

地球・人間環境フォーラム バイオマス国際アクションデー連携ウェビナー  
「BECCS（バイオエネルギー＋炭素回収貯留）でネガティブエミッションは実現可能か？－日本  
の文脈と事例から考える」

# 日本にとってCCSとは

## What role CCS has for Japan?

2024年10月21日

(一社)共生エネルギー社会実装研究所 所長・東京農工大学名誉教授

ほりお まさゆき

堀尾正靱

専門：化学工学、環境・エネルギー学

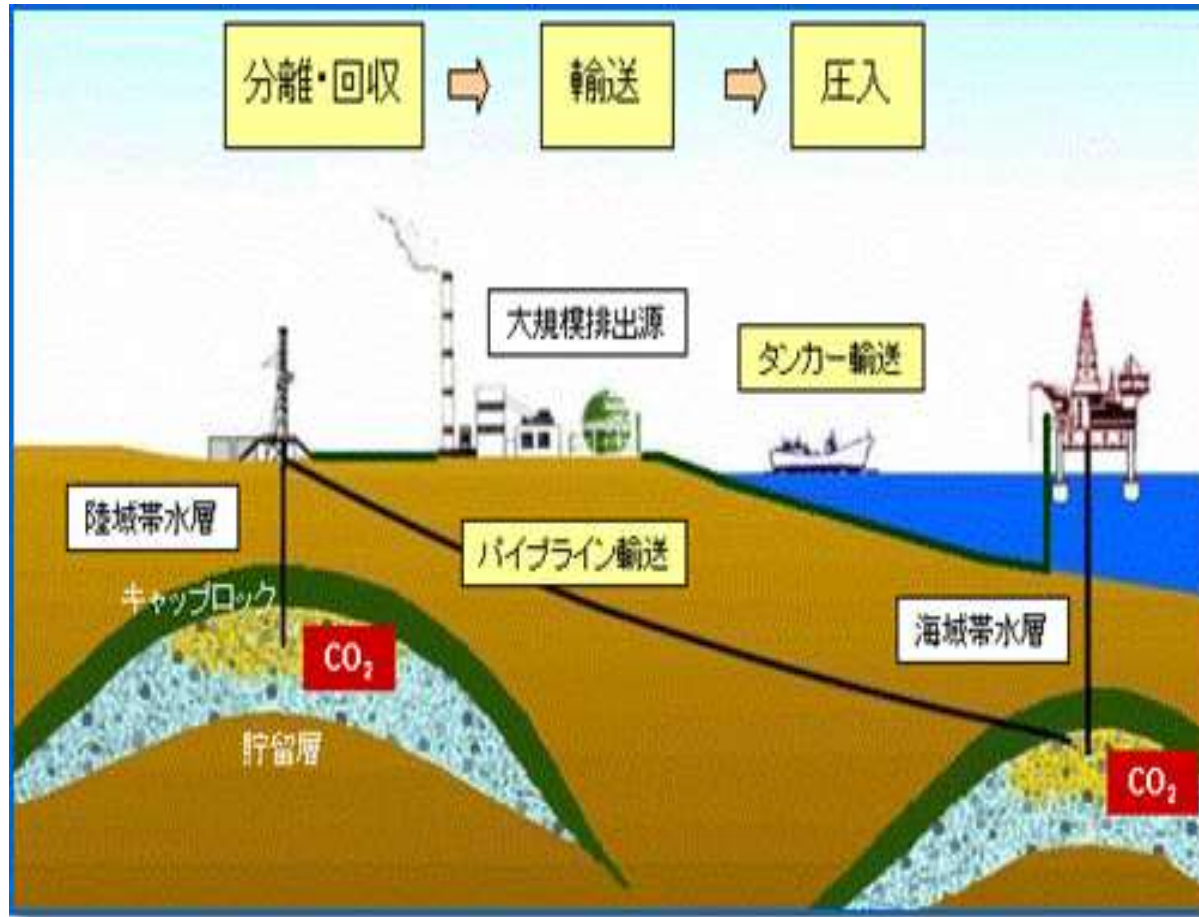
# **I. CCSとは**

**Carbon Capture and Storage; CO<sub>2</sub> 分離回収貯蔵**

## **I-1 CCSとCO<sub>2</sub>貯留**

# CCSの起源＝EOR

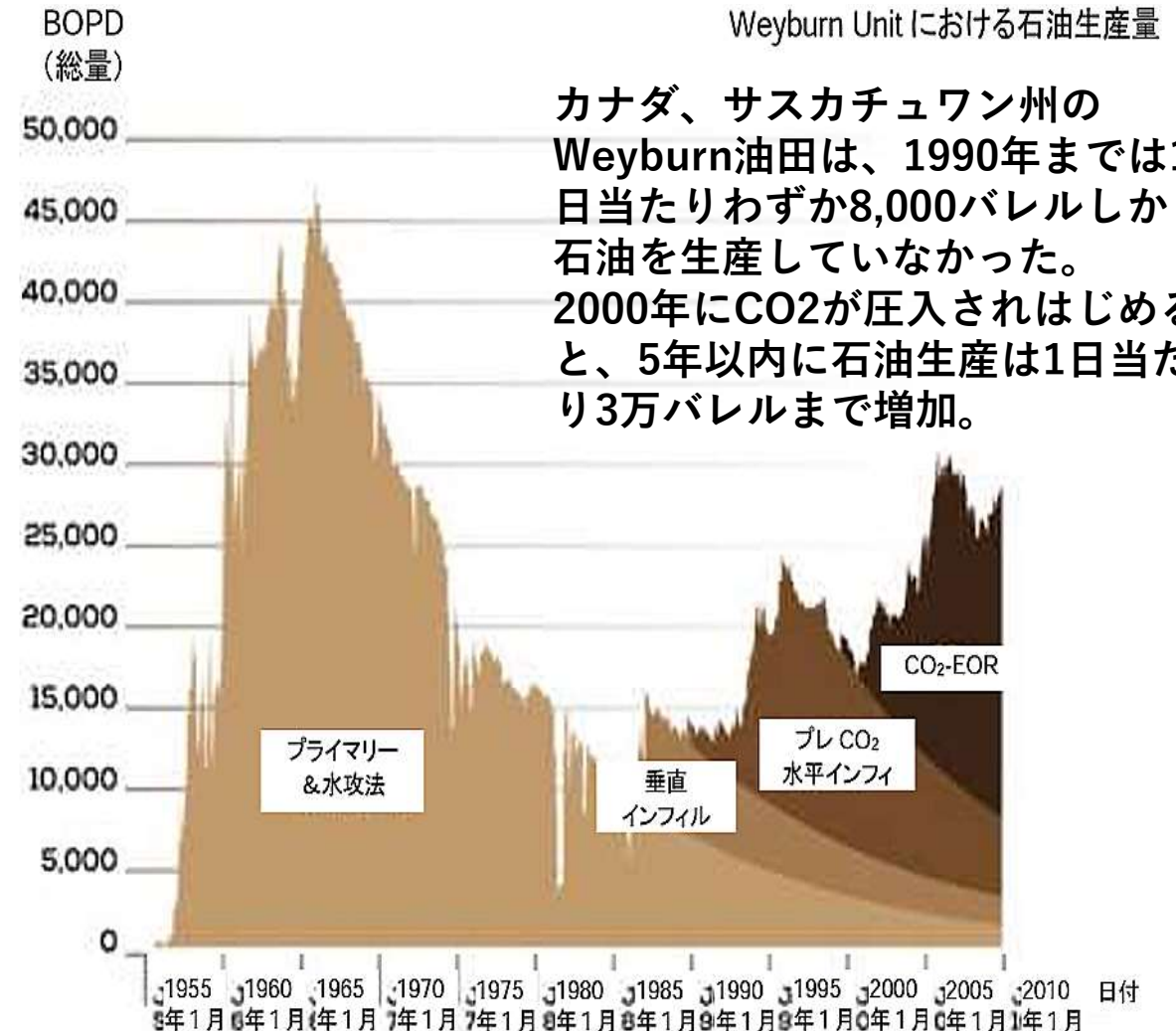
## EOR (enhanced oil recovery)



### 帯水層貯留の概念図

出典：公益財団法人地球環境産業技術研究機構

「CO<sub>2</sub>地中貯留プロジェクト」



石油技術開発センター（PTRC）（カナダ）

<https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/196093/co2-stored-underground-ieaghg-weyburn-midale-co2-monitoring-storage-project-japanese.pdf>

# 日本：工業地帯直近の貯留可能性はすでに検討された が・・・

## 2005 CCS報告書 (RITE) 表 2.3-2 各地域の理論的最大貯留可能量

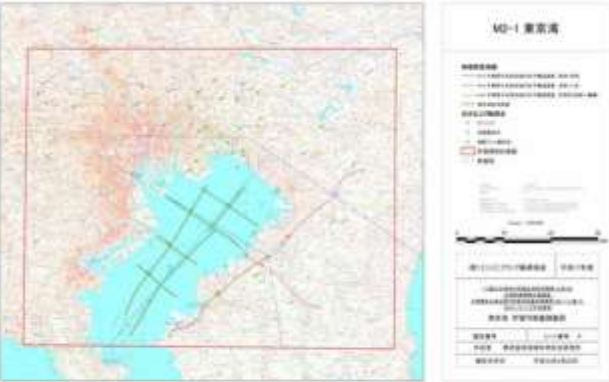


図 2.4-17 東京湾貯留可能量調査図

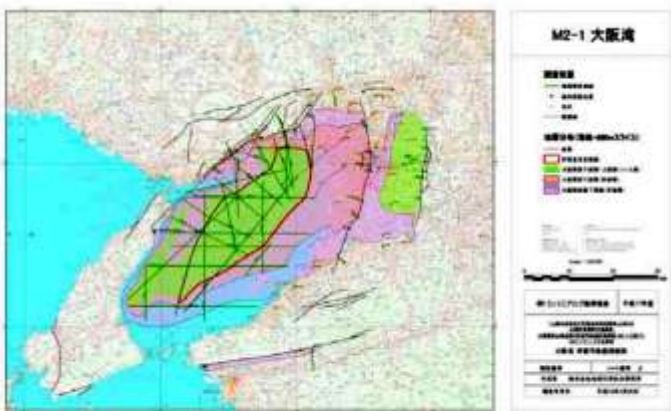


図 2.4-15 大阪湾貯留可能量調査図

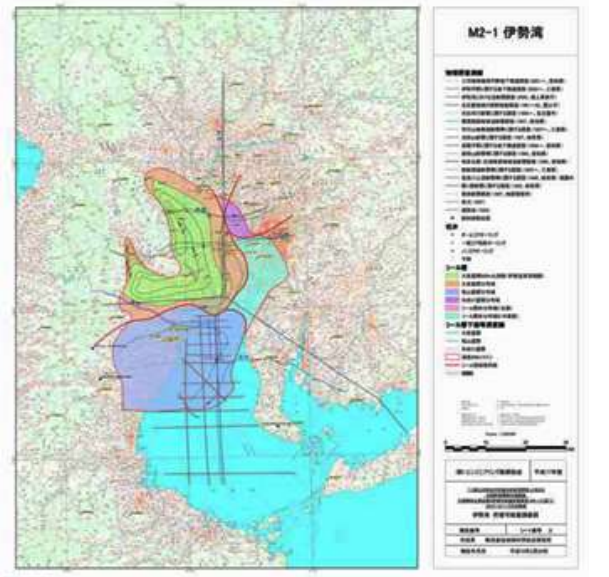


図 2.4-16 伊勢湾貯留可能量調査図

| 大規模排出源地域 |          | 貯留面積<br>A<br>(km <sup>2</sup> )                       | 有効層厚<br>H<br>(m) | 砂泥比率<br>h<br>(m) | 孔隙率<br>$\phi$       | CO2 貯留可能容積<br>(km <sup>3</sup> ) | 貯留可能量<br>(億t)<br>貯留率Sf<br>25% |
|----------|----------|-------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 東京湾      |          | 貯留層堆積 315km <sup>3</sup><br>上総層群下部砂割合<br>(富津井で代表)0.35 |                  |                  | 0.443<br>&<br>0.461 | 54.3                             | 44.7                          |
| 伊勢湾      |          | 375                                                   | 206              | (0.65)           | 0.37                | 28.59                            | 23.6                          |
| 大阪湾      |          | 400                                                   | 600              | (0.50)           | 0.25                | 60                               | 49.4                          |
| 北九州      | 小倉 出山層   | 67.5                                                  | 100              | (1.00)           | 0.137               | 0.92                             | 0.8                           |
|          | 芦屋 出山層   | 74.2                                                  | 150              | (1.00)           | 0.137               | 1.52                             | 1.4                           |
|          | 松浦 佐世保層群 | 60.32                                                 | 323              | (0.75)           | 0.161               | 4.38                             | 2.6                           |
|          | 松浦 相浦層群  | 93.9                                                  | 166              | (0.72)           | * (0.0754)          | 1.17                             | 1                             |

超臨界飽和率: Sg 0.5 を採用

北部九州・海域部の貯留可能量を除く

・相浦層群の孔隙率は、露頭サンプルの室内試験結果による

平成17年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」成果報告書、平成18年3月、財団法人 地球環境産業技術研究機構

(c)Masayuki Horio

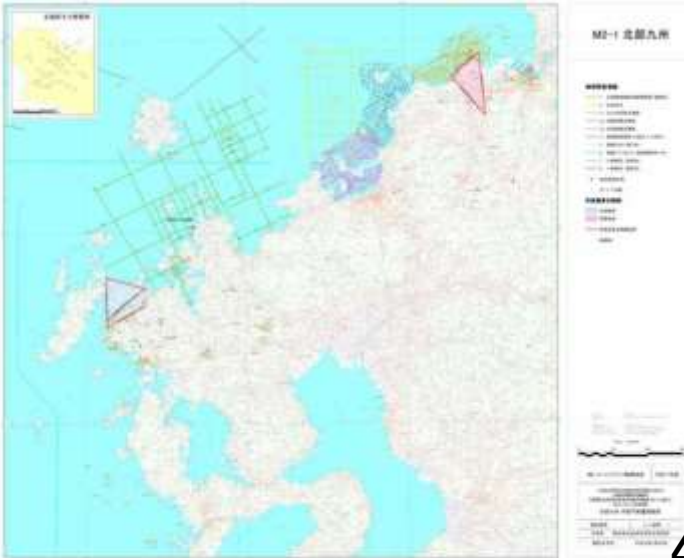


図 2.4-14 北部九州貯留可能量調査図



# 日本:CCSに適地なし



活断層研究会編「新編 日本の活断層—分布図と資料」東京大学出版会(1991)

(c)Masayuki Horio

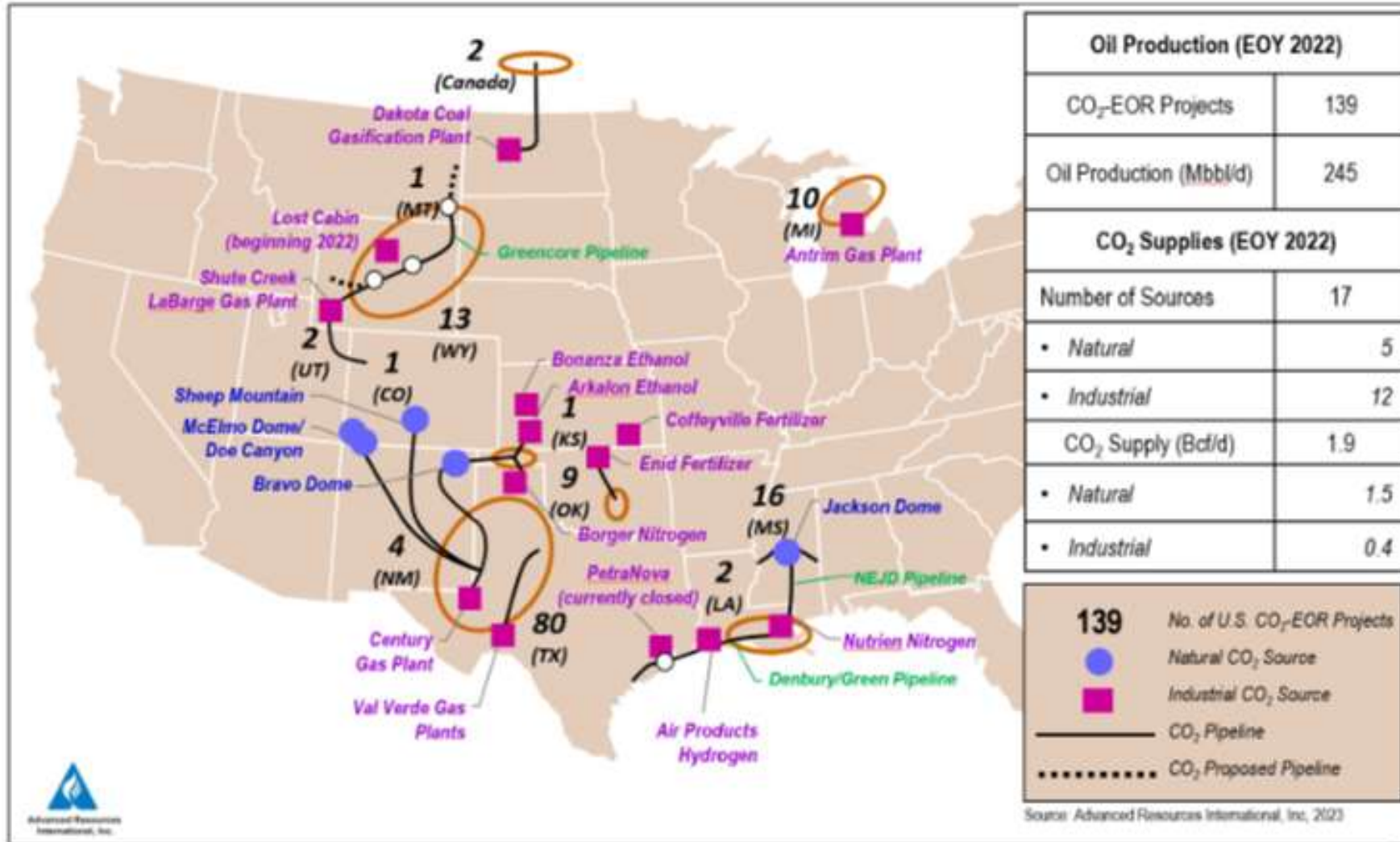


# **I. CCSとは**

## **I-2 CCSとCO<sub>2</sub>輸送**

# 米国のCO<sub>2</sub>EORとパイプライン(2022年末)

**U.S. CO<sub>2</sub> Enhanced Oil Recovery Survey for active CO<sub>2</sub> EOR projects as of the end-of-year 2022.**



## Survey at a Glance

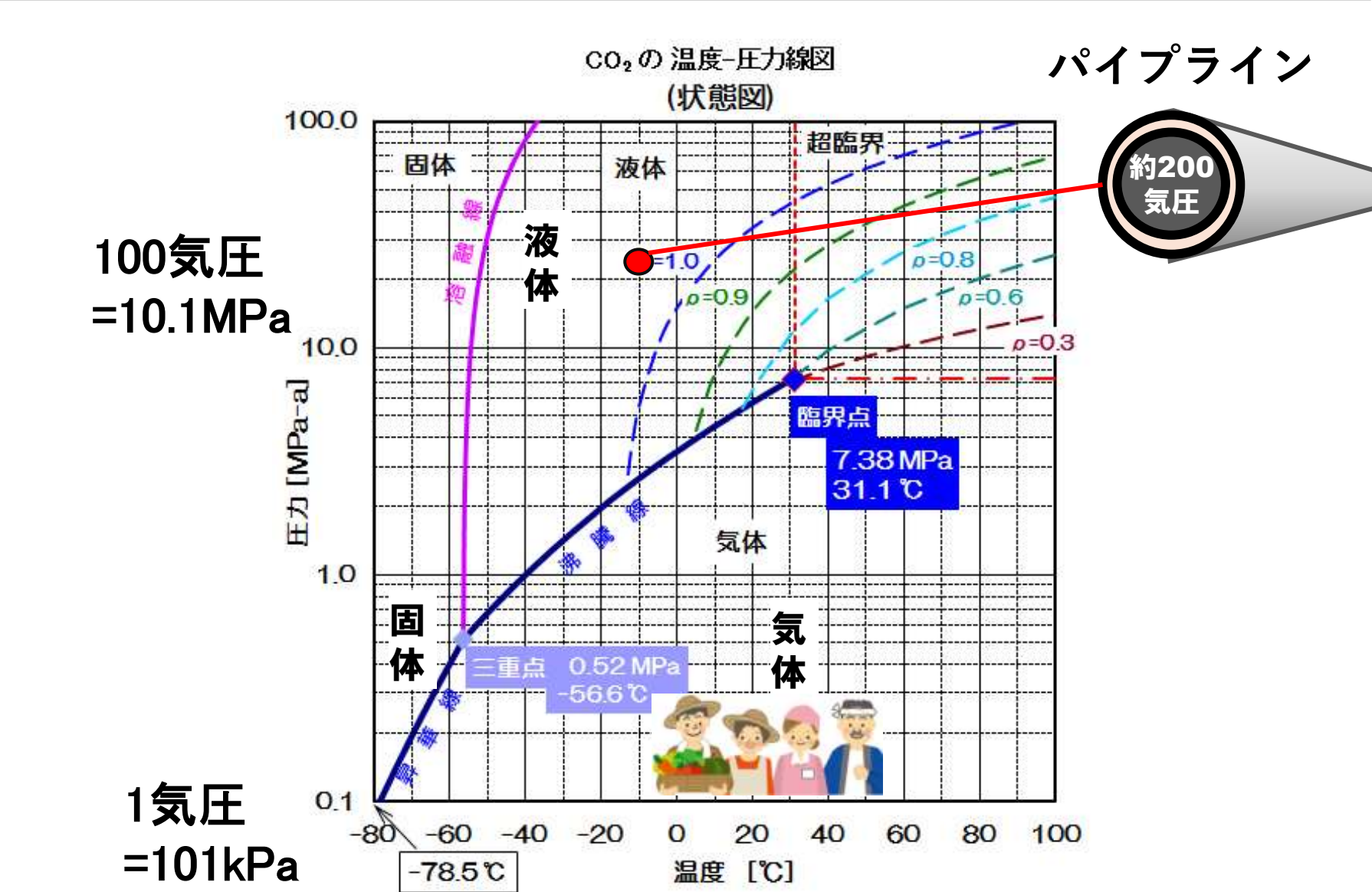
Total projects: 139

Total operators: 24

Total CO<sub>2</sub> EOR oil prod.:  
245,000 bbl/d

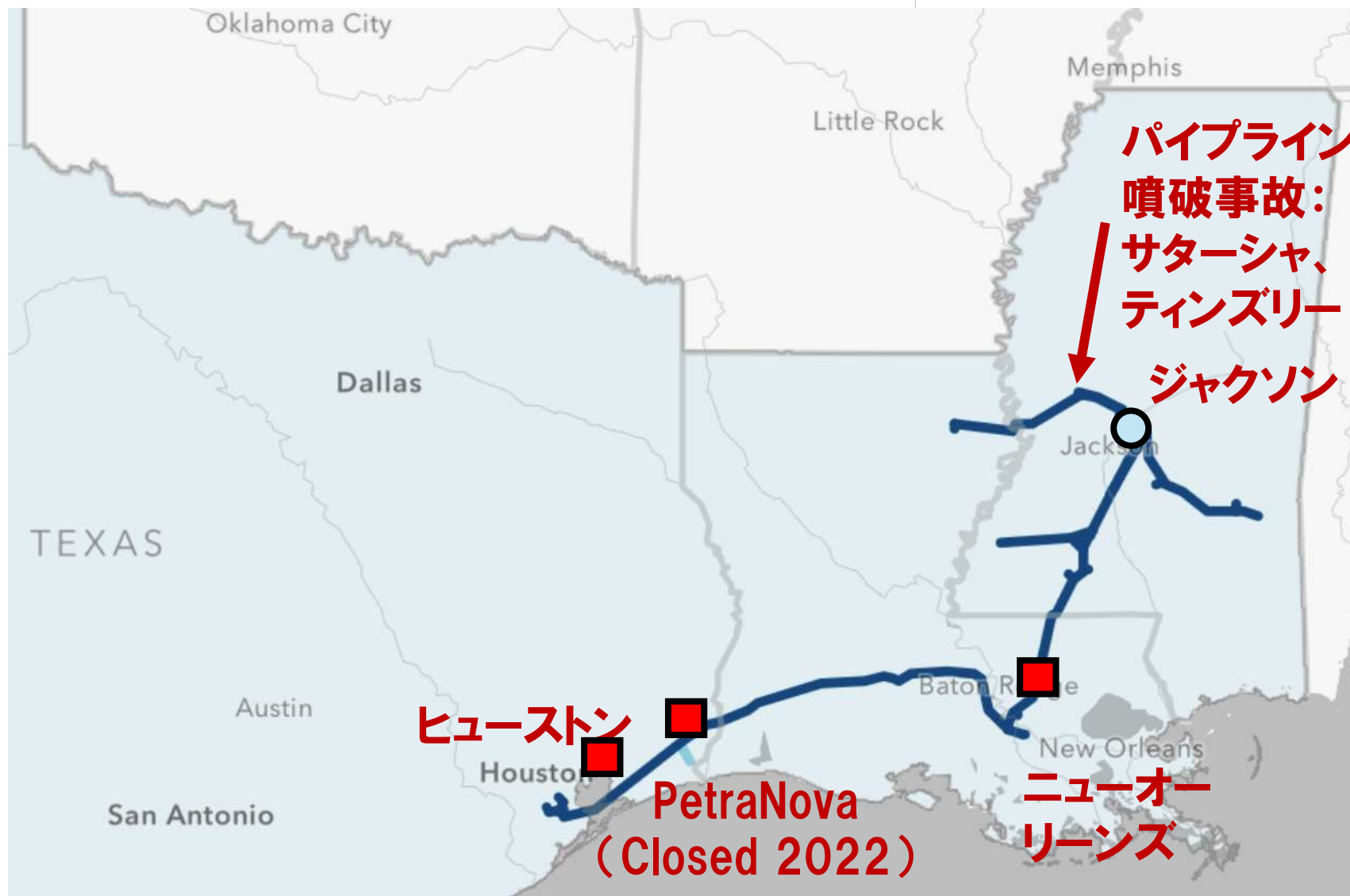
- **Permian Basin (TX, NM):**  
162,000 bbl/d
  - **SE Gulf Coast (MS, LA, TX):**  
30,000 bbl/d
  - **Mid-Continent (OK, KS):**  
17,000 bbl/d
  - **Rockies (CO, UT, WY, MT):**  
36,000 bbl/d
  - **Michigan:**  
1,000 bbl/d
- Total CO<sub>2</sub> Supply: 1.9 Bcf/d**
- **“Natural” CO<sub>2</sub>: 1.5 Bcf/d**
  - **“Industrial” CO<sub>2</sub>: 0.4 Bcf/d**

# CO<sub>2</sub>の状態図とパイプライン輸送





# 米国デンバリー社のCO<sub>2</sub>パイプライン



**Denbury is the largest operator in the Gulf Coast Region, producing 27,000 bbl/d in 2022. They produce over 90% of the Gulf Coast's enhanced production and operate 17 active CO<sub>2</sub> floods.**

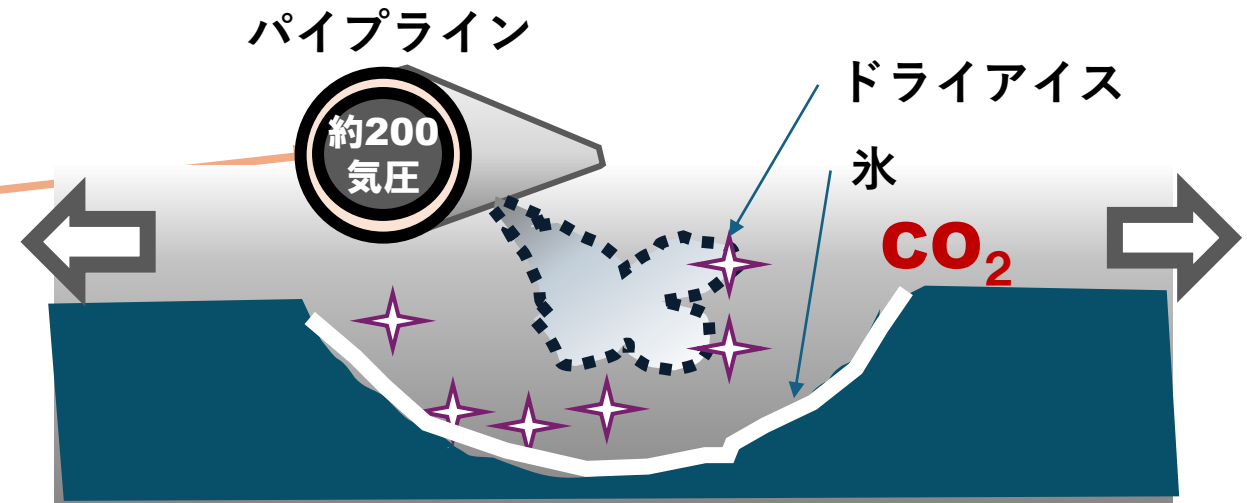
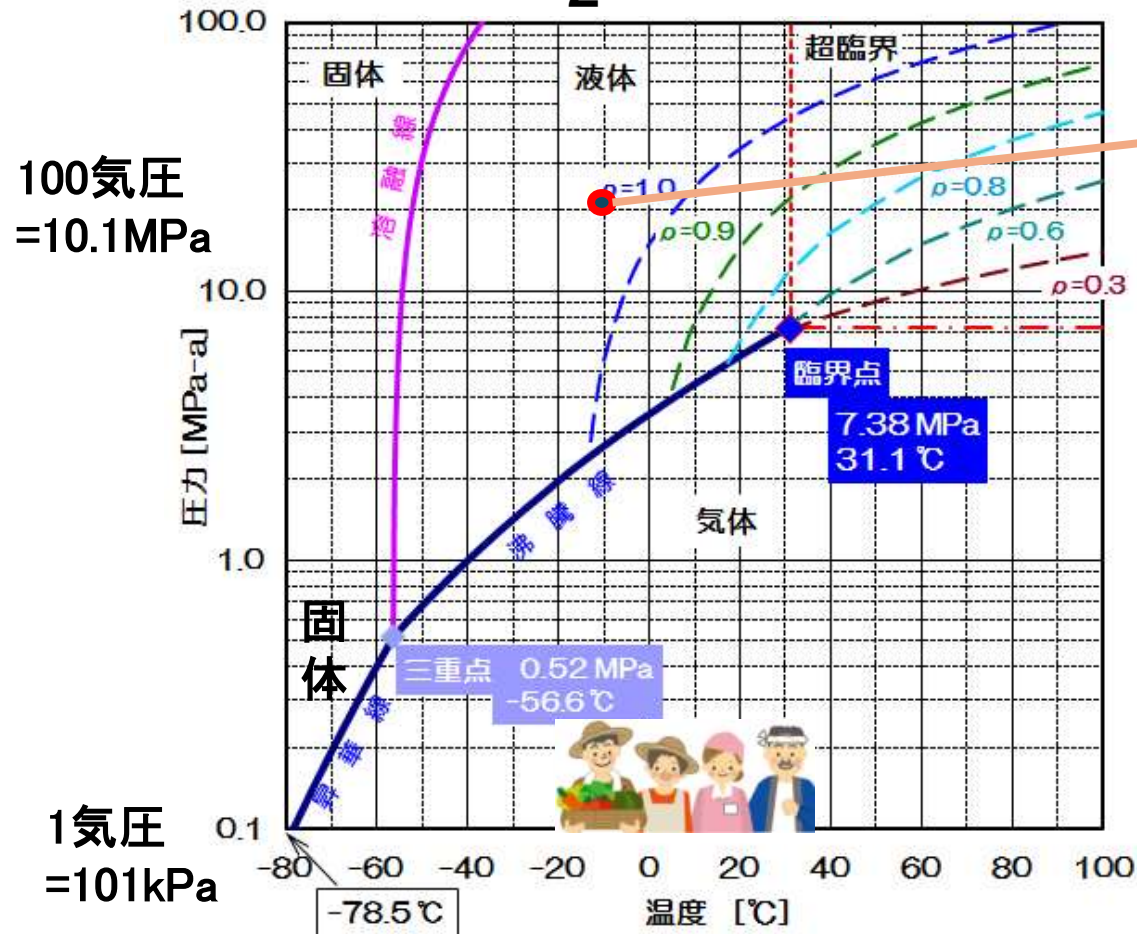
<https://adv-res.com/pdf/2022-CO2-EOR-Survey-Brochure-FINAL-FEB-26-2024.pdf>

<https://www.denbury.com/operations/pipeline-network/>

# CO<sub>2</sub>パイプラインからCO<sub>2</sub>が噴出すると

## CO<sub>2</sub>漏洩時の現象

### CO<sub>2</sub>の状態図



CO<sub>2</sub>(分子量44)の密度(常圧25℃) = 1.8kg/m<sup>3</sup>.  
空気(分子量28.8)の密度(同上) = 1.18kg/m<sup>3</sup>.  
**CO<sub>2</sub>は空気より重く、漏洩後、地面を這うように広がっていく。**



# CO<sub>2</sub>パイプライン噴破事故は起きている

By Dan Zegart, ハフポスト、2021年8月26日版



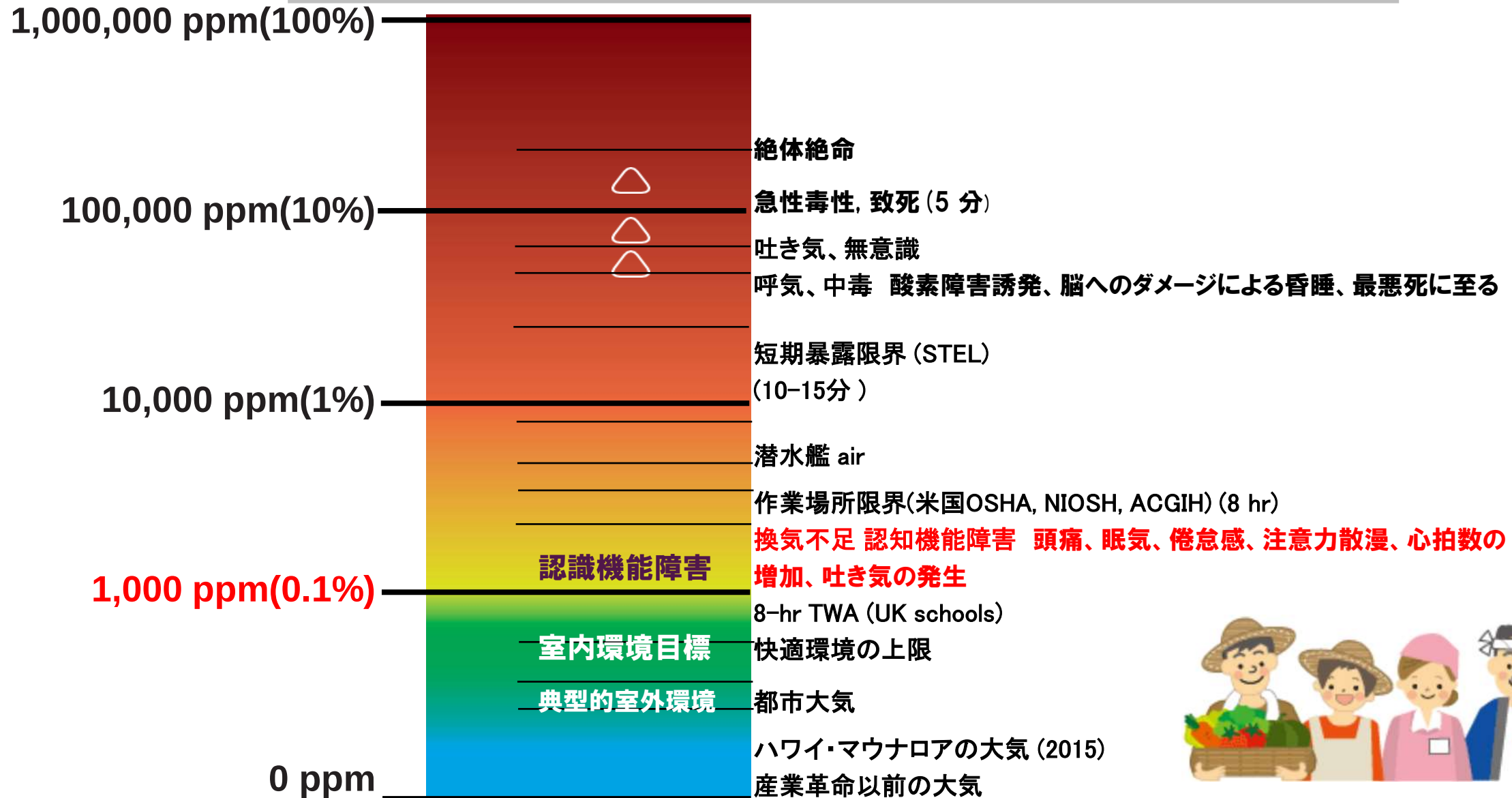
**Credit: Yazoo  
County Emergency  
Management  
Agency/Rory Doyle  
for HuffPost**

19時ごろの噴破  
ののち、高速道路  
は遮断された。  
住民はCO<sub>2</sub>の効果  
でもうろうとなり、  
脱出に困難をきた  
した。  
23時過ぎになっ  
てデンバー社は  
公式に噴破を認め  
た。  
現在も後遺症があ  
る人もいる。

**2020年2月22日19時ごろ、デンバー社の  
デルタパイプライン が ミシシッピ州のサターシャ付近で突然噴破。**

[https://www.huffpost.com/entry/gassing-satartia-mississippi-co2-pipeline\\_n\\_60dde9fe4b0ddef8b0ddc8f](https://www.huffpost.com/entry/gassing-satartia-mississippi-co2-pipeline_n_60dde9fe4b0ddef8b0ddc8f)

# CO<sub>2</sub>の空气中濃度と危険性



| 発生日         | 名称                         | 死者・行方不明者数<br>(人) | 規模<br>(M) |
|-------------|----------------------------|------------------|-----------|
| 1891年10月28日 | 濃尾地震                       | 7,273            | 8         |
| 1896年6月15日  | 明治三陸地震                     | 21,959           | 8.2       |
| 1923年9月1日   | 関東地震(関東大震災)                | 105,385          | 7.9       |
| 1927年3月7日   | 北丹後地震                      | 2,912            | 7.3       |
| 1933年3月3日   | 昭和三陸地震                     | 3,064            | 8.1       |
| 1945年1月13日  | 三河地震                       | 1,961            | 6.8       |
| 1946年12月21日 | 昭和南海地震                     | 1,443            | 8         |
| 1948年6月28日  | 福井地震                       | 3,769            | 7.1       |
| 1952年3月4日   | 十勝沖地震                      | 33               | 8.2       |
| 1968年5月16日  | 十勝沖地震                      | 52               | 8.3       |
| 1973年6月17日  | 根室半島沖地震                    | —                | 8.1       |
| 1983年5月26日  | 日本海中部地震                    | 104              | 8.1       |
| 1994年10月4日  | 北海道東方沖地震                   | 11               | 8.2       |
| 1995年1月17日  | 兵庫県南部地震<br>(阪神・淡路大震災)      | 6,437            | 7.3       |
| 2000年10月6日  | 鳥取西部地震                     | —                | 7.3       |
| 2011年3月11日  | 東北地方太平洋<br>沖地震(東日本大<br>震災) | 22,312           | 9         |
| 2016年4月16日  | 熊本地震                       | 273              | 7.3       |
| 2018年9月6日   | 北海道胆振東部<br>地震              | 42               | 6.7       |
| 2024年1月1日   | 能登半島地震                     | 238              | 7.8       |

# 地震国日本で 液化CO<sub>2</sub>パイ プライン輸送 の超長期安全 性は可能か？



1923年 関東大震災  
館山北條海岸通地裂

[https://www.chiba-muse.or.jp/NATURAL/special/postcards/chapter\\_1-4.htm](https://www.chiba-muse.or.jp/NATURAL/special/postcards/chapter_1-4.htm)



1891年 濃尾地震による根尾谷断層  
塩屋天体観測所の雑記帳

<https://x.gd/EyqnJ>





1995年 阪神淡路大震災 野島  
断層 地質関連情報Web  
<https://www.zenchiren.or.jp/tikei/saigai.html>



2011年 東日本大震災 福島県いわき市田地区の断層(2018年01月29日)【時事通信社】  
[https://www.jiji.com/jc/d4?p=rqe311-jpp026429705&d=d4\\_qq](https://www.jiji.com/jc/d4?p=rqe311-jpp026429705&d=d4_qq)



2016年 熊本地震で畑地に180mにわたり  
表出した地表地震断層(最大2.5m)、上益城  
郡益城町上陳821  
熊本地震ミュージアム記憶の廻廊  
<https://kumamotojishin-museum.com/remains/detail/27>



隆起した鹿磯漁港。標尺の黄色部  
分は1 mを示す



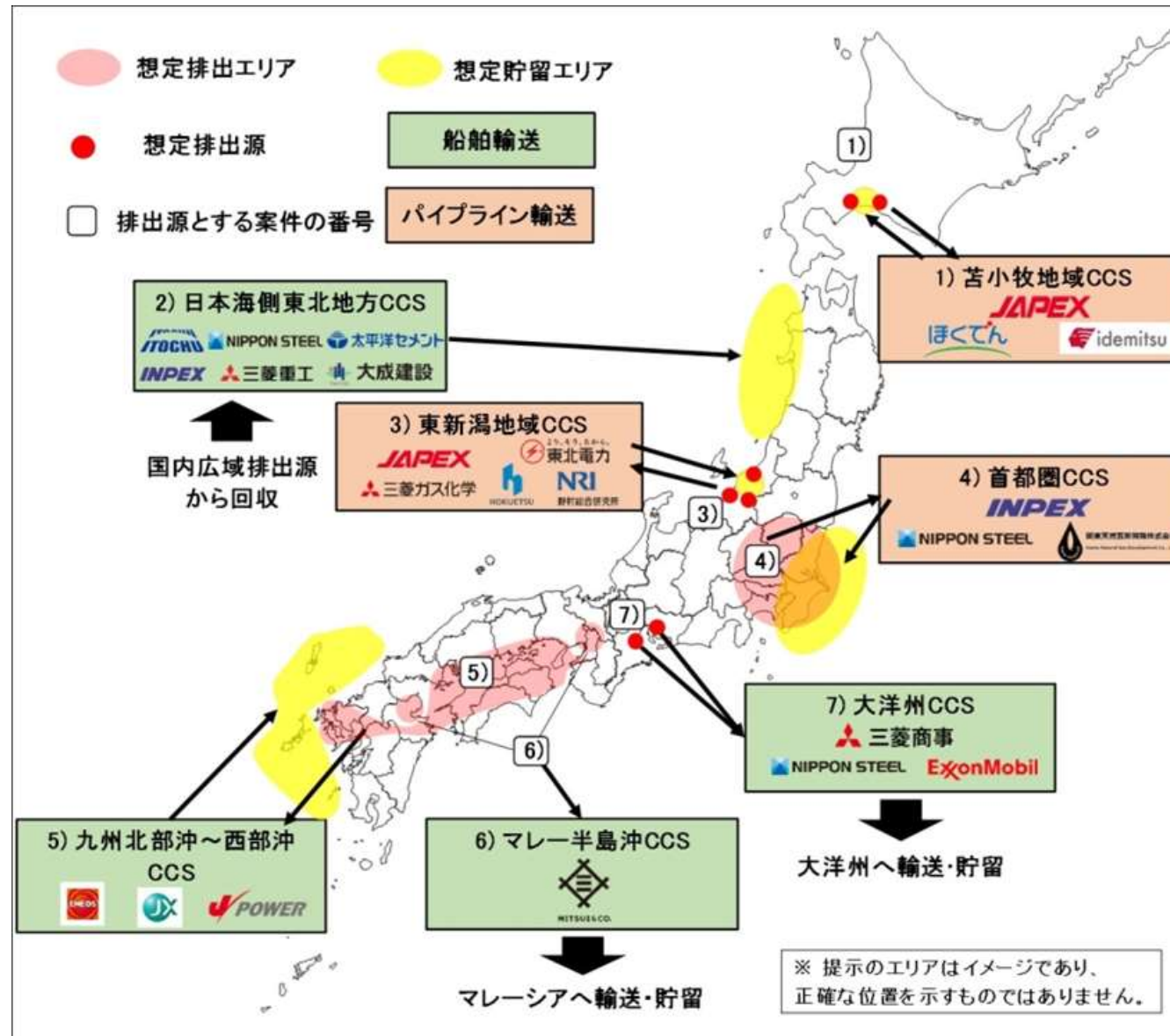
石川県若山町中地区



2024年 能登半島地震による断層  
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/news/20465/>



# 日本では液化CO<sub>2</sub>海上輸送構想がすすむ



# 液化CO<sub>2</sub>船舶輸送実証事業



「液化CO<sub>2</sub>船舶輸送技術を確立するため、排出源と貯留適地までの長距離輸送の実証事業を行う。具体的には、舞鶴から苦小牧への約1000kmの長距離輸送航路をはじめとした、輸送実証を2024年から開始し、世界初の成果を目指す。」という。

経産省CCS長期ロードマップ検討会、「中間とりまとめ」、2022年5月より

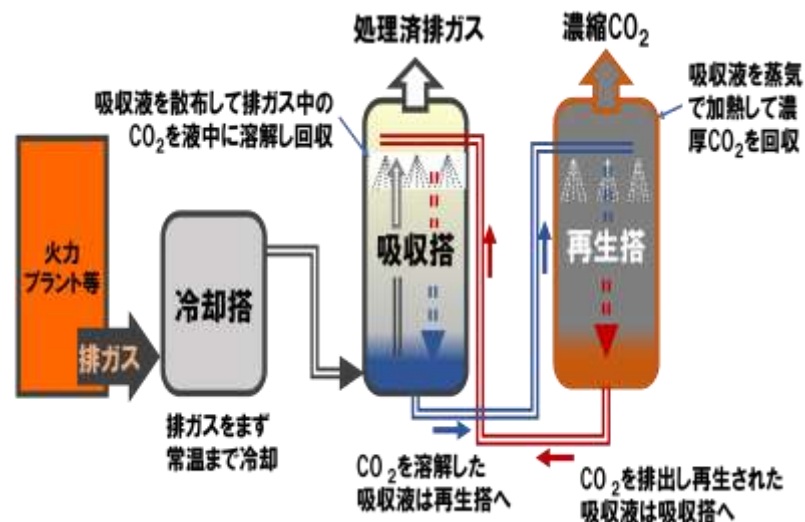
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/ccs\\_choki\\_roadmap/20220527\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/20220527_report.html)



# **I. CCSとは**

## **I-3 CCSとCO<sub>2</sub>分離回収**

# CO<sub>2</sub>の分離



## アミン法の概要

排ガスは、冷却された後、吸収塔の下部に導入され、上から散布されている吸収液によって洗浄されます。つまり、排ガス中のCO<sub>2</sub>が吸収液に溶け込みます。液は下にたまり、次の再生塔に送られます。

処理された排ガスは、上から出ていきます。

CO<sub>2</sub>を吸収した吸収液は、再生塔の上から噴霧され、外側から蒸気で加温されます。吸収液の温度が上がると、溶けているCO<sub>2</sub>の溶解度が下がり、CO<sub>2</sub>は気相側に放出されます。

こうして吸収液は再生され吸収塔に送られます。そして、できた濃縮CO<sub>2</sub>は、圧縮され液化されます。

|                                    | 方式                    | 問題点            | 長所                           |
|------------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| アミン                                | 二塔式 湿式、温度切り替え(130℃付近) | 再生エネルギーが大量に必要  | 尿素プラントなどで実用化                 |
| O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 燃焼 | 燃焼方法を変更 排ガス完全回収       | 酸素製造に伴うエネルギーロス | ガス量低下による脱硫・脱硝設備の簡素化、ボイラー効率向上 |
| 膜分離                                | 膜分離                   | 設備寸法が大きくなりすぎる  | 連続的に分離可能                     |
| 物理吸着                               | 複数塔バッチ切替 圧力・温度スイング    | 多数の吸収塔が必要⇒煩雑   | 乾式分離                         |

最新情報については以下も発行されています：

CO<sub>2</sub>の分離・回収・貯留の最新技術

2022年04月11日刊 発行：(株)エヌ・ティー・エス

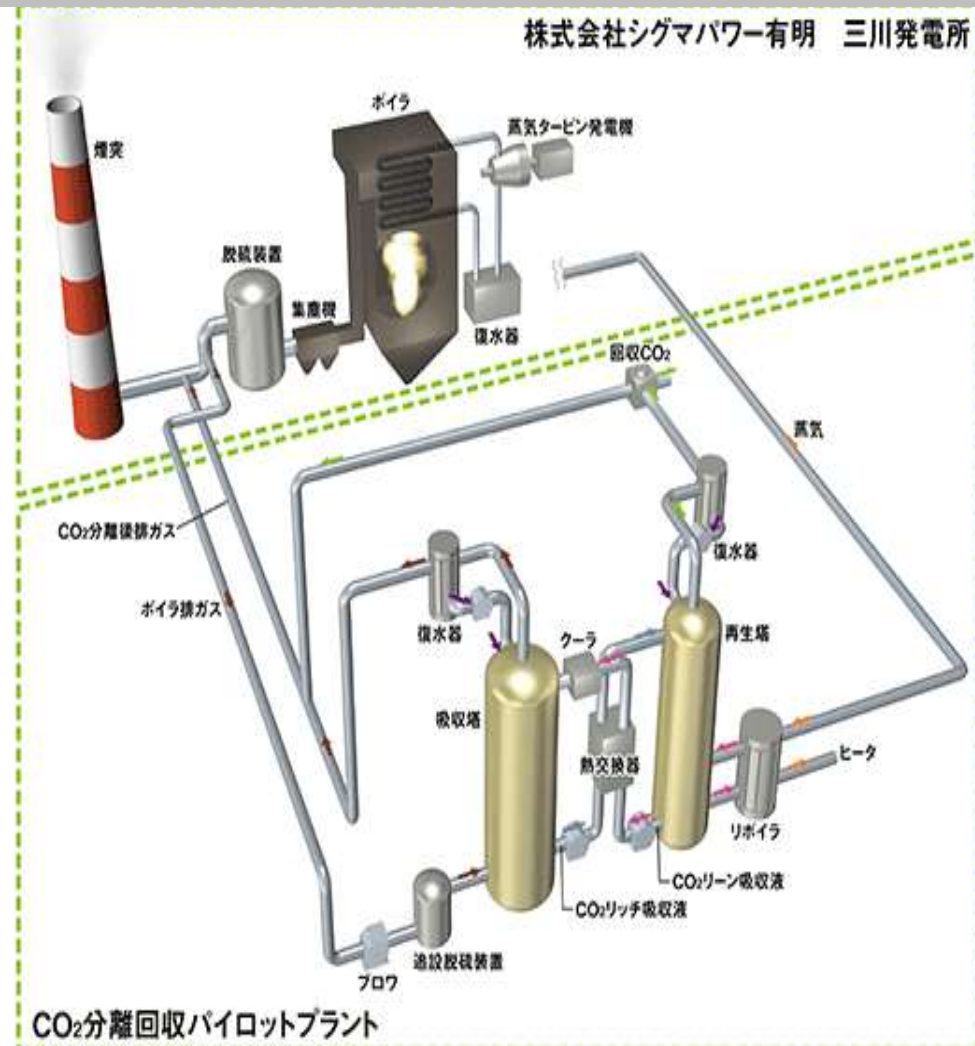
B5 370頁 ISBN 978-4-86043-771-8

税込49,500 円



# CO<sub>2</sub>分離回収パイロットプラント

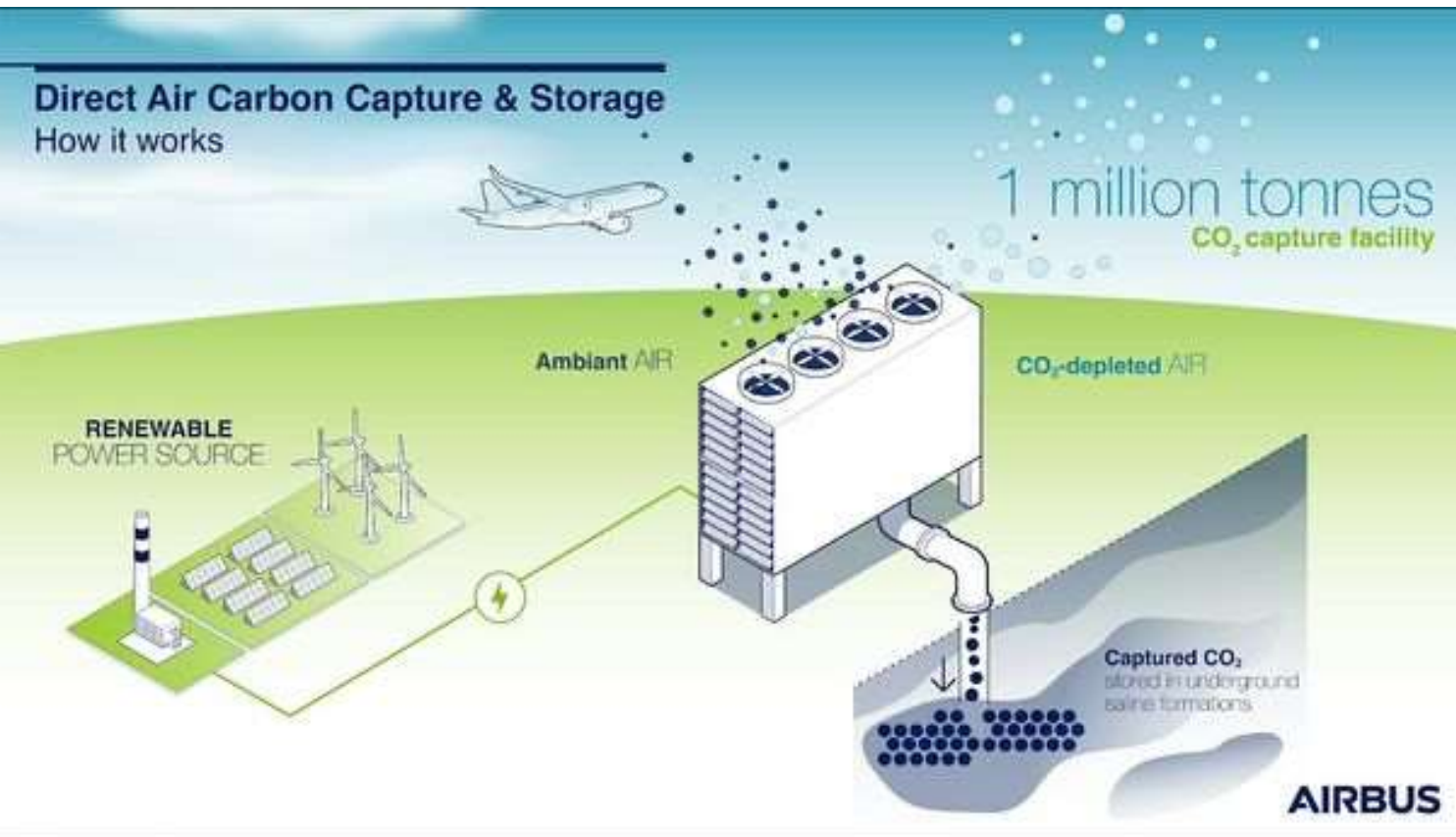
(株)シグマパワー有明三川発電所のBECCS:東芝他18法人参加・環境配慮型CCS実証事業



<https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/thermal/products-technical-services/zero-emissions.html> (2023.90検索)

注意点:発電用のボイラーと同じかそれ以上のプラントを併設しなければならないということ。

# 大気からのCO<sub>2</sub>直接回収 DAC



Airbus社によるイメージ図

<https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-07-direct-air-carbon-capture-and-storage-for-aviation-explained>



Carbon Engineering has pioneered a direct air capture technology at its pilot plant in Squamish, Canada and has now set its sights on large-scale deployment. Airbus has partnered with 1PointFive – Carbon Engineering’s licensed US partner – to bring carbon removals to the aviation



# 400ppmのCO<sub>2</sub>回収装置は巨大



Photo: © Carbon Engineering

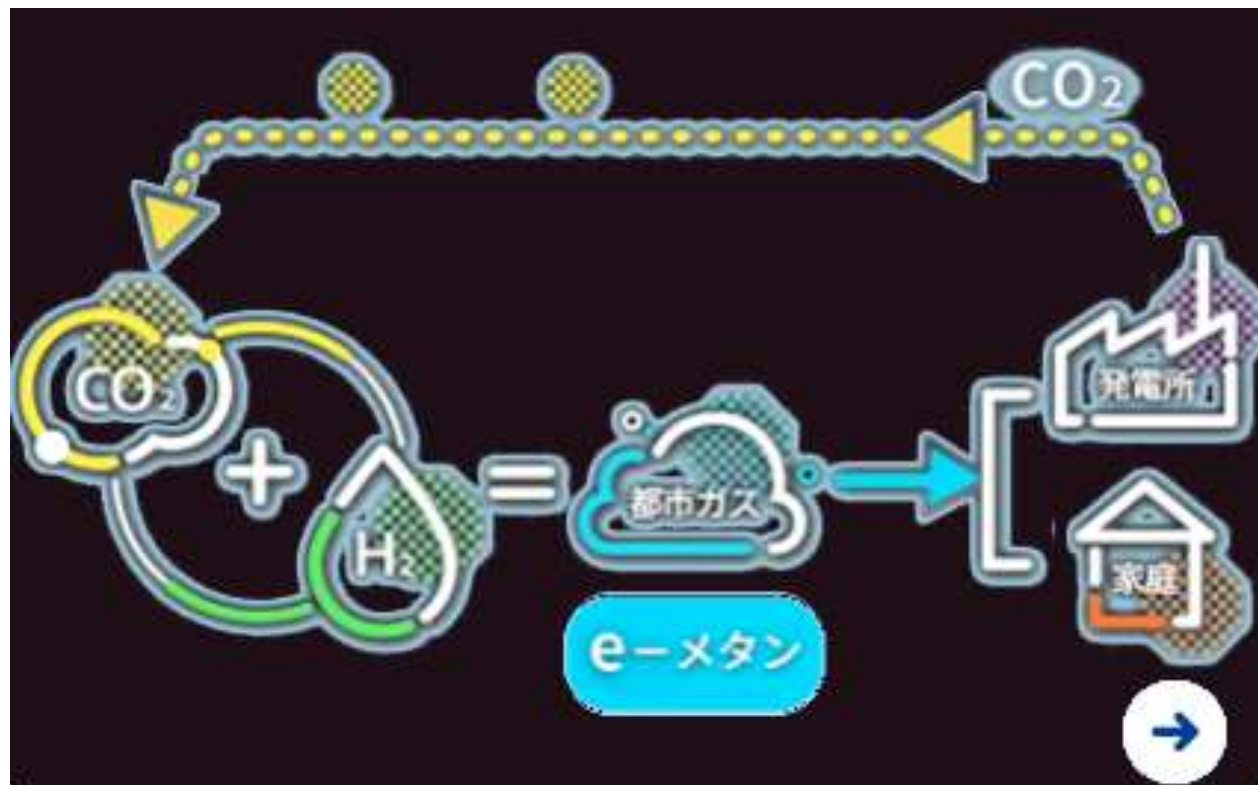
**Airbus 社によるDAC設備のイメージ**

Airbus社によるイメージ <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-07-direct-air-carbon-capture-and-storage-for-aviation-explained>



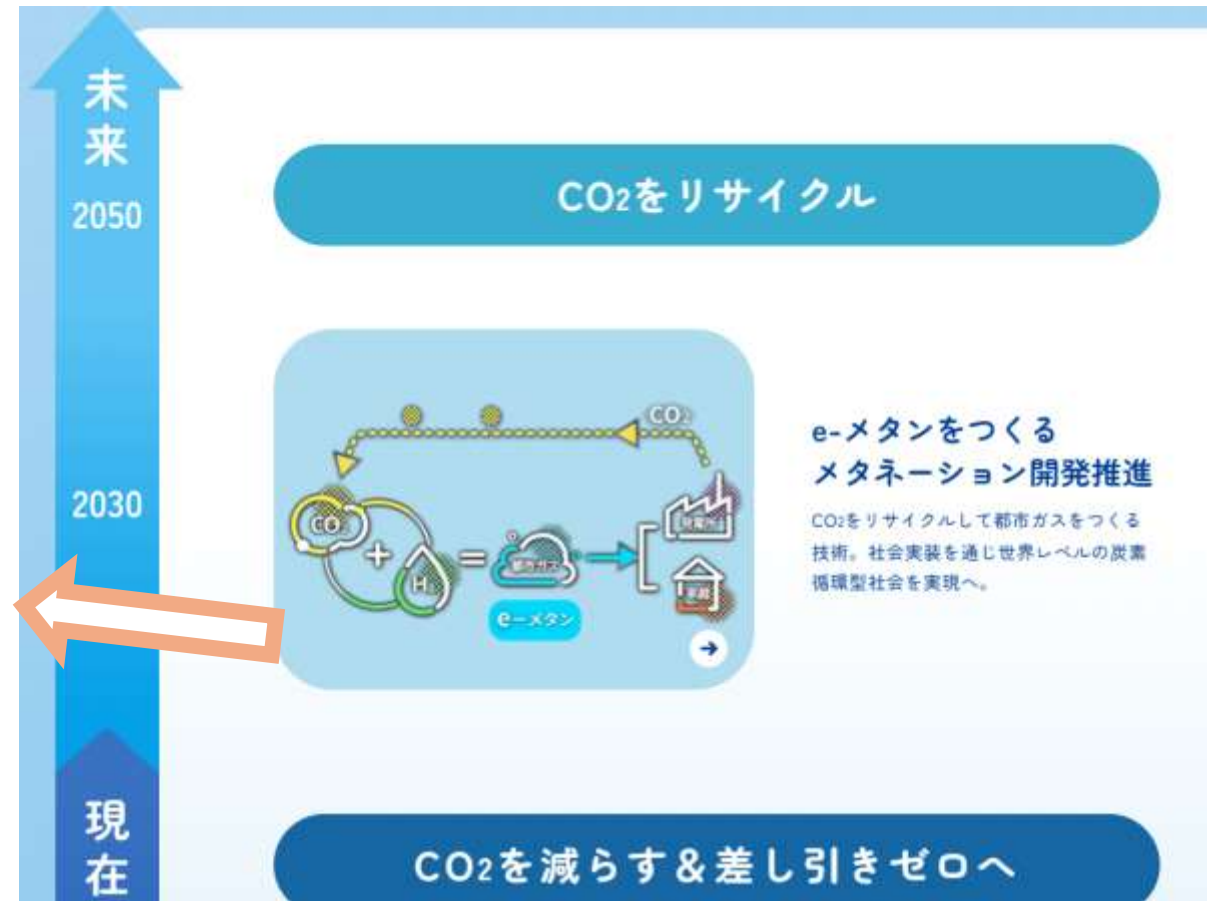
# DACに触れない東京ガスe-メタンの大宣伝は疑問

合成メタンはCO<sub>2</sub>の大気からの回収(DAC)を必要とするが、それへの言及は全くない！  
グリーン電力直接利用にたいする競争力は？



東京ガスホームページ2024.9.9閲覧

<https://www.tokyo-gas.co.jp/carbon-neutral/index.html>



## **II. 日本にとってのCCS**

### **II-1 CCSと電力価格**



# CCSのコストが電気代を底上げする

## CCS付き石炭火力と他の発電方法との比較

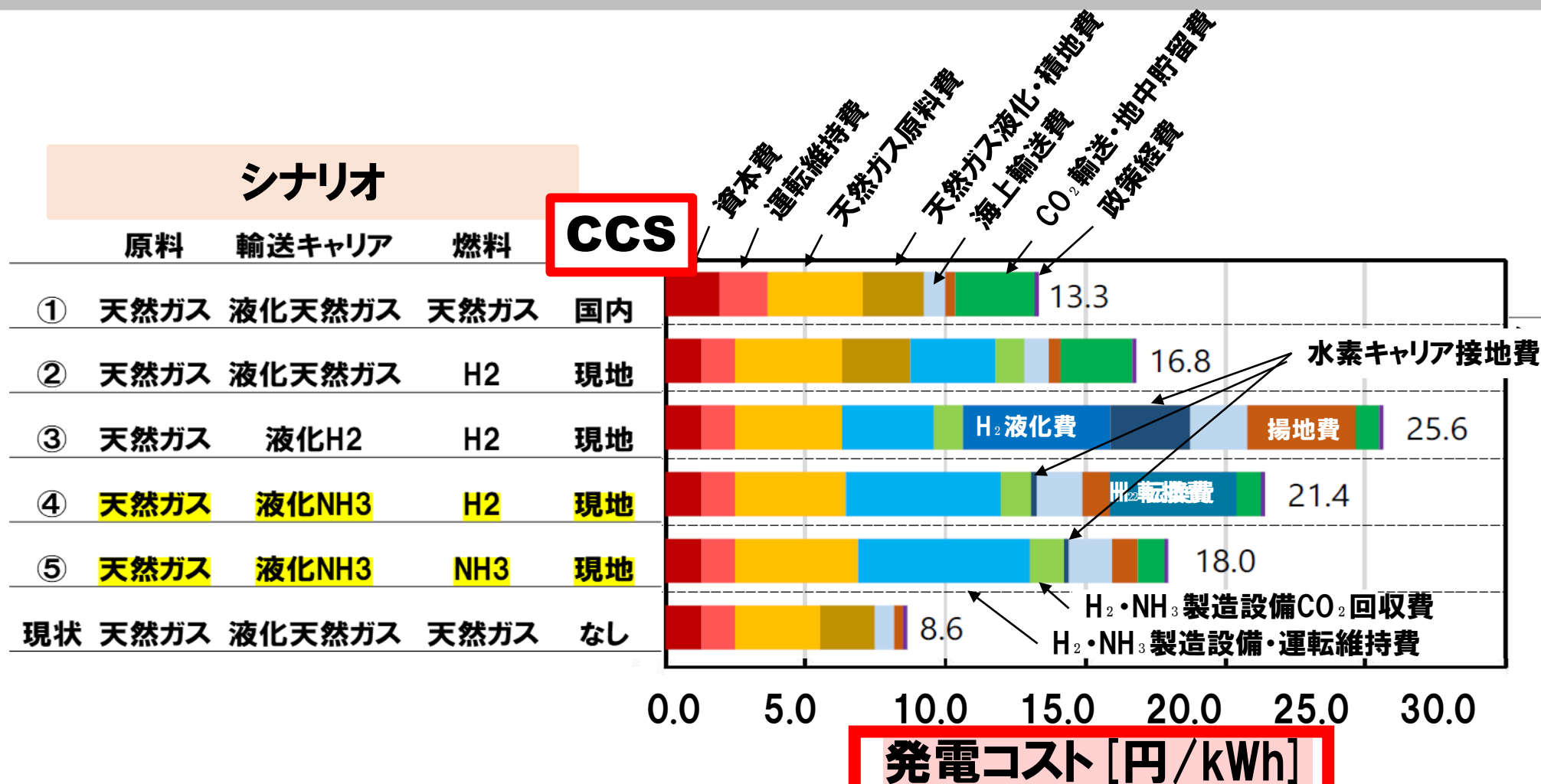
|               | 発電効率                  | 発電コスト [円 / kWh]                           | 輸送コスト [円 / kWh]                       | 合計コスト [円 kWh]              |
|---------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| CCS なし LNG 火力 | ～52%                  | 12.4                                      | -                                     | 12.4                       |
| CCS なし微粉炭火力   | ～43%                  | 8.9 <sup>*a</sup>                         | -                                     | 8.9                        |
| CCS 付き石炭火力    | 35～36%                | 15.2～18.7 <sup>*b</sup>                   | 3.3 <sup>*c</sup> ～8.9 <sup>*d</sup>  | 18.8～27.6                  |
| メガソーラー        | 15～20%                | 12.7～15.6 <sup>*b</sup>                   | -                                     | 12.7～15.6                  |
| 文献            | IPCC (2005: Fig. 3.6) | *a「コスト検証 WG 報告書」(2015)<br>*b 同上、2030 年モデル | *c 陸上約 50km、海上船舶輸送<br>*d 陸上 250～500km | 歌川-堀尾 (2020) <sup>*2</sup> |

註：2015 年以前のデータのため、最近の燃料高騰や、ソーラー発電のコスト低下を反映するとさらに差が開きます。

歌川 学、堀尾正靱、化学工学論文集, 46 (4), pp. 91-107, 2020.

# 「水素・アンモニア輸入シナリオ」の場合

## 電力中央研究所 泰中氏による電力代高騰予測(2022)



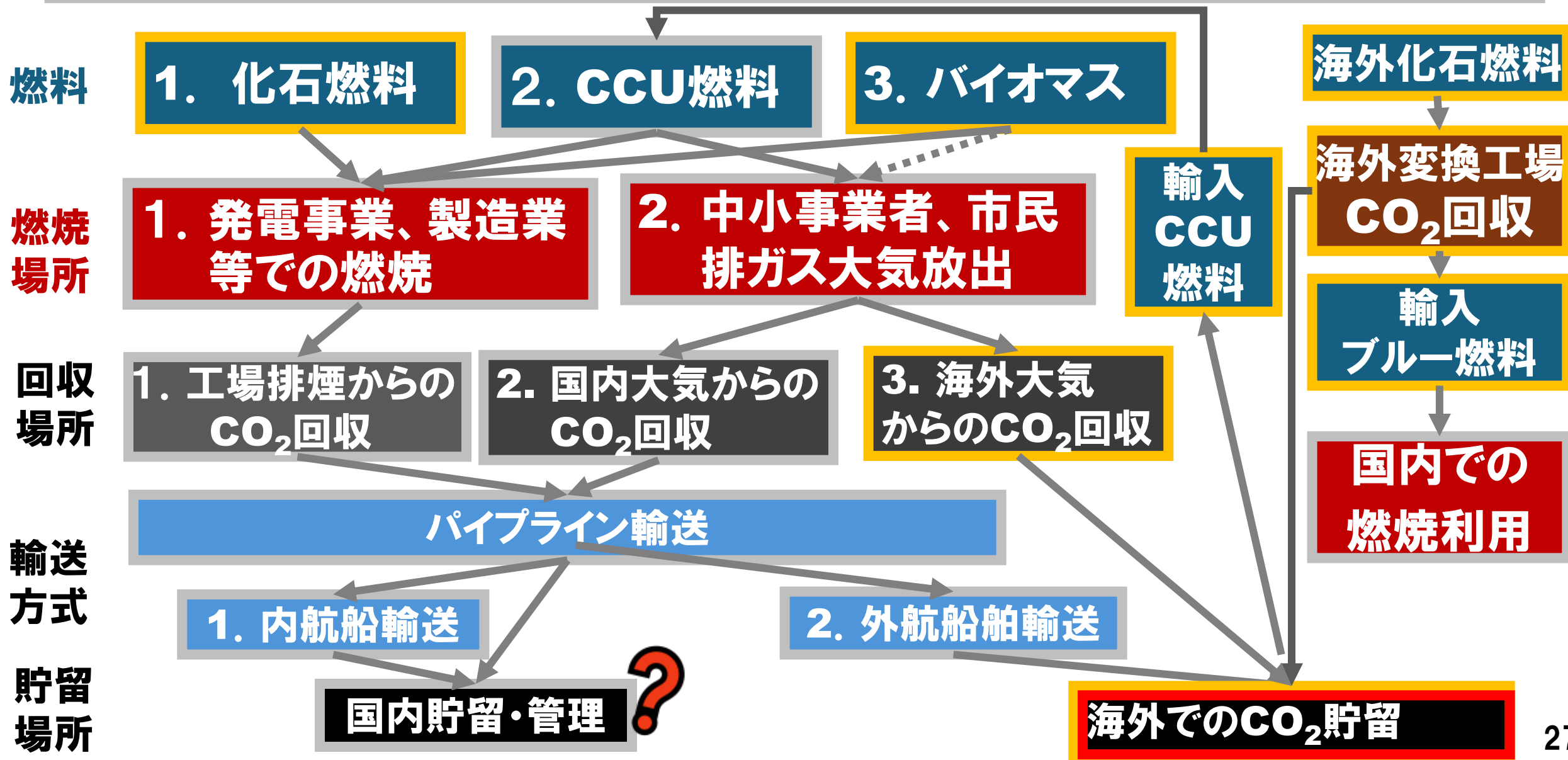
水素、ブルーアンモニアを輸入するシナリオのコスト構成(図)からわかるように、電気代は現状の2~3倍になりそうです。

## **II. 日本にとってのCCS**

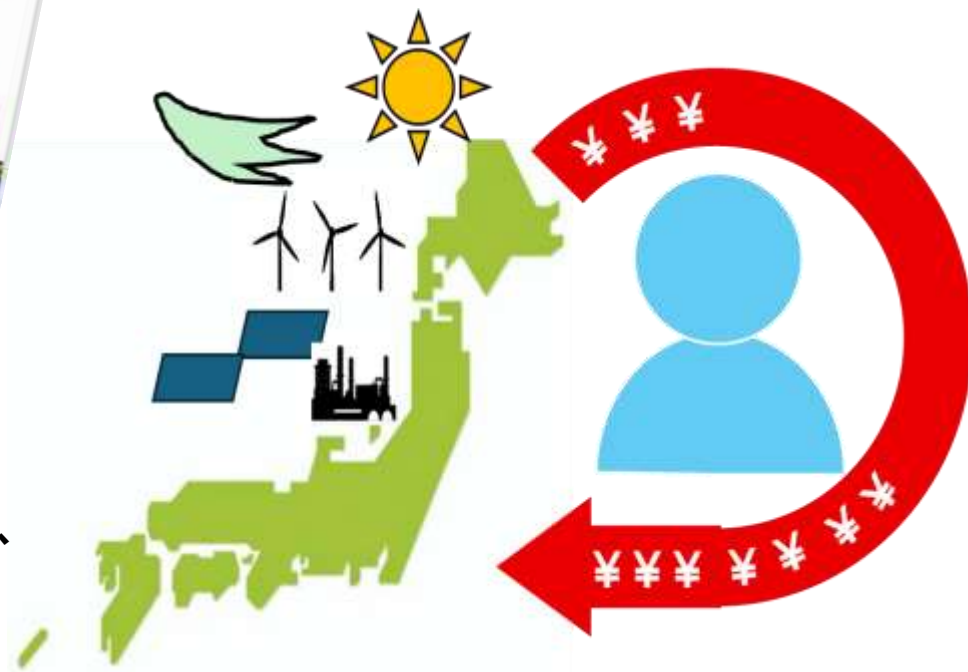
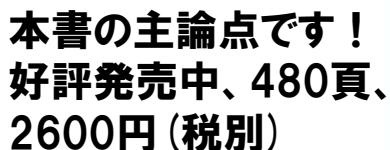
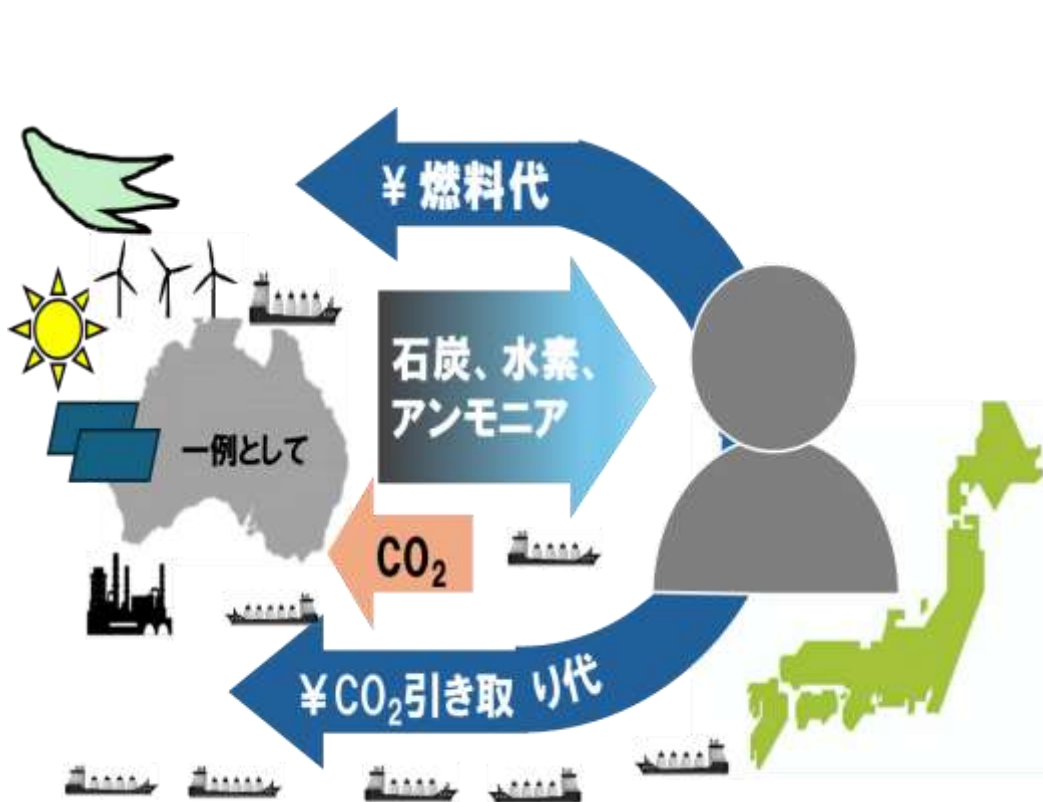
### **II-2 エネルギー自立を妨げるCCS**



# 日本にとってのCCS=燃料とCO<sub>2</sub>処理の海外依存



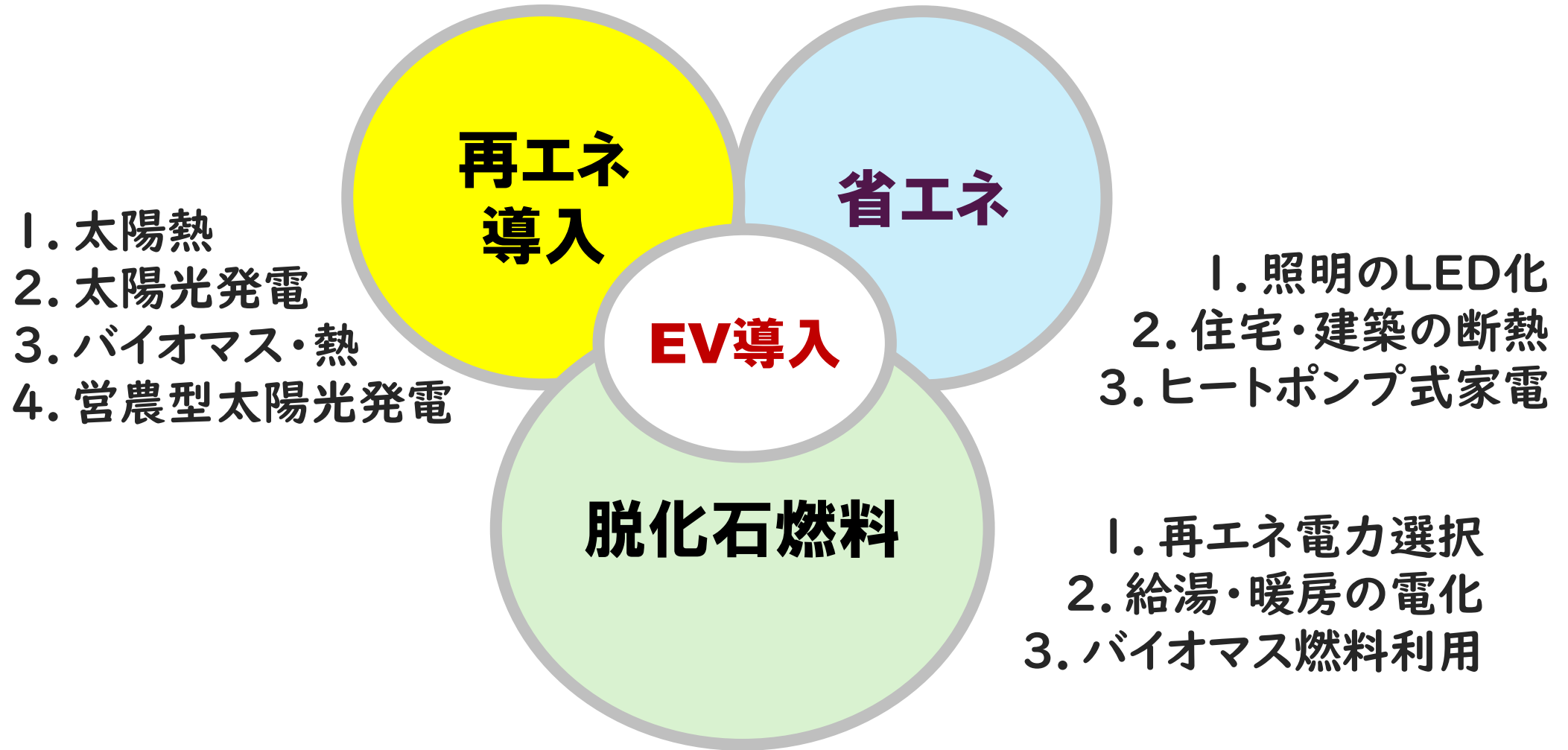
# 脱炭素時代の日本の生存には「自給」が必須



# 日本が疲弊する脱炭素

# 日本が元気になる脱炭素

# ように



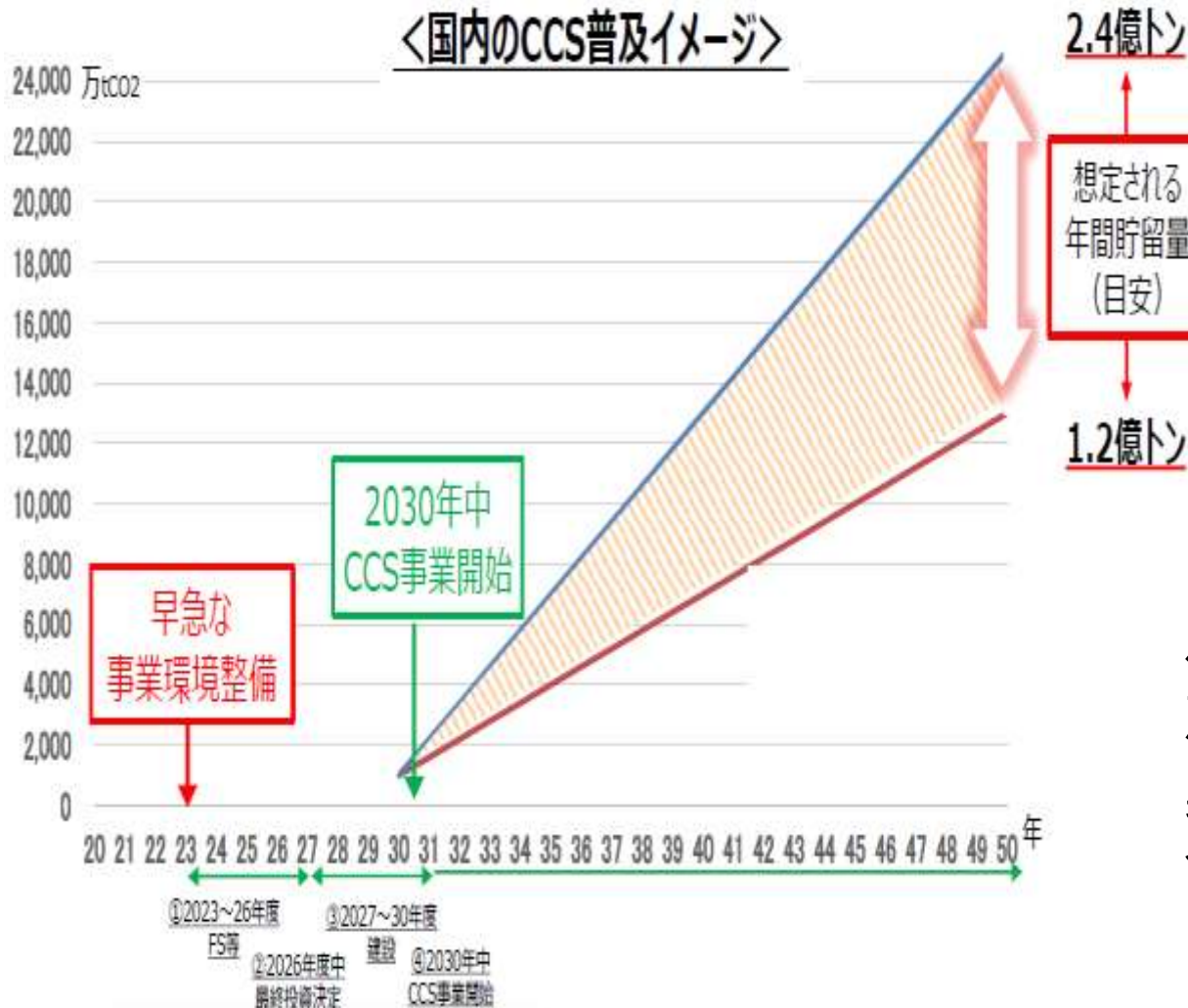
4つの基本課題はセクター共通



## **II. 日本にとってのCCS**

### **II-3 CCS事業法による強力な推進？**

# 経産省による日本国内のCCS普及イメージ



2030年中にCCS事業を開始するためには、①**2023年度**からFS等を開始し、②**2026年度**までに最終投資判断する必要。

※増加割合は、2050年の年間貯留量からバックキャストして、2030年から直線的に増加すると仮定したもの。実際には、CCS事業の立ち上がり時期である初期の増加割合は小さくなると予想される。

# CCS事業は、自治体の権限を越えて推進される

2024年5月には、CCS事業法（二酸化炭素の貯留事業に関する法律）が成立しました。CCS事業法における**事業実施条件**【下記】については、国民的な議論が必要です。

## CCS事業法における事業許認可について

◇**試掘・貯留事業の認可**：海域における特定区域の指定及び貯留事業の許可に当たっては**環境大臣に協議し、その同意を得る**。ただし、地震誘発や噴破時の津波防止、さらには、脱炭素対策上のCO<sub>2</sub>の長期貯留責任など、重要な条件設定は未定。耐震安全はもちろんであるが、**脱炭素対策としてのCO<sub>2</sub>貯留は、100年以上漏洩することなく維持されなければならないので、それをどう担保するのかは不明**。

◇**導管（パイプライン）による輸送事業**：届け出制。いまのところ、**導管通過地域の耐震安全性の確認義務も、自治体・住民の同意を得る義務もない**。



# 住民・国民・自治体は納得するか

**1. 安全管理に、地震対策に大きな不安**

**2. 地元を無視した強引な推進が始まりそう**

**3. 高い電力を買わされる羽目になる**

**4. 産業は海外に逃げ出し、仕事は観光だけの日本？**

**Thank you for  
your attention.**

