

# CCSが切り開く脱炭素社会

松岡 俊文

(公財)深田地質研究所 顧問

京都大学名誉教授

地球環境産業技術研究機構

2024年9月19日

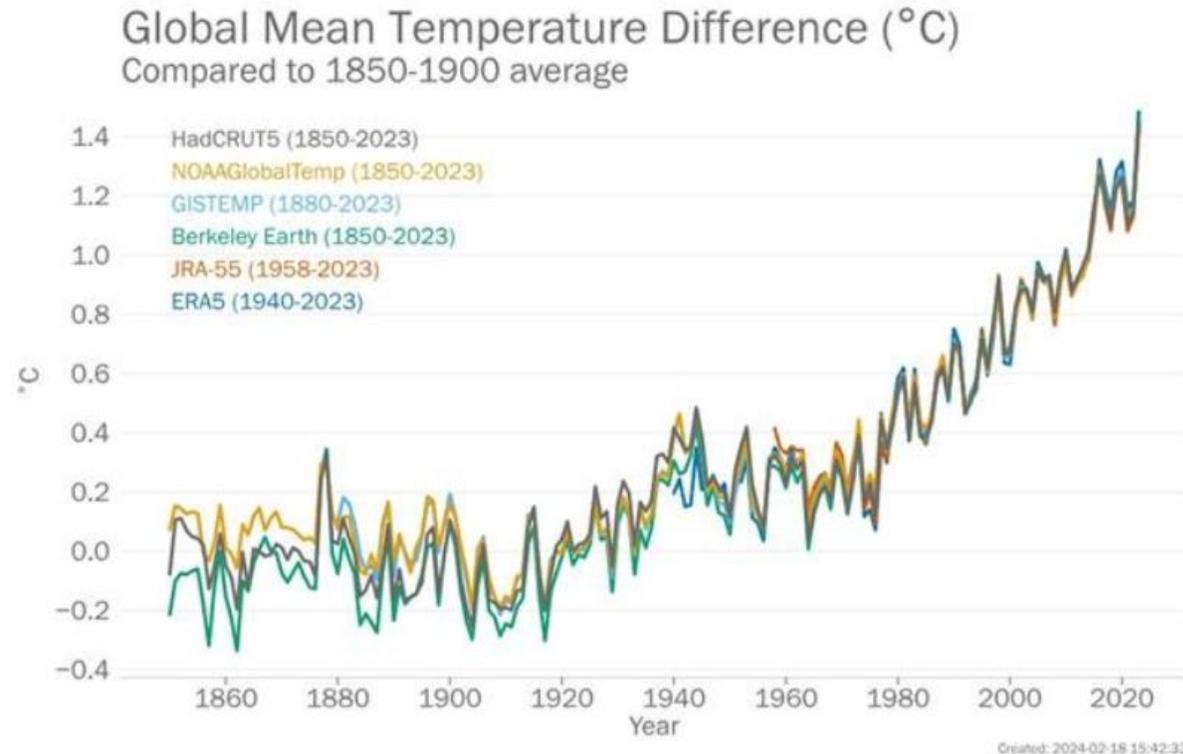
# 地球沸騰化の時代



1

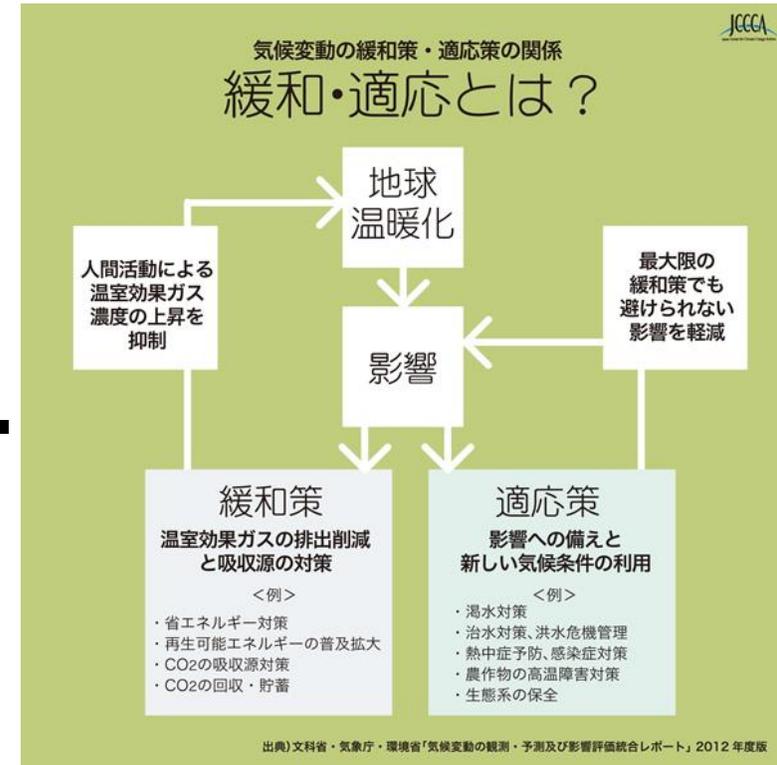
# 止まらない気温上昇

- 地球温暖化の時代は終わり、**地球沸騰化の時代**が到来。(国連事務総長 アントニオ グテーレス: 2023年7月27日)



# 温暖化への対策：適応策と緩和策

- **適応策**：気候変動に適応できる生活環境に変える（夜中もエアコン、熱中症予防対策、治水対策）
- **緩和策**：直接的にCO<sub>2</sub>の排出を削減する方策
  - エネルギー使用量の削減（省エネ）
  - 低炭素エネルギー源への転換（再生可能エネルギー・原子力発電所の利用）
  - **化石燃料 + CCS**（今日のお話）



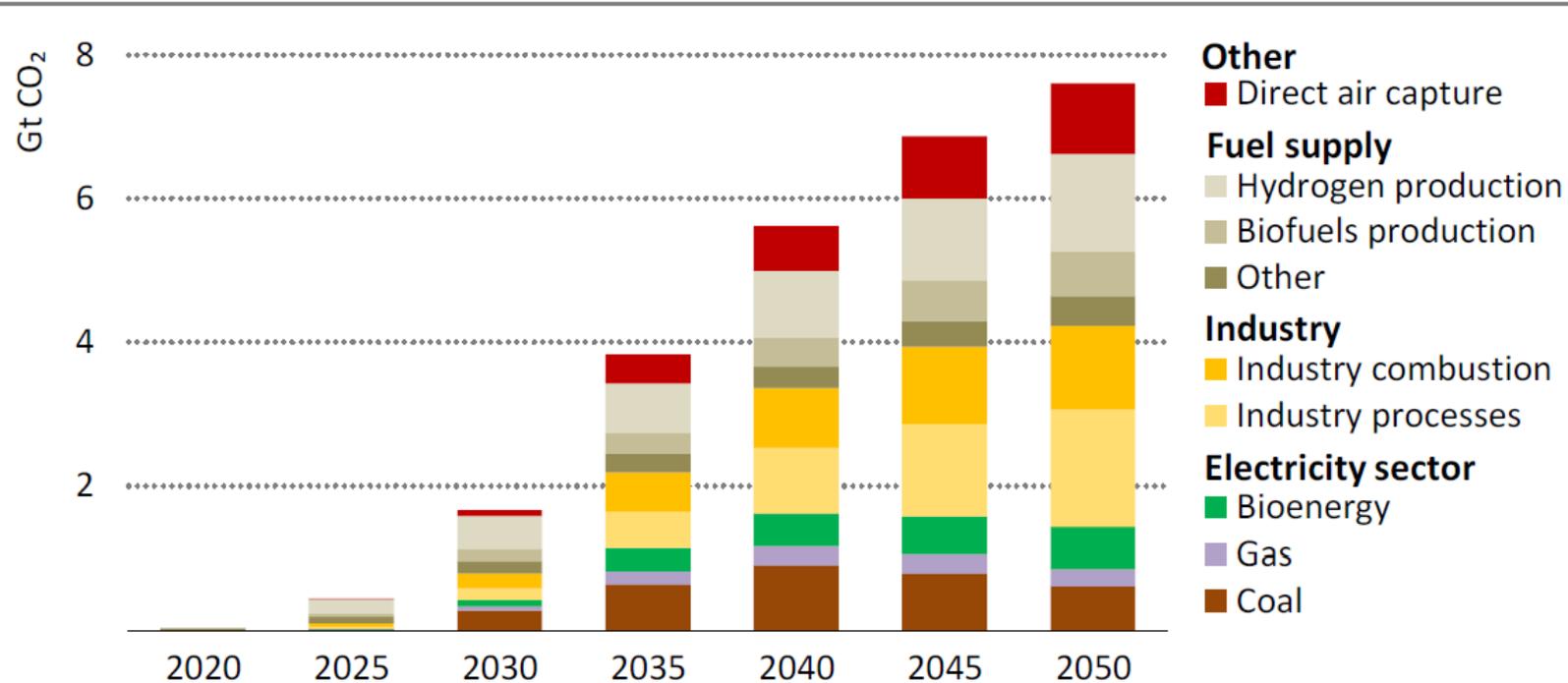
# IPCCの報告書は人類の希望

IPCC報告書	年次	温暖化に対する人間活動の影響
第1次報告書	1990年	気温上昇を生じさせるだろう
第2次報告書	1995年	影響が全地球の気候に表れている
第3次報告書	2001年	可能性が高い(66%以上)
第4次報告書	2007年	可能性が非常に高い(90%以上)
第5次報告書	2013年	可能性がきわめて高い(95%以上)
第6次報告書	2021年	疑う余地がない

- 地球温暖化の原因は、**自然現象**(例:太陽から地球に届くエネルギー量が増えた)**ではなく、人間活動に伴う化石燃料の利用方法が原因**
- 言い換えれば、温暖化は止められる(**脱炭素化で回避可能なリスク**)

# 2050年におけるCCCSへの期待(76億トン)

**Figure 2.21** ▶ Global CO<sub>2</sub> capture by source in the NZE



IEA. All rights reserved.

*By 2050, 7.6 Gt of CO<sub>2</sub> is captured per year from a diverse range of sources. A total of 2.4 Gt CO<sub>2</sub> is captured from bioenergy use and DAC, of which 1.9 Gt CO<sub>2</sub> is permanently stored.*

# CCSの社会実装とその産業化の必要性

2



# 米国のCCS産業育成目標：2050年10億トン/年 日本の約10倍規模を同じ時間スケールで達成する計画

## Rapid CCS industry growth for decarbonization



North Dakota CarbonSAFE



CarbonSAFE Project ECO2S, Mississippi



Wyoming CarbonSAFE Project



Illinois Basin CarbonSAFE Project

# ExxonMobil社によるメキシコ湾での大規模CCS計画

## ● プロジェクト概要：

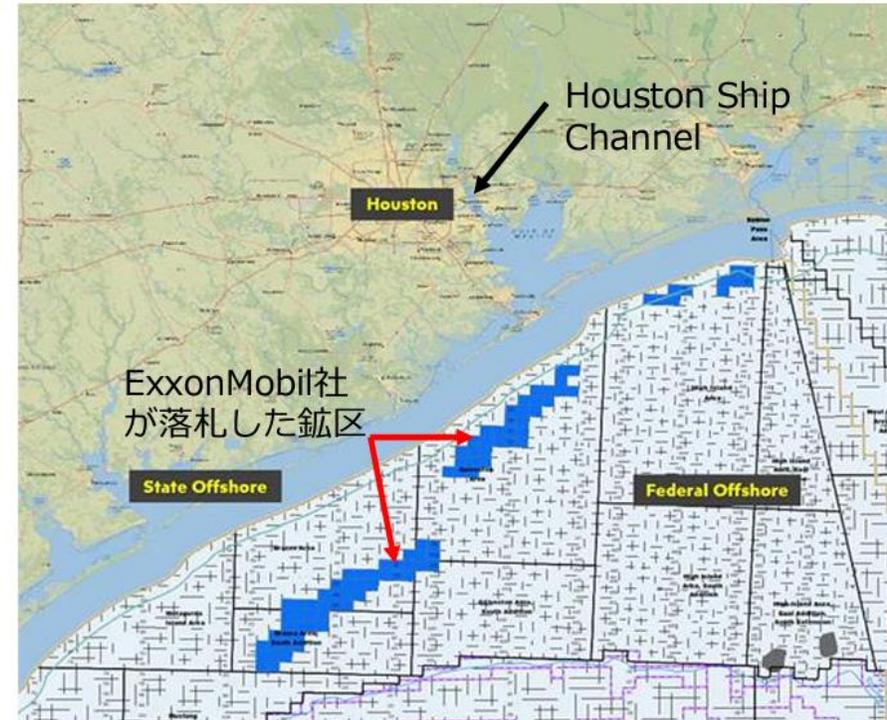
- 米ExxonMobil社による石油化学、製造、発電設備事業で排出されるCO<sub>2</sub>を回収し、メキシコ湾海底下の地層中に貯留するCCSハブ構想

- CO<sub>2</sub>圧入量（想定）：5000万トン/年（～2030年）、1億トン/年（～2040年）

- プロジェクト規模（想定）：1000億米ドル（15兆円）

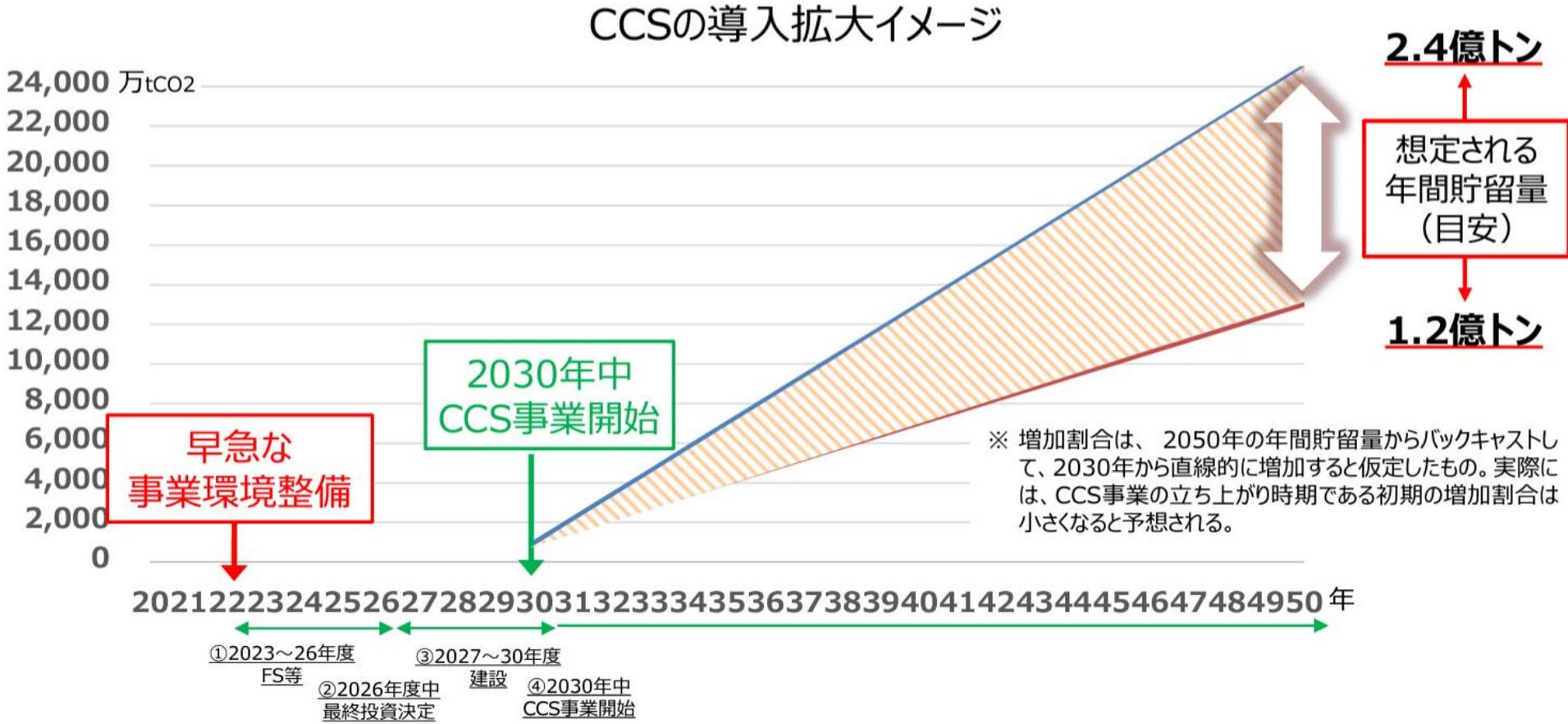
## ● スケジュール：

- 2021年4月：米ExxonMobil社は、CCSハブ構想を発表
- 2021年9月：Houston Ship ChannelにCO<sub>2</sub>排出施設を所有する10社（Calpine, Chevron, Dow, Ineos, Linde, LyondellBasell, Marathon Petroleum, NRG Energy, Phillips 66, Valero）が構想に関心を表明
- 2021年11月：米ExxonMobil社は、浅海域94鉱区を落札（CO<sub>2</sub>貯留に利用するために取得したものと考えられている）



(Offshore Magazine: <https://www.offshore-mag.com/regional-reports/us-gulf-of-mexico/article/14215064/hernandez-analytica-future-lease-sales-may-include-more-offshore-carbon-capture-bids>)

# 経済産業省が描いている貯留量の推移



出典：経済産業省、CCS長期ロードマップ検討会最終とりまとめ、令和5年3月

# CCS産業を確立するために必要な政策

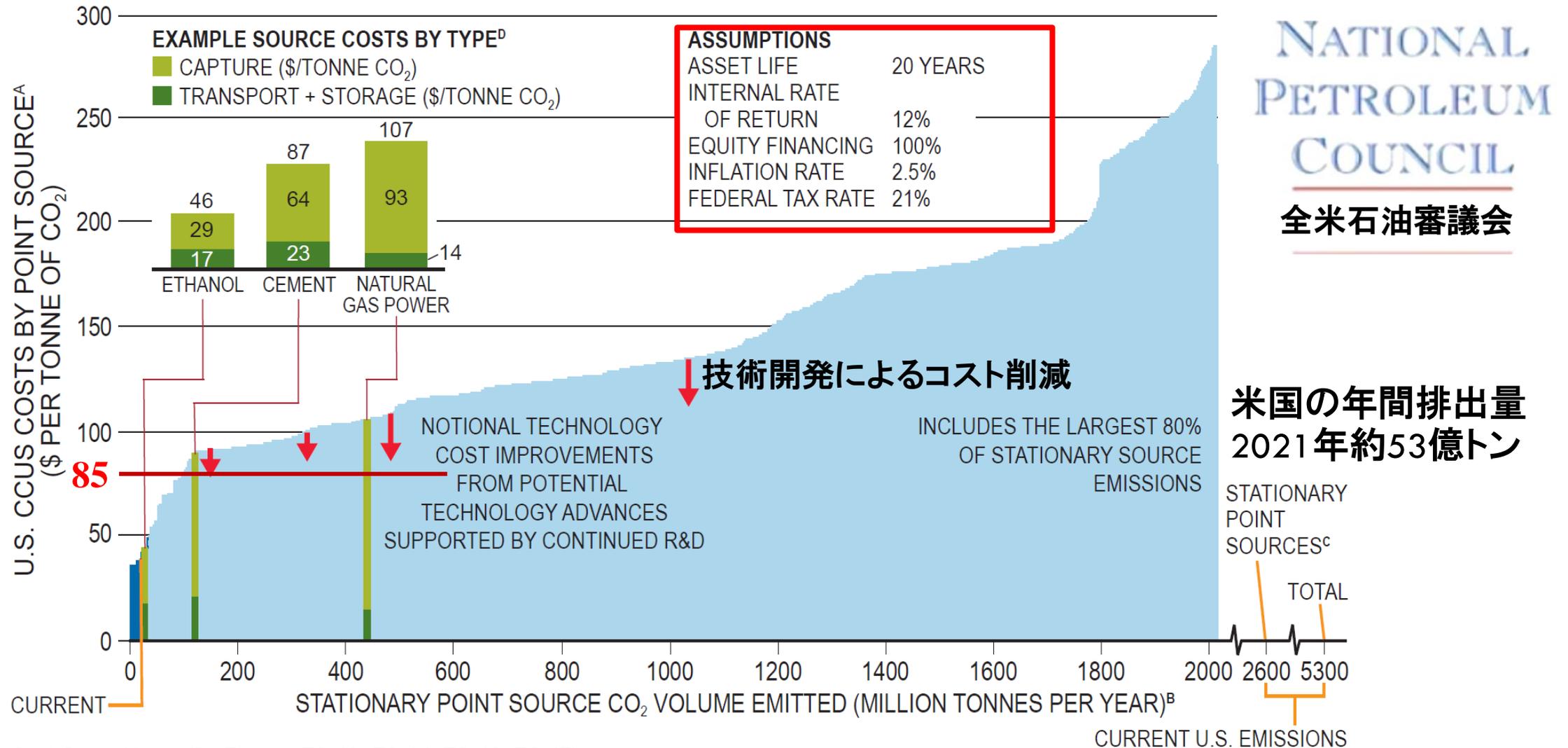
- **テクノロジープッシュ政策**（技術基盤構築の為の政策）
  - 技術開発・プロジェクトへ補助金を出し、CCS産業の基礎を作り上げる
  - **補助金・税額控除**（米国の45Q）
- **マーケットプル政策**（産業が必要なマーケットを作る政策）
  - **カーボンプライシング**の政策により、**市場はそれに反応し排出量を削減する**
  - **炭素税**（欧州）あるいは**排出権取引**（EUやカリフォルニア州のLCFS制度）

# 米国でのテクノロジープッシュ政策：45Q

- 2022年8月に米国議会は、45Q税額控除の改正をインフレ削減法の一部として可決した。
- 米国連邦政府のCCSに対する**テクノロジープッシュ政策**と言える。
  - CCS: \$85/トン      CO<sub>2</sub>-EOR/EGR: \$60/トン      12年間の税額控除
  - DAC+ CCS: \$180/トン      DAC+CCU: \$130/トン(新設)
- この権利は第三者に譲渡可能。
- 事業者は実際に必要となったコストには関係なく、事業が実現できれば、満額の税額控除が受けられる。
- 85 \$ /トン の設定は**絶妙な設定**の様に思われる。

# 米国におけるCCSのコスト見積もり

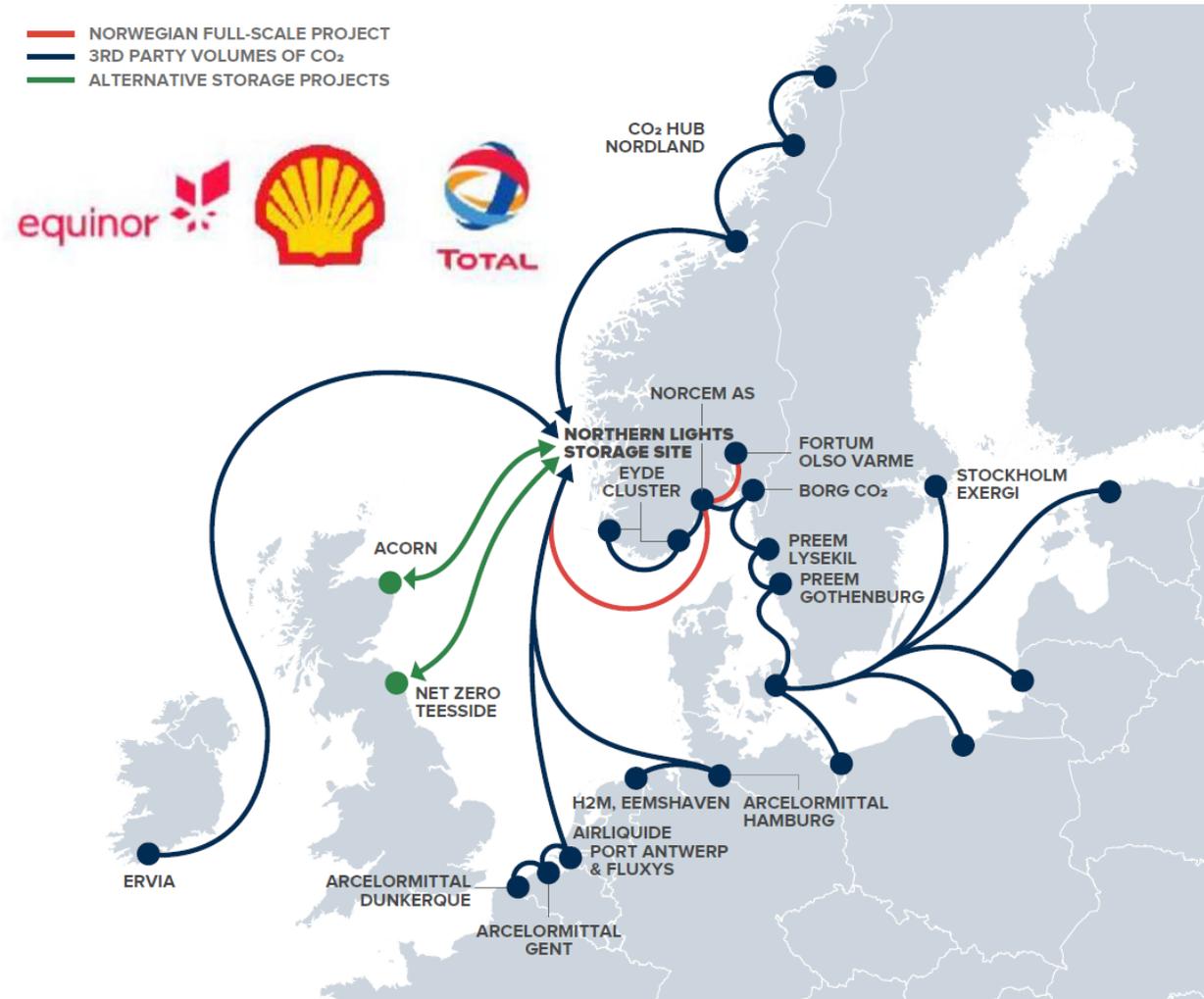
出典: A Roadmap to At-Scale Deployment of CARBON CAPTURE, USE, AND STORAGE 2019



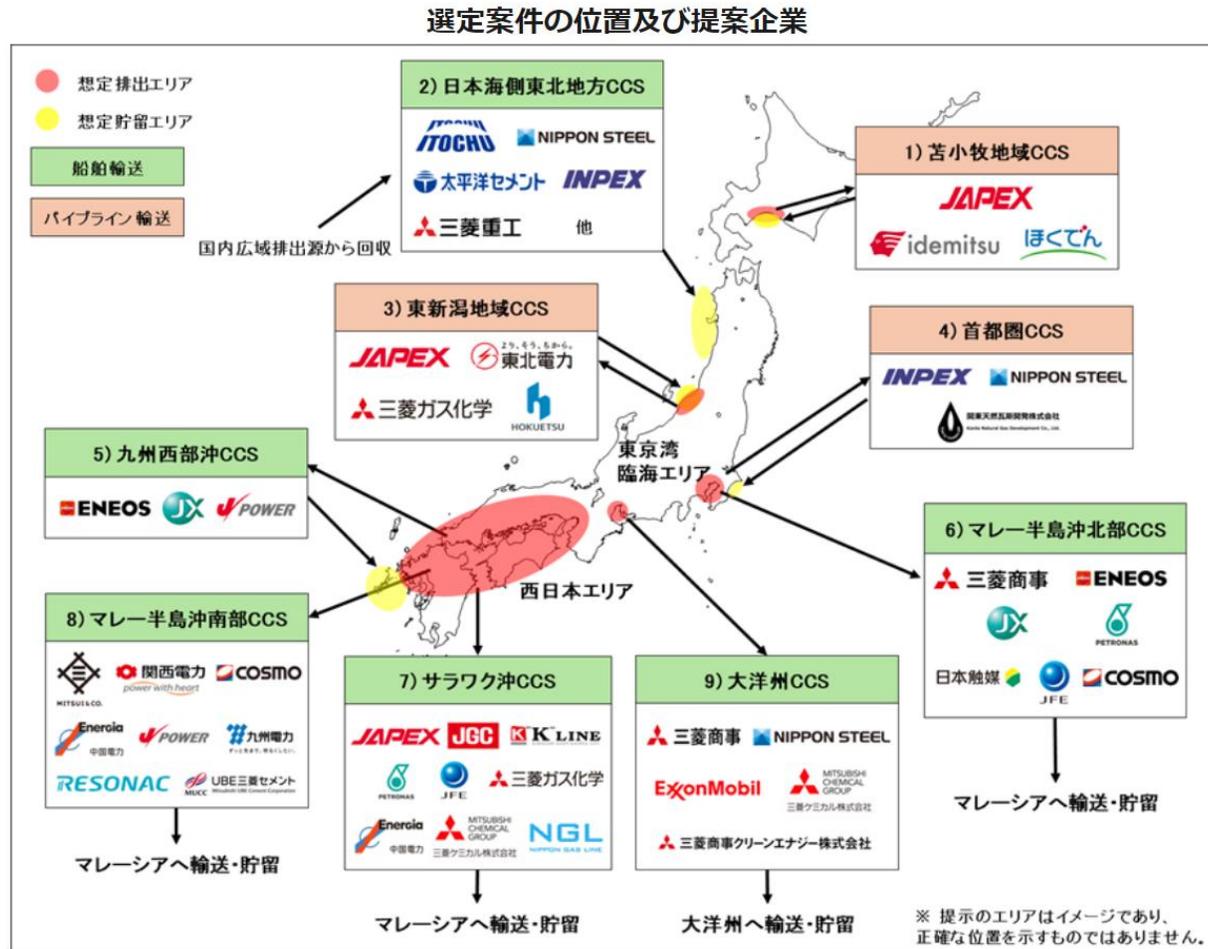
Cost Curve Notes (for Figures ES-13, ES-14, ES-16, ES-17):

# CO2輸送・貯留サービス会社 Northern Lights Project (Longship Project)

- 北欧最大級の輸送・貯留サービス事業
- Equinor、Shell、TotalのJVが輸送・貯留
- 欧州の350社が潜在顧客
- ノルウェー政府が総事業費の約8割に当たる168億クローネ(約3240億円)を補助
- 2024年から150万t/y圧入開始し、最大500万t/yまで拡張予定。排出源: NorcemのセメントプラントとFortum Oslo Varmeの廃棄物焼却処理場
- 将来は1t当たり30~55ユーロ(約3900~7160円)で輸送・貯留を請負う予定
- 削減クレジットは排出業者に帰属



# 我が国におけるテクノロジープッシュ政策



令和6年度「先進的CCS事業の実施に係る調査」に選定した案件の概要（以下、北から南に記載）

# 我が国におけるマーケットプル政策

- 経済産業省による排出権取引の検討が始まっている
  - ▣ カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会（2021年12月に開始）
  - ▣ 2022年9月～23年1月：J-クレジットの市場機能に関する取引実証
  - ▣ 排出量取引制度（GX-ETS）（2023年4月から第1段階を開始）
  - ▣ GX-ETSとは、GXリーグにおける自主的な排出量取引を行う市場で、排出量が多い企業が排出量の少ない企業から排出権を購入したり、自社で排出量を削減したりすることで、排出量を削減する仕組み
- 詳細な制度設計に向けた試験的な排出権取引を始めた

---

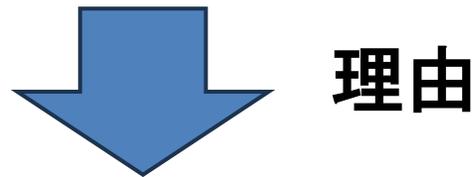
# CCS事業を支える技術



3

# 何故CO<sub>2</sub>の量は重量で議論されるのか

- 通常流体(原油・都市ガス・水道量)は、**体積**で計測されている
  - (bbl)バーレル m<sup>3</sup>(立法メートル)
  - しかしながら、CO<sub>2</sub>は流体にもかかわらず重量で議論される
  - 例: CCS削減量の目標、毎年1.2億トン



- CO<sub>2</sub>は**温度・圧力で体積(密度)が大きく変化する(相転移を起こす)**
- **重量での計量は石油業界などではなじみがなかった**

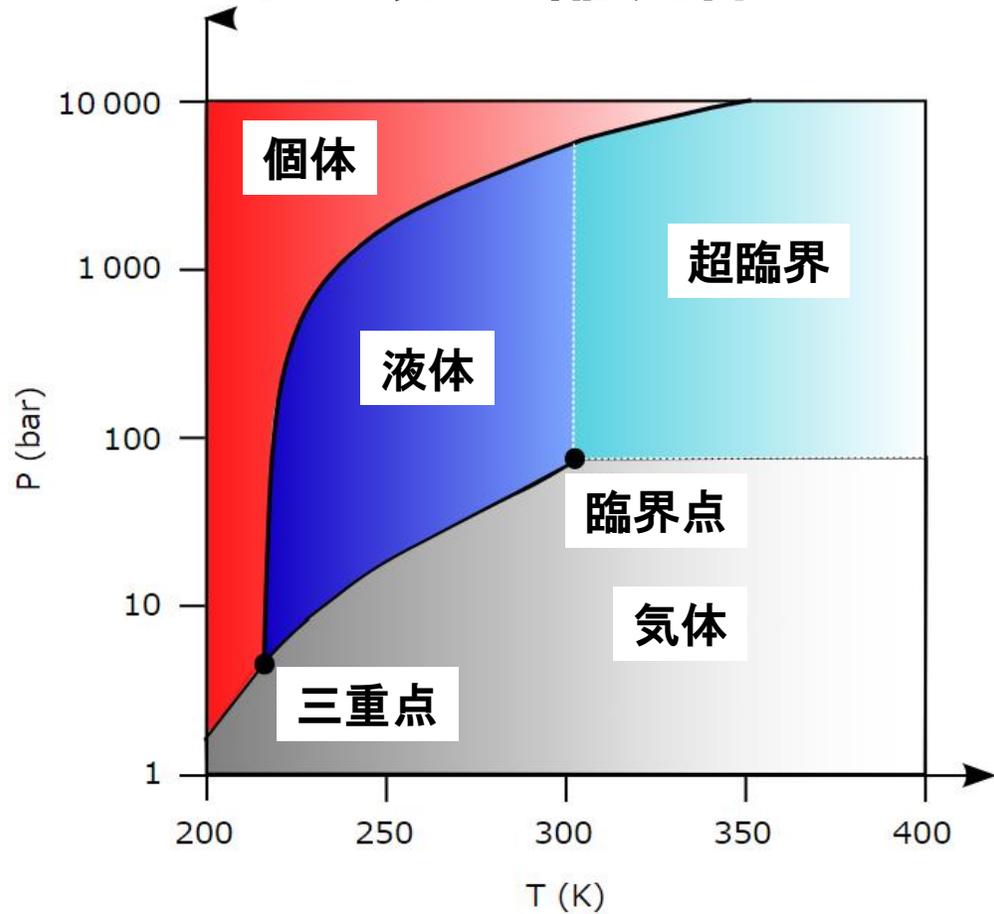
# CO<sub>2</sub>を重量で測るには

流れている流体の単位時間分の重さを知るのは簡単でない

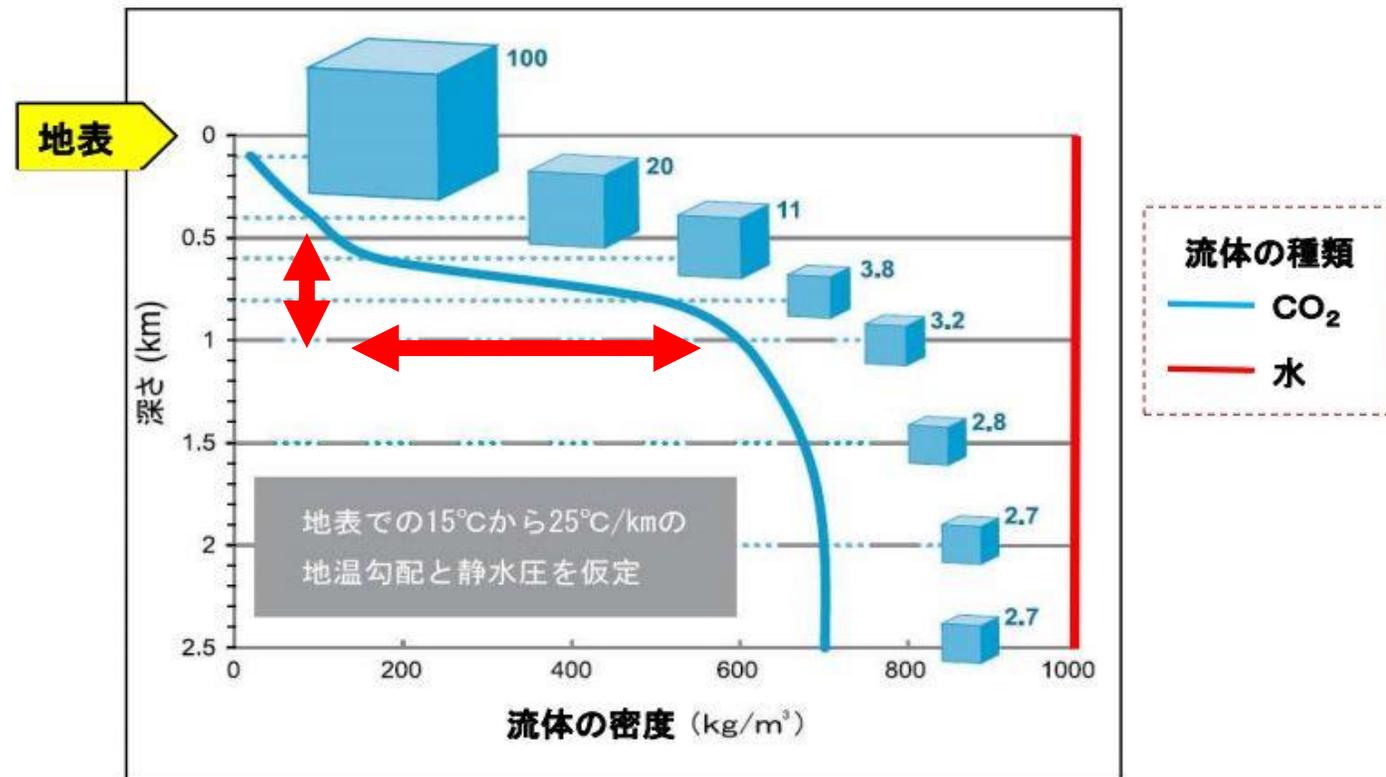
- パイプラインで送られてきたCO<sub>2</sub>の**流速**を計測する
- パイプラインの径を考慮して、**流量**に変換する
- 重量を知るには密度が必要になる。CO<sub>2</sub>の場合にはさらに、**温度と圧力を計測**し、CO<sub>2</sub>の状態を知って、**密度を状態方程式**から求める
- **流量と密度を掛けて**、CO<sub>2</sub>の**重量**を推定する
- そもそもCO<sub>2</sub>の重量は正しく計測できるのか？誤差はどのくらいか？
- CO<sub>2</sub>量は、NDC(Nationally Determined Contributions)に報告されたり、排出権取引に使われるため、単純な商取引での計量とは違った面もある

# 温度圧力で密度は大きく変化する

□ 水は非圧縮流体だが、CO<sub>2</sub>の密度は圧力により大きく変化する



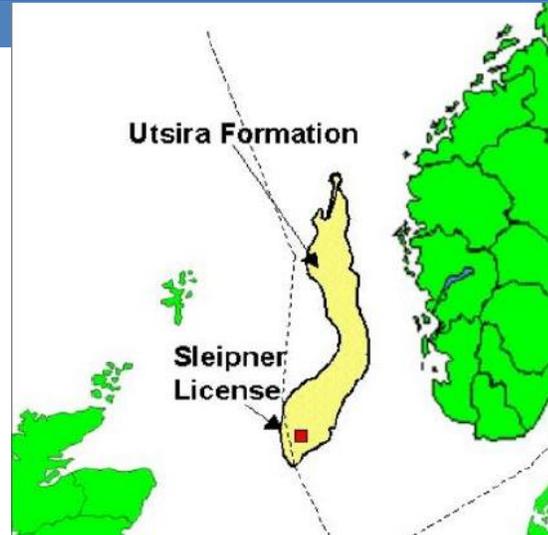
From Wikipedia



[http://www.e-jesa.or.jp/jesa\\_blog/jesa\\_blog\\_article\\_5/blog\\_article\\_90.html](http://www.e-jesa.or.jp/jesa_blog/jesa_blog_article_5/blog_article_90.html)

# 大規模CCS事業の例 Sleipner

## 1996年に開始された世界初の大規模帯水層貯留

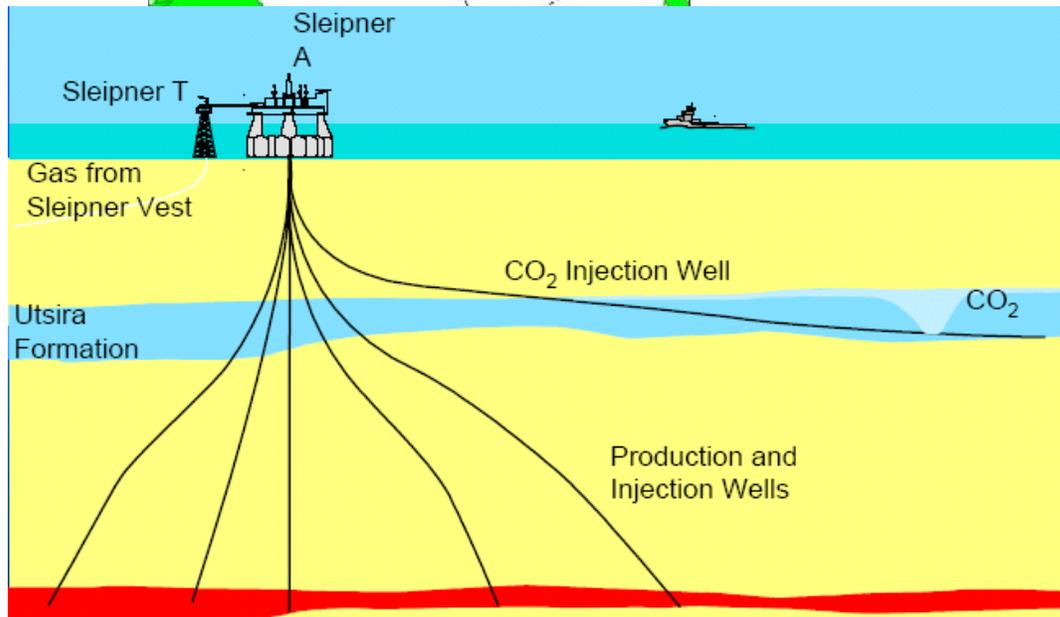


事業主: Equinor

年間圧入量 100万トン

CO<sub>2</sub> ガスの生産に伴う随伴ガス

環境税の回避目的(税額は約420クローネ(約60ドル))

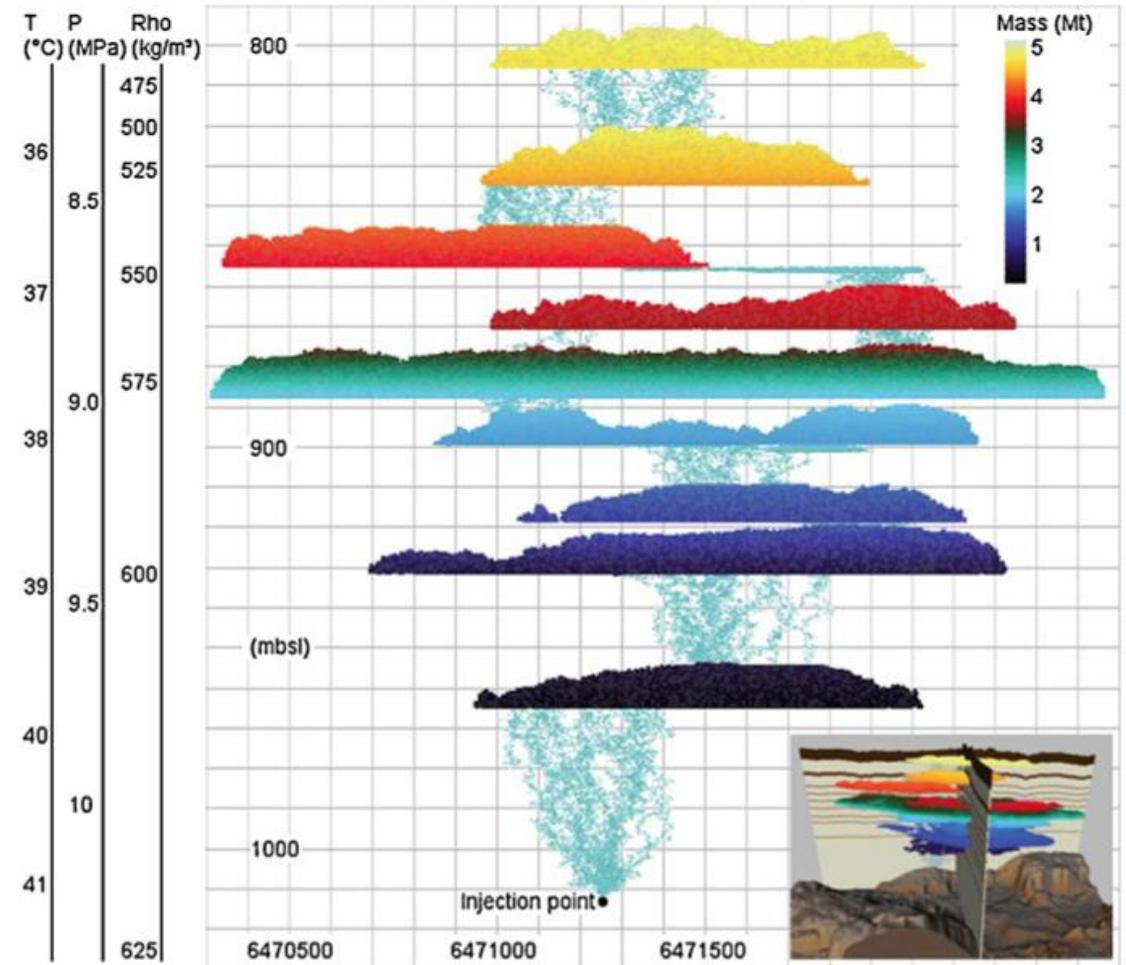


# Slipnerにおける貯留層内での状態変化

- Slipnerでの貯留層はちょうど相変化が生じる領域に圧入してしまった。
- ダルシー則に従えば、浸透率は粘度の逆数に比例するので、最も単純に考えると、この場合、浸透率は約1.55倍変化する

温度	圧力	密度	弾性波速度	音響インピーダンス	粘度
°C	MPa	Kg/m <sup>3</sup>	m/s		cP
35	8	416.1	181.3	75,300	0.029
41	10	606.6	258.5	156,000	0.045

(NISTより)



from: Cavanagh & Haszeidine (2014)



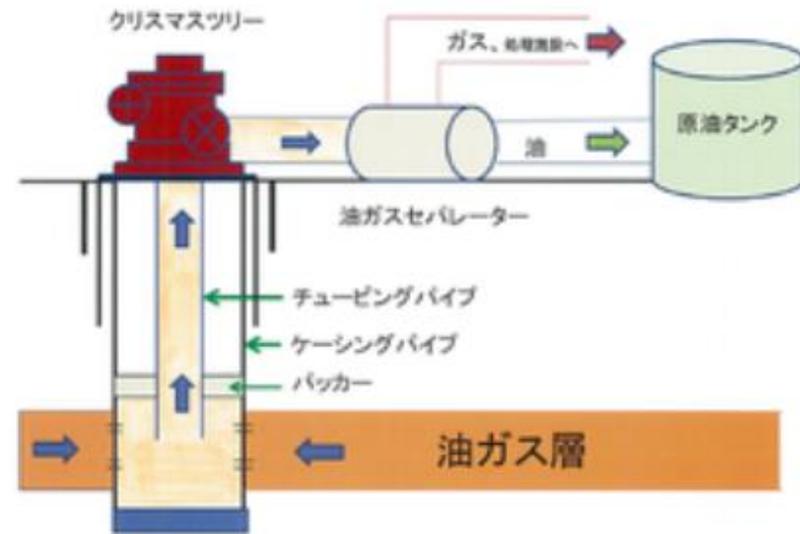
# CCSにおける貯留層の価値

	石油鉱業	CCS事業
貯留層の持つ価値	貯留層内に存在する炭化水素に価値がある	CO <sub>2</sub> の容れ物として価値がある
地質調査の目的	石油が集積している特別な場所を見つける	CO <sub>2</sub> が安全に圧入できる大きな(圧入し易い)帯水層を排出源近傍で見つける
貯留層の価値向上技術	生産手法の管理により経済価値を高める増進回収法(EOR)などの利用	貯留層全体を最大限に利用圧入効率が向上する技術開発、貯留空間を無駄なく利用する坑井配置の技術

# 地層にCO<sub>2</sub>を効率よく流体を圧入する技術

- 坑井は鉄管で保護されており、穴をあけて、地層と坑井を導通させる
- どこにどのように穴を開けたらよいか(パーフォレーション)?
- なるべく多くの穴を開けると、浸透率の高い地層が選ばれて入って行く

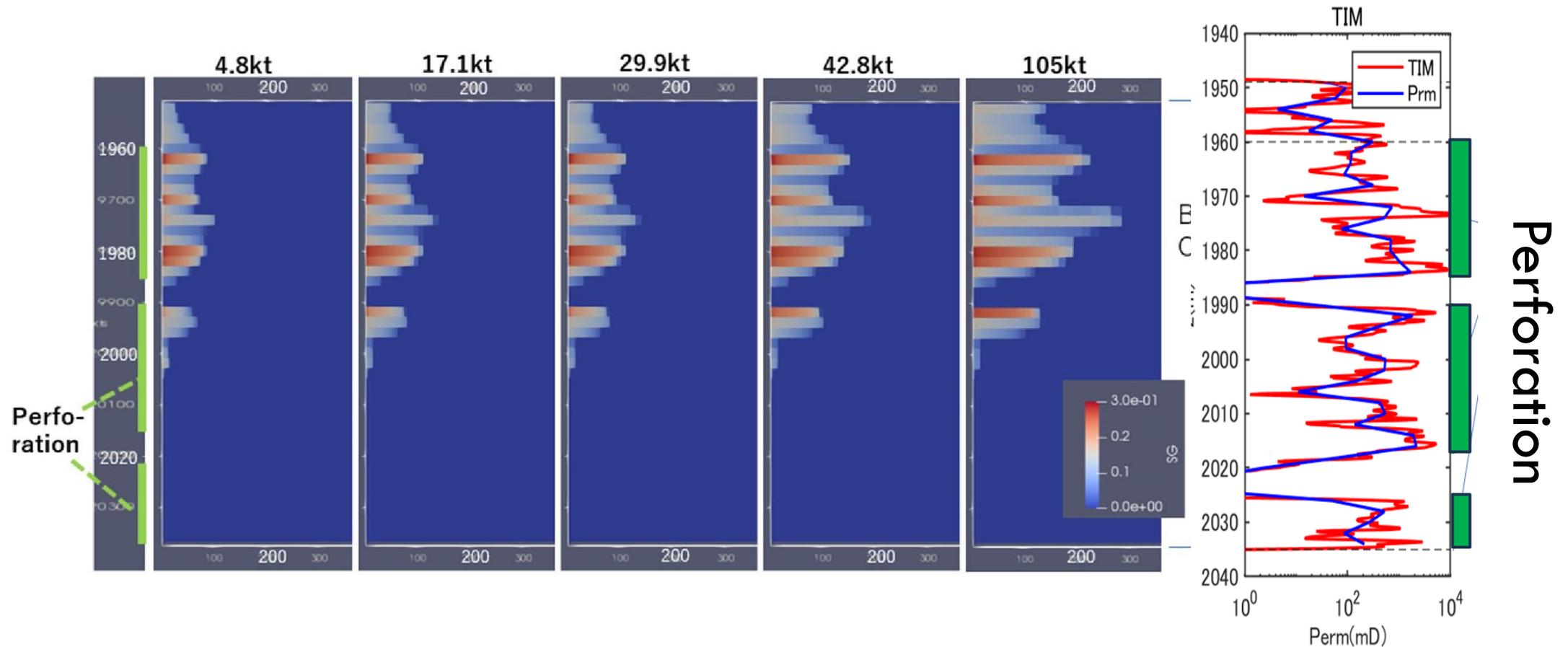
- これは大きな誤解です
  - (但し、生産するときは正しい)

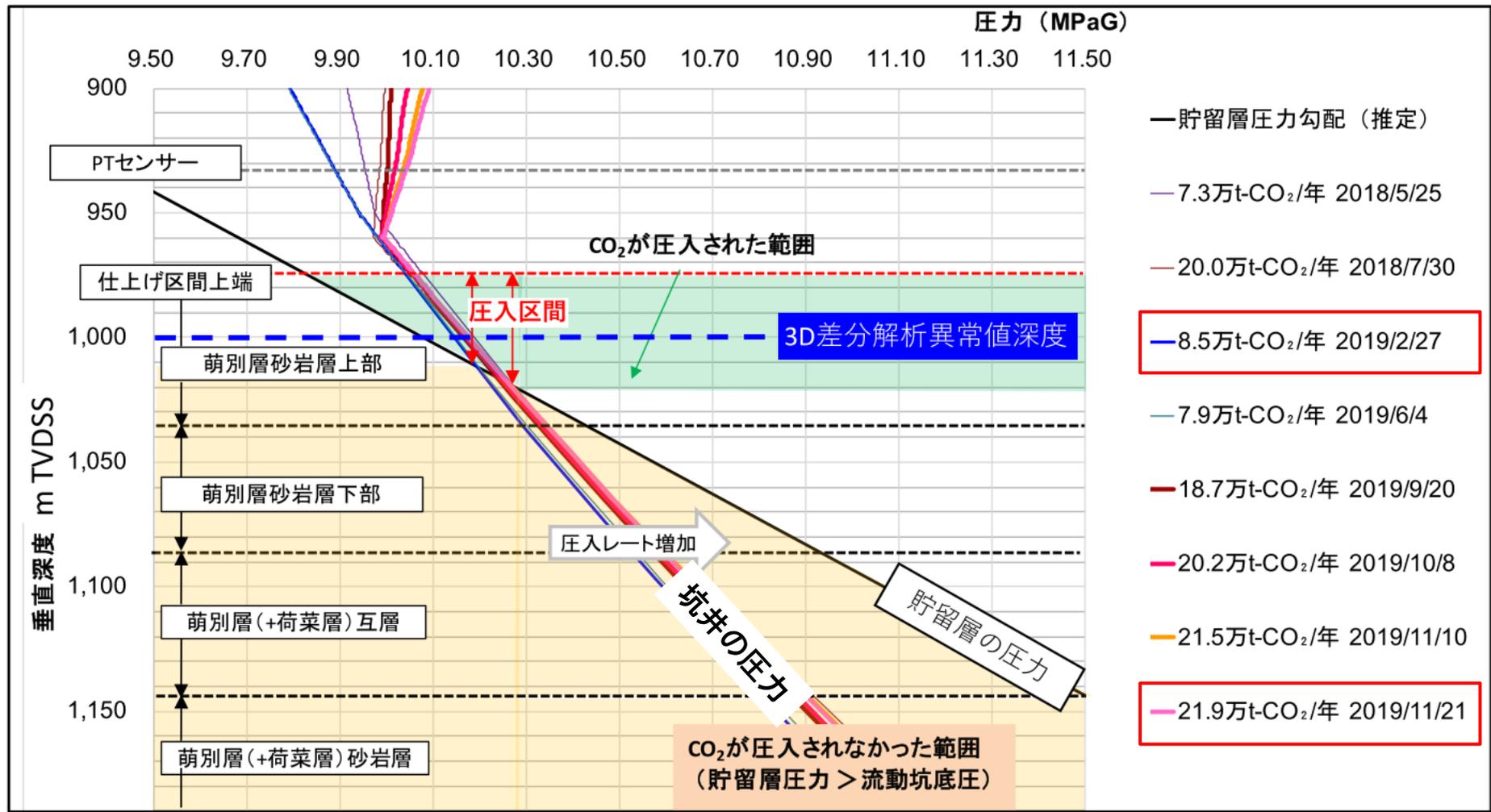


石油・天然ガスの生産

# 圧入深度と仕上げ区間の慎重な選択が必要

- 仕上げ区間深部に高透水層が存在しても、圧入されていない。





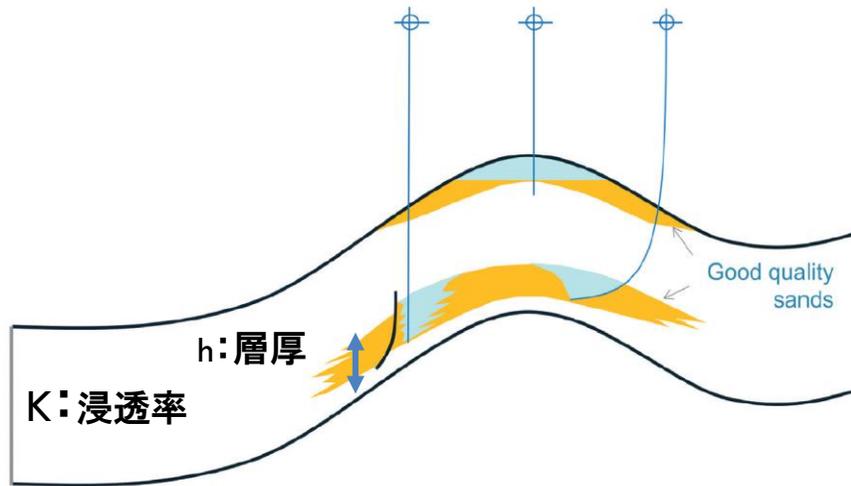
注) mTVDSS : 海水面からの垂直深度。

注) 圧入中に貯留層に加わる圧力は、圧入中の地上の温度・圧力と PT センサーによる温度・圧力値を基に、管内流動シミュレーションにより推定した圧力勾配を、貯留層内に延長して推定。圧入中に PT センサーの温度圧力値が安定した期間のものを抽出して検討。

図 3.3-5 萌別層圧入井 IW-2 におけるの圧入区間の推定

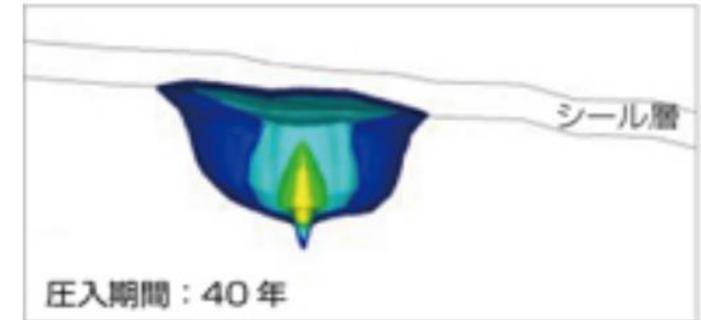
# CCSにおける貯留層の価値の向上

- CO<sub>2</sub>の入れ物として貯留層空間を最大限に利用する工学的な技術開発が必要
- 水平坑井の利用・CO<sub>2</sub>に対する浸透率を高める工夫(マイクロバブル・ナノ粒子など)



圧入場所は貯留層の最下層から水平坑井などを利用して利用領域の向上が必要

以下に加筆  
[https://www.ta-isei.co.jp/giken/report/2008\\_41/intro/C041\\_003.htm](https://www.ta-isei.co.jp/giken/report/2008_41/intro/C041_003.htm)



断面図 (CO<sub>2</sub> 飽和度)

# 日本においてCCS産業は育つか



4

# 今日学んだこと

- 温暖化は止まらず、地球は燃えている
- 温暖化には緩和策が適用でき、温暖化のリスク回避は可能
- CCSは、大量に、直接的に、経済的にCO<sub>2</sub>を削減できる
- 2050年の削減目標：世界76億トン・米国10億トン・日本で2億トン
- 大量のCO<sub>2</sub>削減にはCCS産業を作り上げる必要がある
- 世界は色々な政策を実施で、ニュービジネスモデルを模索中
- バリューチェーンが非常に大きい(分離回収・輸送・貯留)
- 技術的には石油工学の単純な適用ではない

# 日本はCCS産業を作り上げるに適しているか

- ユーザー(排出源)が多く存在する
- CCSには、貯留層(堆積盆地)があれば良い
  - 経産省の現在までの適地調査の結果、160億トンのサイトを推定
- 堆積盆地は堆積層が厚ければ、新しい方が良い
- 石油工学は基礎ではあるが、単純な技術転用ではない
- 大きな石油産業が無くても良い
- 新しい工学体系が求められる
- **日本はCCS産業を創り出すのに適した環境にある**

**ご清聴ありがとうございました**

