia)

CO2回収: 2009.9.1.

・チルドアンモニア法

地中貯留: 2009.10.2.

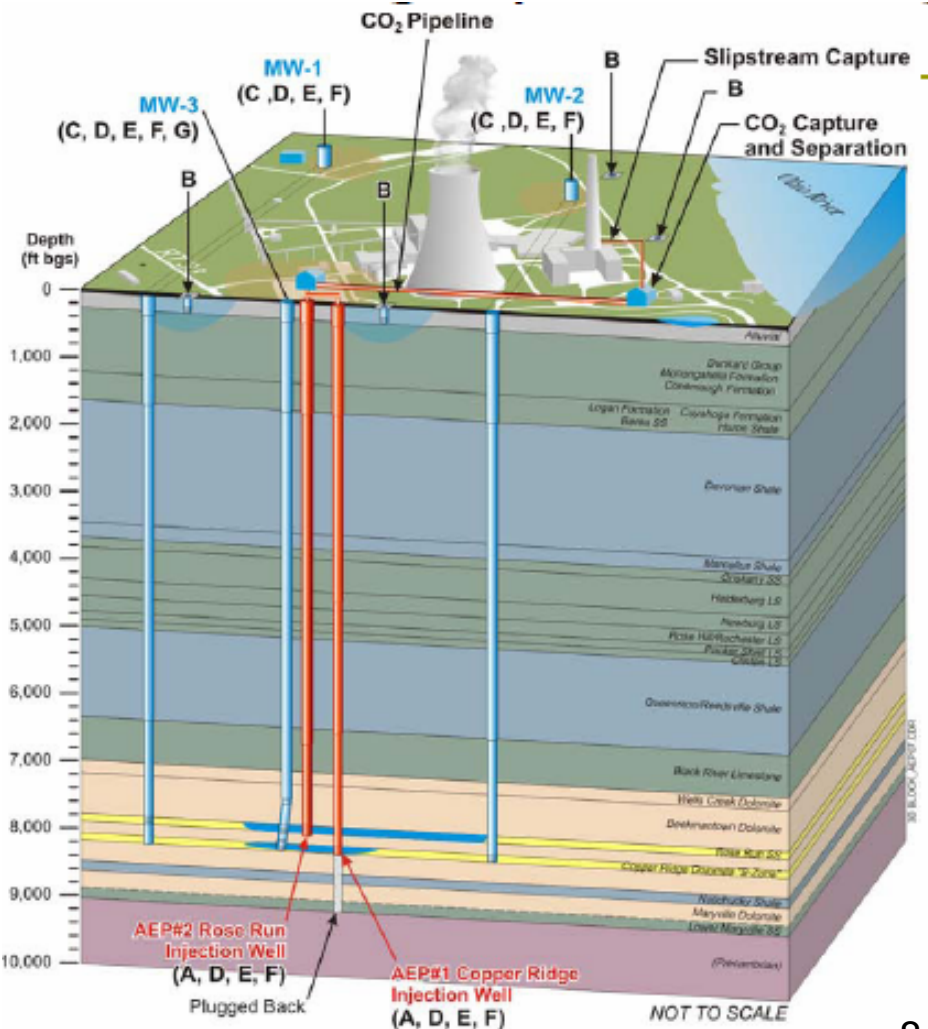
・# 1: Copper Ridge Dolomite (8,100ft)

・# 2: Rose Run(7,900ft)

本格操業: 2009.10.30.

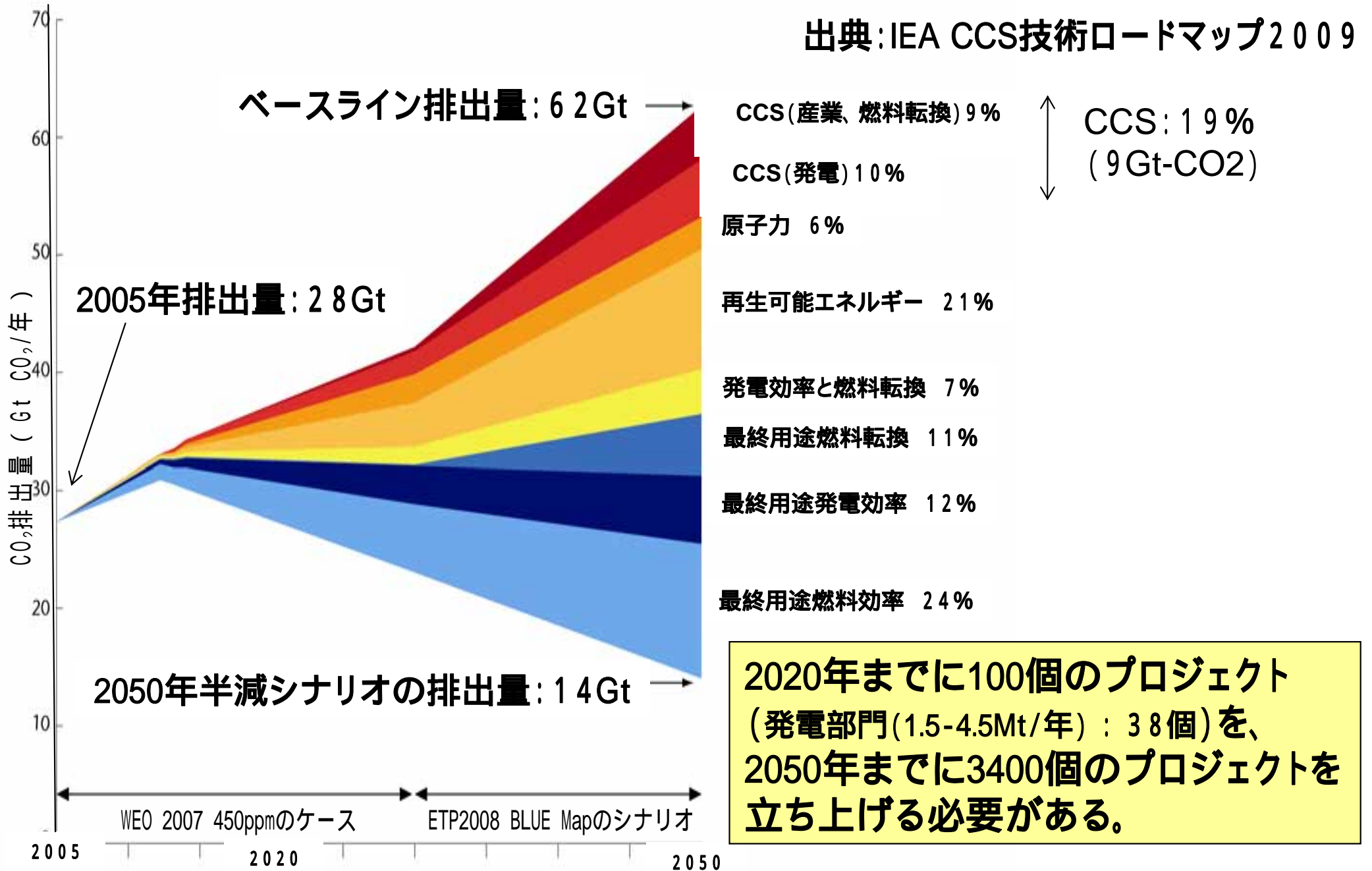
CO2貯留量: 10万トン/年(発電量: 20MWe)
(2012年): 150万トン/年(発電量: 235MWe)

出典<http://www.aep.com/environmental/climatechange/carboncapture/>



CCSの世界的展開

出典: IEA CCS技術ロードマップ2009



GHGT-10: 会議概要

会議名: 10th International Conference on Greenhouse Gas Control Technology
(第10回 温室効果ガス制御技術国際会議)

今回のテーマ: “From Research to Reality” (研究から実証へ)

開催日時: 2010年9月19日～23日、開催場所: アムステルダム(蘭) 国際会議場

主催: IEA-GHG、Ecofys、ECN、TNO、ユトレヒト大学

参加者数: 55カ国、1,600名

発表件数: テクニカルセッション; 273件、ポスターセッション; 697件

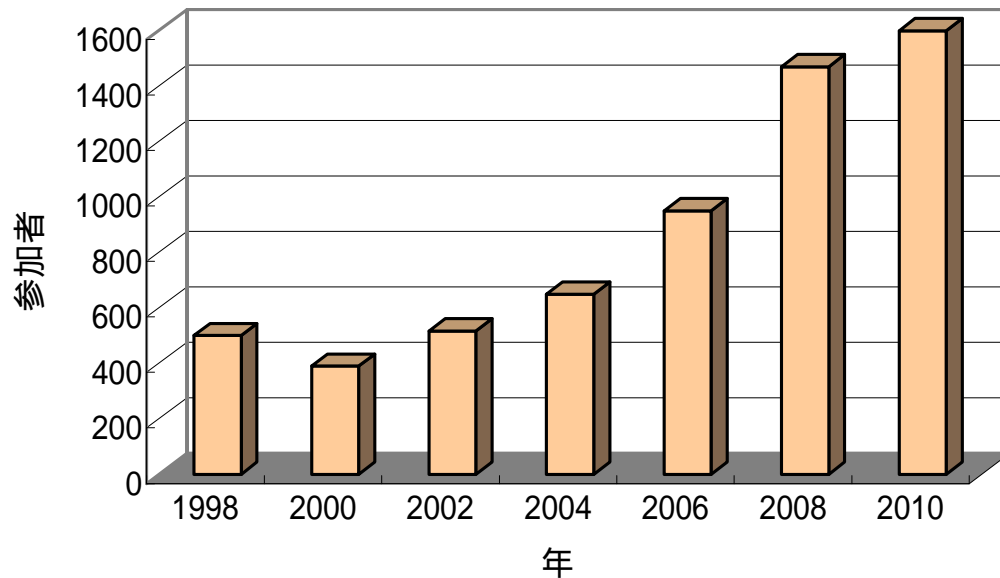


図1 参加者数の推移

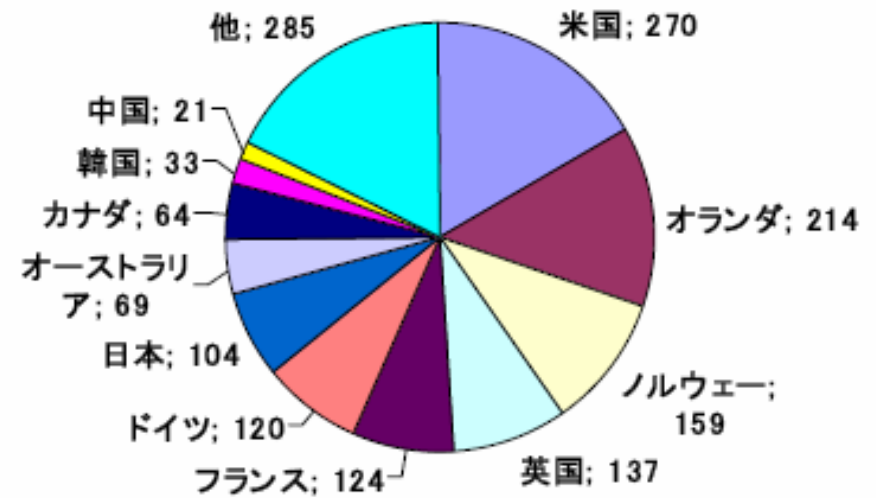


図2 国別の参加者⁽¹⁾

次回: GHGT-11 (2012年11月18～22日、京都国際会議場)

テクニカルセッション(273件)

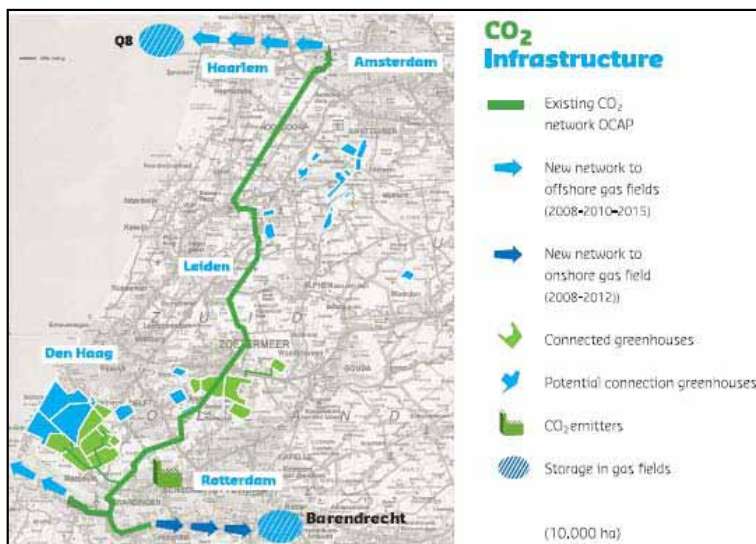
	セッション数	発表数	備考
CO2回収	19	77	燃焼後回収、プラント技術
CCS実証	4	16	実証プロジェクト
社会的認識	3	13	コミュニケーション
R&D及び中国	4	16	中国でのCCS
CO2貯留	21	85	フィールドスタディ
統合	6	24	CO2輸送
CO2利用	2	7	ECBM、EOR
パネルディスカッション	6	6	CCSの有効性、CCSの阻害要因、大規模実施の政策的アプローチ
法制度	2	8	規制枠組み
マイナス排出	2	8	バイオマスCCS
政策	3	13	シナリオ
(計)	72	273	

ポスターセッション(697件)

CO2回収(255)、CO2地中貯留(284)、CCSシステム・LCA・社会的認識ほか(158)

CCSの動向 (基調講演より)

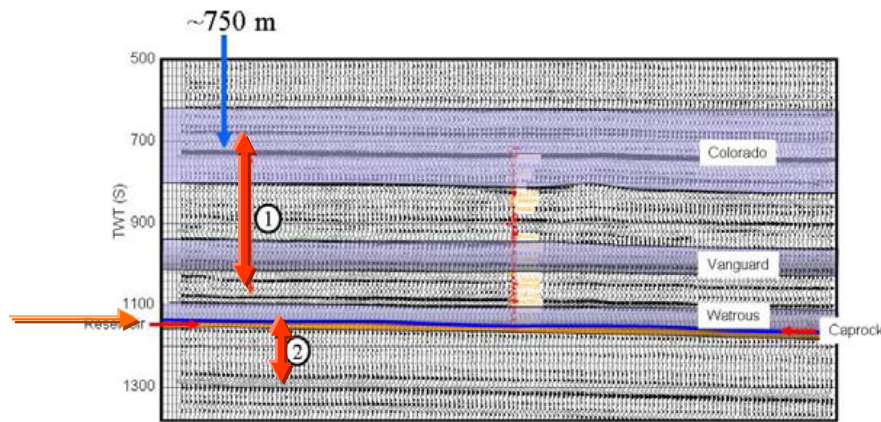
- 1) Daniel Jansen (ECN): 18年前から技術課題は変わっていない。しかし、技術レベルは確実に上がっている。
- 2) Peter Ashworth (CSIRO): パブリックアクセプタンスがCCSの鍵。CCSの便益はグローバル、しかしリスクは非常にローカル。ローカルの便益を考える必要がある。
- 3) John Bradshaw (CO2 Geological Storage Solution): 貯留は地下情報の不確かさと常に向き合っている。不確かさとリスクの間に関係はない。
- 4) Howard Herzog (MIT): 実証から商業化へは経済性が問題。気候変動政策によりマーケットを創出。投資を活性化させる政策が必要。
- 5) Maarten de Hoog (Rotterdam Climate Initiative):



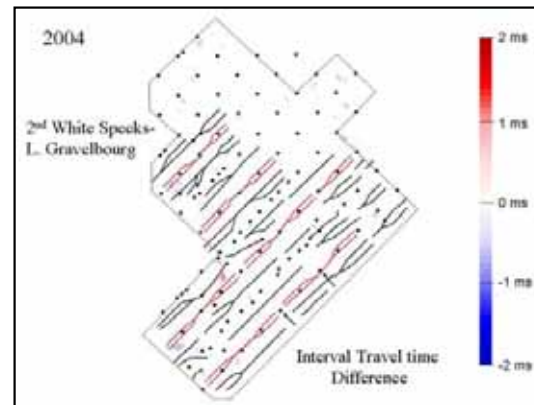
ロッテルダム気候イニシアティブ(ロッテルダム港湾・企業・市・環境保護庁)のCO2欧州ハブ計画。2025年までに1990年比25%削減。年間3,000万トン(効率向上:200万t、熱源低温化:200万t、バイオマス:500万t、CCS:2,000万t)。地中貯留は枯渇ガス田(BrendrechtとWintershall)。

CO₂地中貯留技術動向(フィールド研究発表より)

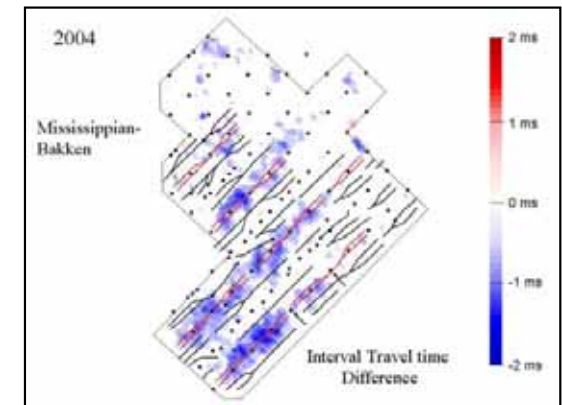
- 1) **Weyburn(カナダ)**: 地震波探査を4回実施。インピーダンスの変化(12%)は貯留層圧力とCO₂飽和度の複合効果であることが、室内実験によって判明。震探データの時間変化から、貯留層上位の地層中CO₂を見積もることが可能。



地層断面図(Aが貯留層)

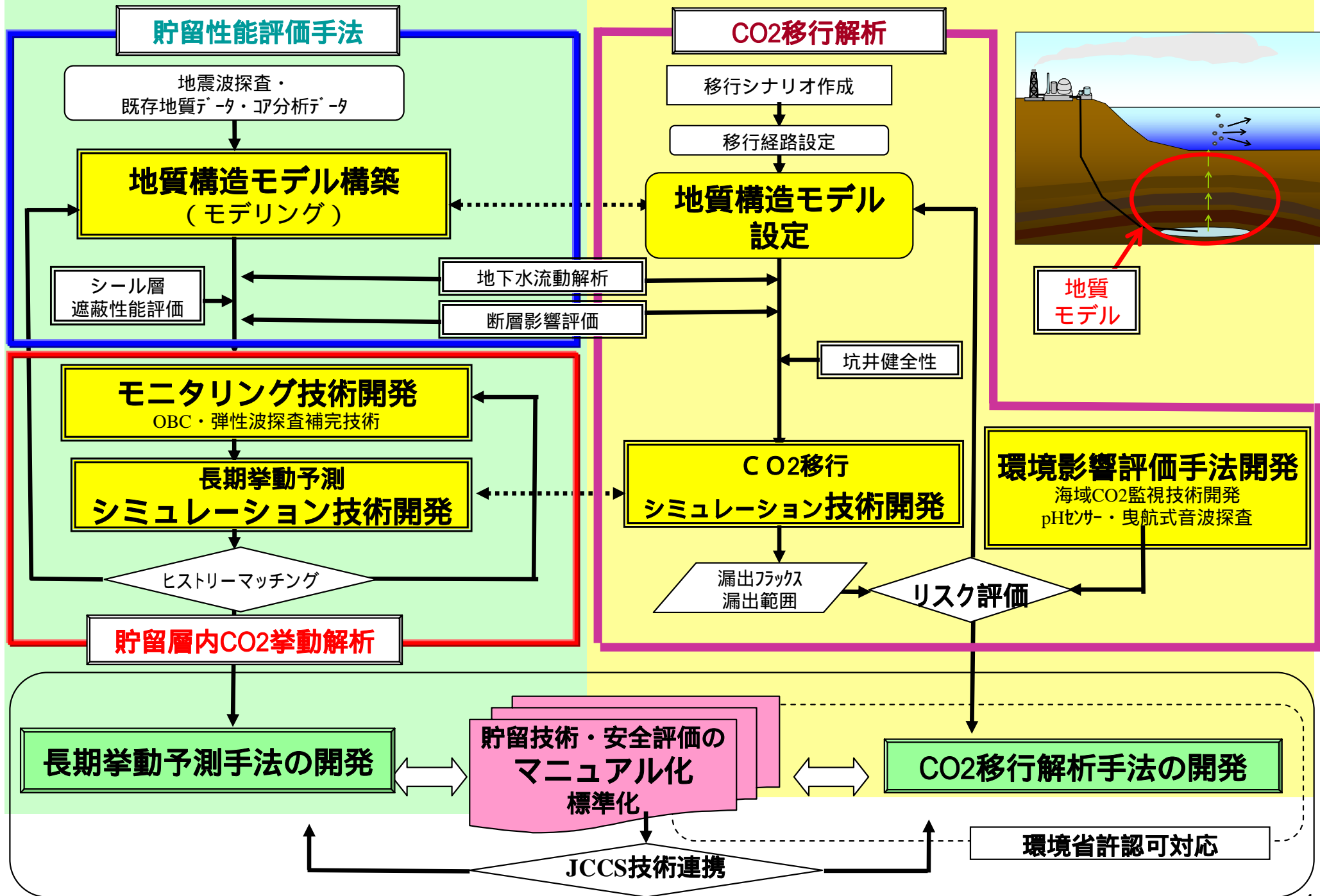


層と 層における伝達時間変化(2000-2004年)



- 2) **Otway(豪州)**: 地震波探査を2回実施。地震波探査の結果は、貯留層から上位層へのCO₂移行の検出に有効なことを数値計算によって確認したと報告。
- 3) **Ketzin(ドイツ)**: 地震波探査・VSP・電磁波トモグラフィ・坑井間弾性波を実施。電磁波トモグラフィではCO₂分布イメージが把握できた。
- 4) **In Salah(アルジェリア)**: InSAR(合成開口レーダ)で観測された地表隆起の解釈。
- 5) **Cranfield/SECARB(米国)**: 貯留層上部120m付近の地層圧力の増加を監視。

「二酸化炭素貯留隔離技術研究開発」事業の体系図



地質構造モデリング技術の開発(1)

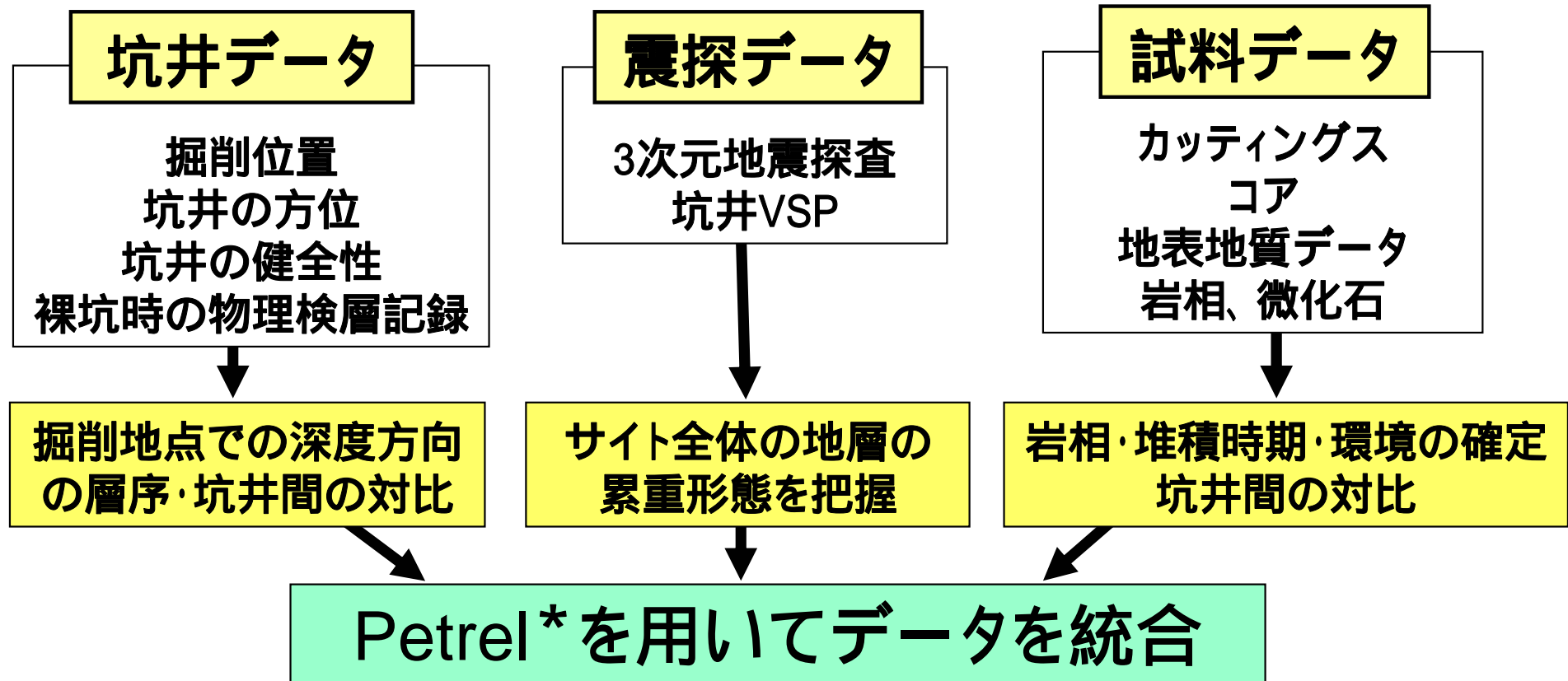
目的: 堆積地層全体の把握(堆積の過程とCO₂圧入後の変化を理解するため)

目標: (1) 長岡サイトにおける地質層序の全体把握

(2) CO₂貯留層(Zone 2)に特化した高解像度地質情報の抽出

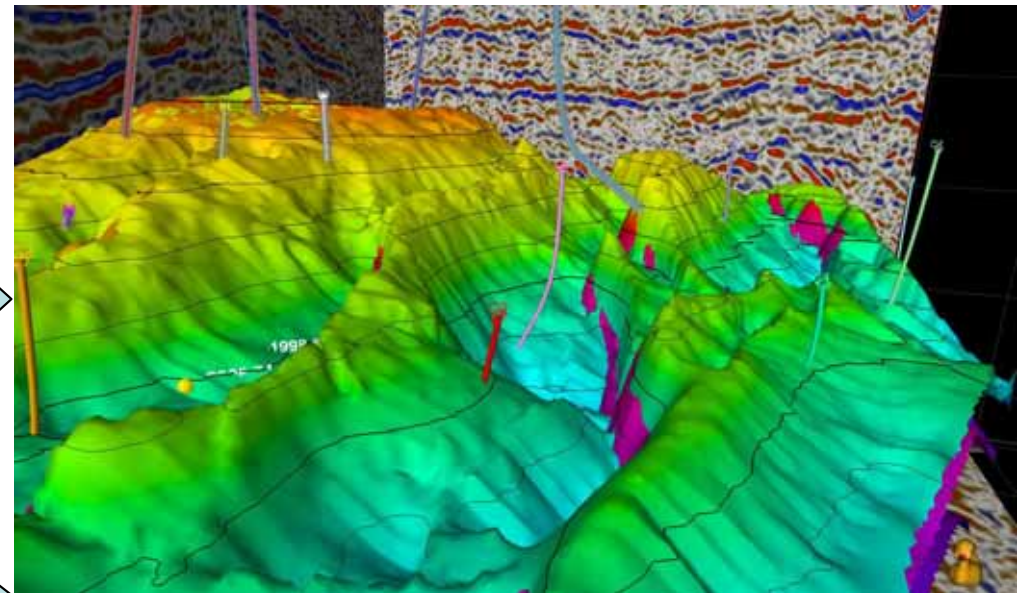
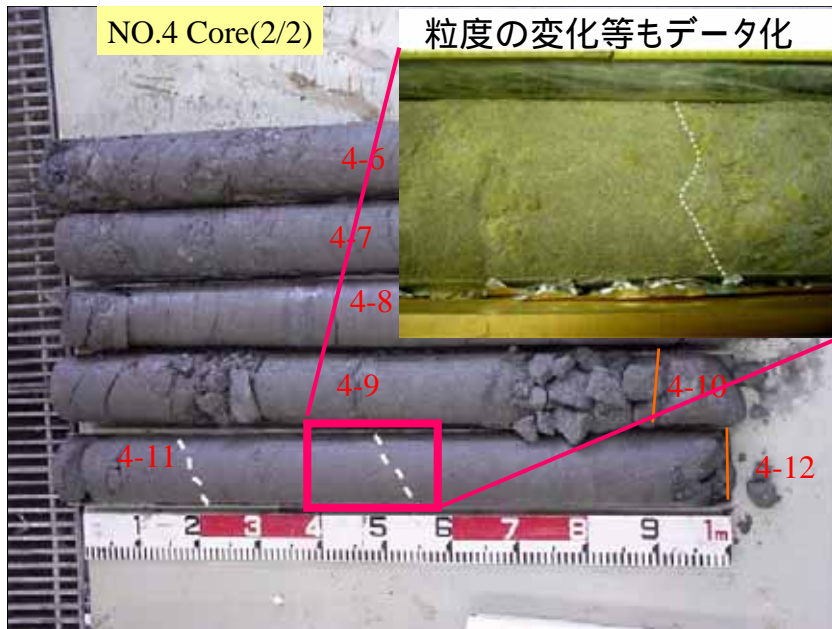
長岡地質モデルの現状: CO₂貯留層(Zone 2)の上位地層を含めた検討が不十分

地質構造モデリング技術構築の進め方:



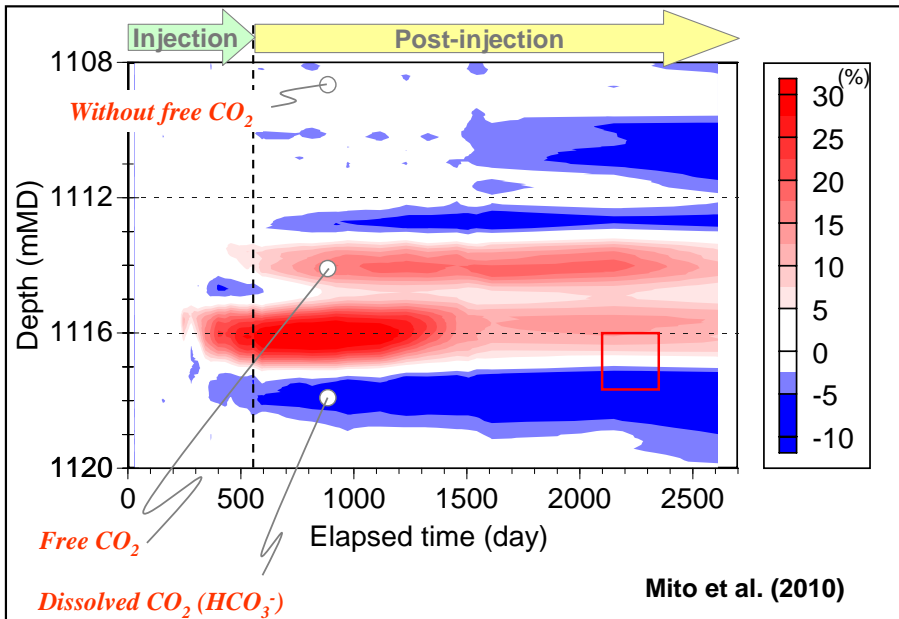
* Schlumberger 社の地質モデル構築ソフトウェア

地質構造モデリング技術の開発(2)



(例) Petrelによる地質構造データの統合
(長岡データは入力準備中、本図は練習用画面)

(例) コア試料の詳細データ等をPetrelへ入力



四次元地下情報統合解析への展開

- 1) 掘削・検層・震探・地質のデータを統合して可視化する。
- 2) 3次元地下空間分布の時間変化を扱えるようにする。
- 3) Petrelデータから格子モデルを作成し、GEM*¹やTough 2*²へ入力する。

* 1: GEM (CMG社の貯留層シミュレータ)
* 2: Tough 2 (LBNL開発の貯留層シミュレータ)

(例) 比抵抗変化の地質構造による解析への適用

常設OBCモニタリング技術の開発

目的: 沿岸域海底下CO₂地中貯留のモニタリング技術を開発する。

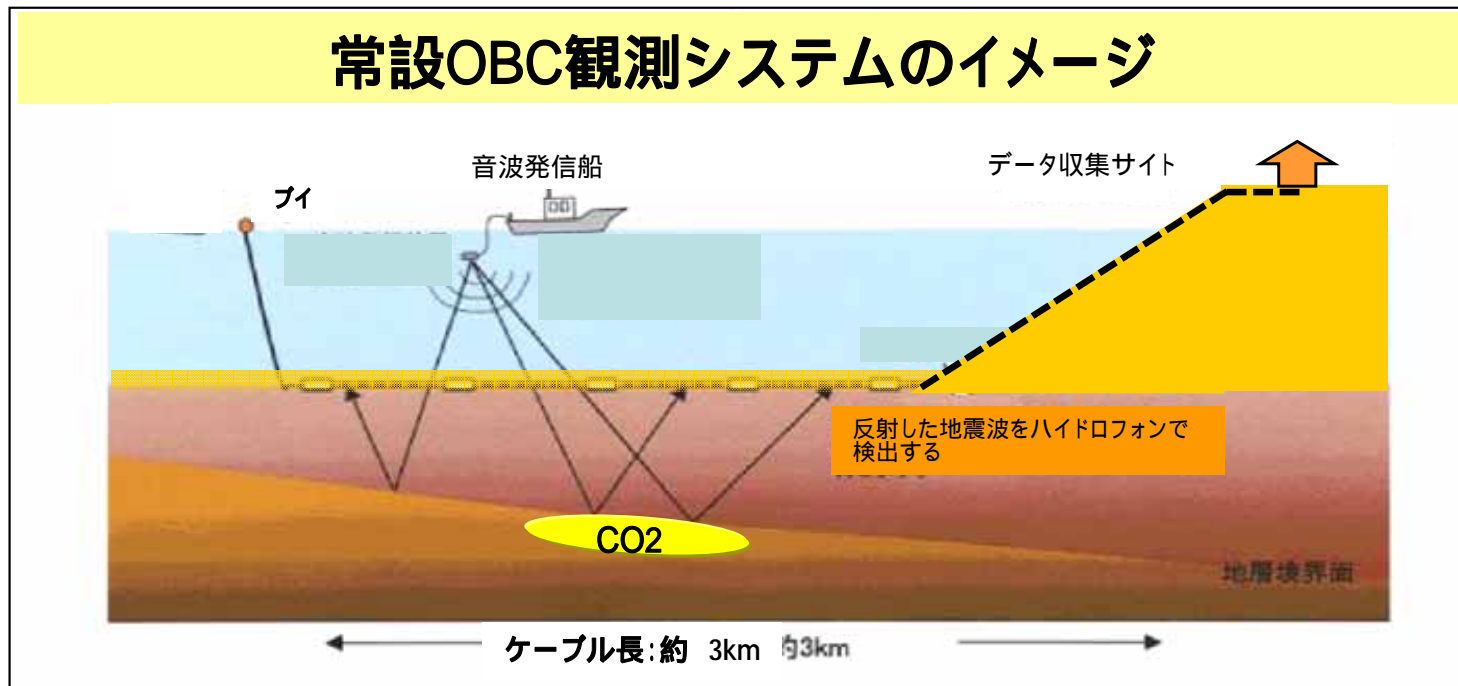
目標: (1) 常設型OBCケーブルを用いて、実海域での性能評価試験を実施する。

(2) 観測データの解析・有効利用技術を開発する。

(3) 常設OBCケーブルの計測レイアウト最適化技術を開発する。

海域地震探査技術の現状: ストリーマー方式と再設置型OBC方式が実用化

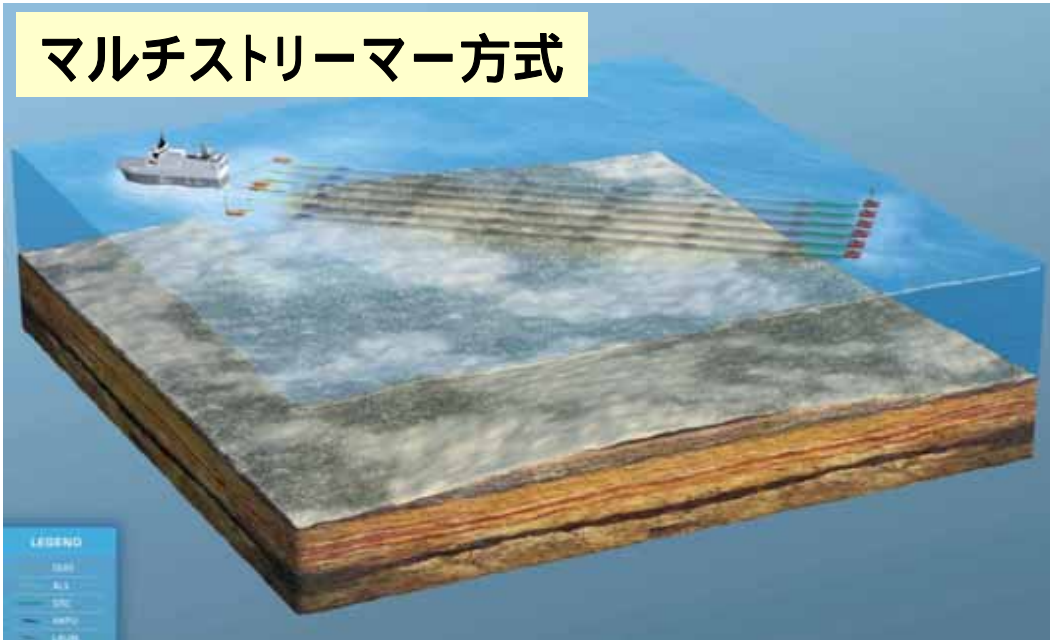
H22年度計画: (1) ケーブルの敷設、(2) 実海域観測(2ヶ月間、自然地震の観測、P-SV変換波観測)、(3) データ解析(実施中)



海底下CO2地中貯留モニタリング技術(現状)

海域における反射法地震探査による3次元地震波探査

マルチストリーマー方式



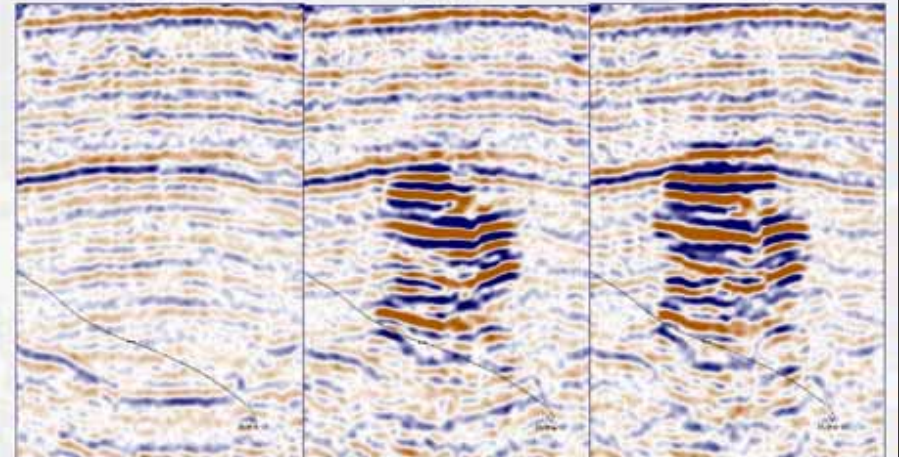
Sleipnerプロジェクトの観測結果

STATOIL

1996

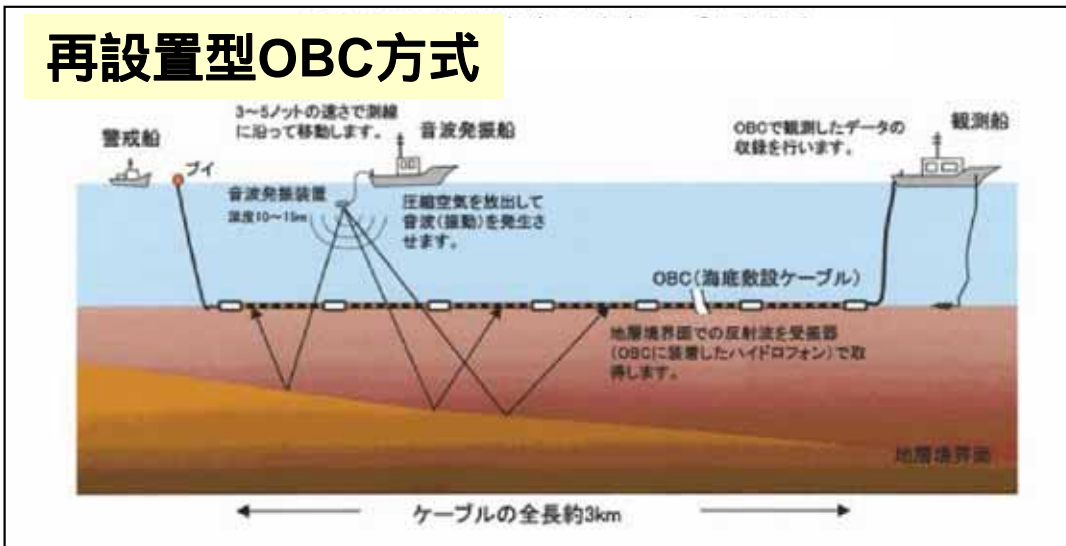
1999

2001



Source: SACS, Best Practise manual 2003

再設置型OBC方式



常設OBCのアドバンテージ

- 1) 受信機の位置ずれによる観測誤差が少ない。
- 2) 自然地震や微小振動の観測システムを兼ねる。
- 3) P-S変換波データの取得により、岩相や孔隙内流体の変化をとらえる。(室内実験と連携)

* OBC: Ocean Bottom Cable、海底ケーブル

先行事例: BP社Valhall油田(北海)の油層モニタリング

常設型OBCケーブル(アーマード式)



Hydrophone ,
Geophones (X,Y1,Y2) ,
Accelometers ,
Digitizers , Telemetry,
Power electronics

Sensor Module (OYO-Geospace社)



陸上部埋設作業



モジュール埋設状況

敷設直後

回収時(2ヶ月後)

Ch1



音響測位用
トランスポンダ
取り付け



Ch24



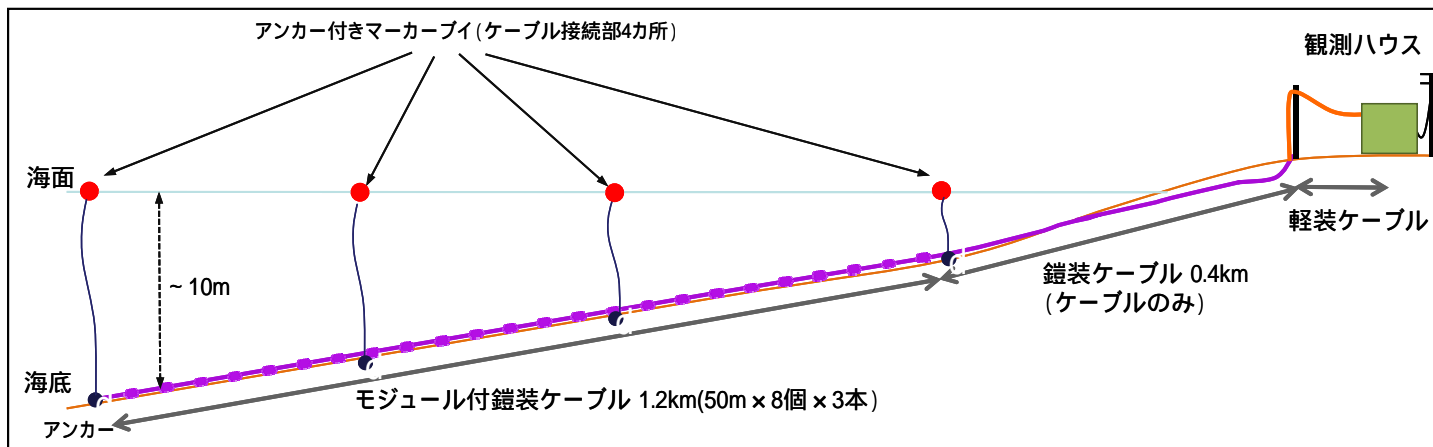
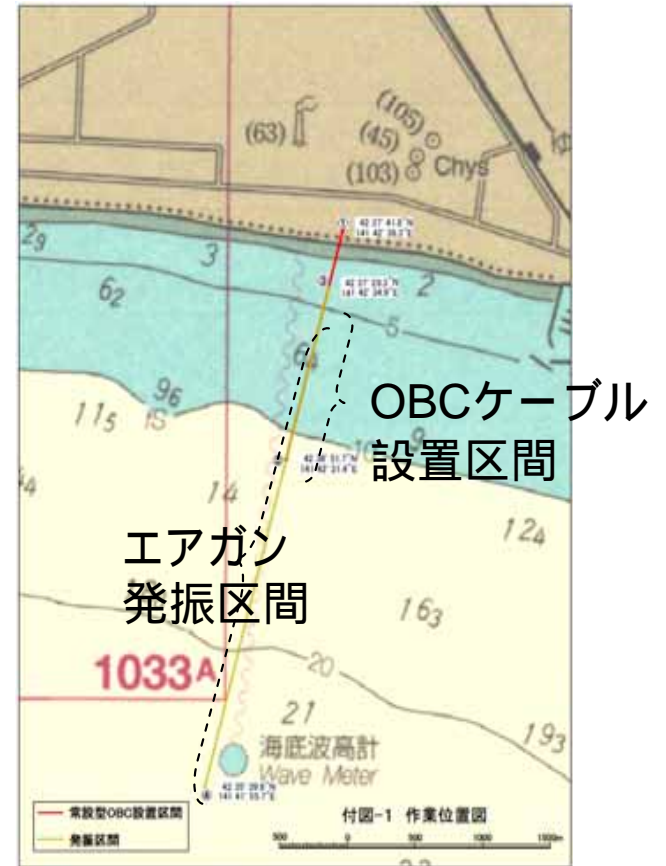
常設OBCケーブルの設置とエアガン発振位置



設置位置
(苫小牧沖)

エアガン発振位置
(25m間隔、128点)
(7 / 24、8 / 31)

ケーブル設置
(側面配置)



エアガン発振作業



発振船(兼測量船)「さんえい」



コンプレッサー

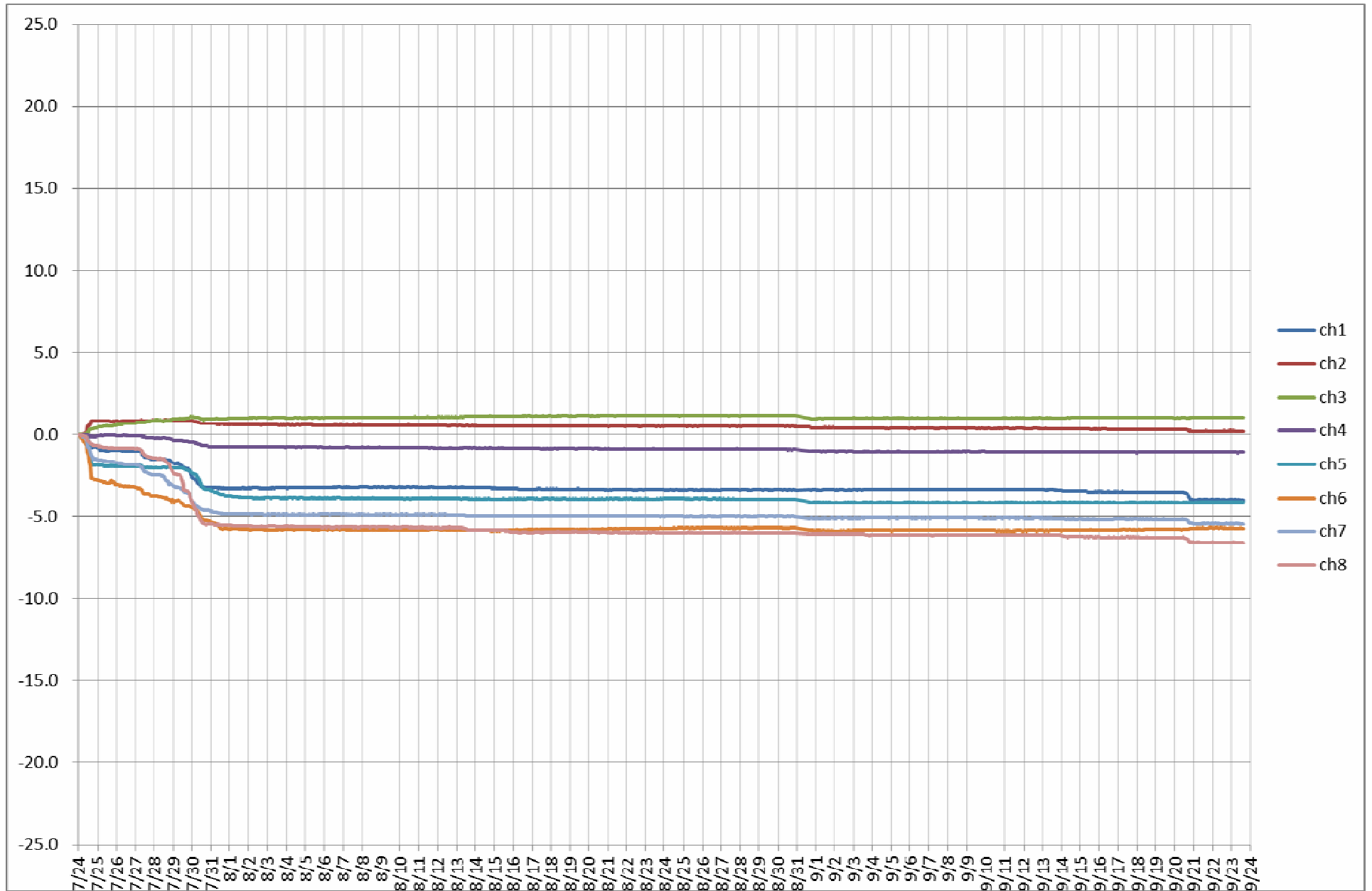


エアガン発射状況



エアガン(480 cu.in)

モジュール回転状況 ch1 ~ 8



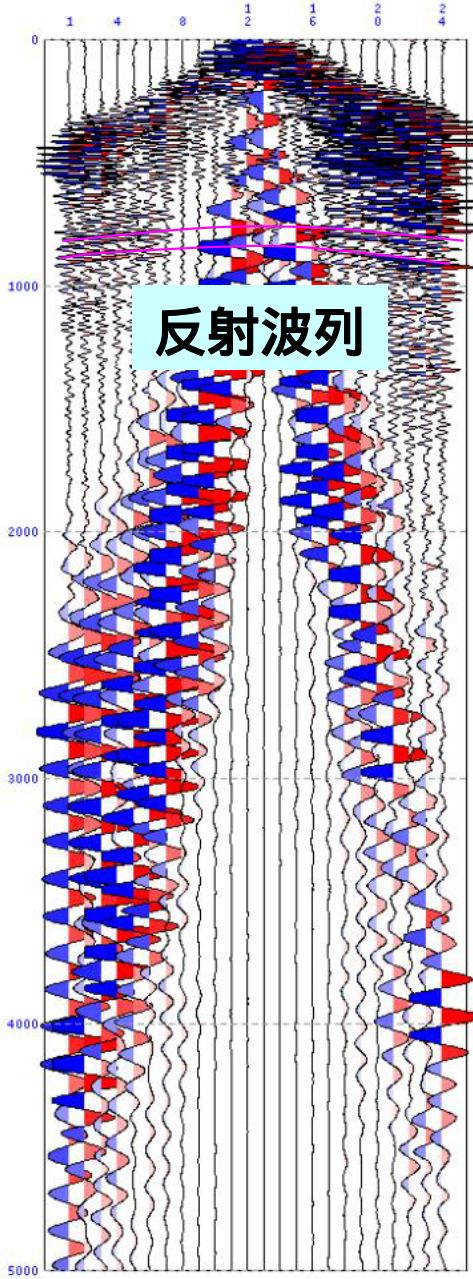
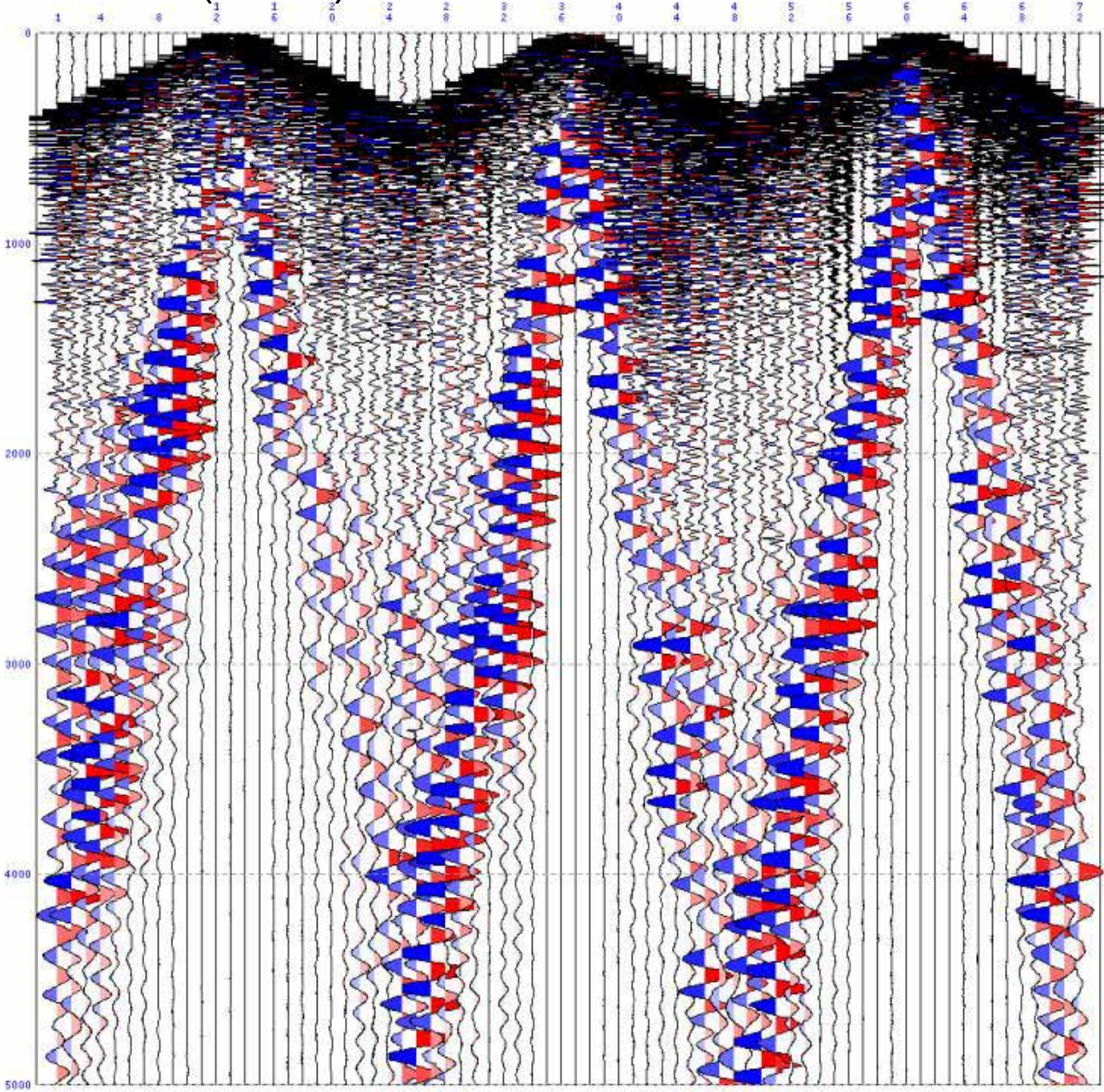
共通発振記録例

X(Inline)

Y1

Y2

Hydrophone



共通受振点記録例(陸側の受振点Ch1.)

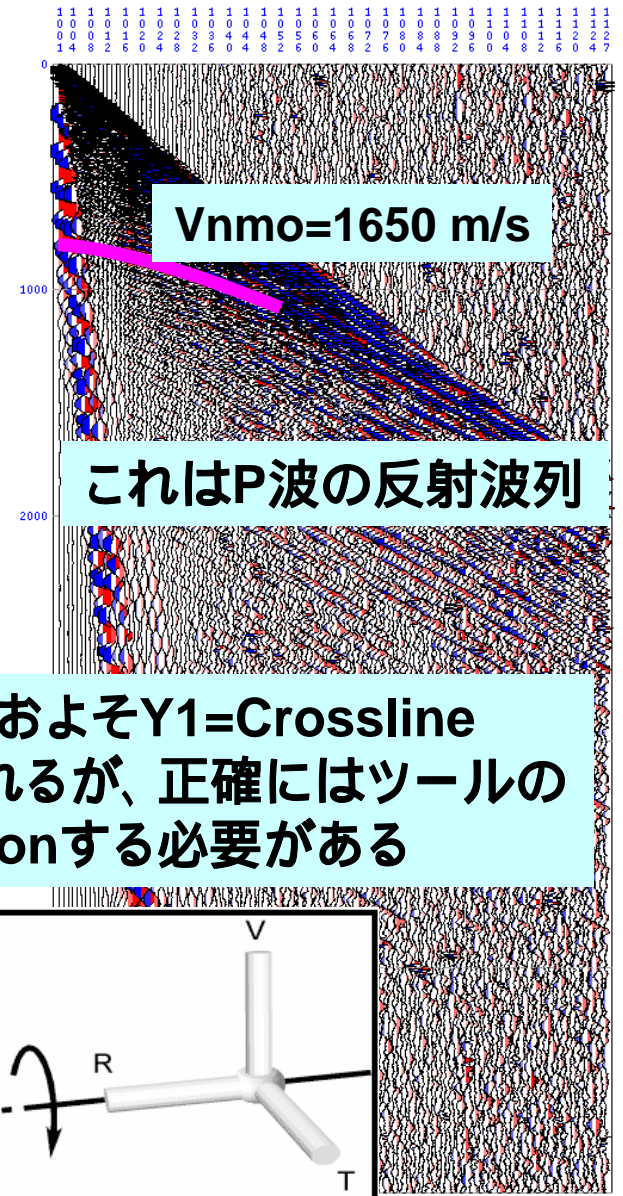
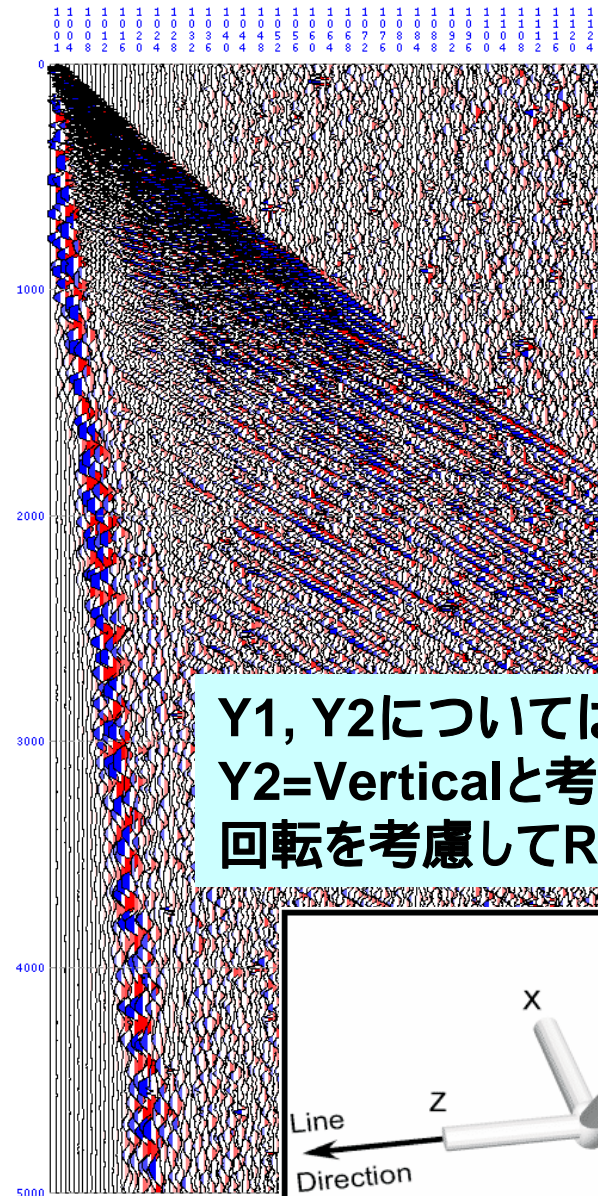
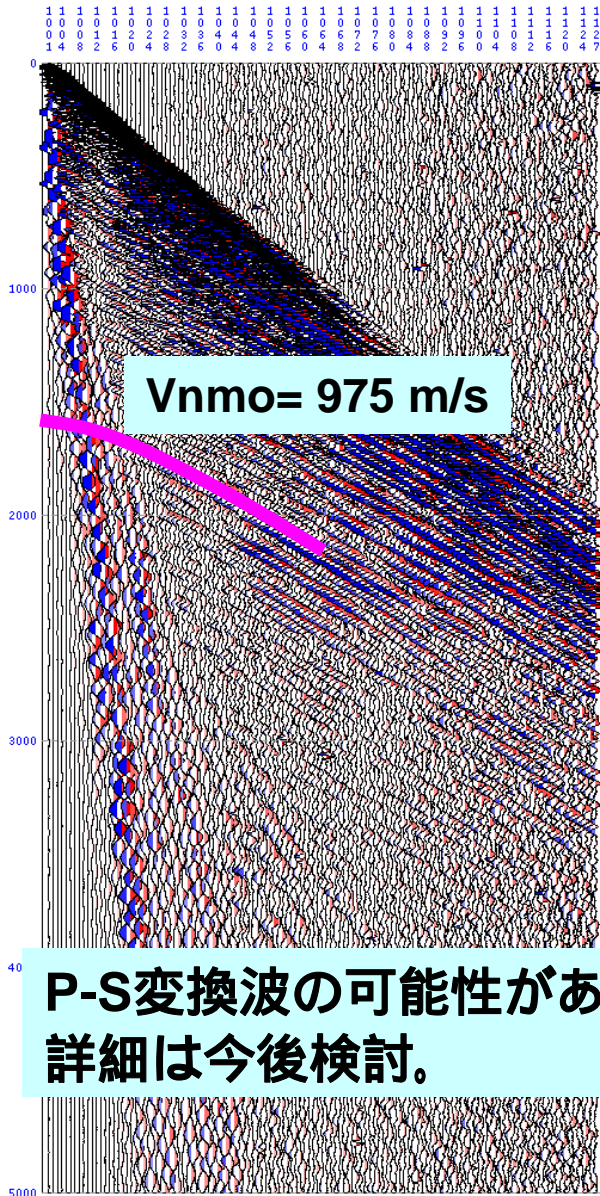
Geophone: 8月31日取得

1 km

X(Inline)

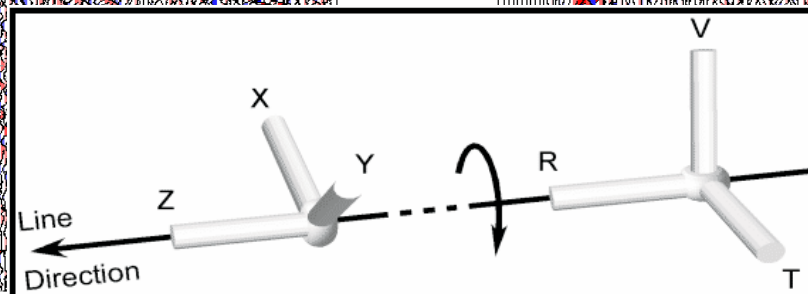
Y1

Y2



Y1, Y2については、おおよそY1=Crossline
Y2=Verticalと考えられるが、正確にはツールの
回転を考慮してRotationする必要がある

P-S変換波の可能性はある。
詳細は今後検討。



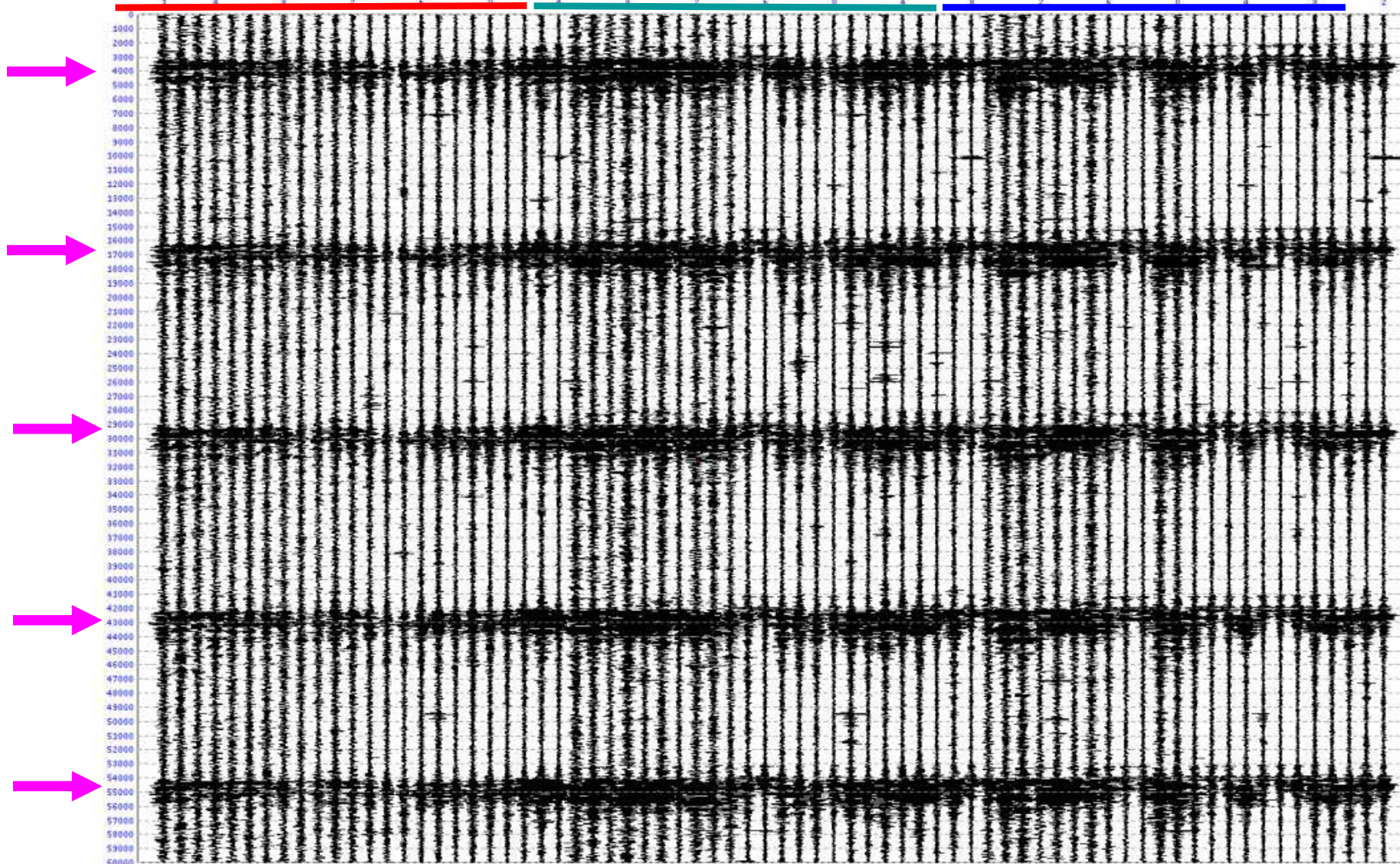
JCCS殿発振波の記録例 (地震計3成分)



X(Inline)

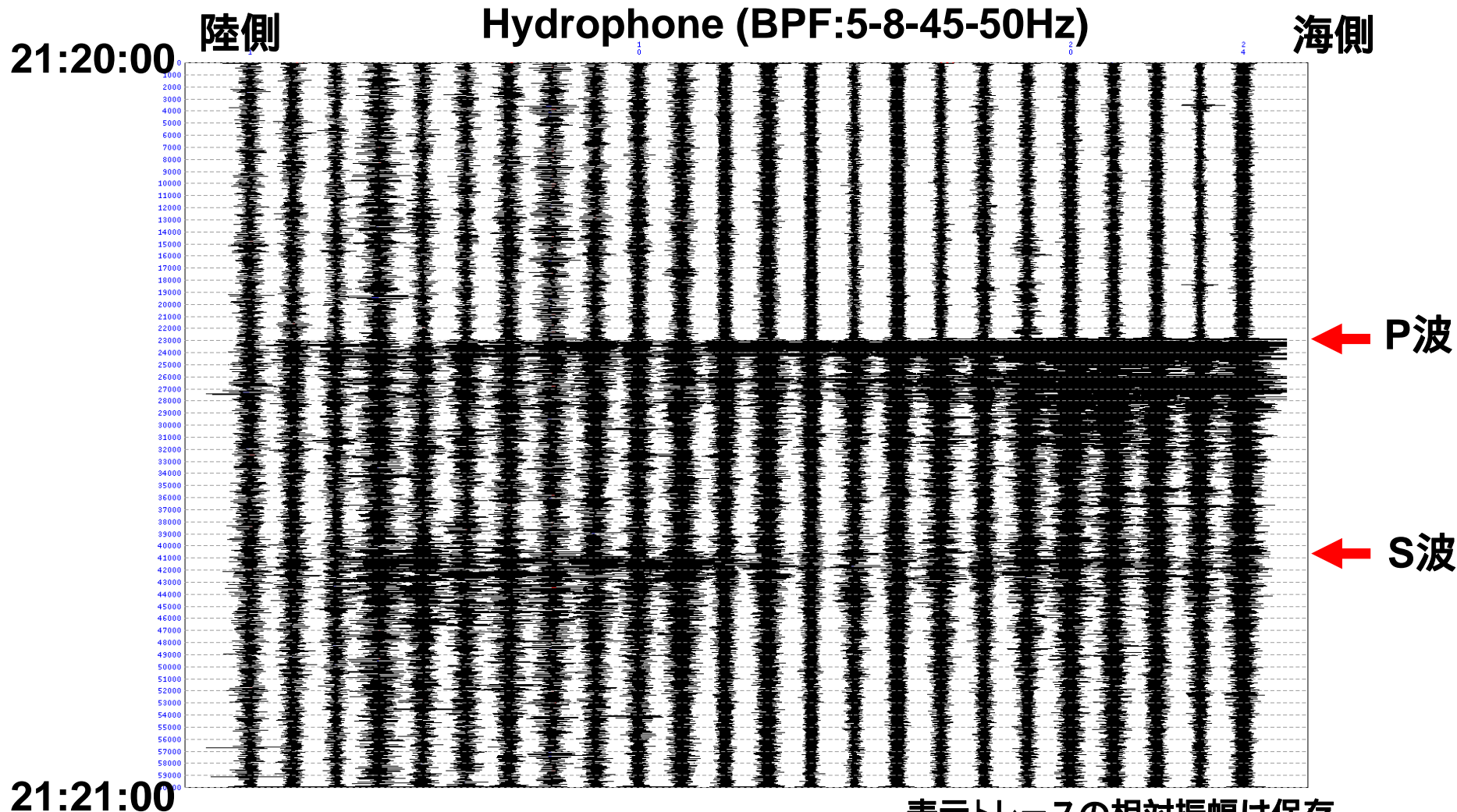
Y1

Y2



約8km
地点の
エアガン
発振

自然地震観測記録例



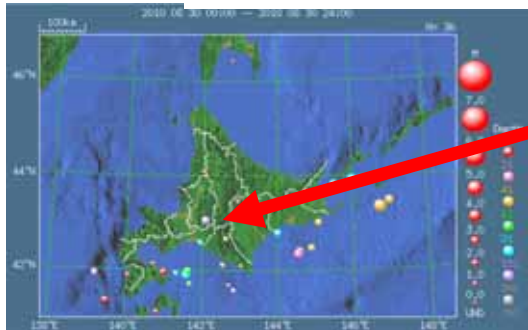
表示トレースの相対振幅は保存

(註1) Y1、Y2、X(inline)も観測

空知地方南部(M2.6)

2010 8 30 21:20 1.0 43' 2.8'N 142' 5.8'E 152km 2.6M

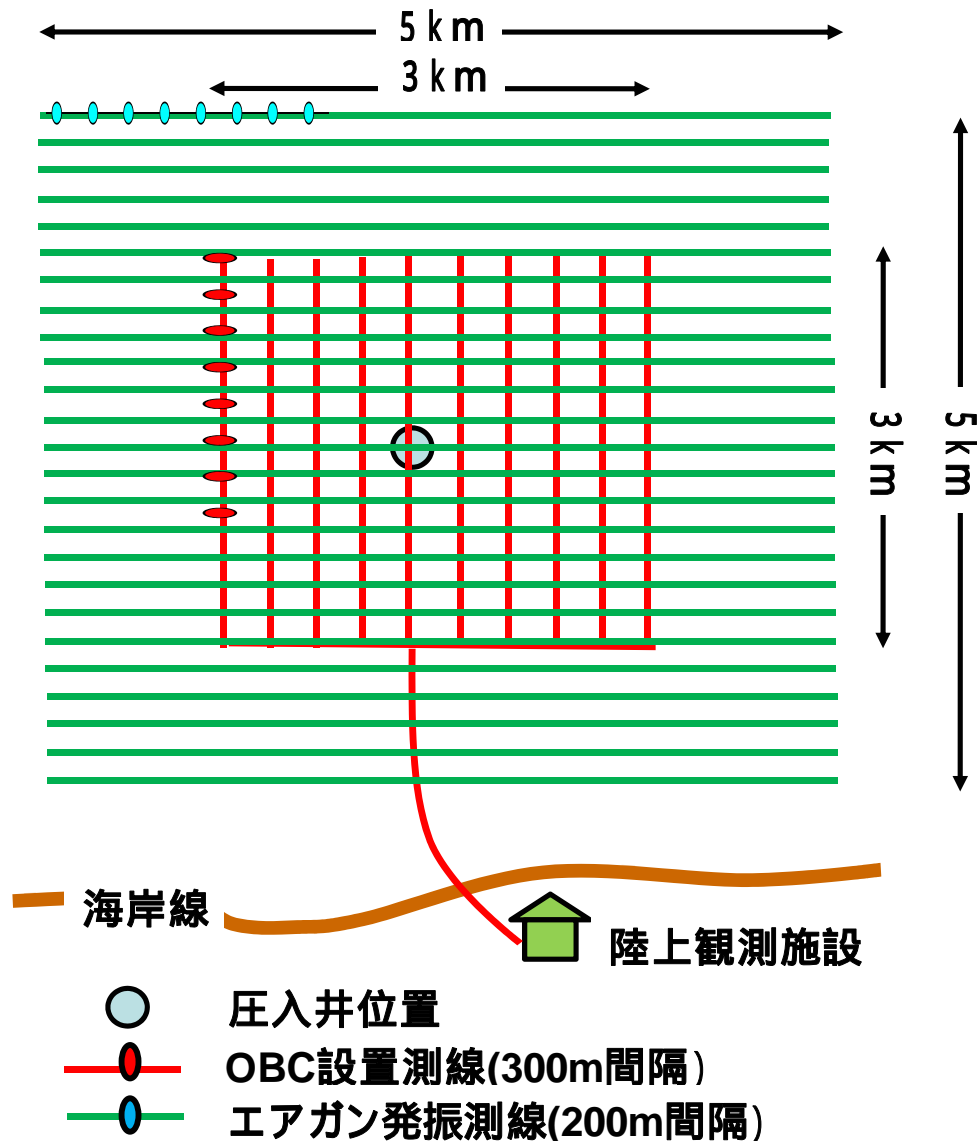
(註2) 胆振地方中東部のM0.8の自然地震も観測



常設型OBC観測の費用推定

GEM-GHGを用いてCO2の広がりを想定

- ・50万t/年 × 25年、・1,200 - 1,600m
- ・10年目(500万t)の直径:1.8km(泥岩0.01md)
- ・25年目(1,250万t)の直径:2km(泥岩1md)



	仕様
受振エリア	3 km × 3 km
受振測線間隔	300 m
受振点間隔(インライン)	50 m
発振エリア	5 km × 5 km
発振方向	受振測線に直交
発振測線間隔	200 m
発振点間隔(インライン)	25 m

	金額
OBC導入費用(600点)	8億円
OBC敷設費用(海域)	3億円
OBC敷設費用(陸域)	1億円
(OBC設備費合計)	12億円
OBC維持費	0.7億円/年
エアガン発振作業費	0.6億円/回

常設型OBC観測と他システムとの比較

(単位:億円)

事業年	観測	調査エリア面積	常設型OBC 100m間隔	常設型OBC 50m間隔	設置回収型OBC 100m間隔	3次元 ストリーマ方式 100m間隔	(微振動観測) 海底地震計 OBS方式
1	機器設置 ペーライン調査	3km × 3km	10.60	12.50	4.50	3.50	1.30
2	モニタリング調査	3km × 3km	1.10	1.30	4.50	3.50	0.61
3		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
4		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
5	モニタリング調査	3km × 3km	1.10	1.30	4.50	3.50	0.61
6		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
7		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
8		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
9		3km × 3km	0.50	0.70			0.61
10	機器増設 モニタリング調査	5km × 5km	14.30	17.30	10.80	5.10	2.01
11		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
12		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
13		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
14		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
15	モニタリング調査	5km × 5km	1.80	2.30	10.80	5.10	1.22
16		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
17		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
18		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
19		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
20	モニタリング調査	5km × 5km	1.80	2.30	10.80	5.10	1.22
21		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
22		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
23		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
24		5km × 5km	1.00	1.50			1.22
25	モニタリング調査	5km × 5km	1.80	2.30	10.80	5.10	1.22
総計	微振動観測なし		47.50	61.60	56.70	30.90	26.49
	微振動観測あり		47.50	61.60	83.19	57.39	-



常設型OBC方式は初期投資は大きいですが、事業全体では有利である。

貯留層におけるCO₂-水置換メカニズムの研究

弾性波-比抵抗・X線CTによる基礎的研究(残留飽和率・相対浸透率等の評価)



実験装置全景



圧力制御系

超臨界CO₂測量器



圧力容器

地下環境再現用高压容器



シーリング

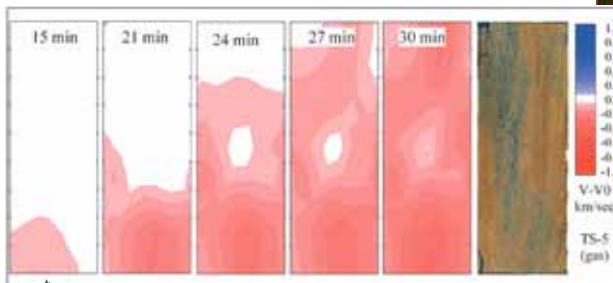
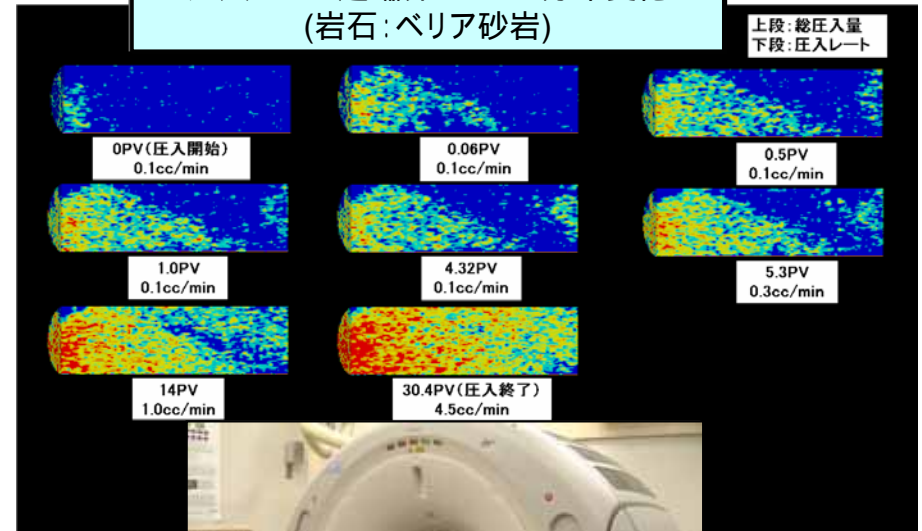


電極取付け



測定試料

圧入された超臨界CO₂の分布変化
(岩石:ベリア砂岩)



CO₂ 圧入 圧入CO₂の分布



CO₂圧入
高压容器

X-線 CT (据付中)

遮蔽性能評価技術の開発



圧力容器(恒温槽内)
(封圧機能改造中)

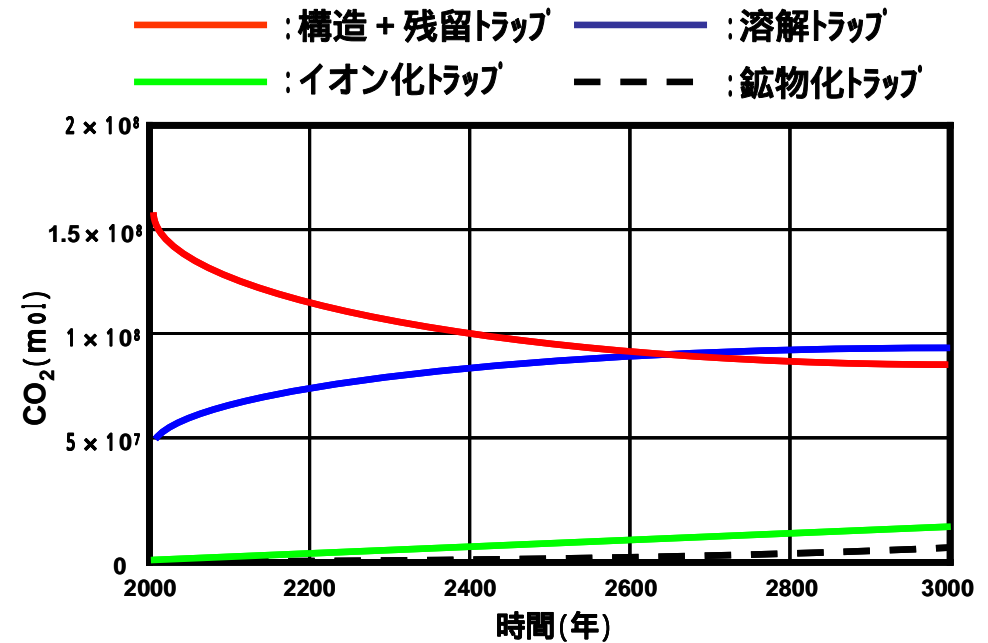
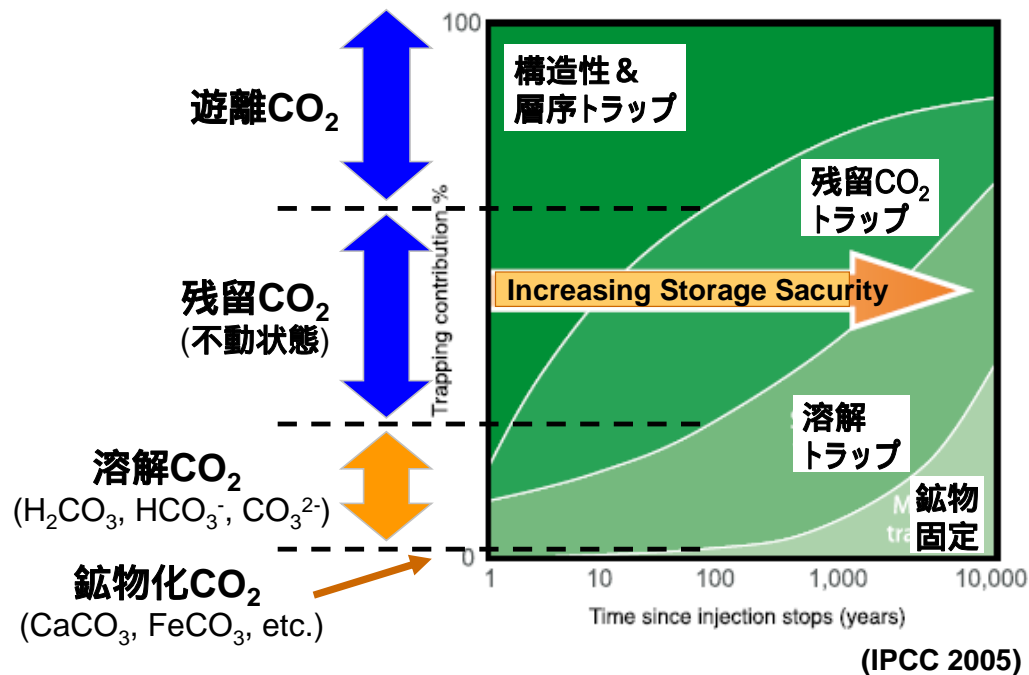
超臨界CO₂を用いるスレシヨルド圧力測定装置全景

試料保持治具

長期挙動予測シミュレーション技術の高精度化(1)

地層水へのCO₂溶解や鉱物との化学反応等を定量的に評価し、シミュレーションに反映する。

長岡の物理検層や弾性波トモグラフィのデータを用いて、GEM-GHGやTOUGH2のヒストリーマッチングを行い、シミュレーションモデルの高精度化を行なう。



100万t - CO₂貯留のシミュレーション (GEM-GHG) の計算例

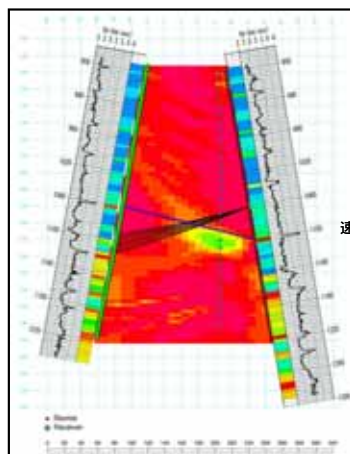
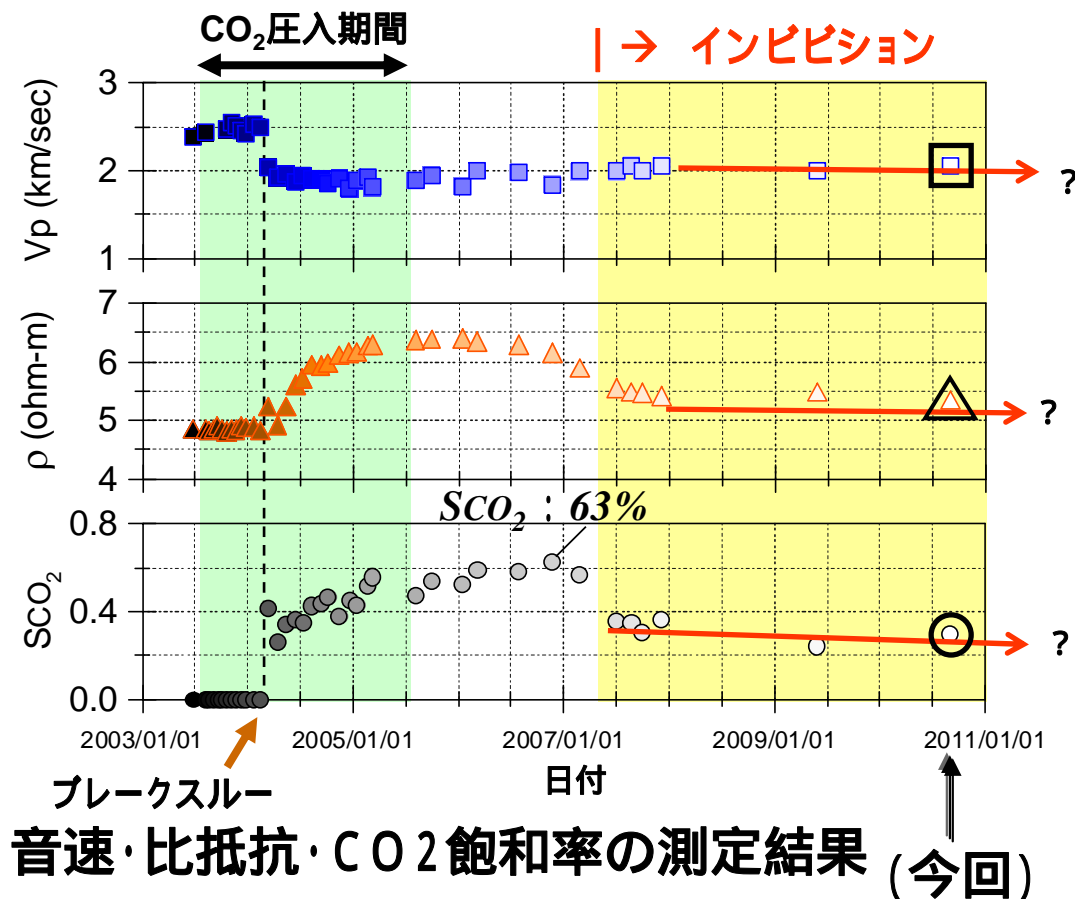
長期挙動予測シミュレーション技術の高精度化(2)

プロジェクト開始: 2000.12 (2.5年)
 ↓
 CO₂ 圧入: 2003.7 (1.5年)
 ↓
 圧入終了: 2005.1 (10年)
 ↓
 現行プロジェクト終了: 2015.3

世界初の
 ポストインジェクションモニタリング
 (浮力によるCO₂移動、坑井健全性)



長期CO₂挙動予測
 シミュレーション技術の
 高精度化



弾性波トモグラフィの結果(今回)

- ・3年前と変化なし
- ・帯水層に沿っての上方移動なし
- ・下方への移動なし
- ・キャップロックへの移動なし

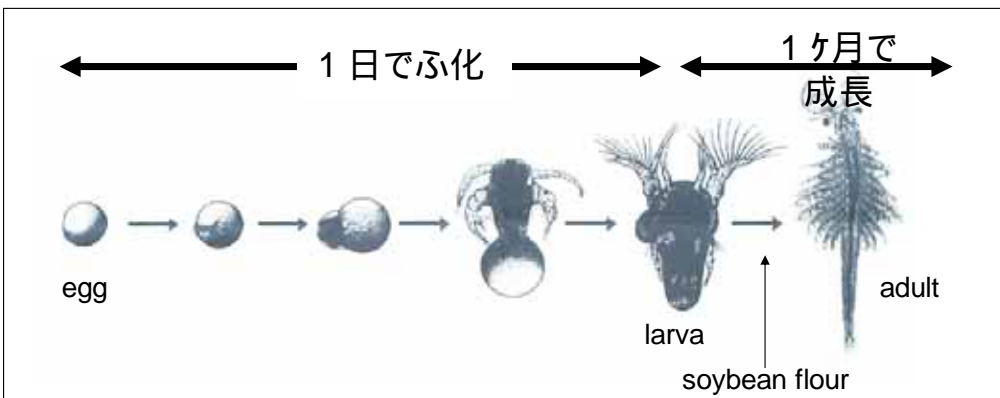
海域生態系のCO2影響評価技術の開発(1)



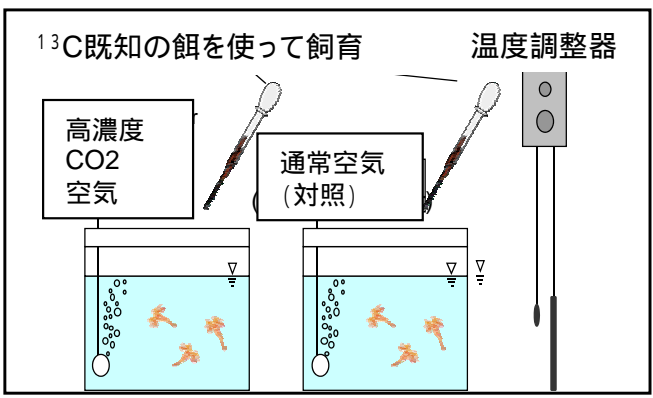
参照生物: テトラブライン・シュリンプ



CO2影響評価実験(終了)



高濃度CO2下の成長 体が長く軽量



プランクトン中の¹³Cを測定中

(目標)
¹³Cの変化から、呼吸や代謝へのCO2影響を評価する。

海域生態系のCO2影響評価技術の開発(2)

目的: CO2漏出による生態系への影響を事前評価する手法の開発

底泥生態系へのCO2影響の現場試験手法の開発

- 特徴
- ・CCS候補サイトにおけるデータ取得
- ・浅海用ベンチックチャンバーの使用
- ・海域の現場環境を維持した状態でのCO2曝露実験
- ・底泥生態系のCO2影響が把握可能
- ・比色式pHセンサーによる測定精度向上



浅海型ベンチックチャンバー

底泥生態系のCO2影響試験の手法開発

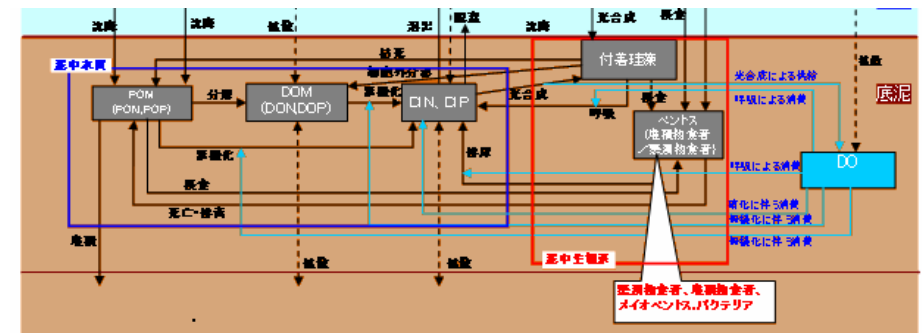


底泥・海水採取

CO2曝露試験(終了)

評価(分析中)

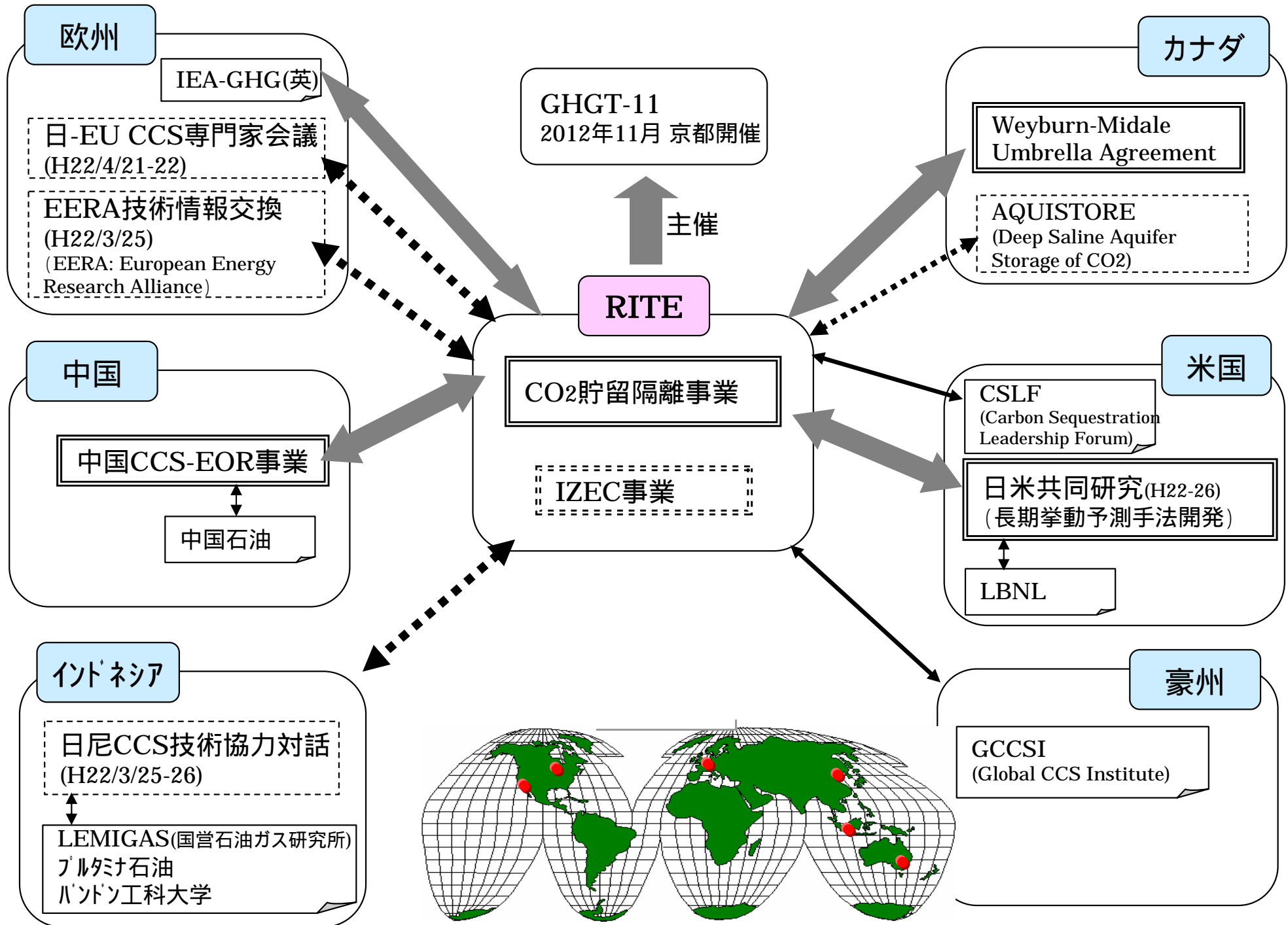
底泥生態系のCO2影響予測解析手法の開発



底泥生態系モデル

個別CCSサイトのCO2移行リスク評価

RITEの海外CCS関連機関との連携



まとめ

1. GHGT-10の国際会議では、CCSに関して広範囲な議論があった。基調講演では社会的合意の重要性が指摘されたほか、多くの機関が参加するロッテルダム計画が紹介された。
2. CO₂地中貯留の分野ではフィールド研究が注目され、地震波探査技術の可能性に関心が集まった。
3. RITEでは、安全性評価技術をモデリング・モニタリング・シミュレーション・CO₂移行解析の観点から構築すべく技術開発に取り組んでいる。
4. モニタリング技術としては、常設型OBCモニタリング技術の開発を進めている。苫小牧沖での試作ケーブルの性能評価試験を実施して、地震波探査のデータを入手した。詳細解析は今後。実用規模での経済性を評価した結果、常設OBCモニタリング方式は、初期投資は大きいですが25年間の総費用としては、既存の方法より安くなる。



財団法人 地球環境産業技術研究機構

Research Institute of Innovative Technology for the Earth

URL : <http://www.rite.or.jp>、CO2貯留研究G : CO2srg@rite.or.jp