2021年7月

CCS初級ウェビナー・シリーズより101の質疑応答

GLOBAL CCS INSTITUTE

MATT BRIGHT
アドボカシー＆コミュニケーション担当
上級アドバイザー

目次

1.0 CCS 初級ウェビナー・シリーズ : 概要 3

2.0 CCS初級ウェビナーにおける101の質疑応答の基準と構成 4

3.0 CCS初級ウェビナーにおける101の質疑応答 5

- 3.1グローバルCCSインスティテュートに関する質問 5
- 3.2 CCSの技術 6
- 3.3 CCSの経済性– コストと資金調達 10
- 3.4 CCSの輸送 12
- 3.5 CCSの貯留 14
- 3.6 CCSの地理 18
- 3.7 CCSの政策 20
- 3.8 CO_2の利用 24

4.0 REFERENCES 25

1.0 CCS初級ウェビナー・シリーズ：概要

2021年4月23日から5月21日の間、グローバルCCSインスティテュートは、隔週金曜日午前10－11時（東部標準時）に3回にわたってウェビナー・シリーズ「Carbon Capture and Storage 101 Webinars（CO_2回収貯留初級ウェビナー）」を主催した。目的は、米国議会スタッフ及びその他関心を持つ利害関係者に、世界のCCS産業の主な側面について紹介することであった。各ウェビナーには、わずか1時間ずつしか割り当てられていなかったことから、各回のテーマは、CCS事業の現状について出来る限り多くの質問に答えるだけでなく、世界全体により多くの施設を加速的に設置するための要件にも重点を置くために、注意深く選定された。その結果、第1回ウェビナーは「Introducing a CCS Project（CCSプロジェクトの紹介）[1]」に重点が置かれ、第2回は「CCS Infrastructure for a Net-Zero Future（ネット・ゼロの未来のためのCCSインフラ）[2]」について、そして第3回は「CCS Policyfor a Net-Zero Future（ネット・ゼロの未来のためのCCS政策）[3]」と題された。

表1. CCS初級ウェビナー・シリーズの総括と出席者統計データ

統計データ	CCSプロジェクトの紹介	ネット・ゼロの未来のためのCCSインフラ	ネット・ゼロの未来ためのCCS政策
日付	2021年4月23日	2021年5月7日	2021年5月21日
講演者	• Peter Sherk氏 • Syrie Crouch氏 • Ryan Edwards氏 • Jannicke Bjerkas氏	• Matt Vining氏 • Susan Hovorka氏 • Jean-Philippe Hiegel氏 • Ian Hunter氏	• Shuchi Talati氏 • Lee Beck氏 • Jena Lococo氏 • Shannon Heyck-Williams氏
講演者の所属組織	• Wabash Valley Resources社 • Shell社 • Oxy Low Carbon Ventures社 • Fortum Oslo Varme社	• Navigator Energy Services社 • 米国テキサス大学オースティン校（University of Texas, Austin） • Northern Lights CCSプロジェクト • Net Zero Teesside 及びNorthern Endurance Partnership	• 米国エネルギー省化石エネルギー局（Office of Fossil Energy,DOE） • Clean Air Task Force • ClearPath • 全米野生生物連盟（National Wildlife Federation）
出席者数	792	557	465
本簡易報告に含まれる質問数	51	29	21

出席者統計データだけを見ても、本シリーズは、CCSに対する高い関心を証明した。ウェビナーには、6大陸55ヵ国から最大で792名、最少で465名、平均605名が出席した。さらに重要なことに、これらのウェビナーからは、合計101問という驚くべき数の質問が生まれた。その幅広さ及び深さは、気候変動を管理するために必要となる規模拡大を達成するために満たさなければならないCCSの数多くの技術的、資金的、地理的、社会的、政治的側面を浮き彫りにした[4]。これらの質問はまた、CCSに関する教材がもっと必要であることを明確に示している。

本簡易報告は、CCS初級ウェビナーの101の質問に答えることで、そのギャップを埋めることに努めている。これは、専門家及び一般人の双方から成る非常に多様な読者に対し、CCS分野において誤解もしくは事実誤認されている、または情報が欠如している具体的なテーマを扱っていることから、特に効果的な教材となるはずである。確かに、質問は産業界の代表者、学者、米国連邦議会のスタッフ、報道関係者、一般人から寄せられたものであり、非常に専門的なものもあれば、かなり一般的なものもあった。その結果、詳細で繊細な回答を必要とするものもあれば、一言で済むものもあった。それらがどのような質問であったかにかかわらず、1,000人近くの人々がCCS初級ウェビナー・シリーズに少なくとも1回は出席したことから、これらの質問がCCSプロジェクトの開発ないしそれへの投資に関心を持つ幅広い人々が抱く質問となっている可能性は高い。回答は、CCSの現状及び将来の可能性に関する洞察に富んだ絵図を描いたものとなっている。

2.0 CCS初級ウェビナーにおける101の質疑応答の基準と構成

本簡易報告に含める質問を選ぶことは、簡単な作業ではなかった。各ウェビナーの後、Zoom（インスティテュートのウェビナー・プラットフォーム）によりマイクロソフト・エクセルにQ&Aレポートが作られる。レポートの各行は、ウェビナー中にZoomのQ&A機能に投稿された個別の質問ないしコメントを示している。コメントは本簡易報告には含まれておらず、また、Q&Aレポートに表示された全ての行の質問が本簡易報告用に選ばれた質問となっているわけでもない。例えば、第1回ウェビナーのQ&Aレポートは、選り分けが必要な質問ないしコメントが160行あり、その中から51件が本簡易報告に取り入れられた。

適切な質問を選択するために、基準が作成された。第一に、質問はCCSに密接な関係がある必要があった。第二に、本簡易報告の執筆者がその質問を理解している必要があった。第三に、推測的性質を持った質問（「米国議会のCCSに関連する特定の法案が、今年中に可決されると思うか？」など）は、執筆者が重要な点を説明するのにその推測事項が役立つ場合を除いて、大抵は破棄された。第四に、一般読者が幅広く関心を持つ質問のみが回答され、特定のプロジェクトに焦点を置いたもの（例えば、「Wabash Valley Resources社のプロジェクトは、どのように資金調達を行っているか？」）ないし特定の人々に対するものは、そのプロジェクトがより大きな産業のモデルとしての役割を担う場合を除いて、通常は除外された。

質問の中には、異なる出席者から複数回寄せられているものもあるが（地下貯留の安全性及び寿命など）、その場合、質問は1回と数えられているが、括弧内に質問された回数が表示された。全ての質問は匿名とされている。加えて、一部は意味を明確にするために言い換えられているが、執筆者は、出来る限り元の含意と質問の言葉遣いを維持することに務めている。

本簡易報告は、質問を、ウェビナーの時系列に沿ってではなく、特定の広いテーマに沿って8つのカテゴリーにまとめている。質問の中には、複数のカテゴリーに当てはめられるものもあるが、その場合は執筆者が最も適切なカテゴリーを判断した。全ての質問には、本簡易報告をより見やすくするために番号が振られている。質問のカテゴリー及び番号は、表2で見ることが出来る。

可能な限り、本簡易報告は、グローバルCCSインスティテュートの刊行物及びマルチメディア・ライブラリーのプレゼンテーションを利用して質問に回答することに努めている。こうすることで、本簡易報告は、一般の人々が自由に入手出来るインスティテュートの教材の充実ぶりを明確にしている。

表2. ウェビナーの質問を分類するために使用された8つのカテゴリー

質問カテゴリー	質問の番号
インスティテュートに関する質問	1-6
CCSの技術	7-14
CCSの経済性ーコストと資金調達	15-20
CCSの輸送	21-33
CCSの貯留	34-63
CCSの地理	64-74
CCSの政策	75-99
CO_2の利用	100-101

3.0 CCS初級ウェビナー・シリーズの101の質疑応答

3.1グローバルCCSインスティテュートに関する質問

1. **グローバルCCSインスティテュートは、どのぐらいの頻度でCO_2REプロジェクト・データベースを更新するのか？**

A. グローバルCCSインスティテュートは、CO_2RE（プロジェクト）データベース[5]を年2回更新する。

2. **インスティテュートは、CO_2REデータベースにおいて、プロジェクトの開発段階についてどのような特徴付けを行なっているのか？「開発中」段階にある全てのプロジェクトは、最終投資決定（Final Investment Decision：FID）が終わっているのか？**

A. インスティテュートは、CO_2REデータベースにおいて、「開発初期」及び「開発後期」（双方とも最終投資決定前の段階）、「建設中」及び「操業中」（双方とも最終投資決定後の段階）、並びに「停止中」ないし「完了」（CCS施設が、ある時点においてCO_2回収を行ったが現在は回収していない、または、CO_2を回収して閉鎖プロセス中にあるという意味）の6通りでプロジェクトの特徴付けを行なっている。この表（下）は、インスティテュートによるプロジェクト・ステータスの特徴付けを明確にするのに役立つだろう。

開発初期	開発後期	建設中	操業中	完了
• 最終候補のオプション及びサブオプションを検討 • 致命的な欠陥があれば、それを明確化 • 前進させる最良オプションを一つ選択 • 「どのようなものであるべきか？」 • 実現可能性調査 • 全プロジェクト資本費（20-25%）及び運営費（10-15%）の見積もり • サイト評価調査	• 選択したオプションを検討し、投資決定を下せるように更なる明確化を行う • プロジェクトの技術面及び経済面における実行可能性を実証 • 「どのようなものになるか？」 • FEED • 全プロジェクト資本費（10-15%）及び運営費（5%）の見積もり • サイト選定調査	• まだ残っている詳細設計を実施 • コミッショニング及び資産運営のために組織を構築 • 建設活動の実施 • コミッショニングの実施	• 規制遵守要件を満たしながら、資産の操業期間において、資産を運営 • 閉鎖の準備	• 資産の閉鎖 • 圧入後モニタリング・プログラムの実施

最終投資決定　　閉鎖

3. **最初のCCSプロジェクトは1972年に開始されたと言われたか？それは、CO_2が石油増進回収（EOR）に利用されたExxon社の最初のプロジェクトのことを指しているのか。**

A. その通り。最初のCCSプロジェクトは、米国テキサス州テレル（Terrell）にある天然ガス処理プラントにおいて1972年[6]にCO_2回収を開始した（建設は1971年に開始）。回収されたCO_2はその後、EOR田にパイプライン輸送された。

4. **ネット・ゼロに貢献するために最も早く商用化させることが可能なCO_2回収・利用・貯留（CCUS）はどれか？**

A. CCUSは既に商用化されている。CCSは有効であり、現在、世界中に操業中の商用CCS施設は26か所あって、年間約4,000万トンの回収及び貯留に現役で従事している[7]。現在までに、世界中で3億トンのCO_2が既に回収され、恒久的に貯留されている。その排出量削減は、気候変動の緩和に役立っている。CCSに対する強力な政策及び投資は、気候変動に打ち勝つために必要となる、はるかに大きな規模でのCCS普及を加速させるべく、同技術の商用化を更に後押しするだろう。

5. **企業が新規CCUS技術を開発する場合、適切な機関ないし個人とのコネクションについて、インスティテュートはどのように助言するか？**

A. インスティテュートに連絡していただければ（americasoffice@globalccsinstitute.com）、それらのコネクション作りについてお手伝いする。インスティテュートは、米国エネルギー省（Department of Energy、インスティテュート・メンバーのひとつ）、企業及び政府とのつながりが深いことから、適切な相手を紹介することが出来る。

6. **CCSに高い関心を持っている学生ないし若手専門家に対し、パネリストからの助言はあるか？（X2）**

A. インスティテュートは、CCSに対しそのような強い熱意が見られることを嬉しく思う。まずは、このようなウェビナーに引き続き参加して行くことから始めるのが良いだろう。政策、金融、工学、経済学あるいは法律を学び、これらの学問分野に関連したCCSの側面に研究の焦点を置くこと。CCSを採用する企業で働き、面接時に、同技術に関わる仕事を希望すると明確に述べること。既にCCSについてかなりの知識を有しているところを見せること。そうすれば、雇用主はあなたの熱意を認め、誰かがあなたに活躍する機会を与えてくれるだろう。

3.2 CCSの技術

7. **燃焼前及び燃焼後のCO_2回収技術の違いは何か？また、将来それらの利用を増やしていくにはどうしたら良いか？**

A. （詳しい情報は、インスティテュート作成の図及びウェブページを参照のこと。）燃焼前及び燃焼後のCO_2回収は、CO_2回収における2つの主要タイプを指す[8]。燃焼前技術は、炭素ベースの燃料を、燃料のH_2部分がエネルギーに変換される前に、CO_2とH_2に分離するものである。CO_2はその後、圧縮及び貯留することが出来る。燃焼後とは、炭素ベースの燃料を燃焼した後に発生する排ガスからCO_2を回収することを指す。燃焼前技術は、現在、化学製品製造等、産業プロセスにおいて利用されている。燃焼後技術は現在、より幅広く利用されており、発電施設やエタノールからの回収等で採用されている。燃焼後技術は非常に先進的で、今後も広く利用され続ける可能性が高いが、燃焼前技術は、既存プラントではなく新設発電施設のみで採用されるだろう。

8. **新しいCO_2回収の化学プロセスは発見されているのか？**

A. 米国エネルギー省[9]や、世界中にあるその他数多くの官民の研究機関及び企業において継続的に革新的な研究開発（R&D）が行われていることから、新しいCO_2回収の化学プロセスは常に開発されている。インスティテュートの報告書「Technology Readiness and Costs of CCS（CCSに関する技術の即応性とコスト）」[10]を読んでいただければ、新しいCO_2回収プロセスについての詳細を知ることが出来る。また、グローバルCCSインスティテュートのニュースレター（Newsletter）[11]に登録すれば、最新CCSニュースの全てを入手することが出来る。（たとえば、ニュースレター2021年5月号では、このたびNet Power社が、CO_2回収イノベーションにおける大きな躍進である、世界初のゼロ・エミッション天然ガス発電所の建設計画を発表したことが取り上げられている[12]。）

9. **CCSは発電所の効率性を下げ、それによって発電コストを増加させるのか？**

A. 他の排出／汚染除去技術と同様に、CCSも、機能するためにはエネルギー投入及び追加設備が必要であり、ゆえに発電所の効率を下げる。NETL報告書「Cost and Performance Baseline for Fossil EnergyPlants（化石エネルギー・プラントのコストと性能ベースライン）[13]」の次の箇所を参照されたい。

- CO_2の90%を回収するCCSは、超臨界石炭火力発電所（SCPC）のプラント効率（HHV）を40.3%から31.5%まで低下させるが、CO_2排出量は777 Kg/MWhから99 Kg/MWhまで低減する。

- CO_2の90%を回収するCCSは、天然ガス・コンバインドサイクル発電（NGCC）のプラント効率（HHV）を53.6%から47.7%まで低下させるが、CO_2排出量は342 Kg/MWhから38 Kg/MWhまで低減する。

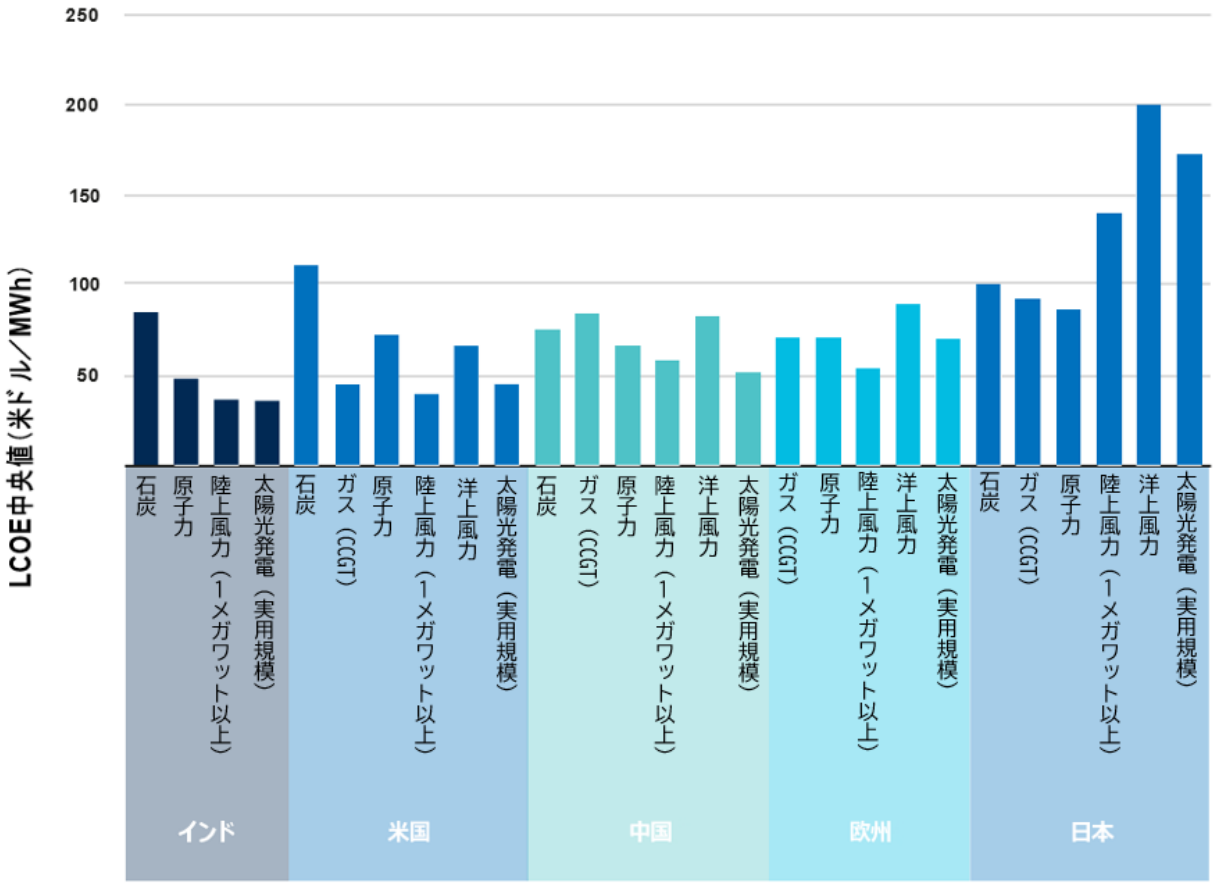
必要なエネルギー消費量が大幅に少ない新興CCS技術が誕生してきている（たとえば、石炭火力発電においては、CO_2回収再生熱量が、第一世代回収技術の3.5 GJ/トン-CO_2から第二世代回収技術の2.4 GJ/トン-CO_2まで低減している）。これによって、発電所のエネルギー効率に与える影響は更に最小化されることになるだろう。

10. CCS発電プロジェクトは、再生可能エネルギー発電と経済的に競争出来るのか?

A. 発電技術の経済性を論じる際、かつては、均等化発電原価（LCOE）が使用されて来た。IEAの「Projected Costs of Generating Electricity 2020（2020年版発電コスト予測）[14]」から引用した次の図を見ると（以下参照）、再生可能エネルギーの経済性は、国／地域によって異なっている。同じ国／地域内であっても、再生可能エネルギーの入手可能性は場所が違えばそれぞれである。したがって、再生可能エネルギーは、ある場所においては経済的であるが、別の場所ではそれほど経済的でないと考えられうる。

加えて、再生可能エネルギー技術は、変動的発電技術（常に入手可能ではないという意味）であるため、LCOEにおける反映は不完全であるか、または出力調整可能技術のようなものである。IEAは、価値調整済み均等化発電原価（Value Adjusted Levelised Cost of Electricity: VALCOE）を導入しており、US EIAは、平準化回避発電原価（Levelised Avoided Cost of Electricity: LACE）を導入している。VALCOE及びLACEはいずれも、次の値を考慮する点において類似している。

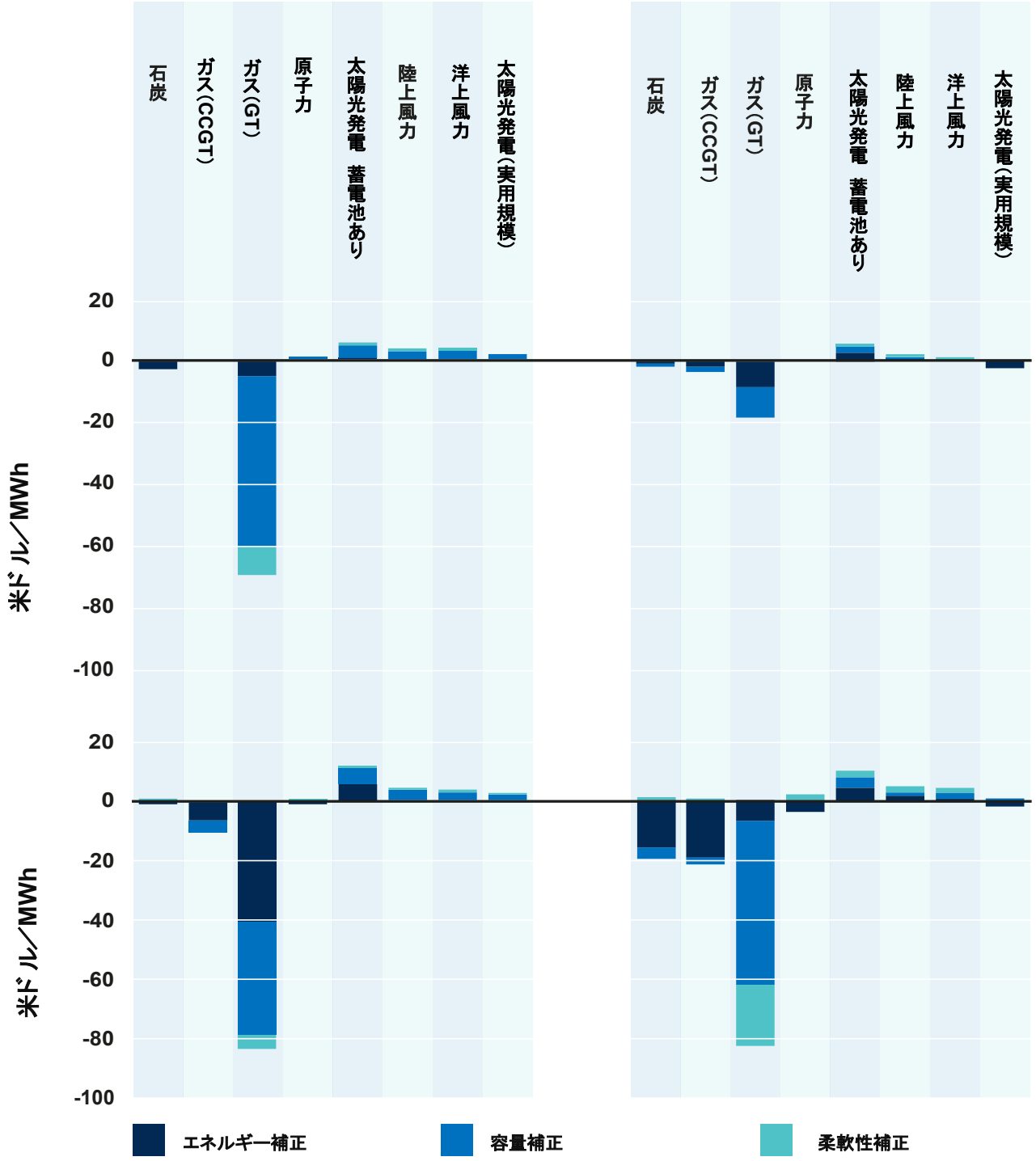
- エネルギー値
- 柔軟性値
- 容量値



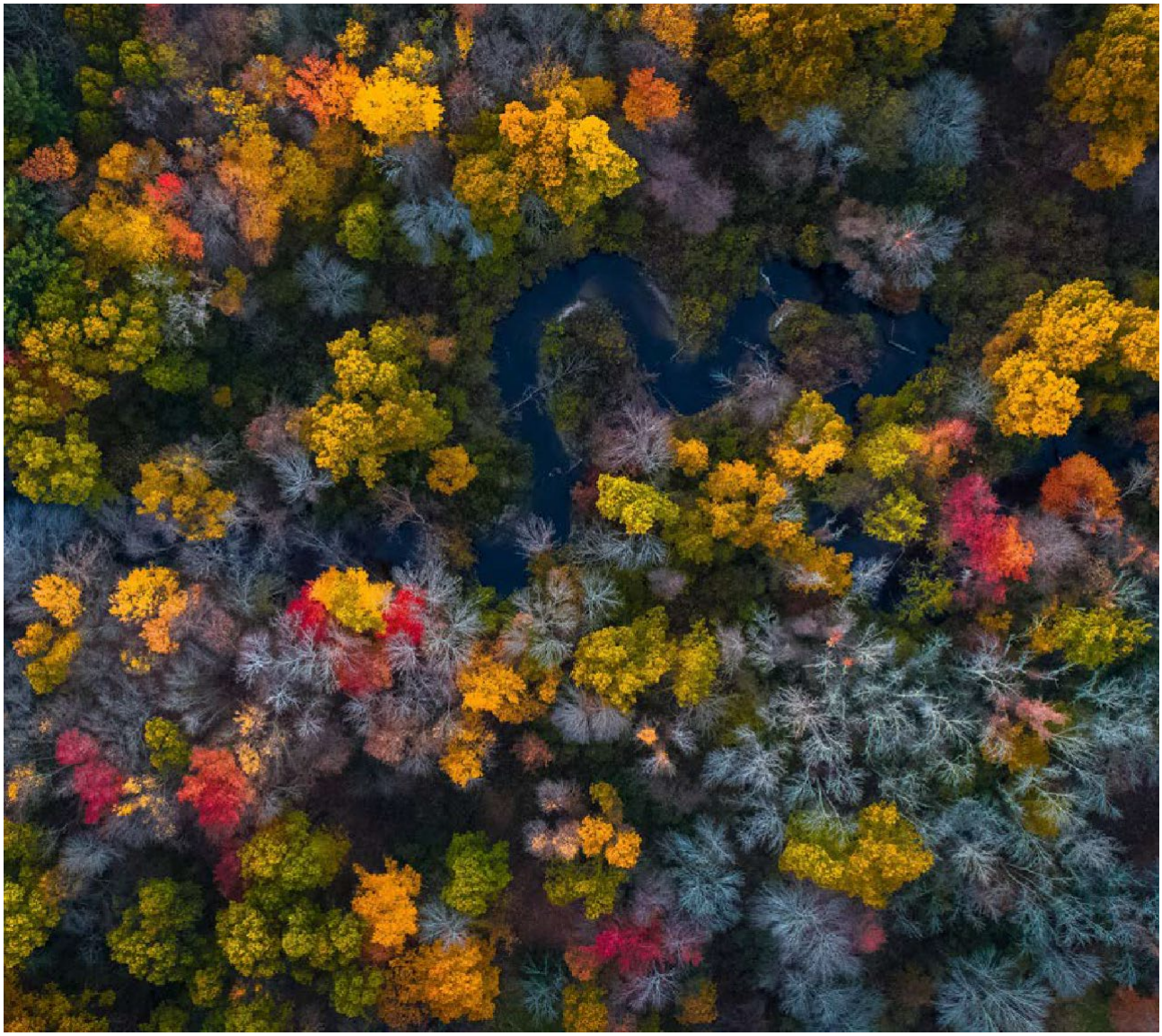
注：7%割引率の値

GLOBAL CCS INSTITUTE

調整後の競争力比較は、以下の図を参照されたい。しかし、IEA／EIAは、CCSを含む新しいマトリックスについてまだ作業中である。前述の通り、詳しい情報については、IEAの「Projected Costs of Generating Electricity 2020」及びU.S. EIAの「Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy（2021年エネルギー年次見通しにおける新しい発電資源の平準化費用）」[15]をお読みいただきたい。



価値調整は、蓄電池無しの太陽光発電の競争力を評価するにあたって2025年までには既に重要であり、オープンサイクル・ガスタービンのような尖頭負荷発電所にとっては引き続き重要である。



11. **CO_2の回収（アミン吸収）と圧縮で発生する排出にはどのようなものがあるか、またこのような排出は長期的に削減または除去が可能と思われるか？**

A. それは使用される回収プロセスによる。吸着型の回収プロセスは、分離を促進するのに利用される圧縮エネルギーに依存する。この場合は、排出はガス圧縮機ないし真空ポンプへの電力供給関係で発生する。吸収材ベースの回収では、熱で吸収材を再生しなければならない。熱を受入プラントから入手できるのなら（コジェネユニットの場合など）、新たな排出は発生しない。熱源（通常は蒸気）を別途生成する必要がある場合は、蒸気発生プラントからの燃焼排出があるだろう。CO_2圧縮は、通常、電動圧縮機で行われる。したがって、使用される電源にかかわる排出がある（スコープ2排出量）。

12. **CO_2回収プロセスで消費ないし廃棄され、それゆえ交換されるべき化学物質はあるか？**

A. アミン・ベースの回収プラントは普通、長い間に吸収材が劣化し、最終的に吸収材を交換する必要がある。劣化について理解しそれを最小化することは、研究中の分野である。非アミン型のプロセス（炭酸カリウム溶剤を利用するものや、膜を使う回収プラントなど）では、大量の化学物質消費や廃棄物は発生しない。

13. **圧縮について、液化に関する追加コストはどのようなものか？**

A. 液化及び圧縮のコストはいずれも運転規模に大いに依存するため、ケースバイケースで評価する必要がある。しかし、一般に液化はガス圧縮よりも費用が高いものの、CO_2 輸送に船舶が必要な場合は一般的に行われている。

14. **CCSを用いて、どのようにネット・ネガティブ燃料を製造できるのか?**

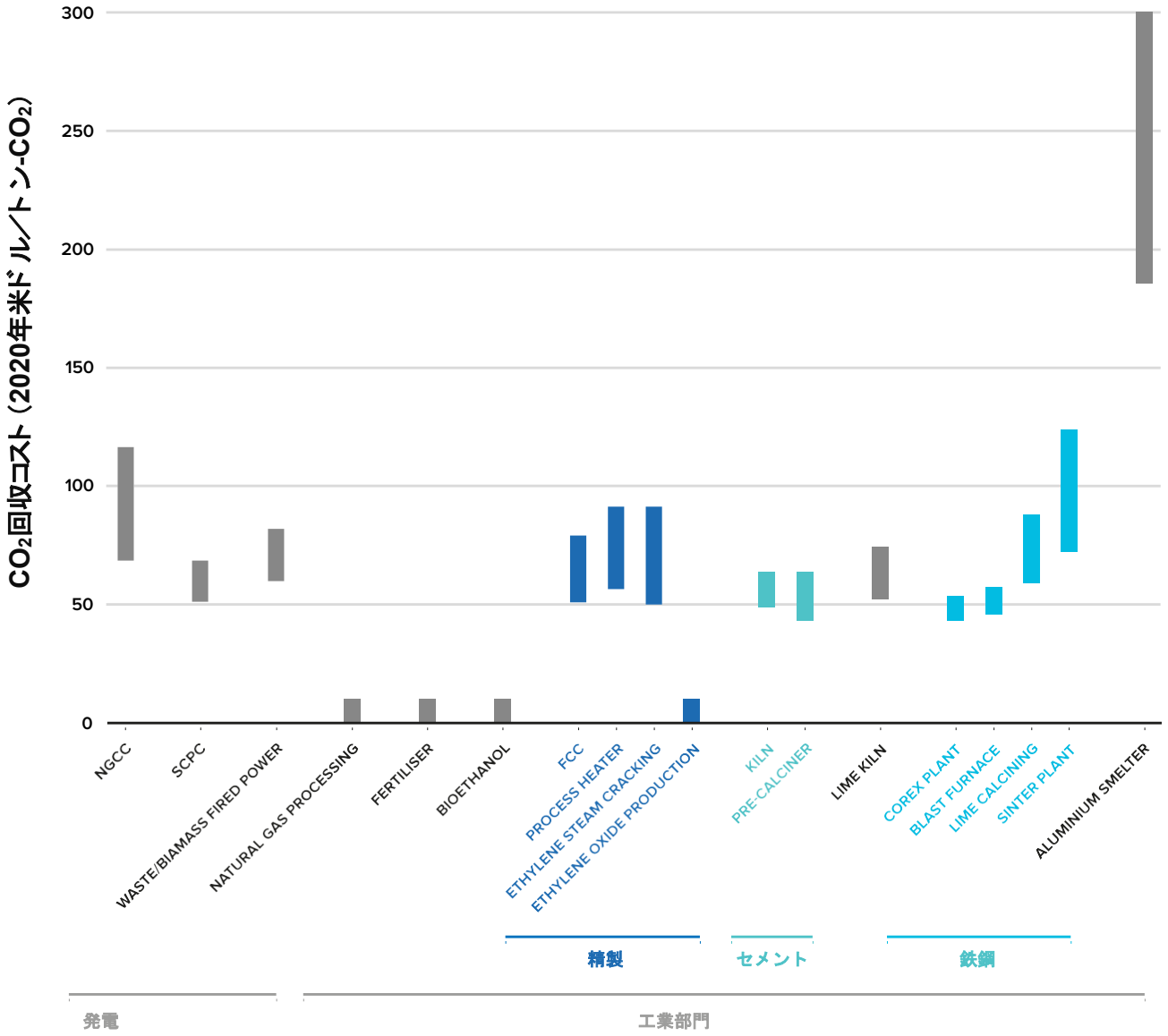
A. CCSは、バイオエネルギーCCS（BECCS）として知られるプロセスによって、ネット・ネガティブ燃料を製造するのに用いることができる。植物やその他の光合成生物がCO_2を回収し、光合成によってそれを糖に変換する場合、光合成によって大気中からCO_2が除去され固体に変換されるため、その反応はネット・ネガティブの回収プロセスとなる。その後、植物中の糖の中のエネルギーがバイオエネルギー精製所で燃料に転換され、燃料転換のプロセスで全てのCO_2が回収されれば、その燃料を燃焼することで回避されるよりも多くのCO_2が回収されるため、結果として生成される燃料はネット・ネガティブ燃料となる。このプロセスについて我々が説明しているインスティテュートのウェビナー の要約ビデオをご覧いただきたい[16]。

3.3 CCSの経済性– コストと資金調達

15. **直接空気回収（DAC）など、様々な用途（エタノールなど）におけるCCSの回収コストはトンあたりどのくらいか？ (X3)**

A. 下に載せたインスティテュートの報告書、Technology Readiness and Costs of CCS[17]の図12をご覧いただきたい。エタノールの回収コストは、20米ドル/トン未満である。DACについては、現在、大規模運転している施設が無いため、コストを判断することははるかに難しい。回収コストの推計は、$200-$600/トンの範囲である。

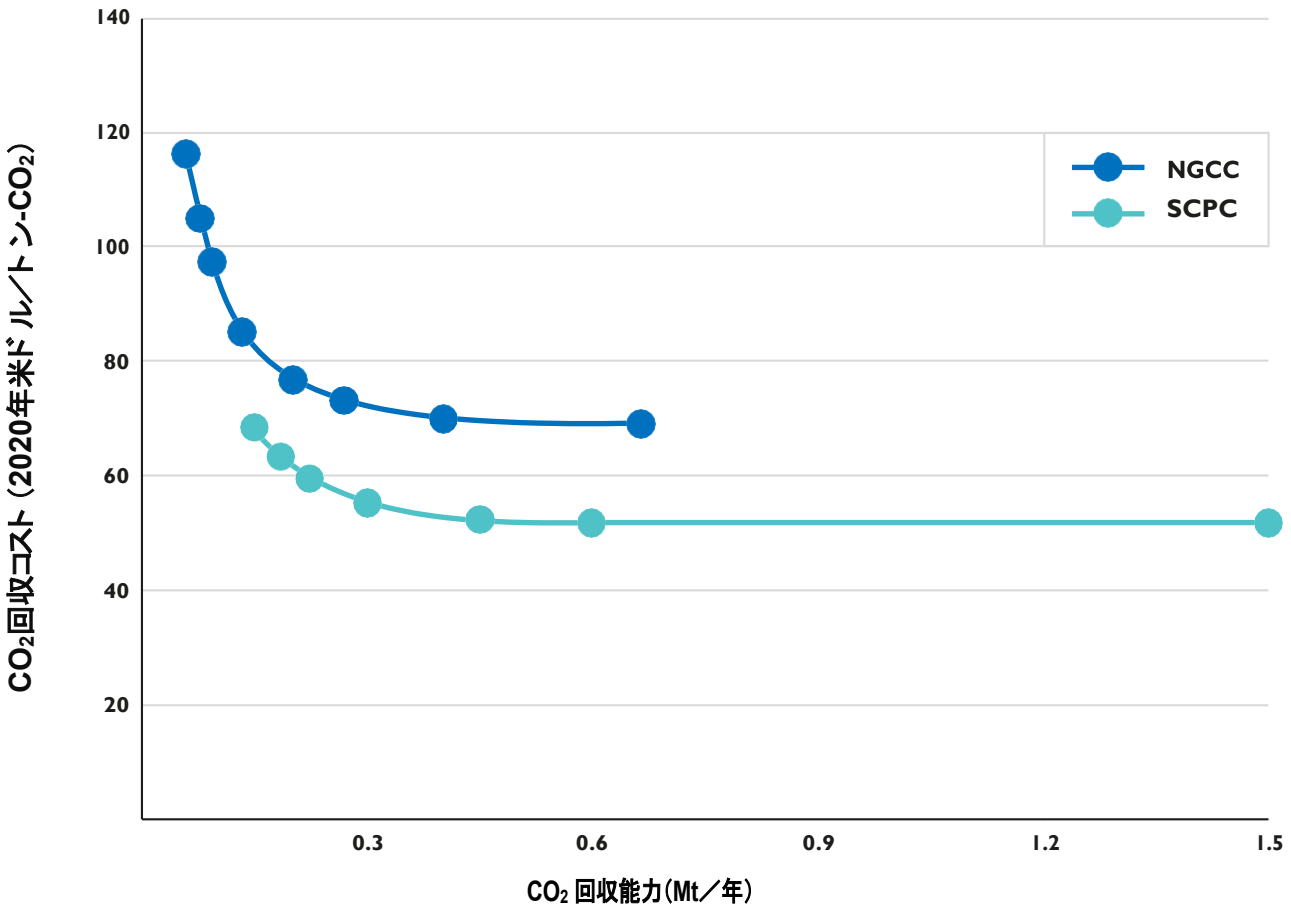
図12 – 様々なタイプの発電・産業プロセスにおけるCO_2回収コスト、下流CO_2圧縮は除く



16. **風力タービンやソーラーパネルなど、他のエネルギー産業では技術がモジュラー化されていることを鑑みると、CCSではどの程度のコスト削減が期待できるのか？**

A. インスティテュート報告書Technology Readiness and Costs of CCS[18]で「CostReduction Opportunities in Carbon Capture（CO_2回収におけるコスト削減機会）」について論じられているセクション9をご覧いただきたい。要は、規模の経済とCCSのモジュール化により多大なコスト削減機会がある。インスティテュート報告書セクション9の図13を以下に載せてあるが、ここには、天然ガス・コンバインド・サイクル（NGCC）と超臨界微粉炭（Supercritical Pulverised Coal：SCPC）発電におけるコスト削減が示されている。

図13 -発電プロセスにおけるCO2回収コスト



17. **発電所排ガス中に比べて大気中CO_2 濃度が比較的低いことを考えた場合、どうすれば直接空気回収を経済的にすることができるのか？どのくらいの炭素価格が必要か？**

A. 発電所排ガス中よりも大気中からCO_2（濃度0.04%）を回収する方がはるかに費用がかかる。しかし、イノベーションの進展、輸送・貯留インフラへの投資、強力な政策（CO_2削減に対し大幅に高い価値をつけたり、重要な規制的問題を明確化するなど）により、直接空気回収が、もっと広範囲に普及する可能性はある。

18. **このような世界初(first-of-a-kind)のプロジェクトや実証プロジェクトに対する資金の入手可能性について、パネルからコメントはいただけるか？その資金はどこから来るのか？**

A. 米国エネルギー省は過去10年間、これまでに9件の大規模な世界初のCCSプロジェクトに資金提供を行なってきており、 その一部は今も運転中である[19]。また、2020年末に可決された2020年エネルギー法（Energy Act of 2020）で、6件の新たな実証プロジェクトに対し26億米ドルの資金提供が認められた。しかし、世界初の実証事業にこれらの資金が使われる前に、米国議会がこの資金の割り当てを行わなくてはならない。欧州では、EU ETSイノベーション基金（EU ETS Innovation Fund）が世界初のCCUSプロジェクトへの資金調達に向けた主な推進力の一つとなると期待されている。現在50ユーロ

付近で変動しているEU ETS炭素価格だと、この基金の規模は2021年-2030年の10年間で225億ユーロとなるだろう。初回の大規模募集では、60件を超えるCCUSプロジェクトの申し込みがあった。イノベーション基金は、EU全体のCCSの計画と建設及び運転の双方について、主な資金源となることが見込まれており、この期待は、次のEU ETS見直しの間にイノベーション基金の規模を2倍にするという欧州委員会の最近の提案でさらに強まっている。

19. コストの話題について、(気候変動に最も関連性のある)CO_2回避コストをより安価な回収コストと比較して、誰か計算(あるいは検討)しているのか?

A. している。あらゆる回収プロセスにおいてエネルギー供給にかかわる排出量を検討することが重要な理由はそこである。外部排出は、回避されるCO_2を減らす。しかし、エネルギー源が受入プラントにあるのであれば(CHPユニットなど)、排出は既に回収され、その分は計算されている。

20. CCSに資金調達するのに、エネルギー・コストはどのくらい上昇すると期待できるか?信頼できる予測はあるか?

A. CCS施設の運転にはエネルギーが必要な一方で、CCSプロジェクトへの資金提供を企業が自主的に決定することで、その企業の顧客層のエネルギー・コストが高くなると考える理由は無い。米国では通常、45Qのような税控除や、EORや食品・飲料業界などにおける使用目的でCO_2を販売できることは、CCS装置を導入する企業に直接的な資金的インセンティブをもたらす。しかし、一般には、エネルギー需給の世界にはわからないことが多すぎて、将来の(そして、特に全世界規模での)エネルギー・コストを予想することはできない。

3.4 CCSの輸送

21. CO_2の海上輸送で消費されるエネルギーは、CO_2を貯留することで得られる気候的な価値よりも大きくなるのではないか?

A. 否。沖合貯留で発生するCO_2排出量は、沖合CO_2輸送・貯留により削減される排出量のほんのわずかである。

22. 現在の技術でCO_2及びH_2ガスを輸送する上での限界は何か?

A. 現在の技術でCO_2及びH_2ガスを輸送する上での主な限界は、CO_2輸送インフラが無いことである。米国の陸上には、約5,000マイルの距離をカバーするおよそ50本のCO_2パイプラインがあるが、天然ガス・石油パイプラインは数十万マイルあり、欧州でも同様である。CO_2の沖合輸送については、大規模CO_2輸送業に対して十分な船が無い。世界が2050年の気候目標を達成できるようにするには、全世界でCO_2輸送インフラの規模をおよそ100倍拡大する必要があるだろう。[20]

23. 地質的に隔離が実現可能なエリアにCO_2輸送インフラが無いことが、CCSの真の規模拡大における制限要因となるか?

A. CO_2輸送インフラが無いことは、間違いなく制限要因である。上記質問への回答をご覧いただきたい。しかし、CCS普及加速化を支援するには、輸送及び貯留がCO_2回収技術と手を携えて共に発展していく必要がある。

24. CO_2パイプラインからのCO_2漏出のリスクはどのようなものか?それに関する調査はされているか?

A. グローバルCCSインスティテュートのウェブサイトにこの質問への回答がある。「CO_2パイプライン及び船舶には、天然ガスや石油などの炭化水素輸送で既に安全に管理されているものと比べて高いリスクは無い。CO_2インフラの安全かつ効率的な運転のさらなる促進のため、国際基準が開発中である[21]。」

25. 長期的には天然ガスの需要が減少すると仮定した場合、既存の石油ガス・パイプラインをCO_2輸送パイプラインに転換することは可能か、またそのプロセスはどれくらい容易か?(X5)

A. 短距離の少量輸送には既存の石油ガス・パイプラインをCO_2輸送パイプラインに転換することが可能だが、一般には、大量の長距離輸送には新しいものを建設する必要があるだろう。その理由は、CO_2パイプラインでは、一般に、石油ガス輸送用よりもスチールに格段に厚みがなくてはならないからである。長距離輸送には、CO_2パイプラインでCO_2を輸送するのに必要な圧力は、石油ガス輸送に必要な圧力よりもはるかに高い。しかし、他のパイプラインと並走するCO_2パイプラインを建設するのに、既存の石油ガスパイプライン回廊を利用することができる。このようにして、新規CO_2パイプラインの建設による環境影響を最小限に抑えることができる。

26. CO_2の輸送にはどのようなパイプ(冶金的要件)が必要なのかについて、もう少し詳しく教えてほしい。

A. フランジとパイプ・スケジュールが必要な高圧(74バールを優に超える)に適していれば、カーボン・スチールが適している。CO_2を非常に低い露点まで脱水して、CO_2流の中で液体水が凝固しないよう確実にすることが不可欠である(CO_2の分圧が高いとスチールが腐食しやすくなる)。

27. **CO2パイプラインについて、石油やガスのパイプラインと比較して、どのような価格乗数($/マイル)を検討すべきか?**

A. これについては一般化が難しい。まず第一に、パイプラインのコストは長さとパイプラインの直径によって変わる傾向があり、$/マイルという値は二つの主要なコスト要因のうちの一つを無視している。バルク輸送用のCO_2パイプラインは、通常、CO_2の臨界圧力(74バール)をはるかに超えて運転される。 そのため、パイプラインの圧力定格は、CO_2を使用しない場合よりも高くする必要があるが、常にそうであるとは限らない。パイプラインは一般的に炭素鋼であり、より高い圧力定格が必要な場合があることを除けば、石油やガスの輸送に使用されるものと変わらない。濃厚相CO_2は、同程度の圧力では天然ガスよりも密度が高いため、一定の質量流量であれば、一般的にはより小さな直径のパイプラインを作ることができるということになる。

28. **CO_2輸送にはどのようなタイプの船舶が必要か?**

A. CO_2専用船のデザインが開発されているところである。CCSに必要な規模のCO_2バルク輸送は比較的新しい分野であるため、どのような設計がベストであるのか、明確なコンセンサスはまだ生まれていないと言ってよいだろう。CO_2は中程度の圧力で液体として積み込まれる。大半が船内の複数の圧力容器でCO_2を保持し、容器同士でCO_2の負荷を分散できるようにすると想定される。低温(-50から -30℃)の液体CO_2を安全に収容できるよう、貯蔵タンクを設計する必要があるだろう。

29. **トラック、鉄道、船舶によるCO_2輸送コストはパイプライン輸送と比べてどうであるか?その比較は、既存の道路・鉄道・港湾インフラを利用しないで新たなパイプライン・インフラを建設するコストによって、どのように影響を受けるか?(X2)**

A. 超長距離輸送(500kmを優に超える)の場合、船舶輸送の方がトン当たりコストが低い傾向にある。短めの距離については、パイプラインの方がコスト効果が高い傾向にある。トラックは、その年間トン数が少なめなことから、船舶やパイプラインより高めであると見込まれる。

30. **CO_2パイプラインの1マイルあたりのコストはどのくらいか? (X2)**

A. Navigator Energy Services社CEO のMatt Vining氏が、現在1,200マイルの CO_2 パイプラインを米国中西部で計画中であるが、この質問に100-200万米ドル/マイルという数字で答えている。しかし、コストは当該パイプラインの容量によっても変わる。

31. **CO_2はどの相でパイプライン輸送されるのか(X2)?**

A. 短距離では、ガス相で輸送できる。長距離輸送では、ほぼ常に濃厚相液体(CO_2の臨界圧力73.9バールを優に超える)でパイプライン輸送される。これは「超臨界」と呼ばれることもあるが、厳密に言えば、この言葉は温度もCO_2の臨界温度である31℃を超える時にのみ当てはまる。

32. **パイプライン・システムでCO_2を輸送するために排出者が満たさなければならない純度の面でのCO_2仕様が必要とされるか?この仕様はどのように定義され、モニタリングされるのか?**

A. CO_2は乾燥、つまり水分を含まない状態である必要がある。そうでないと、スチールのパイプラインを腐食する炭酸となってしまう。ISOはパイプライン輸送のためのCO_2仕様に関する規格、ISO 27913:2016を策定している。この規格は、CO_2の純度(>95 mol%)、腐食や水化物の生成を防ぐための水の露点限界、その他の微量不純物の濃度に関する仕様などを定めている。

33. **回収の観点からCO_2の純度/仕様を決定するのは何か?パイプライン輸送か、地中貯留/EOR の要件か?**

A. プロジェクトの経済性と安全性が、最終的にCO_2ガス流における不純物の閾値を決める。不純物は、純粋なCO_2流と比べて、1) 不純物の除去でCO_2回収コストが上昇する、2) 不純物は、相挙動や浮力の変化により、貯留容量と圧入可能性に影響を与える可能性がある、3) 不純物はパイプラインと井戸の構成物を腐食させる可能性がある、という少なくとも三つの点でプロジェクトの経済性に影響を与える。特定の不純物については、窒素などの不活性物質が少量残ることがある。基本的にこれらは輸送に問題を起こすことはないが、貯留資源の孔隙を奪うことになる。 最終的には、回収コストと貯留資源の利用のバランスで純度が選択される。回収技術の中には、もともと高純度のCO_2(アミンなど)を生成するものもあるが、その他については、純度は設計上の決定事項である。水は除去が不可欠な要素である。 水があるところでは、高濃度のCO_2は凝縮されてしまうと炭酸を形成し、下流の機器を腐食させてしまう可能性がある。いかなるCO_2圧縮システムにおいてもCO_2の脱水が不可欠なのは、このことが理由である。CO_2が、船舶輸送用に液化される場合は、低温CO_2で氷ができるのを防ぐためにも水の除去が不可欠である。[22]

3.5 CCSの貯留

34. CO_2を地下深部に圧入することの長期的な影響とリスク(漏出など)にはどのようなものがあるか？(X6)

A. CO_2を地下深部に圧入することの長期的な影響は、気候変動の緩和に貢献することである。CO_2を地下に圧入することのリスクは最小限である。CO_2には、天然ガスのような引火性や爆発性はなく、冷蔵庫やエアコンの冷媒のような毒性も無い。非透過性の岩石に覆われた地表から1～2kmのところにある、透過性のある適切な貯留層にCO_2が注入された後は、大気中へのCO_2の壊滅的な漏出は事実上ありえないことが、自然界の類似例や研究実験、CO_2の運用で確認されている。[23]数百万トンのCO_2が既に回収され、安全に貯留されている。[24] CO_2貯留層は、安全性に余裕を持って岩層の破壊圧力以下で運転されており、「水圧破砕」は行われない。CO_2圧入による地震は非常に小さく、それを検出するためには計測器が必要である。[25]また、CO_2貯留がついでに行われるEORプロジェクトは、数十年にわたり安全に運営されている。 このことは、政府間・産業パートナーシップ、研究プログラム、利害関係者のネットワークによる作業で確認されてきている。既存のCCSプロジェクトについて、重大な安全面、健康面、または環境面の影響について実証されているものは無い。[26]

35. 特に地震地域における、地中貯留サイトからのCO_2漏出の可能性は？ (X5)

A. 地中貯留サイトからCO_2が漏出する可能性は限定的である。たとえば、日本で定期的に経験されるような地震が、日本のCO_2貯留地からの漏出を起こしたことは無い。[27]日本北部の苫小牧プロジェクトでは、同地に大きな地震が発生した際、活発にCO_2の圧入及び貯留が行われていた。世界一流のモニタリング及び検証プログラムにより、貯留されたCO_2には何ら影響が無いことが確認されている。

36. おっしゃるように、EOR目的でのCO_2の使用は何十年も前から行われているが、今後20～30年に予想されるCO_2の量と比較すると、圧入された総量は少ないように思われる。量が大幅に増加した場合、これら全てのリスクがあってもCCS利用が安全だと思うか？

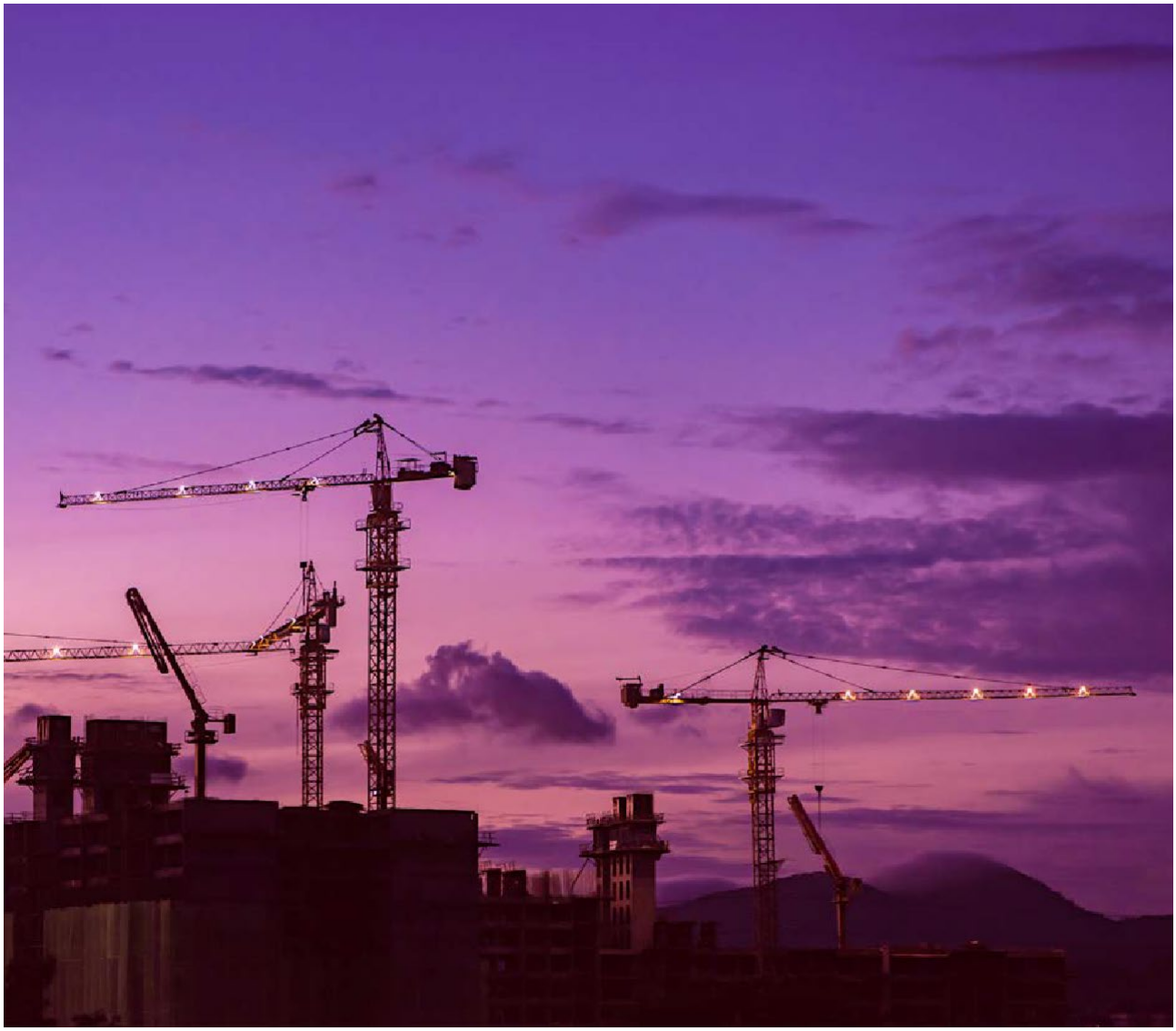
A. 上記質問の回答を見ていただきたい。CO_2貯留が偶発的に生じるEORプロジェクトは、数十年にわたり安全に運営されている。 このことは、政府間・産業パートナーシップ、研究プログラム、利害関係者のネットワークによる作業で確認されてきている。圧入総量が重要なのではない。重要なのは圧入率である。目標達成に十分以上の貯留資源(量)が利用可能であることはわかっている。CO_2-EOR事業における過去の圧入率から、高い圧入率が達成・維持可能であることがわかっている。最大級の3件の運転中プロジェクトで年間400万から700万トンのCO_2が圧入されており、その中で最大のものは30年以上稼働している。EOR産業は40年以上の稼働において優秀な安全記録を有している一方で、既存のCCSプロジェクトについて、重大な安全面、健康面、または環境面の影響について実証されているものは無い。[28] 要するに、CO_2のEOR利用後に貯留することについて、多くの「リスク」は無いということである。

37. 回収可能なすべてのCO_2について、将来にわたって十分な地中貯留スペースがあるのか、あるいは上限があるのか？それは何十億トンで、何年分の回収に相当するのか。(X3)

A. 「Geological Storage of CO_2: Safe, Permanent, and Abundant(CO_2の地中貯留：安全性、恒久性、十分性)[29]」と題する当インスティテュートのファクトシートをご覧いただきたい。地下貯留資源は、気候目標達成に実際に必要な分より桁多く(数十億トン)存在する。世界の重要なCO_2貯留場所が現在評価中であり、ほぼ全ての高排出国が相当量の地下貯留資源の存在を実証している。たとえば、北米だけで2兆から20兆トンの貯留資源がある。(これに比して、わずか3億トンの人為的CO_2しか現在までに回収されていない[30]。) 中国、カナダ、ノルウェー、豪州、米国、英国などの国々はいずれも、多大な貯留能力を誇っており、日本、インド、ブラジル、南アフリカなどその他の国々も、自国に貯留能力があることを実証している。

38. 貯留サイトの種類と、CO_2貯留に有益な理想的な地層とはどんなものか？ (X2)

A. 貯留サイトの選択肢には、含塩層と枯渇石油・ガス田の2種類がある[31]。 CO_2鉱化や玄武岩などの岩石中への貯留が実行可能な貯留オプションとして現在浮上してきているが、さらなる作業が必要である。理想的な地層は、必要な速度(透過性)で事業により必要となるCO_2を全て恒久的に受け入れることができる孔隙(多孔性)を持つ地層である。



39. 貯留するCO_2は液体か気体か？

A. CO_2 は一旦回収されると、水とほぼ同じ密度の液体に圧縮され（液体でもガスでもない濃厚相CO_2として知られる）、井戸を通じ多孔質の地層中に圧入される[32]。

40. 地下のCO_2プリュームをどのようにモニタリングするのか？

A. （Jean-Philippe Hiegel氏による回答）モニタリングは4D地震探査技術により行われる。（インスティテュートより）CO_2圧入事業のための主なモニタリング・ツールは、地球物理学的ロギング・ツール、圧力・温度センサー、地震探査など、石油・ガス業界で標準的なものである。トレーサー、衛星測定、土壌・地下水センサーなど、CO_2貯留用に改善されるツールが増えてきている。

41. CO_2 を地中に圧入すると、排出された塩水はどこに行くのか？

A. CO_2 は一旦回収されると、水とほぼ同じ密度の液体に圧縮され、井戸を通じ塩水を含むことの多い多孔質の地層中に圧入される。最初、CO_2 は貯留層内の塩水を排出するが、貯留層に共存する塩水よりも圧入されるCO_2の方が若干浮力があるため、CO_2の一部が地層上部に移動し、封印の役目をする不透過性の帽岩の下に構造的に封じ込められる。多くの自然システムにおいては、貯留層と地表の間には数多くのバリアがある。封じ込められたCO_2の一部は塩水の中へゆっくりと溶け出し始め、恒久的に封じ込められる（溶解トラッピングと呼ばれる）。また一部は、小さな孔隙の中に封じ込められる可能性がある（残留トラッピングと呼ばれる）。究極的な封じ込めプロセスでは、溶解したCO_2が貯留層の岩石と反応して、新たな鉱物を作り出す。このプロセスは

鉱物トラッピングと呼ばれ、比較的急速な場合も非常に遅い場合もあるが、CO_2を事実上恒久的に固形鉱物に封じ込めるものである[33]。

42. 隔離のために必要なCO_2の純度はどのくらいか？

A. 質問33に対するインスティテュートの回答をご覧いただきたい。安全性の点からは、CO_2が純粋である「必要性」はない。CO_2は様々な濃度で圧入・貯留されてきている。しかし、高濃度である方が孔隙をより効率的に利用でき、CO_2から不純物を取り除くことで、一般に輸送プロセスが安価になり、長期的には効率性が高まる。

43. CO_2を圧入する者がその孔隙を所有するのか？誰が所有するのか？

A. これは国や州によって異なる。米国の一部の州では、孔隙の上にある土地を所有する者が孔隙を所有するが、テキサスなど全ての州でそうであるわけではない。一方、カナダでは、国が地下の鉱物空間を全て所有している。これは、現在、世界中で活発に政策が検討されている分野である。

44. CO_2流内の不純物は、裸孔や地下の流体挙動に流量保証上の影響を与える可能性がある。複数の排出源からCO_2を調達する場合、不純物やガス含有量の変動はどのように管理されているのか？システムは供給源に依存しないとのことだが、特に、不純物が存在する場合、孔内の流量保証に関する懸念（フェーズ挙動）を考慮つつ、不純物にどのように対処するのか？(X3)

A. （Matt Vining氏による回答）「パイプラインの観点からは、輸送するCO_2は全て同じ仕様を満たしたものである。そのことは、排出者にとっては、システムや隔離の全体的なオペレーションに影響を与える不純物を抽出したり調整したりするために、繊細な技術を駆使した回収ソリューションが必要ということになる。（CAPEXについては、アンモニア工場、セメント、化石燃料発電で大きな違いがある。）」

45. CO_2を毛細状の極小の空間に非常に安全に隔離することが可能なら、CO_2圧入井に良好な貯留封印があることが、なぜそれほど重要なのか？ なぜ、圧入井をコンクリートで塞がなければならないのか？(X2)

A. （Susan Hovorka氏による回答）「最初、CO_2が地表に戻ってくる時は、高い飽和状態にあり高圧である。圧入井を塞ぐことで、（漏出の）経路を除去することになる。長い（年月）の間に、飽和状態は低下し、圧入井に対して押し出す力が低下する。井戸の適切なメンテナンスには費用がかかり、井戸の隔離失敗を避けるには、それを適切に塞ぐことが最善の方法である。

46. CO_2をEORに使用する場合、何％のCO_2が石油、ガス、水と共に地表に戻ってくるのか？そのCO2は処理されて貯留層に再圧入されるのか？また、どのくらいが恒久的に貯留されるのか？

A. 圧入されたCO_2で地表に戻ってくる量は、貯留層の温度、圧力、石油の性質によって異なりうるが、地表では、全てのCO_2は出てきた液体から分離され、再圧縮され、再圧入されて、基本的に閉鎖ループを形成している。最も重要な側面は、オペレーションのタイミングである。オペレーションが進めば、回収されるCO_2量も増える。圧入井が適切に封鎖され廃棄されている限り、圧入された全てのCO_2は恒久的に地下に留まる[34]。

47. EOR利用されたCO_2が恒久貯留された後、どのように貯留が検証・モニタリングされるのか？どのくらいの期間か？

A. EORサイトのモニタリングに関する規制要件は、国や地域によって異なる。CO_2圧入事業用の主なモニタリング・ツールは、地球物理学的ロギング・ツール、圧力・温度センサー、地震探査など、石油・ガス業界で標準的なものである。トレーサー、衛星測定、土壌・地下水センサーなど、CO_2貯留用に改善されるツールが増えてきている。

48. 北米の隔離サイトは同時並行的に開発されるとのことだが、それは小規模で、より多くの隔離サイトを作ることを指しているのか、それとも特に大規模な／長いパイプライン・インフラを必要とする具体的に大規模な隔離サイトを指すのか？

A. （Matt Vining氏による回答）「究極的に、これは大規模隔離サイトの相互接続型ネットワークを指すと我々は考えている。」

49. 様々な排出源の数を考えると、これら全ての異なる排出源（水、水素、アンモニア、アミン、TEGなど）からの様々な汚染物質をどのように収容し、（パイプラインの設計において）考慮するのか？

A. 不純物はCO_2流がCO_2パイプラインに入る前に排出源施設で除去される必要がある。パイプラインは、認められた運転基準にしたがい、不純物に対応できるよう設計される。全ての上流施設がこの基準を保証できるよう運転を管理することが不可欠である。特に重要なのは、全てのCO_2排出源について水の露点を管理することである。

50. 隔離について、連邦の深度規制はあるのか？あるいは州ごとか？

A. 地下貯留について求められるメーター数での具体的な深度要件は無い。むしろ、地下貯留井に必要な許認可では、圧入事業者に対し、CO_2 が漏出しないことを示すよう求められる。適切なタイプの岩石（CO_2が漏出しないように非常に硬い非多孔質の岩石に覆われた、CO_2を受け入れる多孔質岩石）が存在しなくてはならない。このような岩石には、CO_2を安全に貯留するために十分な厚さと深さ（通常地表下1 km以上）がある必要がある。

51. CO_2が一旦貯留されたら何が起こるかについて、詳しく説明していただきたい。CO_2に対して化学反応があるのか？仮にサイトの地質や化学について調査するとしたら、長年の間、たとえば貯留サイトがいっぱいになって20年後などに、何が起こっているだろうか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「主な化学反応は CO_2 の水中溶解である。CO_2は鉱物と反応することがある。岩石が玄武岩のように反応性の高いものだと、反応が主なメカニズムになることがある。大半の岩石はそこまで反応性が高くなく、毛管トラッピングが依然として主流の（そして十分な）貯留プロセスである。」（当インスティテュートのウェブサイトより）「封じ込められたCO_2の一部は塩水の中へゆっくりと溶け出し始め、恒久的に封じ込められる（溶解トラッピングと呼ばれる）。また一部は、小さな孔隙の中に封じ込められる可能性がある（残留トラッピングと呼ばれる）。究極的な封じ込めプロセスでは、溶解したCO_2が貯留層の岩石と反応して、新たな鉱物を作り出す。このプロセスは鉱物トラッピングと呼ばれ、比較的急速な場合も非常に遅い場合もあるが、CO_2を事実上恒久的に固形鉱物に封じ込めるものである[35]。」

52. 貯留空間は全て、極小の毛細領域をベースとしているのか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「多くの場合、圧入には輸送用のCO_2濃度にするために必要な圧縮で十分である。」（Peletiri 他より[36]）–「一般的に、CO_2パイプラインの動作圧力は10～15MPa、温度は15～30℃の範囲、または8.5～15MPa、13～44℃の範囲である。パイプラインの最低圧力をCO_2の臨界圧力である7.38MPa以上とすることで、CO_2流体を確実に超臨界状態に保つことができる。」

53. CO_2 を地下圧入するのに必要な圧力はいくらか？必要なエネルギー量は？このソリューションにアクセスするために必要なエネルギーがそれをより法外に高価なものにしてしまうのか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「多くの場合、圧入には、輸送用のCO_2濃度にするために必要な圧縮で十分である。」（Peletiri 他より[37]）–「一般的に、CO_2パイプラインの動作圧力は10～15MPa、温度は15～30℃の範囲、または8.5～15MPa、13～44℃の範囲である。パイプラインの最低圧力をCO_2の臨界圧力である7.38MPa以上とすることで、CO_2流体を確実に超臨界状態に保つことができる。」

54. サブサービス、材料、接続、セメンティングなど、閉鎖ループEORのための特別な考慮事項はあるか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「EORは、現在商業的に運用されている閉鎖ループ・システムである。石油、水、CO_2を分離し、CO_2を洗浄・再圧縮して再注入するための流体処理プラントが必要である。」

55. 貯留施設用の保険市場はどこにあるのか？

A. 現在、CO_2貯留施設のための保険市場は存在しない。

56. EOR利用において、ジュール-T関連の低温における健全性に関するイベントは観測されているか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「膨張と冷却は CO_2 の特性である。CO_2の圧入には圧力損失が必要である。冷却を管理し、望ましくない凍結を避けるための技術が必要である。」

57. その他のタイプのEOR（N2、水など）と比べ、CO_2 EORの限界／最良の機会は何であるか？それは、本質的に油田の成熟度の問題なのか？

A. EORは、各油田に固有の貯留層のエンジニアリングの問題である。一次、二次、三次石油回収に使用する最適な流体は、貯留層の圧力、温度、石油の性質など複数の要因によって変わる。 世界中の多くの研究から、CO_2の供給不足がCO_2-EORの普及を制限する要因となっていることが明らかである。

58. 地中貯留においてCA LCFS（カリフォルニア州低炭素燃料基準：California Low Carbon Fuel Standard）を遵守するのと45Qを遵守することで、技術的・経済的にどのような違いがあるか？

A. （Susan Hovorka氏による回答）「技術的要件は似ている。LCSFの方が仕様が詳細であり、より長期の圧入後モニタリングが要求される。経済的には、

LCFS クレジットの方が、かなり高値で取引されている（7月はじめで$180/t$CO_2$超）が、45Q税控除の価値は現在$50/tCO_2である。」LCFSについて論じたインスティテュートの簡易報告[38] 及び45Qについて論じたインサイト[39]をご覧いただきたい。」

59. 玄武岩を検討した場合と沖合貯留を検討した場合では、技術的／工学的な面で重要な違いがあるか？

A. 地質や地形に関わらず、貯留方法はそれぞれ異なる。玄武岩での貯留における違いは、より浅い深度でのCO_2圧入が可能なことである。アイスランドのCarbFixプロジェクトでは、純粋なCO_2 を圧縮して高圧の超臨界相にする従来の方法（より深く、より高圧の貯留層が必要）ではなく、CO_2を水に溶かしてから圧入するため、800m以上の深さではなく、浅い深度での圧入が可能である。二つ目の違いは、主な貯留のメカニズムが従来の貯留層（一般的には砂岩）とは異なることである。玄武岩貯留層では、主な貯留メカニズムはCO_2鉱化である。 これは、溶解したCO_2が独特で反応性の高い玄武岩と急速な化学反応を起こし、安定的で恒久的に貯留される炭酸塩鉱物を形成することによって生じる。

60. 古いガス貯留層の使用には、古い生産井による重大な坑井健全性リスクがあるか？

A. 古い井戸は、よく規制された環境においてCO_2貯留が大気に与える唯一の現実的なリスクである。Nature Communicationsに発表されたAlcade他による2018年のペーパー (https://www.nature.com/articles/s41467-018-04423-1) では、漏出の可能性について取り上げられている。きちんと管理された業界では、圧入されたCO_2の98％以上が10,000年以上地下に封じ込められている確率は50％である。この数字を分解すると、1年あたり0.01％であり、基本的に漏出のリスクは最小限である。このペーパーでは、モデル化されたシナリオのもとで、主な漏出経路は未知の廃棄井を経由するものであった。

61. 沖合隔離の過程で断続的なCO_2流を、特に海底セグメントでのCO_2の相変化を止める上で、どのように管理しているのか？

A. 断続的なCO_2流は、CO_2がより多くの孔隙を「埋める」ことができ、CO_2の貯留に有益であることが示されている。しかし、別の研究では、断続的な圧入によって流量に問題が生じうることもわかっている。どのようなオペレーションでもそうであるが、それぞれの状況は異なる。流量とプリュームの動きをモニタリングし検証するツールや技術が存在する。また、科学やエンジニアリングの世界では、様々なシナリオ下でのCO_2プリュームの予測は目新しいことではない。

62. 塩水層は、他の地質構造と比べて、より「多孔質」であるのか？

A. 地質構造はそれぞれ異なり、塩水層の中には他の地層よりも多孔質なものもあるだろうが、逆も然りである。重要なことは、CO_2業界には、地質構造の多孔性を特性評価するツールと技術があるということである。

63. 水素の貯蔵にも、塩水井戸が提案されている。それゆえ、需要の多い場所の近くにある岩塩ドームは、非常に需要が高くなる可能性がある。産業用地近くの岩塩ドームの需要も高まるので、これはCO_2貯留と競合しないか？

A. 孔隙の需要は、今後数十年においてCO_2貯留業界に浮上してくる要因の一つである。一般に、水素は枯渇油田において大抵はCO_2よりもずっと浅い深度で貯留される。これら二つの要因により、水素はコストと効率の点で、より効果的に圧入・抽出が可能となる。

3.6 CCSの地理

64. CCSプロセスにおける塩水使用について、アイスランドのCCSの状況はどうなっているか？

A. 玄武岩におけるCO_2鉱化による貯留について良いまとめがあるので、CarbFix のウェブサイト (https://www.carbfix.com/) をご覧いただきたい。このプロセスは、従来のCCSプロジェクトと比較して、貯留深度が浅く、材料費が安い場合があるなど、いくつかの利点がある。このプロセスは水を大量に必要とするが、最近の研究では、玄武岩貯留層でのCO_2鉱化において、淡水のかわりとして海水が有効である可能性が示されている。

65. ロシアでのCCS施設計画はあるか?

A. 最近、ロシアの二大石油会社であるRosneft社とGazprom Neft社が、Baker Hughes社及びShell社と、ロシア国内の合弁石油会社にCCSを導入するか（後者の場合）、またはブルー水素施設（H2 を水蒸気メタン改質装置で製造し、その過程でCO_2を回収）を建設する可能性について、検討する契約をそれぞれ締結した[40]。 このような記事が、全登録者に対し無料の当インスティテュート月次ニュースレターで取り上げられていることにご注目いただきたい[41]。

66. インドの海岸線沿いに地下貯留海盆があるか？

A. ある。インドの西岸にも東岸にも、適切な貯留海盆が複数存在する。これらの海盆の大半は沖合にあるが、陸上に伸びているものもある。インスティテュートは、CO_2REデータベースの貯留セクションをご覧いただくことをお薦めする。インスティテュートは、インドの貯留ポテンシャルとその資源の開発状況を合わせたものに対し、48点 (1-100点) を付けている。

67. 中国にはしばらくは継続すると思われる石炭火力発電所が多数あるが、貯留の実現性はどうだろうか?

A. 中国には利用可能なCO_2 貯留資源が多大にある。同地には、より多くのCCS施設が普及するポテンシャルが高い。

68. 中南米ではどの国が、CCUS開発努力においてリードしているか?

A. 中南米でのCCSの稼働については、ブラジルが先進国である。Petrobas社は、2011年からサントス海盆（Santos Basin）プレソルト（Pre-Salt)のブラジル南岸沖で、CO_2回収とEOR貯留に携わってきた。 2019年12月時点で、Petrobas社は1,440万トンのCO_2を圧入している [42]。

69. CCSプロジェクトの立地を決定する上で最も重要な要因は何か？ 直接空気回収プロジェクトにおいて、一部の場所は他の場所よりもメリットがあるのか？

A. CCSの方程式のうち、回収・貯留・輸送サイドには考えるべき重要な要素がある。回収サイドでは、発電所ないし産業施設のいずれかにポイント排出源回収装置を導入する上で、コスト的に有利でなくてはならない。たとえば、エタノールのバイオリファイナリーで回収装置を動かす方が、天然ガス火力発電所で回収装置を動かすよりコストが安い。なぜなら、前者の方が回収CO_2流の純度がはるかに高く、その結果回収が容易になるためである。それから、デベロッパーは、自らのプロジェクトを実現するために、自らの施設が税額控除やその他の資金的インセンティブを利用できるかどうか検討しなくてはならない。たとえば、45Q税額控除を受けるのに適格であるためには、一定の規模（一定量のCO_2を回収する）の施設でなくてはならない。 回収施設の経済性が良好な場合、デベロッパーは石油増進回収（EOR）や安全な地中貯留のための地下貯留サイトへのアクセス性を考慮しなくてはならない。地下貯留場所が回収サイトの真下にある（イリノイ州ディケーター（Decatur）の Archer Daniels Midland社施設など）ものや、遠くない場所に位置しているものもある。回収サイトが貯留サイトへの輸送を必要とする場合、CO_2輸送インフラの利用可能性とコストが非常に重要である。デベロッパーは「CO_2パイプラインはすぐに利用可能か、あるいは船舶輸送か？ 必要な場合にパイプラインを新設するコストはいくらになるか？その輸送インフラを利用できる他の供給者が出てくるか？」、問わなくてはならない。 おわかりのとおり、CCS施設立地にかかわる要素は数多くあるので、CCSのコストに関するインスティテュートの報告書[43]をお読みいただきたい。

70. イタリアでCCS プロジェクトが行われているか？

A. 現在、イタリアで行われているプロジェクトは無い。2010年-2012年、イタリア南東部のブリンディジ（Brindisi）発電所にパイロット規模のプラントがあり、複数の吸収剤技術の試験が行われた。当インスティテュートのCO_2REデータベースで、世界中の全CCSプロジェクトの継続的な追跡が行われている [44]。

71. マウント・サイモン（Mt Simon）複合施設の総貯留量は何MT CO_2か？

A. マウント・サイモン砂岩貯留複合施設の潜在的隔離容量は、270億から1,090億トン- CO_2である [45]。

72. マウント・サイモンやイリノイのプロジェクトについては多くを耳にするが、やや東のインディアナ州南中央部についてはどうか？イリノイと同様に有望か？あるいは、それと同様のオプションが他にもまだイリノイ盆地に存在するのか？

A. マウント・サイモン砂岩貯留複合施設は、イリノイ州、ミシガン州、アイオワ州、インディアナ州、オハイオ州の大部分に広がっている[46]。インディアナ州西部は、マウント・サイモン砂岩層の中で非常に地下貯留に適した場所である[47]。

73. カリフォルニアは地震のため、貯留の「見込みが無い」州なのか？

A. 否、カリフォルニア州には、セントラル・バレー（Central Valley）を中心に600億トン以上のCO_2貯留能力（今後1,000年間に6,000万トン／年で貯留するのに十分）があり、スタンフォード大学の報告によれば、現在、適切なCCS付設改修候補として76件の既存発電・産業施設が存在している[48]。 地震周辺の地下貯留地帯の安全性については、質問35に対する当インスティテュートの回答を参照していただきたい。

74. CCUSに対する焦点の多くは大規模インフラに向けられているようであり、必要とされる大きな影響を与える上ではたしかに重要である。採用を加速し、地域経済に貢献するような補完的で分散型のCCUSソリューションを奨励するために、どんなことが行われているのか？

A. インスティテュートの報告書Technology Readiness and Costs of CCS[49]では、この難しい課題をどう克服するかという点について論じられている。補完的かつ分散型のCCUSソリューションの奨励は、強力な政策次第であり、それは主に（連邦よりも）州及び地方レベルのものであることが多い。ノースダコタ州やワイオミング州等米国の複数の州では、当該地域での分散型CCUSソリューションを奨励する法律が可決されている。連邦レベルでは、CO_2排出削減への価値付与など投資に必要な条件を生み出すことを優先する強力な政策によっても、やはり補完的かつ分散型のCCUSを奨励することが可能である。

3.7 CCSの政策

75. 政府によるCCSへの資金提供においてギャップがあるか?

A. インスティテュートの最新のソート・リーダーシップ報告書Unlocking Private Finance to Support CCS Investments（CCS投資を支える民間資金調達に道を開く）で、本件について，大きく取り上げている[50]。要は、多くの政府が積極的にCCSを支援しているが、大規模普及に必要な全体的資金は、政府がこれまで提供してきた、あるいは提供する用意のある額をはるかに超えている。我々はまだCCS普及の初期段階にあり、CCSのコストが相対的に高い。しかし、政府が大規模実証、CO_2輸送・貯留インフラ、さらなるイノベーション措置に対しより多くの資金を配分すれば、CCSコストを引き下げ、CCSプロジェクトの成長により一層拍車をかけることに役立つだろう。さらに、政府には、商用CCSプロジェクトがデット・ファイナンスを調達できるよう支援する重要な役割がある。このことは、CCSが（IEA-SDSで概説されているような）普及目標を達成するには、資金の大半が民間部門から寄せられる必要があるため、重要である。

76. 45Qの他に、世界のCCSに対する政府のインセンティブにはどのようなものがあるか？

A. 世界中の45カ国が炭素価格を導入しており、世界の排出の20%をカバーしている。これらの価格は、特にカナダのように価格が大幅に上昇することになる国では、CCSにとってのインセンティブとなる。カナダには、カリフォルニア州と同様、CCSが含まれるLow Carbon Fuel Standard（低炭素燃料基準：LCFS）もある。欧州連合（EU）と中国では[51]、CCSのインセンティブとなる排出権取引制度（Emissions Trading System：ETS）があり、EUイノベーション基金（EU Innovation Fund）は、CCSプロジェクトに数百万ユーロから数十億ユーロを提供する（質問18と83の回答を参照）。他のインセンティブには、たとえばカナダのCO_2回収に対する暗黙の価値などがあり、排出性能基準はBoundary Damプロジェクト開発につながった。豪州では、CCSがGorgonプロジェクトの必須条件であった。また、豪州政府にはプロジェクト推進のためのCCUS Development fund（CCUS開発基金）がある[52]。また、米国など多くの国々が、同技術の普及と成長に拍車をかける研究開発及び実証プログラムに対し数百万ドルを出資している。

77. コスト以外で、他に何がCCUS実施の重要なボトルネックなのか?回収ユニットか？ 輸送／パイプラインか？貯留／利用か？

A. CCS施設の増加加速に対する重要な障壁は数多くある。CO_2輸送・貯留インフラの欠如は、たしかにボトルネックの一つであり、炭素価格をめぐる強力な政策やその他のCCS推進を目的とした資金的インセンティブが無いことも、重要なボトルネックである。特に長期貯留責任に関する法規制枠組が無いことは、CCS投資における大きな障壁である。共有輸送・貯留ネットワークが無い中、CCSに馴染みのない産業／企業は、CCSバリューチェーンの調整に関わるクロスチェーン・リスクを管理できないかもしれない。そしてCCSがいかに気候に恩恵をもたらし、雇用を創生し、地域社会を維持し、多くの地域社会に公正な移行をもたらすことができるかについて、一般市民の認識がないことも、同じく重要な障壁である。インスティテュートのソート・リーダーシップ報告書 Policy Incentives To Enable Private Investment In CCS（CCSへの民間投資を可能にする政策インセンティブ）[53]が、この質問により詳しく回答している。

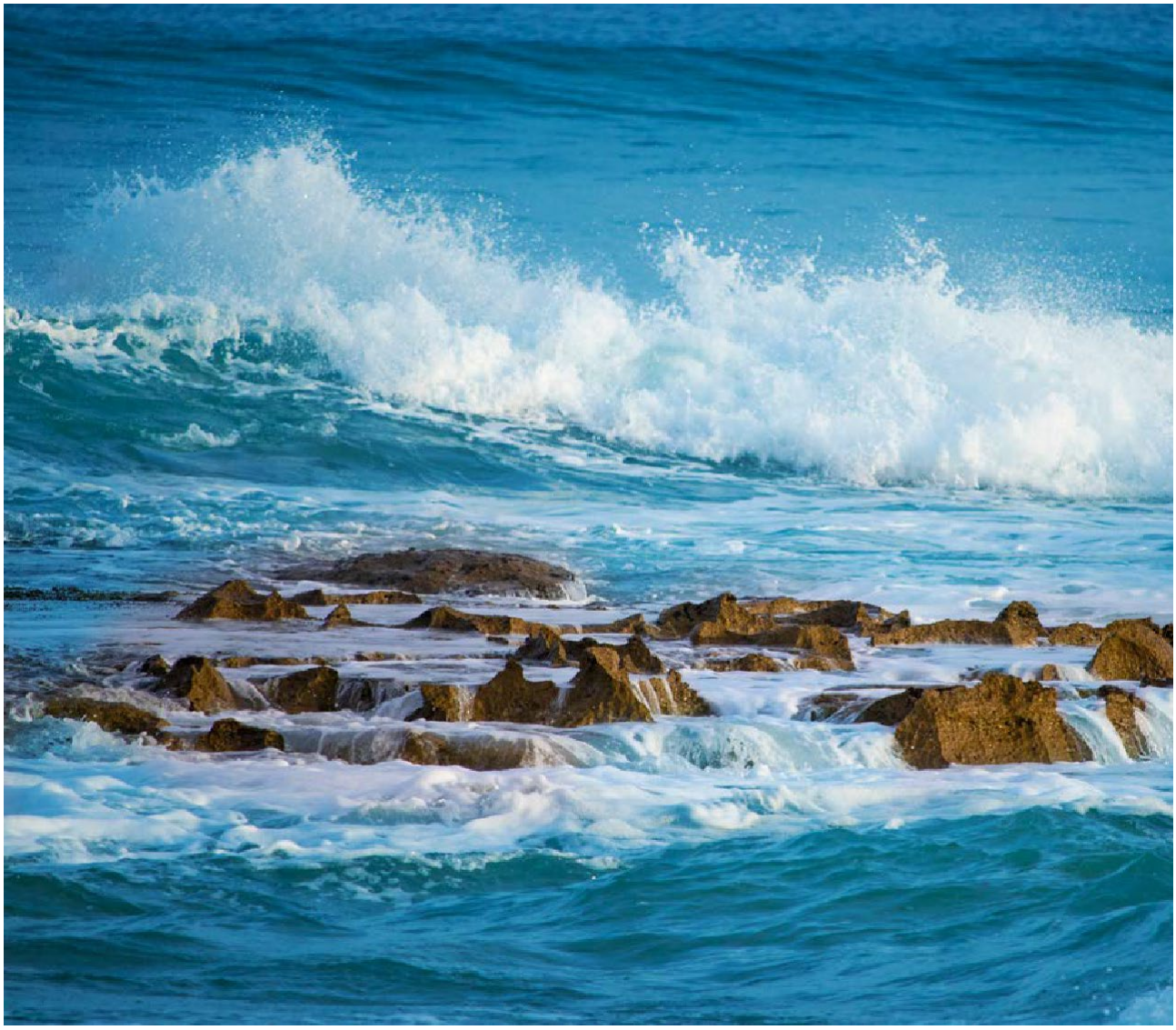
78. ドイツなどにおいてと同様、米国でも陸上貯留サイトへの一般市民による反対はあったのか？

A. 米国では、これまで陸上貯留サイトに対して一般市民から多くの反対は無かった。しかし、米国では、誰が国内の孔隙を所有するかについて大いに不確実性があり、地表、鉱物、孔隙の所有権の違いが問題を複雑にしている。このことは、政策策定における現在のテーマである。米国は欧州の大半よりも人口密度もかなり低く、多くの土地が連邦政府に所有されている。また、地下貯留によって、その土地の表面利用が妨げられることは無い。陸上貯留は安全で永続的であることを念頭に置くことが非常に重要である。（セクション3.5の「CCSの貯留」に関するQ&Aを参照）。根拠のない不安を和らげるには、当インスティテュートの活動を通じた教育が重要となるだろう。

79. このようなプロジェクトの開発と運用において、許認可や規制的要件はどのような要素となっているか？またそれらは欧州と米国でどのように違うか？

A. 米国での主な許認可や規制の要件は、CCS方程式の貯留部分に集中している。米国で非EOR型の安全な地下貯留を実施するには、デベロッパーは環境保護庁（Environmental Protection Agency：EPA）

GLOBAL CCS INSTITUTE



からUnderground Injection Control（地下圧入管理：UIC）クラスVI許可を得ることが求められる。現在、このプロセスには最低でも2年はかかるが、EPAはこの期間を18ヶ月に短縮しようとしており、一部の州（ワイオミング州及びノースダコタ州）は、現在、EPA規制にしたがってクラスVI許可を出すことができる第一位法施行責任を有している。CO_2をEOR油田で使用しその後貯留するのには、クラスII UIC許可証が求められ、取得にかかる時間は半年以内である。貯留サイトまでCO_2を輸送するパイプラインの建設にも求められる規制があるが、パイプラインは輸送に既存のパイプライン回廊を使用することができ、あるいは使用することになるため、許可プロセスは簡単になる。米国では、陸上貯留用の土地が欧州よりも豊富にあるが、欧州では沖合貯留に頼らなければならない部分が多い。また、米国の方が人口密度が低く連邦所有の土地が多いため、陸上プロジェクトが実施しやすくなっている。

80. LCFS（低炭素燃料基準）はDAC（直接空気回収）の経済性にどのように貢献するのか？

A. LCFSの詳細について掘り下げたインスティテュートの報告書[54]をお読みいただきたいが、要は、DAC施設から回収されたCO_2を燃料に転換することができ、カリフォルニア州市場で販売する場合、そのネットゼロ燃料は、現在$CO_2$1トンにつき約200ドルの価値を持つクレジットを生み出す。しかし、LCFSを利用するためには、このようにDACを燃料にする経路を利用する必要がある。

81. CCSは単なる気休めではないのか？ 我々はもっと有望な他の気候変動技術に注力すべきではないか？

A. CCSは断じて気休めではない。これは強力な気候変動技術であり、世界の今世紀半ばまでの気候目標達成を支援する上で使用が不可欠なものである。研究者やモデラーの間では、CCSを大幅に拡大させなければ今世紀半ばまでにネット・ゼロ排出量に到達することはほぼ不可能であるというのが、科学的なコンセンサスである[55]。

82. ある時点で、気候変動が十分に深刻化した場合、いかなるコストをかけてでもCCSを行わなければならなくなるのか?

A. 大量のCCSが既に世界中で実施されている[56]。CCSは、気候変動が深刻になりすぎないようにするために我々が使える最良のツールの一つである。我々は将来のシナリオを推測することはできないが、CCSに対して反応的ではなく強力かつ積極的な政策を支持している。

83. 排出権取引(ETS)価格の上昇が必至である中、欧州では国の支援がさらに必要なのだろうか?

A. EU ETSは EU内排出量の40%をカバーしている。多くのCCS利用がEU ETSでカバーされており、その炭素価格から利益を得ることができるが、注目すべき例外がBECCS(廃棄物エネルギー化を含む)とDACCSである。期待される炭素価格の上昇により、より高価なCCSの産業利用に対して採算が取れるようになる可能性が高まる。 欧州委員会は、EU ETS改定において、炭素差金決済取引(Carbon Contracts for Difference)を提案しているが、これも炭素価格と今後数年で必要な投資額のギャップを埋めるのに役立ちうる新たなツールである。さらに、欧州委員会は、現在、炭素除去証書の作成に努めており、これは自然ベースのソリューションならびにDACやBECCSといったネガティブ・エミッション技術にインセンティブを与えることになるだろう。CCSプロジェクト開発における長いリードタイムとできるだけ開始する必要性を考えると、投資採算性が出るようになるまで、国の支援は引き続き大いに必要とされる要素であるだろう。

84. プロジェクトの経済性は、CO_2削減クレジットの開発と普及—炭素価格など一の進展次第である部分はあるのか?

A. (Matt Vining氏による回答)「(Navigator Energy社のプロジェクトについては)具体的に言えばノーである。このプロジェクトは末端市場利益(45QやLCFS)には直接参加していないが、それらは我々の顧客には非常に影響力があり、それらの市場の価値評価と使いやすさは、CCSプロジェクトの獲得可能市場規模と直接的な相関性がある。」(当インスティテュートより)強力な炭素価格などの、より強力な政策により、CCS施設のさらなる普及が加速されるだろう。

85. 現在、他国からノルウェーへのCO_2の輸出を認める法的根拠(規制)はない(ロンドン議定書)と理解している。ある国から別の国への輸出が認められるようになるのは、いつになると思われるか?

A. 海洋環境への廃棄物の投棄を規定する国際協定であるロンドン議定書の締約国による2019年決定により、CO_2の越境移動に対する大きな障壁がようやく取り除かれた。今やプロジェクト提案者は、地中貯留を目的としたCO_2の越境輸送を可能にするメカニズムを定めた2009年議定書修正の規定を利用することができるようになる。 ただし、これらの新しい規定を利用できるかどうかは、各国政府が必要な国際協定を導入するかどうかにかかっていることに留意する必要がある。

86. 2020年エネルギー法(Energy Act of 2020)はCCSのための多額の新資金をいつ承認するのか?その資金はいつ割り当てられるのか?

A. 政府に資金が与えられるためには、議会が毎年予算案を通過させる必要があり、そのプロセスは通常、毎年、北米の秋(米国の会計年度末、9月30日)に行われる。この年次割り当てを受け取る政府機関には、エネルギー省のCCS RD&Dプログラムも含まれている。ここ数年、CCSへの年間予算は約2億5,000万米ドルであった。エネルギー法は議会がCCSに支出できる資金を大幅に増やし、この資金の一部は毎年の割り当てだけでなく、大規模なインフラ法案など別の方法で使うことが可能である。エネルギー法による67.2億ドルの認可のうち、CCSにどれだけ使われるかの決定は、米国議会と大統領次第である。

87. DOEは CCS市場をどのように後押ししているか?

A. DOEはCCS RD&D(現在も稼働している大規模商用実証プロジェクトを含む)に対し、世界のどの政府よりも多く資金を供与してきた。DOEは2億米ドル/年以上を支出し、特別会計にさらに数十億ドルを費やしている。DOEが費やす資金は、複数の利害関係者がCCS事業を展開するのに使用するツールの開発に充てられている。たとえば、DOEのCarbon SAFEプログラムは、複数のプロジェクトのハブ&クラスターとなりうる大型貯留サイトの開発を目指している。 産業界や発電における複数の利害関係者に利益をもたらすことができるCCS技術に焦点を当てた研究開発についても同様である。また、DOEは、CCS市場を推進すべく許認可や規制も促進している。このように、DOEはCCS市場を後押しするために多くの活動を行っている。

88. 現在稼働中の石炭火力発電所について、DOEがCCS技術の付設に関与することについての一般的な方針は何か？

A. DOEは、石炭火力発電所に関するCCS RD&Dに相当な金額を提供してきた。 DOEの研究テーマの詳細については、DOEのウェブサイトを精読していただくことをお薦めする[57]。

89. MD Energy Administration（メリーランド州エネルギー局）は、メリーランド州西部の Warrior Run石炭火力発電所に注目している。現在、同施設はCO_2の約5%を回収し、それを食品・飲料業界に販売している。DOEでの資金調達の手順について順を追って案内していただくために、そちらの連絡先を教えていただけないか?

A. インスティテュートのウェブサイトにあるマルチメディア・ライブラリで、3月26日のインスティテュートのウェビナーとプレゼン「Opportunities in CCS: Finding Government Funding and Business Partners（CCSの機会：政府の資金供与とビジネス・パートナーを探して）[58]」のPDFをご覧いただきたい。 そこには、DOEでの資金調達について案内するリソースが豊富にある。

90. 聞き逃したかもしれないが、今年、DOE／政府はCCSに対しどのくらいの金額を投入したのか? これが今後数年間で増加するとしたら、どのくらいまで増額するのか？

A. 議会は今年（2021年会計年度）にCCS活動に対し約2億5,000万ドルを割り当てた[59]。 今後数年間、議会がどれだけ資金を増やすかについて推測することはできない。

91. Scale 法とは何か?

A. SCALE 法とは、Storing CO_2 and Lowering Emissions Act（CO_2貯留及び排出削減法）のことであり、2021年3月に米国上院と下院の超党派グループにより提出されたものである。CO_2輸送・貯留インフラの構築にインセンティブを与える[60] 。

92. CO_2輸送・貯留の「組織化」についての質問。英国では、規制された資産ベース（National Grid社の新グループが運営する可能性がある）と規制された料金で、無差別にサービスを提供することが好まれるが、他の国では、（初期資金を除いて）完全な民間管理のルートの方にしたがっているようである。どちらのルートがよりメリットがあると思うか？

A. 規制資産ベース（RAB）モデルにより、共有輸送・貯留ネットワークが可能になる。このようなネットワークは、単一排出源・単一吸収源モデルでは最も高くなるクロスチェーン・リスクの管理に不可欠である。RABにより、輸送・貯留コストを規制することでそれが可能になり、それが手頃で比較的予想可能なものとなる。同時に、輸送・貯留事業者が、操業の初期段階において、対応する収入源無くパイプラインの大型化に伴う高額な資本コストを負担する必要なく、複数の回収施設にサービスを提供することも可能となる。完全民営化されたモデルは、地域や産業によっては有効かもしれないが、料金に関する規制がなければ、自然独占状態に陥り、回収プラント事業者に（コスト増によって）不利益をもたらす可能性がある。

93. 現在、米国議会で審議されているCO_2回収に関する法案の名前は何か?

A. 現在、米国議会に提出されているCO_2回収関連の超党派法案には、Accelerating Carbon Capture and Extending Secure Storage through 45Q Act（CO_2の回収加速化及び45Qによる安全貯留延長（ACCESS 45Q）法）、CCUS Tax Credits Amendments Act（CCUS税控除修正法）、Carbon Capture Modernization Act（CO_2回収近代化法）、Storing CO_2 and Lowering Emissions（SCALE）法、Financing Our Energy Future Act（国内エネルギー未来への資金調達法）、Coordinated Action to Capture Harmful Emissions Act（有害排出物回収のための協調的行動（CATCH）法）、Carbon Capture Improvement Act（CO_2回収向上法）の7つがある[61]。

94. 環境正義をどのようにCCSプロジェクトに取り入れるべきか、もっと情報をいただきたい。コミュニティにより多くのプロジェクトを設置することが目標なのか？

A. 環境正義や「公正な移行」は、CCS普及を加速化させる非常に重要な要素である。CCS施設が建設されるたびに、CO_2のみならずNOxや環境を破壊し地域社会に負担を負わせるその他の有害ガスが低減される。 公正な移行は、「CCSは既存の産業が低炭素機会に向けて変容し、地域経済に持続的な貢献を行いながらネットゼロに向かって進めるようにすることで、公正な移行を促進する」[62]という当インスティテュートの重要なメッセージの一つである。

95. 45Q税控除が減って、この収入源がなくなった場合、今夏Petra Novaで起こったようにCCSプラントが市場の力によって閉鎖されないようにするには、今後どのような方法が最も有望であるとパネリストは考えるか？

A. CO_2排出の外部性に対処する支援的政策が無ければ、CCS施設は大規模に普及しない。 過去に我々が見てきたのは、商業的なお膳立て（EOR目的のCO_2販売）により、投資に十分なインセンティブが提供できるCCSプロジェクトもあるが、 排出削減目標達成に必要な規模ではないということである。45Q税控除が減れば、 他のメカニズムが導入されなくてはならない。たとえば、複数の州にLCFSを広げることで、精製所やDACにおける普及の支援を手助けできる可能性がある。しかし

EPS、炭素税、ETSなど、他のセクターにも効果的となりうる政策やメカニズムが他にもある。

96. 他の州の政策の主な違いについて知りたい。カリフォルニア州についてはわかるが、他の州についてはよくわからないので。

A. CCSに対する州の政策における主な違いは、CO_2の輸送・貯留に関する規則・規制の成り立ちと実施である。（ノースダコタ州やワイオミング州の場合のように）州がEPAの認可を受けた独自のクラスVI井の第一位法施行責任を実施する能力を持つことで、これらの州はCCSプロジェクトの許認可をより迅速に行うことができるようになる。 他の州も、この第一位法施行責任を達成することを目指している。また、CCSは一部の州で認められる脱炭素化戦略の中に入っており、たとえばバージニア州は同州のクリーン・エネルギー基準においてCCSを適格としている。

97. プロジェクトが設置されるコミュニティにおいて、導入に対する地元の利害関係者のサポート構築を手助けする上で、このコミュニティは何ができるか？これは、大型プロジェクトでは大きな課題となる可能性があるのでは？

A. 自分の州の連邦議会議員や地元選出の当局者に連絡を取り、CO_2回収を支持していることとその理由を伝えること。自分のコミュニティにCCS施設があることが重要であることを伝えること。地域計画団体にも同様に伝えること。 CCSの加速を妨げる大きな障壁は、CCSに対する一般市民の認識が全体的に不足していることである。より多くの人にCCSの気候面・経済面のメリットを伝える手伝いができれば、CCSが自分のコミュニティに導入される可能性が高まる。

98. プレゼンテーションの中で、CCUSがドイツでは「不人気な技術」であるというニュースの抜粋があった。世界中のCCUSに対する世論や懐疑的な見方、そしてそれがもたらす潜在的な障害について、パネリストからのコメントはあるか？

A. 主な課題は、大多数の一般市民が、CO_2の地下貯留が永続的で安全であることや、CCSが今世紀半ばの排出削減目標を達成するための最良の手段の一つであることを知らないことである。 科学者達は、CCSなしでは完全な脱炭素化の可能性がほとんどないことを明確にしている。教育は非常に重要であり、インスティテュートの活動は、CCSに関する一般的な誤解を解くのに役立ちうる。

99. S.986 は2020年エネルギー法と同じか?

A. 否。S. 986は、2021年3月25日にTina Smith上院議員により提出されたCarbon Capture, Utilization, and Storage Tax Credits Amendments Act（CO_2回収・利用・貯留税控除修正法）[63]のことである。 同法案について詳しくは、インスティテュートの簡易報告[64]をお読みいただきたい。

3.8 CO_2の利用

100.回収した CO_2 は化学物質やポリマーの原料として利用できるのか？

A. 炭素は、合成燃料、化学物質、プラスチック、炭素繊維のような固体炭素製品（ダイヤモンドも含む）、セメント、骨材、重炭酸塩及び関連する無機化学物質など、数多くのさまざまな形態にリサイクルして転換することができる[65]。 このプロセスを総称して「炭素利用」と呼ぶ。ただし、CO_2の利用法の中には、（コンクリートの一部となるセメントの中などに）CO_2を恒久的に閉じ込める（隔離する）ことができるものと、CO_2を恒久的に隔離しない利用法（合成燃料など）があることを理解しておくことが重要である。

101.回収したCO_2を使える燃料にリサイクルして、地中からの石油採掘を減らしたり、止めたりできる可能性はあるか？

A. ある。回収されたCO_2は燃料に作りかえることができる。しかし、このプロセスは、CO_2を低エネルギー分子から高エネルギー分子に変換する必要があるため、非常にエネルギー消費量が多い（ゆえに費用が高い）。回収したCO_2で化石燃料の全需要を代替できるということはなさそうである。

4.0 REFERENCES

1. Global CCS Institute. 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/the-carbon-capture-and-storage-101-webinars-introducing-a-ccs-project/
2. Global CCS Institute. 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/the-carbon-capture-and-storage-101-webinars-ccs-infrastructure-for-a-net-zero-future/
3. Global CCS Institute. 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/the-carbon-capture-and-storage-101-webinars-ccs-policy-for-a-net-zero-future/
4. Bright, M. 2020. The Science-Based Case for CCUS. Third Way. https://www.thirdway.org/memo/the-science-based-case-for-ccus
5. Global CCS Institute. CO_2RE database. https://CO_2re.co/
6. Bright, M. 2021. Surveying the U.S. Federal CCS Policy Landscape in 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/surveying-the-u-s-federal-ccs-policy-landscape-in-2021/
7. Global CCS Institute. Global Status of CCS 2020. https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/
8. Global CCS Institute. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/capture/
9. U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/fe/science-innovation/office-clean-coal-and-carbon-management/carbon-capture-utilization-and-storage
10. Kearns, D. et al. 2021. Global CCS Institute. Technology Readiness and Costs of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf
11. Global CCS Institute Newsletter. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/newsletter/
12. https://www.msn.com/en-us/money/other/us-startup-plans-to-build-first-zero-emission-gas-power-plants/ar-BB1fFX8x
13. National Energy Technology Laboratrory (NETL). 2019. Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants Volume 1: Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity. https://www.osti.gov/biblio/1569246-cost-performance-baseline-fossil-energy-plants-volume-bituminous-coal-natural-gas-electricity
14. International Energy Agency (IEA). 2020. Projected costs of generating electricity 2020. https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020
15. Energy Information Association (EIA). 2021. Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2021. https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
16. Global CCS Institute. https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/webinar-bioenergy-and-carbon-capture-and-storage-delivering-negative-emissions-with-bioenergy-biofuels-and-waste-to-energy/
17. Kearns, D. et al. 2021. Global CCS Institute. Technology Readiness and Costs of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf
18. Kearns, D. et al. 2021. Global CCS Institute. Technology Readiness and Costs of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf
19. Bright, M. 2021. Surveying the U.S. Federal CCS Policy Landscape in 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/surveying-the-u-s-federal-ccs-policy-landscape-in-2021/
20. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/transport/
21. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/transport/
22. International Energy Agency. 2011. Effects of impurities on geological storage of CO_2. https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2011-04.pdf
23. Alcalde et al. 2018. Estimating geological CO_2 storage security to deliver on climate mitigation. Nature Communications, 9:2201. https://www.nature.com/articles/s41467-018-04423-1

24. Global CCS Institute. Global Status of CCS 2020. https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/

25. Global CCS Institute. 2020. Carbon capture and storage: Challenges, enablers and opportunities for deployment. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/carbon-capture-and-storage-challenges-enablers-and-opportunities-for-deployment/

26. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

27. Japan CCS Company, Ltd. 2018. Research Report on Impacts of Hokkaido, Eastern Iburi Earthquake on CO_2 Reservoir. https://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2019/09/Research-Report-on-Impacts-of-Hokkaido-Eastern-Iburi-Earthquake-on-CO_2-Reservoir_2nd-edition.pdf

28. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

29. Global CCS Institute. Fact Sheet. Geological Storage of CO_2: Safe, Permanent, and Abundant. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Geological-Storage-of-CO_2.pdf

30. Loria and Bright. 2021. Lessons captured from 50 years of CCS projects. Electricity Journal, 34(7): 106998. https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.106998

31. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

32. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

33. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

34. National Energy Technology Laboratory (NETL). 2010. Carbon dioxide enhanced oil recovery. U.S. Department of Energy. https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/CO_2_eor_primer.pdf

35. https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/storage/

36. Peletiri, S.P., et al. 2018. CO_2 pipeline design: A review. Energies. 11, 2184. file:///C:/Users/MattBright/Downloads/energies-11-02184.pdf

37. Peletiri, S.P., et al. 2018. CO_2 pipeline design: A review. Energies. 11, 2184. file:///C:/Users/MattBright/Downloads/energies-11-02184.pdf

38. Townsend and Havercroft. 2019. The LCFS and CCS protocol: An overview for policymakers and project developers.https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/05/LCFS-and-CCS-Protocol_digital_version-2.pdf

39. Bright, M. 2021. 45Q: "The most progressive CCS-specific incentive globally" is now open for business. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/45q-the-most-progressive-ccs-specific-incentive-globally-is-now-open-for-business/

40. https://www.upstreamonline.com/energy-transition/russian-oil-giants-pen-carbon-focused-pacts-with-shell-and-baker-hughes/2-1-1020596

41. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/newsletter/

42. https://CO_2re.co/FacilityData

43. Kearns, D. et al. 2021. Global CCS Institute. Technology Readiness and Costs of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf

44. https://CO_2re.co/FacilityData

45. Leetaru, et al. 2009. Carbon sequestration in the Mt. Simon Sandstone saline reservoir, in M. Grobe, J. C. Pashin, and R. L. Dodge, eds., Carbon dioxide sequestration in geological media—State of the science: AAPG Studies in Geology 59, p. 261–277. https://archives.datapages.com/data/specpubs/study59/CHAPTER14/CHAPTER14.HTM

46. Leetaru, et al. 2009. Carbon sequestration in the Mt. Simon Sandstone saline reservoir, in M. Grobe, J. C. Pashin, and R. L. Dodge, eds., Carbon dioxide sequestration in geological media—State of the science: AAPG Studies in Geology 59, p. 261–277. https://archives.datapages.com/data/specpubs/study59/CHAPTER14/CHAPTER14.HTM

47. https://www.researchgate.net/figure/CO-2-injection-rate-density-IRD-map-of-the-Mount-Simon-Sandstone-SAU-Illinois-Basin_fig1_344507720

48. Stanford. 2020. An action plan for CCS in California: opportunities, challenges, and solutions. https://earth.stanford.edu/news/roadmap-carbon-capture-and-storage-california#gs.5wbwlg

49. Kearns, D. et al. 2021. Global CCS Institute. Technology Readiness and Costs of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf

50. Rassool, D. 2021. Global CCS Institute. Unlocking private finance to support CCS investments. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/unlocking-private-finance-to-support-ccs-investments/

51. Global CCS Institute. 2021. China carbon trading market opens. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/china-carbon-trading-market-opens/

52. Global CCS Institute. Australian government announces CCUS development fund recipients. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/australian-government-announces-ccus-development-fund-recipients/

53. Zapantis et al. 2019. Policy priorities to incentivise large scale deployment of CCS.https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/04/TL-Report-Policy-prorities-to-incentivise-the-large-scale-deployment-of-CCS-digital-final-2019-1.pdf

54. Townsend and Havercroft. 2019. The LCFS and CCS protocol: An overview for policymakers and project developers.https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/05/LCFS-and-CCS-Protocol_digital_version-2.pdf

55. Bright, M. 2020. The Science-Based Case for CCUS. Third Way. https://www.thirdway.org/memo/the-science-based-case-for-ccus

56. Global CCS Institute. Global Status of CCS 2020. https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/

57. https://www.energy.gov/fe/science-innovation/carbon-capture-and-storage-research/carbon-capture-rd

58. Global CCS Institute. 2021. Opportunities in CCS: Finding Government Funding and Business Partners. https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/opportunities-in-ccs-finding-government-funding-and-business-partners/

59. https://docs.house.gov/billsthisweek/20201221/BILLS-116RCP68-JES-DIVISION-D.pdf

60. Bright, M. 2021. Surveying the U.S. Federal CCS Policy Landscape in 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/surveying-the-u-s-federal-ccs-policy-landscape-in-2021/

61. Bright, M. 2021. Surveying the U.S. Federal CCS Policy Landscape in 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/surveying-the-u-s-federal-ccs-policy-landscape-in-2021/

62. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/GCCSI_KeyMessages_04.2021.pdf

63. https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/986

64. Bright, M. 2021. Surveying the U.S. Federal CCS Policy Landscape in 2021. https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/surveying-the-u-s-federal-ccs-policy-landscape-in-2021/

65. https://www.energy.gov/fe/carbon-utilization

GET IN TOUCH

To find out more about the Global CCS Institute including Membership and our Consultancy services, visit globalccsinstitute.com or contact us.

AMERICAS

Washington DC, United States

americasoffice@globalccsinstitute.com

EUROPE & MIDDLE EAST

Brussels, Belgium

europeoffice@globalccsinstitute.com

AUSTRALIA

Melbourne, Australia

info@globalccsinstitute.com

UNITED KINGDOM

London, United Kingdom

ukoffice@globalccsinstitute.com

CHINA

Beijing, China

chinaoffice@globalccsinstitute.com

JAPAN

Tokyo, Japan

japanoffice@globalccsinstitute.com

Copyright © 2021 Global CCS Institute

The Global CCS Institute and the author believe that this document represents a fair representation of the current state of law in the key areas and jurisdictions considered, however its content should not be construed as, or substituted for, professional legal advice. The Global CCS Institute has tried to make information in this publication as accurate as possible. However, it does not guarantee that the information in this publication is totally reliable, accurate or complete. Therefore, the information in this publication should not be relied upon when making investment or commercial decisions,or provided to any third party without the written permission of the Global CCS Institute. The Global CCS Institute has no responsibility for the persistence or accuracy of URLs to any external or third-party internet websites referred to in this publication and does not guarantee that any content on such websites is, or will remain, accurate or appropriate. To the maximum extent permitted, the Global CCS Institute, its employees and advisers accept no liability (including for negligence) for any use or reliance on the information in this publication, including any commercial or investment decisions made on the basis of information provided in this publication.