

「低炭素水素等」¹⁾およびCCS²⁾への 社会・技術的検討

—輸送・貯蔵における安全性等—

Socio-technological assessment of "Low-carbon hydrogens" and CCS

1) 水素・アンモニア・メタン等; 2) CO₂分離・貯留

ウェビナー：GX戦略がもたらす気候危機—水素・CCS関連法案の問題点
2024年2月28日

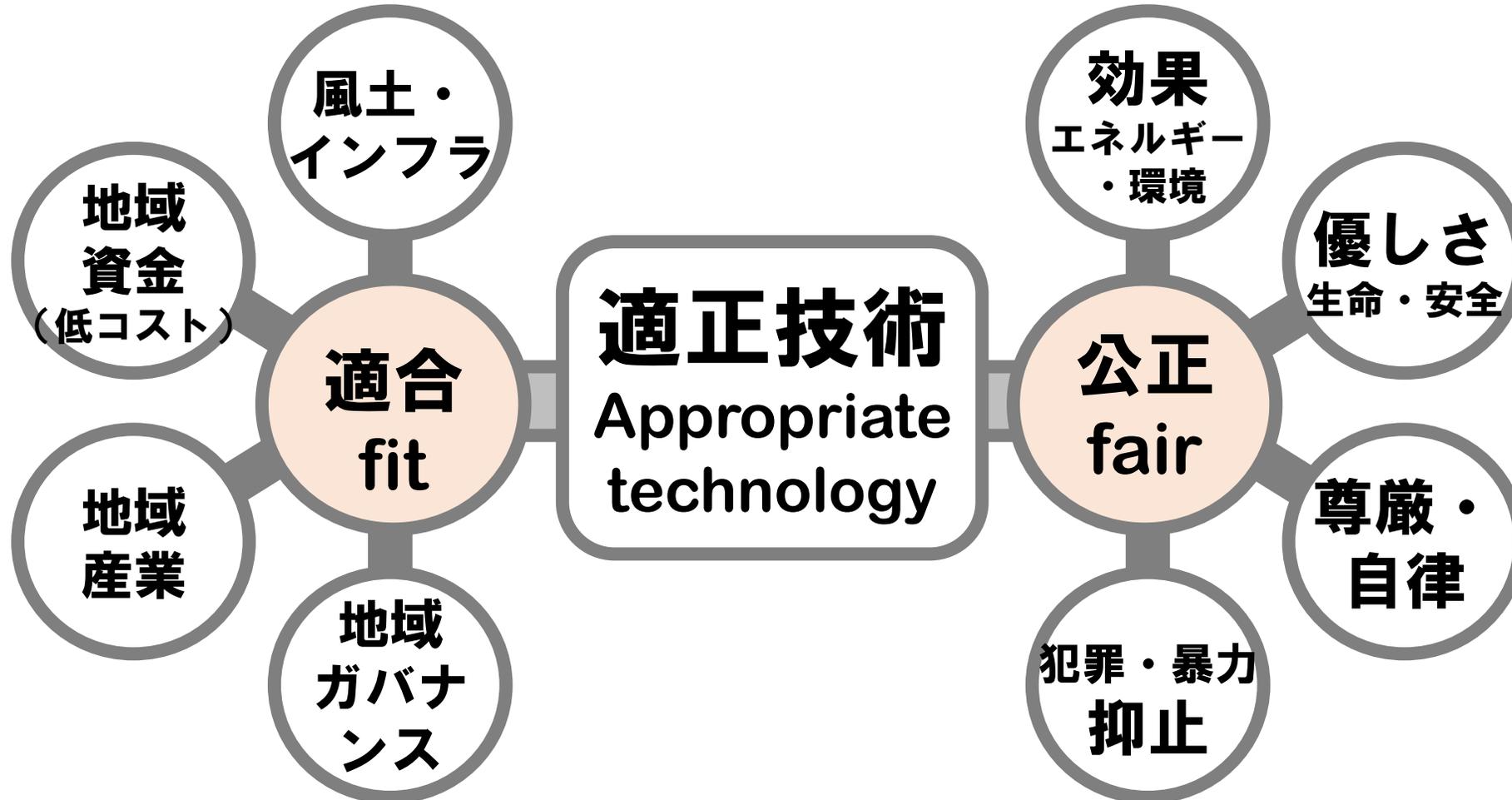
(一社)共生エネルギー社会実装研究所 所長・東京農工大学名誉教授

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

技術の社会実装：「適正性」がポイント



4つのおもな社会・技術的視点

1. エネルギー自立への社会インフラ投資か

2. 工場の中か街/村の中か

3. 長期持続性があるかー地震国日本において

4. 住民・国民・自治体は納得するか

4つの視点

1. エネルギー自立への社会インフラ投資か

1. エネルギー自立への社会インフラ投資が

① 社会を元気にする脱炭素



好評発売中、480頁、2600円（税別）

② 社会を疲弊させかねない脱炭素

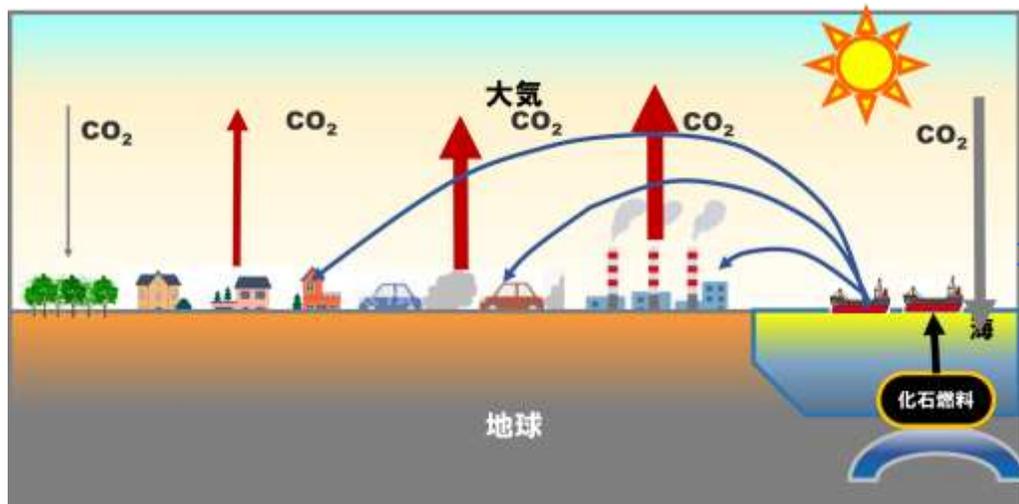


- ・CO₂分離貯留 (CCS)：地震国日本には安全な貯留場所はない。
- ・化石燃料を輸入し、液化したCO₂をお金を払って引き取ってもらうとなると、エネルギー代がかさみ、産業競争力もなくなる。アンモニアも輸入すると高価。
- ・アンモニアも輸入を前提に計画されていますが、それは石炭火力延命のための言い訳だということで、グリーンウォッシュとして批判されています。



美しい脱炭素をめざせ

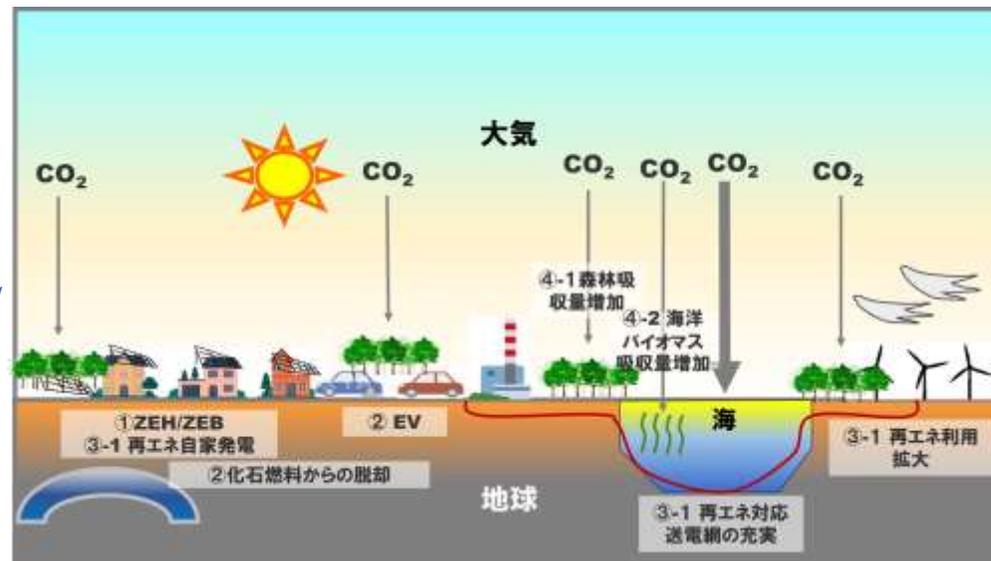
これまで(化石燃料時代)のCO₂の流れ



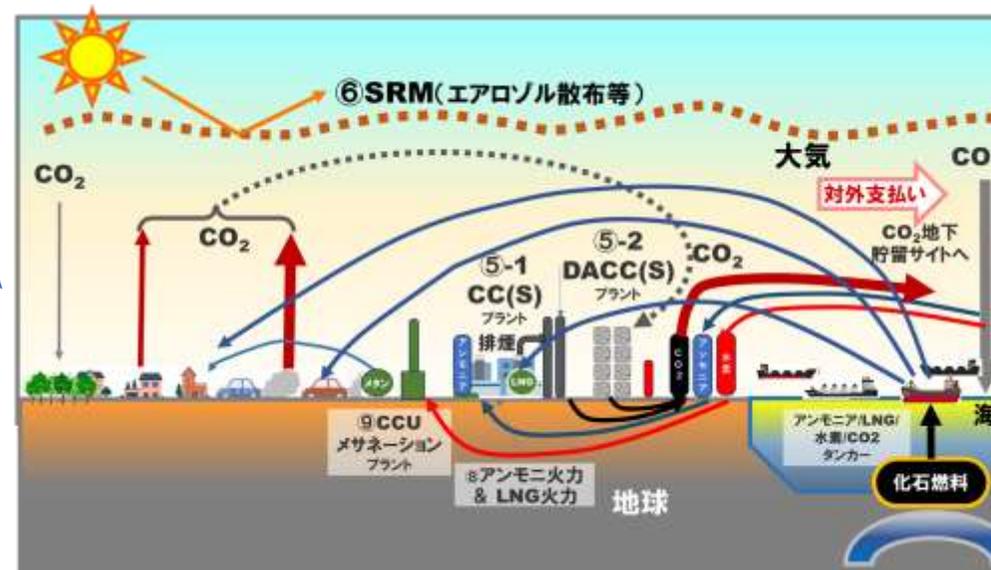
いろいろなインフラ投資をして、エネルギー輸入を継続し、エネルギー自立の可能性を閉ざし、日本の産業競争力を低下させるもの

?

① 社会を元気にする脱炭素

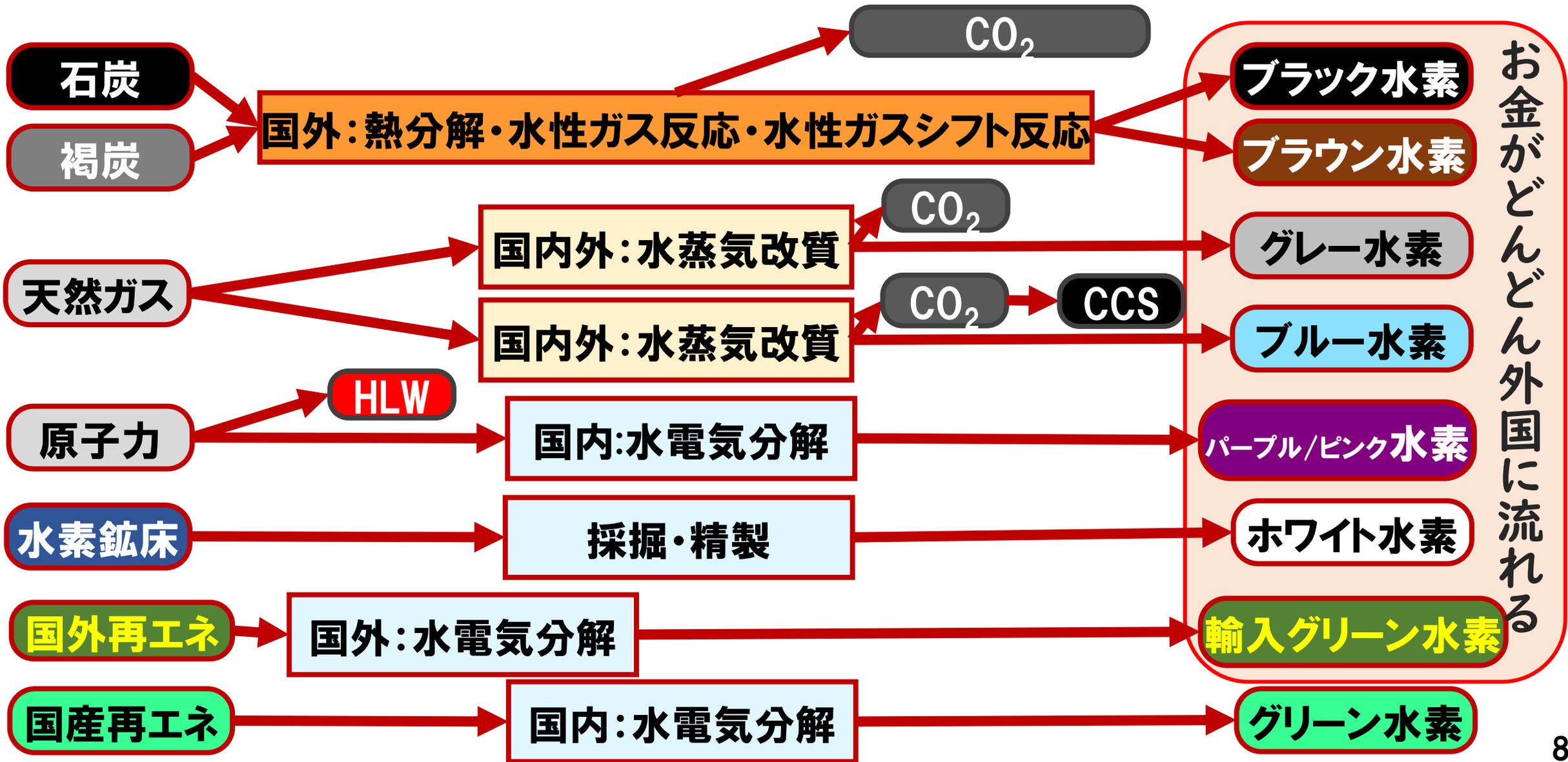


② 社会を疲弊させかねない脱炭素





日本の産業競争力を危うくする輸入水素のいろいろ



アンモニア: NH_3

2. アンモニアの基礎知識

(1) アンモニアの物性と特長

物質	発火点	最小着火エネルギー	最大燃焼速度	爆発限界 (空气中)		沸点	密度	高位発熱量			拡散係数 (-Air)
	°C	mJ	cm/s	下限	上限	°C	kg/m ³ , 0°C	kJ/mol	MJ/kg	MJ/m ³	cm ² /s, 20°C
水素	500	0.02	346	4.0	75.0	-253	0.0899	285.8	141.8	12.8	0.61
アンモニア	651	8.0	8	15.5	27.0	-33	0.771	382.0	22.5	17.0	0.23
メタン	537	0.29	43	5.3	14.0	-161	0.717	890.3	55.5	39.8	0.16
プロパン	467	0.26	47	2.2	9.5	-42	2.010	2220.0	50.4	99.1	0.12
ガソリン(液)	246	0.24	42	1.4	7.6	-40	0.783		47.3		0.05

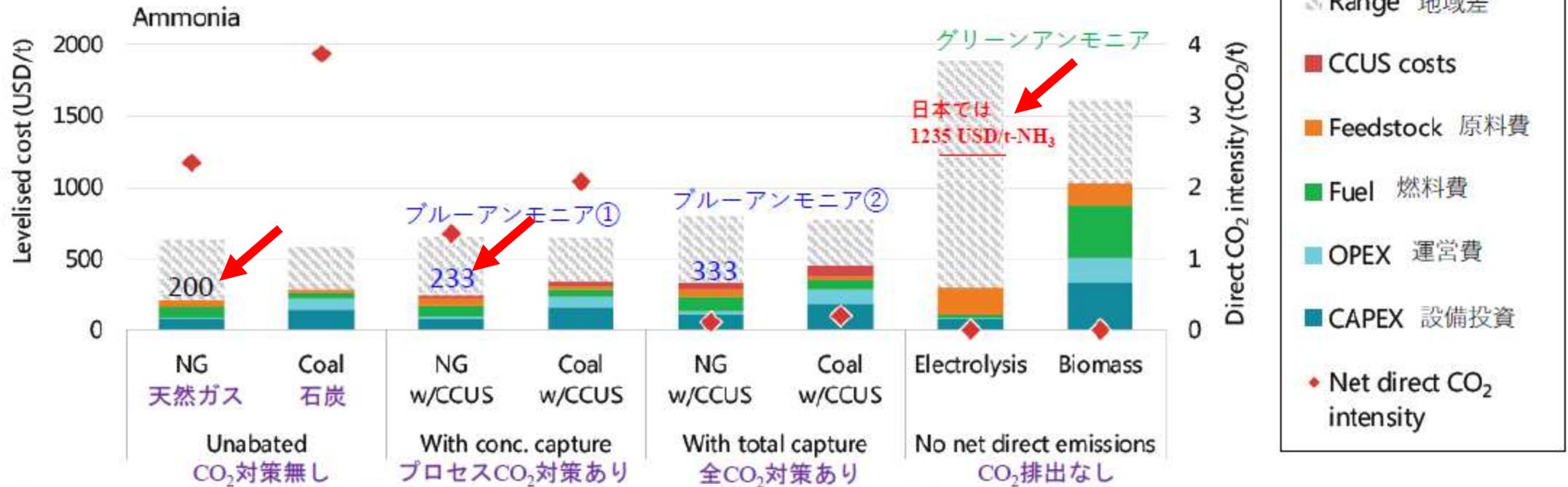
炭化水素とアンモニアの物性比較

項目	比較	備考
発火点	高い	燃えにくい
最小着火エネルギー	十分高い	着火しにくい
最大燃焼速度	十分小さい	燃えにくい
可燃範囲	下限値が高い	可燃混合気をつくりにくい
発熱量	メタンの半分以下	メタンと同じ発熱量を2倍以上のガス量が必要
沸点	高い	液化しやすい=貯留・輸送しやすい

G20 向けのIEAレポートでのアンモニアの経済性評価

国産グリーンアンモニアよりも輸入ブルーアンモニアの方が圧倒的に安価。

Figure 41. Costs and CO₂ intensities for greenfield ammonia and methanol production in 2018



Notes: conc. = concentrated; t = tonne. CCUS costs includes the costs of capturing, transporting and storing CO₂. Range refers to the range of total levelised costs across regions, with the lower end of the range (the best case for each technology) disaggregated for each technology. It is assumed that the electrolysis route is supplied with 100% renewable electricity, and the source of the biomass in the relevant routes is sustainably procured with no net CO₂ emissions. With total capture describes an arrangement where both process- and energy-related emissions are captured, whereas With conc. capture describes an arrangement where only process emissions are captured. More information on the assumptions is available at www.iea.org/hydrogen2019. 引用) The Future of Hydrogen

Source: IEA 2019. All rights reserved. 14

「日本の再エネは高いから」がグリーン燃料輸入の理由

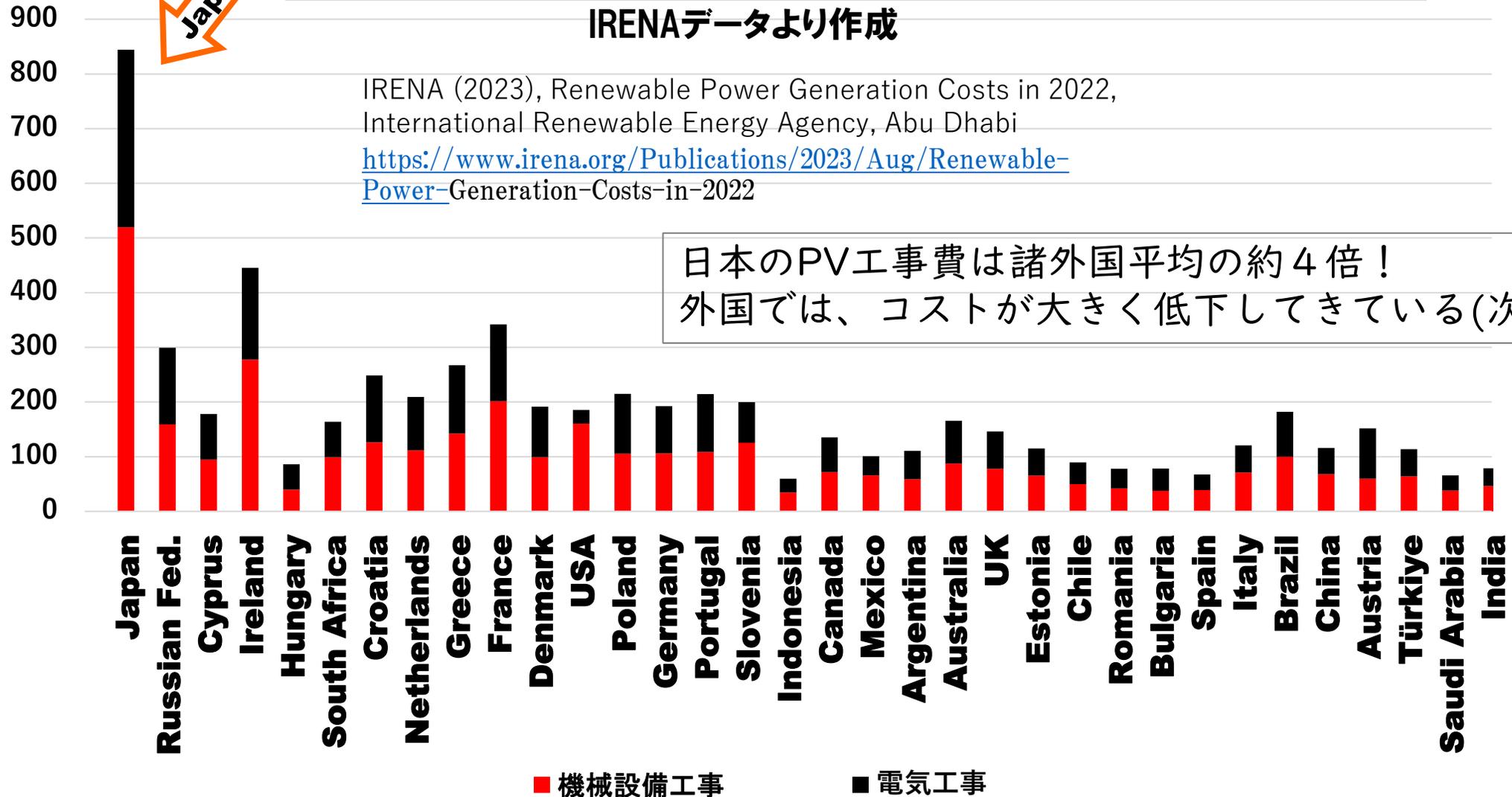
日本のPV設備工事費は突出

IRENAデータより作成

IRENA (2023), Renewable Power Generation Costs in 2022,
International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>

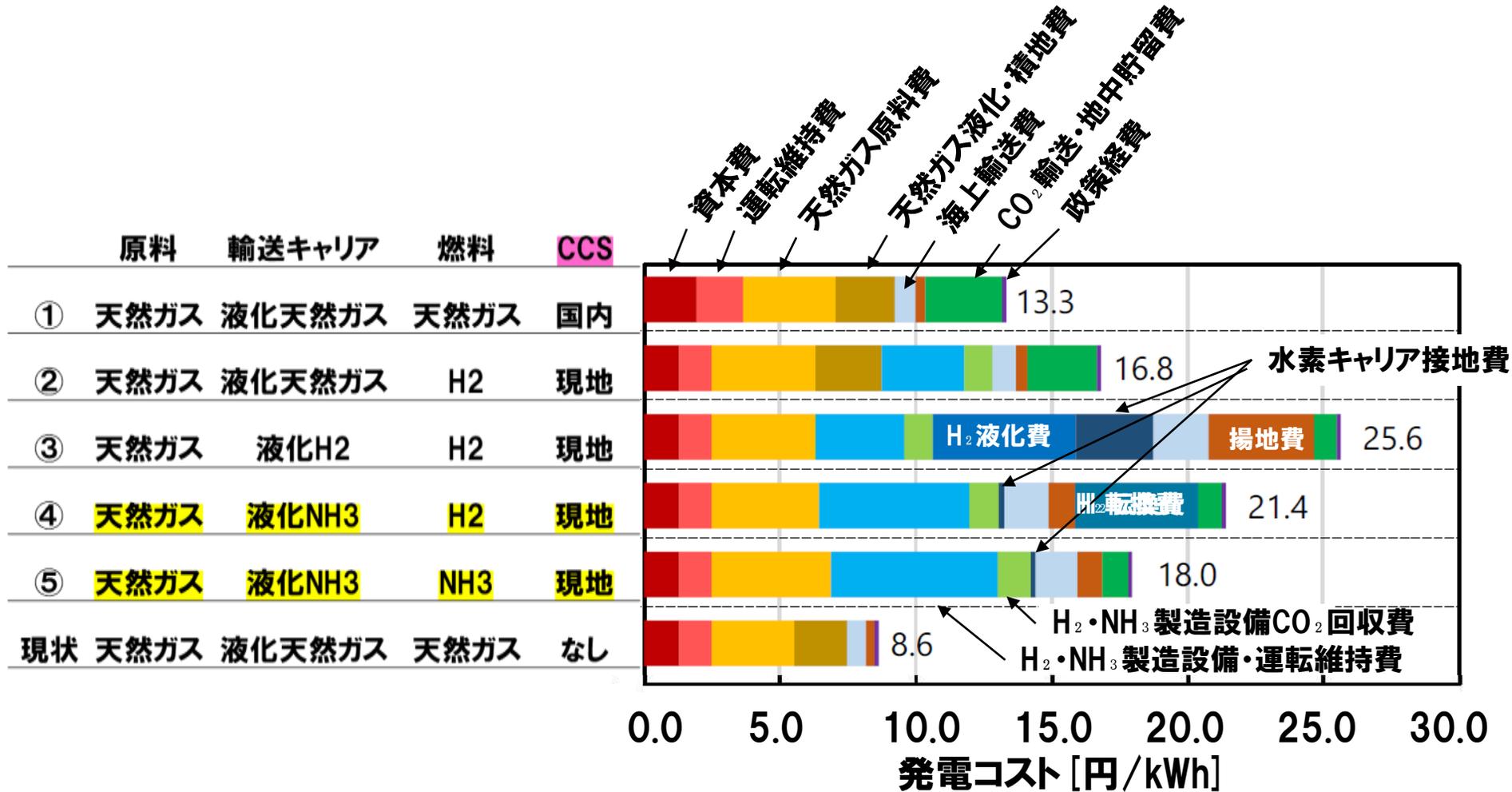
日本のPV工事費は諸外国平均の約4倍！
外国では、コストが大きく低下してきている(次頁)

(2022 US\$)



電中研による検討(2022)

水素・アンモニア輸入シナリオでは電気代は高騰



ブルー水素、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。

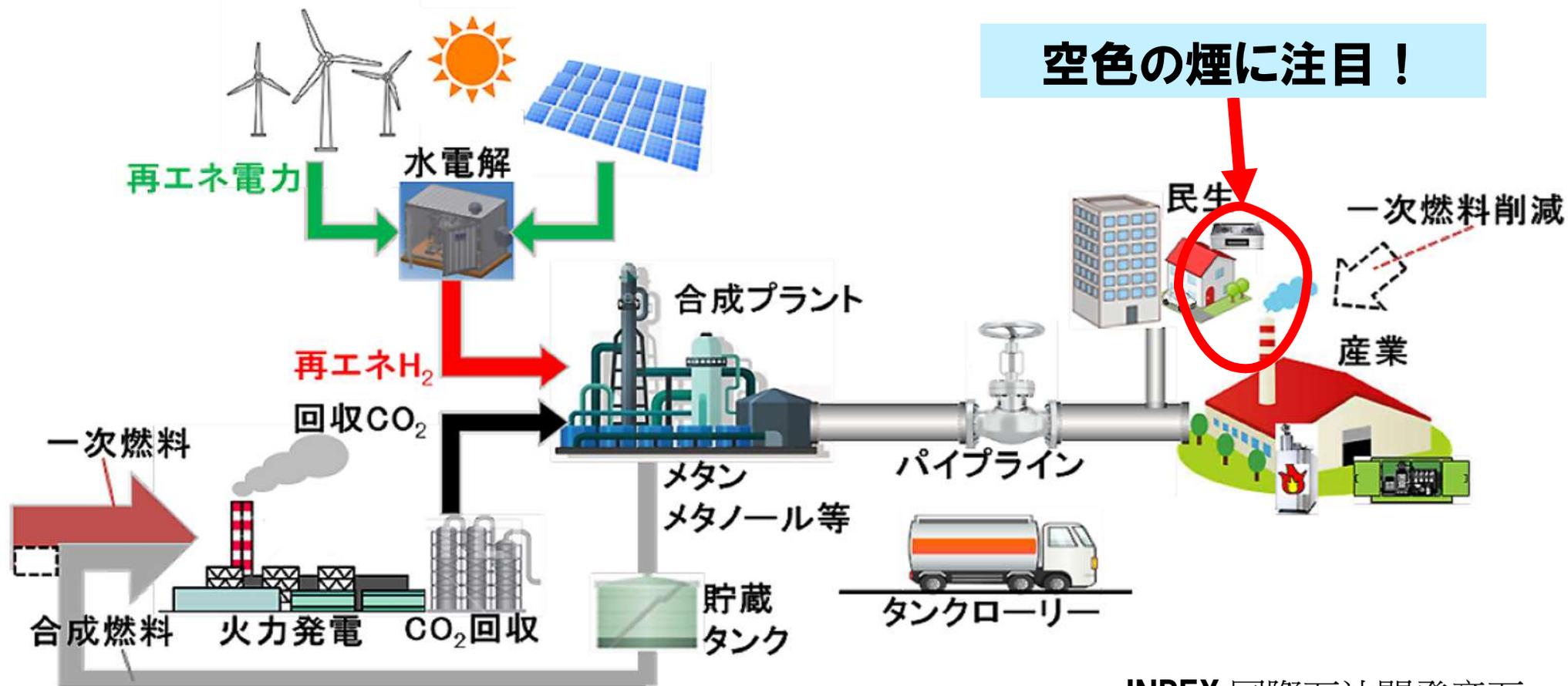
メタン： CH_4

その他合成燃料

CO_2 を大気中にまき散らすの？

DACをやるの？

合成メタンはCO₂の大気からの回収(DAC)を必要とする



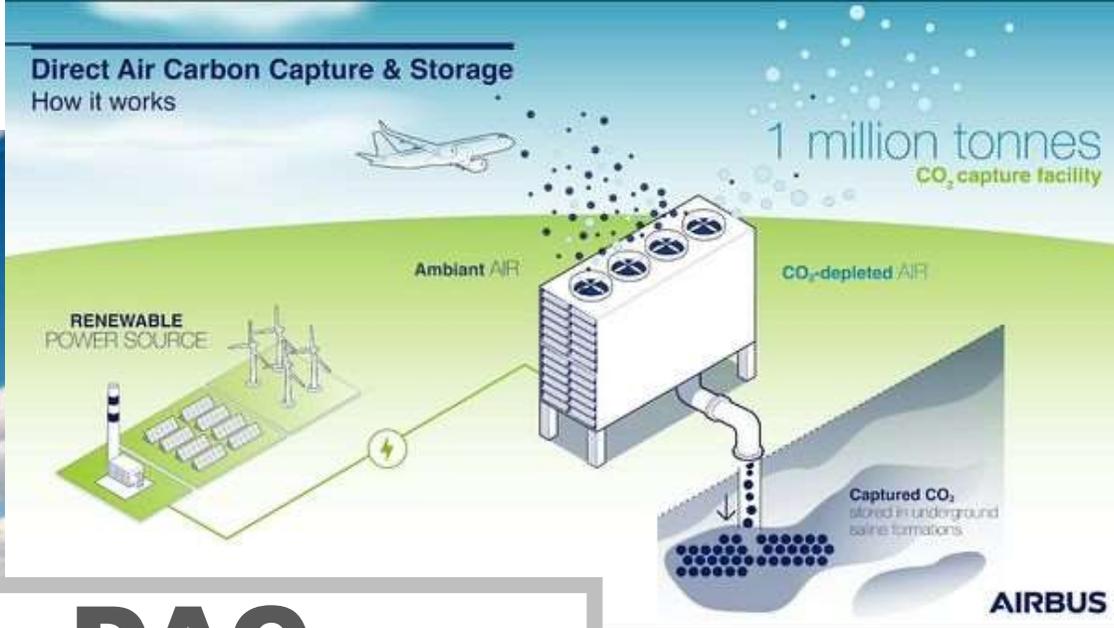
INPEX:国際石油開発帝石

NEDO, INPEX, 日立造船、「CO₂を有効利用するメタン合成試験設備を完成、本格稼働に向けて試運転開始」;
<https://www.hitachizosen.co.jp/release/2019/10/003404.html>

(c)Masayuki Horio



Photo: © Carbon Engineering



DAC

大気からのCO2直接回収



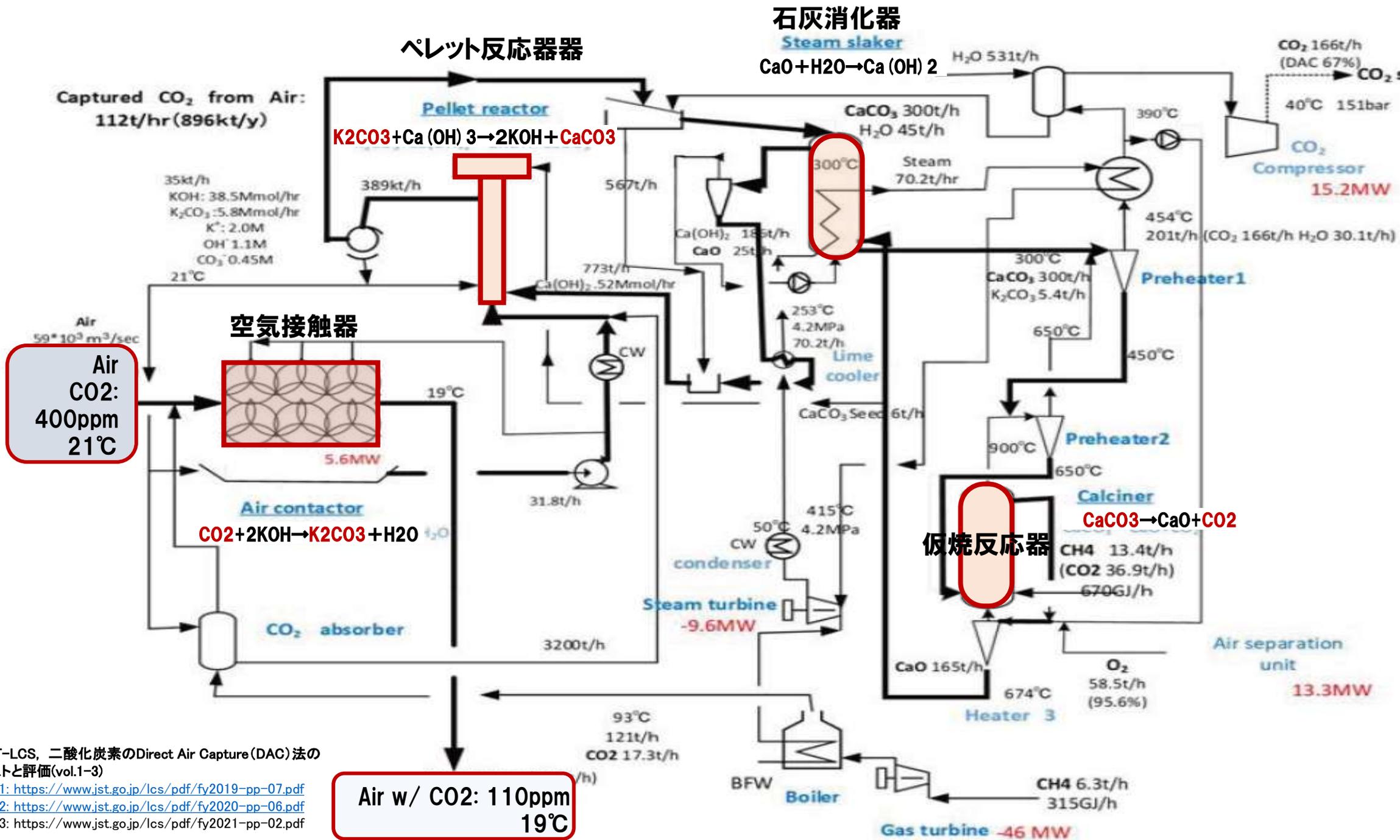
Photo: © Carbon Engineering

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

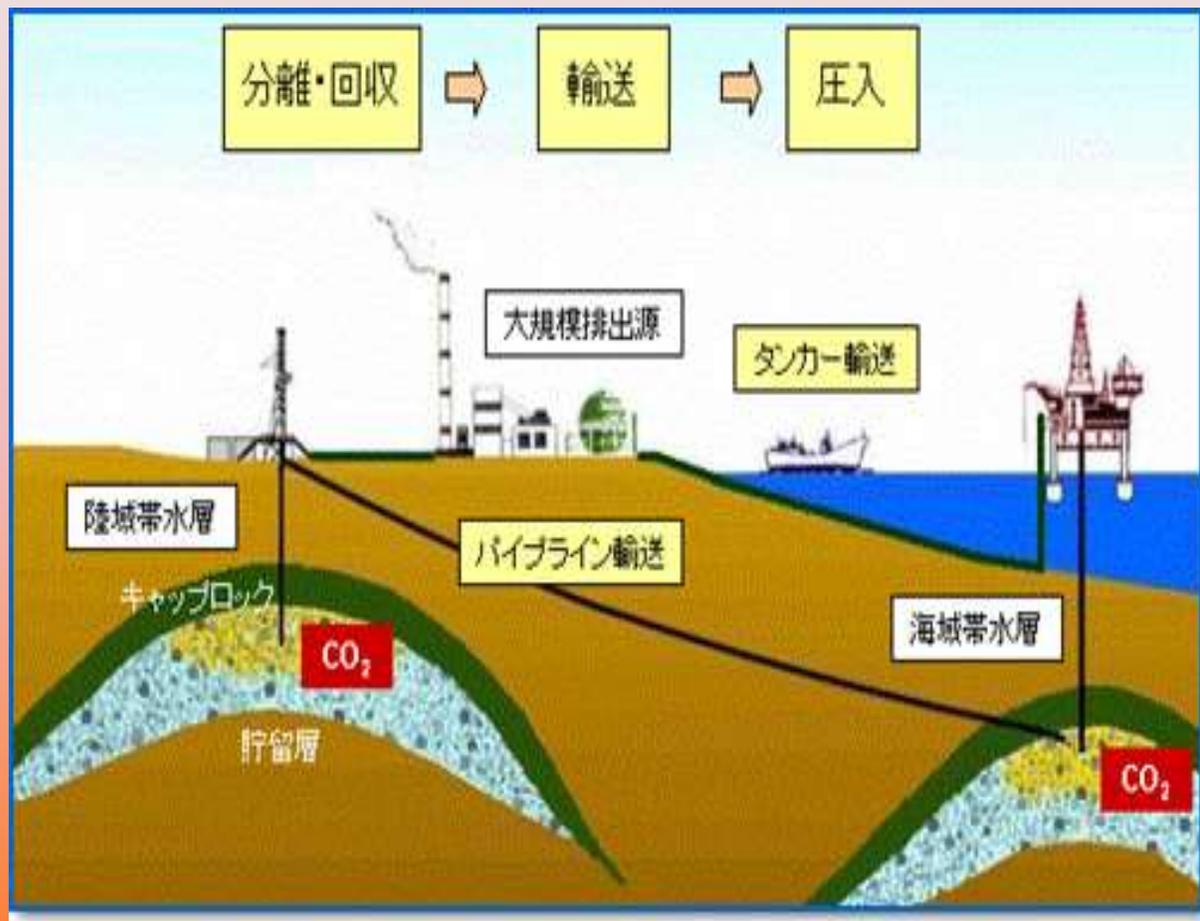
Airbus社によるイメージ図

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

CO₂:
40°C



JST-LCS, 二酸化炭素のDirect Air Capture (DAC) 法の
コストと評価(vol.1-3)
Vol.1: <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2019-pp-07.pdf>
Vol.2: <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-06.pdf>
Vol.3: <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2021-pp-02.pdf>



CCS

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

「CO2地中貯留プロジェクト」

液化CO₂船舶輸送実証事業

船舶による輸送実証

- 国内複数の拠点を想定して、遠距離の排出源から分離回収、輸送を行うCCSハブ&クラスター構想の重要技術
- 1000t級の液化CO₂/LPG兼用輸送船により輸送



舞鶴発電所
(石炭火力)

分離回収

石炭火力発電所

- 固体吸収材による分離回収
(1万t規模/年)
- 2023年度から分離回収予定



CO₂輸送船

分離回収

IGCC

- 物理吸収法による分離回収(10万t規模/年)



大崎クールジェン
(IGCC)

カーボンリサイクル 研究開発拠点

シグマパワー有明

大崎クールジェン

運航航路 例

日本CCS調査

苫小牧CCS実証試験センター



苫小牧CCS実証試験

貯留・モニタリング

- CCS実証試験を実施中
- 2016年度に圧入を開始し、2019年11月に30万t圧入を達成

苫小牧 CCS/CR拠点

- 苫小牧CCS実証の設備を有効活用
- 遠距離の排出源からCO₂を回収し、カーボンリサイクルの取組を実施し、工業都市の苫小牧市で利活用

「液化CO₂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、舞鶴から苫小牧への約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

4つの視点

2. 工場の中か街/村の中か

工場の中

限定された空間
専門的・一元的な安全管理

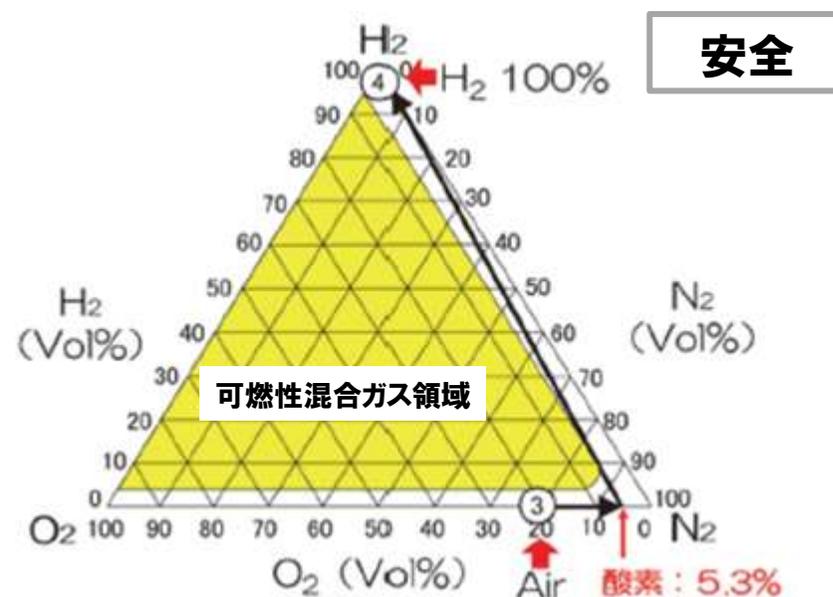
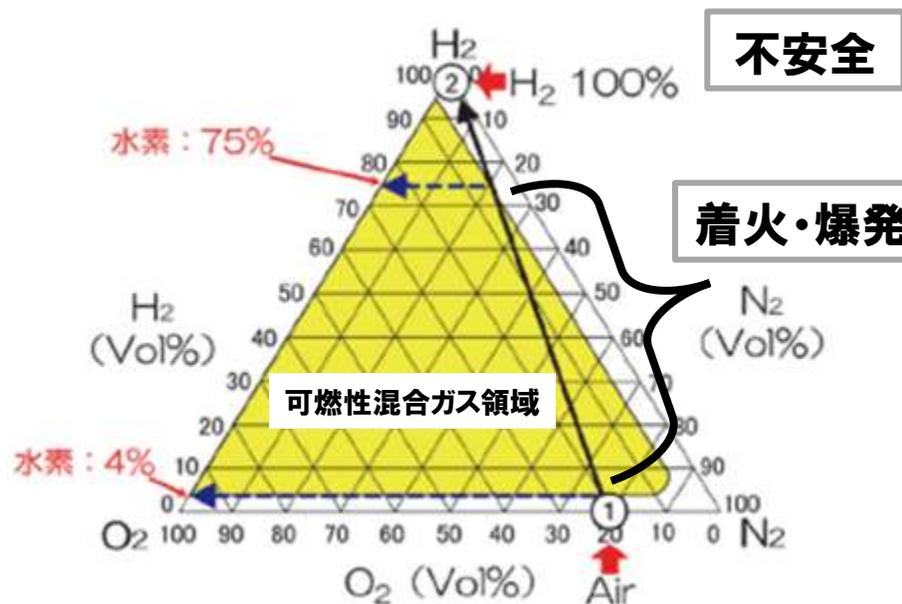
街/村の中

無制限の空間
多様な非専門家が
関与する安全管理



工場の外に出ざるを得ない
水素交通システム

水素は着火・爆発しやすく、設備を市中に分散させるべきではない



a. 水素が空气中に混入して濃度が増していく場合：
①（空気）と②（水素100%）を結ぶ直線状をたどる。
水素濃度が4%～75%の間が可燃性混合ガスの状態。

b. 空気充满容器に安全に水素を充てんする方法：
③（空気）を窒素でパージし、酸素濃度が5.3%を下
回ったら、水素を加えていき④（水素100%）に到達。

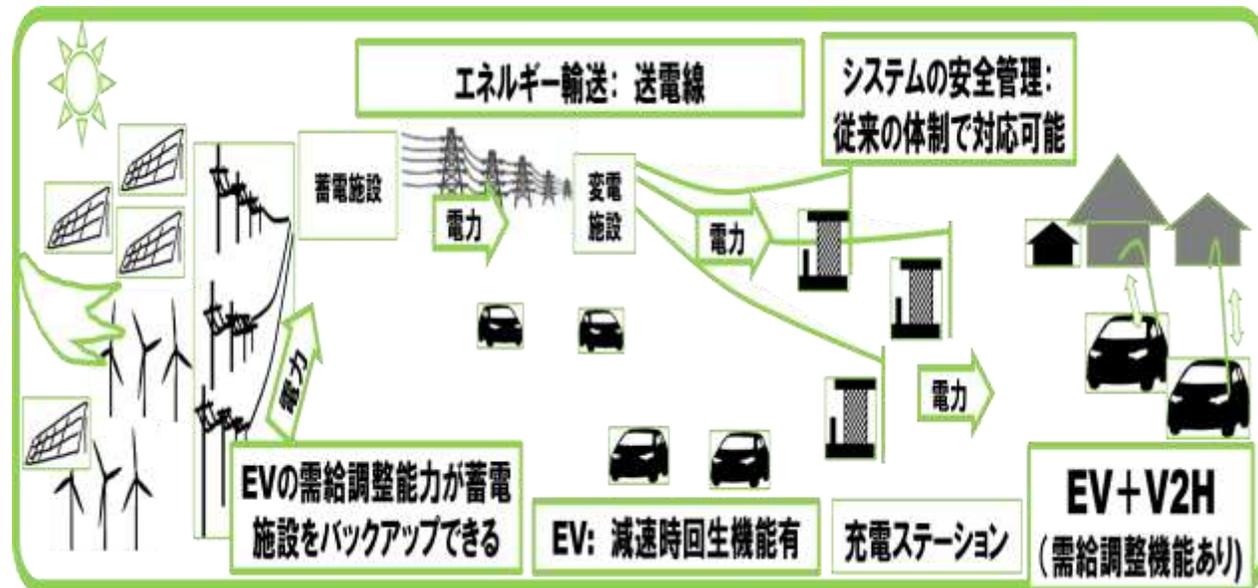
重森 敦、水素の物性と安全な取り扱いについて、
低温工学、55(1), 59-61(2020)

水素FCVとEVの社会システム比較

FCV:水素燃料電池自動車



BEV:電気自動車



	道路の状況	安全管理体制	エネルギー補給	再エネ利用総合効率
FCV:水素燃料電池自動車	200気圧の水素タンクローリーが行きかう	未整備	800気圧水素を扱う水素ステーション	20%以下
BEV:電気自動車	クリアー	完備	充電ステーション	75%以上

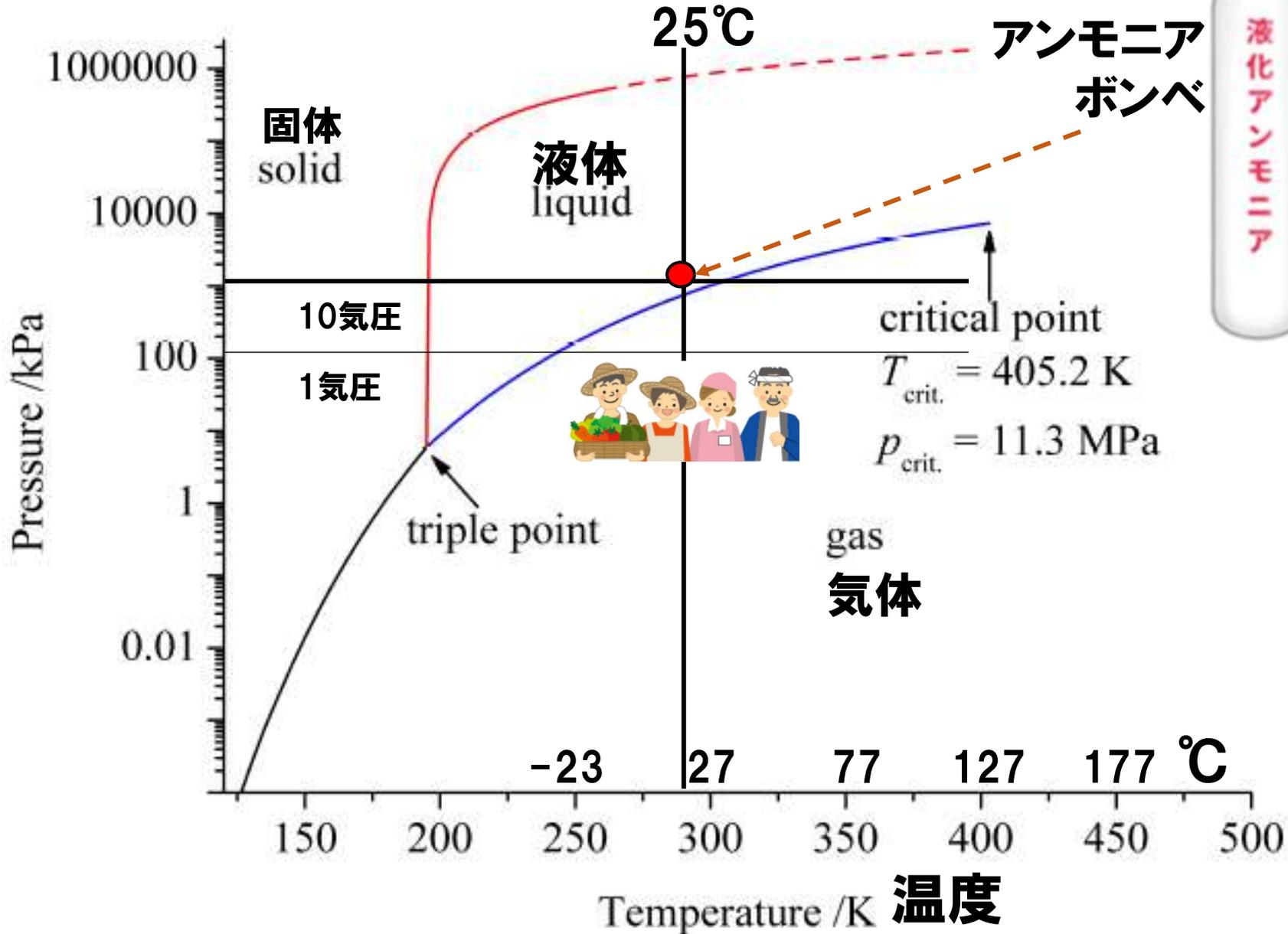


化学工場の外に出るのか
アンモニア



アンモニアの状態図

圧力
[kPa]
キロパスカル
101kPaが1気圧



「アンモニア水」とは:アンモニアの水溶液。市販の濃アンモニア水は濃度約28%で比重0.9, 飽和溶液は35%程度で比重0.88。アンモニア臭を発し, アルカリ性。分析試薬として重要な役割をもつほか, 衣類の染み抜き, 虫刺されの際の中和剤として外用薬にも利用(コトバンク)

アンモニア安全データシートより

物理化学的危険性

可燃性／引火性ガス 区分1

高圧ガス 液化ガス

健康に対する有害性

急性毒性(吸入:ガス) 区分4

皮膚腐食性／刺激性 区分1

眼に対する重篤な損傷／眼刺激性 区分1

呼吸器感作性 区分1

特定標的臓器毒性(単回ばく露) 区分1(中枢神経系、呼吸器)

特定標的臓器毒性(反復ばく露) 区分1

危険有害性及び影響：可燃性・引火性の高いガス：アンモニアは強い臭気があるので、漏洩した場合、直ちに発見できるので大量吸入することは少ないが高濃度のアンモニアを吸入するとその刺激でショックにより呼吸が停止する場合もある。

長時間吸入すると、眼、気管支、肺の粘膜に炎症を起こす。腐食性・毒性の強い液体及び蒸気で、皮膚や粘膜を激しく侵す。

GHS分類(区分数字が小さい方が危険・有害性が高い。1(危険)⇔4(比較的安全)):

GHS:「化学品の分類および表示に関する世界調和システム」(The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals:GHS)、2003年7月に国連勧告として採択

大陽日酸㈱「アンモニア安全データシート」より。

<https://miyabara-sanso.jp/wp/wp-content/uploads/2018/11/e85adcfe009e7e612bb6eaebdb73f0a1.pdf>

CCS

工場の外に出ざるを得ない
CCS

CO₂の状態図

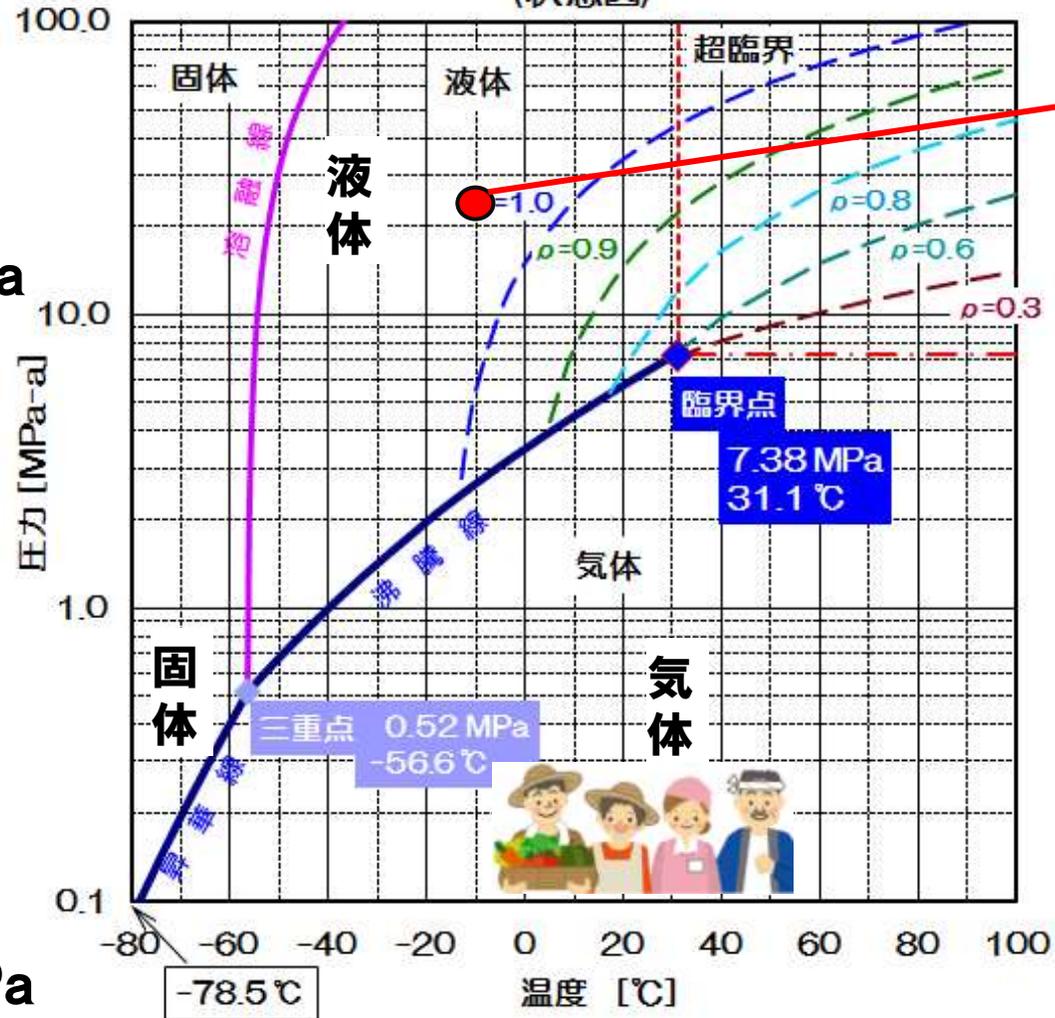
CO₂の温度-圧力線図
(状態図)

パイプライン

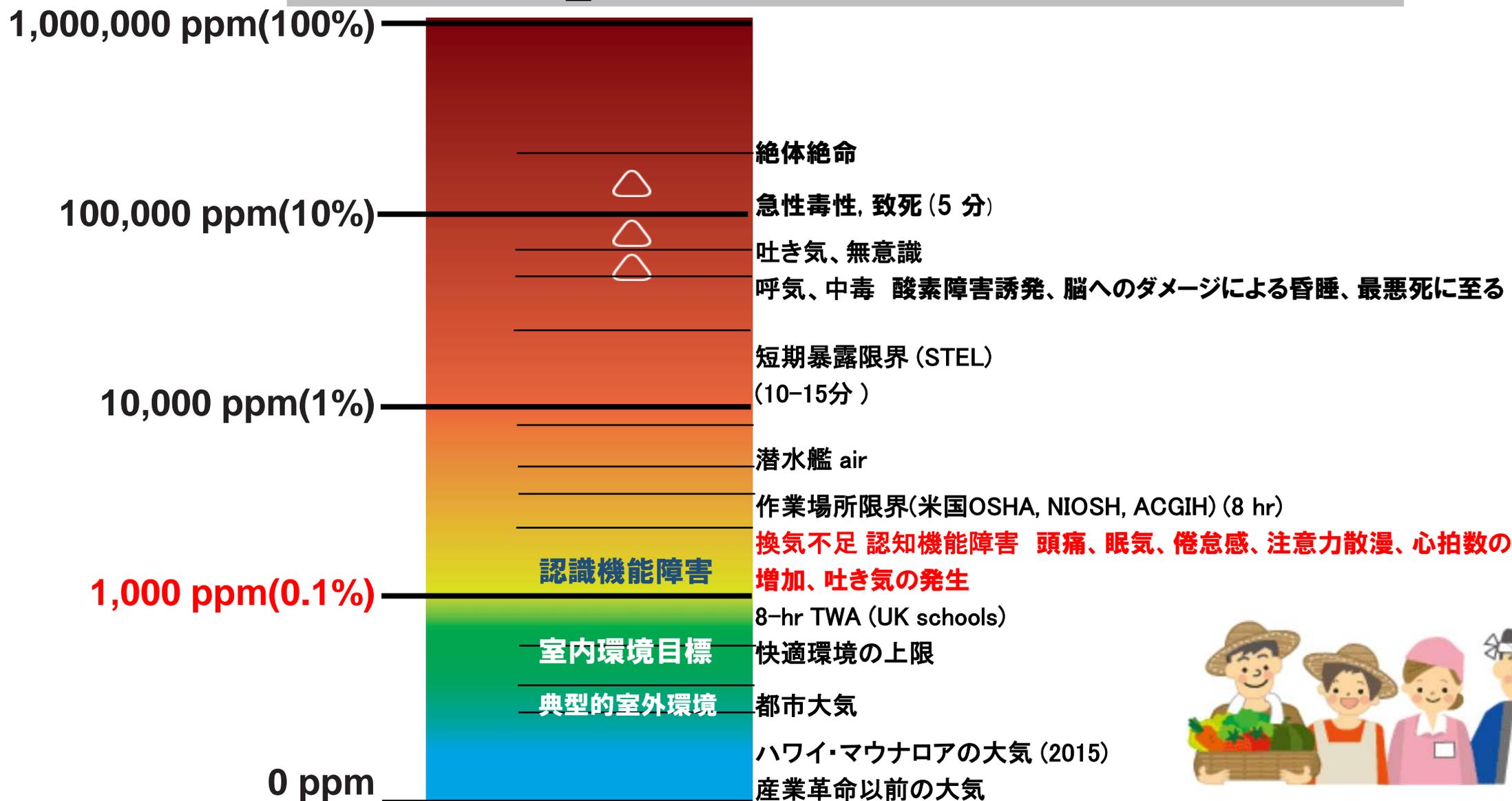
100気圧
=10.1MPa

約200
気圧

1気圧
=101kPa



CO₂の空气中濃度と危険性

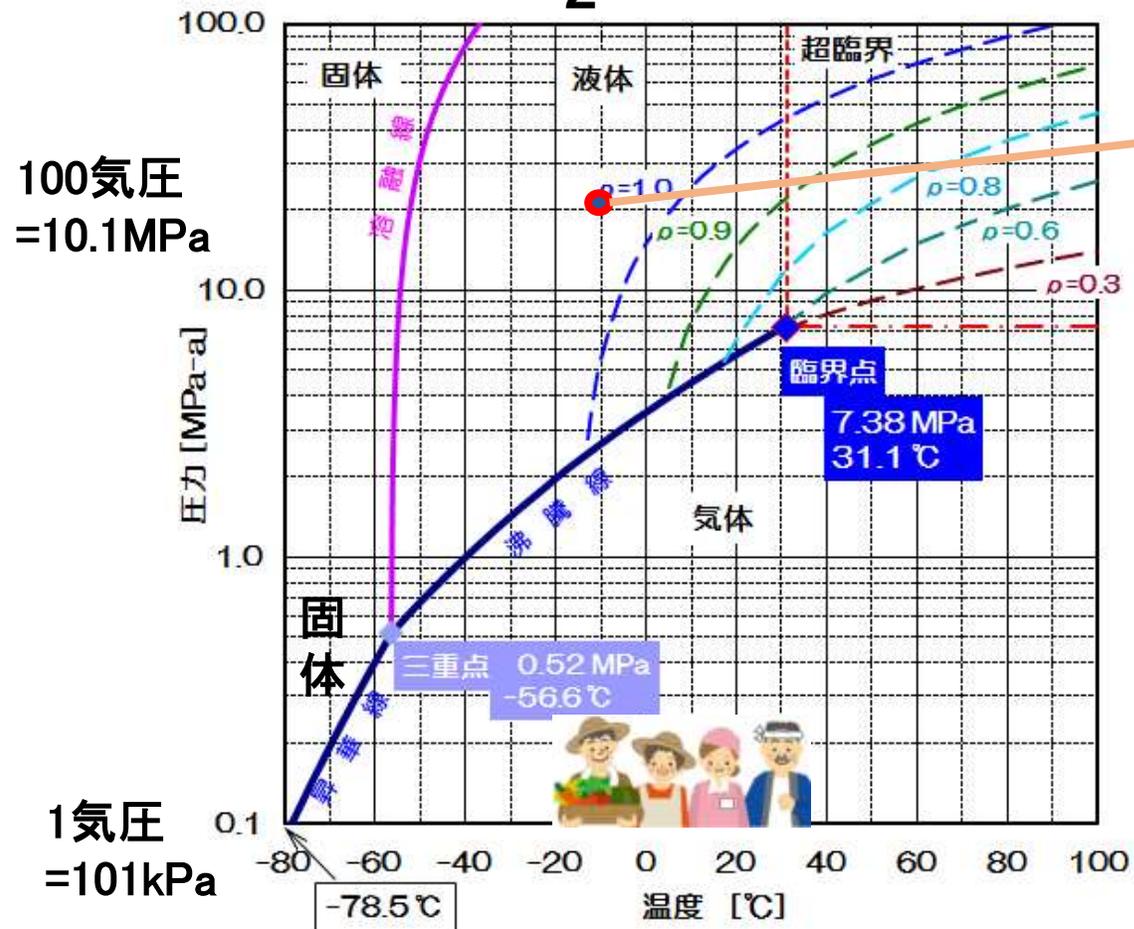


<https://www.san->

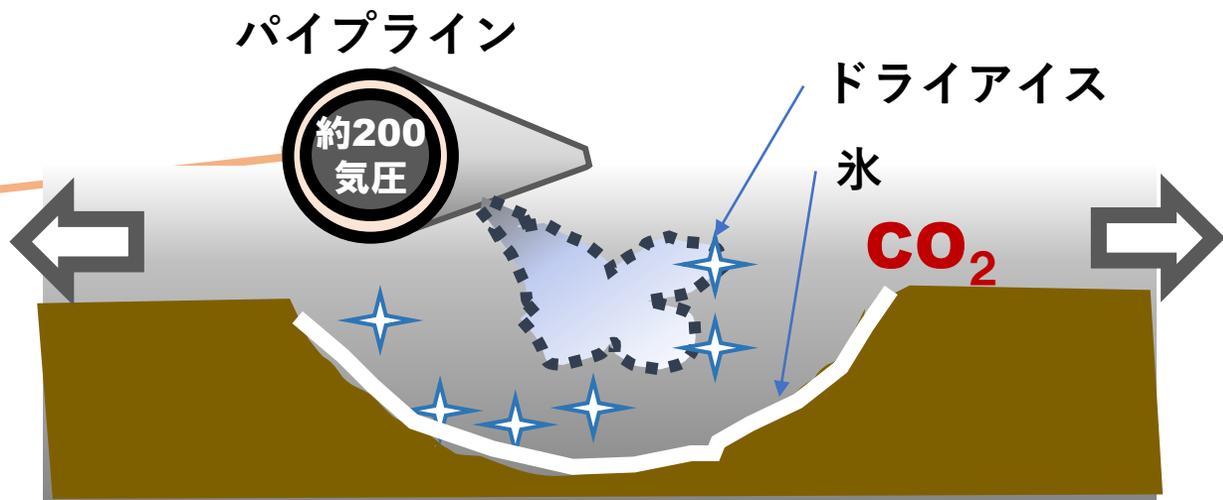
[eee.com/measuring/co%E3%81%A8co2%E6%BF%83%E5%BA%A6%E3%81%AE%E4%BA%BA%E4%BD%93%E3%81%B8%E3%81%AE%E5%8D%B1%E9%99%BA%E5%BA%A6%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%97%E3%81%A6/](https://www.san-eee.com/measuring/co%E3%81%A8co2%E6%BF%83%E5%BA%A6%E3%81%AE%E4%BA%BA%E4%BD%93%E3%81%B8%E3%81%AE%E5%8D%B1%E9%99%BA%E5%BA%A6%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%97%E3%81%A6/)

CO₂パイプラインからCO₂が噴出すると

CO₂の状態図



CO₂漏洩時の現象



CO₂(分子量44)の密度(常圧25°C) = 1.8kg/m³.
 空気(分子量28.8)の密度(同上) = 1.18kg/m³.
CO₂は空気より重く、漏洩後、地面を這うように広がっていく。

「脱炭素の論点」 p.175 図表5 は不正確でしたので訂正します

CO₂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CO₂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_60dde9fe4b0dde8b0ddc8f

CO₂パイプラインの事故報道

By Dan Zegart, ハフポスト、2021年8月26日版

2007年、デンプリー社はティンズリー油田とミシシッピ州ジャクソンの地下にある死火山ジャクソン・ドームを結ぶ31マイルのデルタ・パイプラインを建設した。デンプリー社は2009年、デルタ・ラインをルイジアナ州のデリー油田まで77マイル延長した。

デンプリー社は、このCO₂を原油増進回収法（EOR）に使用する。油田の石油の約20%から40%は、従来の掘削と貯留層への水の注入によって回収することができる。その後CO₂を注入すれば、最大で60%の収量を増やすことができる。

油田でのCO₂使用は、いくつかの州や海外で事故を引き起こしている。注入されたCO₂が水、泥、掘削泥水とともに地表で爆発する「ブローアウト」と呼ばれる大規模なCO₂噴出事故が2011年にティンズリー油田で発生し、収束までに37日間を要し、1人の作業員が病気になり、鹿、鳥、魚、その他の動物が死んだ。

デンプリー社はミシシッピ州ですでに2度、噴出事故を起こし、2007年にはアミテ郡で地元住民の避難を必要とした。2013年にもデリー油田でCO₂の地下噴出が6週間以上続き、危険なレベルのCO₂とメタンの両方で大気を汚染した。

デンプリー社をはじめとするEOR企業は、CO₂の危険性を熟知している。ミシシッピ州東部にあるデンプリー社のハイデルベルグ油田では、CO₂の危険性を警告する標識があり、SCBA(自給式呼吸器)の着用が義務付けられている。また、同社のウェブサイトには、「パイプラインの安全はみんなの責任」という一般向けのパンフレットと、「AWARE：CO₂パイプラインの漏出に対応するための戦術」という救急隊員向けのパンフレットが掲載されている。この記事のためにインタビューした救急隊員は誰もどちらも見ていない。

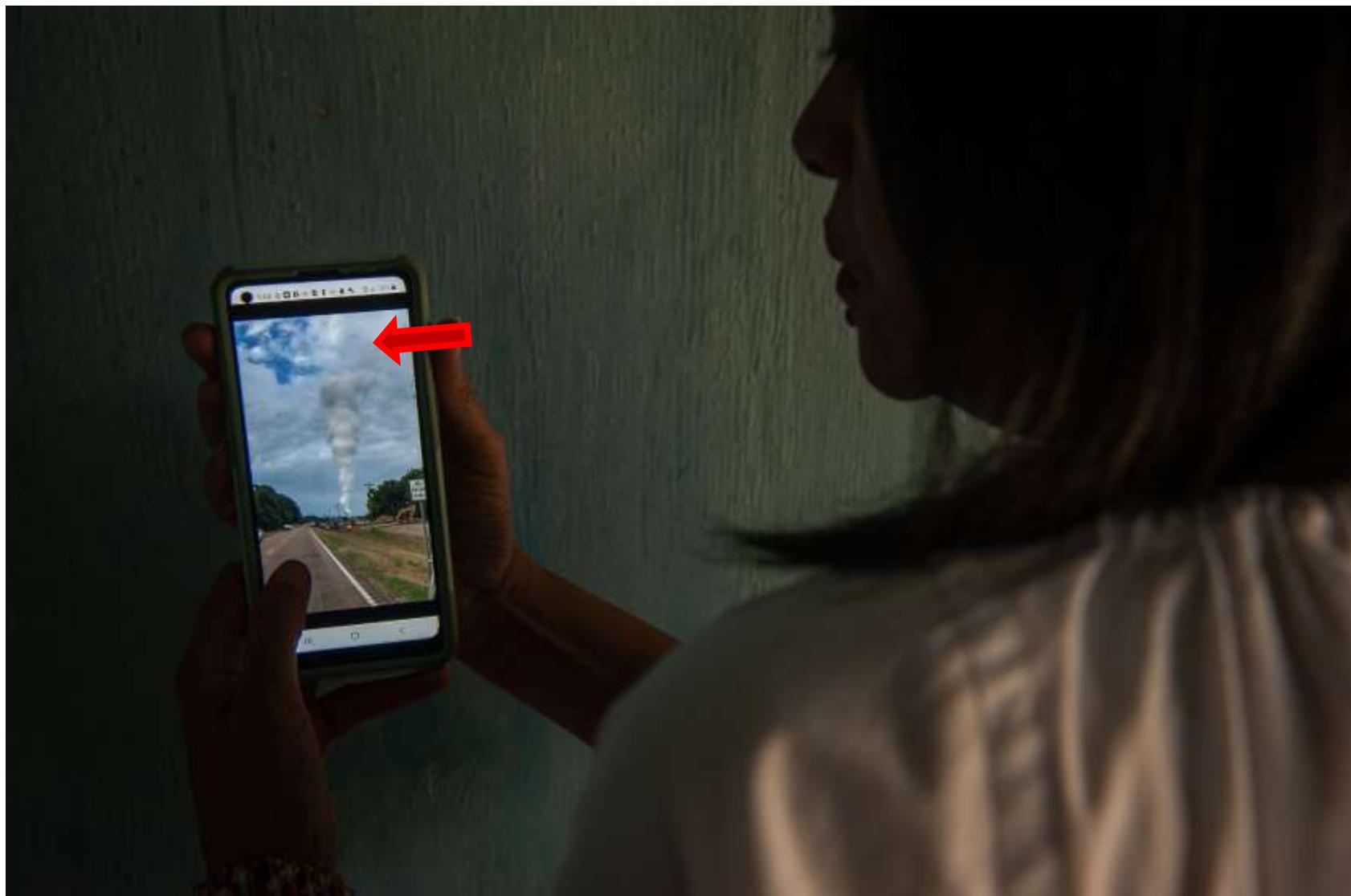
世界保健機関（WHO）の気候変動・健康環境決定要因ユニットのチーフであるマルセロ・コルク氏によれば、CO₂暴露の危険性はすでに確立されていたが、屋外でのCO₂パイプライン漏えいによる負傷について調査したのは、今回のサターシャのガス処分が世界で初めてだという。



Gas victim DeEmmeris Burns in July 2021, near the site where he was rescued in Satartia.
Rory Doyle for HuffPost



Gas victim Thelma Brown in July, near the site where two of her sons and one of her nephews were rescued in Satartia.
Rory Doyle for HuffPost



Berneva Lewis plays a video of an October 2020 gas leak in Satartia.
Rory Doyle for HuffPost.

米国デンバー社のCO₂パイプライン



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

ミシシッピ州ティンズリーの施設



Left: The Tinsley oil field in Tinsley, Mississippi, on July 23, 2021. Right: A CO₂ gas pipeline remains active in Satartia, Mississippi, that same day.

Rory Doyle for HuffPost

https://www.huffpost.com/entry/gassing-satartia-mississippi-co2-pipeline_n_60ddea9fe4b0ddef8b0ddc8f

4つの視点

3. 長期持続可能かー地震国日本において

CO₂パイプラインの対震安全性は？
貯留したCO₂の人類史的長期安全性は？

「核のごみ処分地」日本に適地はない」地質学者ら300人が声明公表」

佐々木英輔 朝日新聞デジタル2023年10月30日

- 地震学者はCCSについても同様の声明をすべきではないか。
- また、CCS事業法案はいったん廃案にし、もし、提案するのであれば、上記2点に関する十全な対応を準備して出直すべき。

CCS

工場の外に出ざるを得ない
CCS

発生日	名称	死者・行方不明者数(人)	規模(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(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	東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)	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CO₂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



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



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/>

2005 CCS報告書 RITE

表 2.3-2 各地域の理論的最大貯留可能量

大規模排出源地域	貯留面積 A (km ²)	有効層厚 H (m)	砂泥比率 h (m)	孔隙率 ϕ	CO2 貯留可能容積 (km ³)	貯留可能量 (億t) 貯留率Sf 25%	
東京湾	貯留層堆積 315km ³ 上総層群下部砂割合 (富津井で代表)0.35			0.443 & 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
九州	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

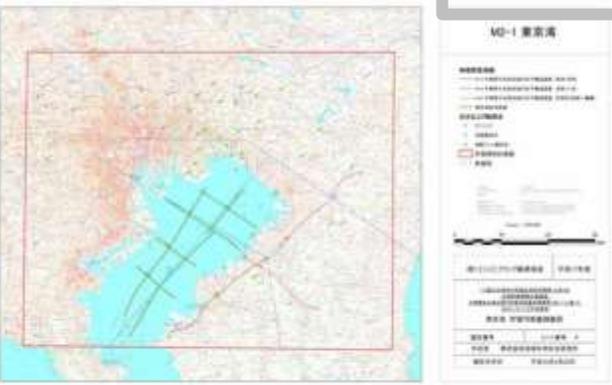


図 2.4-17 東京湾貯留可能量調査図

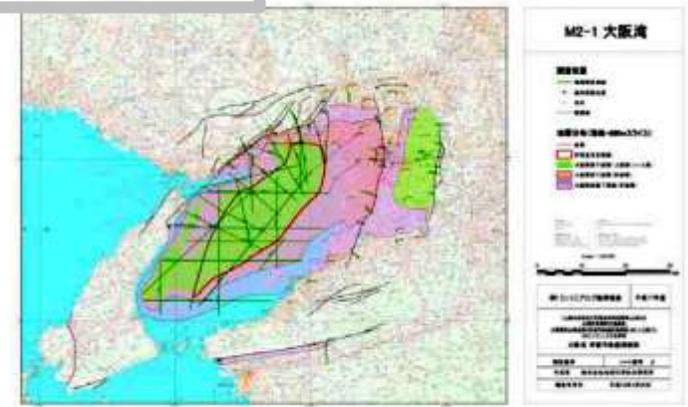


図 2.4-15 大阪湾貯留可能量調査図



図 2.4-16 伊勢湾貯留可能量調査図

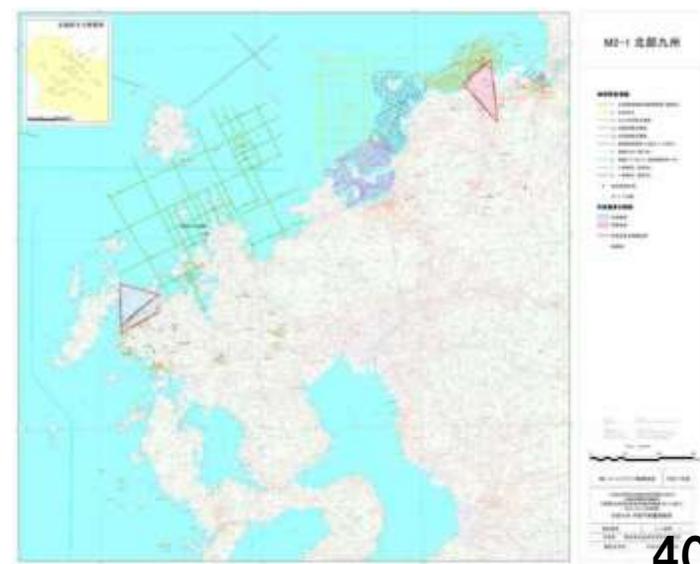


図 2.4-14 北部九州貯留可能量調査図

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

4つの視点

4. 住民・国民・自治体は納得するか



住民を無視した開発が横行してきた

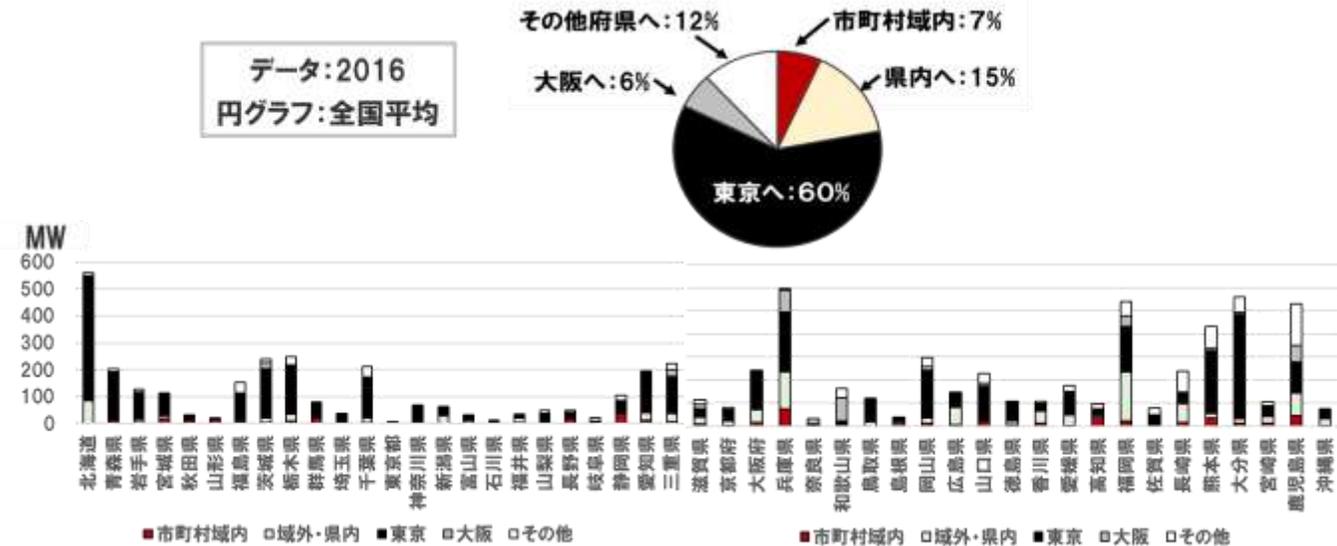


図1 メガソーラーの帰属地分布

再エネに反対運動が起きているのは、日本の再エネ（自然エネルギー）が、地元主体のものでなかったから。

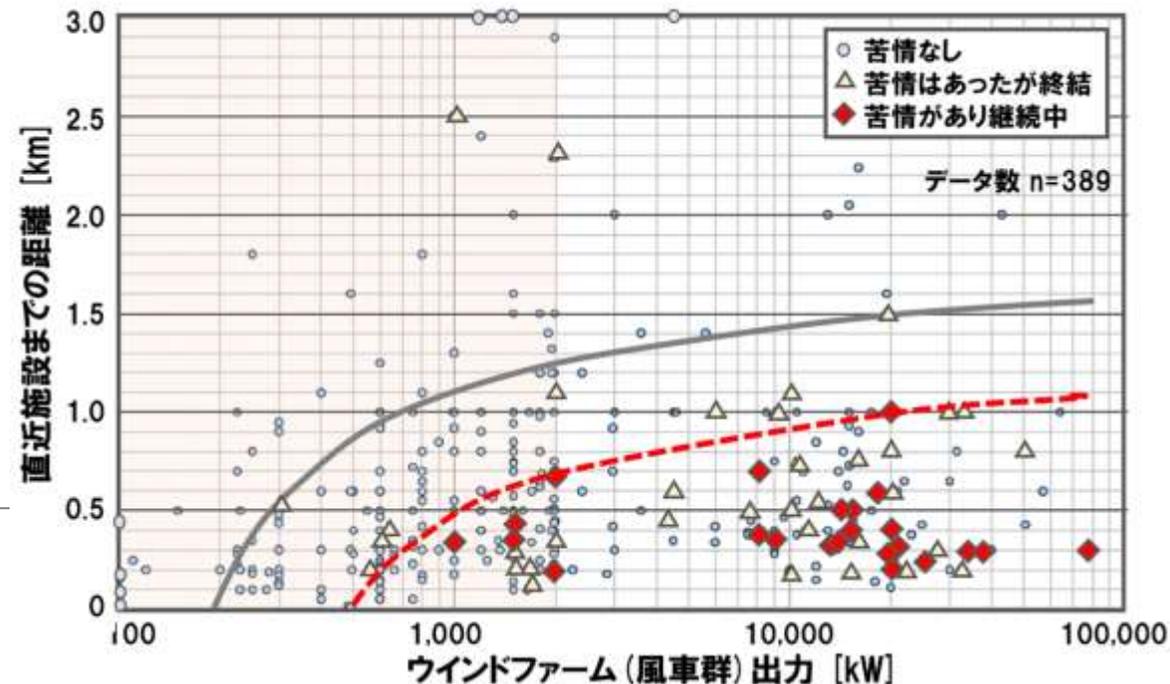
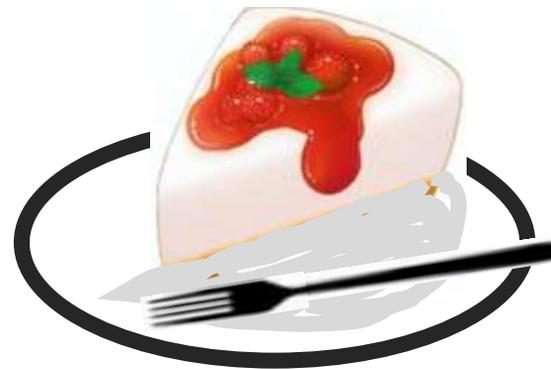


図2 風力発電への苦情・係争データから見えること
JWPAデータより作成

CCS, 水素・アンモニアの事故ははるかに重大

**Thank you for
your attention.**

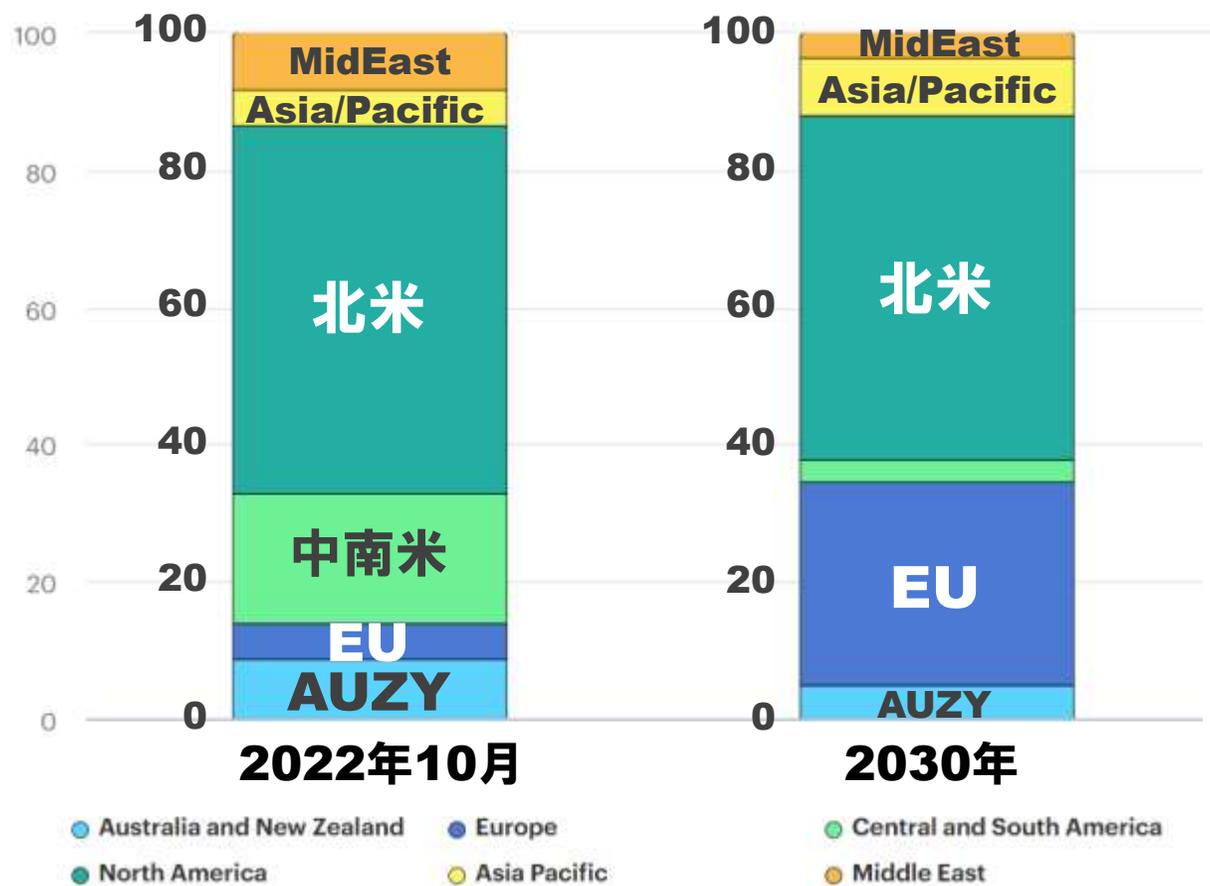


付録

世界のCCSプロジェクト

sector By region

%

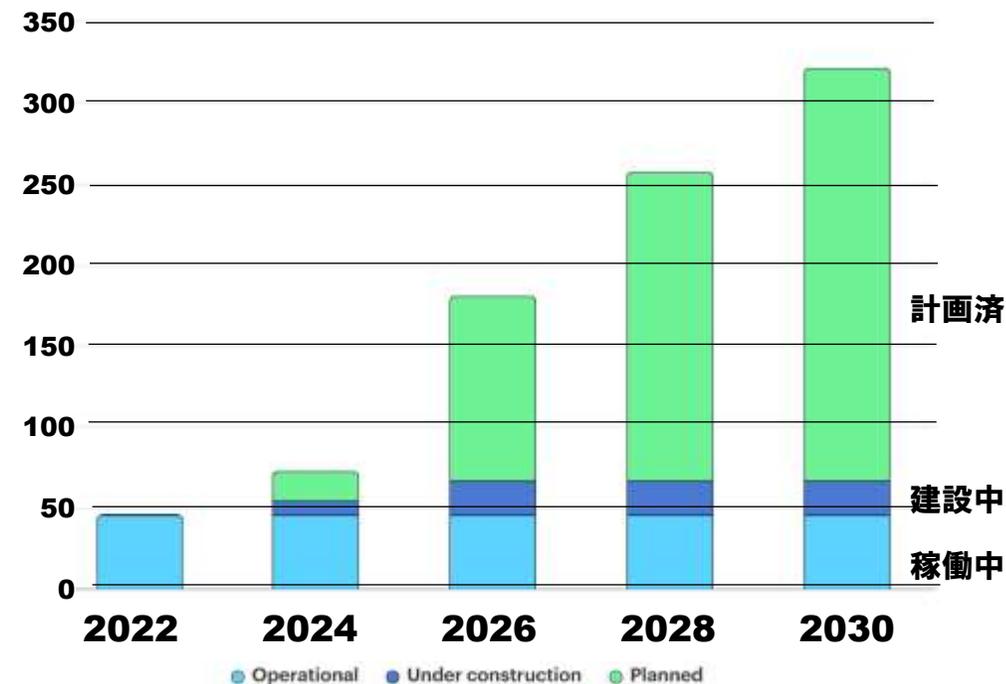


Operational and planned capture capacity

By status By project type

Mt CO₂ per year

Mt-CO₂/yr



<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer>

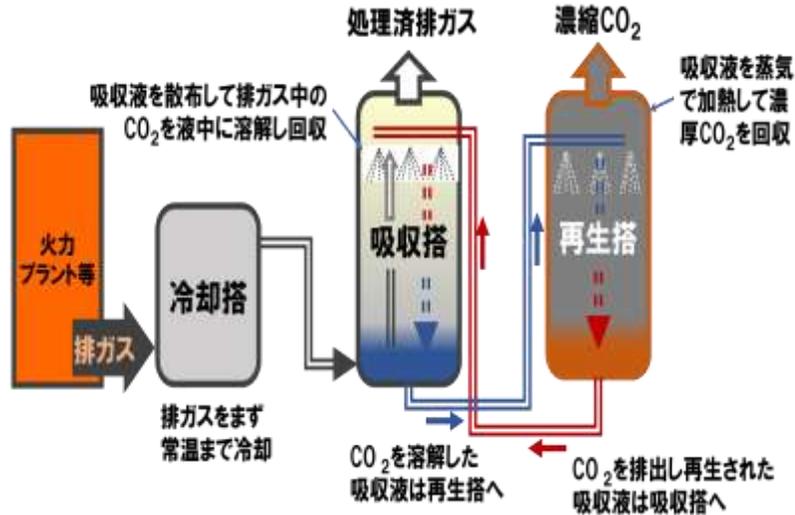
日本のCCSプロジェクト

Project name	Partners	Project type	Announcement	FID	Operation	Suspension/decommissioning	Project Status	Announced capacity (low) (Mt CO2/yr)	Announced capacity (high) (Mt CO2/yr)	Sector
Eneos J-Power coal power capture	Eneos Holdings, J-Power	Full chain	2022	2026			Planned			Power and heat
Large-Scale and Wide-Area Carbon Capture and Storage	ITOCHU, Mitsubishi HI, INPEX, Taisei	T&S	2023		2030		Planned			CO2 T&S
Mikawa Power Plant BECCS Fukuoka Prefecture	SIGMA Power Ariake (Toshiba), ESS	Capture	2016	2017	2020		Operational	0.18	0.18	Power and heat
Niigata East Port CCUS Hub & Cluster	JAPEX	T&S	2022		2030		Planned			CO2 T&S
Tomakomai CCS demonstration project	Japan CCS Idemitsu,	Full chain	2008		2016	2019	Operational	0.1	0.1	Hydrogen/ammonia
Tomakomai CCUS hub & cluster	Hokkaido Electric Power, JAPEX	Full chain	2023		2030		Planned			CO2 T&S

T&S アセット：輸送設備あるいは貯留施設

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer>

CO₂の分離方法の種類

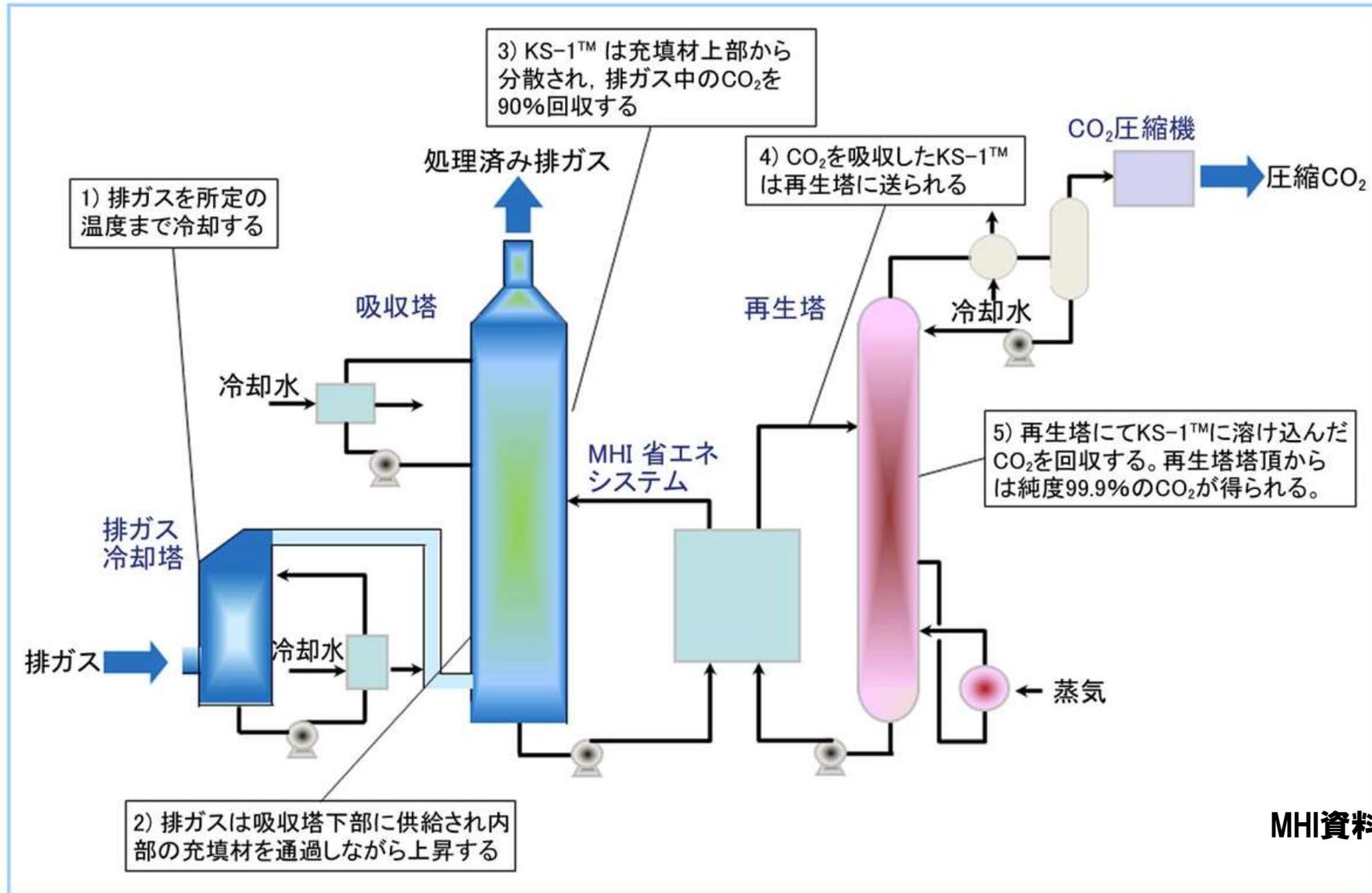


アミン法の概要

	方式	問題点	長所
アミン	二塔式 湿式、温度切り替え(130°C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 ₂ /CO ₂ 燃烧	燃烧方法を変更 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	複数塔バッチ切替え 圧力・温度スイング	多数の吸収塔が必要⇒煩雑	乾式分離

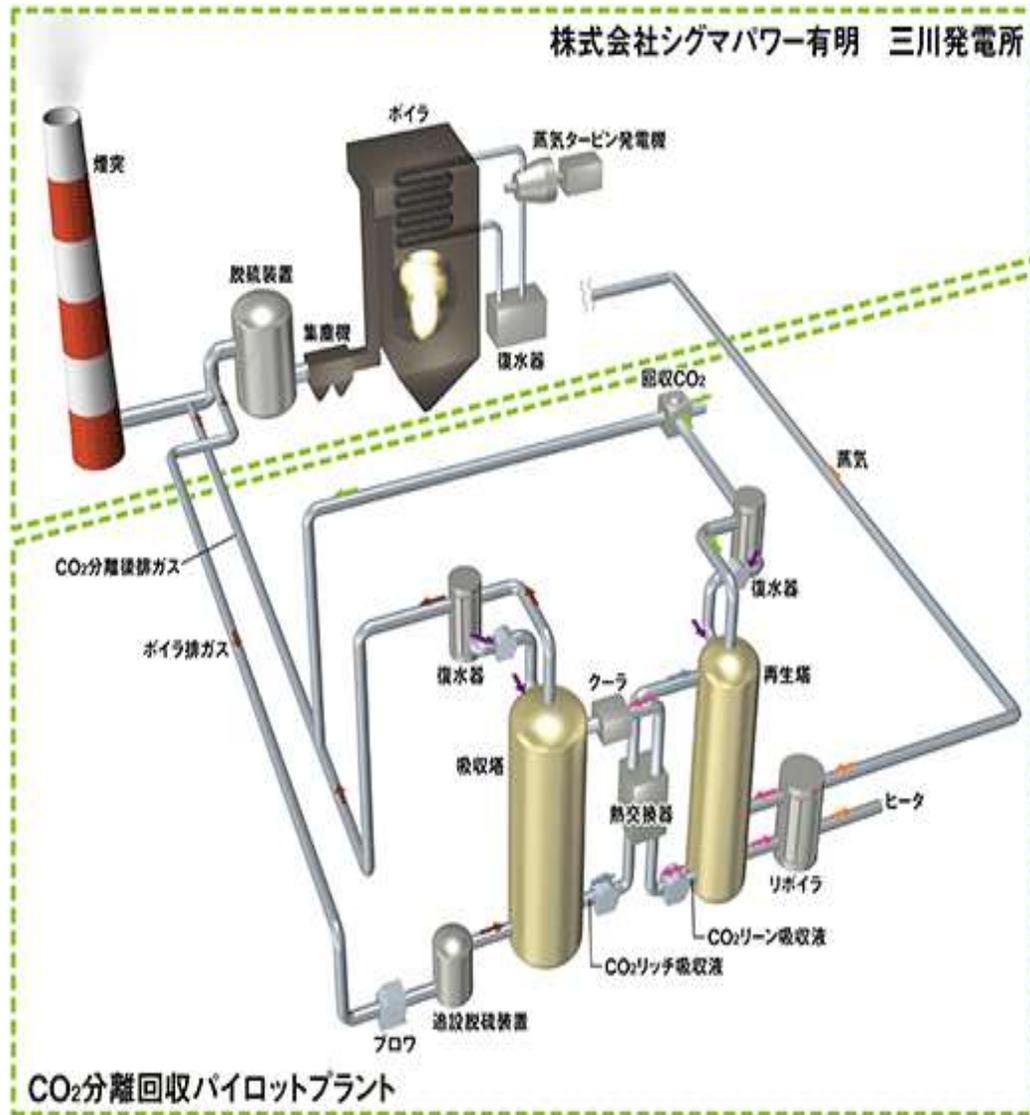
最新情報については以下も発行されています：
 CO₂の分離・回収・貯留の最新技術
 2022年04月11日刊 発行：(株)エヌ・ティー・エス
 B5 370頁 ISBN 978-4-86043-771-8
 税込49,500円

アミン法のプロセスフロー



MHI資料より

CO₂分離回収プラント



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

(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



設備名称	三川発電所
発電出力	50,000kW
バイオマスボイラ	循環流動層ボイラ
主燃料	PKS
タービン	衝動式抽気復水型
発電機	三相交流同期発電機
敷地面積	約9.6万㎡
燃料置場	最大約3万トン
運転開始	2017年4月

CO₂吸収設備



三川発電所から1日に排出されるCO₂の50%にあたる500トン以上のCO₂を分離回収;技術:東芝

MHIによるCO₂分離回収プラント納入・受注実績



2023年4月現在、世界各地に計15基の商用CO₂回収プラントを納入、さらに3基を建設中。商用CO₂回収プラントにおける排ガスからのCO₂回収設備容量ベースで世界トップシェア(三菱重工調べ)(MHI ホームページより)

https://www.mhi.com/jp/products/engineering/co2plants_projectrecords.html

JXによるテキサス、ペトラ・ノヴァ石炭火力でのCCS

資金は、米国エネルギー省の補助金190 百万ドル、国際協力銀行と日本貿易保険の適用を受けたみずほ銀行の協調融資によるプロジェクト・ファイナンス250 百万ドル、そしてこれらにJX とNRG 両社の資金を加え、総額10 億ドル規模。

2012 年9 月 JX プロジェクトへの検討開始

2013 年11 月 開発計画策定

2014 年6 月 JX 最終投資決定

2014 年7 月 プロジェクト参入

2014 年9 月 CO2 回収プラント建設工事着工

2016 年12 月 CO2 回収プラント商業運転開始およびウエストランチ油田(130km先)へのCO2 圧入開始

2017 年2 月 ウェスト・ランチ油田にてCO2-EOR による原油生産開始

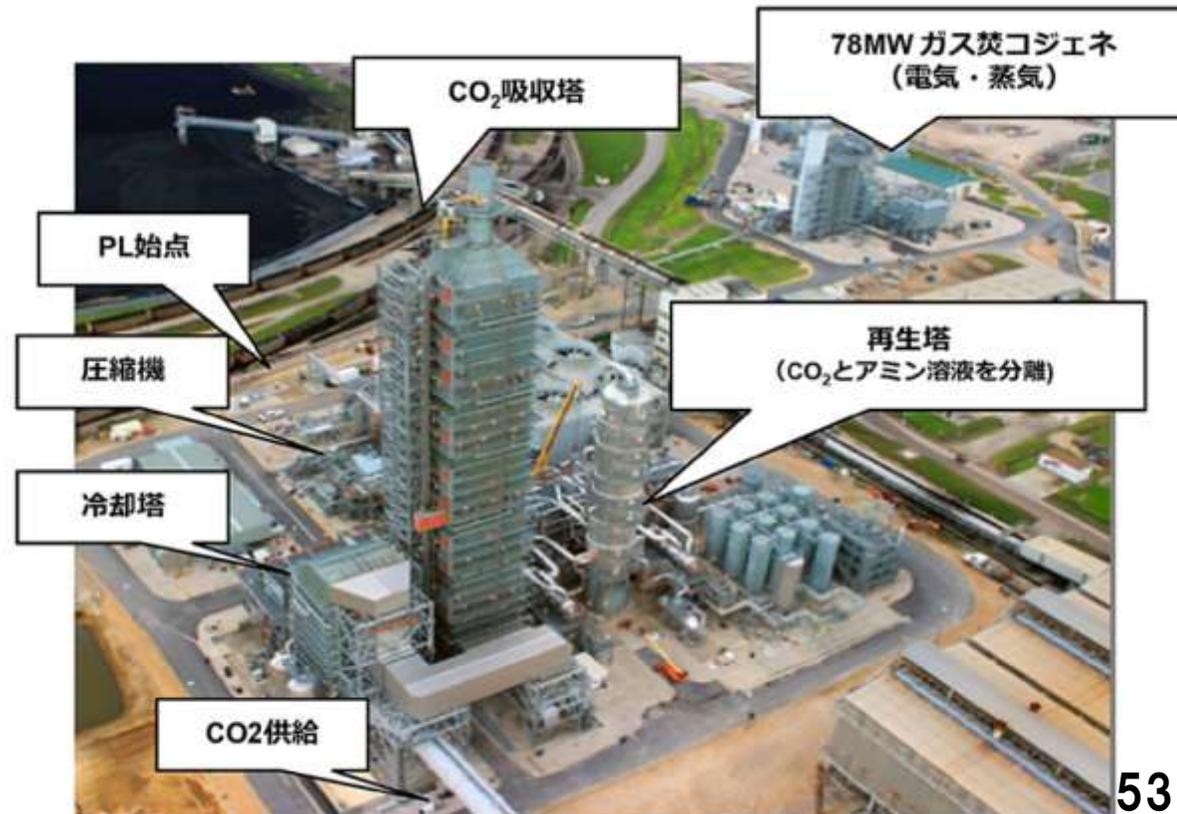
2017 年10 月 CO2 回収量が累計で100 万トンに達する

2018 年9 月 CO2 回収量が累計で200 万トンに達する

藤原、石油技術協会誌 第84 巻 第2号 (平成31 年3 月) 114 ~ 122 頁 (2019) に加筆。



W.A. パリッシュ発電所



“不運なペトラ・ノヴァCCSプロジェクト NRGエネルギーはタオルを投げる”

Institute for Energy Economics & Financial Analysis(Lakewood, OH) による評価 2022年10月5日

ペトラ・ノバ施設は2017年に操業を開始した。CCS装置は、W.A.パリッシュ8号機の排ガスのスリップストリームからCO₂を回収するために設置された。回収されたCO₂は80マイルのパイプラインでヒューストン近郊の油田に運ばれ、採掘量を増やすための増進回収（EOR）作業に使用される。ペトラ・ノバのCCS目標回収率は90%だった。NRGは目標を達成したと主張している。

しかしペトラ・ノバのオーナーは、その主張の裏付けとなる実際のデータを提供したことはない。EPAに報告されたパリッシュ8号機の排出データによると、実際のCO₂回収率は90%よりかなり低く、おそらく65%から70%程度であった。また、この平均回収率には、同施設の動力源として使用されているガス焼き燃焼タービンからの排出は含まれていない。これらの排出を加えると、現場での全体的な回収率はおそらく55%から58%にまで低下する。

ペトラ・ノヴァも85%の稼働率を見込んでいたが、目標を達成できなかった。CCS施設やパリッシュ8号機だけでなく、CO₂パイプラインや回収したCO₂を注入する油田でも、多くの技術的な問題やダウンタイムが発生したからだ。同様の問題は、特に老朽化した石炭火力発電所での炭素回収プロジェクトにはつきものである。

施設は2020年5月に停止し、現在も停止したままだ。JX日本は現在、ペトラ・ノヴァを2023年第2四半期に再稼働させる予定だと発表しているが、正確なスケジュールやコストの見積もりは示していない。

また、これまであまり注目されてこなかった石炭採掘によるメタン排出も報告されていない。IEEFAは、石炭火力発電所のサンファン発電所を例にとり、CCSシステムで95%の回収率を達成できたとしても、石炭採掘によるメタン排出を考慮すると、実際の回収率は72%に低下することを明らかにした。

CO₂の隔離・貯留方法の種類

◆**帯水層貯留** CO₂を地下の帯水層へ圧入・貯留。帯水層：粒子間空隙が大きい砂岩等からなり、水あるいは塩水で飽和されている地層のこと。

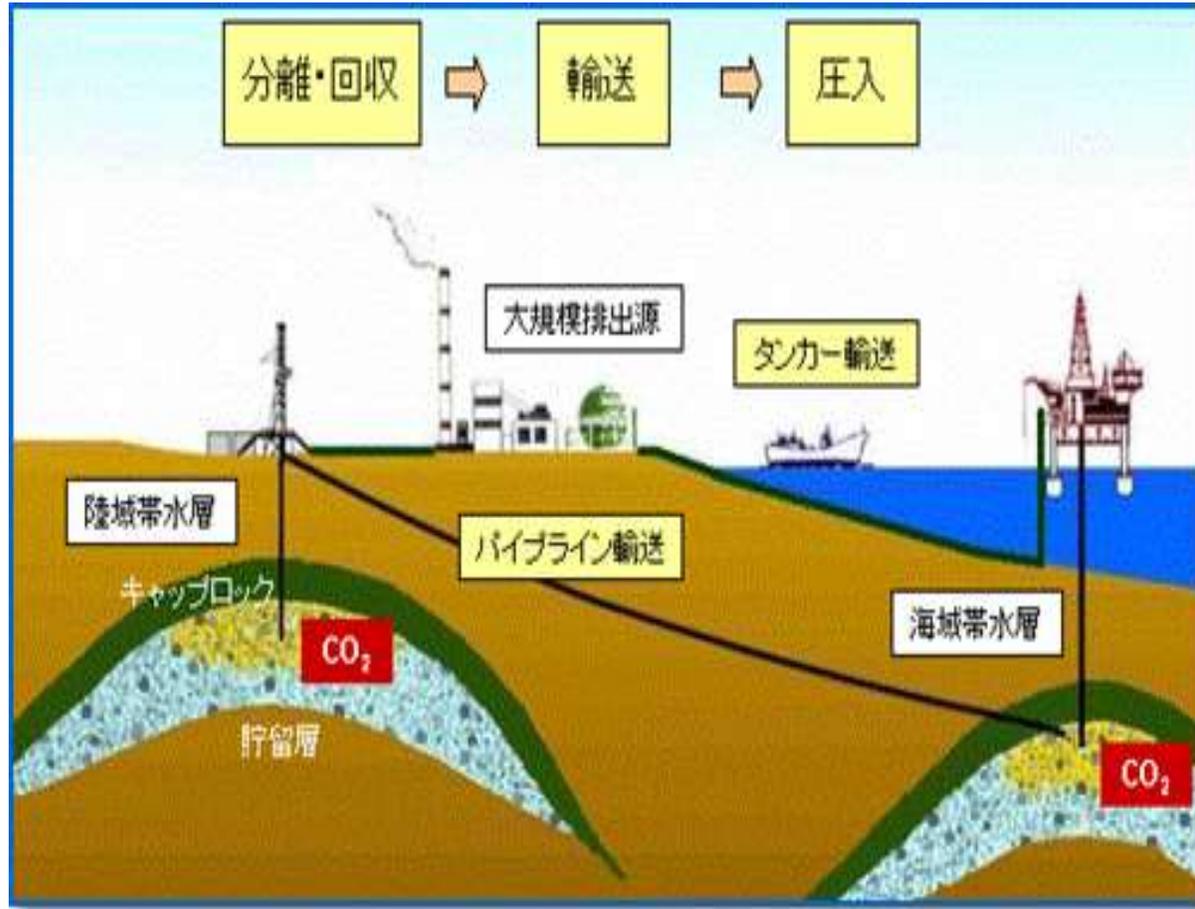
石油・天然ガス田の場合、CO₂を石油・ガス層へ圧入し、石油・天然ガスの回収を促進するとともにCO₂を貯留する技術としてすでに確立している。枯渇した石油・ガス層へ圧入することも可。

◆**炭層固定** CO₂を地中の石炭層へ注入し、それによってメタンの回収を促進するとともにCO₂を吸着貯留します。回収されたメタンは発電所などで利用します。

◆**岩石による固定化** CO₂吸収による岩石(蛇紋岩、橄欖岩、アルカリ玄武岩)の炭酸塩化(早稲田大、北大、京都府大によるNEDOムーンショット研究開発)

◆**海洋隔離** CO₂を圧力の高い深海底に隔離する。生態系への影響が未知。2006年11月に改正されたロンドン条約では、「海洋投棄を検討することができる廃棄物」としてCO₂が追加されたが、同議定書附属書Iでは「海底下地層への地中貯留に限定」しており、地中貯留のみが可能。

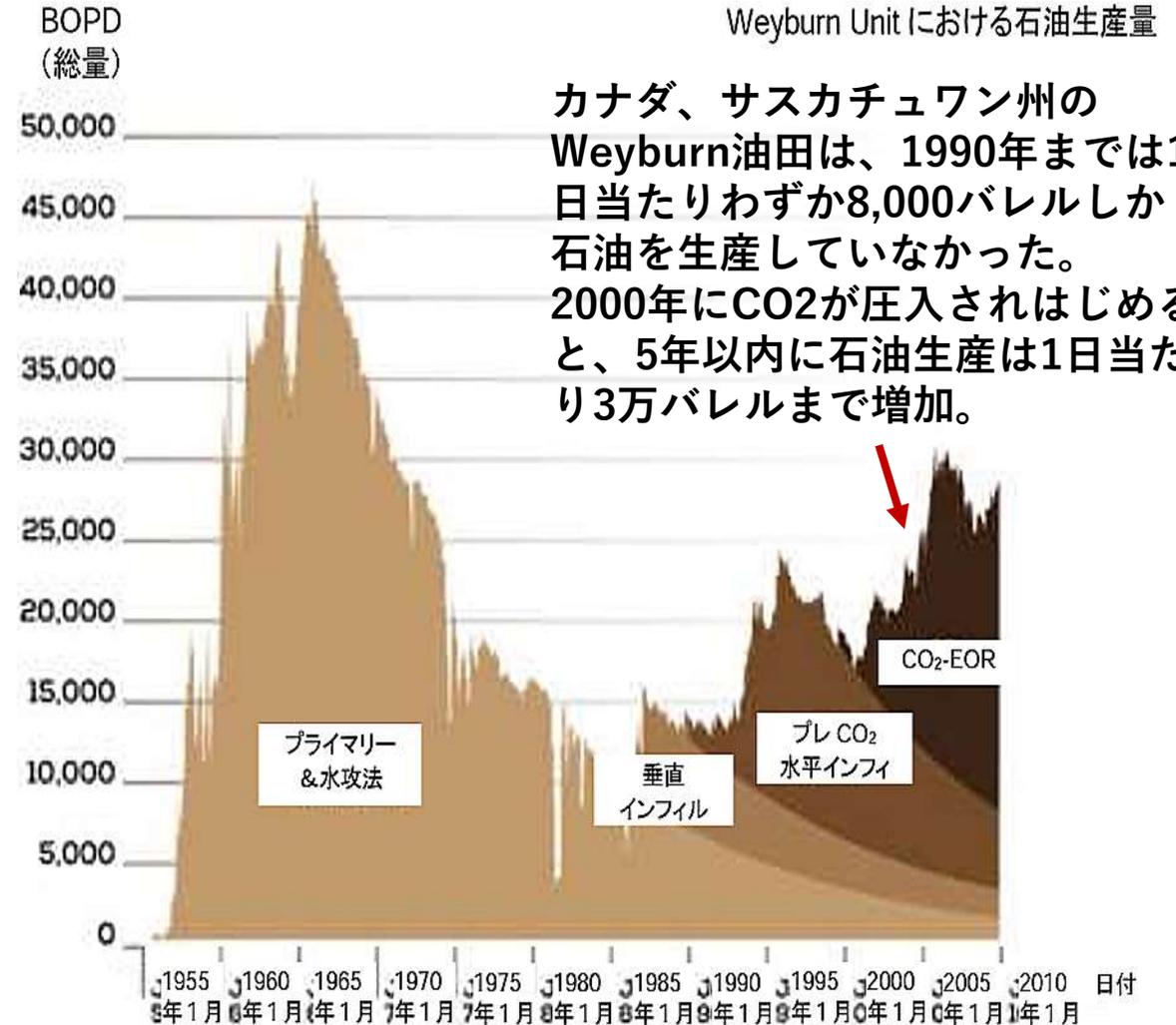
CO₂帯水層貯留のしくみ



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
「CO₂地中貯留プロジェクト」

EOR (enhanced oil recovery)



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>

CO₂パイプライン輸送 構想はここまで！

–プリンストン大Net Zero America Project's E+Scenario

2050 totals: 21,000 km trunk lines + 85,000 km spur lines
(equivalent to ~22% of US natural gas transmission pipeline total)



E+ scenario

929 million tCO₂/y
106,000 km pipelines
Capital in service: \$170B

CO₂ point source type

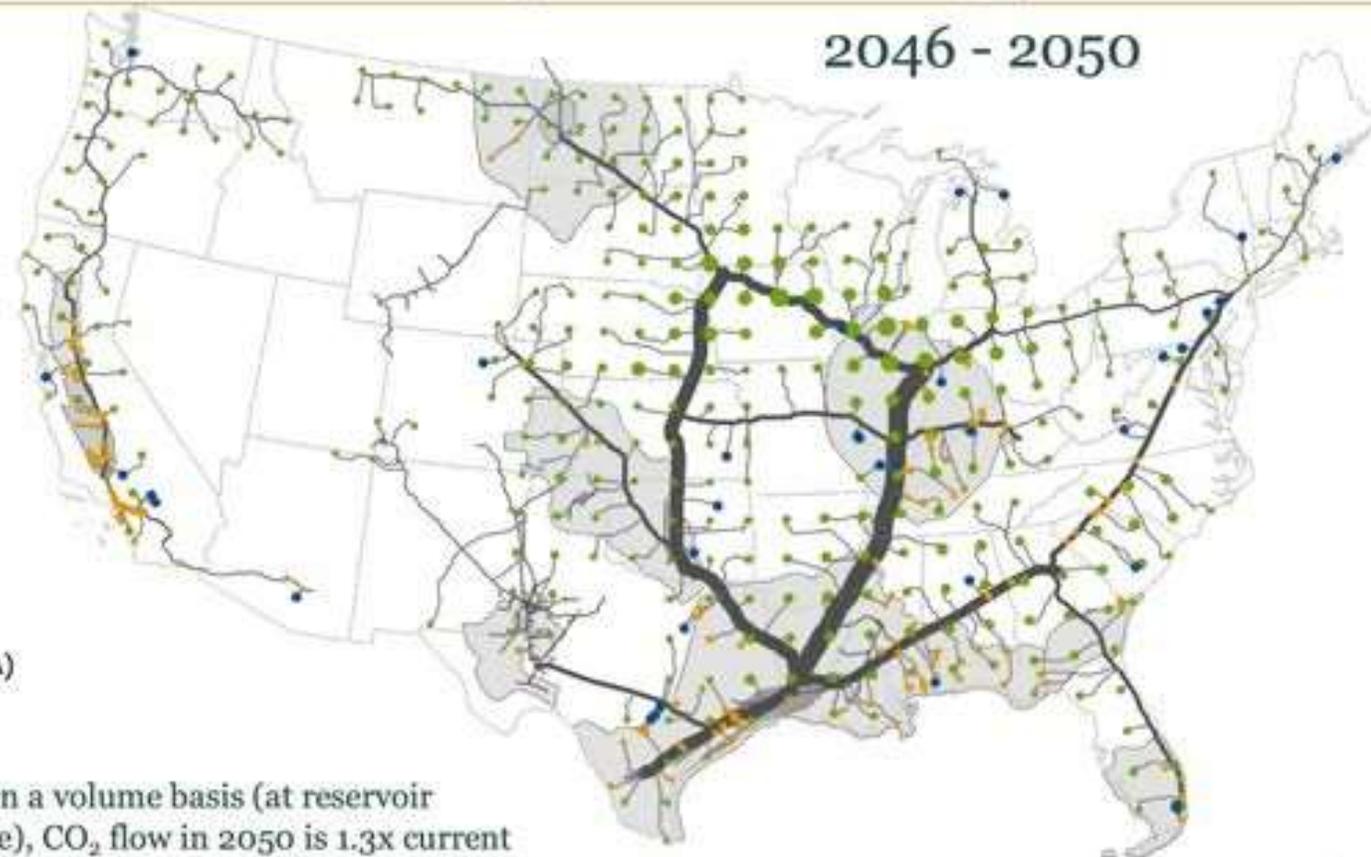
- CO₂ point sources
- BECCS - power and fuels
- Cement w/ ccs
- Natural gas power ccs oxyfuel

CO₂ captured (MMTPA)

- 0.0006449
- 7.9144
- 15.8282
- 23.7419

Trunk lines (capacity in MMTPA)

- 5
- 166.667
- 328.333
- 490



Note: On a volume basis (at reservoir pressure), CO₂ flow in 2050 is 1.3x current U.S. oil production and ¼ of current oil + gas production.