

世界の CCSの 動向 2020年版

CCS.

VITAL TO ACHIEVE

NET-ZERO





序文

1.0 序文

2.0 CCSの必要性

3.0 世界のCCSの動向2020年版

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

3.2 政策と規制

3.3 世界の貯留の概要

4.0 地域別の概要

4.1 南北アメリカ

4.2 ヨーロッパ

4.3 アジア太平洋

4.4 湾岸協力理事会

5.0 技術と応用

5.1 産業

5.2 水素

5.3 天然ガス

5.4 発電部門のCCS

5.5 ネガティブ・エミッション技術

5.6 CCSのイノベーション

6.0 別表

7.0 参考文献

グローバルCCSインスティテュートについて

グローバルCCSインスティテュート（インスティテュート）は、気候変動への取り組みに不可欠な技術である二酸化炭素回収貯留（CCS）の展開を加速化することを使命とする、国際的なシンクタンクである。

30名を超える専門家チームを擁するインスティテュートは、会員と連帯し、また会員を代表し、可能な限り迅速かつ費用対効果の高い方法でのCCSの採用を推進している。具体的には、CCSが温室効果ガスの排出削減に役割を果たせるよう、専門知識の共有、キャパシティ・ビルディング、および助言と支援を行っている。

また多分野にわたる世界各地の会員には、政府、国際企業、民間企業、研究機関、非政府組織等が含まれており、会員一丸となって正味排出ゼロの将来に必要な不可欠な役割を担うCCSに取り組んでいる。

インスティテュートは、オーストラリアのメルボルンを本拠地とし、海外拠点はワシントンD.C.、ブリュッセル、北京、ロンドン、東京にある。

本書について

CCSは、世界的な気候目標の達成に不可欠な排出削減技術である。『世界のCCSの動向2020年版』は、この1年間のCCSを巡る重要な出来事と、世界のCCSの状況、および世界が直面する重要な機会と課題を記録したものである。

本書が、政府、政策立案者、学術機関、メディア評論家、そして世界の気候を配慮する多くの人々により読まれ、有効に活用されることを期待している。

執筆者

本書の草稿とその根拠となる分析には、Brad Page、Guloren Turan、Alex Zapantisが中心となり、チームにはJamie Burrows、Chris Consoli、Jeff Erikson、Ian Havercroft、David Kearns、Harry Liu、Dominic Rassool、Eve Tamme、Alex TownsendおよびTony Zhangが参加した。

略語一覧

BECCS	CCSを利用したバイオエネルギー
CCS	二酸化炭素回収貯留
CCUS	二酸化炭素回収利用貯留
COP	締約国会議
DAC	直接空気回収
DACCS	二酸化炭素直接空気回収貯留
EC	欧州委員会
EOR	石油増進回収
ESG	環境・社会・企業統治
EU	欧州連合
FEED	フロントエンドエンジニアリング設計
GHG	温室効果ガス
Gt	ギガトン
GW	ギガワット
IPCC	気候変動に関する政府間パネル
LCFS	低炭素燃料基準
MMV	モニタリング、測定、検証
Mt	100万メートルトン
MW	メガワット
NDC	自国が決定する貢献
R&D	研究開発
SDS	持続可能な開発シナリオ
SMR	水蒸気メタン改質
SOE	国営企業
TWH	テラワット時
UNFCCC	気候変動に関する国際連合枠組条約
UK	英国
US	米国
US DOE	米国エネルギー省

ブラッド・ペイジ

グローバルCCSインスティテュート
CEO



2020年はコロナ禍の発生および拡大を伴う、最も困難に満ちた一年として長い間記憶に残ることになるだろう。多くの人命が犠牲となり、経済への影響を乗り越えるには数十年かかることであろう。これは滅多に起きないイベントにありがちであるが、予告なく発生し、比類のない規模で発生し、医療、社会そして経済的損害を与えた。世界はこの大流行を抑えることにいまだ取り組んでおり、利用できるワクチンが現時点で存在しないこともあり、コロナ禍と共存することが現実であり、政府、事業そしてコミュニティにとって主要な課題となっている。

多くがこれまで目の当たりにしているように、政府が不景気から脱却し、人々を職場に戻すために景気刺激策を考案・実施する必要があり、気候変動に優しく、環境維持が可能な方法で、世界経済が向かう方向を修正し、再度成長するための一世代に一度のチャンスを迎えている。現在、我々はエネルギー移行を受け入れ、それを加速化する機会があり、これにより新しい、クリーンエネルギーと各産業における雇用の創出を生み出し、今後何十年もの間、経済を維持することができる。

民間および公共部門の双方において、温暖化防止に役立つ政策や投資への道を選ぶものが増えているというのを証明している。今世紀半ば頃より、実質排出ゼロに取り組む国の数が増えた。政府による全国的な取り組みの他、貿易面で非常に困難な状況であったにも関わらず、驚くべきことに2020年には、主要な多国籍企業が、今世紀半ばまでにカーボンニュートラルを達成するために誓いを立てている。一部には、スコープ3排出も含まれている。これは、自社製品が顧客に消費（主に燃焼）された結果生じた排出である。また、多くの政府が財政刺激策における排出削減目標を掲げ、CCSが挙げられている国があることも注目すべきことである。これは歓迎されるべきことであり、また必要なことである。今世紀半ば頃までに実質排出ゼロを達成し、温度上昇を2°C以下に抑えるには、利用可能な全ての削減技術を急速に展開するだけでなく、排出量が多い施設を早めに操業停止し、CCS等の技術を後付けすることが必要であることは、かなり前から明白であった。また、カーボンバジェットが大幅に超過されることが残念ながらほぼ保証されている中、二酸化炭素除去技術(CDR)が大規模に利用される必要があることも明白である。

本年度の報告書で判明したことは、このような展開とほぼ一致している。過去2年間報告してきたように、世界における操業段階と開発段階のCCS施設が再び増えており、今年も上昇直線が続くであろう。CCSが適用されている産業および工程の多様性は、脱炭素が困難であるが、世界中で日常生活に必要な不可欠な製品を製造する産業からの排出を除去する際に、CCSがフレキシブルであることを引き続き証明している。

CCS関連の活動が活発化しており、新しい施設への投資が増加していることは、非常に勇気づけられる。しかしながら、まだまだやるべきことは沢山ある。

IPCC 1.5°C特別報告書に暗示されている、CCSの役割を考慮した場合、350~1,200ギガトンのCO₂を今世紀中に貯留する必要がある。現在、毎年40メガトンのCO₂が貯留されている。IPCCが示すシナリオを達成するには、2050年までに、この量は100倍以上増やす必要がある。この容量に必要な施設を、構築するための必要な巨額の資本投資を促進するためには、明らかに、政策および民間部門の取り組みを大幅に増やす必要がある。

本年度の報告書が示すように、CCS/バリューチェーンの至る所で、かなりの進歩が見られる。新しい、より効率性の優れた、適用範囲が様々な、低コストの回収技術が、CCS/バリューチェーンの最も重要な費用構成の一つの展望を変えている。CCS/ハブモデルの事業者は、実現化に向けて力強く歩んでおり、この中でも注目されているのが、Alberta Carbon Trunk Lineの操業である。投資やプロジェクト活動に、CO₂削減技術が取り上げられることが増えており、米国、英国、欧州連合やオーストラリア等では、新しく、好ましい政策設定が、活発な調査・開発段階にあるプロジェクト数を増やしている。

また、金融やESG部門からの関心および、取り組みが増えていることは特に重大なことである。多くの投資機会への理解が深まり、多くの事業が将来ネットゼロに向けて、移行する必要があるということは、ESGのアドバイザーが必要な変化をもたらす技術を探求していることを意味する。

先の道のりは困難であるが、ネットゼロを今世紀半ばまでに実現するためにCCSが重大かつ必要な貢献をすることがますます期待されている。

先の道のりは困難であるが、
ネットゼロを今世紀半ばまでに実現するためにCCSが重大かつ
必要な貢献をすることがますます
期待されている

ニコラス・スターン卿

ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス
IG パテル記念教授(経済学・行政学)
グランサム研究所所長



予想できなかった課題と不安に満ちた本年、気候変動の脅威、排出量を減らし、近頃世界的に気温を安定化を継続し、行動をとる必要性が示された。コロナ禍による医療危機の、悲劇的かつ広範囲に渡る影響は、壊滅的な混乱をもたらした。多くの人々においては、抜本的な変化へつながる瞬間をもたらしたのではないかと思う。この瞬間が、我々の気候変動への戦いの転換期となるかもしれない。それは我々が、現状が脆く、危険な状態であり、多くの面で不平等であると、理解する歴史的瞬間である。そして、その瞬間は、排出量削減への取組みを、強化する推進力となる可能性があり、回復への道のりへ導くだけでなく、転換と新しい、持続可能でより魅力的な形の成長と開発をもたらすだろう。

世界的に気温を安定化させるチャンスがあるとしたら、我々はCO₂の濃度を安定化する必要があり、それはGHGのネットゼロを意味する。排出量が少なければ少ないほど、そしてネットゼロ排出を速く達成できればできるほど、より低い気温で安定化することができる。15°Cで安定化することを目標にする必要性についてはすでに学んだ。そうしなければ、我々の生活が脅かされる。高くなればなるほど、その影響は想像できないものになる。

近年、気候変動を表す言語と行動は、このネットゼロという重要な目標に向かい、その側には、二酸化炭素回収利用貯留(CCUS)が必要である。長い間、CCUSが排出量削減のために必要不可欠であることが知られており、幅広い経済セクターにおいて、急速に展開する必要がある。再生可能エネルギーとCCUS等の低炭素技術は、製鉄、セメント、航空と長距離輸送等、ほんの数年前までは、脱炭素化が「むずかし過ぎる」と言われていた部門においてさえ、2050年までに温室効果ガスのネットゼロを達成するための実行可能な進路を示している。

それと共に、我々の知識および気候変動の理解は向上し続け、その気候変動の速度およびその比類ない危険はますます明白になっている。重要なことは、我々が今世紀半ばまでにネットゼロを達成する必要があり、これを達成するために何をすべきか分かるようになってきた。しかしながら、優れた洞察力および知識の向上を持って、我々は国際社会として、排出量削減のための行動をとるために時間がかかった。

今、我々は緊急に行動をとる必要がある。コロナ禍の危機が過ぎても、「オールドノーマル」に戻らないようにしなければならない。我々は大流行の危険を目の当たりにし、過去10年の遅い回復および不平等から来る、世界中の脆い基礎構造の危険を見てきた。そしてその上には、抑えることができない気候変動の危険がそびえている。

我々が現在進んでいる危険な道を避けて、素早く気候変動に対処する必要がある。我々は政策と技術という形で、すぐに利用できる、強力な技術が開発されており、素早く展開できるため、我々が取り組みさえすれば、ネットゼロを達成するために重要かつ必要不可欠な貢献ができる。規模を拡大する時である。自分たちの知識を応用し、その過程で学ぶことにより、今そして未来の世代の繁栄のために必要不可欠なゼロカーボン経済への道を構築できる。

自分たちの知識を応用し、
その過程で学ぶことより、
今そして未来の世代の繁栄
のために必要不可欠な
ゼロカーボン経済への道を
構築できる

ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス
IG パテル記念教授(経済学・行政学)
グランサム研究所所長
ニコラス・スターン卿

ジェイド・ハマイスター OAM

極地探検家



- ・ 北極にスキーで到達した最年少者（14歳）
- ・ グリーンランド氷冠550km横断を完成した最年少の女性（15歳）
- ・ 南極大陸沿岸から南極までスキーで到達した最年少者（16歳）
- ・ 新しい経路で南極にスキーで到達した、わずか3名の女性のうちの1名
- ・ オーストラリア・ジオグラフィック協会、2016年および2018年若手探検家賞
- ・ オーダー・オブ・オーストラリア勲章（18歳）
北極・南極探検への貢献

ジェイドの北極・南極遠征は一切の支援・サポートを受けていない。

世界的規模のパンデミックと戦いながら、現在の生活のあり方を変えるという、より大きい課題が残る。

2020年には、気候変動は容易に忘れられてしまったが、その問題がなくなったわけではない。また、緊急に排出量の上昇に対応する必要性、パリ協定の目標を満足し、ネットゼロを達成する必要性もなくなったわけではない。

我々は気候変動の影響が広がって行く様子を見てきた。去年の夏、私の母国であるオーストラリアにおいて、前代未聞の破壊的な火事があり、一年中、空前の速度でグレート・バリア・リーフのサンゴが漂白されていた。

我々は至急に目前にある課題を受け入れ、対応する必要がある。また、地球温暖化に対する自分たちの姿勢を見直し、我々全員が成長し、より持続可能で豊かな未来に導く、イノベーションを行うための触媒として捉える必要がある。

最近、世界中の組織や国がネットゼロに取り組んでおり、それは国々にこの課題が受け入れられているという希望をもたらすが、一番大切なことは行動をとることである。真の変化をもたらすために真の行動をとらなければ、コミットメントには意味がない。

まだ19歳の私は、地球温暖化について専門知識はないし、我々が経験したことがない最大の脅威に対して行動をとり、闘うために世界のリーダーたちを取りまとめる専門知識もない。

しかしながら、私は地球上の三大極点を直接経験した、自分の世代で唯一の人かもしれない。私が体験した旅は、80日間で1,300kmに及ぶ。

私は極点探検により、地球温暖化が否定できない真実であることを確信した。地球への影響は、この非常に美しい、壊れやすい環境の一部に見られた。

この旅は私を永遠に変え、今では母星に対して深い感情的な繋がりと、地球を守る上で果たすべき責任を強く感じる。

我々はあらゆる実現可能なソリューションを利用して、排出量を減らし、2050年までにネットゼロを達成する必要があり、そのためにはCCS技術が必要である。

我々が、気候変動の破滅的な結果から自分たちを救うための科学、知識、そして解決策があることは疑いがなく、

今、緊急かつ広大に行動をとる必要がある。

我々は、あらゆる実現可能なソリューションを利用して、排出量を減らし2050年までにネットゼロを達成する必要があり、そのためにはCCS技術が必要である

極地探検家
ジェイド・ハマイスター OAM



CCSの 必要性

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性**
- 3.0 世界のCCSの動向2020年版**
 - 3.1 世界のCCS施設の最新情報および傾向
 - 3.2 政策と規制
 - 3.3 世界のCO2貯留状況の概要
- 4.0 地域別の概要**
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用**
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門のCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表**
- 7.0 参考文献**

2.0 CCSの必要性

CCSは気候変動との戦いにおいて、形勢を一変させる革新的な技術である。排出源におけるCO₂排出を回避し、CO₂の除去技術を用いて大気中に存在するCO₂を大規模に削減する能力は、気候変動問題の解決策の一つとして重要である。IPCCの地球温暖化に関する15°C特別報告書は、気候変動による最悪の事態を避けるために、今世紀半ばまでに、ネットゼロ排出を到達することの、重要性を強調している。IPCCの報告書では世界的な温暖化を摂氏1.5度に抑えるために、4つの排出経路例を示しているが、その全てがCO₂の除去、うち3つがCCSの大規模な利用を必要としている（図1参照）。CCS抜の排出経路の場合は、人間の行動が、抜本的に変わることを、余儀なくされる。

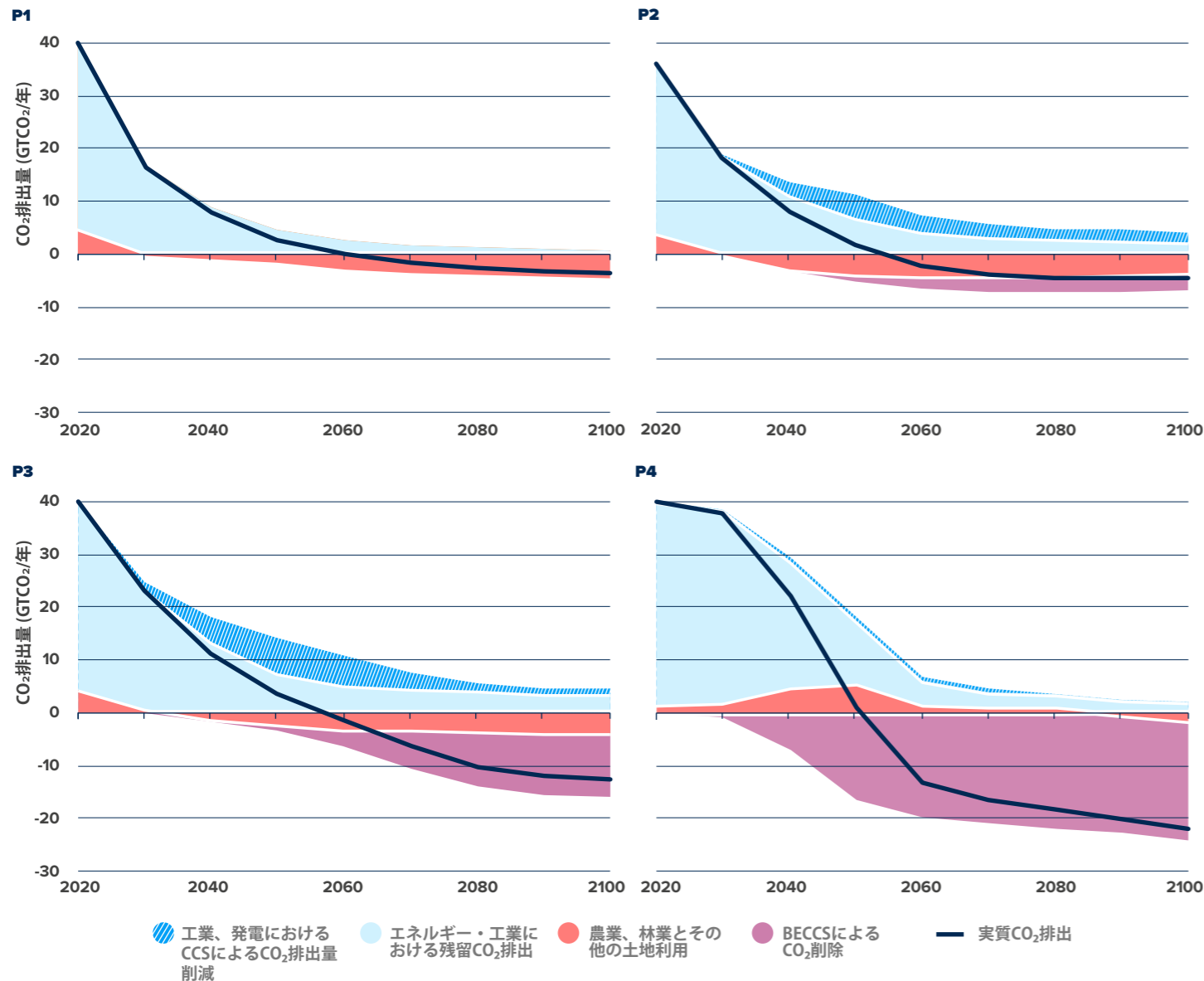


図1 IPCC 1.5°C特別報告書における経路図⁴

CCSへの投資を通じ、費用効果の優れたネットゼロ排出を、達成するための4つの主要な方法

- 削減することが困難な産業において、根本的な脱炭素化を達成する
セメント、製鉄、そして化学部門においては、各産業プロセスの性質上、CO₂の排出や、高温での加熱が必要となる。これらの産業は、脱炭素化が最も難しいとされている。エネルギー移行委員会および国際エネルギー機関 (IEA)等、複数のレポートによると、これらの産業では、ネットゼロ排出を、達成できない可能性があり、CCSを適用しない場合、さらにコストが高くなると、結論づけられている。CCSは、最も成熟した、そして費用効果の高い選択肢の一つである。

- 大規模な低炭素水素の生産を可能にする
水素は脱炭素化が難しい部門において、主要な役割を果たすことになるだろう。同時に、住宅暖房および柔軟性のある発電のための重要なエネルギー源となる可能性がある。石炭または、天然ガスとCCSの併用は、現在低炭素水素を製造する最も費用効果の高い方法である。電解による水素製造のための、手ごろな価格の再生可能電力が、大量に利用できず、化石燃料の価格の低い地域では、その状況が続くだろう。削減が困難なセクターを脱炭素化し、ネットゼロ排出を達成するには、世界的な水素の製造量を、今日の年間70 Mt(Mtpa)⁵から、今世紀半ば迄に425~650 Mtまで、大幅に増やす必要がある。
- 低炭素で供給できる電力
発電の際にCO₂を除去することは、ネットゼロ排出を達成するために、必要不可欠である。CCSが装備されている発電所は、出力調整可能で、低炭素の電力を供給するだけでなく、慣性、周波数管理および電圧管理等、送電システムを安定化するサービスも提供する。送電システムの安定化は太陽光発電(PV)または風力発電では提供できない。そのため、CCSは再生可能エネルギーを補完し、未来の低炭素送電網に、復原力と信頼性をもたらす。
- ネガティブ・エミッションを実現する
CO₂低減が困難なセクターで、排出が残る場合、それを補償する必要がある。CCSは、CCSを利用したバイオマスエネルギー(BECCS)や、二酸化炭素直接空気回収貯留(DACCS)等を含む、テクノロジーに基づいた、CDRの基盤を提供する。CDRのみの削減では、特効薬になりえないため、大幅な削減ができず、年数が経過する程、CDRを、継続して行うことが必要になる。

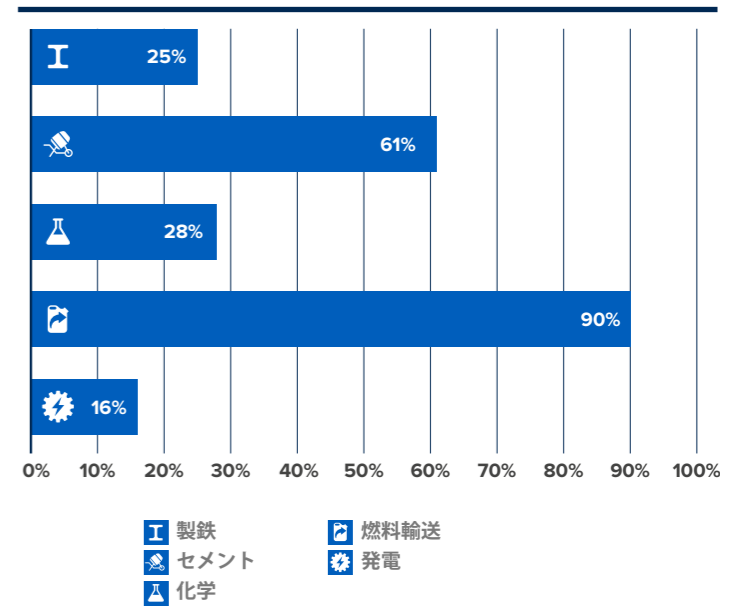


図3 2070年までのIEA持続可能な開発シナリオにおける、セクターごとのCO₂排出量削減に対するCCUSの貢献度⁶

燃料転換は、精製、バイオ燃料と商用水素とアンモニアの製造等のセクターをカバーする。

IEAの持続可能な開発シナリオ(SDS)²は、CO₂排出量、エネルギー利用、空気質に関する国連(UN)のエネルギー関連の持続可能な開発目標が達成される将来の実現に必要な措置について説明している。CCSを利用して貯留されるCO₂の量は、今日の年間およそ40 Mtから2050年にはおよそ5.6ギガトン(Gt)と、100倍以上増える(図2)。その貢献度は重大であり、製鉄、セメント、化学、燃料変換および発電セクターにおいて、16~90%の排出量削減に相当する(図3) ネットゼロ排出の未来における、CCSのフレキシビリティおよび戦略的重要性は明白である。

CO₂排出削減に必要な、CCSへの投資は、いくつかの経済的利益をもたらす。

- 高価値な仕事の創出と維持
- 新しいネットゼロ産業とイノベーションを通じた、経済成長のサポート
- インフラ設備の再利用および、操業停止にかかる費用を繰り延べすることができる

CCSはネットゼロ排出経済への「公正な移行」も促進する³。公正な移行を達成する際の重大な課題の一つは、高排出産業における失業が一箇所に集中する一方、低炭素産業の仕事が他所で作られることである。地理的要素が障害とならない場合においても、多くの職が失われた直後に同じ場所で大規模な雇用が生じることは稀である。CCSは、ネットゼロを目指しながら、産業が地元経済に、持続可能な貢献ができるようにすることにより、公正な移行を促進する。

ネットゼロ排出に向けて、気温の上昇を1.5°Cに抑えるための時間がなくなっているCOVID-19による危機のために、エネルギーの需要および排出量が今までになく削減されたが、CCSに対する長期展望は変化していない。ネットゼロ排出を達成するチャンスを最大にするためには、CCSの利用を迅速にスケールアップする必要がある。今こそCCSへの投資を加速化する時である。

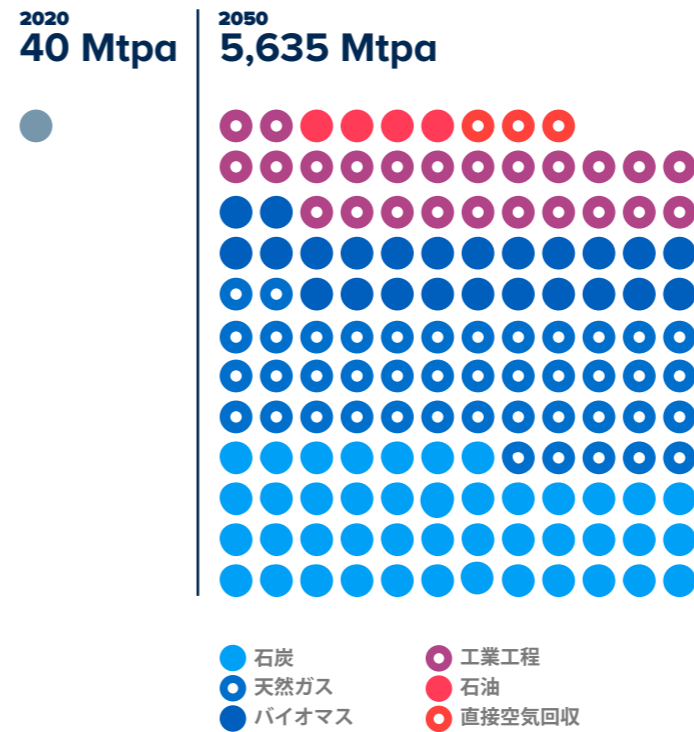


図2 IEA持続可能な開発シナリオにおける、燃料およびセクターごとの2020年と2050年のCO₂貯留キャパシティ⁷

2050年に利用(369 Mtpa)および貯留(5,266 Mtpa)のために回収されたCO₂を含む

世界のCCCSの 動向2020年版

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性
- 3.0 世界のCCCSの動向2020年版**
 - 3.1 世界のCCS施設の最新情報および傾向
 - 3.2 政策と規制
 - 3.3 世界のCO2貯留状況の概要
- 4.0 地域の概要
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門におけるCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表
- 7.0 参考文献

3.0 CCSの動向2020年版

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

成熟途上のCCS産業は、最新の分類システムが必要

グローバルCCS インスティテュートは、CCS産業の開発レベルをより明確に反映するために、2020年に最新の分類システムを導入した。本書、*CCSの世界的動向2020年版*以前は、我々は年間CO₂回収容量に基づいて、2つの施設カテゴリーに特定した。

1. 大規模CCS施設

- 産業排出源から400 ktpa以上のCO₂回収容量を持つ施設
- 産業排出源から800 ktpa以上のCO₂回収容量を持つ施設
- 400 ktpa以上のCO₂輸送インフラ設備・貯留ハブプロジェクト。

2. パイロットおよび実証規模の施設

- 大規模CCS施設キャパシティ基準値を満たさない、産業排出源または発電所からCO₂を回収する施設

年間CO₂回収分類システムが、最初に作成された時のインスティテュートの目標は、著しいスケールアップリスクを伴わない、商用展開の学習を応用するために十分大きい、CCSを商業規模で示すことができる施設を作ることであった。そのため、CCS施設の分類の最大項目は大規模であった。それによって、分類用の基準値も設定された。

しかし過去一年間、その分類システムはあまり役に立たなくなった。より小規模な回収施設が、商業的に有効であるため、現在CCSハブは、複数のより小規模なCO₂源が、輸送および貯留において規模の経済を提供し、回収容量はもはや施設を分類する最善の方法ではなくなった。産業に関わらず、新しい技術を示すことは重要であるが、現在の主要な目標は、野心的な気候目標を達成するために、商業的に利用可能な、成熟したCCS技術を展開することである。

新しいCCS施設分類システム

本年度の「CCSの世界の動向」報告書以降、CCSは次のように分類される。

1. 商用CCS施設：

- 継続的な商業生産の一部として回収されたCO₂の恒久的貯留
- 貯留は第三者あるいは回収施設の所有者により行われる
- 一般的に、経済的利用可能年数がCO₂の回収先であるホスト施設と類似している
- 操業段階において、商業的利益を出す、あるいは規制要件を満足する必要がある

2. パイロットおよび実証規模の施設

- テスト、開発またはCCS技術または工程を示すために回収されたCO₂
- 回収されたCO₂は必ずしも恒久的に貯留されるわけではない
- 一般的に、大規模商用施設に比べて寿命が短い。テスト完成と開発プロセスに要する時間、あるいは重大な節目を達成するために要する時間により決まる
- 操業段階において、商業的利益を出すことが期待されていない

インスティテュートの分類システムのインパクト

新しい分類システムにより、次の変更が生じた。

- パイロットおよび実証規模として分類されていた7つの施設が、現在は商用規模として分類
- Brevik NorcemとFortum Oslo Varmefieldは現在2つの個別の商用CCS施設に分類（かつてはNorway Full Chain Projectの一部として、1つの大規模施設にまとめられていた）
- Occidental Petroleum CorporationとWhite EnergyのPlainviewとHereford Ethanol石油増進回収（EOR）施設は、2つの個別の商用CCS施設に分類（以前は1つと分類）
- かつて大規模CCS施設に分類されていた、6つのCCSプロジェクトは、CO₂REデータベースの新しい「ハブ」セクションに別途表示される。建設予定は2021年である。それまでは、これらのハブは「CO₂貯留」と呼ばれ、施設とは区別される。

CCSパイプラインにおける新しい施設または進展は、再分類された既存の施設ではなく、データベースに追加された施設にのみ該当する。

2020年における施設パイプラインの進展

図4は、過去十年間の商用CCS施設パイプラインの進展を示す。2011年～2017年において、前年比で総回収容量が減少したが、これは世界金融危機後、公共および民間セクターが短期回復に焦点を当てたこと等に起因する可能性が高い。しかしながら、過去3年間、確実に進展している。

CCSの進展を推進している重要な要素の一つは、温室効果ガス（GHG）ネットゼロ排出を達成することの緊急性が増していることへの認識である。これは2015年度パリ協定で有効になり、摂氏2度未満に地球温暖化を抑えるという明確な目標が確立された。その後、その目標はさらに厳しいものとなり、摂氏1.5度未満になった。政府、民間セクターと市民社会はこれにより、排出削減に再度焦点を当てることになった。政府はより強力な気候政策を制定し、株主は会社にスコープ1、2、3排出を減らすよう、圧力をかけた。およそ30ヶ国、州または都市、そして数百もの会社が現在、今世紀半ばまでにネットゼロ排出を達成することに取り組んでいる。

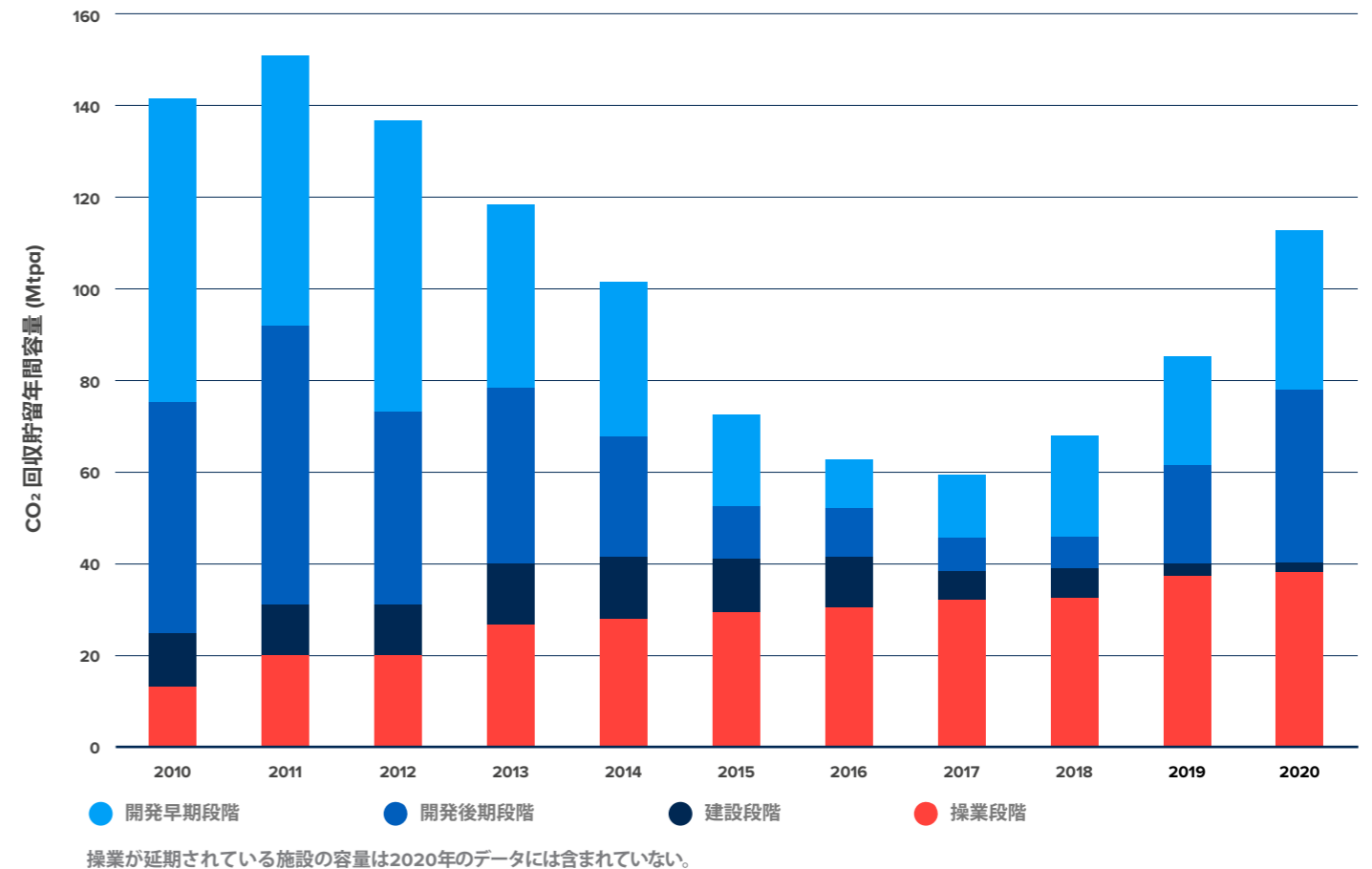


図4 2010～2020年の商用CCS施設のパイプライン：CCSの回収容量¹

ESG投資ファンドとグリーンボンドが増え、石炭関連の負債金融の利用が減少し、高い排出資産クラスからより低いものへとゆっくりと移動していることが分かる。製鉄、肥料、セメントと輸送等、対応することが難しいセクターでは、事態がより緊急性を増し、先送りになることが少なくなった。

これらの世界的なマクロ傾向により、最低のリスクとコストでネットゼロ排出を達成する方法について、より徹底した分析を行うことが促された。CCS等、最も幅広い技術ポートフォリオが利用できる場合、達成できる可能性が最も高いと言えるだろう。CCSなくして、ネットゼロは実質的に不可能である。

CCSの進展を推進している重要な要素の一つは、温室効果ガスネットゼロを達成することの緊急性が増していることへの認識である

3.0 CCSの動向2020年版

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

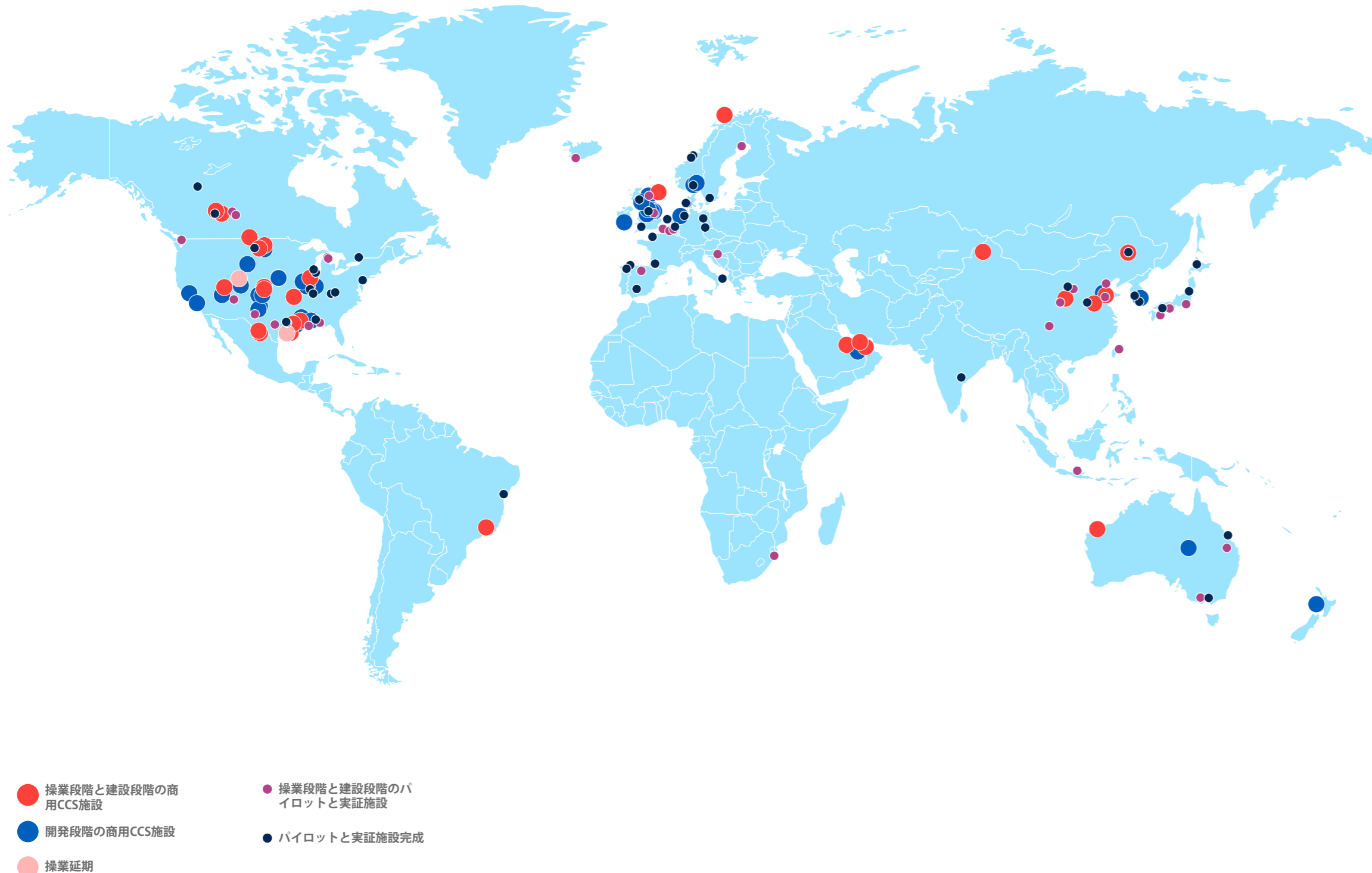


図5 開発諸段階のCCS施設世界地図⁶

世界のCCSの動向2019年版が発行されてから、17の新しい商用施設が、プロジェクトパイプラインの仲間入りをした。米国はここでもまた、世界を先導し、2020年に始動した17の施設のうち12の施設の所在地となる。米国での成功は、政策が投資のためのビジネスケースを作った場合、プロジェクトが進行していることを示している。その他の施設は英国(2)、オーストラリアおよびニュージーランドにある。

現在、65の商用CCS施設があるⁱⁱ

- ・ そのうち26施設が操業段階である
- ・ 1つは景気の停滞のため、そしてもう一つは火災のため、2ヶ所が操業停止している
- ・ 3施設が建設段階である
- ・ 13施設が開発後期段階で、フロントエンドエンジニアリング設計(FEED)に、間近い段階にある
- ・ 21施設は初期開発段階にある

現在操業中のCCS施設は、毎年およそ40 MtのCO₂を、回収および恒久的に貯留することができる。さらに34のパイロットおよび実証規模のCCS施設が、操業段階または開発段階であり、テストセンターも8つある。

商用CCSプロジェクトパイプラインにおける最近の成長について、3つ挙げるべきことがある。

1. 米国における税額控除の改善

- ・ 2020年に17の新しい施設のうち、12の施設に米国が関与している理由は、2018年に改正された45Q税控除が法律に取り込まれ、国税庁が2020年に、より詳細に渡るガイダンスを出したことが大きく起因している。
- ・ 一部の米国の施設は、カリフォルニア低炭素燃料基準(LCFS)からも恩恵を受けることになる。この計画の元にあるクレジットは、2020年においてCO₂ 1トン当たり最大212米ドルで取引されていた。

2. ハブとクラスター

- ・ ハブとクラスターはスケールメリットによりCO₂貯留の単位原価を大幅に削減し、投資リスクを削減する商業的相乗効果を提供する。
- ・ 新しい米国の商用施設のほとんどが、開発段階のCarbonSAFE CO₂貯留ハブを利用することができ、これは米国のエネルギー省(US DOE)によりサポートされている⁴。
- ・ 英国にある2つの新しい商用施設は両者とも、英国最初のネットゼロ産業クラスターを目指しており、Zero Carbon Humberに関連している。

3. 水素：未来の燃料

- ・ 石炭ガス化、またはCCSを利用した天然ガス改質は、クリーン水素を商業規模で製造するための、最低コストの選択肢である。クリーン水素供給で市場におけるシェアをとることは、早期CCSプロジェクト研究の成長の、重大な要素である。その例としては、ニュージーランドのProject Pouakai水素製造、オーストラリアのHydrogen Energy Supply Chainプロジェクト(パイロット工場が建設段階)、と英国で開発段階の大規模水素プロジェクトである、Hydrogen to Humber Saltendプロジェクト等がある。

3.0 CCSの動向2020年版

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

新しいCCS施設開発の例

過去一年間のCCSの世界的動きは多岐にわたっており、新しいCCS施設の数が増えているため、ここでは全てを挙げることはできない（総覧はCO₂RE CCS Facilityデータベースを参照）が、下記に、2020年における、CCSの幅広い分野での適用と、展開を示す例をいくつか挙げる。

- Drax BECCSプロジェクトは、英国で開始された。既存のDrax発電所は既にかかなりの改良が行われ、石炭火力発電所からバイオマス発電所に転換した。CCSを追加することにより、さらにCO₂フットプリントが削減されるだろう。Draxは4の発電部のうちの1つから4MtpaのCO₂の回収を目指している。貯留は北海油田で行われ2027年の開始が提案されている。このプロジェクトは、より大きいプログラムの一部であり、2030年代半ばまでに4のバイオエネルギー発電部門全体で、CCSを段階的に展開する予定である。
- Enchant Energyは、米国、ニューメキシコ州のSan Juan石炭火力発電所のために、CCSプロジェクトを開発している。年間最高6MtのCO₂が、燃焼後回収技術により回収され、Permian BasinのEORで利用される。
- オーストラリアでは、エネルギー企業であるSantosがMoombaガス工場の天然ガス処理から、CO₂を回収するためにCCSプロジェクトの、FEED検証を開始したことを発表した。このプロジェクトは毎年、近くの畑で17 MtのCO₂を回収し、地層貯留を行う。Santosは軽減にかかる費用が1トン当たり30豪ドル(22米ドル) 未満であると述べている⁵。
- Lafarge Holcimは、米国のコロラドにあるセメント工場で、CCSの実行可能性を模索している。このプロジェクトは、Svante, Oxy Low Carbon Venture and Totalをパートナーとして行われ、年間072 MtのCO₂を回収する。回収されたCO₂を、EORで利用することにより、4Qの税額控除を受け取り、今までで最大規模のSvanteの吸収材ベースの回収技術利用となるだろう。
- ZEROSプロジェクトでは、米国、テキサスで2つの革新的な酸素燃料WtE（廃棄物焼却）発電所の開発を行い、回収目標は年間15 MtのCO₂である。酸素燃焼回収は、確実に排ガス内のCO₂の濃度を高め、通常の廃棄物焼却施設よりも回収が経済的に実施することができる。
- Rivers Capitalが所有する、Duakaiプロジェクトは、ニュージーランドのタラナキ地域にある、水素、肥料および発電所を持つ工業団地である。天然ガスおよびCCS（約1Mt paCO₂）を原料として利用するため、ほぼネットゼロ排出となる。プロジェクトDuakaiは3つの統合プロセスを備えた、天然ガス処理施設を1つ利用する。
 1. NST Powerのアラムサイクル超臨界発電
 2. 8 Riverの8RH₂水素製造技術
 3. 定着した商用アンモニア合成および合成窒素肥料製造プロセス技術。

プロジェクトは実証段階にあり、5年後に操業予定である。

図6はホスト産業、および実際または予想されている操業開始年度ごとの操業段階、建設段階あるいは開発後期段階にある全ての商用施設を表示。

操業段階施設の重要な出来事

過去一年において、業界に大きな一歩をもたらした出来事の一部：

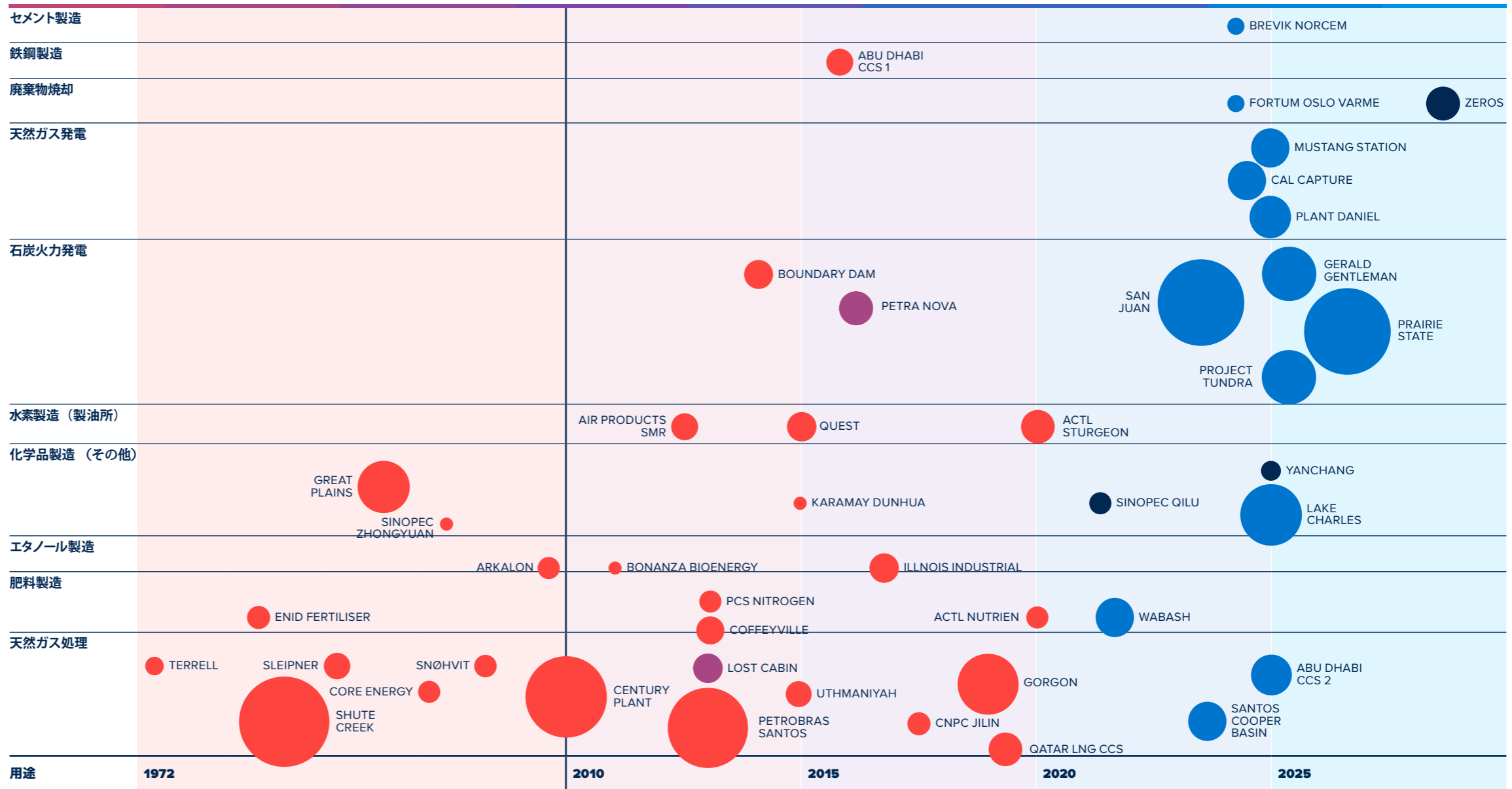
Alberta Carbon Trunk Line (ACTL)は2020年3月に操業開始した。回収容量がCO₂ 14.6 Mtである、カナダ産業のためのインフラ設備は、セントラル・アルバータのEOR貯留のためにCO₂を輸送する⁶。世界最大のCO₂輸送インフラ設備であり、未来に備えて開発された。その基盤となっているCO₂回収施設は、Sturgeon石油精製所とNutrien肥料工場である。この2つの商用CCS施設が年間16 MtのCO₂を供給し、アルバータの工場から将来さらに回収する能力も十分備えている。

西オーストラリアのパロー島にある、**Gorgon Carbon Dioxide Injection**施設は、2019年8月の操業開始以来CO₂を貯留している。Chevronは段階的にCO₂圧縮トレーンを操業開始し、CO₂圧入能力を高めている。CO₂ 1 Mt貯留達成と言う重要な出来事が今年2月に発表された⁷。Gorgonは世界最大の純粋地層貯留を行っており、最大容量は4MtpaCO₂ である。

Air Products Steam Methane Reformer施設は、テキサス、ポート・アーサーのValero Energy精錬所にある2台のスチーム-メタン改質炉からCO₂を回収している。1日当たり500トンのクリーン水素を製造している。2020年4月、米国のDOEは、この施設が6 Mt以上のCO₂を累積・回収貯留したことを発表した。

Quest CCS施設は、カナダのアルバータにあるScotford Upgraderの3台のスチーム-メタン改質炉からCO₂を回収している。1日当たり900トンのクリーン水素を製造している。2020年7月には、純粋地層貯留に5 MtのCO₂が安全かつ恒久的に貯留された。

Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS施設は膜を使って、海洋天然ガス処理からCO₂を回収し、EORのためにLula、SapinhoaおよびLapa油田に再圧入する。分離膜は、大きさ重量という利点があり、沖合で応用するために最適である。Petrobrasは、世界で膜技術を利用している最大のプロジェクトである。近年、このプロジェクトの容量は1年で3 Mtから 4.6 Mtに増加した⁸。



図は多様なオプションの中から、主な産業種別の施設を表示。

- 操業中
- 建設段階
- 開発後期段階

円の面積は施設の回収能力に比例。

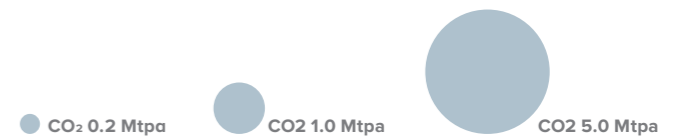


図6 操業段階、建設段階、開発後期段階の商用 CCS 施設の発電および産業用途ポートフォリオの大きさは、現在のCCSの容量に比例。^f

3.0 CCSの動向2020年版

3.1 世界のCCS施設の最新状況および傾向

ハブとクラスター：よりフレキシブルなCCSネットワークに向けて

多くの産業と同様に、CCSは規模の経済の恩恵を受ける。より大きい規模の圧縮、脱水、パイプラインと貯留はCO₂ 1トン当たりのコストを大幅に削減する。

早期開発段階のCCSでは、ポイントツーポイントモデルが採用され、大規模な貯留サイトから適切な距離内に単一の大規模なエミッター（発電所またはガス処理工場等）を設けることが理想だった。

ハブはCO₂流を施設のクラスターから集め、圧縮、脱水し、輸送する。この場合、規模の経済がかなり期待できる。特に圧縮工場の資本コスト（最高およそ50 MWの電力消費）とパイプライン（容量が最高およそ10~15 Mtpa）に見られる。複数の顧客およびCCSサービスのサプライヤーが存在し、この産業エコシステムはリスク削減にも役立つ。下記の図7は、2019~20年の操業段階あるいは実証段階のCCSハブとクラスターを示す。

ハブはまた、CO₂回収施設と貯留資源との間で適切なソースシンクマッチングを可能にする。排出源ごとに個別の圧縮工場を設けるよりは、流れの減少に対応できるため、よりフレキシブルな圧縮操作が可能である。

開発段階にある、最も高度なハブの一つがNorthern Lightsプロジェクトである（図8参照）。北海において、ノルウェーのCCSハブは、廃棄物焼却施設とセメント工場からの基礎排出源から始めて、CO₂の流れを集めている（回収容量は合わせてCO₂ 0.8 Mtpa）。Equinor、ShellとTotalが開発を行っている、このプロジェクトは、排出源である工場でCO₂を圧縮、液化し、その後専用のCO₂船舶で貯留サイトに輸送される。本プロジェクトは2024年操業開始を目指している。

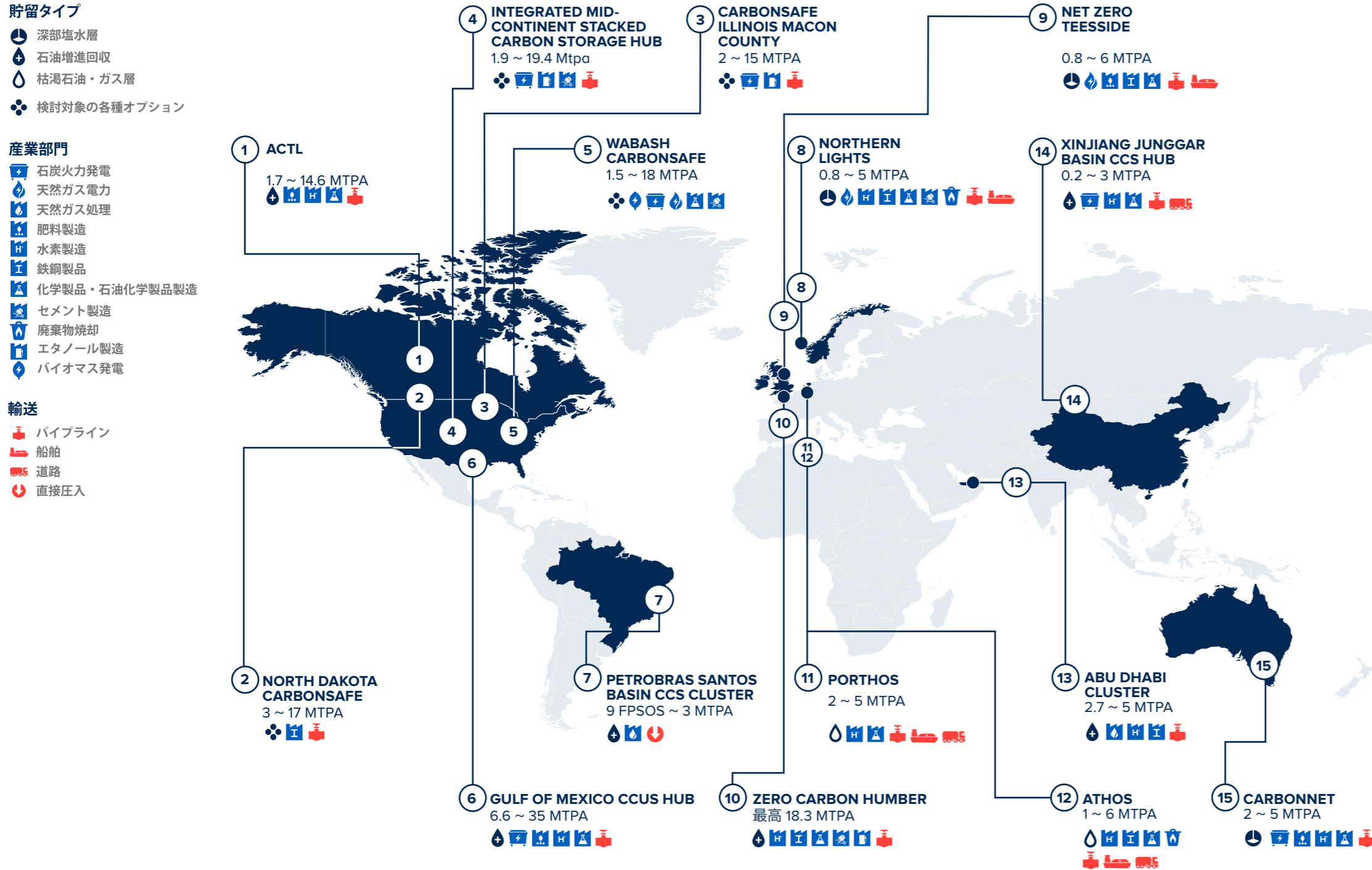


図7 操業段階または開発段階のハブとクラスター⁸

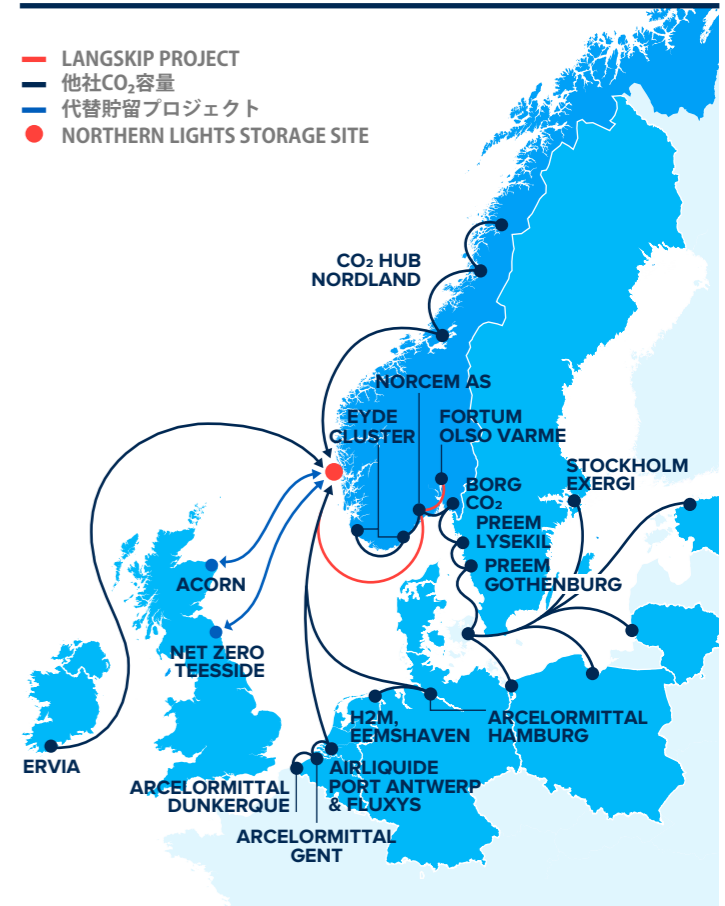


図8 NORTHERN LIGHTSプロジェクトCO₂の潜在的排出源⁹

COVID-19のインパクト

CCSの開発、展開は2020年には活性化したが、このセクターもCOVID-19がもたらした不況の影響を免れることはなかった。この伝染病は世界経済に深刻な影響を及ぼし、産業全体が生産を大幅に縮小した。これには世界の石油セクターも含まれ、需要と価格が驚異的に低下した。

米国、テキサス州のRebra Nova CCS施設は、2017年初めに操業開始してからNRG所有のW.A. Parish発電所からCO₂の回収に成功している。このビジネスモデルはEOR向けのCO₂利用に基づいているが、石油の価格減少により打撃を受け、2020年3月には回収作業は一時停止された。NRGは、経済状況が改善され次第再開すると述べている。

3.2 政策と規制

政策とプロジェクトの特性	炭素税	税控除 または排出 クレジット	助成金支援	政府 またはSOE が提供	規制上の要件	石油増進回収	低コスト回収	低コスト輸送 および貯留	垂直統合
米国									
TERRELL									
Enid Fertiliser									
Shute Creek									
Century Plant									
Air Products SMR									
Coffeyville									
Illinois Industrial									
Great Plains									
ZEROs Project*									
Arkalon									
Bonanza									
Core Energy									
Borger									
PCS Nitrogen									
カナダ									
Boundary Dam									
Quest									
ACTL Agrium									
ACTL Nutrien									
ブラジル									
Petrobras Santos									
ノルウェー									
Sleipner									
Snohvit									
アラブ首長国連邦									
Abu Dhabi CCS									
サウジアラビア									
Uthmaniyah									
中国									
CNPC JILIN									
Sinopec Qilu*									
Yanchang*									
Karamay Dunhua									
Sinopec Zhongyuan									
オーストラリア									
Gorgon									

*建設段階

図9 大規模施設を可能にした主要な政策とプロジェクトの特性

3.2.1 政策の最新情報

ネットゼロ排出を達成するために回収および貯留するCO₂量に関する予測範囲。地球温暖化に関する1.5°C特別報告書¹は9.0のシナリオを見直し、そのほとんど全てがCCSにより温暖化を1.5°Cまでに抑えることを要している。

- シナリオの90%が、世界のCO₂貯留が2050年までに年間3.6 Gt以上になることを必要とした
- 全てのシナリオにおいて、2050年に恒久的に貯留されたCO₂の平均質量は10 Gtであった

現在、CCSの設備容量は全世界でおよそ40 Mtである。ネットゼロ排出を達成するために、今日のCCSの設備容量を、2050年までに100倍以上増やす必要がある。そのため、CCSへの投資を急速に増やすためのインセンティブとなる、強力な政策が必要である。現在ある一連の商用CCS施設は、投資を促した様々な政策やプロジェクトの特性の組合せであることを示している(図9参照)。

大規模インフラ設備は資本が集中する。通常、CCSの設計・建設費用は数億または数十億米ドルである。会社組織は通常、民間セクターへの株式投資を支援するために直接交付される助成金により、政府から多額の資本注入があると投資する可能性が高い。国営企業もCCS施設に投資している。

世界の流動資金のほとんどが民間セクターに封じ込まれている中、銀行や機関投資家をCCSプロジェクトに投資するよう、惹きつけることが課題である。CCSにおけるほとんどのリスクは一般的なものであり、プロジェクトの進行中に軽減できるものであるが、民間セクターがリスクとしては大きすぎると認識するものもある。リスクはいくつかの市場における失敗から起きる。

- CO₂に対する価値が不十分なために生じる収入へのリスク**
一部のCCSプロジェクトで、EORへのCO₂の売り上げが発生しているが、大規模な展開のためには、より強力な気候変動政策が必要となる。多くの準拠地において、CCSにかかる費用は、現在の価値より大きいものである。パリ協定に沿って、排出量を効果的に削減するために必要なCO₂の価格は、2020年までに

40~80米ドル/t CO₂、そして2030年までには50~100米ドル/t CO₂と推定されている¹⁰。わずかに40米ドル/tのCO₂の商業的インセンティブにより、利用可能な多くの低コストオプションにCCSを展開することにより、450 Mt程度のCCSの実施が可能になる¹¹。

相互依存性またはクロスチェーンのリスク

CCS施設は1つの排出源、1つの吸収源そして1つのパイプラインが含まれることがある。このような集中性にかけるビジネスモデルは高くつき、相互依存性というリスクがある。例えば、工業原料であるCO₂がなくなると、パイプラインおよび貯留施設の事業者は、顧客もなくなり、収入もなくなる。

無制限の長期貯留責任のリスク

慎重に選ばれた、貯留施設から漏洩が生じることは非常に稀であるが、ゼロとは言えない。責任に制限がない場合、貯留施設のオペレーターは将来起こりうる漏洩の責任を負うことになる。特に、経験が限られている、CCSのような新興産業では、民間セクターの投資家が、このような無制限かつ恒久的な責任を受け入れることは困難である。

投資家は、このようなリスクを負うプロジェクトには、多額の資金を提供しない可能性が高い。投資した場合、資金が高くなる。ネットゼロを達成するためには、政府はリスクを低下・管理する政策枠組を実施し、最低価格で管理することができる組織に、割り当てる必要がある。表1は、考えられる政策対応の概要を示す。

政府が状況に最適な政策枠組を選択し、実行可能なビジネス・ケースがある限り、民間部門はCCSに投資する。全てのテクノロジーと同様に、CCSには学習曲線があり、プロジェクトの開発費用は、その展開数の増加に連れて、低下していく。開発費用が削減されると、より小規模の排出事業者が、投資に参加できるようになる。同時に、実践を通じた学習により、プロジェクトが増えるにつれ、リスクも軽減され、それにより、機関投資家を含む金融機関の投資も増えていくだろう。

障害	潜在的な政策対応例
CO₂排出に対する価値が不十分	CO ₂ 排出削減に価値を導入する。例えば、炭素税、税控除、排出権取引制度、CCSの義務化、排出ガス性能基準、あるいは政府調達基準等を通して行う。そうすることにより、回収施設への投資が可能になり、その恩恵の一部を輸送・貯留プロバイダーに渡すことができる。
CCSバリューチェーンの相互依存性	共通輸送貯留ネットワークの開発を可能にするため、資本支援を提供し、規模の経済が単価を削減し、多様な排出源が資産が座礁するリスクを削減することができる。統合ハブ・クラスターに焦点を当てる。当初、政府は輸送・貯留インフラ設備を所有する場合がある。ネットワークに接続する排出者が増加するほど、相互依存性のリスクが削減される。その時点で、政府はインフラ設備を民間セクターに売却し、利益をあげることができる。
長期責任	法規制の枠組は、民間投資家を長期貯留責任に直面するリスクを制約する必要がある。それは操業停止後、特定の期間が過ぎてから、政府に責任を移すことで実現できる。各準拠地において、サイトが閉鎖されてから事業者がモニターを継続する必要がある最短期間を指定できる。他の管理方法は、リスクに上限を設け、民間セクターの事業者はある上限未満のリスクには責任をとり、政府がその上限を超えた全ての追加リスクの責任をとる、というものである。上限の価値は、貯留業務の公共およびプライベートエクイティのバランス機能を利用し、プライベートエクイティが多い場合、上限もより高くなる。

表1 削減が困難なリスクに対処する政策対応¹¹

ゾーイ・ナイト

HSBC
持続可能な金融センター



発電および産業における既存および計画中のインフラ設備のストックは、大規模な脱炭素化のためのソリューションがない場合、地球温暖化を1.5°Cに制限するための炭素排出許容量の95%を消費するはずである¹⁵。IEAの予測では、パリ協定の目標に向けてCCUSを展開するには、9.7兆米ドルほどの投資が必要になると見ている¹⁶。

特に重工業は、エネルギー利用を脱炭素化し、作業に関連する排出ガスを回収するステップをとっている。CCSとCCSを促進する政策が一体となって、これらのセクターに必要な具体的な削減を可能にする、柔軟性のある技術となる。CCSは資金の流れとネットゼロ目標を一致させるだけでなく、IPCCのような国際気候機関は、低炭素への移行はCCSなしでは達成できないと考えている。今こそ、革新性を発揮し、産業、金融分野等で持続可能な解決策を推進する時であり、CCSはその努力のために役立つだろう。

今こそ、革新性を発揮し、
産業、金融分野等で持続
可能な解決策を推進する
時であり、CCSはその努力
のために役立つだろう

3.2.2 国際的な気候政策

パンデミックの影響により、国際的な気候政策プロセスに遅れが生じたが、その対応として出された大規模な経済回復パッケージのおかげで、気候変動が投資を決定する際に重要な要素となった。CCSを含めて、気候変動に対して行動を取るための資金を増やす、ユニークなチャンスがある。

気候変動枠組条約(UNFCCC)の次の締約国会議(COP26)は一年延期となり、2021年11月に行われる予定である。COP26が焦点を当てる内容:

1. グローバルな気候目標を掲げる
2. パリ協定のルールブック (国家間の協力に関する第6条の実行に関する規則) の最終決定
3. パリ協定の実現

正式には2020年中が期限である、自国が決定する貢献(NDC)の見直しは、各国が気候変動に対処するための取組みをより重視し、世界的な進捗を示すことが期待される。第6条には、目標を抑える効果と交渉についても示されているが、世界はパリ協定の目標を達成するために、実装モードに切り替わっている。

CCS技術は、パリ協定において、排出ガスを削減すると共にCO₂の除去を行うという二つの役目を果たす¹²。第6条は、国々が協力して目標を達成することを可能とし、これには、CCSプロジェクトで実現することができる、国際炭素市場を利用して排出量削減およびCO₂除去の取引をすることの両方が含まれる。COP26で、第6条の実施のための規則が最終決定され、この共同作業がより明確になり、選択肢が分かるようになる。英国が、計画されているCCSプロジェクトに対して、強いリーダーシップを示しているため、英国がCOP26の会長になった場合、その役割が強調されることだろう。

今までのところ、11ヶ国(バーレーン、中国、エジプト、イラン、イラク、マラウイ、モンゴル、ノルウェー、サウジ・アラビア、南アフリカ、アラブ首長国連邦)がNDCにCCSを盛り込んでいる。現在のNDCの時間枠が比較的短い(2030年、あるいは2025年の可能性さえある)、まもなく、より多くの国々が次の更新時にCCSを強調する可能性が増し、2035年以降を目標とすることだろう。

UNFCCCにおける、長期低排出発展戦略(LEDS)では、2050年以降に向けて、CCSの役割の認識が高まることが明らかである。2020年11月の時点において、CCSは提出された19の戦略のうち15に含まれている(欧州連合、カナダ、チェコ、フィンランド、フランス、ドイツ、日本、メキシコ、ポルトガル、南アフリカ、シンガポール、スロバキア、ウクライナ、英国、米国)。LEDSはBECCSおよびDACCS等、ネガティブ・エミッションに向けた解決策に対して、CCSを参照することが増えている。いったんネットゼロが実現されると、国々はネガティブ・エミッションを実現する必要があるため、CO₂削減技術の重要性は増加していく。

IPCCの科学的研究である、第6次評価報告書(AR6)もCOVID-19の流行に影響を受けた。インスティテュートは、気候変動の削減をカバーする、作業部会III報告書の専門家によるレビュープロセスに参加している。この報告書には、世界的なCO₂削減におけるCCS技術の役割に関する最新情報が含まれ、COP26後に承認される。

ネットゼロを実現するという現実が既知のものになるにつれ、BECCSおよびDACCS等のCO₂除去技術に対する興味が大幅に高まった。しかしGHG排出量を削減し、残留排出物で相殺することの将来性は、世界中に広まっていない。そのため、国々は協力して、排出を相殺する必要がある、パリ協定の第6条の枠組は今後数十年間、この協力体制を促進することができる。

3.2.3 法律と規制の最新情報

昨年、わずかな数の国々のみがCCS固有の法律を開発または規制枠組を改善した。それに関わらず、国際レベルおよび国内レベルで重要な進展があり、長い間存在している、国境を超えた移動への法的および規制上の障害物に対処することになる。

ロンドン協定のもとで可能になったCO₂の国境を超えた移動

CO₂の海底下地層貯留を可能にした、2006年のロンドン協定への修正は、国際社会が気候変動を緩和するためのCCSの潜在的役割を認識した重要なステップであった。しかしながら、それで全ての障害がなくなったわけではない。CO₂を貯留のために輸出しよう、あるいは自国内で貯留プロジェクトを行おうとする者にとって、それは不可能であった。

2009年10月、貯留のためにCO₂を国境を超えて移動することを可能にする、ロンドン議定書への修正案が出されたが、批准されるには十分な支持を得られなかった。2019年10月まで行き詰まりになった。

2019年10月の協定締約国会合において、この問題は再度オランダとノルウェーの政府が共同で決議案を提出した。この提案のもとでは、締約国は2009年度修正の「暫定的適用」を許可し、「国際的取組に対する違反となることなく、地層貯留のためにCO₂を国境間で移動することを許可する」ことになり、正式な同意が得られた。

CO₂を輸出する、あるいは貯留のために受け取りたい国々は、暫定的申請宣言を提供し、国際海事機関(IMO)に協定あるいは取り決めを通知することにより、それが可能になる。実質的に、締約国は2009年度修正案が有効になる前に、その規定を実行することになる。

オーストラリアのプロジェクトへの障害を取り除く

オーストラリア連邦およびビクトリア州政府は、世界でも初めて、いくつかのCCS固有の法律を開発している。連邦および州のオフショア法、そしてそれに伴う規制は、既存の石油制度を修正し、CCS固有のモデルを導入し、パイプラインの輸送、圧入および貯留活動を連邦およびビクトリア州の海洋内で規制した。

貯留施設案が、この規制モデルにおいて、州の海域と連邦の海域の境界線に跨っているという、注目すべき課題がビクトリア州CarbonNetプロジェクトにより確認された。この問題の解決は、許可されている活動を進めるために本プロジェクトにとって重要であり、特に「Pelican」貯留サイトにとって重要であった。

この問題は現在、連邦法が通過したことにより対処され、連邦と州/特別州に跨る場合、単一のGHGの権利を許可、管理することが可能となる。新しい規定により、権利の対象となる区域は、新しい権利が許可される場合等、連邦政府のオフショア制度を適用する場合は連邦の海域となる。オーストラリアではこの改正版が適用されるが、この修正内容はCarbonNetプロジェクトに特別の恩恵があり、プロジェクトの進捗に役立つことは間違いない。

米国の税制上の優遇措置のガイダンス公開

今年の5月に国税庁(IRS)に発表された財務省の規定案は、45Q税規制のもとでCO₂を回収貯留している納税者が控除を申請する方法について、情報や必要な説明事項を提供している。これはIRSによる2月に行われた、通達2020-12と手続通達2020-12に続くものであり、インスティテュートの「The US Section 45Q Tax Credit for Carbon Oxide Sequestration: An Update」文献でカバーされている¹³。インスティテュートからの最新情報は、回収設備の「建設開始」の定義について、そしてパートナーシップ構造と関連する手続通達に関するガイダンスについて重要な詳細を提供した。

ガイダンスと規制案は多くの技術的詳細が述べられているが、主要なポイントは次の通りである。

- 誰が45Q税控除を申請できるか
- 地層貯留を確保するための要件
- CO₂の利用
- クレジットの再回収

規制案は投資家とプロジェクト開発者が指摘した、残りの問題の多くに対処した。公開後適用されることが意図されているが、納税者が一貫性を持って規制全体を適用した場合、「2018年2月9日以降の納税年度」に適用、利用することができる¹⁴。

本報告書のセクション4.1に詳細概要がある。

今すぐ行動を

これまでのプロジェクトの経験から、CCS事業の法制度において、現実性と現実性の双方が重要だと判明した。先述の通り、CCS固有の法枠組みが開発された準拠地においてさえ、個別の法律上の問題への対処が遅れたため、CCSの展開にかなりの不確実性と障害をもたらした。

各国で気候変動への取り組みが行われ、ネットゼロ政策がCCSの適用を求め中、法規制は多くの国々で整備が必要であり、一部では開発する必要がある。政府が取組みを宣言した場合、規制当局とプロジェクト事業者の双方のニーズを満たすため、法規制にかかる作業を進める必要がある。

CCS固有の法律を開発することは、見直し作業や協議を要する、多くの政府にとって、時間と資源がかかるものである。法律上と規制上の対応をまだ考慮することなく、政策により技術を高めようとする国では、その作業を始めることを急ぐ必要がある。

3.3 世界のCO2貯留状況の概要

CO₂の地層貯留は、石油、ガス（自然発生するCO₂を含む）およびその他の炭化水素を地下に何百万年もの間閉じ込めてきた力とプロセスと同じものを利用する

最後に、CCSにとって最も重要なステップは、多孔質岩石層にCO₂を恒久的に貯留することである。CO₂の地層貯留は、石油、ガス（自然に発生するCO₂を含む）およびその他の炭化水素を地下に何百万年もの間閉じ込めてきた力とプロセスと同じものを利用する。多孔性および浸透性が適切かつ、十分な大きさで深さの地層（800m以上）は、他の不浸透性の岩層がCO₂の漏れを防ぐことができる限り、潜在的な貯留サイトとなる。

石油およびガス田

多くのCCSプロジェクトでCO₂を石油とガス田に貯留する理由は、そこで何百万年の間CO₂（およびその他の液体）を収容する能力を示してきただけでなく、石油とガス産業が百年の間探索してきたため、多くの知識があるからである。構造は通常、地震データそして地球物理学データと坑井から採集したコアの分析からその特徴を求め、探査のおかげで、潜在的に最適なCO₂貯留サイトの所在地にある、岩層の物理的構造を予測でき、その貯留層における液体の通過性について洞察を与えた。この知識はかなりの確実性があり、その理由は以下の通りである。

- ・ 石油またはガスの生産率は、同じ構造において圧入できるCO₂のレートを示す、優れた指標である。
- ・ 生産された石油またはガスの総量は、その構造に貯留できるCO₂の量を予測するための推定値となる。

CO₂の世界的地層貯留容量は、CCSが任意のシナリオにおいて、排出量ゼロを達成する役割を完全に果たすために必要なものより何倍も大きい。図10は主要な石油およびガス田の貯留資源の概要を示す。これは最新の国家および国際報告書に基づいており、所定の石油またはガスの量、あるいは既に生産された量（これにより貯留のための空間ができる）そしてCO₂と石油とガスとの間の密度の差を考慮したものである。

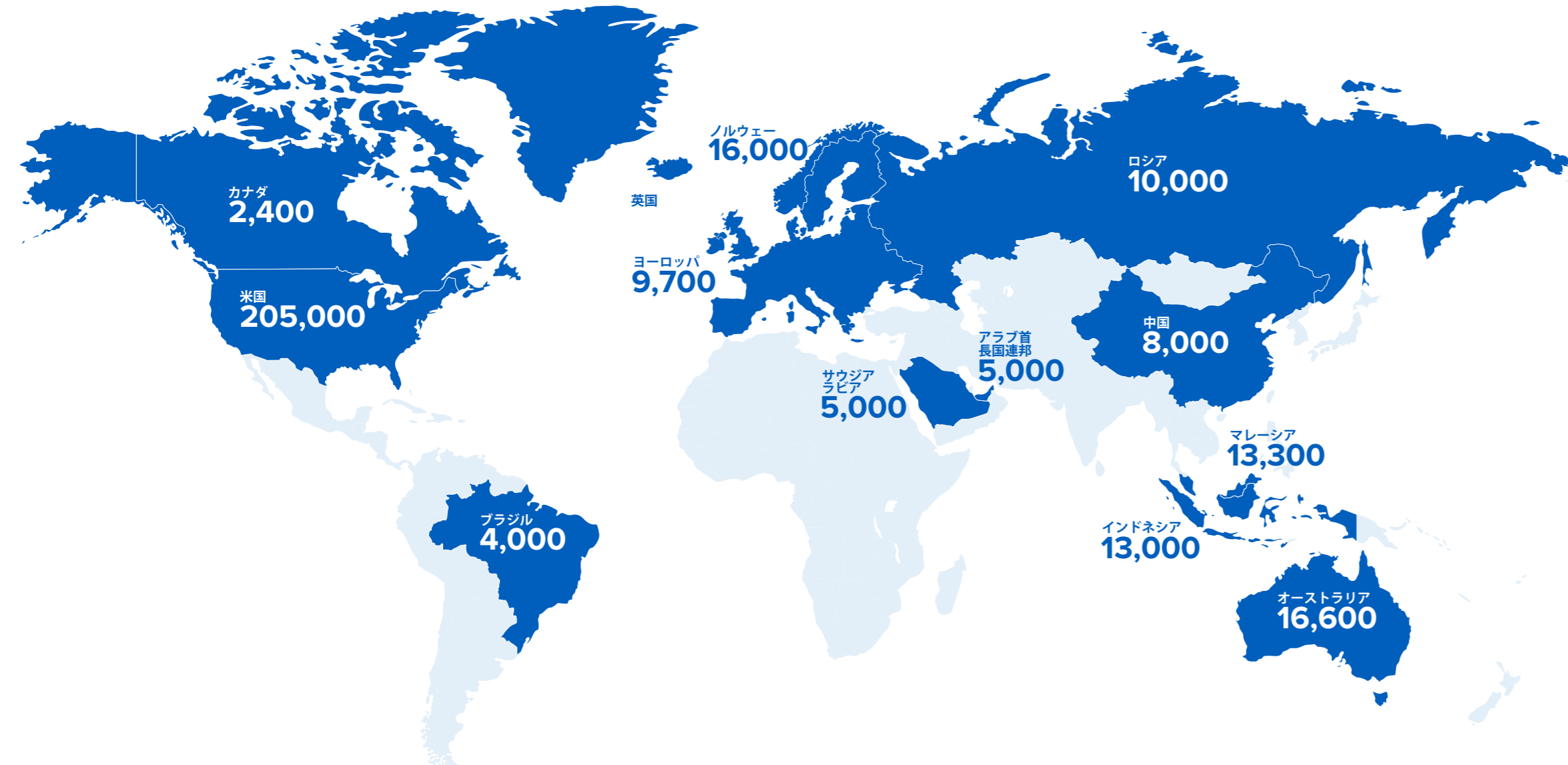
塩水層

石油およびガス田がCO₂貯留要件を満足するとしても、地理的所在地は比較的限られている。CO₂源と一番近い石油またはガス田が離れているため、輸送費がかさむ例がかなりある。炭化水素の代わりに低品質の水が含まれる、石油またはガス田に類似した岩石層の方が多くある。この塩水層はたくさんあり、石油やガス田にある数千億トンの容量に比べて、容量が何兆トンという広大なCO₂貯留資源である。詳細は米国のエネルギー省によるレビュー（USA's 2015 Storage Atlas¹⁷とCrown Estate in the United Kingdom (UK CO₂ Stored)¹⁸を参照。

残念ながら、塩水層は経済価値がないため、その貯留能力の研究には投資がほとんど行われていない。これは、社会の利益になる活動への投資が不十分になる原因となった、外部性のCO₂市場の障害例の一つである。政府が塩水層をガスと油田層同様に評価するプログラムを緊急に確立する必要がある。理想的には、商業的にCCS投資決定を支援するためのデータを十分備えた、全てのCO₂貯留資源を一覧表示、説明する国家的ポートフォリオが望ましい。

純粋貯留におけるCO₂地層貯留資源は、この図に示されている、石油やガス田のリソースより何百倍も大きい。

図10 主要な石油およびガス田のCO₂貯留資源（百万トン）^k



CO₂貯留の商業化

ノルウェーのNorthern LightsプロジェクトおよびオーストラリアのCarbonNetプロジェクトは、CO₂貯留資源の商業化の2つの優れた例である。両者とも将来受益者負担のCO₂輸送・貯留ビジネスのために地層貯留資源を特定し、評価を行う。

世界石油工学技術者協会(SPE)により、地層貯留資源のための商業的分類システムが開発された。SPE貯留資源管理システム(SRMS)は、石油およびガス埋蔵量を分類するために広く利用されている。SPE石油源管理システム(PRMS)に基づいている。SRMSは貯留資源評価の成熟度と不確実性あるいは確実性のレベルを説明するために、標準化された定義を示している。PRMSが石油またはガス資源に果たす役割と同様に、商業的CCS投資に関する決定を支援する。

世界的CO₂貯留資源カタログ

石油・ガス気候変動イニシアチブ(OGCI)は世界初のSRMSの適用である、世界的CO₂貯留資源カタログに出資している。そのカタログは、Pale Blue Dot Energyとインスティテュートにより開発され、

公開されているデータと研究を利用している。今までのところPale Blue Dot Energyは13ヶ国において、80の盆地で500のサイトを評価した。5年以内に、世界の全ての主要な盆地が評価される。12兆を超える潜在的CO₂貯留資源 (SRMSでは未発見 (Undiscovered) という言葉が使われている) が確認されている。そのうち、4000億トンの貯留資源が発見済み資源として分類するに十分なデータの回収と分析を行い、全国プログラムが緊急に必要なことがここでも繰り返し述べられている。

今日までの分析によると、世界的貯留資源の98%が塩水層であるという、一般的見解を支持する。すなわち、図10に示されている数値を加えると、潜在的世界貯留容量のおよそ2%に過ぎないかもしれない。

貯留容量は制約ではない

CO₂のための地層貯留資源は、任意のネットゼロシナリオにおいて、世界的要件を満たすに十分である。しかしながら、政策設定は投資のための民間のビジネス・ケースを支援しない。戦略的貯留資源評価プログラムを、政府が出資することが重要である。

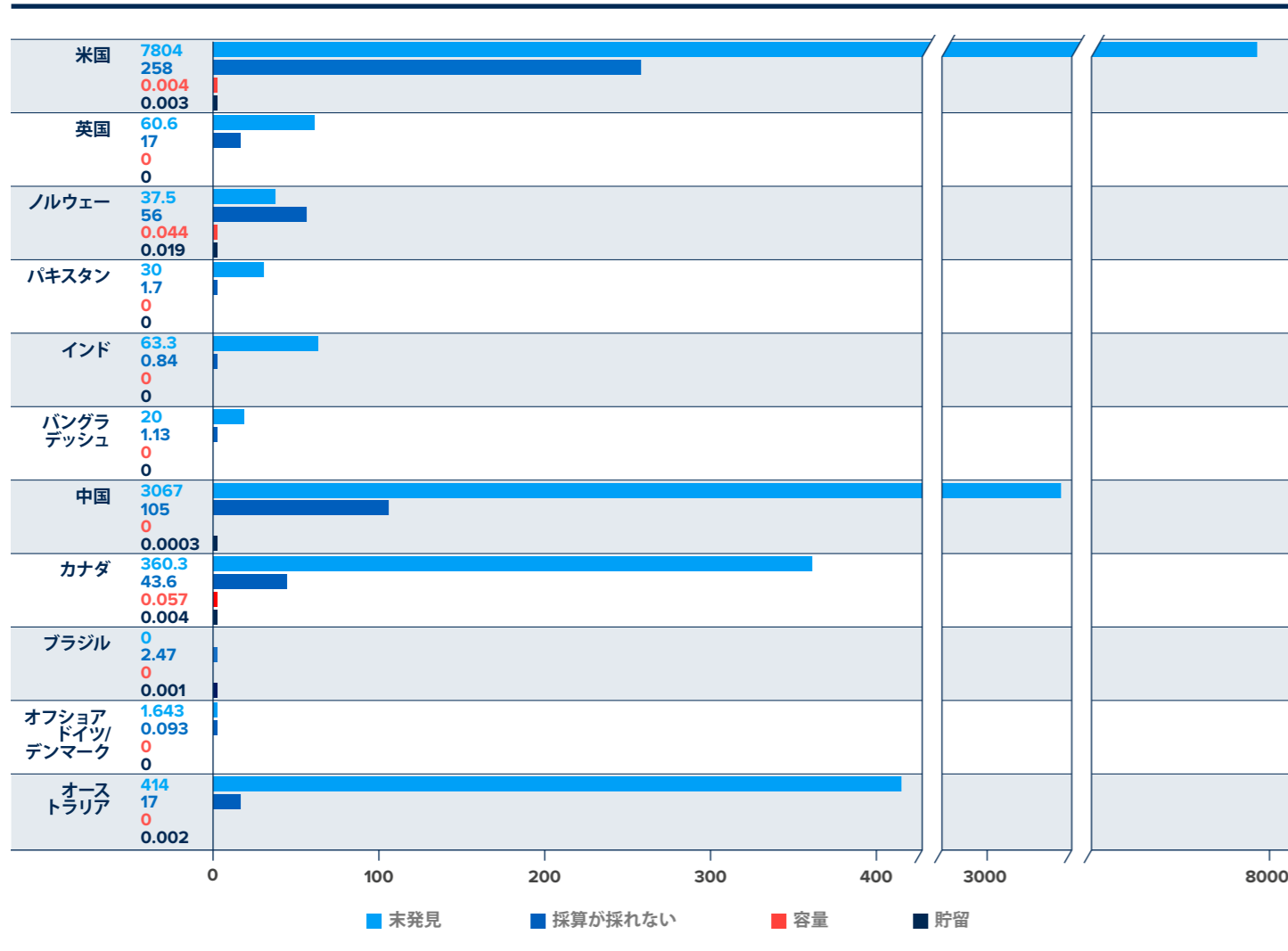


図 11 世界の貯留資源評価 (GtCO₂)^m

ナイアル・マクダウウェル
教授

インベリアル・カレッジ



2020年も終わりに近づき、行動への変化が人間によるCO₂排出をどの程度削減することができるのかという誘発された実証も終わりに近づいている。私は、もちろん、COVID-19流行のインパクトについて述べている。2020年初め、産業活動および航空移動に関連するCO₂排出が激減した。しかしながら、この削減は重要であるとはいえ、気候変動を実質的に軽減するためには程遠いものであった。自分にとって、結論は明確である。行動の変化のみでは不十分である。世界経済を脱炭素化するには、技術的介入が必要である。パンデミックにより、もたらされた経済的ダメージから「回復する」という、明確な使命があるが、その経済的回復は環境に優しいものでなければならない。

また環境に優しい移行方法は、概念として、そして事実上、段階的に回復を行うことを要する。この背景において、高品質の仕事を作り出し、地域社会を保全することは非常に重要であるが、オートメーションを採用することによる中断が生じる可能性に注意する必要がある。最後に、誰もに都合の良い移行方法はないということを認識する必要がある。様々な国々そして地域はそれぞれの長所があり、目標を達成するには、それを考慮する必要がある。この背景において、CCSは熱、電力、移動そして産業サービスの提供において脱炭素化し、同時にあらゆる経済レベルで職業を作り出し、保全するために重要かつ独特な役割がある。

CCSは熱、電力、移動そして産業サービスの提供において脱炭素化し、同時にあらゆる経済レベルで職業を作り出し、保全するために重要かつ独特な役割がある

ファティー・ビロル博士

エグゼクティブ・ディレクター
国際エネルギー機関



...IEAは、排出量ゼロを達成するには、CCUSなしでは実質的に不可能であると述べている

COVID-19がもたらした重大な被害にもかかわらず、私はクリーン・エネルギーの未来が手に届くところであると日増しに楽観的になっている。これは、より多くの政府や会社がCCUS等のクリーン・エネルギー技術をサポートしているからである。2020年だけでも、ノルウェーで今までの最大の気候変動への投資である、Longshipプロジェクト等、40億ドルがCCUSにコミットされている。

IEAは、排出量ゼロを達成するには、CCUSなしでは実質的に不可能であると述べている中、これは良報である。その貢献は、世界のエネルギーシステム全体にわたり、4つの戦略的役割がある：(i)非常に規模が大きく、比較的年数が経っていない一連のエネルギー資産からの排出量に対処する、(ii)重工業からの削減が最も難しい排出を削減する、(iii)低炭素水素の規模を大きくする、(iv)大気から炭素を除去し、回避あるいは除去することができない排出量を均等にする。

世界的協力を高め、近年の勢いに構築し、CCUSをクリーンエネルギー成功物語にする必要がある。IEAはこの努力のために役割を果たすことに取り組んでいる。



地域の概要

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性
- 3.0 世界のCCSの動向2020年版
 - 3.1 世界のCCS施設の最新情報および傾向
 - 3.2 政策と規制
 - 3.3 世界のCO2貯留状況の概要
- 4.0 地域の概要**
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門におけるCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表
- 7.0 参考文献

4.0 地域別の概要

4.1 南北アメリカ

4.1 南北アメリカ

南北アメリカのCCS施設

2020年にグローバルCCS インスティテュートはCCS施設のデータベースに南北アメリカの12の新しい商用プロジェクトを追加した。

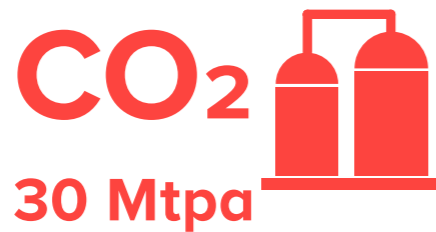


現在この地域には、操業段階あるいは開発段階の38の商用施設がある。これは世界の総プロジェクト数の約半分を示す。

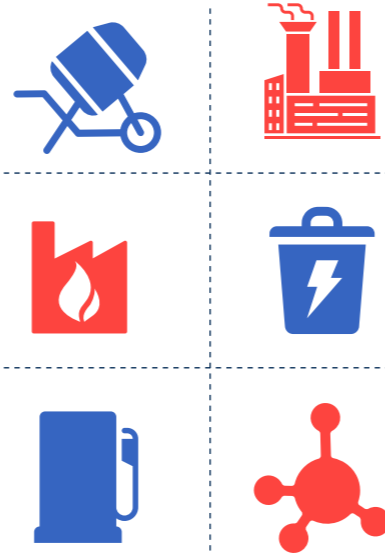


CO₂回収

この地域の操業段階の商用CCS施設は、年間3,000万トンを超える回収容量を誇る。

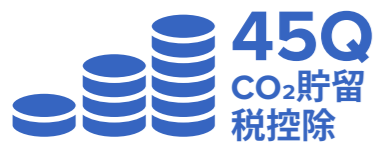


CCSの柔軟性は、2020年に米国で次の分野でプロジェクトが発表されたときに明らかになった：セメント製造、石炭火力発電所、ガス火力発電所廃棄物発電施設、エタノール施設、化学品の製造



主要な米国の政策

新しいプロジェクトの多くは45Q税控除とカリフォルニア低炭素燃料基準(LCFS)に誘因されている



2020年は、CCSがエネルギーと気候政策のディスカッションの本流に加わり、民主党と共和党の両者から支援を受けた。

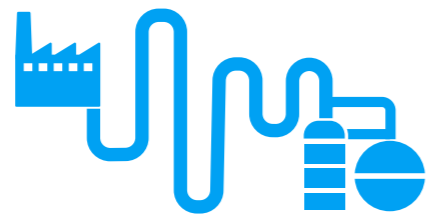


開発段階のプロジェクトのリストが増えている理由の一つは米国のエネルギー省が2020年に、2.7億ドルの共同出資をコミットあるいは与えたことがある。



操業段階における重要な出来事

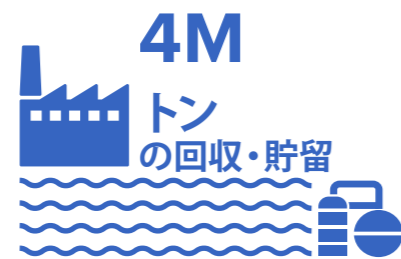
2020年には南北アメリカ全体で、複数の重大なCCSのマイルストーンが達成された。



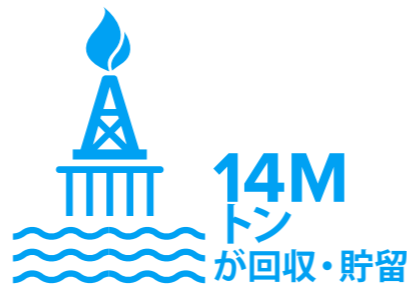
カナダのAlberta Carbon Trunk Line (ACTL)が操業開始した。



Shell Quest施設は500万トン以上のCO₂を5年間で回収・貯留した。



サスカチュワンのBoundary Dam 3 CCS施設は400万トン以上のCO₂を回収貯留した。



ブラジルのオフショアでは、Petrobras Santos Basin CCS施設は1,400万トン以上のCO₂を回収貯留した。

2020年には、CCSの勢いが南北アメリカに広まった。政府と事業の双方から、CCSと気候変動活動に対する広範なコミットメントが持続的になり、これはパンデミックからの経済的インパクトと石油価格の激しい低下にも関わらず、起きている。このコミットメントは、開発段階のCCSプロジェクトの数が増えていることだけでなく、様々な企業による、ネットゼロ排出等、大規模なCO₂排出量削減目標の発表にも反映されている。

CCS施設

カナダのAlberta Carbon Trunk Line (ACTL)の操業開始は、多くのプロジェクトの中で、大きいマイルストーンであった。公共・民間パートナーシップの模範例として、このプロジェクトは未来の低炭素産業開発を先取りした見解を提供する(事例参照)。

CCSは、セメント製造、石炭火力発電所、ガス火力発電所、廃棄物発電施設、エタノール施設、化学品製造など様々なセクターにおいてプロジェクトが発表されている。2020年において、米国だけでも、45Q税控除と低炭素燃料基準(LCFS)によりかなりの刺激を受けた、12の新しい、開発段階中の施設がインスティテュートのプロジェクトデータベースに追加された。現在、38の開発段階、建設段階または操業段階の商用施設があり、これは世界総数の半分を超えている(開発段階中のものの概要については、下記の表参照)。

石油価格の変動、そしてこのリスクを緩和する必要性への懸念により、より多くのプロジェクトが、塩水層における純粋地層貯留および石油増進回収(EOR)の両者を使用する、スタック貯留またはデュアル貯留オプション等を利用するようになった。CO₂排出量削減に金銭的価値を置くことにより、45Q税控除とLCFSがこの傾向を可能にした。

開発段階のプロジェクトのリストが増えている原因の一つは、米国のエネルギー省からの支援である¹⁹。2020年会計年度において、議会はCCUSのために2178億ドルを当てた。この助成金および前年度の助成金を利用することにより、米国のエネルギー省は、27億ドル以上の共同出資協定を次の分野で締結したEEDの研究、CO₂を産業と天然ガス資源から回収するための技術、DAC、CCUS。

事例：ALBERTA CARBON TRUNK LINE (ACTL)が操業開始

アルバータにおける低炭素経済の基幹インフラ設備として10年以上前より始まったACTLは、2020年6月に全稼働した。本システムはNorth West Redwater Sturgeon精製所とNutrien Redwater肥料施設からCO₂排出を回収する。CO₂は圧縮され、240キロ離れた、南アルバータにある石油・ガス貯留地へと送られ、EORとして利用後恒久的に貯留される。

パイプラインは年間最高14.6 MtのCO₂を輸送でき、これは現在回収されている年間1.6 Mtを超えている。より多くのCO₂排出源を結びつける能力がある。

プロジェクトの総建設費用はおよそ9億カナダドルであり、アルバータ州から4.95億カナダドルを受け取り、カナダ政府より、6,300万カナダドルを受け取った。助成金に加えて、プロジェクトを商業的に有効にするための財政的インセンティブとして、課税額を減らすための排出クレジットとEORからの収入等がある。



Sturgeon Refinery Aerial. 写真提供：Alberta Carbon Trunk Line

施設	資源産業	貯留	資金原動力
Wabash	肥料製造	地層	45Q, LCFS
Lake Charles Methanol	メタノール製造	EOR、地層	EOR, 45Q
Dry Fork	発電(石炭)	EOR、地層	EOR, 45Q
Tundra	発電(石炭)	EOR、地層	EOR, 45Q
San Juan Generating	発電(石炭)	EOR、地層	EOR, 45Q
Gerald Gentleman	発電(石炭)	評価段階	45Q
Cal Capture	発電(天然ガス)	EOR	EOR, 45Q, LCFS
Velocys Bayou Fuels	発電(バイオマス)	地層	45Q, LCFS
Clean Energy Systems	発電(バイオマス)	評価段階	45Q, LCFS
Illinois Clean Fuels	発電(廃棄物エネルギー)	地層	45Q, LCFS
ZEROS	発電(廃棄物エネルギー)	EOR	45Q
CarbonSafe Illinois Storage Hub	複数	EOR地層	EOR, 45Q
Mid-Continent Storage Hub	複数	EOR、地層	EOR, 45Q
ECO2S Storage Hub	複数	地層	45Q

表2 米国で開発段階のCCS施設と貯留ハブ

4.0 地域別の概要

4.1 南北アメリカ

2020年には複数の重要な操業段階のマイルストーンが達成された。

- Shell Quest施設はカナダ、アルバータ州所在のScotford精製所にある水素製造ユニットからCO₂回収し、最初の5年間で5百万トンを超えるCO₂を貯留した
- カナダのサスカチュワンのBoundary Dam 第3ユニットでは、3.6百万以上のCO₂を回収・貯留した
- ブラジルのオフショアの、Retrobas Santos Basin CCS施設は1400万トン以上のCO₂を操業開始以来貯留している

この地域では、CCS施設に対していくつかの挫折もあった。

- 2018年後半、米国のワイオミングのLost Cabin Gas Plantで火災が起こり、工場のCCS施設が一時的に閉鎖された。2020年末までには復活し、CCSユニットは再び一年でおよそ70万tのレートでCO₂を回収貯留することになる。
- テキサス、ヒューストンの近くのW.A. Parish発電所のユニット8のCCS施設である、Petra Novaは、2017年に操業開始し、予定通りかつ予算未滿で操業開始、高い評価を得ている。本施設は2020年に再度注目されたが、これはあまりポジティブではない理由のためである。世界的なコロナ禍のために全世界が経済停止になり、同時に石油価格を史上最低価格にらしめた価格戦争が起きたため、2020年初めに操業一時停止となった。Petra Novaの経営者であるNRGは、経済が向上したらCO₂の回収が再開される見込みである。

DACとCO₂利用がCCSに関する話題の中で勢いをつけている。この二つのアプローチが気候変動の解決策のために重要な部分であるとの認識が高まるにつれ、投資と政策支援の関心が高まっている。カナダをベースにしたCOSIAと米国をベースにしたNRGがスポンサーであるCarbon XPRIZEは、画期的な循環型炭素技術を2020年末までに開発するという4年間の課題に終わりを告げ、2021年早々に優勝者を発表する予定である。

米国における政策措置

2020年は、CCSがエネルギーと気候政策のディスカッションの本流に加わった年度であり、民主党と共和党の両者から支援を受けた。支援者：

- 超党派上院気候集会
- 下院で民主党により草案が出されたSelect Report on Climate Changeにおいて、CCSが主要技術として加えられた²⁰
- 45Qを拡大するための多くの法案に対して超党派支援

CCSは多くの州でも採用されている。カリフォルニア等の影響力のある州が、発電所を脱炭素する作業を速めることを約束し、CCSは安定した、信頼性のある送電網にとって重要なコンポーネントになるだろう。複数の州がネットゼロを実現するために取り組み、最近ではアメリカでCO₂排出量第5位で、大規模な産業ベースのルイジアナ州がコミットした。ネットゼロ計画は大規模なCCSを必要とする。

45Q税控除

長くかかった45Q税控除規制が8月に最終的に成立した。クレジットを確立するための法律（塩水層に貯留された1トン当たりのCO₂には50米ドル、EORに貯留された1トン当たりのCO₂には35米ドル）は2018年2月に通過したが、詳細が定まるまで

国税庁(IRS)は予想よりかなりの時間がかかった。最終的なガイドダンスは、多くのCCSデベロッパーが暫定段階を乗り越えるために必要な明確さと保証を提供する。

IRSの出した結果は全体的に満足するものであるが、CCS事業者は変更を求めている。最も早急に求められているものは、最終規制の遅れのために建設期限を延期することである。COVID-19の経済、有望なデベロッパーと投資家に対するインパクトにより、タックス・エクイティ市場の規模が縮小し、税控除ではなく、直接支払の選択肢も優先項目である。



Shell Quest CCS施設においてアルバータ州首相ジェイソン・ケニーが2020年7月に500万トンの排出ガスが安全に回収・貯留されたことを確認。写真提供：アルバータ政府、クリス・シュワルツ

その他の米国の政策進展

経済回復

国会で通過、あるいは検討されている様々な経済回復パッケージにはCCSに対する資金を含めるよう提案されている。今日まで、直接出資は承認されていない。

カリフォルニア低炭素燃料基準(LCFS)

LCFSはCCS展開に対して、引き続き重大なインセンティブである。一年の最初の8ヶ月間、LCFSのカーボンをクレジットは1トン当たりおよそ200米ドルで取引された。資格要件は厳しいが、多くの新しいプロジェクトが発表され、そこにはLCFSクレジットが含まれている²¹。

州主要責任項目

ワイオミング州はノース・ダコタ州と同様に、アメリカ環境保護庁(EPA)により、純粋地層貯留のためにCO₂の圧入を規制する主要責任(「プライマシー」)を承認された。主要責任を託されるということは、その州がコンプライアンスを確実にするために、堅牢なシステムがあることを反映している。そして、より合理的な規制承認手順が可能になる。堅固なCO₂圧入システムを持ち、CO₂貯留のために長期責任の枠組みがあるルイジアナ州も、プライマシーの申請を行った。

モニター、報告と検証(MRV)

4月に国税庁の監察官は、旧45Q規制のもとで請求されたおよそ9億米ドルの税控除が、該当するMRV要件を満足しなかったことを報告した。このためにCCSの支援者と懐疑派の両者から懸念が示され、より厳格な基準を備えた、新しい45Q規制が求められ、これが採用された。

カナダにおける政策措置

連邦

カナダの主要な気候変動政策は、Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change(「クリーン成長と気候変動に関する全カナダ枠組」)である。その主要な目標は、2005年の全国CO₂排出量を2030年までに30%削減することである。この枠組のもとで、目標を実現する仕組みを提供する、いくつかの政策がある。CCS展開に最も影響のある2つの政策は：

1. クリーン燃料基準は、2030年までに年間CO₂排出量を3千万t削減する目標を挙げている。固体、液体そしてガス状の燃料にはより厳格なライフサイクルCO₂排出原単位を設定し、CO₂削減効率を推進する、取引可能なクレジットの市場制度を提供する。事業者は3つの方法で義務を果たすことができる：ライフサイクル全体で化石燃料からの排出量を削減する(EOR等)、低CO₂排出源単位燃料を売る、よりクリーンなエネルギー源に切り換える²²。
2. Greenhouse Gas Pollution Pricing Act(温室効果ガス汚染価格法、GGPPA)は、輸送および暖房のための燃料から生じたCO₂排出に課税する義務を定め、2019年には1トン当たり20カナダドル、以降毎年10ドル値上げとなり、2022年には上限の50カナダドルとなる。これは大規模なCO₂排出者に対し、排出量に基づく価格システムを設け、その産業の全国平均レベルを超えた排出量に対しては、支払う必要がある。個々の州は、連邦政府の最小要件を満たす限り、カーボン汚染(Carbon Pollution)価格の支払またはキャップアンドトレード制度の実施を決めることができる。

州

多くのカナダのCCS活動は、サスカチュワンとアルバータの2州で行われている。両州ともGGPPAに相当する、新しいCCS規制があり、2020年に施行された。

- サスカチュワン州は、クリーン成長と気候変動に関する全カナダ枠組に署名していない唯一のカナダの州である。州と連邦政府は2020年1月1日から石炭火力発電所について、同統制協定を結び、サスカチュワン州の発電の40%以上が、2030年までに排出量ゼロのエネルギー源より行われなければならない、CCSを伴わない石炭火力発電所は実質的に廃止される。
- アルバータ州はTechnology Innovation and Emissions Reduction Implementation Act(技術革新と排出削減実施法、TIER)を採用し、2020年1月1日に施行された。この法律は大規模排出者に対してCO₂排出量のベンチマークを設定し、それを超えた排出量に対して、1トン当たり30カナダドルの価格を設けている。排出削減要件を超えた施設は、他の規制下にある施設と排出ガス性能クレジットを取引することができる。CCSにより削減されたCO₂排出量(含EOR)は、TIERの対象である。
- 9月には、アルバータ州政府は経済回復計画の一部として8,000万カナダドルの、Industrial Energy Efficiency and Carbon Capture, Utilization and Storage Grant Program(産業エネルギー効率およびCO₂回収、利用と貯留助成金プログラム)を立ち上げ、プロジェクト経費の75%、最高2,000万ドルを提供する。

4.0 地域別の概要

CCSアンバサダー

ニュートン・B・ジョーンズ

ボイラー製造組合
会長



国際ボイラー製造組合は長い間CCUSが、CO₂排出を真に削減し、雇用維持、経済社会そして経済の安定を保全する最適な解決策であると主張してきた。

CCUSは科学や地域社会だけでなく、生活を前進するために必要不可欠である。100%再生可能エネルギーに移行した場合、現在の進行を逆転することは言うまでもなく、実際に気候変動の軽減を実現することは100%できないことが科学的に証明されている。実際(皮肉なことに)、再生可能エネルギーは建設、維持に化石燃料に依存し、化石燃料、核燃料およびその他の資源から発生したベース電源を当てにしている。

さらに、「再生可能エネルギーのみ」のような誤解を招くアプローチは、重要な化石燃料に依存する製品(人命を救助する医療機器や薬品等)を完全に中断することになる。化石燃料に直接あるいは間接的に関連する職業、それによる経済への投入そして世界中のコミュニティからの依存は言うまでもない。

政府は再生可能エネルギーに対してインセンティブや投資を注入してきたが、CCUSの後付け、およびCCUSを新しいプロジェクトに導入することを加速化するために、資金的な障害を取り除き、新しい手段を取り入れるためにより積極的に主張する必要がある。これがイノベーションの継続と費用効率を推進する。

つまり端的に言えば、CCUSが答えである。環境に真にインパクトがある解決策であるだけでなく、パリ協定の気候ターゲットを達成するために必要なスケールアップを満足するためには、CCUSを工場と発電所に後付けし、新しいプロジェクトを始めることが、高給の仕事(重工業において最も望ましい、環境に優しい職業)をサポートする。そして、それにより、地球だけでなく、共同社会の生き残りが保証される。

端的に言えば、CCUSが答えである

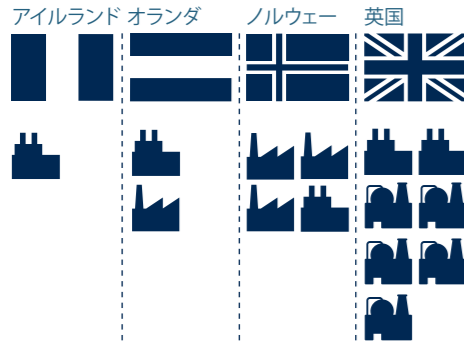
4.0 地域別の概要

4.2 ヨーロッパ

4.2 ヨーロッパ

ヨーロッパのCCS施設

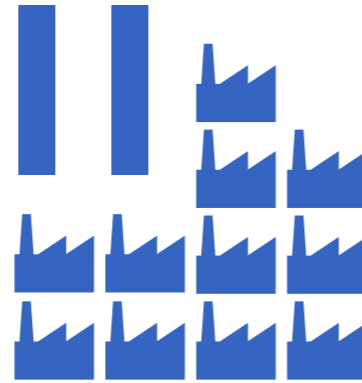
ヨーロッパでは現在操業段階あるいは開発諸段階の**14の商用施設**がある(アイルランドに1件、オランダに2件、ノルウェーに4件、英国に7件)。



2020年には**イタリア、デンマーク、スウェーデンとウェールズ**等、これまでCCSとの強い関連がみられなかった複数の国から新しいヨーロッパのプロジェクトが生まれた。



11を超える商用プロジェクトが、2030年より前に操業段階に入るとを目標としている。



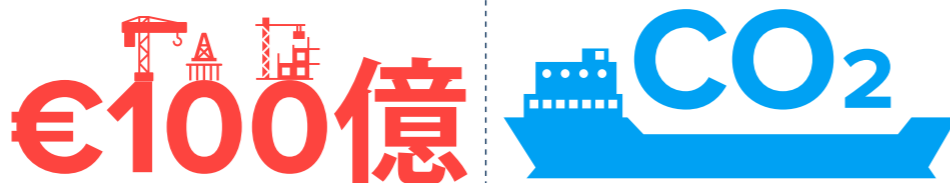
2030年より前に操業段階に入ることをターゲットとする商用プロジェクト

政策進展

異例の**欧州グリーンディールと気候法**は気候中立性への政治的取組を法的義務に変換し、CCSを支持する追加EU政策の開発につながった。

2020年の夏は、欧州におけるCCSの計画、建設そして操業の主要資金源として予想される、**欧州100億ユーロ・イノベーション基金**に対する初めての募集が行われた。

CCSの開発のための最も重要な世界的政策に続いて、**国境を超えたCO₂の出荷が許可されるようになった。**



2009年改正ロンドン議定書の適用を可能にした解決策が2019年終わりに同意された。その同意によりNorthern Lightsは海外からのCO₂を受け入れることができるようになり、ヨーロッパ中の産業から受入れを行う脱炭素産業の中心となった。

英国のCCUS展開経路行動計画は着実に進行、**8億ポンドの資金が十年間で2つ以上の英国のサイトにCCUSクラスターを確立するために提供される。**



欧州において、2050年までに気候中立性を実現するための法律が本年導入され、野心的な2030年ターゲットを確立する計画が立ち、CCS施設が緊急に必要なことがこれまでに明らかになった。幸い、順調に進行している。ヨーロッパの政治家、産業戦略家、そして入手情報が増えた市民は、気候への取り組みにCCSが必要であることを理解しているだけでなく、産業や職業を守ることができることも理解している。

CCS施設

ヨーロッパの気候に対する野心にとって重大な一年だったが、この地域で長い間求められていた次のCCS施設の操業が間近になった。2009年改正ロンドン議定書への解決策が見つかり、国境を超えたCO₂の出荷が許可される。ノルウェー政府、そしてEquinor、Shell、Total、HeidelbergCementとFortum Oslo Varme等、プロジェクトの事業者は、Langskipプロジェクト(Longshipとも呼ばれている)を推進することに取り組んでいる。本プロジェクトの輸送・貯留施設であるNorthern Lightsは、地域産業の脱炭素化の中心となる。

ロッテルダム港のPorthosプロジェクトは、2021年に最終的な投資決定が行われる予定である。操業は2023年を目指している。Langskipプロジェクト同様、Porthosはより幅広いCO₂回収を実現しようとしている。CO₂ TransPorts Project of Common Interestを通して、近隣の港をつなぐためのインフラ設備が検証されている。すでに確立されているAntwerp@Cプロジェクトを介して、ヘント、テルヌーゼン、フリシンゲンとアントワープ等が含まれている。10を超える商用プロジェクトが2030より前に操業段階に入ることをターゲットとしている。重要かつ一部では国際的な産業クラスターが成熟している。港がCCSの展開に主要な役割を果たすようになり、長い間求められていたガス発電におけるCCSがNet Zero Teessideプロジェクトを介して進行している(43ページの事例参照)。

脱炭素化におけるエミッターの重要性が増していることを反映して、設立時のパートナーであるEquinor、DraxとNational Grid Venturesは協力して、Associated British Ports、Centrica Storage、Phillips 66、PX Group、SSE Thermal、Saltend Cogeneration Company、VPI-Immingham LLPとUniperによる英国のZero Carbon Humberクラスターを開発する努力に加わった。この地域で期待されてきたCCSインフラ設備を利用して、EquinorはSaltend Chemicals工場において「Hydrogen to Humber Saltend」という主要な水素製造プロジェクトも発表した。当初、このプロジェクトはCO₂回収が備わった、600MWのオートサーマル改質を利用してクリーン水素を製造する。これはこの種の工場としては世界で最大かもしれない。



Saltend Chemicals Plant 写真提供: Zero Carbon Humber

10月末、BP、Eni、Equinor、National Grid、ShellとTotalはNorthern Endurance Partnershipの形成を発表した。BPが経営者となり、このグループは英国の北海の輸送・貯留を開発し、Net Zero TeessideとZero Carbon Humber産業クラスターに奉仕する。貯留は北海南のEndurance塩水層を利用する。これは英国最大かつ最も理解されているCO₂貯留地である。英国政府の産業脱炭素化チャレンジを通して、資金援助が申請されている。

縮小・拡大可能なCO₂輸送・貯留ソリューションを提供する、スコットランドのAcornプロジェクトは、近隣の石油・ガスインフラ設備を利用し、資本コストを最小限に留めることで、急成長することが見込まれる。本プロジェクトは、スコットランドと英国政府の気候ターゲットを満足するために重要なCCSと水素設備の両者の実現を目指している。確立されたCO₂貯留ライセンスを備えて、本プロジェクトは2024年からスコットランドのCO₂排出を取り扱う可能性がある。

Gasunie、EBN、アムステルダム港湾局とTata Steelが開発を先導する、Athosは、オランダの北海運河工業地区の輸送・貯留ネットワークの開発を目標としている。Tata SteelのIJmuiden工場が主な排出源の1つとなり、CO₂を溶鋳炉から発生するガスから分離する。CO₂はオフショアにある枯渇した北海油田およびガス田、あるいは純粋地層貯留に輸送され、一部のCO₂は、温室効果等々で利用される。2020年初めに行われる採算性調査において、このプロジェクトは潜在的な貯留選択肢および産業エミッターのネットワークへの関心を探索した。多くの反響があり、先に進むことが促された。

これまでCCSとの強い関連が見られなかった、ヨーロッパの国々から、複数のプロジェクトが生まれた。COVID19ロックダウン後の政策を協議する、Stati Generali会合で行われた記者会見で、イタリアのジュゼッピ・コンテ首相は、北イタリアのラベナ港のENI施設に世界最大のCCS施設を建設する計画について述べた。排出ガスは操業段階の発電所および工場から回収され、枯渇したオフショアのガス埋蔵地に貯留される。ヨーロッパにおいて、北海以外にある、最初の操業段階のCCS施設になるであろう。



ロッテルダム港、Port site Kop van de Beer写真提供: Danny Cornelissen
写真提供: ロッテルダム港湾局

4.0 地域別の概要

4.2 ヨーロッパ

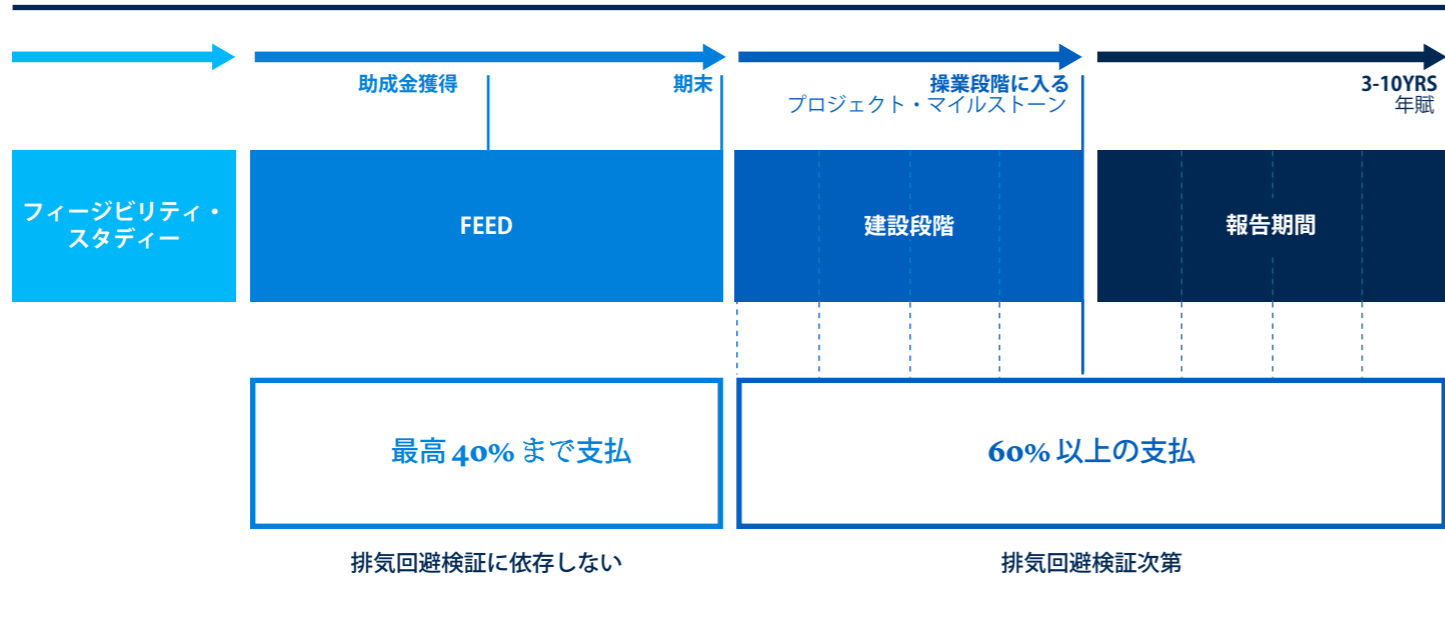


図12 重要な出来事に基づいた支払

デンマークでは、CCSが、気候変動委員会の3月報告書において、重要な脱炭素化のための手段として述べられている。INEOS、Maersk Drilling、Wintershall DeaとGEUSの共同体が、デンマークエネルギー技術開発と実証プログラムから資金を受け、CO₂をINEOSのNini田に貯留することになった。Greensandプロジェクトは、石油とガスのインフラ設備を再利用し、CO₂輸送に使う計画である。平行して、コペンハーゲンにあるAmager Bakke廃棄物発電施設は、CO₂回収の計画を立てている。

スウェーデンのCinfraCapプロジェクトは、CCSインフラ設備へのオープンアクセス案を開発する。本プロジェクトは、西スウェーデンにある異なる産業施設から、CO₂をグーテンベルグの港を介して輸送し、ノルウェーのNorthern Lightsにて貯留することを目指している。パートナーには、Göteborg Energi、Nordion Energi、Preem、St1、Renovaとグーテンベルグ港湾局等がある。

ウェールズにネットゼロクラスターを建設する計画は、南ウェールズ産業クラスター(SWIC)が、展開とロードマッププログラムの初期段階において、英国研究・イノベーション助成金を受賞した6つのクラスターに入ったとき、注目を集めた。SWICは石油精製、製紙、化学薬品、ING輸入、製鉄とセメントからの産業エミッターがある。このプロジェクトは、次回の英国政府の産業脱炭素化チャレンジを通して、追加資金援助を目標としている。

欧州における政策措置

プロジェクトの進捗は、地域全体における重大な政策イニシアチブを伴った。異例の欧州グリーンディールと気候法は、気候中立性への政治的取組を法的義務に変換することで、CCSに対する欧州政策支援の開発が増加した。

2020年7月には、低炭素技術を拡大するための、世界最大のプログラムの一つである、欧州100億ユーロ・イノベーション基金に対する初めての公募が行われた。ヨーロッパ全体における、CCSの計画、建設、操業のための主要な資金源となることが予想される。

欧州の2030年気候目標計画は、間もなく最終決定される。欧州の2030年のGHG排出削減目標が示され、そのためにどのように現在の気候政策手段を取り込まれるかが示される。欧州連合域内排出量取引制度と加盟国の排出削減の分担に関する規則改版のための案が2021年に予想されている。これらの変更はCCSに対して重大な意味があるはずである。

TEN-E規制の評価は引き続き行われ、改定案が2020年後半に公開される。これにより、パイプライン以外の、CO₂の輸送および貯留が、Project of Common Interestステータスの基準を満たすかが決定される。

炭素除去認証に関する欧州枠組は、2023年に予想されている。これによりBECCSおよび大規模DACが、地域全体で促進される可能性がある。

5月末、欧州委員会は主要な経済復興計画である、Next Generation EU²³を発表した。InvestEU投資プログラムはアップグレードされ、新しい戦略的な投資施設が組み込まれる。提案にはクリーン水素および、グリーンテクノロジーのもとでのCCSが含まれている。

公正な移行ファンド(Just Transition Fund)の規模を拡大する提案もある。排出権取引案でカバーされている施設は、大規模な排出量削減のためにビジネス支援を受けることができる。これにはCCSも含まれているが、EU加盟国の公平な移行(Just transition)計画でカバーされている地域でなければならない。

4.0 地域別の概要

CCSアンバサダー

アラード・カステライン

ポルトオブロッテルダム
CEO



ロッテルダムにおけるPORTHOSプロジェクトは予定通り進行

Porthosプロジェクトに対する我々の目標は、2021年後半にFID、そして2024年初めに操業開始である。Porthosは15年もの間、年間250万tのCO₂を処理する。現在、許可手続きが開始、契約がクライアントに署名され、そして技術的準備が行われている。オランダとヨーロッパの機関からの財政支援を受け、Porthosプロジェクトだけでなく、Air Liquide、Air Products、ExxonMobilとShellという、CO₂を回収する4つの会社のビジネス・ケースの成立が確実になった。PorthosはCO₂を北海海面下の枯渇ガス田に輸送し、貯留する。

本プロジェクトの第一段階において、Porthosは3750万のCO₂を貯留できるガス田を充填することに焦点を当てている。次の段階においては、ロッテルダム内外、そしてその他の貯留サイトからより多くのCO₂サプライヤーと繋がりを持つことを目指す。ヨーロッパの削減目標がより厳しくなることが発表されたため、将来気候変動と戦うためにCCSはさらに重要なツールとなるだろう。そのため私は、Porthosの第一段階後、プロジェクトの次のステップに素早く進むことを確信している。

ヨーロッパの削減目標がより厳しくなることが発表されたため、将来気候変動と戦うためにCCSはさらに重要なツールとなるだろう

4.0 地域別の概要

4.2 ヨーロッパ



欧州の国々における政策措置

ノルウェー、オランダや英国の、ヨーロッパにおけるCCSの展開を先導してきた国々により、国家政策の構築が行われてきた。

ノルウェーのLangskipプロジェクトは、広範な政治的支援により実現された。CCSの経済的重要性は、3月に発表されたノルウェー政府の経済政策において言及され、Langskipプロジェクトを加速化することだけでなく、ベルゲン、トロンハイムとスタヴァンゲルの焼却工場におけるCO₂回収評価を支援するためにコミットした。

オランダでは、2020年末に導入される、持続可能エネルギー移行補助金計画(SDE++)の公募は、CO₂排出の回避に役立つ幅広い技術のために30億ユーロが用意される。CCSは公募可能であり、そのためには特定の条件が規則内で設けられている。

英国のCCS展開経路行動計画は着実に進行している。CCUSカウンセルは、新たに確立されたCCUS専門家グループと共に分析を続け、英国における展開に必要な段階についてガイダンスを提供してきた。3月の予算では、Exchequerの総長であるリシー・スナックが、この10年間に少なくとも英国の2つサイトにおいてCCSクラスターを確立するために8億ポンド以上提供することを発表した。

また付属文書^{iv}において、消費者の補助金を使って、英国初の民間融資のガス火力CCS発電所を建設することが述べられている。

2020年のCCSを支援するビジネスモデルに対する協議に続いて、2020年8月に政府により回答が発行された。ここで、輸送と貯留のインフラ設備が経済規制により運営されることが述べられ、提案の概略が示された。フレキシブルな地熱発電の重要性を認識し、政府は発電CCSメカニズムを確立。利用に際して有料かつ変動料金にする可能性がある。産業CCSは、当初は前払いで資本サポートを提供、そして残額は産業契約を交わし、時間の経過と共に進化するモデルで支援されることが予想される。これらのビジネスモデルへの作業が続けられている。

ヨーロッパの他の国々は、地域のCCS先駆者をどのように追従するかを検証中である。特に、ドイツのアンジェラ・メルケル首相は、気候中立性を達成するにはCCSが必要であると述べている。CO₂が集中する産業そしてヨーロッパで最高のエミッターであるドイツでは、脱炭素化を行うためにはCCSが大きい役割を果たす必要があるだろう。

英国で来年の11月にCOP26が予定されている中、CCSはますます気候戦略の重要になることが予想され、2021年はヨーロッパと英国において、再度CCS開発の重大な年になるだろう。



上: Northern Lights CCSプロジェクトの一部である、Norcem's Brevik Cement Plant 写真提供: Norcem

上: TeesideのWilton Internationalにある、Sembcorp Energy UK Biomass Power Station 写真提供: Sembcorp Energy UK

NET ZERO TEESIDE – 地元産業とのパートナーシップ

北東の主要な工業地域をベースにし、英国産業排出量の6%近くを占めている、Net Zero Teesideは、2030年までに操業段階に入ることを目指している。CCSを備えた、世界初の最新のガスタービンコンバインドサイクル(CCGT)発電を中心に配置している。英国だけでも、CCGTは45 Mtpa以上を占める、これはCO₂排出量の12%を超えており、この施設の重要性を示している。

発電所からのCO₂、そしてバイオマス発電、水素生産そして炭素集中型産業という多様なクラスターが共通のパイプライン網を通して、北海にある恒久的地層貯留サイトに輸送される。

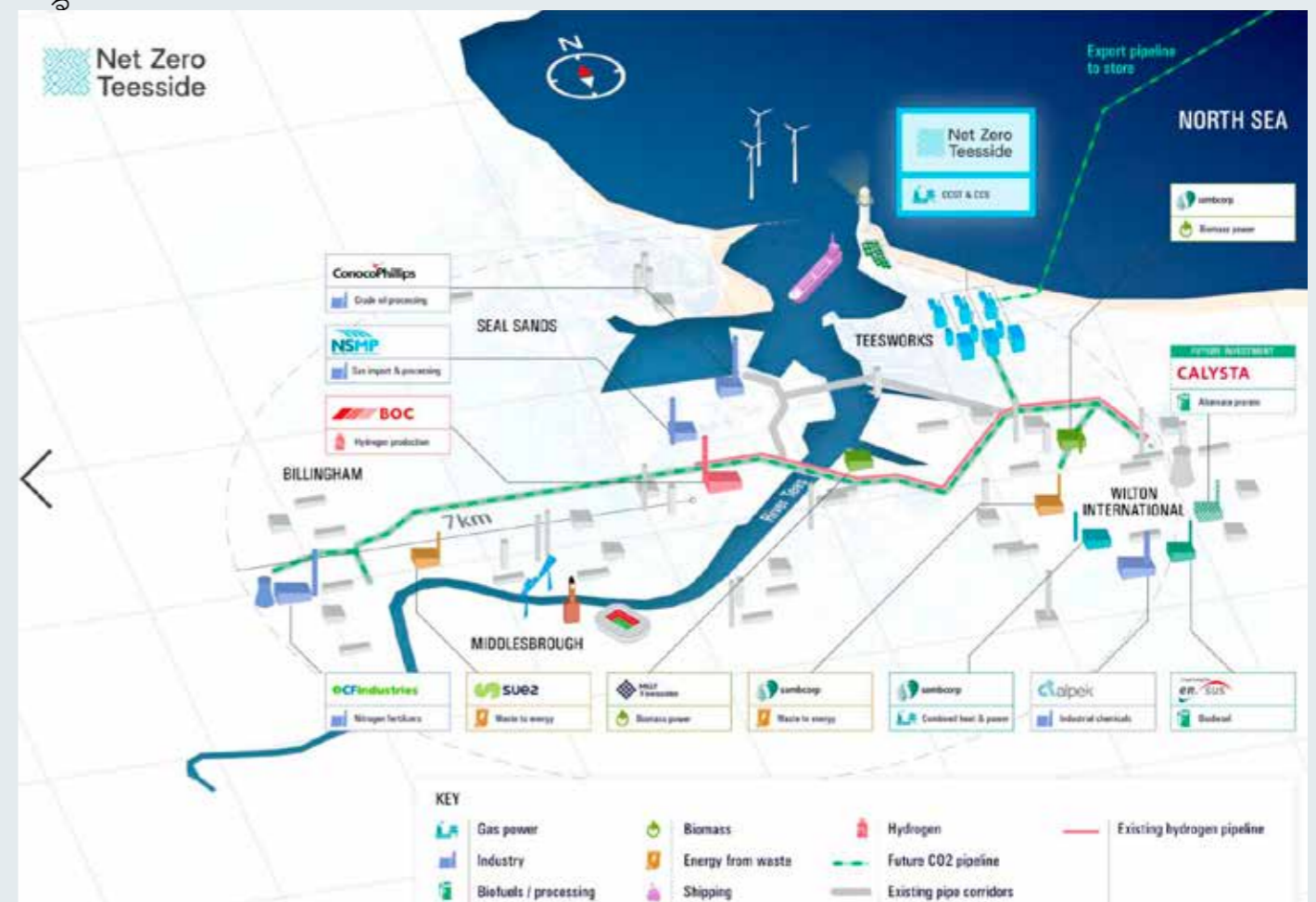
2019年9月にOGCIは、Net Zero Teesideを、グローバルCCUSキックスタープログラムを通して支援されている、5つの戦略的ハブの1つと発表した。その狙いは、CCS技術に大規模な投資を求めることである。BP、ENI、Equinor、ShellとTotalがプロジェクトの開発に取り組み、BPが経営者の役割を果たしている。主要な長所は以下の通りである。

- 年間最高1,000万tのCO₂を回収、これは英国の300万軒の家からの年間エネルギー利用量と同等
- CCSを装備のフレキシブルなガス火力発電所を利用することにより英国の消費者は2050年までに排出量ゼロの発電所を実現するために総システムコストが削減され、恩恵を受ける

- Tees Valleyのエネルギー集中型製造職の35~70%を保全
- 建設段階において、75億ユーロの間接・誘発粗付加価値と年間13,500の間接・誘発雇用を支援

貯留回収容量が1,000Mtを超えるサイトにアクセスを提供
今年覚書(MOU)が地元の産業エミッターと成立した(CF Fertilisers、BOC、Sembcorp Utilities)。他社との交渉は引き続き継続中。脱炭素化の展開とロードマッププログラムの最初の段階のために英国研究・イノベーション資金が用意されている。計画されている発電所の概念設計、レイアウトと建物の配置は完成しており、環境インパクト評価が行われている。

地元のステークホルダーに対するパブリックコンサルテーションが開催されており、最近では2020年の7月~9月半ばに行われた。それに続き、開発許可命令の申請がビジネス・エネルギー産業戦略省大臣に必要な承認を求めるため提出される。このプロジェクトがまもなく英国で最も重要な産業地区の再開に貢献することが期待されている。



世界初の排出量ゼロの産業ハブであるNet Zero Teesideは2030年までに操業 図案提供: BP、OGCI

4.3 アジア太平洋

アジア太平洋のCCS施設

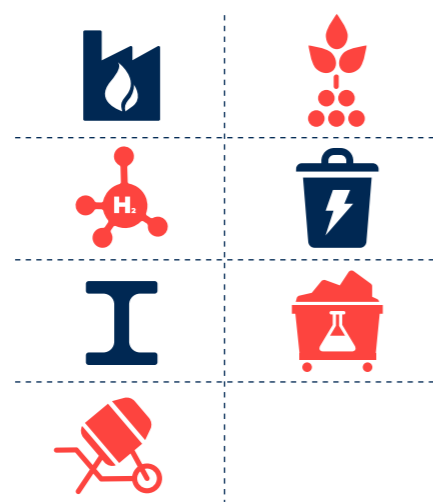
アジア太平洋地域は10の商用CCS施設が操業段階または開発段階にある。

この地域は多様なCCSパイロットプロジェクトが以下のセクターで実施されている：天然ガス処理、肥料、水素製造、廃棄物発電、製鉄、石炭から化学原料、セメント。

下記の国において、CCS戦略を長期気候変動への取り組みを始めた。



複数の新しい商用プロジェクトが2020年に設計段階または初期開発段階に入った。

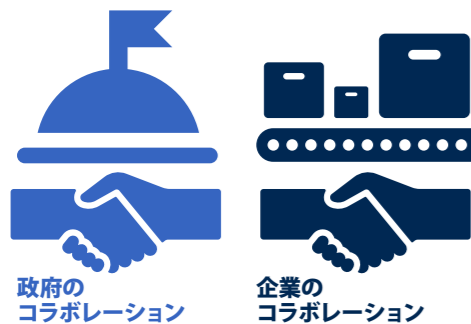


シンガポール、マレーシア、中国、オーストラリア

コラボレーション

CCSにおけるコラボレーションは2020年にはこの地域の主要なテーマとなり、以下が含まれている。

- 政府間の地域におけるコラボレーション（二国間と多国間）
- 企業間のサプライチェーンのコラボレーション

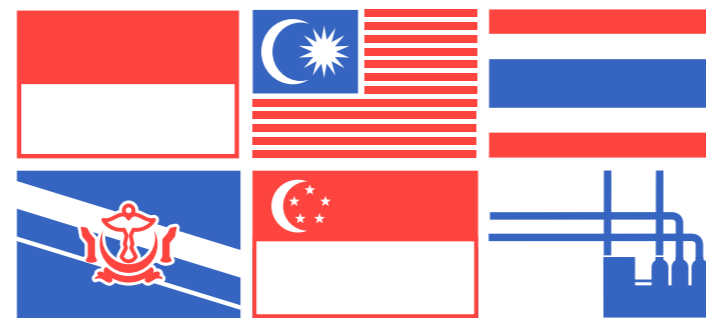


政府のコラボレーション

企業のコラボレーション

東南アジア

東南アジアはCCUSの主要ハブとして浮上している：インドネシア、シンガポール、マレーシア、タイ、ベトナム、ブルネイ



中国

中国のCCSファイナンスは、気候資金の議論において2020年に最重要となっている。



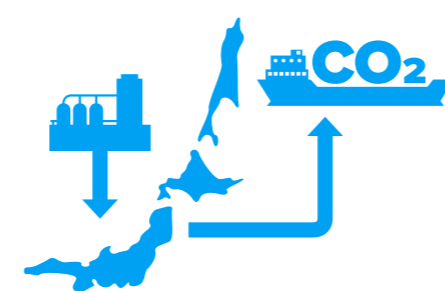
オーストラリア

オーストラリアは複数の新しいプロジェクトが2020年にはプロジェクト開発サイクルの異なる段階に移向した。



日本

日本は引き続き、この地域におけるCCUSの強力な支持者および推進者であり、CCS技術を国内利用と輸出産業として開発している。



アジア太平洋- CCSを展開するために浮上してきた力

昨年は、アジア太平洋(APAC)地域全体で、CCSにとってエキサイティングであると同時に、課題のある一年だった。政府と企業がパンデミックと戦うことに集中し、石油とガスの価格が低下したにも関わらず、地域におけるCCSプロジェクトと政策開発は復活力を見せた。

オーストラリアと東南アジアは重大な炭化水素の生産者である一方、東アジアの国々は大量なエネルギー消費者であり、大きい製造産業がある。APAC地域はわずか2つの商用CCS施設が操業しているに過ぎないが、複数の新しい商用プロジェクトが設計段階または初期開発段階に入った。天然ガス処理、肥料、水素製造、廃棄物発電、製鉄、石炭から化学原料、セメント分野に、パイロットプロジェクトがあり、セクター全体におけるCCSプロジェクトの広がり、この地域のエネルギー生産および製造産業の力と多様性を反映する。

APAC地域の政府は気候変動へのコミットメント達成のためのCCSの役割を、国家計画や政策の中で推し進めてきた。

開発例

- シンガポールは2020年4月に低排出発展戦略を発表し、気候変動ターゲット到達のためのCCSの実行可能性を確認²⁴。
- マレーシアは高濃度CO₂排出のガス田開発のために規制枠組を検討中。
- 日本は2020年1月の環境イノベーション戦略にCCSを組み込む²⁵。
- 中国は、2060年までにカーボンニュートラル目標を表明、現在は第14回目の国家5ヶ年間計画を策定中²⁶ - CCSの利用は推奨措置の一部になるであろう。
- オーストラリア政府は複数の政策文書を公表。CCSに対して政策支援制度を確立するための勢いがある。

地域の政府間のコラボレーション（二国間と多国間）と企業間のサプライチェーンのコラボレーションが、2020年のAPAC全体の重大なテーマであった。オーストラリアとシンガポール、オーストラリアと日本、日本とインドネシア、オーストラリアと中国、オーストラリアとマレーシア、これらは全て政府、産業と学者との間で異なる協力体制がある。日本は二国間クレジット制度(JCM)を通して、インドネシアでCCSプロジェクトを支援しようとしている（テキストボックスp.49参照）。東南アジアにおけるコラボレーションは、この地域がその貯留潜在能力をより理解することに役立った。開発銀行が資金提供する、東、南そして東南アジアにおける技術サポートプロジェクトは、この地域により広い専門知識をもたらした。

さらに、CCS規制枠組は法律を長期に渡り確実にするために必要であるという一致した意見が増えている。CCS個々の法律、あるいはCCSプロジェクトライフサイクル全体に適用する法律を持つ準拠地は数少ない。オーストラリアはアジア太平洋で包括的な規制CCS枠組を持つ唯一の国である。東南アジアにとって、全国的なCCS個々の規制枠組が開発できる、より均一な基準を提供する、規制に対して包括的な地域アプローチをとることが役に立つかもしれない。

オーストラリア：進行中の政策

2月にオーストラリア政府はReport of the Expert Panel examining additional sources of low cost abatement（低コスト軽減のための追加資源を検証する専門家パネル報告書）を発行した²⁷。その報告書へのレスポンスとして、政府は排出削減助成金の元で、CCS方法論の開発のための産業協議プロセスに同意した²⁷。これにより、CCSプロジェクトの事業者はCO₂1トン回避するごとに支払われる資金のために競うことができる。正式な協議は7月に始まり、Emissions Reduction Fund（排出削減基金）CCS-CCUSメソッド・スコoping論文に対するレスポンスが求められている。

5月には、オーストラリア政府はInvestment Roadmap Discussion Paper: A framework to accelerate low emissions technologies（投資経路ディスカッション論文：低排出技術を加速化するための枠組）を発行した。これは水素製造およびその他の応用における、CCSのための展開経路について述べている²⁸。

次にオーストラリア政府は9月に「...コスト削減を推進、雇用を作り出し、信頼性を改善し、排出量を削減する、新しい技術」のための方策を発表した²⁹。その方策の例：

- 5,000万豪ドルのCCUS開発資金
- 水素輸出ハブを確立するために7,020万豪ドル
- オーストラリア再生可能エネルギー機関(ARENA)とクリーン・エネルギー金融会社(CEFC)のために16.2億豪ドルを追加、そしてCCS等、より広い範囲の技術を支援できるように、フォーカスできる内容を広げる。これらは、オーストラリアの国会で可決される必要がある。

上記の発表の直後に、オーストラリア政府によりLow Emissions Technology Statement（低排出技術声明、以下「声明」）が公表された³⁰。本声明は「オーストラリアで最強の経済および排出削減の成果を実現する潜在能力がある、低排出技術」を優先し、その目標は「政府の投資を新しい、新興技術に焦点を当てる」ことである³⁰。この声明では、新しい技術を既存の技術同様費用効果の優れたものにするため、5つの優先技術と経済ストレッチゴールの概略を示し、これにはCO₂1トン当たり20豪ドル未満でCO₂圧縮、輸送と貯留を行うCCSのストレッチゴールも含まれている。

声明にある、その他の優先技術は、1キロ当たり2豪ドル未満のクリーン水素製造、長期エネルギー貯留、低排出鋼鉄とアルミの製造等の低炭素素材、と土壌炭素測定等である。

政府は声明の公表に続いて、11の主要措置を開始し、これには、COP26以前に実現予定である、オーストラリア長期排出削減戦略の開発も含まれている。

規制

オーストラリアは連邦レベルおよび、複数の州準拠地において、CCSの法規制枠組がある。2020年5月、Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006 (Cth)（オフショア石油温室効果ガス貯留法）(OPGGSA)が修正され、連邦と州/特別州の準拠地の3海里の境界線を跨ぐ地域にCO₂貯留ができるようになった。これにより、境界線を跨ぐ、CO₂圧入規制が統一化、合理化された。

4.0 地域別の概要

4.3 アジア太平洋

プロジェクト

複数の新しいプロジェクトが進行している。

- SantosはCooper Basin ProjectのためにFEEDを開始した（詳細は下記の事例ボックス参照）。
- Carbon Transport and Storage Company (CTSCo)は120,000 tpaフルチェーンCCS実証プロジェクトに取り組んでおり、石炭火力発電所からのCO₂を回収し、回収したCO₂をSurat Basinに貯留する。
- Bridgeport EnergyはSurat Basinで1.0 Mtpa CO₂-EOR プロジェクトに向けて作業を進めている。
- ステークホルダーはオーストラリア北部と北西部でCCSハブを調べている。
- ビクトリア州のCarbonNetプロジェクトは、評価用掘削を完了し、将来の商業化オプションについて産業ステークホルダーとの協議を始めた。

天然ガス精製と石油化学セクターにおいて、大規模なCCSプロジェクトのために低コストの先行組のためのチャンスがある。この地域の国々は、経済開発レベルと排出プロファイルがかなり異なるので、CCSも多様なアプローチを採用している。しかしながら、この地域のハブは地域のコラボレーションを推進し、規模の経済を実現し、さらにコストを下げる可能性がある。

シンガポール

シンガポールは2020年4月、長期Low-Emissions Development Strategy (LEDS) (低排出発展戦略)²⁴で、技術と国際コラボレーションという見地より長期脱炭素化ターゲットにおける、CCUSの戦略的役割を宣言した。シンガポールの地層は地層貯留に適しておらず、CO₂の国境を超えた輸送と貯留を可能にする前に、多くの技術的・非技術的問題に対処する必要がある。業界のステークホルダーは、シンガポール外にあるCO₂貯留サイトの調査を始め、これには国際的協力が重要となる。シンガポールとオーストラリアは、2020年3月28日の共同声明において、CCS等、低排出ソリューションにおいてコラボレーションを推進するMOUを締結したと表明した²⁵。

インドネシア

インドネシアは大規模な石油と天然ガスの生産国であり、その生産を維持・増加するには、今後大規模なCO₂ガス田を開発する必要がある。低炭素未来に向けて、プロジェクトの持続可能性と商業的可能性を確実にするには、貯留CO₂の軽減のための戦略的配慮と計画が必要である。多くの国際的資金が拠出されている研究や実証プロジェクトが実施されており、インドネシアの石油・ガス管理当局において、CO₂-EORおよびガス増進回収(EGR)について議論されている。

2020年9月、日本政府は中央ジャワのGundihガス田の実証プロジェクトを支援すると発表した。このプロジェクトはJPowerとJANUSが開発し、PT Pertaminaと地元のステークホルダーが協力している。本コンソシアムは、天然ガス処理から回収されたCO₂を、4キロのパイプラインを利用して近隣の井戸に圧入および、EGRのために輸送する、CCS実証プロジェクトのために詳細な計画を策定し、JCMをこのプロジェクトのために応用することが可能かどうか調査している（詳細は日本に関するセクション参照）。

CCSに関する大統領規制案が、国際的専門家からの意見を取り入れて、CCS/CCUSのインドネシア・センター・オブエクセレンスで準備され、インドネシア政府に提示された³³。

マレーシア

CCSを高濃度CO₂ガス田開発に適用することがマレーシアで優先領域となった。PETRONASは国営の石油・ガス会社および、上流における規制当局³⁴であるが、高濃度CO₂ガス田のための、排出量の制限に関する規制開発とCCSプロジェクトの計画に取り組んでいる。

PETRONASはCO₂貯留のために地域の盆地マッピング研究を行い、サラワクの近くでの大規模オフショアプロジェクトに関与しており、最終的な投資決定が2022年に予定されている。

中国：CCS展開の準備をする時

中国のCCSファイナンスは、気候資金の議論において2020年に最重要となっている。2020年7月8日、中央銀行とNational Development and Reform Commission (国家発展改革委員会)とChina Securities Regulatory Commission (中国証券監督監視委員会)がThe Green Bond Endorsed Projects Catalogue:2020 Edition (グリーン・ボンド適格プロジェクトカタログ:2020年度版³⁵)を発行し、初めてプロジェクトファイナンスを拡大して、CCSが組込まれた。

国家能源投資集団は陝西省に150,000 tpa 級CCS実証プロジェクトの建設を始めた。そこではCO₂回収のために新しい高度な溶剤および吸収材を分析する。中国はかつて発電、天然ガス処理、セメント、肥料と石炭から化学原料セクターにおいて、パイロットプロジェクトを支援してきた。

中国においては、CCSの展開はかなりの逆風を受けている。プロジェクトの進捗はパンデミックと低い石油価格に影響を受けてきた。2020年9月、中国は2060年までにカーボンニュートラルになることを誓い、現在は第14回目の5年間計画に力を注いでいる²⁴。CCSは本計画において、推奨対策の一部になるだろう。

日本：周辺地域のコラボレーションエンジン

日本は、引き続きクリーン・エネルギー、プロジェクト融資、キャシティーディベロップメントそして技術移転における国際コラボレーションの推進者として尽力し続けている。10月に就任した菅義偉総理大臣は、再生可能エネルギーと水素を利用する規模を拡大するだけでなく、CCUS等の主要技術の研究・開発を加速化することで、日本が2050年までに温室効果ガス排出実質ゼロの政策を発表した。

クリーン水素の製造とサプライチェーン

日本は、水素利用技術（燃料電池を用いた電気自動車の開発等）の開発リーダーであるだけでなく、CCSとサプライチェーンを利用して、クリーン水素を開発するための国際的活動を推進している。政府はオーストラリアにおいては水素エネルギーサプライチェーン(HESC)プロジェクト、ブルネイでは技術開発のための次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)プロジェクトを介し、サウジアラビアと共同で行っているブルーアンモニア実証へ支援を行っている。

- HESCプロジェクトは、オーストラリア、ビクトリア州にあるラトロバレーの石炭ガス化とガス精製工場の建設と稼働が予定通りに進んでいる。日本では神戸にて、液化水素貯蔵タンクと荷役実証ターミナルが完成した³⁶。
- 2020年4月には、AHEADは世界初の国際水素サプライチェーンを操業開始した。これは、水素を天然ガスから製造し、メチルシクロヘキサン(MCH)に変換する。次にMCHは日本に出荷され、脱水素化により水素を取り出す³⁷。2020年5月には、MCHから再生された水素が、発電のために水江火力発電所のガスタービンに供給された³⁸。
- 2020年9月、世界初のカーボンフリー・アンモニア (CCS付加した施設にて、化石燃料より製造されたブルーアンモニア) 40トンがサウジアラビアから日本に出荷された。このアンモニアは電力を作るために発電所で燃焼される³⁹。

政策/戦略

日本政府は1月の統合イノベーション戦略ミーティングで承認された、革新的環境イノベーション戦略において、CCSの役割を定義した²⁵。戦略例：

- CCS/カーボンの再利用を目的とした、低価格のCO₂分離と回収。
- CO₂を燃料やその他のCO₂再利用技術に変換する
- 大気からCO₂を除去する。

4.0 地域別の概要

CCSアンバサダー

ジン・ホンガン教授

中国科学アカデミー会員
CCUS専門委員会委員長、
中国環境科学協会



世界的に、エネルギーと産業セクターは、持続可能な開発を受け入れ、GHG排出を削減し、ネットゼロ目標を達成するには、重大な変更をしなければならない。この非常に大きい努力は、CCUSが独自の役割を果たす、多様な技術のポートフォリオを必要とする。CCUSは大規模な排出量削減を実現できることが証明されている。化石燃料の低炭素利用への経路を提供し、排出量削減を達成するには、水素等のクリーン・エネルギーの生産に重大な貢献となるだろう。CCUSはCO₂排出量削減に必要な不可欠なだけでなく、回復と柔軟性があり、未来のエネルギーミックスを補完するために不可欠の技術であると信じている。

CCUSはCO₂排出量削減に必要不可欠なだけでなく、回復力と柔軟性があり、未来のエネルギーミックスを補完するために不可欠の技術であると信じている



写真提供:Santos Ltd.

東南アジア：新興するCCSハブ

東南アジアは世界でも最も急速に成長している地域である。エネルギー需要は2000年から80%以上増加し、炭化水素燃料(石油、石炭、天然ガス)が70%を超えるエネルギーを供給している³¹。CCSを展開することにより、この地域に信頼できる、クリーンかつ低炭素電力を提供し、大規模な石油、天然ガスと製造セクターを脱炭素化できる。

中島俊朗

日本CCS調査株式会社
代表取締役社長(JCCS)



持続可能な開発目標(SDGs)の理念と脱炭素社会の実現のためには、省エネの推進や再生可能エネルギーの拡大のみならず、経済活動から排出される二酸化炭素を回収し貯留するCCSや、二酸化炭素を資源として活用するCCU・カーボンリサイクルを社会実装することへの期待は極めて大きなものとなっています。

日本CCS調査は、地球温暖化対策としてCCSを推進するわが国の方針に呼応して設立され、北海道苫小牧市におけるCCS実証試験に取り組んだ結果、目標とした二酸化炭素30万トンの海底下への貯留を2019年11月に無事達成し、「CCSが安全かつ安心できるシステムである」ことを確認しました。

弊社はこれまでに培ったCCSに関する技術やノウハウを活用しつつ、引き続き、その社会実装に向けた課題の解決に取り組むとともに、CCSにCCU・カーボンリサイクルを加えた我が国政府による地球温暖化対策の具現化に貢献し、日本から世界に向けて発信する役割を担い続けるべく、尽力してまいります。

日本CCS調査は、地球温暖化対策としてCCSを推進するわが国の方針に呼応して設立され、北海道苫小牧市におけるCCS実証試験に取り組んだ結果、目標とした二酸化炭素30万トンの海底下への貯留を2019年11月に無事達成し、「CCSが安全かつ安心できるシステムである」ことを確認しました

山下隆一

経済産業省(METI)
産業技術環境局長



IEAの予測によると、2060年までの累積CO2削減量の14%をCCSが担うことが期待されている。我が国でも、2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定し2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減という長期的目標を掲げている。この長期的目標の下で、CCSについては、将来の大幅な温室効果ガス排出削減に貢献する技術として位置付けている。また、今年1月には「革新的環境イノベーション戦略」を策定し、過去のストックベースでのCO2削減(ビヨンド・ゼロ)を可能とする技術確立を目指し、パリ協定長期戦略に掲げた目標に向けた社会実装を目指している。EUや英国においても、農業や運輸・産業など、排出ゼロが困難な分野もある中で、CCSをはじめとしたCO2削減技術はカーボンニュートラルには不可欠な技術とされている。

我が国では、CCS技術の実用化に向け、これまで北海道苫小牧市での大規模実証試験、CO2分離回収技術と安全管理技術の研究開発、貯留適地の調査にこれまで取り組んできた。特に苫小牧市での実証事業は、世界から注目されるプロジェクトとして2019年11月にはCO2の圧入量が累計で30万トンに到達し、地元関係者の皆様と連携しながら順調に進捗してきた。また広島県大崎上島では、石炭ガス化燃料電池複合発電の実証試験を実施している。CO2分離回収設備が2019年に完成し、同年度から本格的な実証事業が進められている。これらの成果を基にCCS技術の確立とコスト低減を図り、CCSの実用化に向けて着実に取り組んでまいりたい。

海外における取組に目を向ければ、特に経済成長の続くアジアでは、引き続き化石燃料の利用が見込まれ、CCUSは経済成長と脱炭素化を両立するために必須の技術であると考えられ、アジア域内でのCCUS発展の基礎とするため、技術、経験や知見を共有できる機会として、アジアCCUSネットワーク活動を推進していく。CO2排出を大規模に削減できる技術としてCCUSを実用化・商業化させていくことは、地球温暖化対策として日本のみならず世界的にも重要であるとともに、将来を見据えた産業戦略的な視点からも重要である。CCSの世界的な普及促進に取り組んでいるグローバルCCSインスティテュートの活動に敬意を表したい。

国内のプロジェクト 三川プロジェクト

三川プロジェクトは、火力発電所と本格的に統合され、発電後燃焼ガスから排出されるCO2の50%以上を回収できる、日本初のBECCS対応プロジェクトである。石炭からバイオマスに燃料転換された発電所にCO2回収設備が付設され、アミンの環境影響についても分析が行われた後、2020年半ばに運開、現在運転中である。

新しいCCS研究プロジェクト

北海道苫小牧市の精製所のCO2を再利用の研究の為、New Energy and Industrial Technology Development Organization (新エネルギーおよび産業技術開発組織、NEDO)により産業コンソシアムが選定された。本コンソシアムは回収されたCO2から製造されるメタノール(1日20トン)について調査する。水素は既存の苫小牧CCS施設にある精製所または水電解から調達する。CCU施設とCCS施設を統合することにより、両施設のCO2回収ユニットを共有し、相互操作性を拡大するというメリットがある。

国際的コラボレーション：技術の移転と融資補佐

日本はアジアパシフィック地域の多くの国々とのCCSに関するコラボレーションを支援している。下記には2つの新しい、重要なコラボレーションイニシアチブが挙げられている。

高濃度CO2ガス田に関する共同研究

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、PetronasとJX石油開発株式会社はCCSを備えた、高濃度CO2ガス田開発に関する共同研究を行うことに同意した。この研究では、天然ガス水素の製造と日本への輸出の可能性を検証する。JXとJOGMECは新しいエネルギーバリューチェーンを探索するために協力する。

インドネシアにおける二国間クレジット制度に関する研究

インドネシアのセクション(Gundihプロジェクト)で述べられているように、日本とインドネシア間でパートナーシップが結ばれ、JCMを大規模なCCS実証プロジェクトに応用することを検証する。このプロジェクトは、日本の高度な低炭素技術を実装することにより達成されるGHG削減を定量化する。

インド：遅れを取り戻すための加速化段階

インドでは、回収技術の開発とステークホルダーとの取り組みが主要なテーマである。開発銀行と国際クリーンエネルギーイニシアチブが資金を提供した、技術サポートプロジェクトは、CCSおよび脱炭素化におけるその役割について理解を構築するために役に立っている。

インドの製鉄とセメントセクターは、排出削減への目標を達成するために、積極的にCCSを取り入れ、Reliance Industries Limitedは、CCS技術をネットゼロへの取り組みの一部として開発する計画を発表した⁴⁰。

2020年9月、2050年までにネットゼロに近づけるための「産業憲章」が6つのインドの会社により同意された。ここではCCS等、様々な脱炭素化の手法を探索する⁴¹。

インドの科学・技術省は、CO2貯留研究について国家プログラムを確立し、8月には、CCSの研究、開発、パイロットと実証プロジェクトを支援案を公募した^{42,43}。これはAccelerating CCS Technologies (ACT) イニシアチブの一部であり、インドからの参加者を支援するために100万ユーロの支援を表明した。選択されるプロジェクトでは、3つ以上のACT諸国のパートナーを必要とし、2021年9月に開始予定である⁴⁴

二国間クレジット制度(JCM)

JCMはプロジェクトベースの二国間オフセットクレジット制度で、日本政府が行っている^{45,46}。JCMは適切な方法で定量的に日本のGHG削減貢献量または低炭素技術、製品、システム、サービスとインフラ設備の普及により削減した量を評価する。JCMは開発途上国においても、各国と協力し削減行動の援助を行い、日本における排出削減にも貢献する。

JCMの目標は以下の3点ある⁴⁷：

1. 先端的な低炭素技術、製品、システムとインフラ設備の普及を促進するだけでなく、削減活動を行い、開発途上国の持続可能な開発に貢献する。
2. 日本の温室効果ガス削減への貢献を、定量的に評価し、日本の排出量削減目標に貢献する。
3. 温室効果ガス削減への世界的活動を促進することによりUNFCCCの究極的な目標に貢献する。

今日まで、JCMは次の17ヶ国と結ばれている：インドネシア、ベトナム、ラオス人民民主共和、ミャンマー、タイ、カンボジア、フィリピン、モンゴル、バングラデッシュ、サウジアラビア、モルディブ、エチオピア、ケニア、コスタリカ、パラウ、メキシコ、チリ⁴⁶。



上：苫小牧CCS実証施設 写真提供：日本CCS調査株式会社
下：三川発電所 写真提供：東芝エネルギーシステムズ株式会社

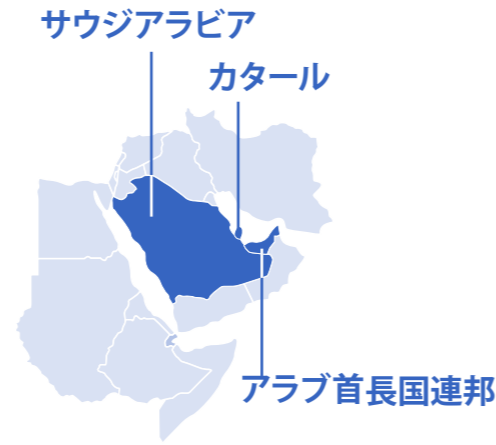
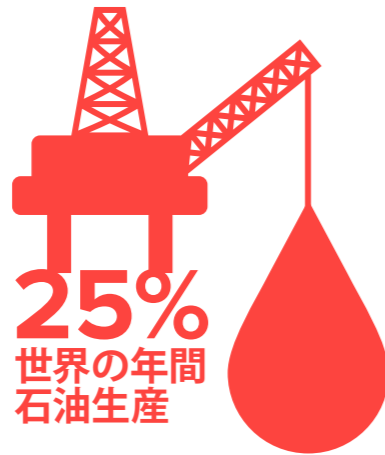
4.4 湾岸協力理事会(GCC)の国々

CCSの概要

この地域のCO₂排出量の4分の3がサウジアラビアとアラブ首長国連邦の二国からのものである。

この地域は世界人口の1%未満を占めるが、中近東は世界の年間石油生産の約25%を占めている。

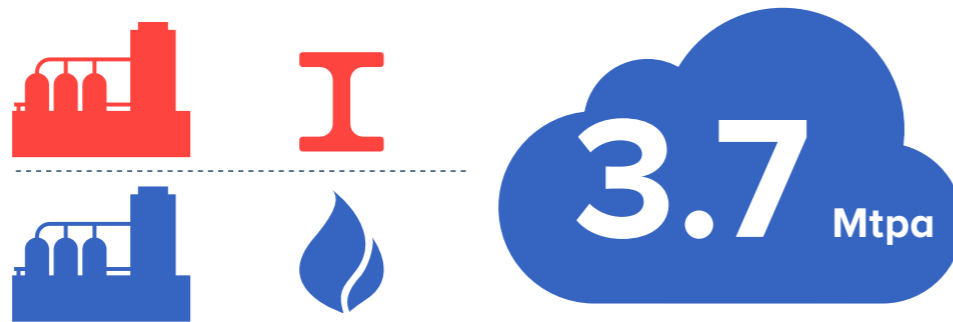
現在CCS活動は中近東の3か国- アラブ首長国連邦、サウジアラビアとカタールで行われている。



この地域は広大かつアクセス可能な地下貯留の可能性があり、その容量は5~30 Gギガトンである*

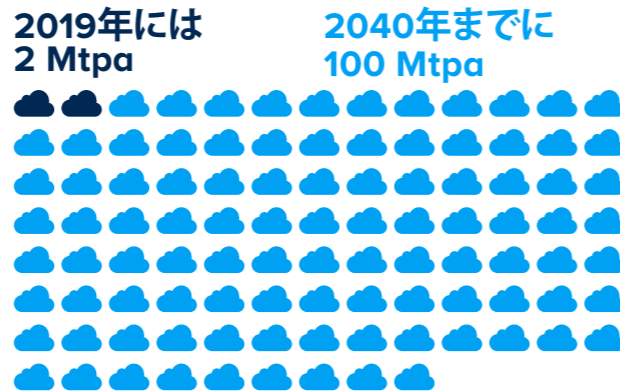
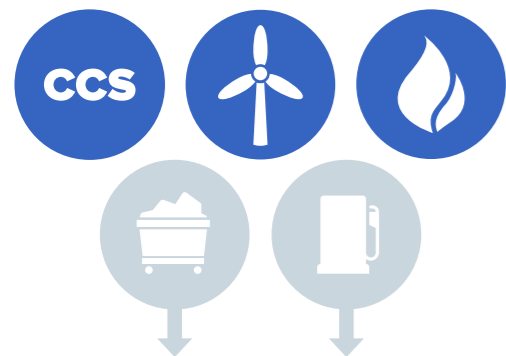
3つの操業段階の商用CCS施設：
天然ガス処理施設2箇所と製鉄施設1箇所

3.7 MtpaのCO₂を回収



CCSは、再生可能エネルギー、石油と石炭の天然ガスへの置き換え、そしてエネルギー効率の向上と共に、主要な国々の国家低炭素計画の重要な部分である。

この地域のCCSプロジェクト数の推定では、回収されるCO₂の量が2019年の2Mtpaから2040年には100Mtpaを超えることが予想される**



*中程度の確実性 ** 2019年6月にQamar Energyに委託された評価による

過去12ヶ月間、石油と天然ガスの価格の低下により生じた経済的課題に関わらず、湾岸協力理事会(GCC)の国々(サウジアラビア、クウェート、アラブ首長国連邦、カタール、バーレーンとオマーン)は世界の短期および、長期のCCS展望において、主要なステークホルダーである。世界人口の1%未満を占めるこれらの国々において、世界の年間石油生産は4分の1を占めている⁴⁸。ネットゼロを目指して、石油と天然ガスの需要が世界的に減少すると予想されている中、産業の多様化と脱炭素化へのフォーカスが高まり、GCCの全ての国々が、これを達成するための切実な戦略的目標がある。

政策

気候変動のための、活動への取り組みが加熱している。CCSは、再生可能エネルギー、石油と石炭の天然ガスへの置換、そしてエネルギー効率の向上と共に、主要な国々の、国家低炭素計画の重要な一部である。^{49;50;51} CCSはこの地域で開発された循環型炭素経済において、強力かつ中心的な役割を果たしている(下記囲み記事を参照)。EOR支援石油生産において天然ガスと置き換えるためにかなりの量のCO₂が必要になることも、CCSプロジェクトを推進する補完的要素となる⁵²。

中近東のCO₂排出量の約4分の3が、サウジアラビアとアラブ首長国連邦の二国からのものである⁴⁸。この国々は、ミッション・イノベーションに参画しており、クリーン・エネルギー大臣会合CCSイニシアチブにおいても活動を行っている。両国とも自国の経済を多様化および脱炭素化するための、野心的な国家戦略を示し^{50;53}明確にCCSの役割を述べたNDCをUNFCCCに提出した^{54;55}。サウジアラビア王国の国営石油会社は、さらにCO₂排出量を稼働段階から削減し、世界最小のカーボンフットプリントで石油を生産しているという主張を組み込み、改善していく^{56v}。

プロジェクト

現在CCSのプロジェクトはアラブ首長国連邦、サウジアラビアとカタールの3国で展開している。

- 約0.8 MtpaのCO₂がアブダビにあるEmirates製鉄所から回収されている。これはADNOC Al Reyadahプロジェクトの第一段階に当たる。
- 第二段階への計画が進行しており、Shahガス処理工場から2025年以降さらに2.3 Mtpaを回収し、以前同様EORに利用される。
- ADNOCの目標は、操業段階のCO₂の量を2030年までに25%削減することであり、計画では、Al Reyadahプロジェクトの第三段階を拡大し、さらに2 Mtpaをハブジャンとバブ・ガス処理施設から回収することが含まれている。
- Saudi AramcoのUthmaniyah石油生産では(ガワール油田の一部) Hawiyah Natural Gas Liquids (NGL)工場から回収された0.8 MtpaのCO₂を利用している⁵⁶
- Saudi Basic Industries Corporation(SABIC)のジュバイルにあるエチレン工場のCCS施設は、メタノールと尿素製造のために約0.5 Mtpaを回収する
- Qatar Fuel Additive Companyは、メタノール精製所で0.2 Mtpaを回収する
- Qatar Gasは2019年末にCCSをRas Laffanガス液化工場に追加することを発表した⁵⁷ - 初期回収率である2.1 Mtpaは2025年までに5 Mtpaに増えることが予想されている



上: Qatargas Ras Laffan LNG plant 写真提供: Qatar gas
上: Hawiyahガス工場、サウジアラビア 写真提供: Aramco

中近東GHG排出の特性において、見落としがちであるのは、発電所からの排出量が、石油とガス活動等の産業からの排出量より2倍以上という点である⁵⁸。脱炭素化計画は石炭と石油を天然ガス、風力および太陽発電との置換えが関与するため、通常は他国よりも、CCSが発電の分野で強力な役割を果たす可能性がある。

しかしながら、この地域の排出量や提示されている目標とは相対的に、実際のCCSの開発は限られたものであるが、エネルギー会社や産業においてかなりの数の実証が行われている事実がある。この地域のCCSプロジェクト数からの推定では、回収されるCO₂の量が2019年の2 Mtpaから2040年には、100 Mtpaを超えることが予想され、このような成長は、世界的なCCSの展開率とコストに大きなインパクトがあるはずである。

次の数年間は、中近東(特にアラブ首長国連邦とサウジアラビアにおいて)における、大きなCCSの展開が見られる可能性がある。この地域がCCSにとって重要な「世界的なホットスポット」に進化する可能性がある。地域における低炭素水素への興味が増すにつれ、大規模な地下貯留の可能性⁵⁹、豊富な天然ガス資源そして過剰な製造能力を持つ中近東は、発展しつつあるCCSの専門知識と立地を利用して、クリーン水素輸出産業を開発することができる。この地域の豊かなCCS関連の潜在的メリットは、注目に値するものである。

アダム・シミンスキー

アブドラ王石油研究・調査センター(KAPSARC)
会長
CSISエネルギー・セキュリティと気候変動プログラム
シニア・アドバイザー



再生可能エネルギーの展開とエネルギー効率という喜ばしい展開の中でも、CCS実施のためのインフラ設備を建設する多大なる努力を払う必要がある。それは、炭化水素燃料が未来における世界のエネルギーミックスにおいても重要な役割を果たす可能性が非常に高いからである。循環型炭素経済(CCE)は、CCSおよび直接空気回収(DAC)等でCO₂排出を管理するために、あらゆる機会を利用する方法に焦点を当てることにより、気候変動の課題を達成するために実用的な枠組を提供する。

GCC地域は、CCS貯留資源が多くあり、CCSを世界的にスケールアップする際に戦略的な役割を果たすことができる。この地域は石油と天然ガス資源とを組み合わせた、産業貯留クラスターを開発し、ブルー水素を製造するために理想的な場所である。この地域の比類のない太陽資源と十分なCO₂貯留資源は、DACの技術が成熟するにつれ、DACを展開する機会を提供する。

GCC地域は、CO₂貯留資源が多くあり、CCSを世界的にスケールアップする際に戦略的な役割を果たすことができる

レイラ・ベナーリー

アラブ石油投資会社(APICORP)
チーフ・エコノミスト



...CCUSが排出量を削減し、気候変動目標を達成するために必要不可欠な技術であることが、政策とエネルギー関係者において、明確な同意が示されている

近年、気候変動の認識が高まっている、そして最近では、今世紀半ばまでにネットゼロを達成する必要性に対する認識が高まっている。私が観察したことは、財政面からの気候変動そして排出削減活動への取り組みへのフォーカスが高まっていることである。

近年、気候変動への認識が広まり、高まっているだけでなく、CCUSが排出量を削減し、気候変動目標を達成するために必要不可欠な技術であることが、政策とエネルギー関係者の中で明確に同意されている。

CCUSの融資について考えるとき、我々は投資を刺激し、CCUSのビジネスケースを作り出すために必要な制度を設けるよう未来に向けて進む必要がある。我々は過去から学習したことから学び、既存技術のスケールアップを行い、これらを急速にCCUSに適用し、緊急に必要とされているレベルに展開する必要がある。

循環型炭素経済

循環型炭素経済の概念は、資源の最大継続利用を確実にすることによる、廃棄物をなくすための体系的な手段である。特定の適用方法のために多くの手法が開発された。

サウジアラビアのアブドラ王石油研究・調査センター(KAPSARC)は循環型炭素経済を開発し、王国の気候政策計画の状況を調べている⁶⁰。これは「四つのR」に基づいている。

- reduce (削減)
- re-use (再利用)
- recycle (リサイクル)
- remove (除去)

この枠組は、CO₂削減のあらゆる形式を認識および評価する。「削除」の項目は、CO₂を安全に除去、隔離および貯留する、CCS、DACおよび改善された土地管理等の選択肢である。

KAPSARCの取組みは、以下の三つの新しい区分が含まれる

- 生きている炭素(植物、土壌)
- 「一時的な炭素」(メタン、CO₂ガス等)
- 「耐久性のある炭素」(例 プラスチック)

4つのそれぞれのRは、炭素の3区分に対処するために最適な役割がある。軽減するためのヒエラルキーの最後にあるのが「除去」であるが、他の選択肢が実現できない場合にのみ使われ、特にCCSは他の選択肢の側、ネットゼロを達成するために必要不可欠とされている。

サウジアラビア王国は、循環型炭素経済(CCE)を、気候緩和への包括的アプローチを推し進めるための枠組として強力に推進している。KAPSARCはCCEガイド⁶¹の作成を取りまとめ、異なる技術やアプローチがどのように排出量を減らし、ネットゼロをサポートできるかを解説した。このガイドは2020年8月に公開され、非バイオ再生可能資源、原子力、CO₂の再利用、バイオエネルギー、CCS、水素とそれらを可能にする政策についての章がある。各章は、国際エネルギー機関、国際再生可能エネルギー機関、核エネルギー機関、グローバルCCSインスティテュートと、他経済協力・開発組織等の、各分野におけるの卓越した知見を持つ組織により執筆された。本報告書は2020年9月末のG20エネルギー大臣により承認され、環型炭素経済が「総体的、統合された、包括的かつ実用的なアプローチを提供し、その国の優先項目と状況を反映する」と述べている。

CCSフレームワークの開発は継続されており、Saudi Aramcoは、コロンビア大学のCenter for Global Energy Policyおよび、グローバルCCSインスティテュートと協力し、CCSフレームワークのために奨学金の開発および、それぞれの4つのRを基にした削減機会を定量化していく。

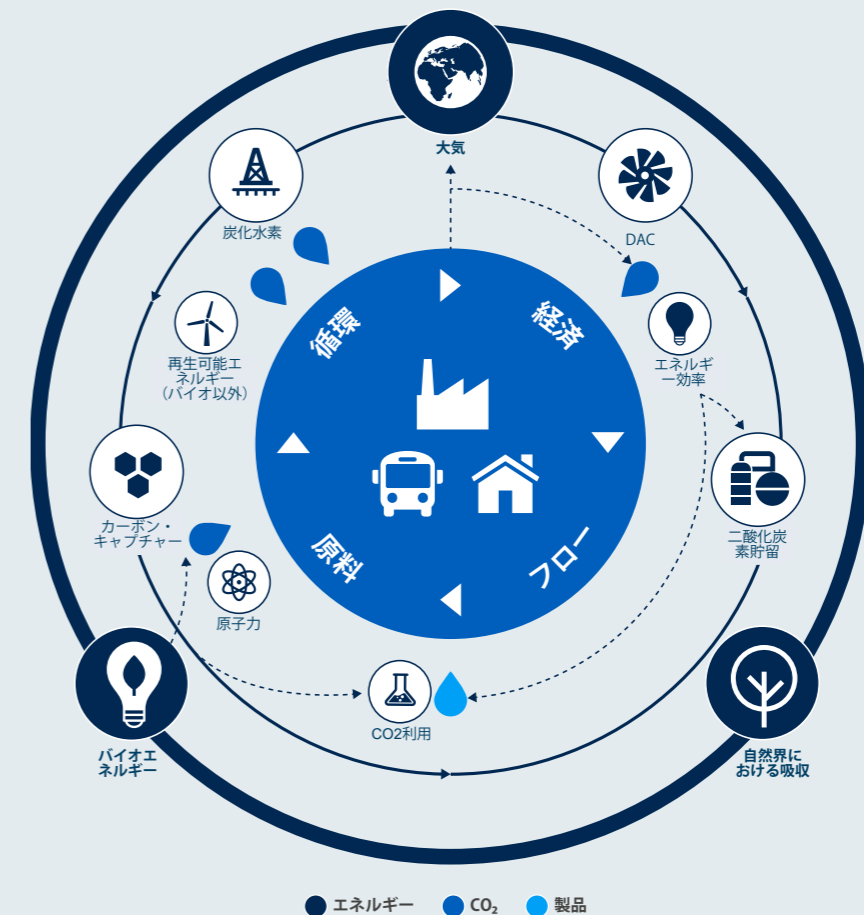


図13 循環型炭素経済の輪を閉じ、気候目標を達成する⁶⁰

CCSの開発： 技術と応用

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性
- 3.0 世界のCCSの動向2020年版
 - 3.1 CCSの世界的状況アップデートおよび傾向
 - 3.2 ポリシーと規制
 - 3.3 世界的な貯留状況に関する概要
- 4.0 地域概要
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門のCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表
- 7.0 参考文献

5.0 技術と応用

5.1 産業

5.1 産業

産業部門は年間80億トンのCO₂の直接排出、セメント、製鉄と化学部門がその内約70%程度を占めている。間接排出量が追加された場合、世界の人為的起因のCO₂排出量の40%近くを作り出している¹⁵。産業製品に対する需要は、少なくとも今世紀半ばまでは伸びる。これは、人口の20億人の増加による、食物、被服、自宅、輸送、娯楽の需要があるからだ。特に発展途上国において生活が豊かになり、何億人もの人々が初めて物品やサービスを買えるようになるだろう。

排出量を制限し、エネルギー効率を改善するための現在の各国のNDCを考慮すると、IEAは産業からの直接排出CO₂が、2060年までに年間80億から100億トンに増加すると予測している。パリ協定に沿った気候変動を達成するには、排出量は2060年までに4.7億トンまで削減する必要がある¹⁵。

毎年産業から排出されるおよそ19億トンのCO₂は、製造手順における化学反応の副産物である。このような「産業プロセスから生じた排出ガス」は従来の製造技術では回避できない。例えば、セメント製造の際に生じる65%の排出ガスは、炭酸カルシウム(石灰石)が酸化カルシウム(石灰)に変換された時に生じる。セメントを製造するにはCO₂で化学反応を起こす必要がある。CO₂が大量に排出される、他の産業プロセスの例としては、天然ガス処理、製鉄、アンモニア/尿素とバイオ燃料、そして化学製品、プラスチックや繊維を作り出す、様々な石油化学品の製造プロセスが挙げられる。

燃料の切替、エネルギー効率の向上、そして現在利用できる最善の技術と将来新たな特性が期待できる技術の展開等、排出量を削減するために複数のアプローチが必要である。多くの場合、排出量削減のために実現可能な唯一の選択肢は、CCSを利用して、製造後CO₂を除去することである。

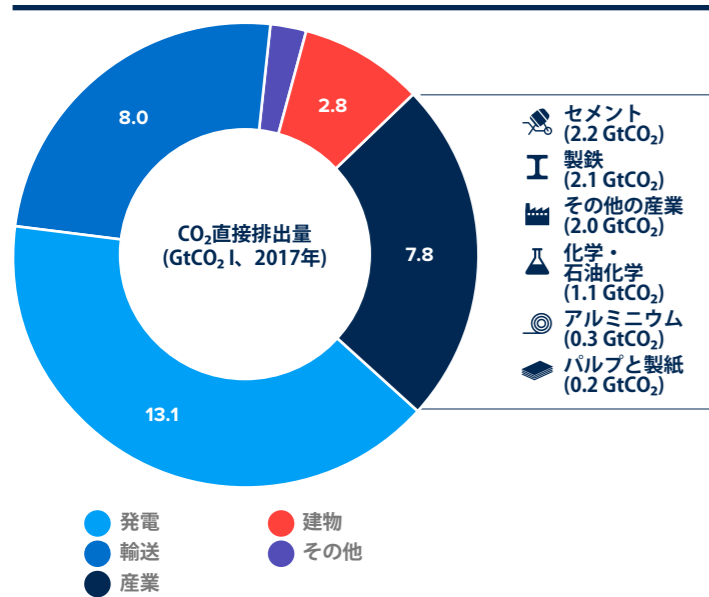


図14 セクターごとの世界的CO₂直接排出量¹⁴⁾

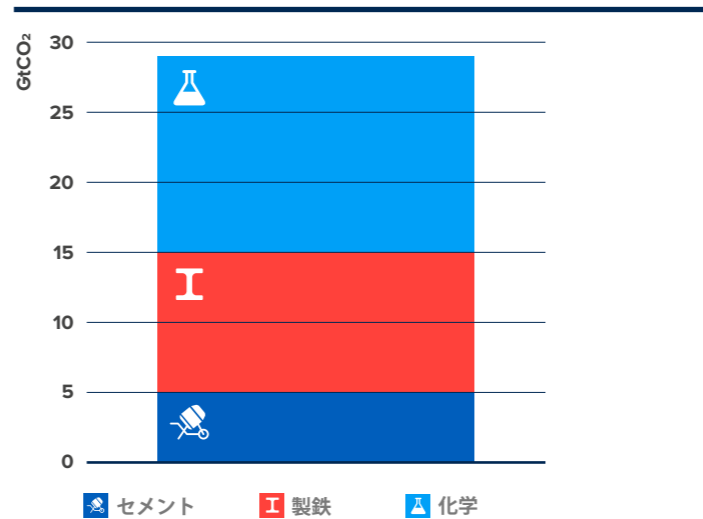


図15 2017年より2060年における、セメント、鉄鋼と化学製品セクターにおけるCCSの排出量削減への貢献¹⁴⁾

IEAの予測によると、CCSが2017年~2060年の間に、セメント、製鉄そして化学製品製造分野において、パリ協定に沿った気候変動目標を達成するには、290億トン削減する必要がある。CCSは特に化学産業に適用することができる。ほぼ純粋なCO₂流を作り出す、複数の化学製品製造工程があるため、回収にかかるコストが非常に低く、2060年までに140億トンの削減が可能である。

セメント

従来のセメント製造は、炭酸塩、通常石灰石(CaCO₃)を回転炉の中で高温に晒すことで行われる。高温は焼成を促進し、炭酸カルシウム(CaO)とCO₂を作り出す。さらに、反応を推進するために必要な熱を発生させるために、石炭や天然ガス等の燃料の燃焼により、CO₂がさらに発生する。炭酸カルシウムは、ポルトランドセメントの主要な原料であり、世界の建設業界のために重要である。

熱がバイオジェニックあるいは、その他の低排出燃料源からであっても、セメント製造時の焼成からの排出は、通常およそ50%である⁶⁴。これは酸化カルシウムを作り出す反応が、前提となっているからである。セメント産業は世界CO₂排出量の約8%を作り出し、⁶⁵焼成からの排出はおよそ4%である。セメントの代わりになるものはあるが、展開は遅い。そのため、セメント産業からの排出に対応することは、ネットゼロ排出の世界にとって必要不可欠である。

セメント炉からの煙道ガスはCCSに適している。典型的なCO₂濃度は14~33%であり⁶⁴、従来の石炭火力燃焼より高い。CO₂の純度が高いため、回収のためにエネルギーをあまり要さない。逆に、セメント粉塵等の汚染物を除去するためにはかなりのプロセスが必要である。

NORCEM CCS PROJECT

6月には、HeidelbergCementのノルウェーの子会社であるNorcemがAker Solutionsと契約を結び、ノルウェーのBrevikセメント工場からCO₂を回収することになった⁶⁴。独自の溶剤ベースのCO₂回収工場を取り付け、セメント炉から煙道ガスを回収する。

Heidelbergは酸素燃焼セメント炉も開発している。炉で空気の代わりに純水素を使うことにより、煙道ガスの窒素が除去され、CO₂濃度が70%以上になる⁶⁴。CO₂濃度が高いと、下流でのCO₂の回収のエネルギー効率が向上し、煙道ガスの容量が大幅に減り、資本コストが大幅に減る。

PROJECT LEILAC – (低排出石灰とセメント)。

2020年初め、オーストラリアの会社であるCalixがLEILACプロジェクトにおける、独自の焼成反応技術のトライアルを行うことで契約を結んだ。これにより、第一段階におけるパイロット工場が4倍に拡大されることになる。セメント技術における大きな前進を意味し、このセクターにおける排出量の削減を目指す。

従来のセメントおよび石灰製造のための回転炉では、燃焼用空気を利用して燃料が高温で燃焼される。この過程で残された窒素が、焼成から作られたCO₂とミックスする。窒素はCO₂の純度を低下させ、CO₂の回収にかかるエネルギーとコストを高める。

Calixの技術は、焼成から作られたCO₂を熱源から物理的に分離する。原料が内部の反応チューブに流れ込み、独立した加熱炉または電気加熱源により外部から加熱される。焼成過程から発生したCO₂は、熱を提供するために利用された燃焼から生じた、空気や窒素と常に分離されている。その結果、Calixの焼成炉からのCO₂は乾燥しており、そのまま回収することができ、ほとんど純粋である。図16は反応炉の仕組みを示す。

Calix反応炉は再生可能電力で加熱、あるいはバイオ燃料で燃焼することができ、低排出の熱を提供できるため、工場全体の排出量がほぼゼロになる。もう一つの利点は、Calixの焼成炉は通常のセメント工場に組み込むことができ、残りの施設はそのままよい。このため、世界のセメント工場に後付けするために適している。

製鉄

製鉄産業は世界CO₂排出量の約7%を作り出している⁶⁵。鉄鋼の再利用、エネルギー効率プログラム、化石燃料を水素に置き換えるための初期段階等、排出量を削減するためにかなりの努力がなされている。GHG排出量の大部分は、CCSを利用して対処できる。

アブダビのEmirates製鉄所は、2016年以来、溶剤をベースにしたCCS施設を操業している。CO₂は石炭または天然ガスから作られ、それがDRI(直接還元鉄)ユニットにおいて還元剤となり、鉄鉱石を製鉄で使うための元素鉄に変換する。Emirates製鉄所は、年間およそ0.8 MtトンのCO₂を回収し、EORのためにパイプラインで輸送する。

他のプロジェクトでは、製鉄の基本的な工程を変更し、CO₂削減を促進しようとしている。Tata Steelが運営している、Hisarnaプロセスは、エネルギー効率を上げ、製鉄の多大な排出量を削減するだけでなく、CO₂濃度を高めるための新しい技術である。これにより、回収がより簡単になる。



ベルギーのLEILAC/パイロット工場におけるCalix高品質焼成反応炉
写真提供: Calix

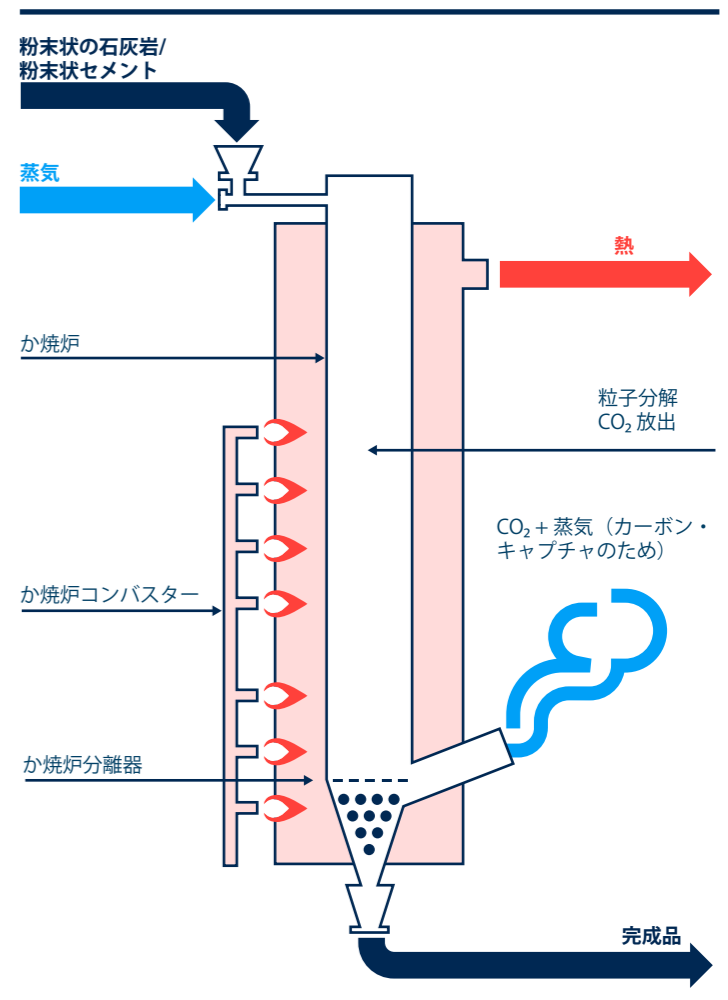


図16 CALIX社の高性能焼成リアクター、詳細図
情報源: Calix提供

イーティン・スン博士

常任メンバー
中国環境科学学会
気候投資と財政協会



中国は、2030年以前にCO₂排出量のピークを迎え、2060年以前にカーボンニュートラル達成を目指している。CCSは、この野心的な気候変動へのターゲットの達成を促進するための、拡大可能な解決策として受け入れられている。化石燃料エネルギーに依存している産業セクターにおいて、気候変動のリスクを上手に管理することができる者が、CCS技術が商業的に利用可能になった時に、CCSを展開するための財政と規制上の支援がある。着実に成長しているCCS技術は、投資により前進することができる。大手石油、製鉄会社等は、このようなチャンスにすでに対応しており、CCSの開発に投資している。有利な政策、高度な技術と投資の拡大が展開のための条件を可能にし、中国ではCCSの明るい未来が期待されている。

有利な政策、高度な技術と投資の拡大が展開のための条件を可能にし、中国ではCCSの明るい未来が期待されている

5.2 水素

近年、水素は世界的エネルギーの傾向の中で、最も話題になっているエネルギーの一つである。電気のようなエネルギーのキャリアであり、一次または二次エネルギー源から製造される。

水素は電気の科学的双子とみなされることがある。水素が利用されると、電気同様、GHGゼロである。そして、電気同様、水素の製造は、エンドユーザーから上流での排出を発生させることがある。そのため、この21世紀の必需品のサプライチェーンは慎重に開発される必要がある。

現在では利用が限られているが、費用効果の優れた、低排出水素はかなりの将来性がある。電池の使用が実用的ではない、重量がある、長距離輸送車両（トラック、バス）で利用されている炭化水素ベースの燃料を置換える際に重要な役割を果たすことが見込まれている。そのほとんどが現在天然ガスと石炭が作り出している、高温産業用熱の脱炭素化という大きい課題を解決するために役立つだろう。また、発電の際の貯留媒体となり、一部は従来の天然ガス供給の添加剤にも使われるだろう。

水素の製造と市場

2020年には、純水素の生産は7千万tに達し、（合成ガスを含む）水素全体の量は1億2千万tであった⁶⁶。その多くは石油精製所と化学製品の製造に利用された。

現行の水素の98%が石炭（ガス化で）および天然ガスの水蒸気改質（SMR）で製造されている。排出量を削減しない場合、両工程とも大量のCO₂を排出する。両工程ともCCSを使ってCO₂の排出量を経済的に削減するために適している。極少量（0.3%）が再生可能エネルギーを電源とした、水の電解から製造されている。

図17は今日の水素製造方法の割合を示す。

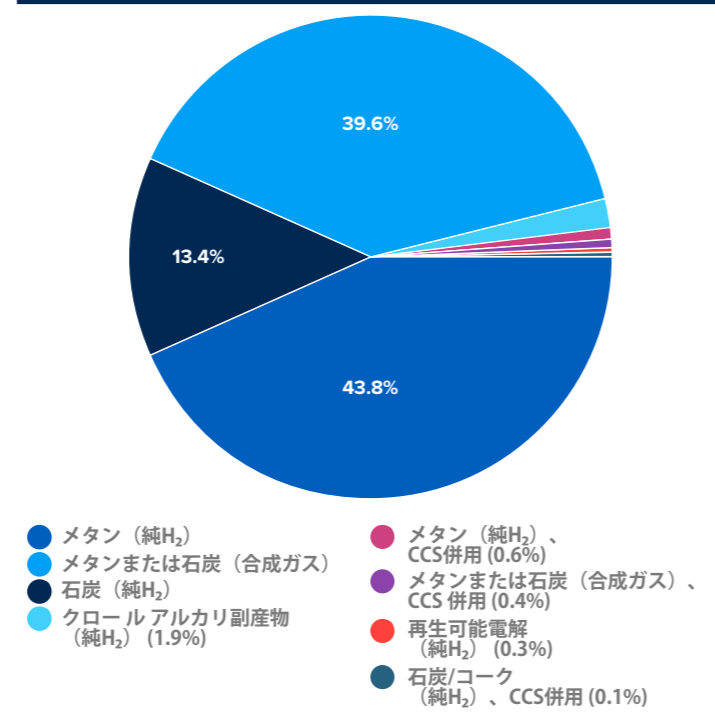


図17 異なる排出源と工程による水素の製造の世界のシェア⁶⁷

水素1キロ当たりの全てのコスト (米ドル)	専用再生可能電力供給	それ以外の場合は削減される再生可能電力供給	CCSを併用した水蒸気メタン改質	CCSを併用した黒炭ガス化
CSIRO 2018	\$7.70	\$18.20	\$1.80	\$2.00
IEA2019	\$3.75	-	\$2.00	\$2.00
IRENA 2019	\$4.10	-	\$2.50	\$2.00
Hydrogen Council 2020	\$6.00	-	\$2.10	\$2.00
上記報告書からの単純な平均コスト	\$5.40	\$18.20	\$2.10	\$2.00

表3 様々な低排出経路からの水素製造のためのコスト概要⁶⁸

低排出水素の製造

水素の製造には、3つの主要な経路がある。

- ・ 天然ガス改質
- ・ 石炭またはコークのガス化
- ・ 水の電解（つまり水の分割）

信頼できる情報筋からの水素のコスト^{67,68,69,70}の概要が、表3に示されている。これらは推定に過ぎず、慎重に取り扱う必要がある。各コスト予測の基盤（予測される設備稼働率と燃料のコスト）は報告書によって違っており、報告書内でコストの範囲が示されているケースもある。例えば、表中のIEAが示す数値は、世界の異なる所在地におけるコストの平均をとったものである。

CCS装備の石炭ガス化と水蒸気改質（SMR）の経路は、再生可能エネルギーからの電解よりかなりコストが低い。IRENAによると、再生可能エネルギーをベースにした水素は、2050年までにはSMRやCCSを用いた石炭ガス化と価格的に競争力を持つことが予測されている⁷⁰。2050年までにネットゼロを達成するためのプレッシャーの中、大幅な軽減がない、天然ガスと石炭ベースの水素製造業が存在する状況において、大規模な低排出水素に移行するために、多くの新しいCCS施設や、後付け施設の展開が必要である。

水素生産のために必要な、重要な低排出経路は、CCSと組み合わせたSMRである。世界において、CCSを伴った、産業規模のSMR水素施設は4つあり、毎年およそ、80万tの低炭素水素を製造している⁷¹。これらのうち、CCS施設を備えたSMRは、Air Productsのポートアーサーのテキサス水素工場であり、これは2つのトレーンがあるSMR施設で、改質器からのCO₂を真空スイング吸収法を使って回収する⁷²。この工場は年間およそ100万tのCO₂の回収が可能で、EORのためにCO₂を供給している。

CCS併用の石炭ガス化は、排出量が低い、水素の大量生産に適した、実証済みの技術である。3つの施設がCCSを利用して石炭、コークまたはアスファルテン（コークと類似）から水素を製造、総計容量は年間およそ60万tの水素である。世界最大の水素工場は、アメリカのノースダコタ州にある、Great Plains Synfuel⁷³であり、褐炭のガス化により一日1,300トンの水素を製造している。この施設は、1988年以来水素を生産しており、2000年以来CO₂を回収している。年間およそ300万tがEOR用にカナダのサスカチワンに輸送されている。



Air ProductsのPort Arthur Texas工場
写真提供: Air Products and Chemicals, Inc.

Port ArthurやGreat Plains Synfuel等の施設は、CCSを利用した低排出水素の大規模製造が、経済的にも技術的にもすでに可能であることを示している。

低排出水素への需要拡大

世界のGHG排出量削減のために、化石燃料と置換し、水素が有意義な貢献をするために、非常に大量の水素を製造する必要がある。低排出水素の年間需要は、2050年までに5億3千万tに伸びる可能性があり、年間CO₂排出量は6億トン削減される⁷³。しかしながら、このような削減は、ネットゼロに近い工程を使って水素が製造された場合にのみ可能である。現在、水素製造の07%未満が再生可能エネルギー（電解による）と、CCS併用の化石燃料工場によるものである¹⁵。

5.0 技術と応用

5.2 水素

CCSを適用した水素製造

水蒸気改質(SMR)は成熟した技術である。水素はメタンと高温の蒸気による反応で製造され、水性ガスシフト反応炉により、一酸化炭素と蒸気がさらに多くの水素に変換される。下記の図18は、SMR水素工場の典型的な工程図を示す。

CO₂はSMR工場の3箇所所で回収できる。

- ・ 高圧でのシフト合成ガスから(1)
- ・ 低圧排ガスから(2)
- ・ SMRユニットに熱を提供するために燃焼している燃料からの煙道ガスから(3)

Port Arthur施設はシフト合成ガスからCO₂を回収し(1)、回収にかかるコストを最小化するために、高濃度、高圧のCO₂を利用する。

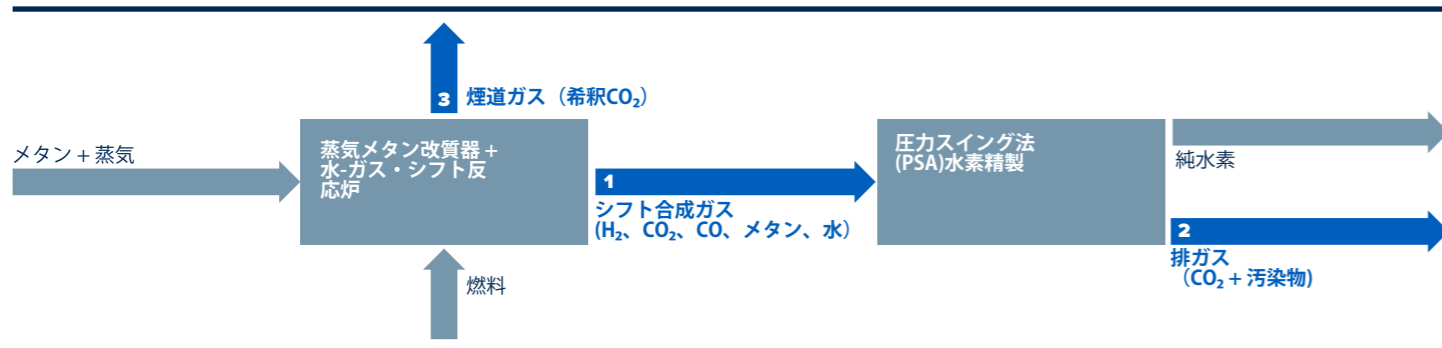


図18 SMRベースの水素工場のブロックフロー図

水素を製造するために再生可能エネルギーを利用する排出削減にかかるコスト

再生可能エネルギーのほとんどが電力を作り出す。この電力は、送電網の化石燃料発電と直接置き換えることができる。代わりに再生可能エネルギーを利用して、水素を製造するために水の電解を行った場合、再生可能電力を作り出す水素を、化石燃料発電から発生する排出と置き換えることができないため、削減のためにコストがかかる。

通常、SMRのCO₂排出の40%が煙道ガスから生じる(3)。CO₂が希薄かつ低圧のため、回収にかかるコストが増える。従来の燃焼後スタイルの技術で達成できる。

水素を製造するための石炭のガス化は、ガス化装置の反応炉で起きる。石炭は限られた酸素の中で高温になり、一酸化炭素と水素を作り出す「熱分解反応」を引き起こす。シフト反応炉は一酸化炭素をCO₂に変換し、次にさらに処理と水素分離が行われ、高純度のCO₂が製造される。

高圧で運用されているガス化装置では、CO₂が高圧であることは、明確な利点となる。圧力の大部分がすでにガス化装置に提供されているので、下流圧縮装置を運用するコストが削減される。

図19の分析は、送電網において再生可能電力を直接利用する場合と、再生可能エネルギーを利用した電解水素が天然ガス燃焼と置き換わる場合の可能な削減量を示す。^{ix}

再生可能エネルギーを送電網の化石燃料発電に置き換えた場合、再生可能エネルギーでグリーン水素を作り、天然ガスの燃焼と置き換えた場合に比べて、削減メリットが3-8倍である。最も効果的で強力な方法は、天然ガスまたは石炭とCCSを用いて水素を製造し、再生可能エネルギーを送電網のために保存することである。

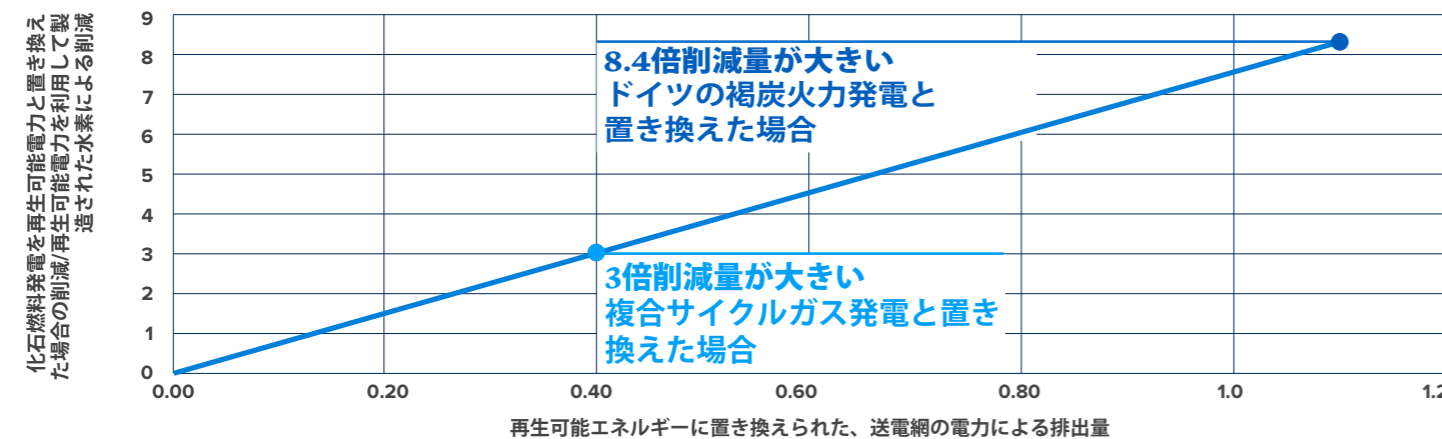


図19 再生可能電力を利用して化石燃料による発電を置き換える方が、水素を製造するために利用する再生可能電力より削減量がかなり大きい

水素が天然ガスの燃焼に置き換わるものとする

5.0 技術と応用

5.3 天然ガス

5.3 天然ガス

今年、世界天然ガス市場は唯一かつ市場最大のショックを受けた。コロナ禍は世界中で需要を大幅に抑え、天然ガスの需要成長の4%減少が予想されている⁷⁴。しかしながら、需要は回復し、2020年に比べて、2025年までには14%まで回復する見込みである⁷⁵。特にアジアにおける一次エネルギー需要の伸び、そして北米において(ヨーロッパにおいても多少)ガスが石炭に置き換えられているため、2025年以降も成長し続ける見込みである。

石炭からガスに切り替えることにより、CO₂を実際に使用する場所では、排出量が半減するが、処理施設におけるエネルギーの使用とガスの製造方法により、ガスの製造と処理プロセスにはかなりの排出が伴う。天然ガスの原料は通常CO₂が含まれ、時に大量である。天然ガスを販売する前にこれを除去する必要があり、通常大気に放出される。約150 Mtpaの高純度CO₂が世界中のガス処理工場から放出されている⁷⁶。

このCO₂は高純度のため、通常脱水するだけで、圧縮して、貯留できる。そのため、回収貯留にかかるコストが低く、1トン当たり20~25米ドルである⁷⁷。工場がCO₂圧入サイトに近く(50 km以内)、かつ貯留が陸上の場合、圧縮、輸送そして貯留には1トン当たり15~20米ドルかかることが見込まれる。

CCSなしの場合、天然ガスの製造から発生するCO₂排出が、ガスへの需要が増えるにつれ、増加し続けることになる。さらに、一般的な傾向として、より高濃度のCO₂が存在するといわれる。従来の貯留層からガスを製造することで、天然ガス生産の排出濃度が上がるだろう。この排出ガスを軽減する唯一の方法がCCSである。

オーストラリアは、天然ガスの製造・処理から生じる排出量の増大とそれを軽減するためのCCSの役割について、優れた事例となっている。オーストラリアからの液化天然ガス(LNG)の輸出は2014年の23.9 Mtから2015年には77.1Mtに増加し、オーストラリアの石油・ガスセクターにおいて、不必要な排出量が2倍になった(17.4MtCO_{2e}から33.7MtCO_{2e})。これは図20に示されている⁷⁸。

オーストラリアのChevron Gorgon LNG工場にCCS施設が2019年8月に操業開始した。排出量へのインパクトは、図20の2019年12月四半期に明確に現れている。四半期ごとに更新される、オーストラリアのGHG目録において、オーストラリア政府は以下で排出量の削減が見られたことを述べている。

「...2019年12月四半期にガス総生産量が5.4%削減されたことにより...12月四半期におけるGorgonプロジェクトでの地下CO₂圧入量が増加したことも、漏洩排出量削減に起因した。」⁷⁹

一年間で3.4~4 MtのCO₂圧入を行う、Gorgon CCS施設は、オーストラリアのガス産業のために、莫大な削減に貢献しているプロジェクトである。現在、世界でも最大規模で操業されているCCS施設の一つである⁸⁰。Gorgonのような施設は、排出量ゼロを達成するために、世界中のガスの製造に必要となるだろう。

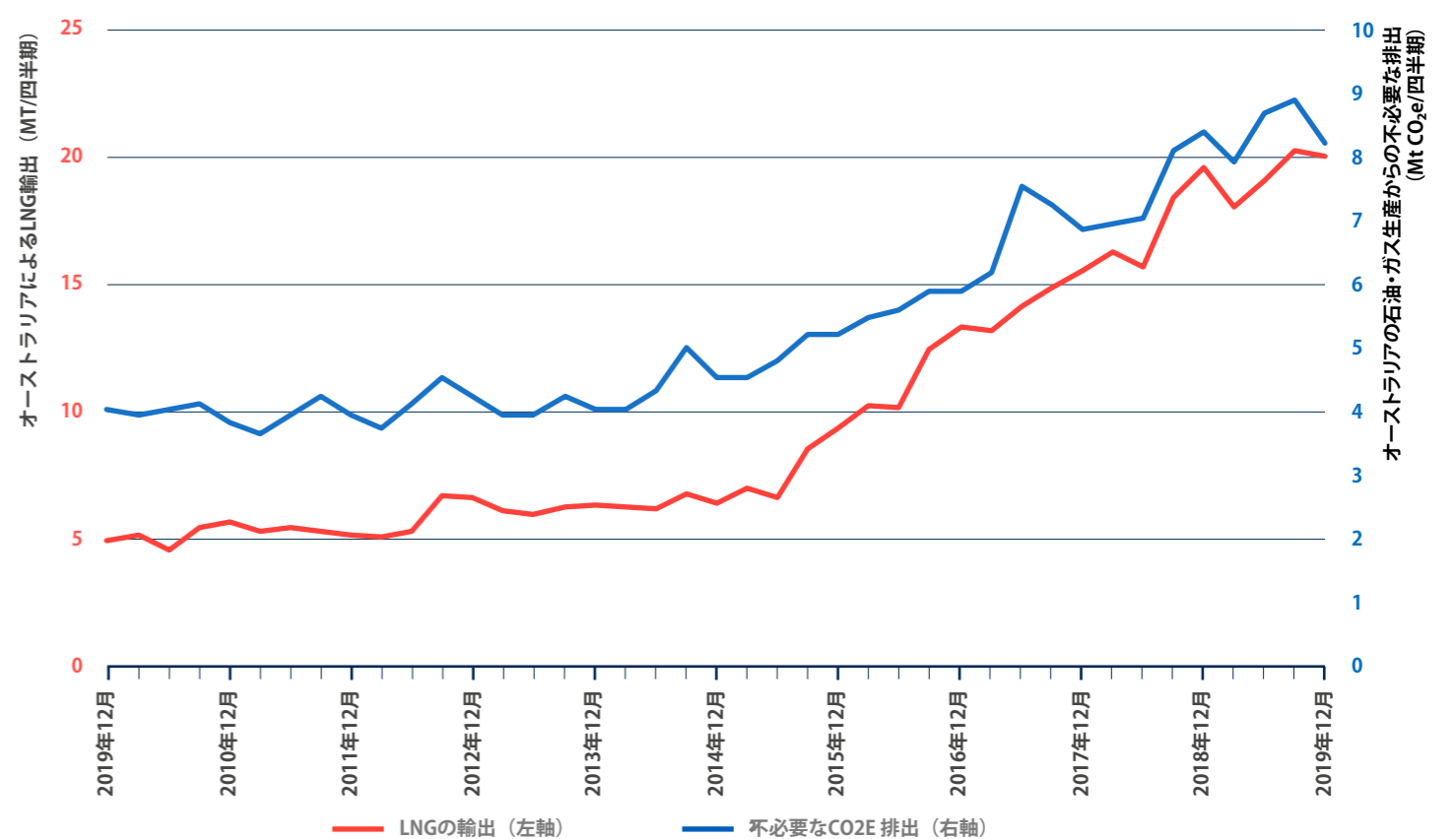


図20 オーストラリアのLNG輸出とオーストラリアにおける石油・ガス生産からの不必要な排出

5.4 発電部門におけるCCS

発電の際にCO₂を急速に除去することは、ネットゼロ排出を達成するために、必要不可欠である。発電は世界のCO₂排出量のおよそ三分の一に値する。すでに世界中で最大のCO₂排出源である、電力の需要は、今後も大幅に増加することが予想されている。

そのため、CCSが装備された発電所は、未来の低炭素送電網に、復原力と信頼性をもたらす。CCSが装備されているフレキシブルな発電所は、出力調整可能で、低炭素電力を供給するだけでなく、慣性、周波数管理および電圧管理等、送電システムを安定化するサービスも提供する。これは水力発電以外の、再生可能発電では提供できない。CCSは間欠性再生可能エネルギーの展開を補完する。

CCSは、世界の既存化石燃料由来の発電施設からの排出量を減らすためにも必要である。世界には、約2000 GWの操業中の石炭火力発電があり、2030年までに500GWを超える新たな回収量が発生する。また200Gtを超える新たな回収量を発生する施設が建設中である。一部の石炭火力とガス火力発電施設は、早期に操業停止となるが、ガス火力施設の平均耐用年数はアジアで19年、そして石炭火力施設はわずか12年である⁷⁵。また数十年の経済的耐用年数があり、CCSの後付けまたは早期操業停止がない限り、石炭火力とガス火力発電所（操業段階と建設段階）は2050年までにIEAの持続可能な開発シナリオ(SDS)のカーボン・パジェットの9%を消費するCO₂を排出し続けることになる。排出量ゼロを達成することは不可能になるだろう。

化石燃料由来発電施設にCCSを後付けすることは、場合によっては費用効果が優れている選択肢となる。中国、インドそして東南アジアの国々等、石炭に大幅に依存している経済が、既存の施設を使いながら、低炭素経済に公正に移行することができる。

ALLAM-FETVEDTサイクルは、CCSの併用なしで低排出、低コストの電力を石炭またはガスから作り出す有望な方法である。

Allam-Fetvedtサイクルは、CO₂の回収能力が備わっている、革新的な天然ガス（または石炭のガス化からの合成ガス）火力発電技術である。酸素燃焼を行い、作動液として製造されたCO₂を利用する。つまり、CO₂回収、圧縮そして脱水だけでなく、NO_xとSO_xの除去も内蔵している^{81,82}。

この技術は、今日ある従来の天然ガス複合サイクルより約22%高い、均等化発電原価で、97%のCO₂を回収することができる⁸¹。価格プレミアムは2050年までに10%未満になることが予想される。

本質的には、Allam-Fetvedtサイクルは、従来の発電所で利用されている蒸気の代わりに、超臨界（高圧・高温）のCO₂で稼働する、特殊タービンをを使う。

この技術は、CO₂の回収装置を追加することなく、そのままパイプラインに送ることができるCO₂を作り出す。NET Power LLCは現在、Allam-Fetvedtサイクルを天然ガス産業で商品化している。そして8 Rivers Capitalはノース・ダコタ州とミネソタ州で産業共同体を先導し、Allam-Fetvedtサイクルを石炭/バイオマス/ガソリン・コークガス化からの合成ガスに適用する。Allam-Fetvedtサイクル工場のほとんど全ての部分が、タービンとコンバスターを除いて、商業的に入手できる。東芝は、テキサスのガス火力パイロット・プロジェクトで利用するために、ハイブリッドのタービンとコンバスターを開発、製造および供給した。

8 Rivers CapitalはAllam-Fetvedtサイクルと8Rivers水素技術を利用して、天然ガス原料で電力とH₂を共同生産する予定である。8 Rivers Capitalは現在、ニュージーランドのRuakaiでCCS併用の統合電力、水素、肥料工場の設計研究を完成するところである⁸³。



テキサス、ラ・ポートのNET Powerのパイロット・プロジェクト
写真提供: NET Power

作動流体として超臨界CO₂を使った、最初のAllam-Fetvedtサイクルは、2013年に5MWサーマルスケールでテストされた。2018年3月、Net Powerはテキサスのヒューストン近くにある、50 MWサーマルで、このタイプでは初めての天然ガス火力Allam-Fetvedtサイクル発電所を起動することに成功したことを発表した。現在、商業規模の303MW Allam-Fetvedtサイクル天然ガス工場の設計が進行している。2020年6月に、M.Dermottは英国の複数の所在地にAllam-Fetvedt サイクル発電施設を展開する可能性について概念設計（pre-FEED）が行われていることを発表した⁸⁴。

CCSを利用したバイオマスエネルギー(BECCS)

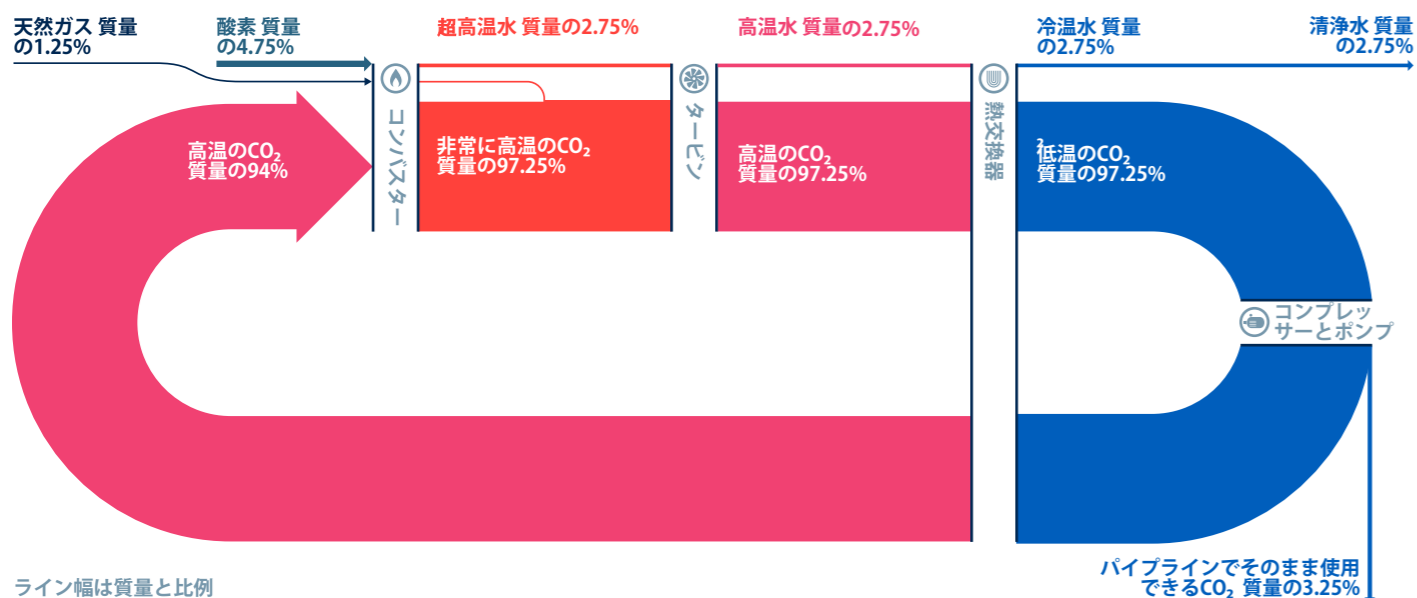
BECCSの原則は、バイオマスを栽培し、エネルギーのために使うことである。バイオマスは光合成から作られる、あるいは光合成由来し、大気中のCO₂を吸収する。次にそのバイオマスが燃料に加工される。燃料が燃焼されると、燃料の素材である炭素から、いわゆる「有機物から発生した」CO₂が作られる。有機物から発生したCO₂は通常、多くのGHG報告制度において、排出量ゼロとしてみなされる。

そのため、有機物から発生したCO₂が回収・貯留されると、大気からのCO₂が実質的に削減される。次のページにある図22は燃料処理と燃料利用からのCO₂を回収している、BECCSのプロセスの一例を説明している。

有機物から発生したCO₂は燃料処理（例えばバイオエタノールを製造するために、発酵時に発生するCO₂）と燃料の利用（バイオ燃料を直接燃焼することによるCO₂）から製造することができる。エタノールの場合、非常に高濃度のCO₂を回収することができる。

世界のBECCS施設の多くは、エタノール施設から発生する発酵時のCO₂の回収が関与する。このCO₂は高純度かつ通常、脱水するだけで、圧縮して、輸送・貯留できる。そのため回収のためには、非常に低コストのCO₂源となる。

アメリカのイリノイにある産業CCS施設は、操業段階のBECCS工場の優れた手本である。大規模なDecaturエタノール工場のもろこしからエタノールを製造する際の副産物として製造されたCO₂が、圧縮され、近くの地下貯留に保存される。この施設におけるCCSの容量は年間1Mtである。



5.5 ネガティブ・エミッション技術

「ネットゼロ」という未来のシナリオのために世界的に取り組みが見られるが、このために重大な経済的、技術的課題が出る。

人類の多くの産業、エネルギーそして農業システムは、大気中のGHGの実質増加をもたらす。原子力、水力、CCS併用の化石燃料発電、風力と太陽発電等の低排出技術も、ライフサイクルGHG排出量には、実質プラスとなる。ネットゼロを達成するには、排出量削減技術を展開するだけでなく、低排出およびネットゼロのエネルギー源を展開する必要がある。ネガティブエミッションとは、大気からCO₂を実質的に取り除く活動であることを意味する。主要な2つの排出削減技術には、BECCSとDACsがある。

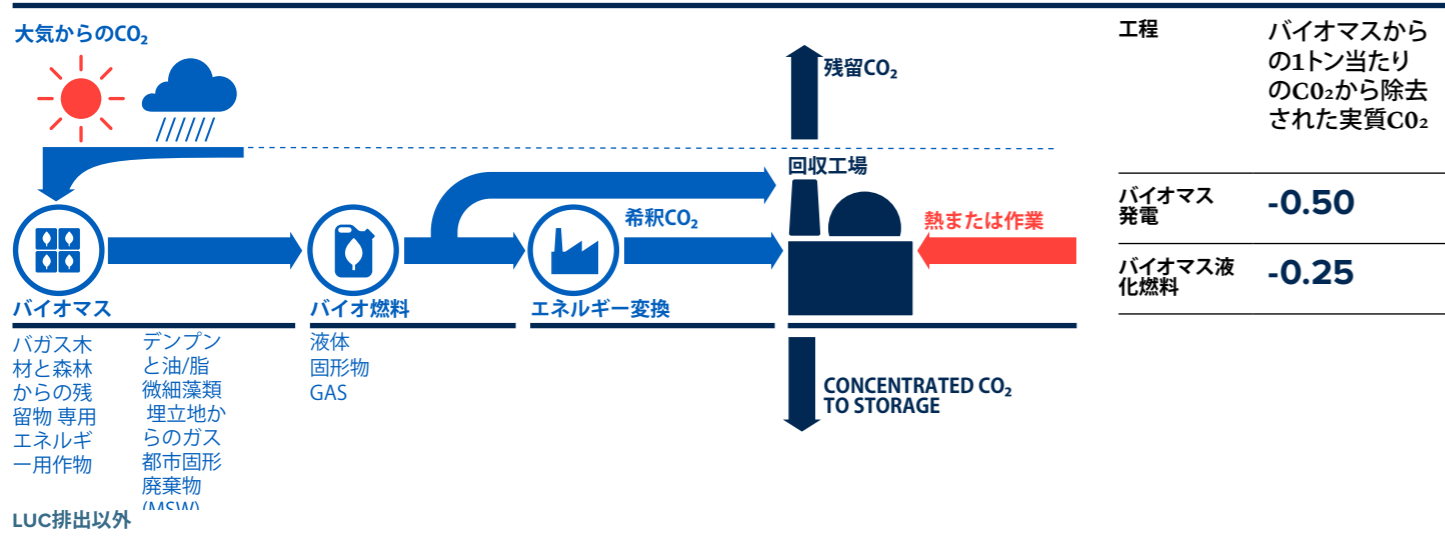


図22 BECCS工程

廃棄物発電(WtE)施設は、BECCSのための潜在的成長領域である。この施設は、分類された自治体の固形廃棄物を熱電力発電と低位熱源として近隣の家庭や事業のための燃料として使っている。入ってくる廃棄物ベースの燃料の大部分が有機物から発生したものであり、これには紙、段ボール、生ゴミと庭の植物からの切り落としが含まれる。化石燃料を原料とする廃棄物（つまりプラスチック）から発生するCO₂より多くのものを回収貯留できれば、工場の総排出量がネガティブになる。すると、その工場はGHGの実質削減となり、役に立つ熱と電力の調達源として、限りある埋立地への負担を減らすことができる。

数千もの発電施設が世界中で操業を行っている。その多くは中程度の規模であり、CCSの展開が増加するためには、小規模回収工場の経済性が重要となる（セクション5.6 CCSのイノベーションの「モジュラー化」参照）。

オランダのTwence 廃棄物発電施設で、重要なCCSプロジェクトが進行中である。Aker社のJust CatchモジュラーCO₂回収設備を使って、CO₂が煙道ガスから回収される（下記の56の図を参照）。回収工場の回収容量は年間100,000トンであり、2021年に操業開始予定である⁸⁵。



Twence廃棄物発電施設における、パイロットCO₂回収・利用工場写真提供: Twence

二酸化炭素直接空気回収貯留(DACCS)

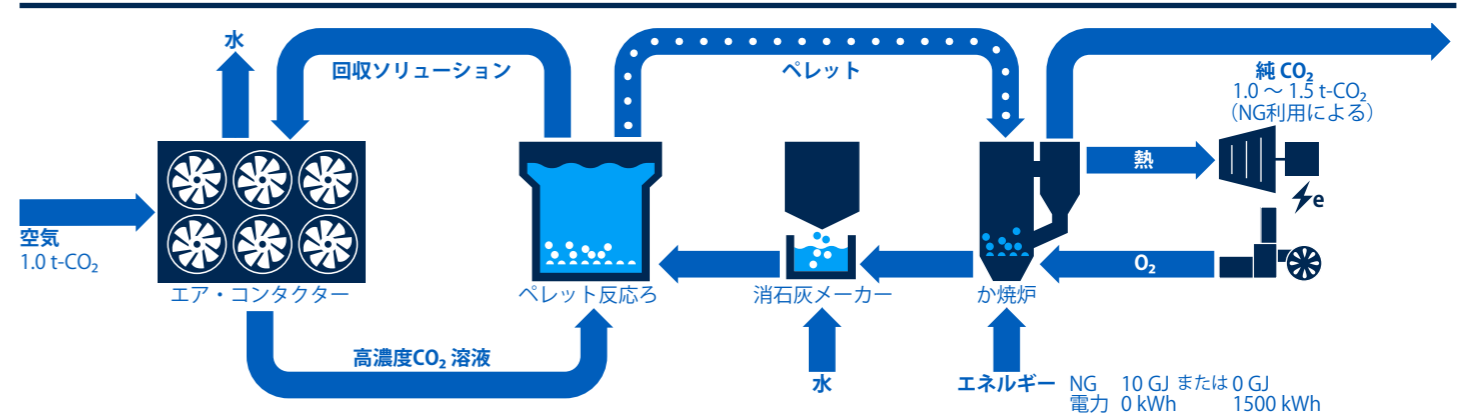
BECCSと異なり、DACCS施設はCO₂を直接大気から抽出する。これにはいくつかの重要な利点が伴う。

- 回収工場は貯留地と同じところに配置することができ、輸送コストが削減される
- 工場は風が強いところに展開することができるため、ファンの運用が削減される
- 工場は再生可能エネルギーにアクセスできる場所に配置することができる

大気中のCO₂を回収することは、大気中のCO₂が400 ppmという大変希薄な状態であるため、他の資源から回収するよりも難しい。これは、ガス火力発電所のCO₂濃度の1%に過ぎない。このような低レベルのCO₂を濃縮化するために必要なエネルギーは、濃縮された原料のために必要なエネルギーよりかなり多い。



Carbon Engineering社の直接空気回収システムエア・コンタクターとか焼炉(左) 写真提供: Carbon Engineering Ltd



CEの直接空気回収工程、主要なユニット作業（エア・コンタクター、ペレット反応器、消石灰メーカーとか焼炉）を表示、併せて、大気CO₂を回収、浄化、圧縮

図23 CARBON ENGINEERINGの直接空気回収と貯留技術

Carbon Engineering of CanadaはDAC技術を開発し、これは液化水酸化カリウム(KOH)溶液を使って、大気中のCO₂を吸収する。化学反応によりCO₂が炭酸塩として捉えられる。この炭酸塩はペレットとして抽出され、か焼きされ（CO₂を分離するために加熱）純CO₂を放出する。この工程を推進するエネルギーは、再生可能エネルギーもしくは天然ガスの燃焼から提供される。天然ガスが利用された場合、燃焼時のCO₂は工程中に回収・貯留され、実質ネガティブ・エミッションになる。工場は電気またはガスの組み合わせで操業がフレキシブルである。上記の図23は、Carbon Engineering工程の仕組みである⁸⁶。

Carbon Engineeringは、設計分析に基づいて、地層貯留等を含め、回収コストが1トン当たり150米ドルに過ぎないと主張している⁷。このコストは大規模展開を想定している（年間1 Mt容量）。

Occidentalの子会社である、Oxy Low-Carbon Venturesは、1PointFiveという新しい事業を発表した。その計画は、Carbon Engineeringの工程を用いて、商業規模のDAC工場を建設することである⁸⁸。



現在CEと1PointFiveが設計段階の世界最大のDAC工場予想図を垣間見る写真提供: Carbon Engineering Ltd

スイスのClimeworksとアメリカのGlobal Thermostatは、DACへのアプローチが異なる。その技術は、流入する空気からCO₂を吸収する、独自の固形吸収素材に依存している。吸収材がCO₂で飽和状態になったら、加熱されCO₂の脱離が引き起こされる。これは気温変動吸収(TSA)工程の一種である。TSAは長い間業界で利用されているが、DACでの応用は初めてである。このTSA工程は、大気からかなりの量の水も回収するため、清浄水と言う役に立つ副産物が生じる。

Climeworksは大気からCO₂を回収する、複数の小規模商業施設を操業開始した。

- 温室のためにCO₂を提供（化石燃料ベースのCO₂と置き換え）
- 地熱発電所の還元水と貯留する
- 電力を合成排出量ゼロメタンに変換する

Global Thermostatは容量が年間CO₂ 4000トンのパイロット工場を技術を実証し、現在ExxonMobilとパートナーとなり、規模を拡大する予定である。

5.6 CCSのイノベーション

モジュラー化

全ての産業技術同様、CCSの単価は規模の経済の影響をかなり受ける。つまり、CCSの回収容量（年間トン）が増えるにつれ、回収にかかるコストが下がる。規模の経済は、毎年大量のCO₂が回収可能な、ガス処理工場等の大規模な活用が有利である。しかしながら、全てのセクターがこのような量のCO₂を作り出すわけではない。

CCSの成長と広がり、小規模のためコストが大幅に上がることなく、小規模でも操業できる、より経済的なCO₂回収工場への需要を増やしている。ここで、モジュラー化が登場するのである。モジュラー工場は、大量生産技術を用いて、標準化された方法で建設される。通常、現場から離れた、専用施設で製造され、個別のモジュラー化されたコンポーネントとして配達される（輸送用コンテナが頻繁に利用される）。

モジュラーシステムは、工場で製造することで規模の経済が増すことにより、運用の規模の経済が小さいことを相殺することができる。モジュラーなCO₂回収工場は以下により、さらにコストを削減できる。

- ・ 工場の基盤が標準化されている
- ・ すべての設計図を含めて、工場の設計が標準化されている
- ・ リモート操作、あるいは自動化された操業
- ・ モジュラーパッケージにより、現場での建設に要する時間とコストが大幅に削減

世界の排出量の大部分が、より規模が小さい施設（パルプ製紙工場、廃棄物発電施設、より規模が小さいガス火力発電所等）から発生したものである。モジュラー設備により、このようにより小規模な工場で、経済的にCO₂の回収ができる。

ノルウェーの会社であるAker Carbon Captureのモジュラー製品である「Just Catch」は、年間40,000トンと年間100,000トンと言う2つの標準化されたCO₂回収容量がある。この吸収材ベースのシステムは、Aker Carbon Capture社のより成熟された回収工場と同じ工程とS26アミン溶媒を使用する。Aker Carbon CaptureはオランダのTwence廃棄物発電工場で、最初のJust Catchシステムを供給する契約を結び、2021年後半に届けられる予定である。

CO₂回収工場のモジュラー化とコンテナ化と言う傾向は、CCS技術セクターで広がっている。三菱重工業は、現場外のコンテナで機器の多くを事前に組み立てることにより、建設にかかる時間とコストの削減ができる「モジュラー建設」の利点について述べている⁸⁹。

小規模の回収工場は、CCSハブとして統合され、複数のCO₂源から回収されたCO₂をまとめ、圧縮、輸送、貯留する。モジュラー化により、小規模のCO₂源も経済的に回収できるようになり、近隣のハブの規模を拡大することにより、CCSのさらなる開発を支援するだろう。

金属有機構造体

吸収材ベースのシステム（CO₂が固形物の表面に結合する）は、CO₂回収とその他の産業ガス分離への応用のために長い間利用されている。吸着固形物は通常、粒子状で製造され、この粒子が敷き詰められている容器で吸着が行われる。

金属有機構造体(MOF)は構造化された結晶化合物で、高度に調節可能な吸着特性があり、改良された吸収材ベースのCO₂回収処理には有望な候補となる。多くのMOFは極小規模または研究室規模で作られるため、⁹⁰ 産業展開のために大量生産することが次の課題である。

CO₂回収技術会社であるSvante (旧Iventys) は、独自のMOF吸収剤をロータリー気温変動吸収処理で使用するためにテストユニットを開発している。これは、Svanteで進行中のCO₂MENTプロジェクトの一部となり、カナダ、リッチモンドにあるLafarge Cement工場でのCO₂回収・利用を実証する。

高品質の吸収材

吸収液ベースのCO₂回収システムは、拡大するCCS産業に大きく貢献する。従来のモノエタノールアミン(MEA)と関連する化合物が開発され、天然ガスからCO₂と硫化水素を除去していた。しかし、このアミンベースの吸収材にはいくつかの問題がある。

- ・ アミン粒子が酸素、煙道ガスのSO_xとNO_xと反応するため、そして溶剤除去液において熱的破壊が生じることにより化学劣化が生じるため、劣化が主要な課題である。劣化は、安全に廃棄する必要がある廃物溶液が作り出されるため、コストが追加される。そして継続的に新しい溶液を買う必要があることを意味する。
- ・ MEAおよび同様な吸収液は、煙道ガスからCO₂を吸収することに優れているが、再利用するためにCO₂を液体から強制的に取り出すために多大な熱エネルギーを要する。
- ・ MEAを利用した回収工場では、腐食が問題になることもある。

MEA吸収液の全ての欠点またはその一部に対処する高品質溶液が現在開発段階である。

- ・ 英国をベースにした Carbon Clean Solutions Ltd (CCSI)は、改良された吸収処理と共に、APBSと言う独自の溶液を開発した。これはMEAをベースにしたシステムに比べて、必要な熱と電力負荷が20~40%少ない。この溶液は、高品質アミン、アルコール、ピペラジン化合物のブレンドを組み合わせている。CCSLのテストによると、MEAに比べて溶液の劣化ははるかに少ない⁹¹。
- ・ 日本の三菱重工業も石炭火力発電所と化学薬品製造（尿素）等に応用するため、CO₂回収用に吸収液技術を開発している。そして工業用途である、独自のヒンダード・アミンである「KS-1」を商業展開した。KS-1は新しいものではない。1990年に最初に開発されたが、産業規模で展開することで、CO₂の回収が一步前進する。

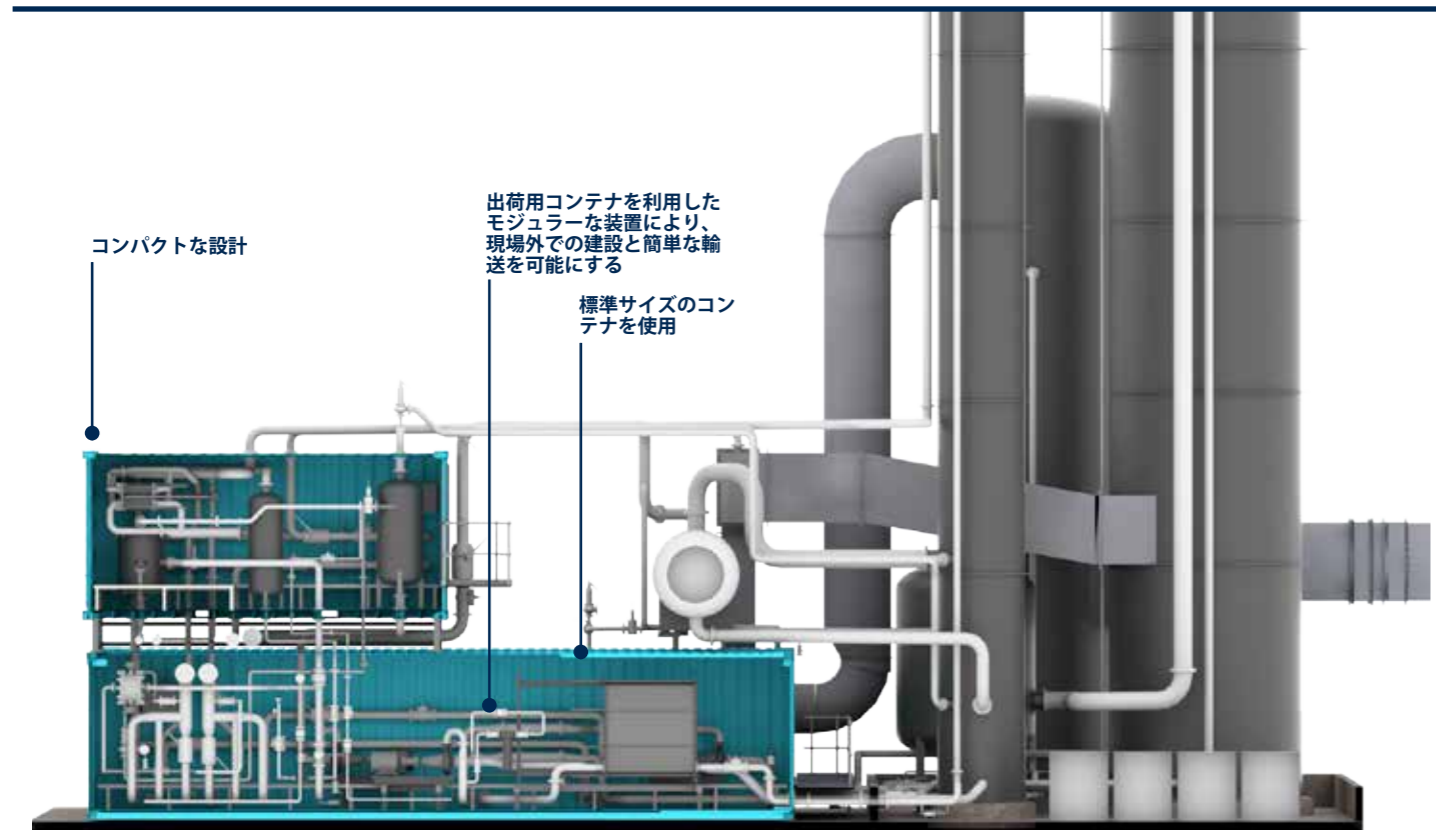


図24 AKER社の「JUST CATCH」モジュラーCO₂回収システム写真提供: Aker Solutions



別表

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性
- 3.0 世界のCCSの動向2020年版
 - 3.1 CCSの世界的状況アップデートおよび傾向
 - 3.2 ポリシーと規制
 - 3.3 世界的な貯留状況に関する概要
- 4.0 地域概要
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門のCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表
- 7.0 参考文献

6.1 操業段階の商業施設

施設名称	状況	国	操業年	産業	回収容量 (Mtpa) (最大値)	回収タイプ	貯留タイプ
Terrell Natural Gas Processing Plant (formerly Val Verde Natural Gas Plants)	操業中	米国	1972	天然ガス処理	0.40	工業分離	EOR
Enid Fertilizer	操業中	米国	1982	肥料製造	0.20	工業分離	EOR
Shute Creek Gas Processing Plant	操業中	米国	1986	天然ガス処理	7.00	工業分離	EOR
Sleipner CO ₂ Storage	操業中	ノルウェー	1996	天然ガス処理	1.00	工業分離	純粋地層貯留
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	操業中	米国	2000	合成天然ガス	3.00	工業分離	EOR
Core Energy CO ₂ -EOR	操業中	米国	2003	天然ガス処理	0.35	工業分離	EOR
Sinopec Zhongyuan Carbon Capture Utilisation and Storage	操業中	中国	2006	化学品製造	0.12	工業分離	EOR
Snøhvit CO ₂ Storage	操業中	ノルウェー	2008	天然ガス処理	0.70	工業分離	純粋地層貯留
Arkalon CO ₂ Compression Facility	操業中	米国	2009	エタノール製造	0.29	工業分離	EOR
Century Plant	操業中	米国	2010	天然ガス処理	5.00	工業分離	EORおよび、 地層貯留
Bonanza BioEnergy CCUS EOR	操業中	米国	2012	エタノール製造	0.10	工業分離	EOR
PCS Nitrogen	操業中	米国	2013	肥料製造	0.30	工業分離	EOR
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS	操業中	ブラジル	2013	天然ガス処理	4.60	工業分離	EOR
Lost Cabin Gas Plant	操業休止中	米国	2013	天然ガス処理	0.90	工業分離	EOR
Coffeyville Gasification Plant	操業中	米国	2013	肥料製造	1.00	工業分離	EOR
Air Products Steam Methane Reformer	操業中	米国	2013	水素製造	1.00	工業分離	EOR
Boundary Dam Carbon Capture and Storage	操業中	カナダ	2014	発電	1.00	燃焼後回収	EOR
Uthmaniyah CO ₂ -EOR Demonstration	操業中	サウジアラビア	2015	天然ガス処理	0.80	工業分離	EOR
Quest	操業中	カナダ	2015	水素製造、オイルサンドアップグレード	1.20	工業分離	純粋地層貯留
Karamay Dunhua Oil Technology CCUS EOR	操業中	中国	2015	化学品製造 (メタノール)	0.10	工業分離	EOR
Abu Dhabi CCS (Phase 1 being Emirates Steel Industries)	操業中	アラブ首長国連邦	2016	鉄鋼	0.80	工業分離	EOR

施設名称	状況	国	操業年	産業	回収容量 (Mtpa) (最大)	回収タイプ	貯留タイプ
Petra Nova Carbon Capture	操業休止中	米国	2017	発電	1.40	燃焼後回収	EOR
Illinois Industrial Carbon Capture and Storage	操業中	米国	2017	エタノール製造 - エタノール工場	1.00	工業分離	純粋地層貯留
CNPC Jilin Oil Field CO ₂ EOR	操業中	中国	2018	天然ガス処理	0.60	工業分離	EOR
Gorgon Carbon Dioxide Injection	操業中	豪州	2019	天然ガス処理	4.00	工業分離	純粋地層貯留
Qatar LNG CCS	操業中	カタール	2019	天然ガス処理	2.10	工業分離	純粋地層貯留
Alberta Carbon Trunk Line (ACTL) with Nutrien CO ₂ Stream	操業中	カナダ	2020	肥料製造	0.30	工業分離	EOR
Alberta Carbon Trunk Line (ACTL) with North West Redwater Partnership's Sturgeon Refinery CO ₂ Stream	操業中	カナダ	2020	石油精製	1.40	工業分離	EOR

6.2 商用CCS施設：建設段階、開発後期段階、開発早期段階

施設名称	状況	国	操業年/時期	産業	回収容量 (Mtpa) (最大)	回収タイプ	貯留タイプ
Yanchang Integrated Carbon Capture and Storage Demonstration	建設段階	中国	2020年代へ 延期	化学品製造	0.41	工業分離	EOR
Sinopec Shengli Power Plant CCS	開発早期	中国	2020年代	発電	1.00	燃焼後回収	EOR
Acorn Scalable CCS Development	開発早期	英国	2020年代 中期	石油精製	4.00	工業分離	純粋地層貯留
Korea-CCS 1 & 2	開発早期	韓国	2020年代	発電 (石炭火力)	1.00	評価中	純粋地層貯留
Sinopec Qilu Petrochemical CCS	建設段階	中国	2020-2021	化学品製造	0.40	工業分離	EOR
Project Interseqt - Hereford Ethanol Plant	開発早期	米国	2021	エタノール製造	0.30	工業分離	純粋地層貯留
Project Interseqt - Plainview Ethanol Plant	開発早期	米国	2021	エタノール製造	0.33	工業分離	純粋地層貯留
Wabash CO ₂ Sequestration	開発後期	米国	2022	肥料製造	1.75	工業分離	純粋地層貯留
San Juan Generating Station Carbon Capture	開発後期	米国	2023	発電	6.00	燃焼後回収	EOR
Santos Cooper Basin CCS Project	開発後期	豪州	2023	天然ガス処理	1.70	工業分離	純粋地層貯留
Fortum Oslo Varme - Langskip	開発後期	ノルウェー	2023-2024	廃棄物燃焼	0.40	燃焼後回収	純粋地層貯留
Brevik Norcem - Langskip	開発後期	ノルウェー	2023-2024	セメント製造	0.40	工業分離	純粋地層貯留
Hydrogen 2 Magnum (H2M)	開発早期	オランダ	2024	発電	2.00	工業分離	純粋地層貯留
Project Pouakai Hydrogen Production with CCS	開発早期	ニュージーランド	2024	水素製造および、発電	1.00	工業分離	評価中
Caledonia Clean Energy	開発早期	英国	2024	熱と輸送のために、水素を同時に生産する可能性をもつ発電	3.00	燃焼後回収	純粋地層貯留
Cal Capture	開発後期	米国	2024	発電	1.40	燃焼後回収	EOR
Velocys' Bayou Fuels Negative Emission Project	開発早期	米国	2024	化学品製造	0.50	工業分離	純粋地層貯留
OXY and Carbon Engineering Direct Air Capture and EOR Facility	開発早期	米国	2020年代 中期	空気 (DAC)	1.00	工業分離	EOR
LafargeHolcim Cement Carbon capture	開発早期	米国	2020年代 中期	セメント製造	0.72	工業分離	評価中
HyNet North West	開発早期	英国	2020年代 中期	水素製造	1.50	工業分離	純粋地層貯留

施設名称	状況	国	操業年/時期	産業	回収容量 (Mtpa) (最大)	回収タイプ	貯留タイプ
Gerald Gentleman Station Carbon Capture	開発後期	米国	2020年代 中期	発電	3.80	燃焼後回収	評価中
Mustang Station of Golden Spread Electric Cooperative Carbon Capture	開発後期	米国	2020年代 中期	発電	1.50	燃焼後回収	評価中
Prairie State Generating Station Carbon Capture	開発後期	米国	2020年代 中期	発電	6.00	燃焼後回収	純粋地層貯留
Plant Daniel Carbon Capture	開発後期	米国	2020年代 中期	発電	1.80	燃焼後回収	純粋地層貯留
Lake Charles Methanol	開発後期	米国	2025	化学品製造	4.00	工業分離	純粋地層貯留
Dry Fork Integrated Commercial Carbon Capture and Storage (CCS)	開発早期	米国	2025	発電	3.00	燃焼後回収	純粋地層貯留
Net Zero Teesside - CCGT Facility	開発早期	英国	2025	発電	6.00	燃焼後回収	純粋地層貯留
Abu Dhabi CCS Phase 2: Natural gas processing plant	開発後期	アラブ 首長国連邦	2025	天然ガス処理	2.30	工業分離	EOR
Red Trail Energy BECCS Project	開発早期	米国	2025	エタノール製造	0.18	工業分離	純粋地層貯留
The Illinois Clean Fuels Project	開発早期	米国	2025	化学品製造	2.70	工業分離	純粋地層貯留
Clean Energy Systems Carbon Negative Energy Plant - Central Valley	開発早期	米国	2025	発電	0.32	酸素燃焼回収	評価中
Project Tundra	開発後期	米国	2025-2026	発電	3.60	燃焼後回収	純粋地層貯留
Northern Gas Network H21 North of England	開発早期	英国	2026	水素製造	1.50	工業分離	純粋地層貯留
Hydrogen to Humber Saltend	開発早期	英国	2026-2027	水素製造	1.40	工業分離	純粋地層貯留
Drax BECCS Project	開発早期	英国	2027	発電	4.00	工業分離	純粋地層貯留
Ervia Cork CCS	開発早期	アイルランド	2028	発電および、石油精製	2.50	工業分離	純粋地層貯留
The ZEROS Project	建設段階	米国	2020年代 後期	発電 (廃棄物燃焼)	1.50	酸素燃焼回収	EOR



参考文献

- 1.0 序文
- 2.0 CCSの必要性
- 3.0 世界のCCSの動向2020年版
 - 3.1 世界のCCS施設の最新情報および傾向
 - 3.2 ポリシーと規制
 - 3.3 世界的貯留の概要
- 4.0 地域の概要
 - 4.1 南北アメリカ
 - 4.2 ヨーロッパ
 - 4.3 アジア太平洋
 - 4.4 湾岸協力理事会
- 5.0 技術と応用
 - 5.1 産業
 - 5.2 水素
 - 5.3 天然ガス
 - 5.4 発電部門のCCS
 - 5.5 ネガティブ・エミッション技術
 - 5.6 CCSのイノベーション
- 6.0 別表
- 7.0 参考文献

7.0 参考文献

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
2. International Energy Agency. (2019a). *World Energy Outlook 2019. Flagship Report*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
3. Townsend, A., Raji, N., & Zapantis, A. (2020). *The value of carbon capture and storage (CCS). Thought Leadership*, 23. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/the-value-of-carbon-capture-ccs/>
4. Global CCS Institute. (2019). *The Global Status of CCS Report 2019*.
5. Santos. (2020). Santos and BP Enter Non-Binding Agreement On Moomba Carbon Capture and Storage Project. Santos Website. <https://www.santos.com/news/santos-and-bp-enter-non-binding-agreement-on-moomba-carbon-capture-and-storage-project/>
6. ACTL. (2020). The ACTL System. <https://actl.ca/actl-project/about-actl/>
7. Macdonald-Smith, A. (2020, February 15). Chevron injects one millionth tonne of carbon at Gorgon. *Australian Financial Review*. <https://www.afr.com/policy/energy-and-climate/chevron-injects-one-millionth-tonne-of-carbon-at-gorgon-20200214-p540xv#:~:text=Chevron has passed a milestone,storage project to full capacity.>
8. Global CCS Institute. (2020). *CO2RE database - facilities report*. www.co2re.co
9. Gassnova. (2020). *The CCS chain*. <https://ccsnorway.com/full-scale-capture-transport-and-storage/>
10. Carbon Pricing Leadership Coalition. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*.
11. IEA/UNIDO. (2011). *CCS in Industry Technology Roadmap*.
12. Tamme, E., & Scowcroft, J. (2020). *The Role of CCS in the Paris Agreement and its Article 6*. April. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/05/Article-6-and-CCS-GCCSI-April-2020-final.pdf>
13. Beck, L. (2020). The US Section 45Q Tax Credit for Carbon Oxide Sequestration: An Update.
14. United States Internal Revenue Service. (2020). Credit for Carbon Oxide Sequestration. <https://www.irs.gov/pub/irs-drop/reg-112339-19.pdf>
15. International Energy Agency. (2019b). *Transforming Industry through CCUS*.
16. International Energy Agency. (2019c). *The Role of CO2 Storage*.
17. US DoE/NETL. (2015). *Carbon Storage Atlas*.
18. The Crown Estate. (2020). <http://www.CO2stored.co.uk/home/index.CO2stored>
19. United States Department of Energy (2020), sources:
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/fe/articles/us-department-energy-announces-nearly-15-million-carbon-dioxide-utilization-projects> [Date:7Jan.2020].
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air> [Date:30Mar.2020].
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-131-million-ccus-technologies> [Date:24Apr.2020].
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/doe-invests-17-million-advance-carbon-utilization-projects> [Date:16Jun.2020].
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/fe/articles/foa-2057-project-selections> [Date:17Jul.2020].
 Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-invests-72-million-carbon-capture-technologies> [Date:1 Sep.2020].
20. House Select Committee on the Climate Crisis. (2020). Solving the Climate Crisis: The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and a Healthy, Resilient, and Just America.
21. California Air Resources Board. (2020). LCFS Pathways Requiring Public Comments. <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-pathways-requiring-public-comments>
22. Sahota, H. (2019). The Clean Fuel Standard Explained. <https://taf.ca/clean-fuel-standard-explained/>
23. European Commission. (2020). Europe's moment: Repair and prepare for the next generation. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_940
24. Singapore National Climate Change Secretariat, Strategy Group, P. M. O. (2020). CHARTING SINGAPORE'S LOW-CARBON AND CLIMATE RESILIENT FUTURE. <https://www.nccs.gov.sg/docs/default-source/publications/nccslds.pdf>
25. NEDO. (2020). Environmental Innovation Strategy Overview. <https://www.nedo.go.jp/content/100904224.pdf>
26. Pearl, H. (2020). China's carbon neutral energy pledge adds more weight to 14th five-year plan for 2021-25. South China Morning Post. <https://www.scmp.com/economy/china-economy/article/3102826/chinas-carbon-neutral-energy-pledge-adds-more-weight-14th>
27. The Australian Government. (2020a). Australian Government response to the Final Report of the Expert Panel examining additional sources of low-cost abatement ('the King Review'). <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2020-05/government-response-to-the-expert-panel-report-examining-additional-sources-of-low-cost-abatement.pdf>
28. The Australian Government. (2020b). *Investment Roadmap Discussion Paper: A framework to accelerate low emissions technologies*. https://consult.industry.gov.au/climate-change/technology-investment-roadmap/supporting_documents/technologyinvestmentroadmapdiscussionpaper.pdf
29. Morrison, S. (2020). Investment in New Energy Technologies.
30. The Australian Government. (2020c). *First Low Emissions Technology Statement - 2020*. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/September%202020/document/first-low-emissions-technology-statement-2020.pdf>
31. International Energy Agency. (2019d). *Southeast Asia Energy Outlook 2019*.
32. The Australian Government. (2020d). Joint Statement by The Prime Ministers Of Australia and Singapore.
33. Kadir, W. G. A. (2020). Indonesian CoE of CCS/CCUS: Past, present and future activities. <https://ccs-coe.fttm.itb.ac.id/presentation/>
34. Malaysia Petroleum Management (MPM). (2020). *グローバルCCSインスティテュートについて* Malaysia Petroleum Management. <https://www.petronas.com/mpm/about-mpm/malaysia-petroleum-management>
35. The People's Bank of China. (2020). The Green Bond Endorsed Projects Catalogue (2020 Edition) (for consultation). <http://www.pbc.gov.cn/tiaofasi/144941/144979/3941920/4052500/index.html>
36. HESC. (2020). Construction presses on despite COVID-19 challenges. <https://hydrogenenergysupplychain.com/construction-presses-on-despite-covid-19-challenges/>
37. AHEAD. (2020). Successfully linking up a circular hydrogen supply chain. https://www.ahead.or.jp/en/pdf/20200424_ahead_press.pdf
38. Chiyoda Corporation. (2020). The World's First Global Hydrogen Supply Chain Demonstration Project. <https://www.chiyodacorp.com/en/service/spera-hydrogen/>
39. Bloomberg. (2020). Saudi Arabia Sends Blue Ammonia to Japan in World-First Shipment. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-27/saudi-arabia-sends-blue-ammonia-to-japan-in-world-first-shipment>
40. Reliance Industries Limited. (2020). Chairman's Statement, Wednesday, July 15, 2020 (Post-IPO) 43 Annual General Meeting.
41. The Times of India. (2020a). As UN Secretary General makes fresh appeal for carbon neutral. http://timesofindia.indiatimes.com/article/78310741.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst
42. The Government of India. (2020). Call for the Proposals on CO2 Sequestration Research.
43. The Times of India. (2020b). DST invites proposals from Indians for research in area of carbon capture, utilisation and storage. <https://timesofindia.indiatimes.com/india/dst-invites-proposals-from-indians-for-research-in-area-of-carbon-capture-utilisation-and-storage/articleshow/77654625.cms>
44. Accelerating CCS Technologies. (2020). The ACT3 call. <http://www.act-ccs.eu/s/Slides-ACT-webinar-26-August-2020.pdf>
45. ADB. (2016). Joint Crediting Mechanism: An Emerging Bilateral Crediting Mechanism. <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/217631/joint-crediting-mechanism.pdf>
46. Ministry of Economy, Trade and Industry, J. (METI). (2020). METI's cooperation for GHG emission reduction: Joint Credit Mechanism.
47. Global Environment Centre Foundation. (2020). Overview of the Joint Crediting Mechanism (JCM). <https://gec.jp/jcm/about/>
48. Monica, C., Gabriel, O., Diego, G., Marilena, M., Edwin, S., Eleonora, L. V., Efsio, S., Fabio, M.-F., & Jos, O. (2019). Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (Vol. 105, Issue D2). <https://doi.org/10.2760/687800>
49. General Secretariat For Development Planning. (2008). July 2008 General Secretariat For Development Planning (Issue July). www.planning.gov.qa
50. Government of Saudi Arabia. (2016). *Vision 2030 Kingdom of Saudi Arabia*. Report, 1-85. <https://vision2030.gov.sa/download/file/fid/417>
51. Oman Vision 2040. (n.d.). *Oman Vision 2040*. <https://www.2040.om/en/#Oman2040>
52. Hydrocarbon Processing. (2018). ADNOC to expand Carbon Capture, Use & Storage technology for Enhanced Oil Recovery. <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2018/02/adnoc-to-expand-carbon-capture-use-storage-technology-for-enhanced-oil-recovery>
53. UN DESA. (2015). Inequality and the 2030 Agenda for Sustainable Development. *In Development Issues* (Vol. 4). <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/no-4-inequality-and-the-2030-agenda-for-sustainable-development/>
54. Drew, K. S. (1985). United Arab Emirates. (Issue October 2015).
55. UNFCCC. (2015). The Intended Nationally Determined Contribution of the Kingdom of Saudi Arabia under the UNFCCC. In INDCs (Issue November). [http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/PublishedDocuments/Saudi Arabia/1/KSA-INDCs English.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/PublishedDocuments/Saudi%20Arabia/1/KSA-INDCs%20English.pdf)
56. Saudi Aramco. (2000). *International Offering Circular* (Vol. 19, Issue 1).
57. Paraskova, T. (2019). Qatar Builds The Biggest Carbon Capture Plant In The Middle East. OilPrice.Com. <https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Qatar-Builds-The-Biggest-Carbon-Capture-Plant-In-The-Middle-East.html>
58. International Energy Agency. (2020a). Data and statistics. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEO+MI+DEAST&fuel=CO2+emissions&indicator=CO2+emissions+by+energy+source>
59. Consoli, C. P. (2018). CCS Storage Indicator (CCS-SI). Global CCS Institute.

60. Kingdom of Saudi Arabia.(2020).G20 Presidency – 2020 Energy & Climate Overall Theme of The Saudi G20 Presidency Key Elements of the 2020 Agenda | Theme and Aims The Saudi Presidency Theme is supported by three aims Realizing the opportunities of the 21st Century for all.
61. Bosoaga, A., Masek, O., & Oakey, J. E. (2009).CO₂ Capture Technologies for Cement Industry.*Energy Procedia*, 1(1), 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.020>
62. Lehne, J., & Preston, F. (2018).Making Concrete Change; Innovation in Low-carbon Cement and Concrete.Chatham House Report, 1-122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032163>
63. Beumelburg, C. (2020).HeidelbergCement takes the next step towards CO₂ capture and storage (CCS) in Brevik, Norway. <https://www.heidelbergcement.com/en/pr-17-06-2020>
64. Beumelburg, C. (n.d.).HeidelbergCement' commitment to carbon abatement. <https://www.heidelbergcement.com/en/leilac-research-project>
65. World Resources Institute.(2016). world-greenhouse-gas-emissions-2016 @ www.wri.org. <https://www.wri.org/resources/data-visualizations/world-greenhouse-gas-emissions-2016>
66. International Energy Agency.(2020b).*Hydrogen*. <https://www.iea.org/reports/hydrogen>
67. Bruce, S., Temminghoff, M., Hayward, J., Schmidt, E., Munnings, C., Palfreyman, D., & Hartley, P. (2018). *National Hydrogen Roadmap*. https://www.csiro.au/-/media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823.pdf?la=en&hash=36839EEC2DE1BC38DC738F5AAE7B40895F3E15F4
68. Hydrogen Council.(2020).Path to hydrogen competitiveness: a cost perspective.January, 88. www.hydrogencouncil.com.
69. International Energy Agency.(2019e).The Future of Hydrogen for G20.Seizing today's opportunities.Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June.
70. IRENA.(2019).Hydrogen: a Renewable Energy Perspective. In International Renewable Energy Agency (Issue September). www.irena.org
71. Global CCS Institute.(2020a).CO₂RE Database. www.co2re.co
72. Preston, C. K. (2018).The Carbon Capture Project at Air Products' Port Arthur Hydrogen Production Facility. <http://documents.ieaghg.org/index.php/s/4hyafmhu2bobOs/download>
73. Hydrogen Council.(2017).*Hydrogen scaling up :A sustainable pathway for the global energy transition*. www.hydrogencouncil.com
74. International Energy Agency.(2020c).Gas 2020., p.3.
75. International Energy Agency.(2020d).The role of CCUS in low-carbon power systems.
76. International Energy Agency.(2018).*World Energy Outlook 2018*.Flagship Report. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018/renewables#abstract>
77. Irlam, L. (2017).*Global Costs of Carbon Capture and Storage*.Global CCS Institute.
78. Department of Industry Science Energy and Resources. (2020).Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory:December 2019.
79. Department of Industry Science Energy and Resources. (2020).Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory:December 2019, p.14.
80. Global CCS Institute (2020b) CO₂RE database - Facilities Report.Available at: www.co2re.co (Accessed: 19 August 2020).
81. Allam, R., Martin, S., Forrest, B., Fetvedt, J., Lu, X., Freed, D., Brown, G. W., Sasaki, T., Itoh, M., & Manning, J. (2017).Demonstration of the Allam Cycle:An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture.*Energy Procedia*, 114, 5948-5966. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1731>
82. Lu, X., Martin, S., McGroddy, M., Swanson, M., Stanislawski, J., & Laumb, J. D. (2017).Testing of a Novel Post Combustion Acid Removal Process for the Direct-Fired, Oxy-Combustion Allam Cycle *Power Generation System* (Issue 50961, p. V009T38A032).
83. NET Power.(2019).NET Power Presentation.
84. McDermott. (n.d.).McDermott Awarded Pre-FEED for Net Power UK Project.
85. Aker Solutions.(2019).Aker Solutions Signs Carbon Capture Contract With Twence in the Netherlands. Website. <https://www.akersolutions.com/news/news-archive/2019/aker-solutions-signs-carbon-capture-contract-with-twence-in-the-netherlands/>
86. Carbon Engineering.(2020).Carbon Engineering:Our Technology.Website. <https://carbonengineering.com/our-technology/>
87. Clean Energy Ministerial CCUS Initiative.(2020).Direct Air Capture of CO₂:Helping to Achieve Net-Zero Emissions.
88. 1PointFive.(2020).1PointFive website. <https://www.1pointfive.com/>
89. Kamijo, T., Nagayasu, H., Yonekawa, T., Shimada, D., Tsujiuchi, T., & Nakayama, K. (2013).Carbon Capture and Storage Demonstration Test - Coal-fired Power Plant (in cooperation with Southern Company, a U.S. Electric Power Company).Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, 50(1), 16-22. <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e501/e501016.pdf>
90. Webley, P. A., & Danaci, D. (2020).CO₂ capture by Adsorption Processes.In M. Bui & N. Mac Dowell (Eds.), Carbon Capture and Storage (pp. 106-167).Royal Society of Chemistry.
91. Bumb, P., Kumar, R., Khakharia, P., & Goetheer, E. (2014).Demonstration of advanced APBS solvent at TNO's CO₂ capture pilot plant.*Energy Procedia*, vol.63 (May 2015), 1657-1666. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.175>

文末脚注

- i. 現在70 Mtpaの純H₂が製造。合成ガスに約50MtpaのH₂とCOが混合されたものもさらに製造されている。
- ii. オーストラリア政府クリーンエネルギー規制機関からのスコープ1、2、3温室効果ガス排出の定義<http://www.cleanenergyregulator.gov.au/NGER/About-the-National-Greenhouse-and-Energy-Reporting-scheme/Greenhouse-gases-and-energy/>
 スコープ1排出：ある活動のために直接生じ、大気に放出された排気ガス、あるいは施設レベルにおける一連の活動から生じた排気ガス。時として直接排出ガスと呼ばれる。
 スコープ2排出：エネルギー商品の消費により、大気に間接的に放出される排出ガス。例として、間接排出は他の施設で石炭を燃焼して作られた電気の利用から発生する。
 スコープ3排出：より広い経済社会において、スコープ2排出以外の間接的排出ガス。施設における活動のために発生するが、施設の事業が所有または管理していない排出源からのもの。
 歴史的データは、新しい施設の種類システムに沿って合わせるように調整されている。これには操業を完了し、閉鎖された2つの施設間のもは含まれない。
 英国2020年度予算、政策文書www.gov.ukを参照
 2019年11月にSaudiAramcoが出版したIPO趣意書では、気候関連リスクに対処するための主要な緩和手段として、低炭素製品フットプリントを強調している。競争力格付けがp. 83にある。
 2019年6月にQamar Energyに委託された評価による。
<https://www.cceguide.org/guide/>で参照
 グローバルCCS インスティテュートによるIEAデータの分析。
 CO₂e 排出 51.53 kg CO₂e/GJ、電気を水素に変換する、高分子電解質膜(PEM)効率(71%)。
 2Mtpa CO₂、50km、250mmパイプライン、資本コストの6%、圧縮は1bar~150 bar、電力コストは80米ドル/MWh、貯留とMMVのために3米ドル/tCO₂、資産寿命は30年。
 カーボン価格なし。

図、表とチャート

図1

- a. Global CCS Institute analysis of the IIASA (2018) data: IIASA.(2018).IAMC 1.5° C Scenario Explorer hosted by IIASA. <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer/#/workspaces>

図2

- b. International Energy Agency.(2020).Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage. <https://webstore.iea.org/download/direct/4191>

図3

- c. International Energy Agency.(2020).Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage. <https://webstore.iea.org/download/direct/4191>

図4

- d. Global CCS Institute.(2020).CO₂RE database - Facilities Report.www.co2re.co参照

図5

- e. Global CCS Institute.(2020).CO₂RE database - Facilities Report.www.co2re.co参照

図6

- f. Global CCS Institute (2020) CO₂RE database - Facilities Report.www.co2re.co参照

図7

- g. Global CCS Institute (2020) CO₂RE database - Facilities Report.www.co2re.co参照

図8は以下を改版

- h. Overa, S. (2019).Telling the Norwegian CCS Story, Northern Lights:A European CO₂ Transport and Storage Project. [Video Webinar].9 May 2019. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/audio-and-visual-library/webinar-telling-the-norwegian-ccs-story-part-iii-northernlights-a-european-co2-transport-and-storage-project/>.

图9

- i. Zapantis, A., Townsend, A. and Rassool, D. (2019). Policy Priorities to Incentivise Large Scale Deployment of CCS. Global CCS Institute. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/04/TL-Report-Policy-priorities-to-incentivise-the-large-scale-deployment-of-CCS-digital-final-2019-1.pdf>.

表1

- j. Zapantis, A., Townsend, A. and Rassool, D. (2019). Policy Priorities to Incentivise Large Scale Deployment of CCS. Global CCS Institute. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/04/TL-Report-Policy-priorities-to-incentivise-the-large-scale-deployment-of-CCS-digital-final-2019-1.pdf>.

图10

- k. Carbon Storage Taskforce. (2010). National Carbon Mapping and Infrastructure Plan – Australia. *In Australian Government* (Issue September).
CO₂ stored. (2020). CO₂ Stored Data. <http://www.co2stored.co.uk>.
International Energy Agency. (2015). *Storing CO₂ through Enhanced Oil Recovery, Combining EOR with CO₂ storage (EOR+) for profit*.
IEAGHG. (2009a). *CO₂ Storage in Depleted Gas Fields* (Issue 2009/01).
IEAGHG. (2009b). *CO₂ storage in depleted oilfields*. 2009/12. *In Energy*.
Norwegian Petroleum Directorate. (2014). *O₂ Storage Atlas - Norwegian Continental Shelf*.
US DoE/NETL (2015) *Carbon Storage Atlas*.
Vangkilde-Pedersen (editor), EU GeoCapacity. (2009). *Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide: WP2 Report Storage Capacity*. Geological Survey of Denmark and Greenland.
Wei, N., Li, X., Fang, Z., Bai, B., Li, Q., Liu, S., & Jia, Y. (2015). Regional resource distribution of onshore carbon geological utilization in China. *Journal of CO₂ Utilization*, 11, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2014.12.005>

表2

- l. Global CCS Institute (2020) CO₂RE database - Facilities Report. www.co2re.co参照

图11

- m. Oil and Gas Climate Initiative (OGCI). (2020). Global CO₂ Storage Resource Catalogue. <https://oilandgasclimateinitiative.com/CO2-storage-resource-catalogue/>

图12

- n. European Commission (2019), Innovation Fund, accessed from <https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en>.

图13

- o. Williams, E. (2019). Data Insights Achieving Climate Goals by Closing the Loop in a Circular Carbon Economy. *King Abdullah Petroleum Studies and Research Center* ("KAPSARC," 1-13).

图17

- p. Global CCS Institute (2020) CO₂RE database - Facilities Report. www.co2re.co参照
International Energy Agency. (2019). *The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities*. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June.

表3 (水素)

- q. International Energy Agency. (2019). *The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June*.
Bruce, S., Temminghoff, M., Hayward, J., Schmidt, E., Munnings, C., Palfreyman, D., & Hartley, P. (2018). National Hydrogen Roadmap. https://www.csiro.au/~media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823.

图22

- r. Fajardy, M., Koberle, A., Mac Dowell, N., & Fantuzzi, A. (2019). BECCS deployment: a reality check. *Grantham Institute*, 28(28), 1-14.

图23

- s. Carbon Engineering. (2020). Carbon Engineering: Our Technology. ウェブサイト <https://carbonengineering.com/our-technology/>

詳細

グローバルCCSインスティテュートはメンバーに対して、知識、データ、ネットワーキングや支援サービスを提供し、CCSに関連する包括的なコンサルタント・サービスを提供する。

問合せ先

グローバルCCSインスティテュート アドボカシー & コミュニケーション
globalccsinstitute.com/contact

本社

Level 16, 360 Elizabeth Street,
Melbourne VIC 3000
Australia
電話 +61(0)3 8620 7300

©Global Carbon Capture and Storage Institute Ltd 2020

特に明記しない限り、本出版物の著作権はクリエイティブ・コモンズ (表示 - 非営利 改変禁止 4.0 国際ライセンス) でライセンスされている。

グローバル CCS インスティテュートは本出版物の情報に関して可能な限り正確であるよう務めているが、完全に信頼でき、正確で、完成していることを保証するものではない。従って、投資および商業的判断を行う際に、本出版物の情報のみを信頼すべきではない。

グローバルCCSインスティテュートは、本出版物で引用されている外部または第三者のインターネットウェブサイトへのURLの永続性または正確性については責任を負わず、またそのようなウェブサイトのあらゆる内容に関して一切の保証を行わない。最大限許容される範囲で、グローバルCCSインスティテュート、その従業員およびアドバイザーは、本出版物を元にしたあらゆる商業的または投資判断を含む本出版物の情報の使用または信頼性について (過失を含み) 責任を負わない。

本書を参照するには以下を使用すること。

Global CCS Institute, 2020.The Global Status of CCS:2020.Australia.

本書は2020年11月現在の情報を基に執筆している。

デザイン

fluid.com.au



GLOBAL CCS
INSTITUTE

