

中央環境審議会 地球環境部会
気候変動に関する国際戦略専門委員会 第13回会合
2006年4月25日

経済性評価モデルによる 地中貯留ポテンシャルの評価

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

主任研究員 秋元圭吾



目次

- ◆ 地中貯留の世界での見通し
 - IPCC特別報告書での報告例
 - 世界の貯留ポテンシャルとその分布
 - 濃度安定化のための世界における地中貯留の役割（排出源と貯留層のマッチングを考慮）

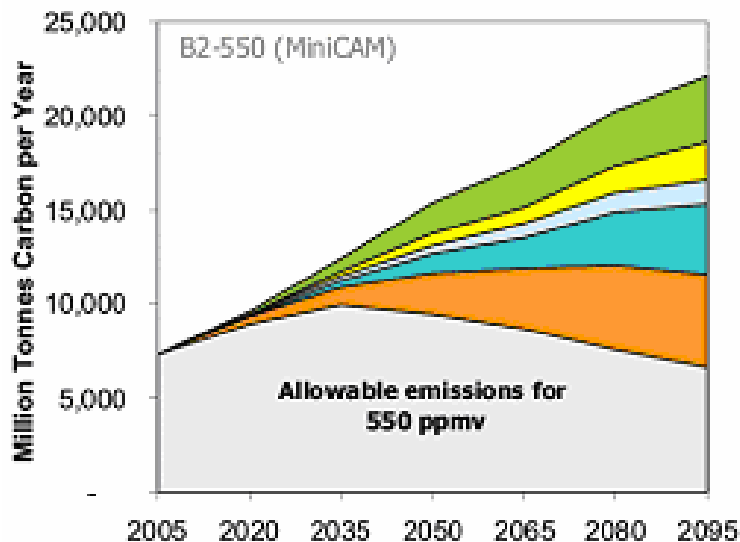
- ◆ 日本におけるCO₂地中貯留
 - 現状での日本の地中貯留コスト
 - 日本の貯留ポテンシャルとCO₂圧入コストとの関係
 - 経済性から見た日本における地中貯留の役割（排出源と貯留層のマッチング、CO₂輸送・圧入コストの規模の経済も考慮）

- ◆ 地中貯留の経済的ポテンシャルに関するまとめ

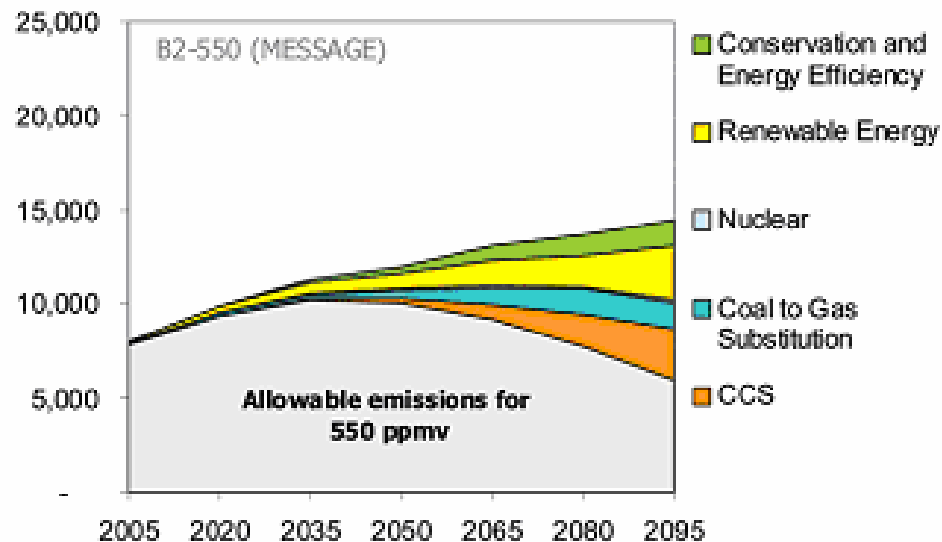
I. CCSの世界での見通し

IPCC特別報告書で報告されている 世界の貯留・隔離シナリオ例

◆ 世界の貯留・隔離の利用に関する評価例（550ppmv濃度安定化時）



米国PNNLのモデルによる

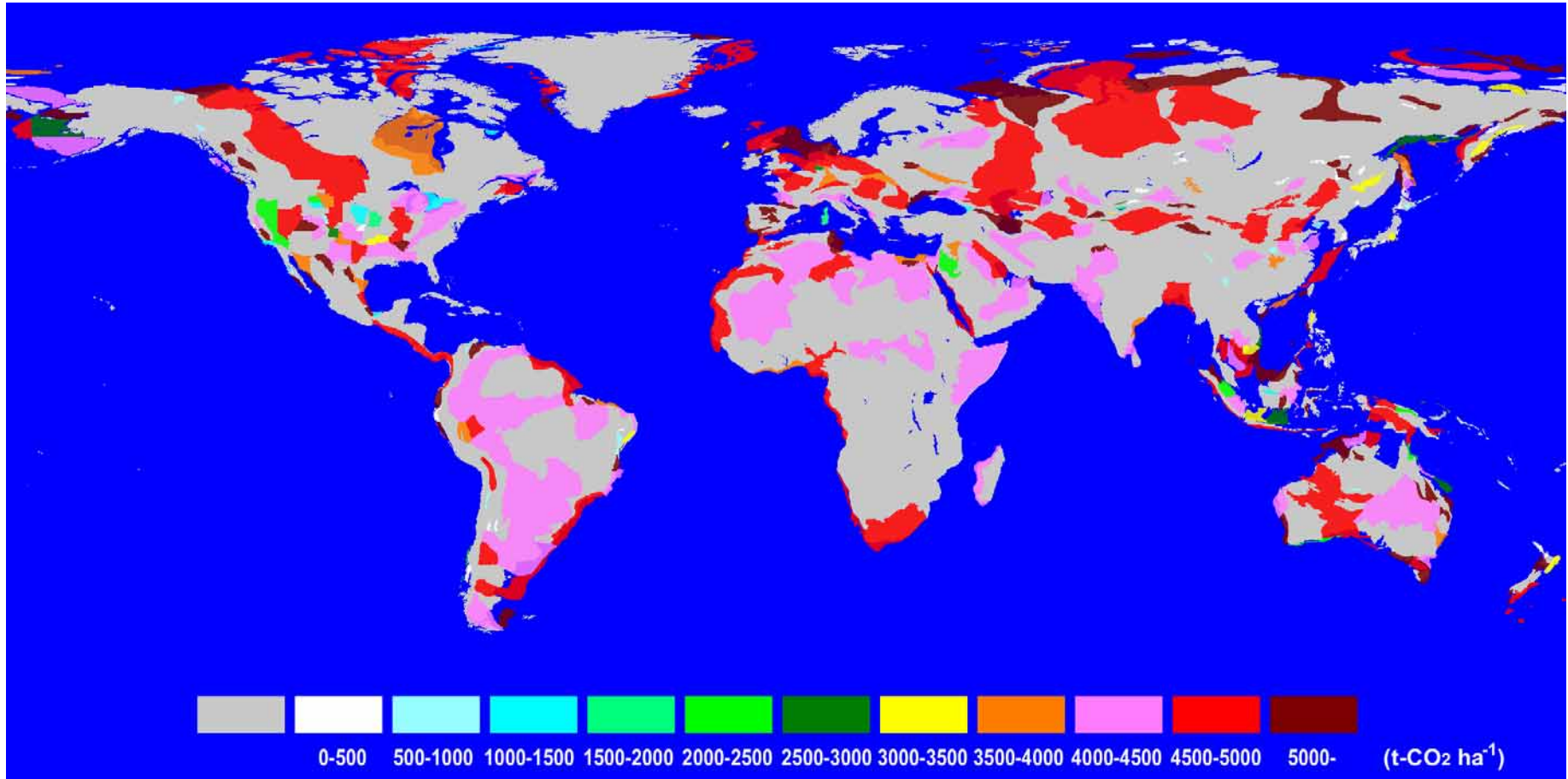


オーストリアIIASAのモデルによる

世界エネルギー評価モデルDNE21+の概要

- ◆ 動学的線形計画モデル（コスト最小化）
- ◆ モデル対象期間：2000～2050年（～2100年までも評価可）
- ◆ モデル地域分割：（排出源と貯留層の位置関係を考慮）
54地域分割（米国、中国などは更に1国内を分割、計77地域分割）
- ◆ エネルギー供給部門、CCS：ボトムアップ（技術の積み上げ）
- ◆ エネルギー需要部門：トップダウン（長期価格弾性値を利用）
- ◆ 一次エネルギー：石炭、石油（在来・非在来型）、天然ガス（在来・非在来型）、水力・地熱、風力、太陽光、バイオマス、原子力
- ◆ 最終エネルギー：固体、液体、気体燃料、電力
（基準最終エネルギー需要：IPCC SRES B2ベース）
- ◆ 電力需要は、瞬時ピーク、ピーク、中間、オフピークの4時間帯に区分
- ◆ 地域間輸送：石炭（鉄道、タンカー）、石油（パイプライン、タンカー）、天然ガス（パイプライン、LNGタンカー）、メタノール（パイプライン、タンカー）、水素（パイプライン、液化タンカー）、電力、CO₂（パイプライン、液化タンカー）
- ◆ 既存設備のヴィンテージも考慮

帯水層へのCO₂貯留ポテンシャルの推定



究極的なCO₂貯留可能容量： 陸域 5,600 GtC、沿岸海域 1,500 GtC
そのうち10%のみが利用できるとしても、CO₂排出量100年分程度の貯留が可能
 注) RITEにて推定 (Akimoto et al., Proc. of GHGT7, 2004)

評価のために想定した CO₂貯留ポテンシャルと貯留コスト

	世界の CO ₂ 貯留可能量 (GtC)	CO ₂ 貯留コスト [†] (\$/tC)
石油増進回収 (EOR)	30.7	81 – 118 [‡]
廃ガス田貯留	40.2 – 241.5 ^{††}	34 – 215
炭層固定 (ECBM)	40.4	113 – 447 ^{‡‡}
帯水層貯留	856.4 [*]	18 – 143
海洋隔離	–	36 ^{**}

[†] CO₂ 回収コストは含まれていない

[‡] 回収される石油の利得は含まれていない (モデル内で内生的に決定される)

^{††} 下限値は 2000 年時点の初期値であり、天然ガス採掘と共に増大し、最大可能量は表中レンジの上限値

^{‡‡} 回収されるガスの利得は含まれていない (モデル内で内生的に決定される)

^{*} 「実際の」な貯留容量であり、「理想的な」貯留容量のうち、陸域の 10%、沿岸海域の 20%としている

^{**} CO₂ 液化コストを含めてある

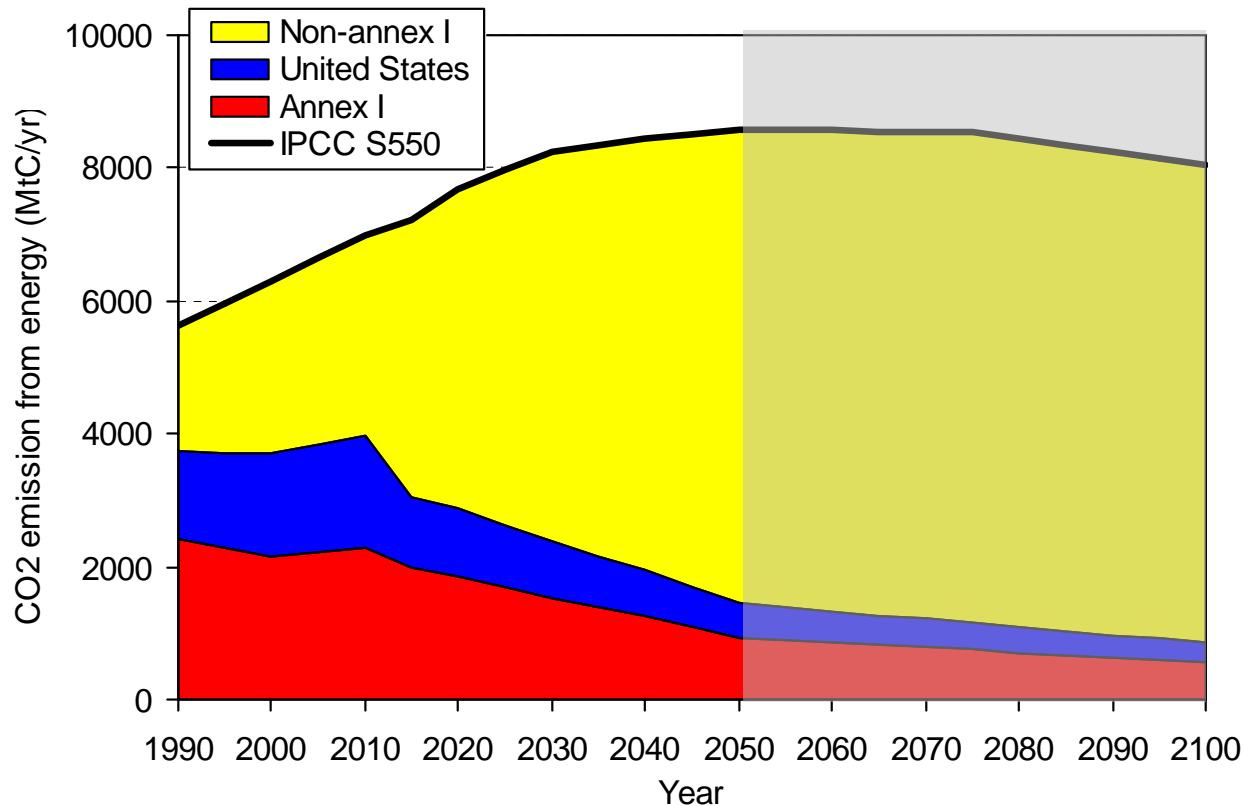
出典) USGS, 2000、IEA-GHG, 2000 など

モデルにおいては、77地域別に想定している

比較参考データ: IPCC特別報告書 (SRCCS) Technical Summary

	Lower estimate		Upper estimate	
	(Gt-CO ₂)	(GtC)	(Gt-CO ₂)	(GtC)
Oil & gas fields	675	184	900	245
Unminable coal seams (ECBM)	3-15	1-4	200	55
Deep saline formations	1000	273	Uncertain, but possibly 10 ⁴	≈2700

想定したCO₂排出上限制約



IPCC S550: IPCC WG1によるCO₂濃度550ppmv安定化シナリオ

2010年：米国を除くAnnex I 諸国は、京都議定書目標値。EU15バブル
米国はGDP当りCO₂排出量を10年間で18%削減

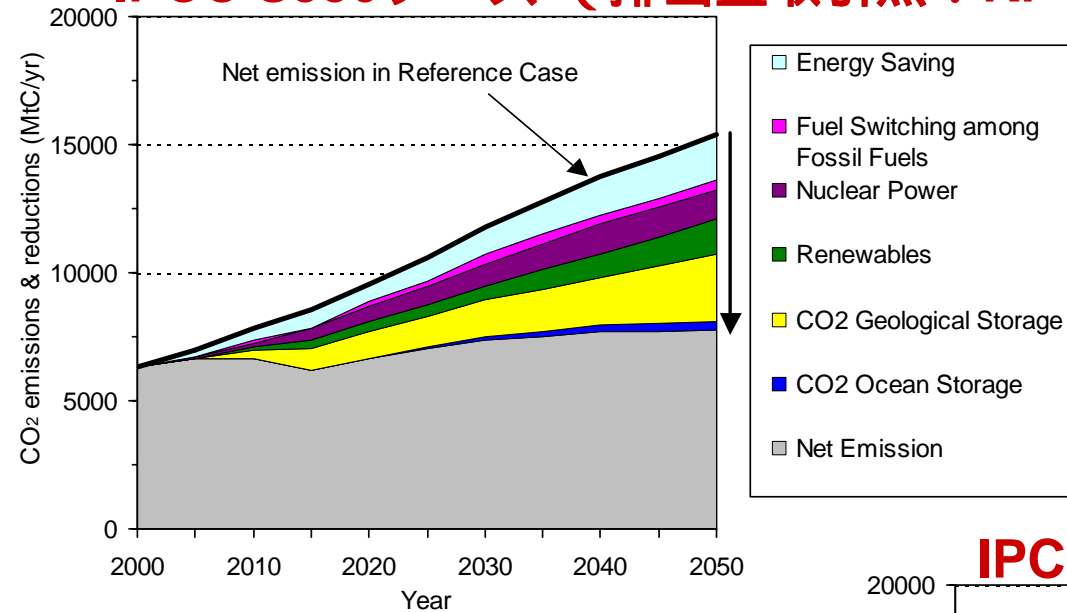
2015年（2013-2017年）以降：

Annex I は英国提案目標に従う（年々排出削減し、2050年では90年比約60%削減）
EU27バブル。Non-Annex I も排出削減（Non-Annex I 内の配分は90年実績比）。

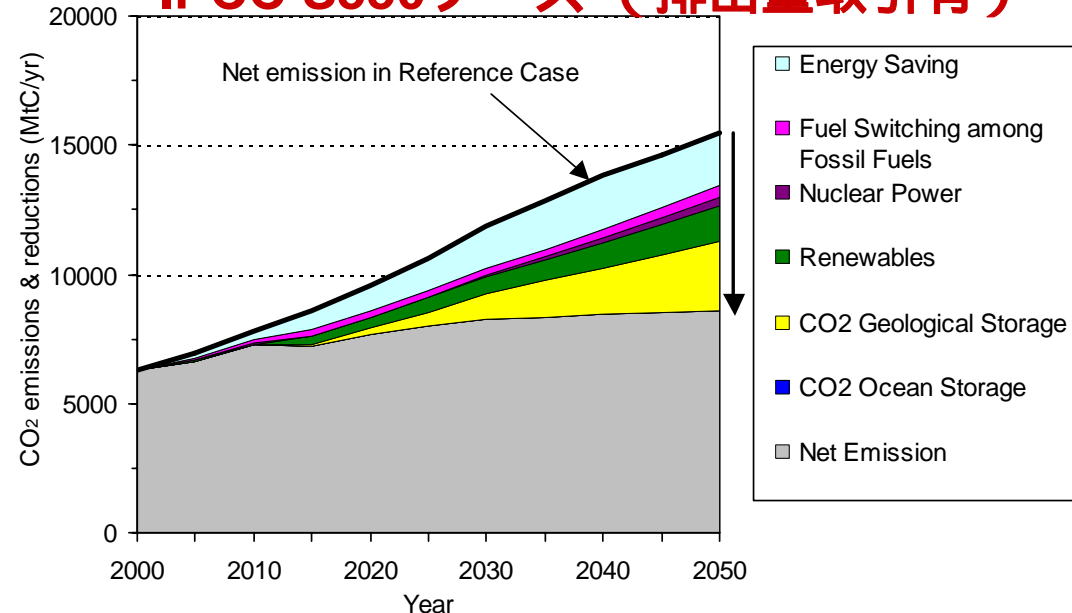
注）モデル計算上は2010年のNon-Annex I には排出上限制約を与えていない（グラフ表示と異なることに注意されたい）

対策技術別CO₂排出削減効果

IPCC S550ケース（排出量取引無：KP+UK提案）



IPCC S550ケース（排出量取引有）



- ◆ 排出源と貯留サイトの位置関係を比較的詳細に（77地域分割で）評価しても、CCSはコスト効率的なオプションの一つと見られる。

世界における地中貯留の経済性

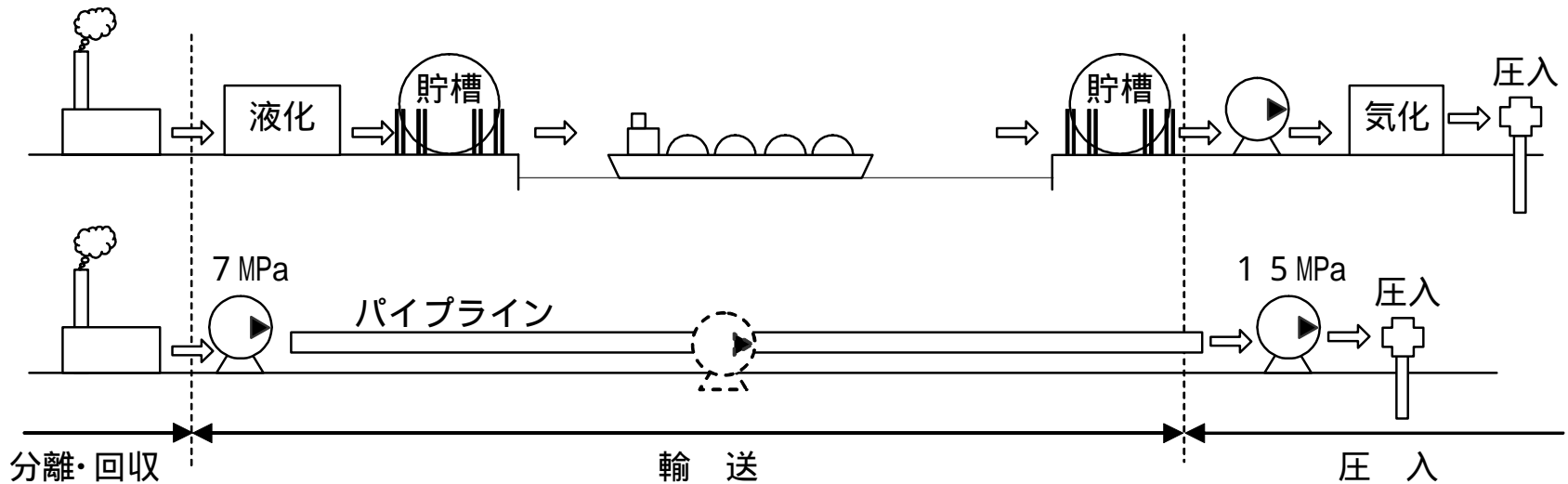
- ◆ IPCCによれば、世界の地中貯留ポテンシャルは小さく見積もっても1,700GtCO₂程度、大きく見積もれば10⁴GtCO₂のオーダーとされ、極めて大きい。
- ◆ 多くのモデルで、CO₂濃度安定化のためにCCSはコスト効率的なオプションであり、CO₂削減ポテンシャルも大きいことが示されている。
- ◆ CCSでは排出源と貯留層のマッチングがコスト面から重要。それを考慮するため、世界を詳細に分割したモデルによって評価を行ったが、それでもCCSはCO₂濃度安定化のために重要なオプションの一つ。

II. 日本におけるCO₂地中貯留

コスト・ポテンシャル分析



コスト・ポテンシャル分析のためのCCSの概要



コストの検討項目

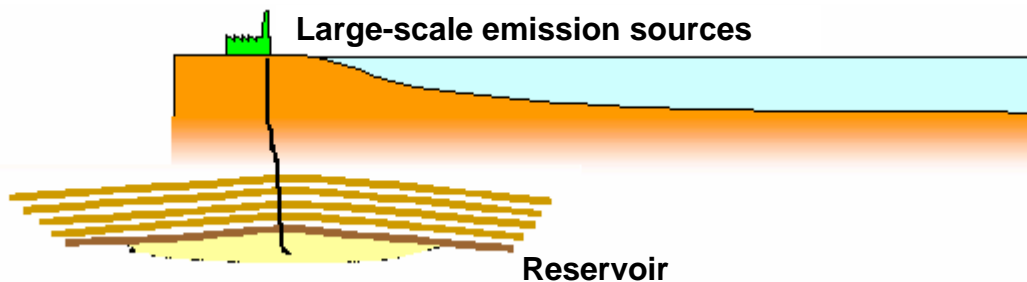
- ◆ CO2分離・回収コスト
- ◆ CO2輸送コスト
- ◆ CO2圧入コスト
- ◆ 事前地質調査コスト
- ◆ モニタリングコスト

第12回会合で、赤井氏から詳細な報告がなされているため、ここでは省略

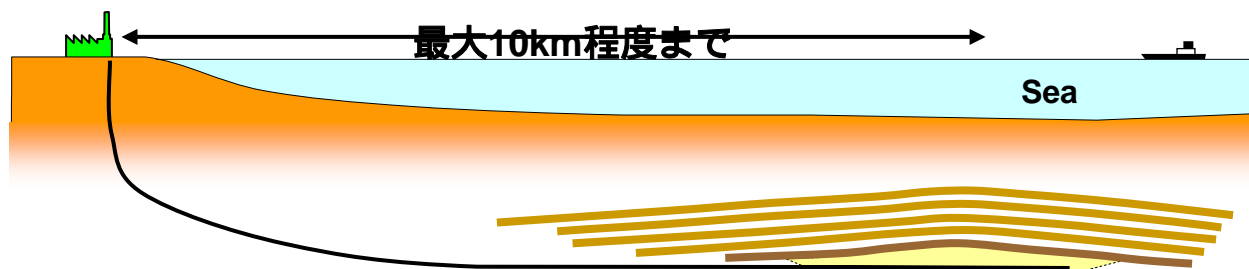


コスト・ポテンシャル分析のためのCCCSの概要

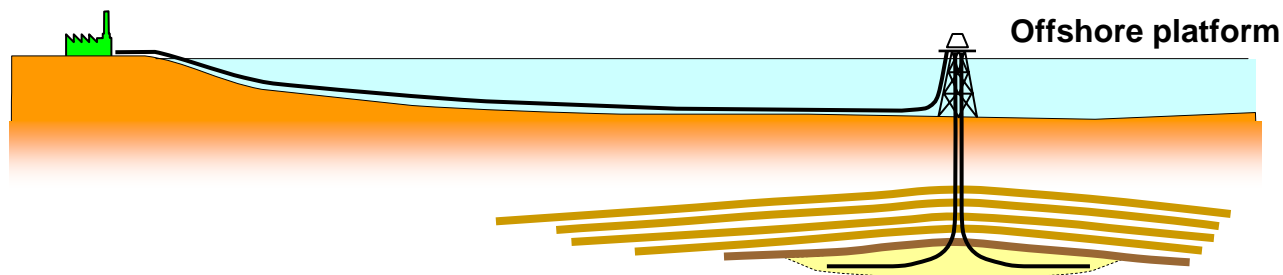
陸域



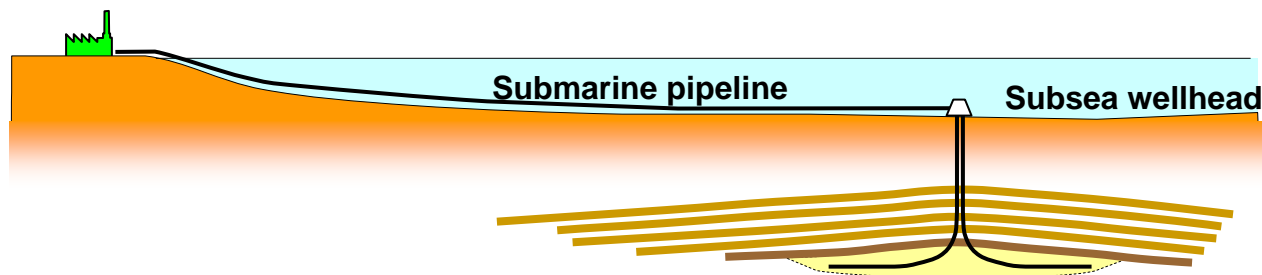
沿岸海域
(大偏距掘削
(ERD))



沿岸海域
(海上プラット
フォーム(海上坑
口))



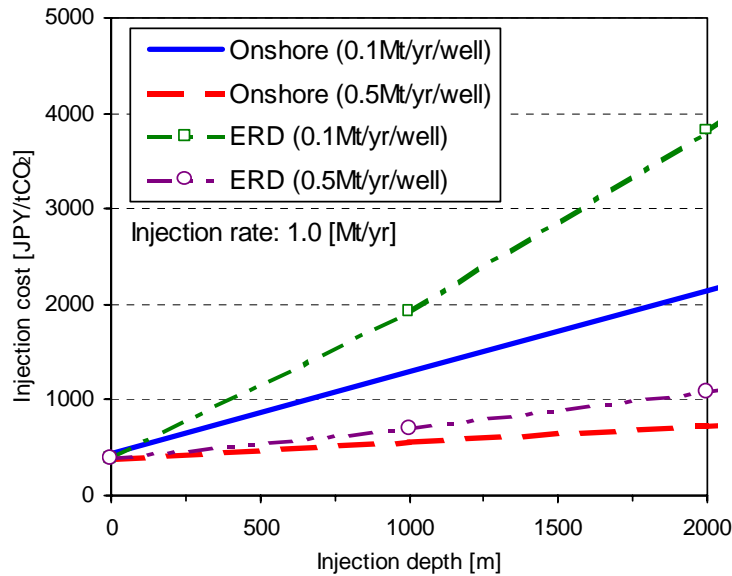
沿岸海域
(海底坑口)





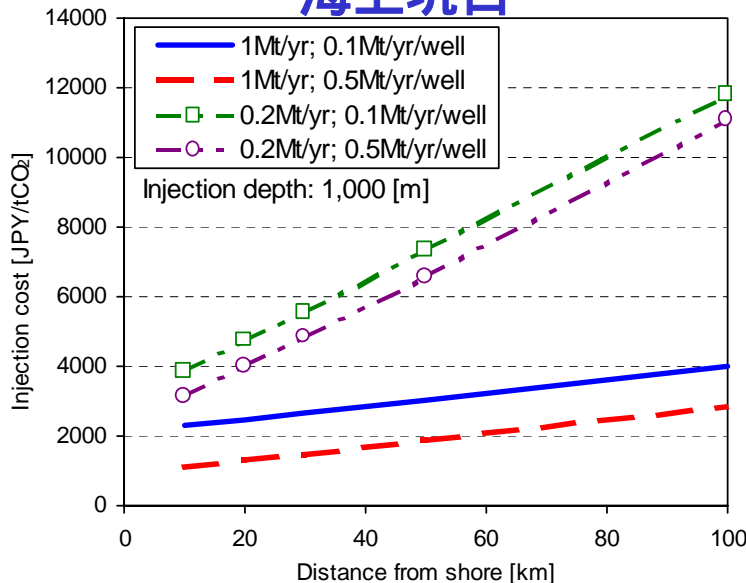
CO₂地中圧入コスト

陸域、大偏拒掘削

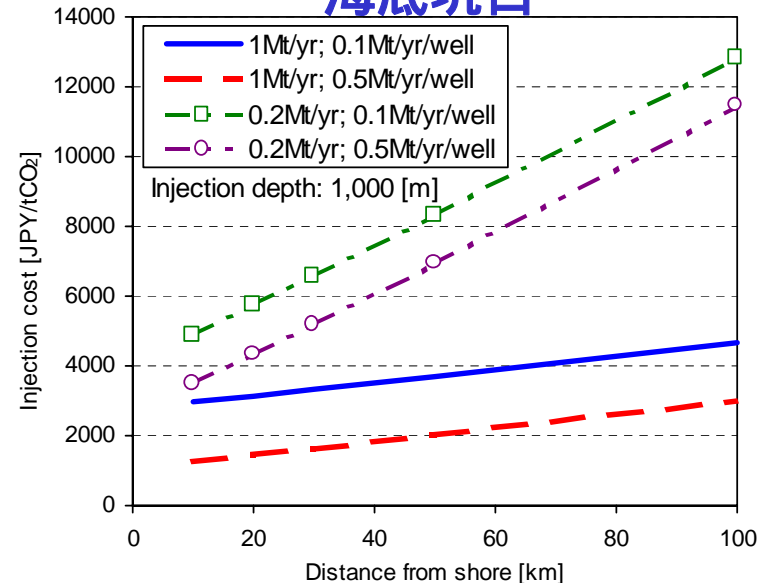


- ◆ 年間圧入量、坑井1本あたりの圧入可能量次第では、CO₂圧入コストは、圧入深度、海底パイプライン距離にセンシティブになり得る。

海上坑口

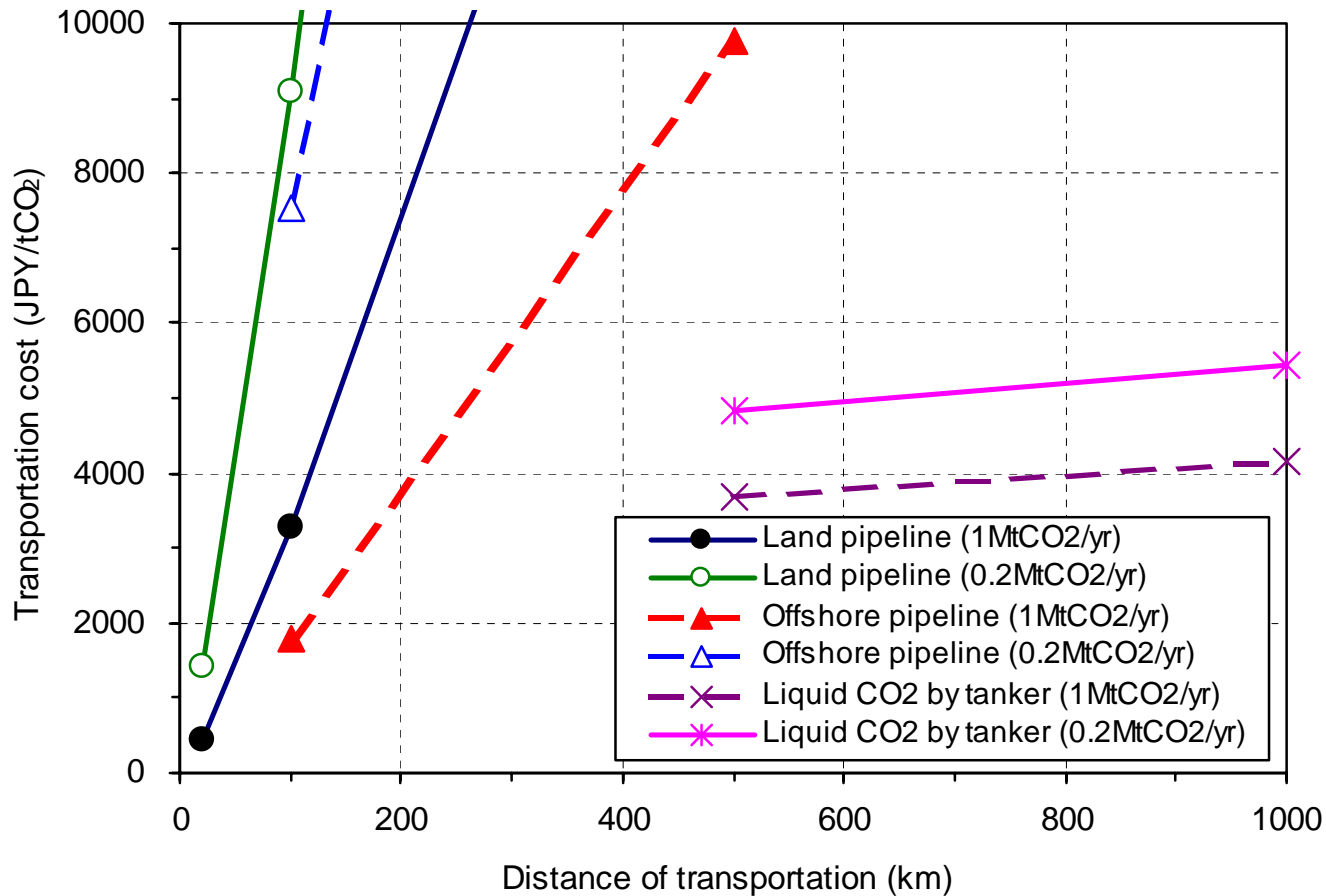


海底坑口





CO₂輸送コスト

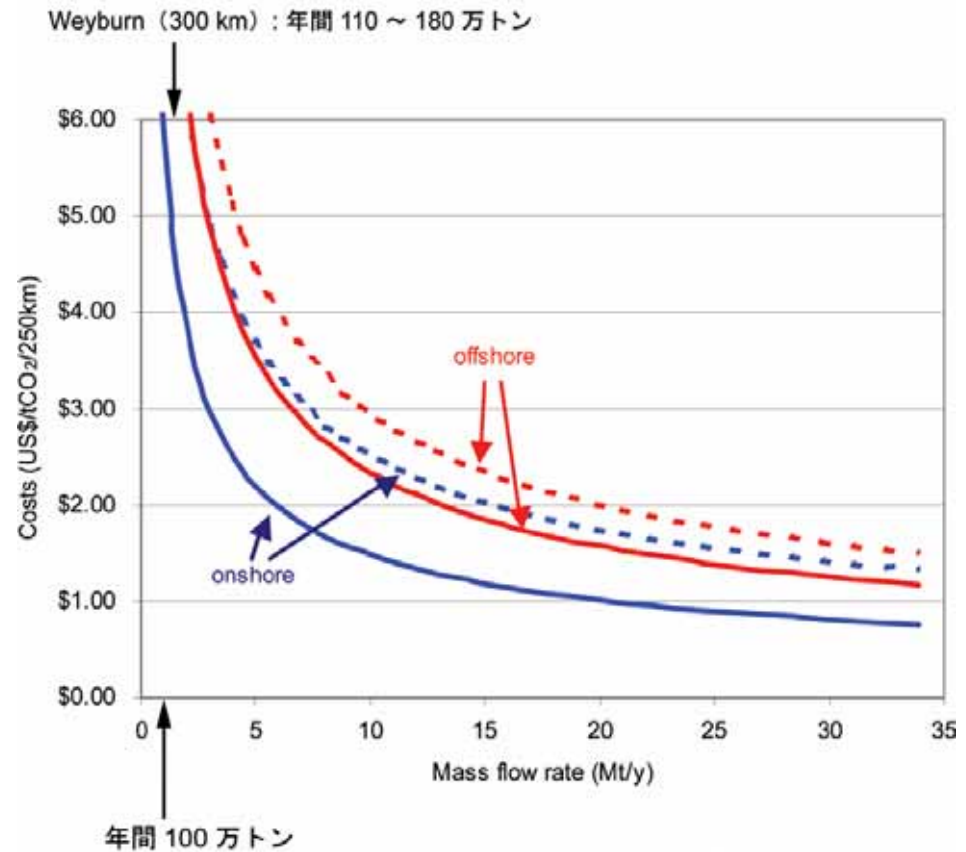
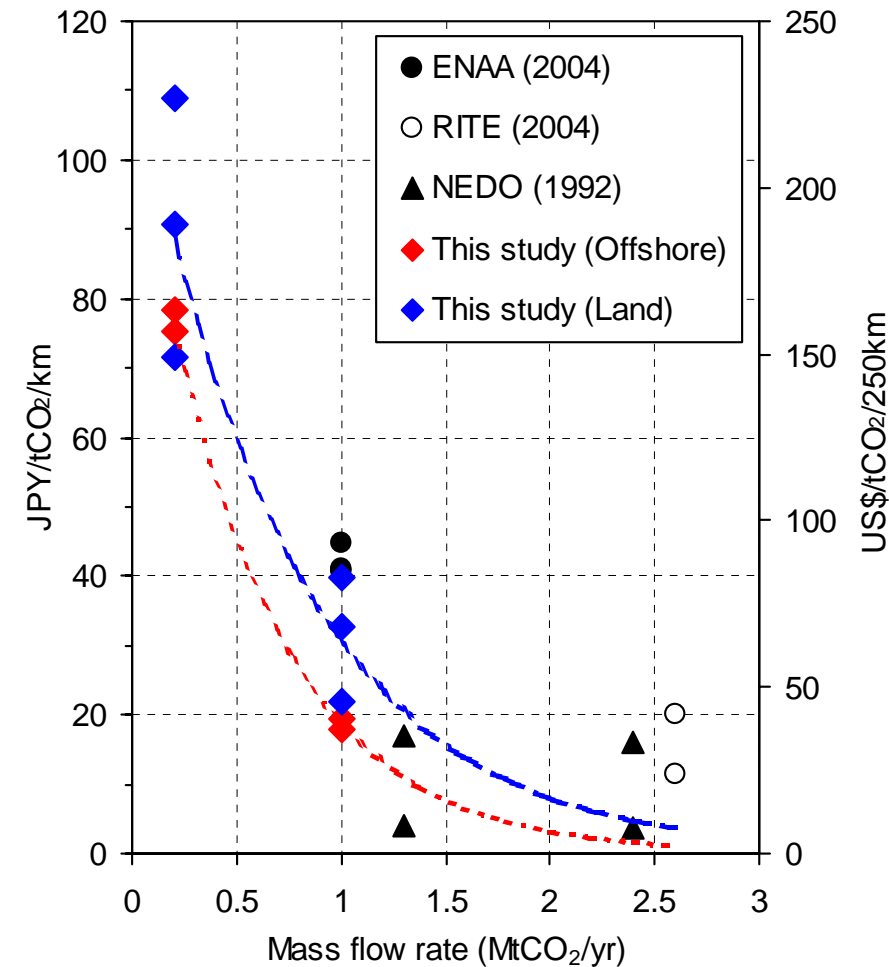


注)陸域パイプラインコストには、土地の購入もしくは借地費用は含まれない。

- ◆ パイプライン輸送コストは、特に規模の経済が強く働く。
- ◆ 日本の場合、陸域パイプラインコストの方が、海域よりも高い。



CO₂輸送コスト - IPCC特別報告書との比較 -

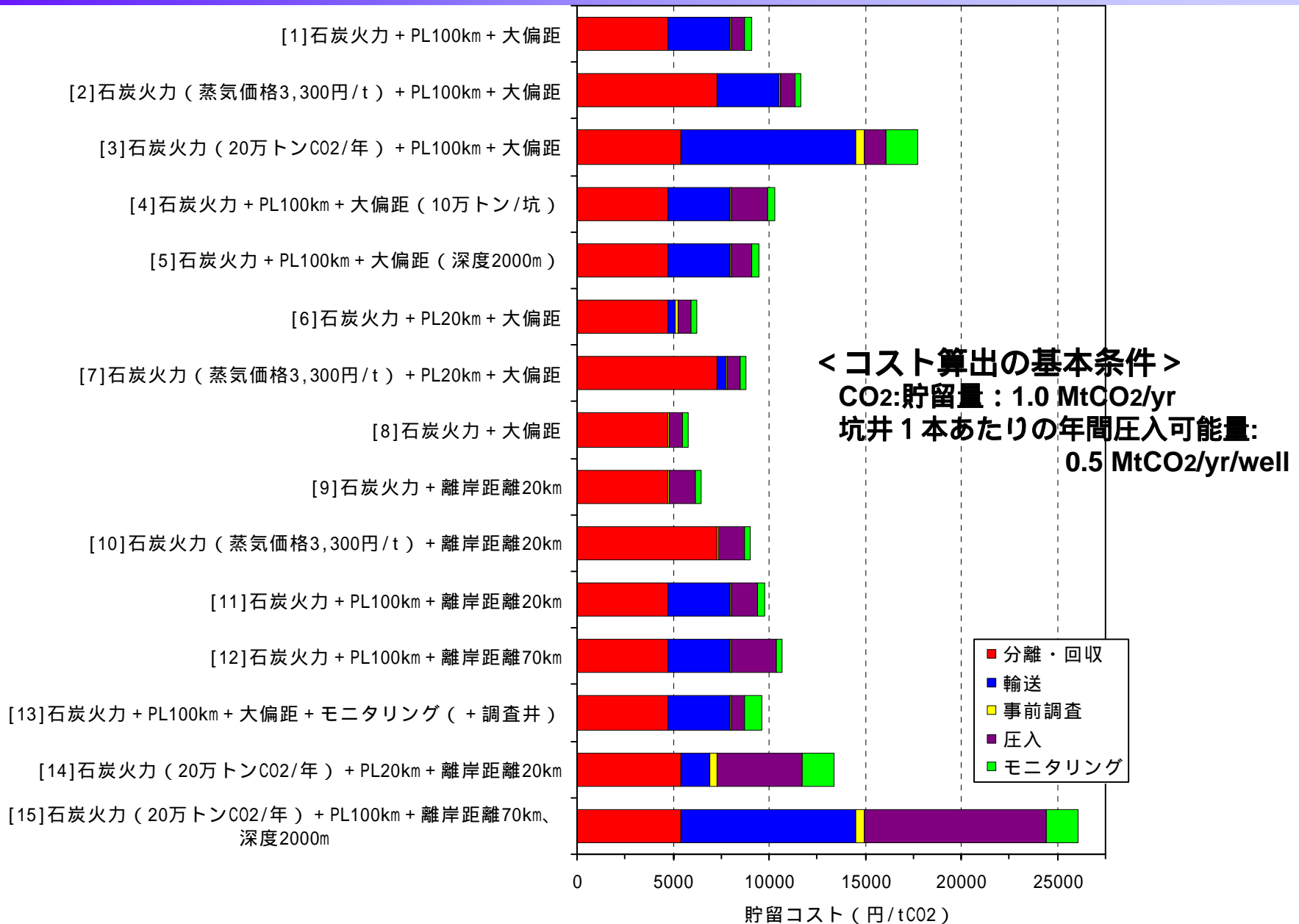


出典) IPCC SRCCS, 2005

- ◆ 日本のCO₂パイプラインコストは、世界での報告例よりもかなり高い。
- ◆ 排出源から貯留層までの輸送距離、設備規模等がコストに大きく影響

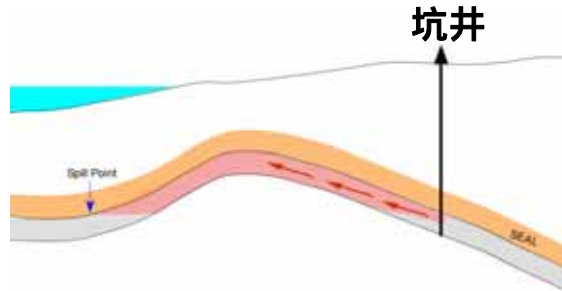
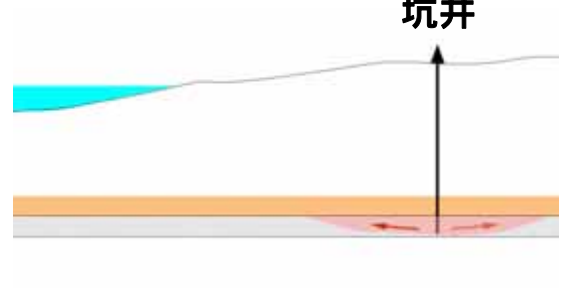


現状における各種ケースのCCSコスト推定





帯水層のカテゴリー分類と貯留ポテンシャル

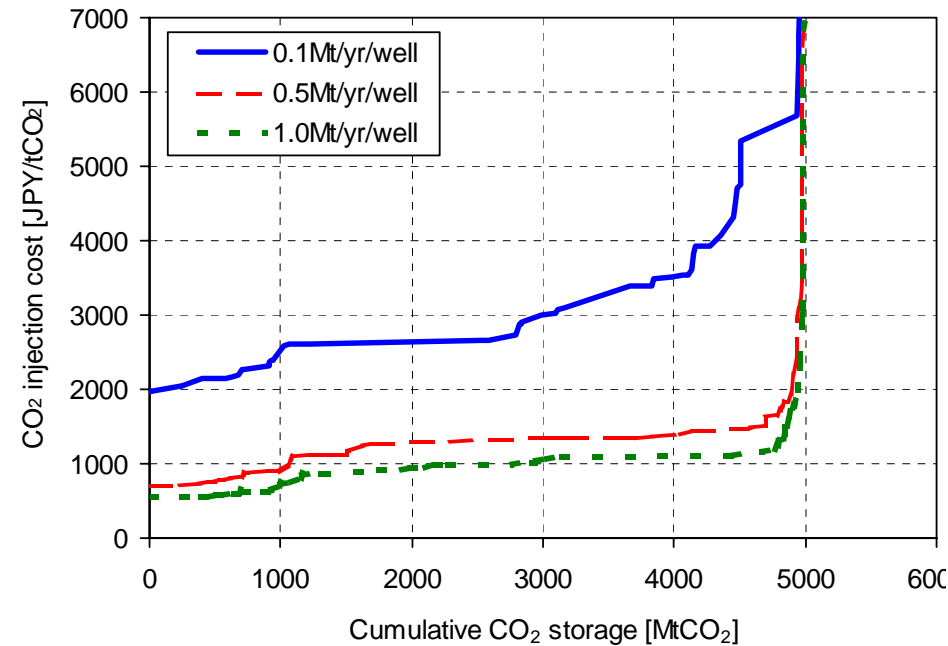
地質データ		構造的帯水層 カテゴリー-A	非構造的帯水層 カテゴリー-B
油ガス田	坑井・震探 データが豊富	A 1 35億t-CO ₂	B 1 275億t-CO ₂
基礎試錐	坑井・震探 データあり	A 2 52億t-CO ₂	
基礎物探	坑井データなし、 震探データあり	A 3 214億t-CO ₂	
貯留概念図			
特記事項		トラップメカニズム検証済み	トラップメカニズム検証中
小計		301億t-CO ₂	1,160億t-CO ₂
合計		1,461億t-CO ₂	

(注)内陸盆地、湾(瀬戸内海、大阪湾、伊勢湾など)は対象外。B 1、B 2は水深200m以浅を対象。

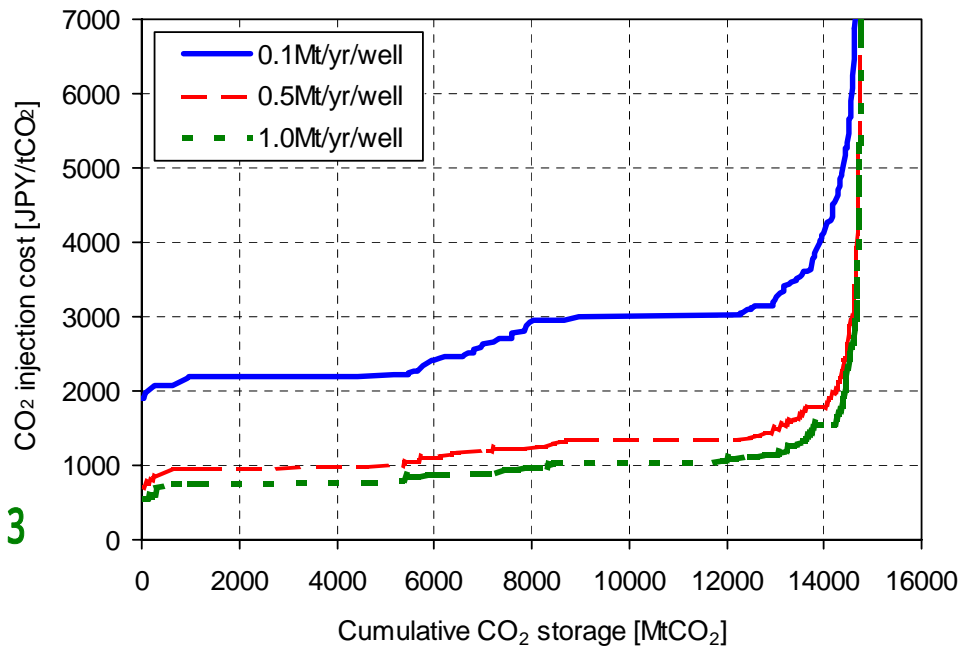
出典)RITE/ENAA、「二酸化炭素地中貯留技術開発 平成17年度成果報告書」、2006



日本の構造性帯水層（A2、A3）の 貯留可能量と圧入コストの関係



カテゴリーA2



カテゴリーA3

注) コスト評価の対象とした水深500m以浅のみを評価

II. 日本におけるCO₂地中貯留

経済性評価



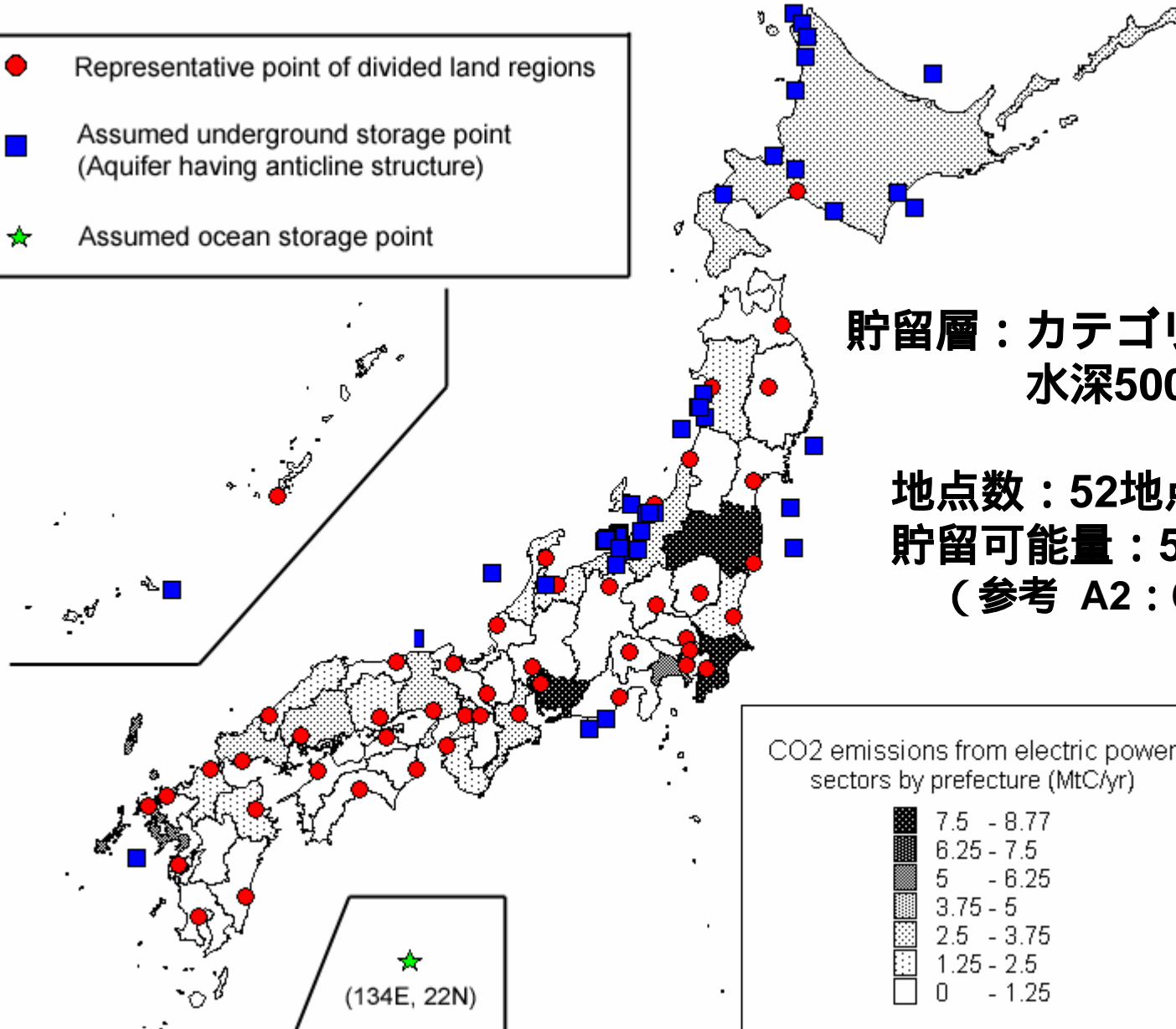
CO₂地中貯留評価モデルの概要

- ◆ 動学的混合整数計画モデル（コスト最小化） ← CO₂輸送、圧入コストの規模の経済を考慮
- ◆ モデル対象期間：2000～2050年
 - ・ 最適化代表時点：2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2040, 2050年
- ◆ モデル地域分割： ← 排出源と貯留層の位置関係を考慮
 - ・ 陸域 47 地域分割（都道府県別）
 - ・ 沿岸海域帯水層 52地点（カテゴリー-A2の水深500m以浅のみ）
 - ・ 海洋隔離想定地点 1 地点
- ◆ 地域間輸送：CO₂、電力
- ◆ ボトムアップ的にエネルギー供給、CO₂回収・貯留技術をモデル化
- ◆ 一次エネルギー供給：石炭、石油、LPG、LNG、水力、地熱、風力、太陽光、原子力の9種類をモデル化
- ◆ エネルギー需要サイド：長期価格弾性値を用いたトップダウン的モデル化。固体、液体（ガソリン、軽質油、重質油）、気体、電力の4種類
- ◆ 電力需要は、瞬時ピーク、ピーク、中間、オフピークの4時間帯に区分



モデルの地域分割

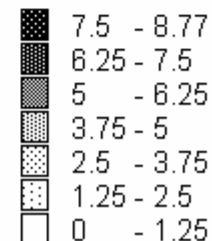
- Representative point of divided land regions
- Assumed underground storage point (Aquifer having anticline structure)
- ★ Assumed ocean storage point



貯留層：カテゴリーA2の
水深500m以浅のみ

地点数：52地点
貯留可能量：5,720 MtCO₂
(参考 A2 : 6,028 MtCO₂)

CO₂ emissions from electric power sectors by prefecture (MtC/yr)



(134E, 22N)



CCSコストの想定

◆ 燃焼後回収の想定

	建設単価 (US\$/(tC/day))	回収動力 (MWh/tC)
石炭燃料発電所からの 化学吸収法によるCO ₂ 回収	59,100 – 52,000	0.792 – 0.350
LNG燃料発電所からの 化学吸収法によるCO ₂ 回収	112,500 – 100,000	0.927 – 0.719

圧縮動力は別途考慮。建設単価、回収動力の幅は、時点に依存。出典: David and Herzog

- ◆ その他、燃焼前回収 (IGCC)、酸素燃焼発電も考慮
- ◆ 輸送、圧入コストについては、コスト低減は考慮せず
- ◆ 事前地質調査コストは考慮せず (基礎試錐データがあるA2の評価のみのため)
- ◆ モニタリングコストは考慮



その他の主な想定

- ◆ **新エネルギーのコスト低減：**
風力： -1%/yr、 太陽光： -3%/yr
- ◆ **人口想定： 1.27 (2010年)、 1.18 (2030年)、 1.01 (2050年) 億人**
(出典：国立社会保障・人口問題研究所 H14年中位推計)
- ◆ **一人当たりGDP成長率： +1.5 %/yr (2000-2050年)**
- ◆ **GDP当たりの最終エネルギー需要成長率： IPCC SRES B2**
- ◆ **最終エネルギー需要における長期価格弾性値：**
電力部門： -0.2、 非電力部門： -0.3
- ◆ **原子力設備容量上限値： 6185万kW**
(総合資源エネルギー調査会「長期エネルギー需給見通し」を参考に想定)
- ◆ **原子力発電の可変費： 2 ¢/kWh**
- ◆ **海洋隔離： 2020年以降**



貯留評価のためのシミュレーションケース例

◆ CO₂排出制約

Case 1: 2050年のGDP当たりのCO₂排出量 : 2000年比 1 / 2

Case 2: 2050年のGDP当たりのCO₂排出量 : 2000年比 1 / 3
(超長期エネルギー技術ビジョン(2005年10月)と同様の想定)

◆ 坑井 1 本あたりのCO₂圧入可能量

Case A: 50 万トンCO₂/year/well

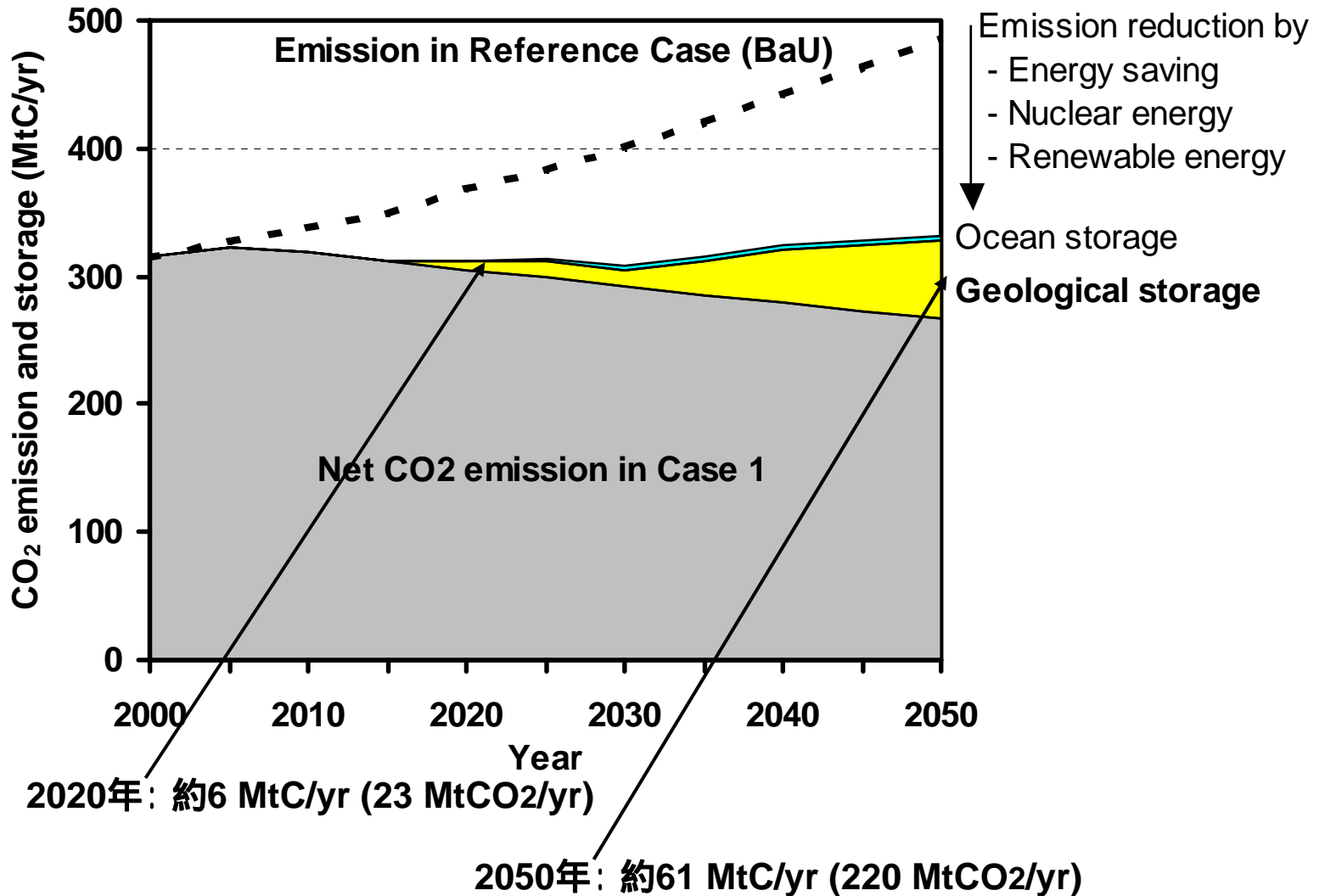
Case B: 10 万トンCO₂/year/well

Case 1-A	Case 1-B
Case 2-A	Case 2-B



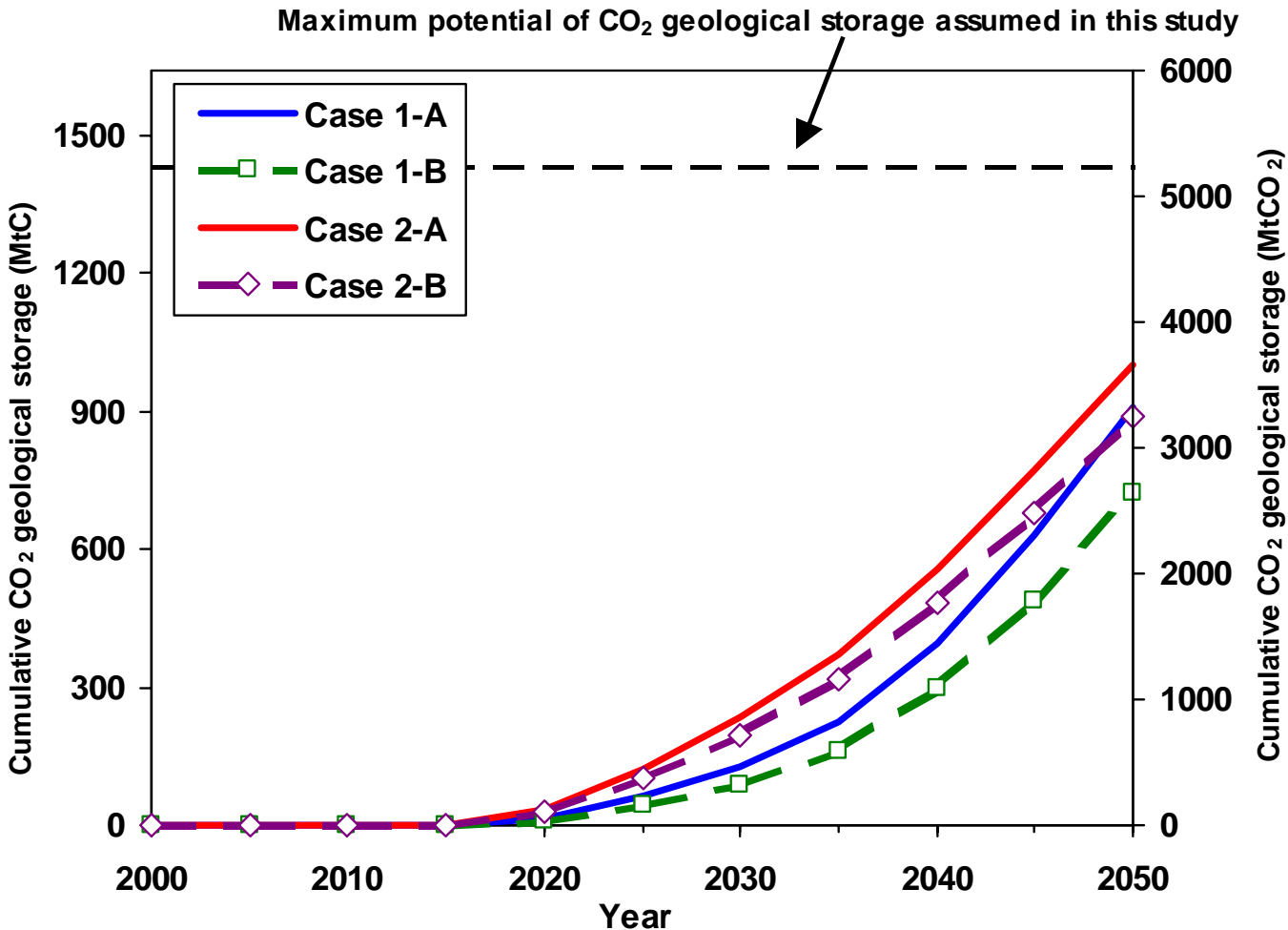
日本のCO₂排出量と貯留量推移

Case 1-A





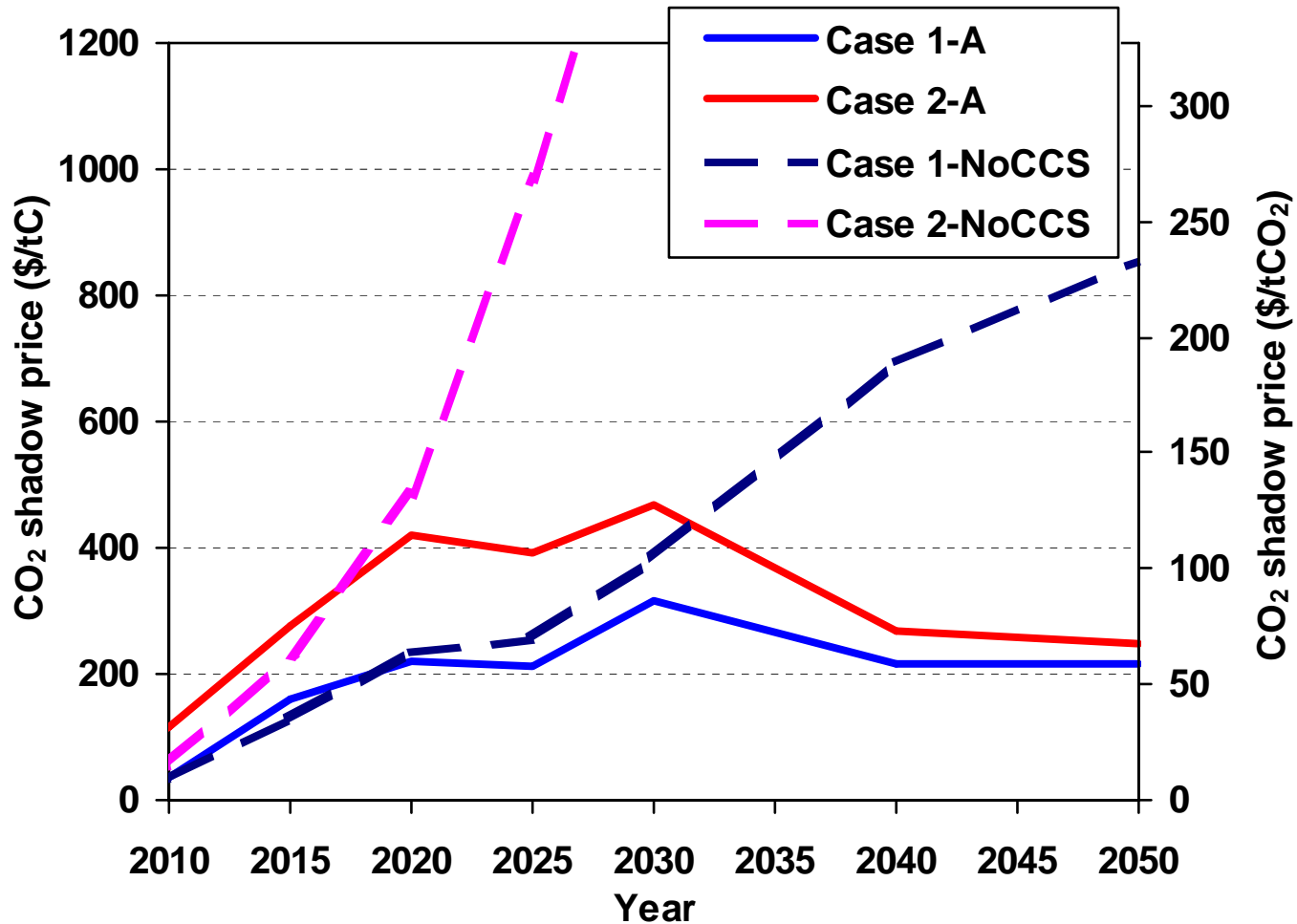
累積CO₂地中貯留量



- ◆ 想定した4つのケースは、若干違いはあるものの、4ケース共に、2050年までに、基礎試錐データがある構造的帯水層のポテンシャル（52億t-CO₂）の約半分は経済的



CO₂限界削減費用



- ◆ 貯留がないケースでは、年と共にCO₂限界削減費用が大きく上昇していく。



日本における地中貯留の経済性

- ◆ 新しい知見によれば、日本における貯留ポテンシャルは、構造的帯水層の基礎試錐データがあるものに限っても52億t-CO₂程度、帯水層全体では約1,500億t-CO₂もの量が見込まれる。
- ◆ 今回想定した排出削減目標下では、基礎試錐データがある構造的帯水層に限っても、52億t-CO₂の約半分程度は、2050年までに経済性を有する可能性がある。
- ◆ 現在、R I T E、経済産業省では地中貯留コスト低減のための技術開発を行っており、今後経済的なポテンシャルはさらに増加することが見込まれる。加えて、帯水層全体の試錐データなどが得られれば、その経済的ポテンシャルは極めて大きくなる。
- ◆ そのため、日本国内で排出削減を進める場合には、排出源と貯留層の位置関係、貯留層の規模を考慮しても、地中貯留技術はコスト効率的なオプションの一つであり、そのCO₂削減効果も大きい。
- ◆ 今後は、より安価に排出削減を実現するために、CO₂分離回収技術のコスト低減、輸送コスト低減を目的とした排出源と貯留層のマッチングのための排出源近傍の貯留層の検討等が重要である。