CO_2貯留研究グループ

グループメンバー（2026年4月）

グループリーダー・主席研究員	薛　自求	主任	中西　公美子
サブリーダー・主席研究員	梅田　信雄	主任	西出　朱美
主席研究員	横井　悟	主任	奥道　恵美
主席研究員	中島　崇裕	研究員	三善　孝之
主席研究員（兼）	中神　保秀	研究員	永田　丈也
主席研究員（兼）	野村　眞	研究員	Amer, Rasha
副主席研究員	高須　伸夫	研究員	曹　金栄
副主席研究員	橋本　励	研究員	宮坂　啓
副主席研究員	三戸　彩絵子	研究員	小谷　雅文
主任研究員	利岡　徹馬	研究員	大内　航
主任研究員	朴　赫	研究員	Barry Majeed Hartono
主任研究員	内本　圭亮	研究助手	平井　順子
主任研究員	小牧　博信	研究助手	氷見　悠子
主任研究員	指宿　敦志	研究助手	佐々木　恵
主任研究員	渡辺　雄二	研究助手	村井　麻斗
主任研究員	髙野　修	研究助手	中村　あす香
主任研究員	末国　次朗	職員	日髙　奈江
主任研究員	麻島　健	職員	奥田　まり
主任研究員	今村　哲己		

CO_2地中貯留の実用化へ向けた技術実証、事業化支援と国際連携

1. はじめに

2024年5月にCCS事業法が公布された。これまでに探査および試掘が施行されており現在、輸送事業および貯留事業の施行に向け政省令の整備が進められている。一方、経済産業省およびエネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が主導する先進的CCS事業において9つのCCSプロジェクトが進行中である。この内、北海道苫小牧沖では既に試掘が開始され、2本の試掘井の掘削と評価の後、2026年度内に最終的な投資判断をおこなう計画とされている。また、千葉県九十九里沖においても試掘に向けた手続きが進められるなど、事業開始に向けた取り組みが進捗している。

RITEはこれまで、これらCCS事業での活用を念頭に実用規模のCO_2地中貯留に資する技術開発を推進してきた。二酸化炭素地中貯留技術研究組合を組織してCCS事業者となる民間企業等と連携し、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業として、CCS事業の安全性向上やコスト削減に寄与する技術を幅広く扱っている。

主要なテーマとして、光ファイバーセンシング技術を利用したCO_2圧入・貯留のモニタリングの技術実証、CO_2貯留サイト周辺の断層安全性・健全性の評価手法の開発、CCS事業のバリューチェーンや事業モデルといった事業計画の検討に有用となる「CO_2排出源データベース」や「CCS事業コスト試算ツール」の構築などに取り組んでいる。また上記のほか、CCUS分野の国際機関との連携およびこれを通じた政策や技術の国際的な動向調査をNEDO委託事業として実施している。こうした活動の成果を以下に紹介する。

2. 主な研究課題と成果

2.1. 光ファイバーを用いたマルチセンシング技術の開発と技術実証現場試験

CO_2地中貯留を安全に進めるためには、圧入されたCO_2が貯留層内に留まっていること、および圧入に伴う間隙圧上昇により遮蔽層や坑井に影響を及ぼしていないこと等をモニタリングによって確認することが必要である。このためのモニタリングシステムには、長期に安定

して稼働すること、およびコスト面で優れていることが求められる。これらの要件に適合した技術として、光ファイバー計測が有望である。RITEでは、室内試験および現場試験を通じて同技術の研究開発を進め、国内外のサイトにおいて長期実証試験を実施中である。この測定技術は、CO_2地中貯留の安全性において、事業の開始時から終了時まで長期に亘って役立つことが期待される。

2.1.1. 分布型光ファイバーマルチセンシングの原理

分布型光ファイバー計測は、ファイバー全体をセンサーとして利用できるため、空間的に連続した記録を取得できる技術として、様々な分野で利用が進められている。測定原理の概要を図1に示す。ファイバーの一端からレーザーパルスを送信すると、ファイバー内の様々な地点から後方散乱光が帰ってくる。その入力レーザーパルス発信／散乱光解析を計測器（インテロゲーター）において行い、初期散乱光からの差分をとることにより温度や変形などの状態変化が起きたことを、散乱光の到達時間により反射点位置が特定できるようになっている。また散乱光の波長により、状態変化に伴う散乱の特徴と測定対象が異なる（図1下）。

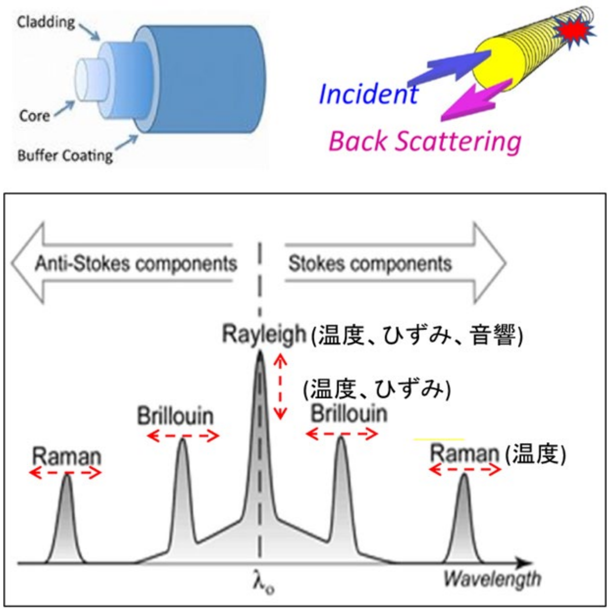


図1　光ファイバー計測の原理

ラマン散乱光は温度計測（DTS: Distributed Temperature Sensing）に、ブリルアン散乱光は温度とひずみ計測（DSS: Distributed Strain Sensing）に用いられる。レイリー散乱光は音響計測（DAS: Distributed Acoustic Sensing）で広く利用されているが、高精度の温度・ひずみ計測にも活用されている。これらの散乱光は別々に計測する必要があるが、複数の光ファイバーを束ねた一本のケーブルを設置することで、温度・ひずみ・音響を光ケーブルに沿って一度に捉えることが可能なマルチセンサーとして利用することができる。また、光ファイバー自体には電気機・機械的な装置はないため地下深部の過酷な環境下でも利用できるうえ、ファイバーは小径のため狭小部での測定が可能である。さらに、経年劣化がほとんどない、電磁波の影響を受けない等、温度計や圧力計をはじめとする在来型監視装置に対し多くの優位性がある。

CO_2地中貯留でのモニタリングにおいては表1のような測定対象と用途が考えられる。圧入井や観測井のケーシング外部に設置された光ファイバーで計測する温度（DTS）とひずみ（DSS）は、貯留層内の圧入区間の特定や入りやすさの度合いの把握、さらに遮蔽層の変形度合いや坑井に沿った万が一の流体移動をリアルタイムで計測することが可能である。一方、音響計測（DAS）としての光ファイバーは、弾性波探査における稠密地震計アレイの役割を果たし、操業中の任意のタイミングにおいて地中のCO_2分布のモニタリングに利用される。これらより、光ファイバー計測は、コスト低減にも寄与することが期待される。以下では、RITEが行っている具体的な現場実証結果を示す。

表1　光ファイバーセンシングの適用例

計測要素	モニタリング内容（例）
温度（DTS）	・貯留層へのCO_2圧入区間の把握 ・坑井セメンチングの施工良否 ・パイプライン、圧入井からのCO_2漏洩
ひずみ（DSS）	・貯留層へのCO_2侵入の様相 ・貯留層からのCO_2漏洩 ・CO_2圧入時の遮蔽層の地層変形
音響（DAS）	・貯留層におけるCO_2分布範囲

2.1.2. 米国ノースダコタ州CCSサイト

米国ノースダコタ州CCSプロジェクトは、Gevo North Dakota (旧Red Trail Energy)社によりトウモロコシを原料とするエタノール発酵過程で回収される年間約18万トンのCO_2を、深部約2,000mの塩水性帯水層に貯留を行っている商用プロジェクトである。2022年6月から圧入を開始し、2026年3月末時点で約64万トンのCO_2が貯留されている。また、このサイトの圧入井・観測井は、米国のClass VI井として認定されており、米国の規制下でモニタリングを実施する実証試験となっている。

同プロジェクトでRITEは、坑井とCO_2パイプライン沿いに光ファイバーを設置し(図2)、マルチセンシング技術の実証のため音響(DAS)、温度(DTS)、ひずみ(DSS)の同時測定を継続中である。この計測を続けることにより、国内CCS事業に資するモニタリングシステムの運用における課題や対策等の知見を収集している。以下では、音響計測(DAS)と温度計測(DTS)の観測事例を紹介する。

坑井設置ファイバーを用いた音響計測(DAS)によって、地下のCO_2の広がりを把握することが期待される。特に坑井近傍のCO_2を精度よくモニタリングすることに適しているVSP(Vertical Seismic Profiling)は、様々なCO_2貯留サイトや地熱サイトにおいても利用されている技術である。ノースダコタサイトでは、弾性波発振源についても新しい技術として、常設型の発振装置(Surface Orbital Vibrators：SOVs)を導入した。

SOVsは偏心おもりを回転させることにより地層中に振動を伝える装置である。ノースダコタサイトでは、圧入後から徐々にCO_2が拡がっていく様子を把握できるように、4地点にSOVsが設置されている(図2)。SOVsのコントロールシステムは、遠隔操作やプログラミングにより任意の時刻に発振可能となっている。また、音響計測(DAS)で取得するデータもオンサイトPCによる自動処理が可能となっており、研究室とサイト間のデータ転送量も軽減されている。

図3に通常行われる繰り返し弾性波探査と、SOVsを用いたモニタリングの違いの概念図を示す。図中の赤いハッチ部分がモニタリング対象となるCO_2プルームを表す。通常行われる繰り返しの3次元弾性波探査は、コストを考慮して、5年ごとに実施される。SOVsのような常時発振源を用いる一番のメリットは、この空白期間のギャップを埋めるように頻回なデータ取得が可能となる点である。SOVsによる短期間での地下のCO_2の拡がりの把握を通じて、通常の弾性波探査の回数を低減できる可能性がある。さらにSOVsは、現場オペレータなしでリモートオペレーションによりデータ収集が可能なため、安全にかつ低コストで貯留事業を実施することにかなうモニタリングシステムとなっている。

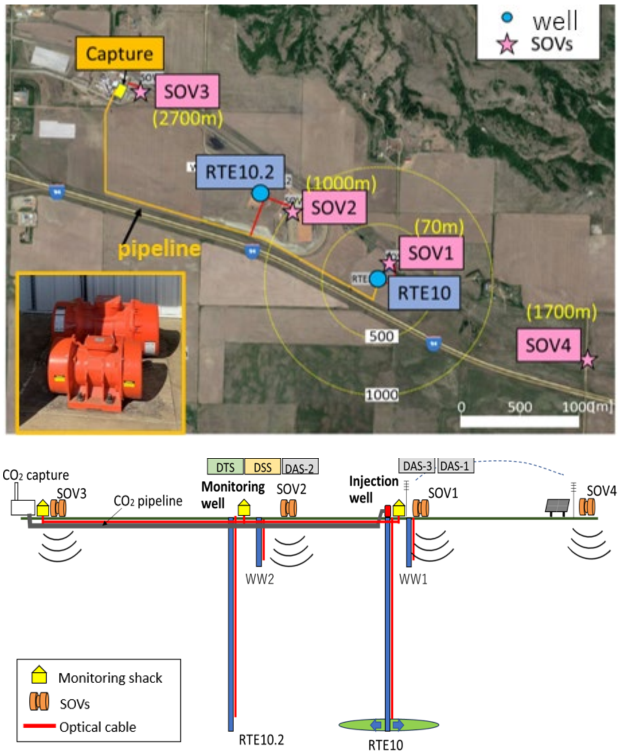


図2　ノースダコタサイトでの光ファイバーモニタリングシステム概要と弾性波発振装置の設置地点

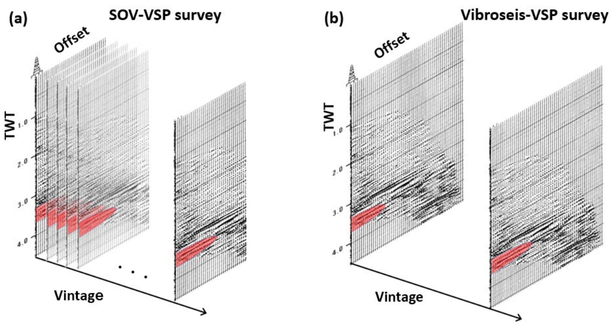


図3　SOV-VSP(a)と通常弾性波(b)モニタリングの比較

SOVs発振・坑井音響計測(DAS)で取得されたデータ解析においては、まず直達波と地層境界面において反射して上方に伝播する波(反射波)に分離する。後者にはモニタリング対象の貯留層の情報を持っている(図4 (a))。次に、地層境界面からの反射波を往復走時(TWT: Two-way Time)と呼ばれる同一深度に変換する。最後に、観測日(圧入量の増加)ごとに並べて表示することにより、CO_2による反射波の影響を確認する。図4(b)は、圧入井から最近接のSOV(約70m)によるモニタリング結果を示している。累積CO_2圧入量が約5千トンを超える時点から、貯留層相当部分およびその下位層において、反射波が変化していることを示している。特に下位層においては、赤色、青色の帯が右下方向に曲がる形を表し、反射波の走時時間が長くなっていることが確認できる。これは、地層中の間隙水がCO_2に置換されたことにより、音波の伝播速度が遅くなったことを示している。この傾向は、岩石物性試験で確認されているGassmannの関係と相補的であるといえる。

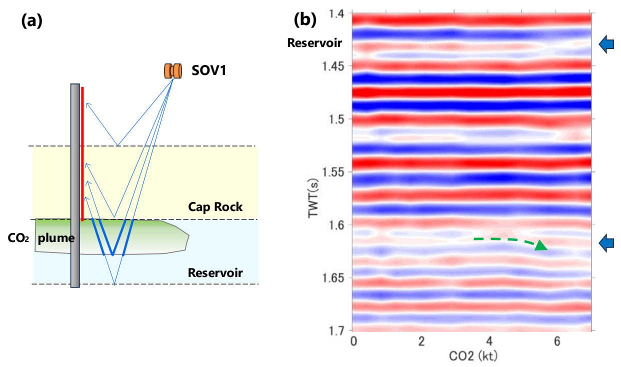


図4　SOVによるCO_2プルームのイメージング例(a)、圧入開始直後の反射波記録の変化(b)

このようなモニタリングによって確認できた変化に対し、圧入されたCO_2の挙動解析結果との対比を行った。圧入初期であるため、水平多層構造を仮定した。地層の流動特性については、検層データによって得られた孔隙率・浸透率のプロファイルを用い、層厚2m毎のモデルを構築した。また坑井内流も考慮することとし、坑口(モデル上は貯留層トップ深度)に相当する格子へ入力するCO_2量には、実際の圧入レートを用いた。CO_2挙動解析はTOUGH2を用いて実施した。図5に圧入量ごとの断面図のスナップショットを示す。図の縦軸に深度、横軸に圧入井からの水平距離をとって各位置のCO_2飽和度を示した。縦軸は貯留層に相当する深度1,950m～2,040mの範囲を表示している。この挙動解析結果が示唆することは、厚さが90mある貯留層のうち、上位の約40m(深度1,950m～1,990m)にのみCO_2が貯留されていることである。この圧入区間に関しては、圧入開始の約1年後に実施された中性子検層によっても確認されている。

挙動解析結果とモニタリング結果を合わせて解釈すると、坑井近傍のSOVで確認できた位相遅れは、CO_2プルームの厚さに対応する。なおかつSOVsは頻回な発振が可能であるため、CO_2量が比較的少ない数千トンの圧入時に変化が確認できたことになる。このような圧入開始初期にCO_2存在範囲が確認できることは、貯留層が想定している事業に対し十分な圧入性を確保できているかを評価する上で、重要なデータとなると考えられる。

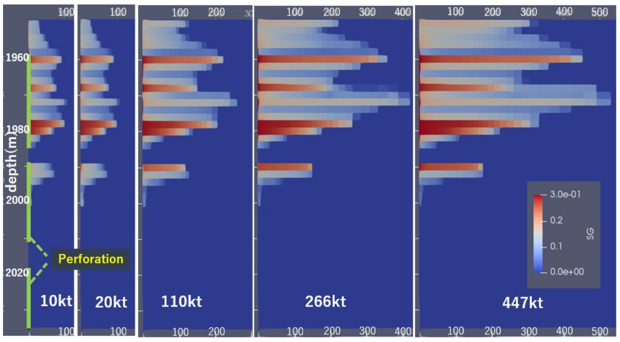


図5　ノースダコタサイトのCO_2挙動予測

最後に、ノースダコタサイトで取得した温度計測(DTS)記録の例を示す。図6はCO_2パイプライン(地中浅部)および圧入井区間の約1年間の温度測定結果を示す。パイプライン区間には長周期の温度の上昇・下降の変化があり、気温の年周変動に伴う変化が確認できる。圧入井の部分では、CO_2圧入前は地温勾配に従い、深度により温度が上昇していることが分かる。圧入時には15℃程度のCO_2が坑内を移動していることに対応する温度低下が確認できるとともに、圧入停止時(図6中の短期間の赤い区間)には徐々に地温に戻るが、圧入再開により再び低下していく様子が確認できる。

この結果のように、温度計測(DTS)によりパイプライ

ンと圧入井全体の温度変動をリアルタイムにモニタリングすることが可能であることが示された。さらに、光ファイバーを併設した坑井やパイプライン沿いに、何らかの障害が発生した場合には、その地点の特定が即時に行えることが期待できる。

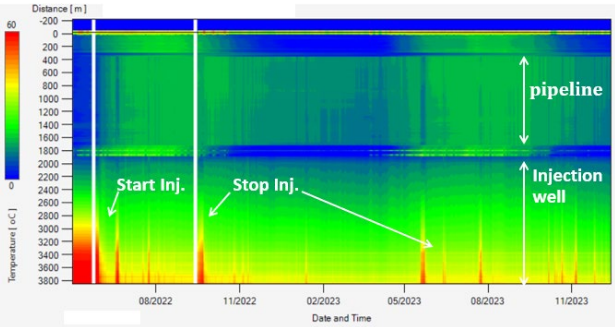


図6　DTSによる圧入モニタリング事例

2.1.3. 豪州サイト

豪州サイトにおいては、流体圧入に対する断層の安定性や断層帯からの漏洩等を評価する技術の開発のため、光ファイバーによるモニタリング技術の現場実証試験を進めている。断層や地層中の亀裂は、国内のCO_2貯留事業を進める際の漏洩リスクとして考慮すべき課題であり、光ファイバーのマルチセンシング技術は、これらをモニタリングする上で有効な手段と考えられる。そこで、光ファイバーによる断層安定性や健全性の評価技術の確立のため、既知の断層が分布する試験サイトを有する豪州研究機関との共同研究を2021年度から立ち上げ、現場試験を行っている。

ビクトリア州南部のOtwayサイトでは、浅部断層からのCO_2漏洩検知試験を進め、同時に光ファイバーによるモニタリングを継続実施している。同サイトは豪州研究機関CO2CRCによって管理されており、坑井深部約100m地点からCO_2を圧入し、断層破砕帯からの漏洩試験が実施された。RITEでは新規掘削した坑井に高性能のひずみ計測（DSS）用ファイバーを設置し、漏洩試験中のひずみ計測を行った。

図7では、深度60m～20mの区間にCO_2漏洩に伴うひずみが生じていない（緑表示）ことから、圧入されたCO_2が光ファイバー設置坑井近傍を通過していないことを示している。国内サイトの計測実績で得られた知見によれば、光ファイバーは周辺約15mの範囲内の微小な圧力変化（流体移動）を捉えられることから、断層破砕帯が漏洩通路となっていないと考えられる。今後は他の研究機関が実施した弾性波探査結果との比較検討を行う予定である。

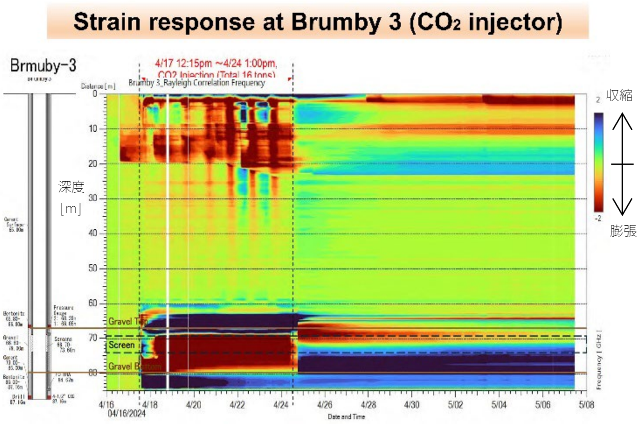


図7　断層破砕帯からのCO_2漏えい試験における光ファイバーひずみ測定結果

西オーストラリア州南西部のPerth南部サイトでは、深部断層を対象とした断層安定性評価のための現場試験を進めている。同サイトは豪州研究機関であるCSIROとの研究協力により管理されている、破砕帯幅が数百mに及ぶ大きい断層を貫く2本の坑井が掘削された（図8）。

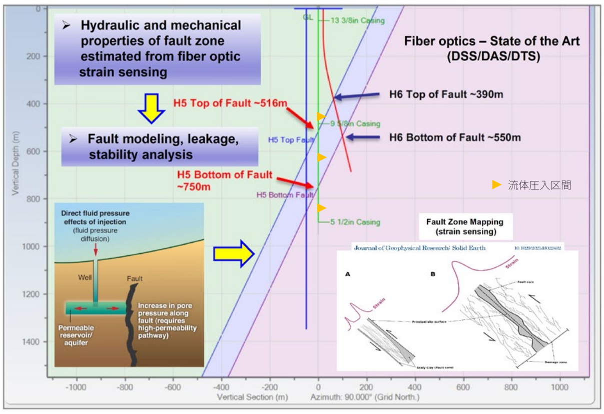


図8　Perth南部サイトにおける断層と新規坑井位置

図8では、薄い紫色の帯が対象の断層であり、既存坑井（青線）のコア試料や検層結果を基に、圧入井（緑線）と断層を交差する流体圧入区間を複数設けた（橙三角）ほか、観測井（赤線）では流体圧入時の光ファイバーひずみ測定が可能となっている。このサイトには4台の地震計

が設置されており、過去4年間の観測では断層活動に伴う地震が認められていない。今後、断層破砕帯への流体圧入では、ひずみ測定と地震観測を同時に連続測定する計画としている。また、破砕帯中を移動する流体の挙動は、光ファイバーひずみ測定によってモニタリングできることから、断層安定性（流体浸入に伴う誘発地震）と断層健全性（破砕帯を通じたCO_2漏洩）の評価技術が確立できると期待されている。

2.2. CCSシナリオジェネレータの開発 ～主要CO_2排出源の長期構成変化の分析～

CCS事業の展開を的確に行うには、CO_2排出源と貯留層の適切なマッチングが重要である。RITEはそれを支援するためCO_2排出源データベースの開発を進めてきた。

CCSの開発は長期に及ぶため、CO_2排出源の時系列的な変化を予測する必要がある。CO_2削減のために導入するCCSの長期的な変化の分析等を行う「シナリオジェネレータ」の開発を開始した。

以下にCO_2排出源データベースの開発・活用状況を報告し、また、CCSシナリオジェネレータの開発状況と今後の計画を紹介する。

2.2.1. CO_2排出源データベースの概要

CO_2排出源データベース（以下、排出源DB）の開発は、CO_2排出源と貯留サイトの適切なマッチングを目的に進められている。そのデータ構造、機能概要、活用状況について紹介する。

① 排出源DBのデータ構造

環境省の「温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度」に基づく公開データ（以下、温対法データ）には、およそ1万件の火力発電所や工場のCO_2排出源情報が登録されている。排出源DBはその情報を基礎としながら、CCSによる脱炭素化の検討に適すよう以下のとおり情報加工をおこなっている。

a) 直接CO_2排出量の推計

温対法データにおける各事業所のCO_2排出量には、他者から供給される電力・熱に相当するCO_2が内数として含まれている。CCSは、当該事業所で実際に排出される直接CO_2排出分を回収・貯留するものであり、電力、熱相当分のCO_2排出量を除外する必要がある。そこで、事業種別に「直接排出係数」を一定の統計処理で求め、温対法上のCO_2排出量に乗じ、各事業所からの直接CO_2排出量を算定し、データベース化している。

b) バイオマス起源CO_2排出源情報の組み込み

温対法データは化石燃料からのCO_2排出を対象とするもので、バイオマス起源のCO_2排出は対象外としている。バイオマス発電所が排出するCO_2を回収・貯留（BECCS※1）することによりネガティブエミッション化が図れるため、脱炭素化の推進において重要な要素といえる。

そこで、資源エネルギー庁電力調査統計等の情報を参考にバイオマス燃料からのCO_2排出量を推算し、排出源DBへの組み込みを図っている。

※1 BECCS：Bioenergy with CCS

c）貯留ポテンシャル情報の反映

RITEが実施した「全国貯留層賦存量調査」の貯留ポテンシャルマップ（RITE, 2006）を排出源DBに反映している。

② 情報マッピング、スクリーニング機能の実現

a) 排出源と貯留層候補のマッピング機能

CO_2排出源と貯留層の適切なマッチングを図るため、その位置関係を視覚的に捉えることが重要である。そこで、①で示したデータをマッピングする機能を実現した。図9はその一例であり、排出源は太平洋沿岸に集中し、貯留サイトは日本海側に多いなど、その特徴を捉えることが容易になる。

b) 情報スクリーニング機能

排出源がマッピングされた地図を表示画面上で自在に動かし、特定箇所をズームアップすることができる。また、ある地域を範囲選択すると、その範囲内の排出源情報を抽出できるため、排出源のクラスタリング検討に利便性が高い。石炭火力発電所や工場など事業種別に排出源を表示することもできる。

化石燃料、バイオマス、両者の合計である総排出量の3パターンでCO_2排出量を表示可能であり、図9では総排出量のマップを拡大表示している。バイオマス表示に切り替えれば（図10）、BECCS化によるCO_2排出量オフセット戦略の検討に利用することも可能となる。

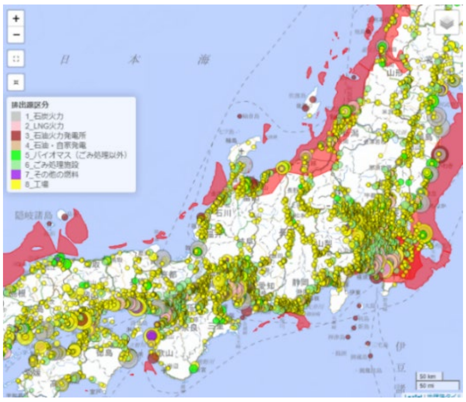


図9　CO_2排出源と貯留ポテンシャルの統合表示例
(色付きの○は排出源、沿岸部の赤色は貯留層の
賦存量調査範囲を示す)

図10　バイオマス起源の排出源情報の表示

③　CO_2排出源DBのデータの活用状況

2024年11月より試用希望者に本データベースの提供を開始した。(https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/research-theme/post-1140/ 参照)

既に100にのぼる企業・機関にご活用いただいており(2026年3月末現在)、これらの方々から改良要望をお聞きして随時、機能更新を図っている。また、次項に紹介する「シナリオジェネレータの開発」に対しても多くの要望・期待が寄せられている。

2.2.2. シナリオジェネレータの開発

2050年に目指すカーボンニュートラルに向けて、産業セクターから事業者、また事業所という様々な階層において脱炭素化の戦略が立案され、具体的な手段が決定され実行に移されていく。CCSはその具体的手段の一つとして選択されるものであり、例えば、電化や水素化など他の手段の普及度合いやエネルギー需要をはじめ様々な要因によって、CCSへの期待の大きさは変化する。また、CCS事業は開発に要する期間、資金規模ともに長大なため、長期の展望、事業計画を必要とする産業であることは言うまでもない。RITEは長期間を見据えた事業構想を支援するツールとして、排出源DBの機能を拡張した「シナリオジェネレータ」の開発に着手しており、以下に紹介する。まず先に、機能の一つであるシナリオ設定の検討例を示し、その後にシナリオジェネレータの概念を説明する。

①　シナリオ設定とCO_2排出源の長期動態推計の事例

a) 分析対象期間の設定

シナリオジェネレータの分析対象期間を、カーボンニュートラル実現を目指すとする2050年までとし、経過点として2030年、2040年の断面のCO_2排出源構成、CCS処理量を推計した。

b) CO_2排出源データの絞り込み

CO_2排出源DBは約1万点の排出源情報を収録しており、全数について長期変化を推測することは多大な労力を強いる。そこで、分析対象を年間CO_2排出量10万t以上の火力発電所、工場に限定した。CO_2排出事業者数を約250に絞りながら、全体の90%超のCO_2排出量を取り扱うため、CO_2排出量や位置の長期動態を効率的に推計することができる。

c) CO_2排出量、CCS処理量の推計

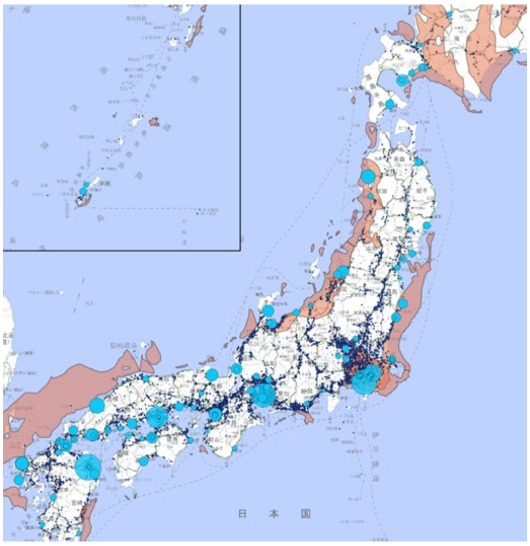
2030年、2040年、2050年の各断面のCO_2排出量とCCS処理量を以下の仮定や推計方法の下に算定した。

1) 検討対象とした年間CO_2排出量が10万トン以上のすべての事業所で2050年にはカーボンニュートラル化が実現する。
2) 公表されている火力発電所、工場の新設、休廃止情報を反映する。
3) 各業種の団体が表明している脱炭素化計画に基づき、CO_2排出量、CCS処理量を推計する。
4) その他、時系列情報を推定する公表情報がない場合は、独自の仮定に基づきデータを補完する。

d）CO_2排出量、CCS処理量の表示

先に説明した仮定および推計方法に基づいて2050年のCO_2排出量、CCS処理量の推計値を図11に表示した。図11上の地図上の水色の丸は、CO_2排出源の位置とCCS向けCO_2回収量を示している（燃料転換等により脱炭素化する排出源をプロットしていない）。また、濃紺色の点は、直近のCO_2排出量が10万t/年未満の排出源である。ここでの検討の対象に含めなかったが、中小規模排出源の脱炭素化対策の検討において、その分布状況の把握は重要と考える。

図11下側のグラフに、CCS向けの業種別CO_2回収量を示した。たとえば、高炉製鉄（黄色の帯）は、2022年度のCO_2排出量が約1.3億トンであるのに対し、2050年に電化、水素還元製鉄化、廃炉等の脱炭素化策を講じた上で残存する年間約0.5億トンの排出を、CCSによって処理することを意味する。



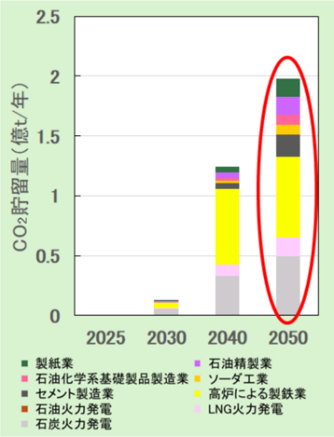


図11　仮シナリオに基づく2050年のCCS処理位置と規模

② シナリオジェネレータの開発計画

上記の検討例のように、2050年断面のCO_2排出源の位置や規模が視覚的に捉えられ、淡赤色で示す貯留層候補と合わせて考えれば、将来のCCSバリューチェーンのあり方を検討し易くなる。

ただ、これは仮に設定した一つのシナリオに基づく検討結果である。実際にはより数多くのシナリオについて、多くの関係者が協議し、他の脱炭素化手段との事業性評価も含め、最適なCCSバリューチェーンを形成していく必要がある。これを支援するのが、CCSシナリオジェネレータであり、その流れを図12に示す。

まず、シナリオセッターにより、CO_2排出源のCCS導入状況や燃料転換の長期見通し、貯留層開発状況、他の脱炭素化技術の進展などを考慮した多様なシナリオを設定する。

次に、CCSモデルクリエータでは、シナリオ別に分析されたCCSのためのCO_2回収量・位置等に基づき、CO_2輸送方法も含めた最適なCCSバリューチェーンを設定する。

さらに、CCS事業性評価シミュレータにより、CCS構成コストや脱炭素化のための経済的インセンティブを考慮したCCSバリューチェーンの事業性評価を行う。

以上はまだ概念レベルの計画であり、今後、多くの関係者と協議し、シナリオジェネレータの仕様詳細化や開発を進めていきたいと考えている。

CCSの普及展開は、長期にわたり、多くの不確実性を考慮しながら、関係者が分析・協議を重ね計画・実施するものである。このシナリオジェネレータが、それを迅速、的確に支援する意思決定のプラットフォームになれば幸いである。

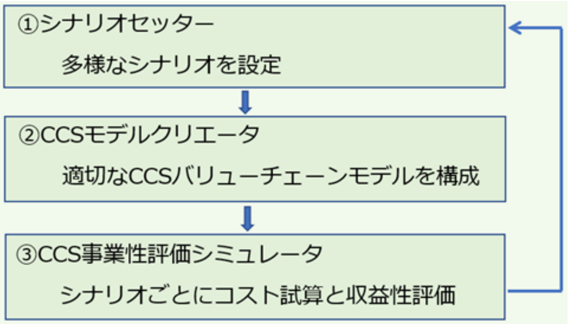


図12　シナリオジェネレータの機能フロー

2.3. 国際動向

RITEはCCSの普及における制度的、技術的な課題の解決に取り組むために、我が国が諸外国と共通して抱えているそれらの課題解決に寄与するため、国際協調の取り組みを行っている。その一環として、CCUS分野の国際機関の会合に参加する等して国際動向を情報収集し、我が国の取組を発信している。また、関係機関への訪問や文献を通じて各国のCCSプロジェクトやCCS事業への政府支援制度を調査し、我が国におけるCCS事業環境整備の議論に役立てている。

ここでは近年、国を跨ぐCO_2輸送（越境輸送）が話題となる欧州をはじめ、北米、豪州の主要国で操業または計画されているプロジェクトの動向を中心に紹介する。

2.3.1. 欧州の動向

欧州では2009年に発効したDirective 2009/31/EC（CCS指令）に基づき加盟国が法整備を進め、CCSを普及促進している。北海に大規模な貯留資源が集中しこれに面する英国、ノルウェー、デンマーク、オランダを中心に貯留プロジェクトが進行する。他国からCO_2を受け入れるもの（越境輸送）や、費用効率の高いハブ＆クラスター型の大規模プロジェクトが目立つ。北海以外では小規模ながら地中海や陸域での貯留計画が検討されている。

(1) EU

CO_2越境輸送のためのインフラ整備を推進するため、Connecting Europe Facility for Energy（CEF-E）基金から支援するプロジェクトの候補を2025年12月に発表した（表2）。

また、産業分野によっては技術的難易度が高いプロジェクトを、EU-ETSの収入を原資とするEUイノベーション基金で支援する。2025年11月の発表では、セメント産業、船舶のCO_2回収、脱炭素燃料製造（SAF、エタノール）の他、ギリシャやポーランドにおいてCO_2ハブを構築するプロジェクトが選定されている。

表2 CEF-E基金が支援対象の候補とするプロジェクト

プロジェクト名	排出源の立地	貯留地（集積地）
CO_2 TransPorts	オランダ、ベルギー	オランダ沖北海等
Aramis	オランダ、ドイツ、フランス、ベルギー	オランダ沖北海
Bifrost	デンマーク、ドイツ、ポーランド	デンマーク沖北海
Callisto	フランス、イタリア	イタリア沖地中海
CCS Baltic Consortium※	ラトビア、リトアニア	（リトアニア・バルト海沿岸）
Delta Rhine Corridor	ドイツのRuhr地域とオランダのRotterdam地域	オランダ沖北海
EU2NSEA	ベルギー、ドイツ、デンマーク、フランス、ラトビア、オランダ、ポーランド、スウェーデンほか	ノルウェー沖北海
Norne	デンマーク、スウェーデン、ベルギー、英	デンマーク陸域、デンマーク沖北海
Prinos-Apollo CO_2	ギリシャ、ブルガリア、クロアチア、キプロス、イタリア、スロベニア	ギリシャ沖地中海
Pycasso	フランス、スペイン	仏南西部陸域
BaltiCO_2Net	デンマーク、ドイツ、ラトビア、ポーランド、スウェーデン	デンマーク陸域
ECO_2CEE※	ポーランド、リトアニア	(ポーランド・バルト海沿岸港)
Northern Lights	ベルギー、ドイツ、アイルランド、フランス、スウェーデン他	ノルウェー沖北海
Nautilus CCS	フランス、ドイツ、ノルウェー	（英国海峡沿岸港、北海沿岸港）
Atlas	EU域内	ノルウェー沖北海
Carbon Connect	ベルギー（Zeebrugge）	英国沖北海
German Carbon Transport Grid	ドイツ	北欧州

※CO_2貯留を含まないプロジェクト

(2) 英国

ネットゼロへの移行と雇用や経済成長を重視し、2030年までに年間貯留量2～3千万t/年達成を目標に掲げてCCSを推進している。政府は、2030年までに稼働する4つのクラスターを選定し、2024年秋に約220億ポンドを支援する（対象は2つのクラスター）と発表した。これを受け2024年末から2025年にかけて、両クラスターに含まれる輸送・貯留プロジェクトと回収プロジェクトが次々に最終投資決定（FID）に至った。

政府による支援は、CO_2削減に係るコストと価値の差額を補填するもので、後者にはETS価格が用いられる。輸送・貯留は規制事業として所要コストを政府が審査して決定し、回収プロジェクトに対し輸送・貯留料金を含むコストとETS価格の差額を支払う制度となっている。

① Hynetクラスター 輸送・貯留プロジェクト
・事業者： Eni社（イタリア石油ガス会社）
・貯留： 海域枯渇ガス田（Eni社）
- 450万t/年 （フェーズ1）
- 1,000万t/年 （2030年代）
・パイプライン：184km（内149kmは既設転用）
・CO_2純度： 95%以上

② Hynetクラスター 回収プロジェクト
<フェーズ1>
セメント：80万t/年 （FID済み）
廃棄物発電：37万t/年（FID済み）
天然ガス火力発電
水素製造
バイオマス発電
<2030年代>
石油精製
水素製造
廃棄物発電 2件
DAC（空気直接回収）

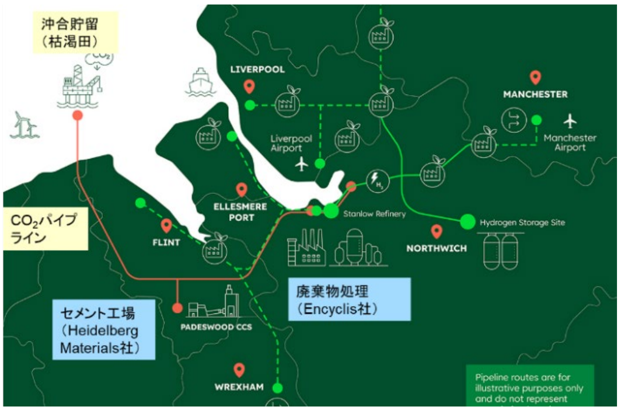


図13 Hynetクラスター
出典）padeswoodccs に加筆、https://www.mol.co.jp/pr/2026/26013.html

(3) ノルウェー

北海に石油ガス資源と塩水帯水層の豊富な貯留資源を持つ。欧州における貯留ハブ化を見通し、国際的プロジェクト（Longship/ Northern Lights）が政府の直接補助金により進展し、2025年8月に操業開始した。

① Northern Lightsプロジェクト

国内セメント工場（独系のHeidelberg Material社）からのCO_2船舶輸送・貯留が2025年に開始された。

・事業者： Equinor, Shell, TotalEnergies3社のJV
・回収： 国内、オランダ、デンマーク、スウェーデン等
・貯留： ノルウェー沖北海 塩水帯水層
- フェーズ1： 150万t/年
- フェーズ2： 500万t/年 以上
・CO_2純度：99.81mol%以上（船舶輸送向け）
・資金：フェーズ1：政府のCAPEX、OPEXの直接補助金（約140億ノルウェークローネ（約13億ユーロ））
フェーズ2：EUのCEF-E基金（FEED用に400万ユーロ＋建設用に1億3,100万ユーロ）

フェーズ1では中温中圧の液化CO_2輸送船がCCS向けとして世界初の運航となる。7,500m^{3}の輸送船計4隻を就航させ、うち3隻を川崎汽船に運航を委託する。フェーズ2ではさらに12,000m^{3}の輸送船4隻を追加し、2028年後半に納入が開始される。川崎汽船とマレーシア海運企業の連合体と三井商船がそれぞれ2隻を所有、運航する。フェーズ1、2に就航する8隻のうち6隻を中国企業業が、2隻を韓国企業が製造する。

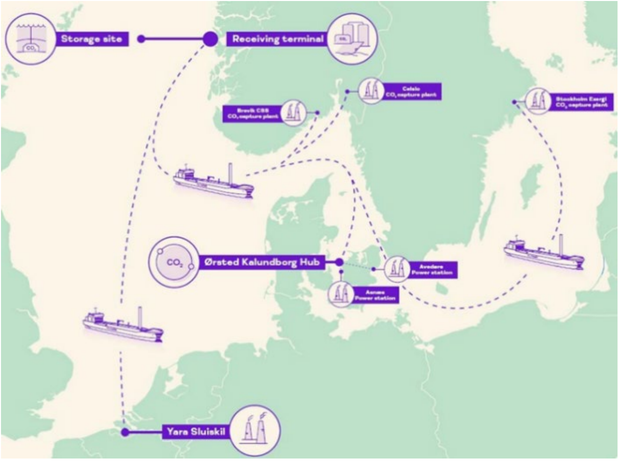


図14 Northern Lightsプロジェクト（越境含む船舶輸送）
出典） Northern Lights 社向け新造液化 CO_2 輸送船 2 隻の長期用船契約を締結に加筆
https://www.mol.co.jp/pr/2026/26013.html

(4) オランダ

2019年の気候法は、2030年に49%のCO_2削減目標（2019年比）を定めている。北海のCO_2貯留地を利用して産業分野における排出量の半分程度をCCSで対策する計画としている。政府はSDE++というプログラムによりCO_2削減対策のひとつとしてCCSを支援する。英国と

同じくCO_2削減のコストと価値の差額を支援する方法が採られる。

① Porthosプロジェクト

EU初の輸送・貯留ハブとして2024年に着工し2026年の稼働を目指す。

・事業者：Rotterdam港湾公社、EBN社（国営石油ガス会社）、Gasunie（国営ガス導管会社）ほか
・貯留： 北海・枯渇ガス田、250万t/年×15年
・輸送： パイプライン（陸上：30km、海底：20km（新設））Aramis輸送・貯留プロジェクトとの共用を想定した最終容量である1千万t/年の設計。
・CO_2純度：95％以上
・資金： CEF-E基金から1億ユーロを獲得。Rotterdam港湾公社が5,000万ユーロのカーボン・キャプチャー＆ストレージ・ボンド（社債）を発行し、 第一生命保険がこれに2,600万ユーロを投資。

図15 Porthosプロジェクト

出典）Porthos、Project、https://www.porthosco2.nl/en/project/

② 回収プロジェクト

・事業者：Shell（石油精製）、Exxon Mobil（石油精製）、Air Liquid（水素製造）、Air Product（水素製造）。うちShell社製油所が2026年3月に輸送パイプラインに接続済み。
・資金： SDE++

(5) デンマーク

2020年の気候法において、2030年までにGHG排出量を70％削減（1990年比）し、2050年までに炭素中立の実現を目標とし、政府がCCSを支援している。英国、オランダと同じくCO_2削減のコストと価値の差額を支援する方法が採られる。

海域と陸域の貯留地があり、海外からのCO_2受入れも想定される。2023年に海域、2024および2025年に陸域の探査権が付与されたばかりで、国内の貯留の実績はまだ実証段階。事業としての開始は今後の予定。

第1回公募で、バイオマス発電（BECCS）が選定された。2030年に運開向け第2回公募では2026年1月に2件が最終提案された。2件のうち1件は、セメント工場のCCSと報道されており、国内陸上貯留と思われる。

① バイオマス発電所のCCS（第1回政府支援公募）

バイオマス発電所から回収し、ノルウェーのNorthen Lightプロジェクトに船舶でCO_2輸出予定。（国内の貯留は公募当時、未だ開発が進んでいなかった）

・事業者：Ørsted社（再生可能エネルギー開発企業）
・回収： 2か所のバイオマス発電所（計43万t/年）
・輸送： 1か所は当面トラック、将来パイプライン予定。
・資金： 炭素除去クレジット契約をMicrosoftと締結

② Greensand（Future）プロジェクト

GreensandプロジェクトはベルギーからCO_2を受入れ、2023年に世界初の船舶による越境輸送・圧入（沖合）に成功。次段階のGreensand Future（商用）プロジェクトが2024年12月に最終投資決定。

・事業者：INEOS Energie（英石油化学会社）
・回収： バイオメタン製造（国内）
バイオマス発電（スウェーデン；検討中）
・貯留： デンマーク沖北海
・輸送： 貯留地に船舶輸送（中温中圧、5,500m^3）。輸送船の中で液化CO_2を海水で昇温。
・資金： EUイノベーション基金

2.3.2. 北米の動向

化石資源が豊富な地域であり、既に20以上のCCSプロジェクトが稼働し、世界をリードしている。

(1) 米国

米国のCCSプロジェクトの進展は、1970年代から開始されたCO_2-EOR（原油増進回収）向けに整備されてきた4千マイルに及ぶCO_2パイプラインと多数のCO_2-EORサイトの存在によるところが大きい。

CO_2貯留量に対する税額控除を2008年に導入し数次に亘り支援規模を拡大してきた。回収費用が比較的小さいエタノールプラントでの事業化が増加している。

2025年の政権交代によりCCUS分野では、税額控除の規模が維持または拡大された。$CO_2$1トン当たりの控除額は、CCSでは85ドルで維持、CCUとCO_2-EOR/EGR（石油/ガス増進回収）では60ドルから85ドルに増額された。その一方で、CCUS分野に限らないが、前政権が支援を決定したプロジェクトに対して財務審査をおこなった。投資リターンが期待できないと判断した一部の案件を支援中止したことをエネルギー省が発表しているが、個別のプロジェクトに関わる情報は公表されていない。

① Net-Zero Northプロジェクト

・事業者：Gevo社（バイオ燃料製造業。Red Trail EnergyのCCS、エタノール施設を2025年に買収）
・回収：エタノール製造（バイオマス起源）、18万トン/年
・貯留：塩水帯水層。 RITEが光ファイバーを用いたモニタリングに協力。
・資金：・政府：税制控除クレジット（45Q）
　・民間：2025年からPuro.earthの認証（ボランティア・クレジット市場）を受けたCO_2除去クレジットを販売。

(2) カナダ

カナダは化石資源大国であり、炭素税等のCO_2排出規制を導入する等、炭素中立に取り組んでいる。大規模CCSプロジェクトは、石油ガス生産が活発なAlberta州、Saskatchewan州で行われている。例えば、Alberta州ではQuestプロジェクトが、連邦および州政府の支援を受けて2015年10月に運転開始し、900万t以上のCO_2を圧入した。さらにCO_2貯留ハブを開発するため、Edmonton近郊の産業中心地域に6つ、その他の地域に19のプロジェクトを候補として選定しており、北米初となるDACとCCSを組み合わせるプロジェクト（DACCS）を2025年に運転開始した。連邦政府および州政府によるプロジェクトの投資減税、州政府の基金による支援のほか、民間との炭素除去クレジット契約やベンチャーキャピタルファンドの資金が提供される。

①Deep Sky Alphaプロジェクト（DAC）、Meadowbrook CO_2貯留ハブ

・事業者：Deep Sky社
　（カナダの炭素除去プロジェクト開発企業）
・回収：DACシステムにより3千t/年を回収中。複数のシステムの導入により規模を拡大する計画（10種類、3万t/年）。
・貯留：Meadowbrook CO_2貯留ハブの帯水層。300万t／年を想定。
・輸送：トラック輸送（DAC向け分）
・資金：・政府・Alberta州：72%の投資税額控除：
　・60%の連邦CCUS投資税額控除(ITC)
　・州からの追加12%の投資税額控除
　・州の基金から500万CAD（360万USD）
・民間：Bill Gates氏の基金4,000万USD他。
・炭素除去クレジット契約
（Microsoft、Canada Royal銀行など）

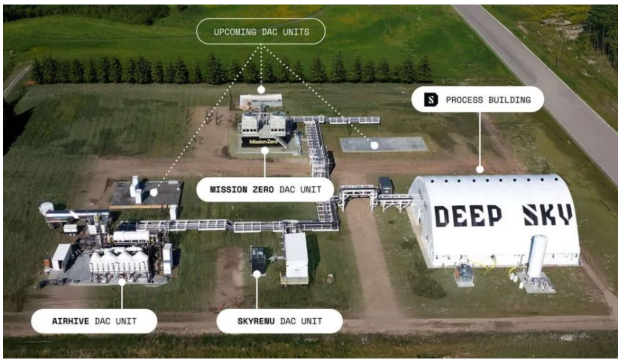


図16 Deep Sky Alphaプロジェクト

出典）Deep Sky Alpha: Now Operational、https://www.deepskyclimate.com/alpha

2.3.3. 豪州の動向

豪州は、LNGや石炭の輸出量が多い資源大国であり、2050年炭素中立、2030年までに43%削減（2005年比）を目指し、石油ガス事業を含む全ての分野において脱炭素を推進している。セーフガード・メカニズムにより10万t-CO_2/年以上の大規模排出者は2050年の炭素中立に貢献する必要があるとして排出量上限が設定され、2030年までの期間には上限値が毎年約5%ずつ削減される。

とりわけ、新設の天然ガス施設をゼロエミッションが義務化されており、CCSの適用が不可避となっている。

ガス精製プロセスにより発生するCO_2を、陸域帯水層に圧入するGorgonと陸域枯渇ガス田に圧入するMoombaが操業中である。また、Victoria州政府自らがCCSハブを構築するCarbonNet、東ティモール領海内の枯渇ガス田に貯留するBayu-Undan、豪州西部のAngelなどのプロジェクトが計画されている。

① Bayu-Undan CCSプロジェクト

年間1千万トンの貯留ポテンシャルとされる枯渇ガス田に開発中のBarossaガス田等のほか、韓国など海外から受け入れるCO_2を圧入する計画。Darwinに設置するLNG基地をCO_2ハブとし、既設のパイプラインを使って海上ガス基地に輸送する。豪州、東ティモールの両国政府間で、越境輸送に係るロンドン議定書に基づく2か国間合意に関して協議を進めている。

- 事業者： Santos社
- 回収： 天然ガス処理、韓国（越境輸送）など
- 貯留： 東ティモール領海内の枯渇ガス田
- 資金： 現在政府支援なし。排出者にとっては、セーフガード・メカニズムの規制（新規ガス開発はゼロエミッション化が必要）がCCSの動機。

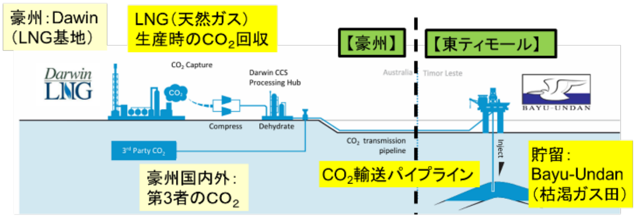


図17　Bayu-Undan CCSプロジェクト

出典）Santos - CCUS projects updates に追記、
https://www.env.go.jp/earth/ccs/3rd_speech14.pdf

② CarbonNet プロジェクト

豊富な貯留ポテンシャルをもつVictoria州は、連邦政府から資金提供を受けてCCSハブの構築を計画している。商業規模のCCSハブを確立し、州が目標に掲げる2045年までのネットゼロ達成に貢献することを目的とし、また、直接雇用と投資が地域に有益と考えている。

州内の複数の産業排出源から、沖合貯留層にCO_2をパイプライン輸送するもので現在、FEED（基本設計）まで終了している。日本の政府機関やCCS関連企業も注目しており、JOGMECが同州政府とMOUを締結するなど協力体制を築いている。

- 事業者： Victoria州政府
- 回収： 水素製造、肥料製造、バイオマス関連等が候補
- 貯留： 2か所の沖合貯留
  - Pelican地点：600万t/年×30年（塩水帯水層）
  - Kookaburra地点：750万t/年×20年（次段階）
- 輸送： パイプライン（陸上：80km、海底：20km（新設））（Pelican地点用）
- 資金：
  - 1億豪ドル（実現可能性調査用）（連邦政府:7千万豪ドル、州政府:3千万豪ドル）
  - Global CCS Institute (GCCSI)：230万豪ドル（ビジネスモデル検討用等）

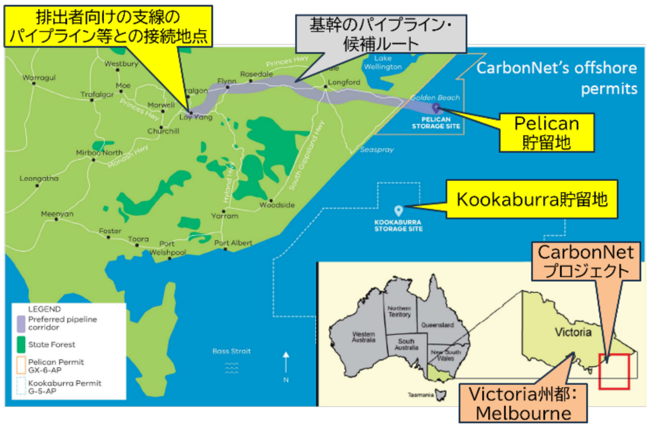


図 18　CarbonNet プロジェクト（沖合の貯留地等）

出典）The CarbonNet Project（州政府資料）に追記
https://gccc.beg.utexas.edu/files/gccc/research/goi/2024/2.02_Bailey_VictoriaGovt_Australia_CarbonNet.pdf
https://hgeo.energy.gov/archives/cslf/sites/default/files/documents/perth2012/Clifford-CarbonNetProject-PIRT-Perth1012.pdf