

令和 5 年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託
Direct Air Capture の産業化に向けた環境整備に関する調査分析

報告書

みずほリサーチ&テクノロジーズ

サステナビリティコンサルティング第1部

2024.3.22

ともに挑む。ともに実る。



事業目的

- (ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会DACワーキンググループ設置要綱から抜粋)
- カーボンニュートラルの達成には、最終的に脱炭素が困難な領域において、ネガティブエミッション技術(以下「NETs」という。)で対応することが必須である。
- 2050年には世界全体で、約20～100億トン/年のCO₂除去が必要と試算されているなか、我が国においても、産業や運輸の部門を中心として想定される約0.5～2.4億トン/年の残余排出を相殺するために、約数億トン/年のCO₂除去が必要とされている。
- 特に直接空気回収技術(DAC)については、近年市場が急拡大する中、早期にビジネス環境を整えるためのルール形成を行うことが求められる。一方で、現段階では市場・業界が未発達であり、個々のプレーヤーが独自に取組を進めている状況である。そのため、国内外のルール形成状況を踏まえ、こういった取組を進めていくべきかを、技術の専門家、関係企業等の関係者が集まって戦略的に検討する仕組みが必要である。
- 以上の背景を踏まえ、本業務では、DACに関する主要技術、各国の政策動向、ルール形成議論(ボランタリークレジット制度における方法論の開発状況及び算定方法、LCAガイダンス等)の調査を行うと共に、調査結果を踏まえ、国内で適用するためのルールの素案(方法論ドラフト)を作成した。
 - 方法論ドラフトは、J-クレジット制度(国内における排出・削減量認証制度)の方法論に展開することを念頭に作成したが、併せて海外の制度やルールとの差異についても整理し、論点を抽出した。
 - 同ドラフトを基にDACワーキングにて議論を行い、委員の意見を取りまとめた。

目次

1. 技術開発動向の整理
2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
4. 調査結果の整理・分析
5. DACWGの運営
6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

DAC技術比較

技術	特徴	長所	短所	CO2回収材料
化学吸収	空気を吸収液に通すことで、CO2を吸収・分離。加熱などによってCO2を回収。	大容量向き	再生用熱源が必要	- アルカリ水溶液 - アミン
化学吸着	空気を吸着材に通すことで、CO2を吸着・分離。加熱・減圧・加湿操作によりCO2を回収。	選択性が高い	- 吸着性/脱離性がトレードオフ - 再生用熱源が必要	- アルカリ金属塩 - アミン担持多孔質材 - 金属有機構造体(MOF) - イオン交換樹脂
物理吸着 (PSA※)	高圧・低温下で吸着剤に接触させ、物理的にCO2を吸収。減圧または加熱によりCO2を回収。	- 高純度精製が可能 - 装置が比較的簡易	- 再生ガスが必要 - 水分の親和性が強い	多孔性材料
電気化学	電極に電気を流しCO2を吸着。電圧を変えることで回収。	省エネルギー	- 高コスト - 大容量には不向き	電極
炭酸塩化	大気中のCO2を炭酸塩として固定化。	- 資源化が可能 - CaやMg等を多く含む産業廃棄物を活用可能	希薄CO2の回収が困難	金属(Caなど)
膜分離	空気を分離膜に通すことで、大気中のCO2を分離・回収。	- プロセスが容易 - 省エネルギー	- 高コスト - 透過性/選択性がトレードオフ - 大容量には不向き	- 高分子膜 - イオン液体膜
深冷分離	CO2の凝固点まで空気を冷却し、CO2を固体化して分離。	- 高純度精製が可能 - 大容量向き	高コスト	冷気

※ Pressure Swing Adsorption

(出所) 各種企業HP等をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

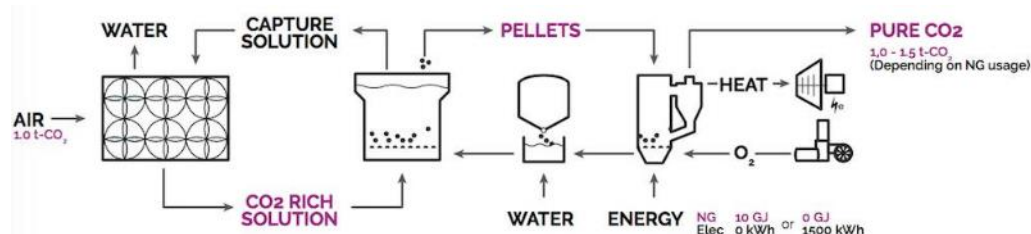
調査対象および概要

技術	企業名 研究機関名	国	ステータス	概要
化学吸収	Carbon Engineering	カナダ	商用化	KOH溶液によりCO ₂ を吸収する化学吸収法を採用。生成された炭酸塩を水処理技術に応用し分離後、加熱によりCO ₂ を回収。
	Axiom	オーストリア	ラボ	バイポーラ膜(BPM)を用いた電気透析による新規DAC技術を開発予定(一般的には電気透析は化学吸収後のCO ₂ 分離技術)。
化学吸着	Climeworks	スイス	商用化	ファンで吸引した空気からCO ₂ をフィルターで吸着し、約100℃で加熱することにより回収。
	Global Thermostat	アメリカ	商用化	ファンで吸引した空気からCO ₂ を独自のコンタクタにより吸着し、低温熱(85~100℃)によって回収。
	Carbyon	オランダ	ラボ	薄膜のアミン吸着剤で構成された回転ドラムを高速回転させ、吸収と再生の1サイクルを5秒未満で実施。加熱によりCO ₂ 脱離。
物理吸着	Avnos	アメリカ	実証	一般的にDAC時には水を消費するが、Avnosが開発したHDACではCO ₂ 回収時に大気中の水から蒸留水を生成することが可能。さらに湿度スイング法を用いることで、他DAC技術と比較してエネルギー消費を50%以上削減。
電気化学	デンソー	日本	実証	自動車部品製造で培った排気ガス浄化技術を活用し、電圧印加によりCO ₂ を吸脱着する技術を開発。低濃度CO ₂ (0.04~0.1%程度)が対象であり、大成建設の空調への適用実証試験を実施中。
炭酸塩化	東京大学	日本	ラボ	コンクリート廃材中のCaと大気中のCO ₂ のみを原料として、炭酸カルシウムコンクリート(CCC: Calcium Carbonate Concrete)を製造する技術を開発。

Carbon Engineering(化学吸収)

- KOH溶液によりCO₂を吸収する化学吸収法を採用。生成された炭酸塩を水処理技術を応用し分離後、加熱によりCO₂を回収する。2022年、米国のエネルギー企業1PointFiveと共同で世界最大のDAC施設「STRATOS」をテキサス州に建設。2025年半ばに稼働開始予定。1pointfiveと手掛けるサウステキサス州のDAC HubはIRA法の支援対象。

項目	内容
特徴	- 年間1~数百万トンの大規模施設の設計により低コスト化。 - 大気中のCO₂を連続的に回収し、ガスとして使用・貯蔵することが可能。
実証サイト	テキサス州エクター郡
CO ₂ 回収量	年間50万トン
CO ₂ 回収率	不明
用途	CDR、低炭素製品の製造
PJ実施期間	2022年～
関連企業・研究機関	
展望	STRATOS稼働後の炭素除去クレジットについて、AmazonやTD Bank Group等の複数企業が購入予定であることが発表されている。



- KOH溶液によりCO₂を吸収し生成された炭酸塩(PELLETS)を水処理技術を応用し分離。PELLETSを加熱することによりCO₂を回収する。
- CO₂回収後のPELLETSは水和することにより再利用される。

STRATOSの概要



- 1PointFiveが手掛けているCarbon EngineeringのDAC技術を用いたDAC施設。2025年半ば稼働予定。
- 回収したCO₂は地下貯留または低炭素製品製造への利用を検討。

【1PointFiveについて】

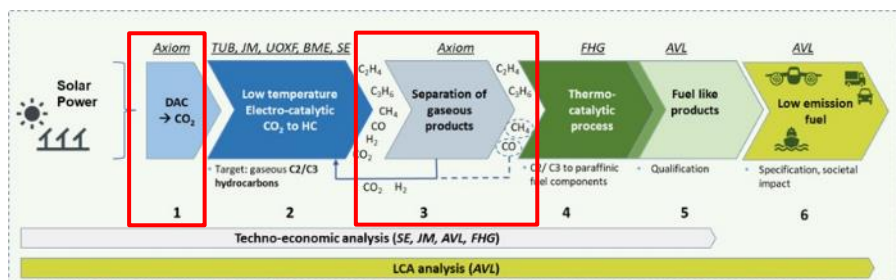
米国のエネルギー企業オキシデンタル・ペトロリウムの子会社。Carbon Engineeringの技術を含む脱炭素ソリューションの展開を通じ、2050年までに世界の気温上昇を1.5℃に抑えることを目指す。

(出所) [Carbon Engineering | Direct Air Capture of CO₂ | Home](#)、[1PointFive | Direct Air Capture](#)、[Biden-Harris Administration Announces Up To \\$1.2 Billion For Nation's First Direct Air Capture Demonstrations in Texas and Louisiana](#) | [Department of Energy](#)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Axiom(化学吸収・電気透析)

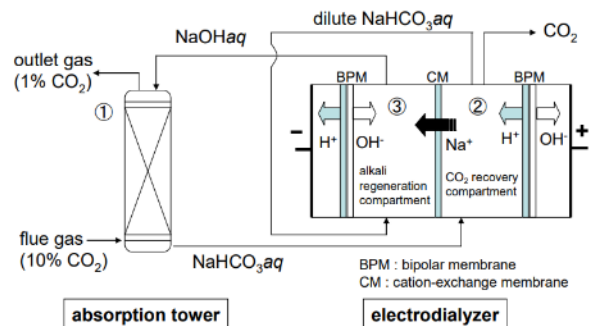
- 水とDACで回収したCO₂から液体炭化水素燃料を合成するEU国プロ(Eco Fuel)でDAC部分を担当。バイポーラ膜(BPM)を用いた電気透析による新規DAC技術を開発予定(一般的には電気透析は化学吸収後のCO₂分離技術)。技術の詳細は非公開だが、BPMにAxiomの膜分離技術を反映させるものと思料。

項目	内容
特徴	- バイポーラ膜を用いた電気透析による新規DAC技術を開発。 - Axiomはポリマー膜をベースとしたガス分離技術を所有。
実証サイト	不明
CO ₂ 回収量	不明
CO ₂ 回収率	不明
用途	液体炭化水素燃料(Eco Fuel)の合成
PJ実施期間	2021/1/1~2023/12/31
関連企業・研究機関	
展望	- 経済的利点の検証 - LCA評価をふまえたシステム全体の環境負荷低減



- DACにより得られたCO₂と水から液体炭化水素燃料(Eco Fuel)を合成。
- AxiomはDAC(工程1)およびガス分離(工程3)を担当。詳細な技術内容については非公開。

(参考) 東大 電気透析を用いた二酸化炭素分離・回収法



- ① NaOH溶液でCO₂を吸収。
- ② バイポーラ膜(BPM)で分離されたH⁺と反応させ発生させたCO₂を回収。
- ③ 陽イオン交換膜を通して②から移動してきたNa⁺とBPMで分離されたOH⁻でNaOHを生成。①で再使用。

(出所) [Home\(ecofuel-horizon.eu\)](http://Home(ecofuel-horizon.eu))、[電気透析を用いた二酸化炭素分離・回収法の実用可能性の評価\(jst.go.jp\)](http://電気透析を用いた二酸化炭素分離・回収法の実用可能性の評価(jst.go.jp))をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Climeworks(化学吸着)

- ファンで吸引した空気からCO2をフィルターで吸着し、約100℃で加熱することにより回収。2021年、CO2貯蔵を手掛けるCarbfix社と共同で世界初の大規模なDACSプラントであるOrcaを稼働。2022年にはOrcaの9倍の回収量DACSプラントMammothの建設に着工している。Climeworksが参画する3つのDAC HubはいずれもIRA法の支援対象。

項目	内容
特徴	• Orca、Mammothで用いる熱・電気は全て隣接する地熱発電所で賄っている。 • プラントはモジュール式技術設計に基づいているため、拡張性に優れている。
実証サイト	アイスランド ヘトリスヘイジ発電所
CO2回収量	Orca: 年間4,000トン Mammoth: 年間36,000トン
CO2回収率	不明
用途	CDR、
PJ実施期間	Orca稼働: 2021年～ Mammoth着工: 2022年～ (2024年頃稼働開始予定)
関連企業・研究機関	 
展望	• 実証のスケールアップ

Orcaプラント

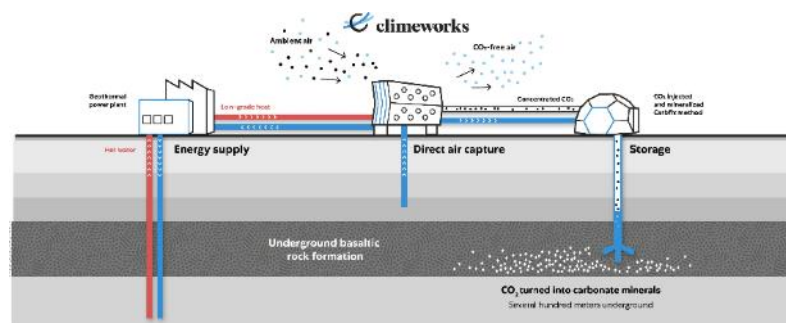


Mammothプラント(イメージ図)



OrcaプラントにおけるDACSフロー

- CO2の脱離には地熱発電の排熱を利用。
- 回収したCO2はCarbfixの技術により地下水を用いて炭酸塩鉱物に変換し、地下の玄武岩層に固定化。



(出所) [Mammoth: our newest direct air capture and storage facility \(climeworks.com\)](https://www.climeworks.com)、[Direct Air Capture - Carbfix](#)、[Tenfold increase to CO2 direct air capture and storage at Hellisheiði – Carbfix](#)、[Biden-Harris Administration Announces Up To \\$1.2 Billion For Nation's First Direct Air Capture Demonstrations in Texas and Louisiana | Department of Energy](#)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Global Thermostat(化学吸着)

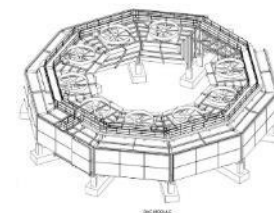
- ファンで吸引した空気からCO₂を独自のコンタクタにより吸着し、低温熱(85~100℃)によって回収。2022年、CO₂回収量がキロトン規模のKシリーズプラントを稼働している。2023年12月には年間メガトン規模のCO₂回収(Mシリーズ)に向けたDACプラント設計が完了。なお、チリでの合成燃料PJへの参画も報じられたが、現状の詳細は不明。

項目	内容
特徴	・ 積み重ね可能であり、モジュール性と柔軟性が優れている。
実証サイト	コロラド州 デンバー
CO ₂ 回収量	Kシリーズ: 年間1,000トン以上 Mシリーズ(開発中): 年間10万トン
CO ₂ 回収率	不明
用途	未定(現状は大気にCO ₂ を放出)
PJ実施期間	2022年～
関連企業・研究機関	
展望	・ 実証のスケールアップ

Kシリーズプラント



Mシリーズモジュール



- 米国IRA法に基づく税額控除の対象となる閾値である年間1,000トン以上のCO₂回収が可能。
- Mシリーズは、Kシリーズの600%以上の接触器を含む大型・円形のDACモジュールを特徴としている。



HIF Haru oni PJ

- チリの手エネルギー企業HIFが企画するCO₂と風力発電による合成燃料製造PJ。

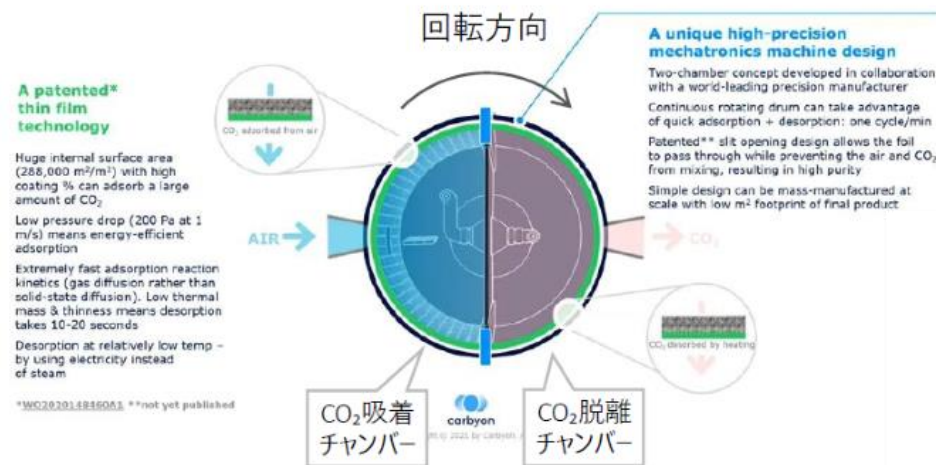
- 2021年CO₂の供給にGT社のDAC技術を提供する契約を結ぶも、現在は生物由来のCO₂を利用と記載されており、CO₂回収技術の提供元の情報は不明。

(出所) [Global Thermostat](#)、[Hype and E-Fuels: The Haru Oni pilot plant | Industry Decarbonization Newsletter](#)、[HIF Chile \(hifglobal.com\)](#)、[Why this new plant is capturing carbon dioxide just to let it back out again - The Verge](#)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Carbyon(化学吸着)

- 薄膜のアミン吸着剤で構成された回転ドラムを高速回転させ、吸収と再生の1サイクルを5秒未満で実施。薄膜であることにより常温・短時間でのCO₂吸着が可能となり、1トンあたり2500kWh未満の電力でCO₂を回収可能。

項目	内容
特徴	高速スイングプロセスにより、1トンあたり2500kWh未満の電力でCO ₂ を回収可能。
実証サイト	オランダアイントホーフェン ハイテクキャンパス
CO ₂ 回収量	素材1kgあたり年間5トン
CO ₂ 回収率	不明
用途	CDR, SAF等への変換, 温室などへの利用
PJ実施期間	—
関連企業・研究機関	
展望	スケールアップや屋外パイロットを実施し、将来的には長距離輸送や建築などの排出削減が困難な分野での使用を目指す。

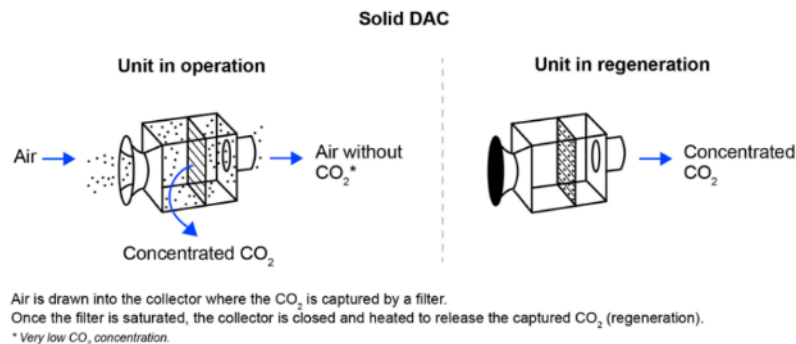


- 回転ドラムはCO₂吸着剤として使用されるアミンの単層で官能基化された活性炭繊維膜で構成。薄膜であることにより常温・短時間でのCO₂吸着が可能(吸収と再生の1サイクル:5秒未満)。加熱によりCO₂回収を行う。
- 2022年にXPRIZE Milestone Award for Carbon Removalを受賞。
- 初期の高速スイングプロセスでは、水の副吸着によるエネルギー損失が課題だったが、水の吸収を減少させることに成功し、2,500 kWh/ton未満を達成。

(出所) [Carbyon finds missing piece of the puzzle: ultra-fast carbon capture process proven with an energy demand below 2,500 kWh/ton | Carbyon](#)、NEDO, DAC(Direct Air Capture)の技術動向及び社会実装課題に関する調査報告書(非公開版)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

補足情報: Carbyon(化学吸着)

- 該当企業: Carbyon
- ご質問内容: 2,500 kWh/t-CO₂の優位性は？
(参考: 2,500 kWh/t-CO₂ = 9GJ /t-CO₂)
- 回答内容: 固体型のDAC技術においてはより低いエネルギー消費量が報告されています(右表参照)。
 - IEAによる2022年の報告では、エネルギー消費量はS-DACの場合7.2-9.5GJ /t-CO₂。
 - S-DACは吸着/脱離の循環プロセスを通じて動作する固体吸着剤であり、吸着は常温・常圧、脱離は温度-真空スイングプロセスを通じて行われるDACを指す(下図)。
 - これらのエネルギー消費量算出方法、条件は不明。



Key features of S-DAC and L-DAC technology approaches

	S-DAC	L-DAC
CO ₂ separation	Solid adsorbent	Liquid sorbent
Specific energy consumption (GJ/tCO ₂)	7.2-9.5	5.5-8.8
Share as heat consumption (%)	75-80%	80-100%
Share as electricity consumption (%)	20-25%	0-20%
Regeneration temperature	80-100°C	Around 900°C
Regeneration pressure	Vacuum	Ambient
Capture capacity	Modular (e.g. 50 tCO ₂ /year per unit)	Large-scale (e.g. 0.5-1 MtCO ₂ /year)
Net water requirement (tH ₂ O/tCO ₂)	-2 to none	0-50
Land requirement (km ² /MtCO ₂)	1.2-1.7	0.4
Life cycle emissions (tCO ₂ emitted/tCO ₂ captured)	0.03-0.91	0.1-0.4
Levelised cost of capture (USD/tCO ₂)	Up to 540	Up to 340

(出所) [Direct Air Capture: A key technology for net zero \(windows.net\)](https://www.windows.net)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

補足情報: Carbyon(化学吸着)

- 該当企業: Carbyon
- ご質問内容: 2,500kWh/t-CO₂の優位性は？

ご参考

- Carbyonは完全電化の低CAPEX技術で2500kWh/トンを実証し、エネルギー消費量を2,500 kWh/t-CO₂と主張。なお、大手三社の熱エネルギー、電気エネルギー消費量は下表の通りであり、それらを合算するとClimeworksは2,950 kWh/t-CO₂となる。
- 一方で、各社のエネルギー消費量算出方法や条件は不明であり、単純比較は困難である点を留意。

項目	吸収剤	熱 GJ/t-CO ₂	電気 kWh/t-CO ₂	合計(熱+電気)※ kWh/t-CO ₂	コスト \$/t-CO ₂
Carbon Engineering	KOH/Ca(OH) ₂ 水溶液	5.3	366	1,838	不明
Climeworks	アミン系個体吸収材	9.0	450	2,950	600
Global Thermostat	アミン系個体吸収材	4.4	160	1,382	150
Carbyon	アミン系個体吸収材	不明 (完全電化とあるため脱離部分の加熱も 電気エネルギーに含まれていると思料)	2,500	2,500	不明

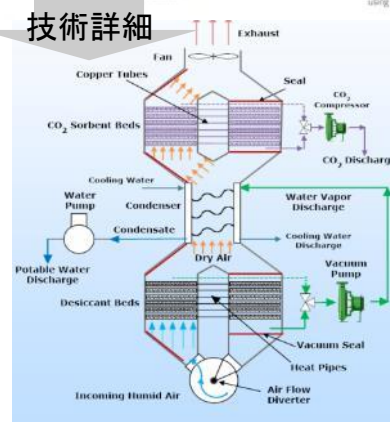
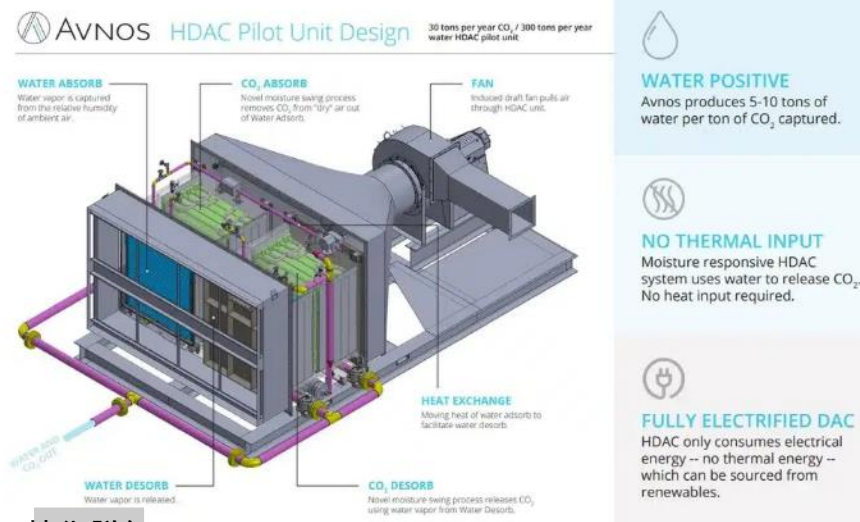
※ 1 GJ=277.78 kWhとして単位換算を行い、熱エネルギー需要と電気エネルギー需要を足し合わせた値

(出所) [Carbyon finds missing piece of the puzzle: ultra-fast carbon capture process proven with an energy demand below 2,500 kWh/ton | Carbyon, 100943560.pdf \(nedo.go.jp\)](#)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Avnos(物理吸着)

- 一般的にDAC時には水を消費するが、HDACではCO2回収時に大気中の水から蒸留水を生成することが可能。さらに湿度スイング法を用いることで、他DAC技術と比較してエネルギー消費を50%以上削減。

項目	内容
特徴	- CO2回収に加え、大気中の水を回収することで1トンのCO2回収あたり5トンの蒸留水を製造可能。 - 湿度スイング法(吸着剤の湿潤状態によって脱着)により加熱が不要となり他DAC技術と比較してエネルギー消費を50%以上削減。
実証サイト	カリフォルニア州 ベーカーズフィールド
CO2回収量	年間約30万トン(予定)
CO2回収率	不明
用途	CDR、蒸留水製造
PJ実施期間	2023年11月～
関連企業・研究機関	
展望	2025年末までに商業用のHDACユニットを提供する予定。 2030年代初頭には1トンあたり100ドルに到達すると推測。



- AvnosのHDAC技術は、Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)の研究がベースとなっている。該当PJは2023年9月に完了。
- 2023年7月にConocoPhillips、JetBlue、Shellから8000万ドル調達。

(出所) [Avnos launches the World's first Hybrid Direct Air Capture system in partnership with Southern California Gas Company | Business Wire](#)、[Project Title \(doe.gov\)](#)、[Avnos Signs Strategic Partnerships Worth \\$80M To Deliver Hybrid Direct Air Capture Units \(carbonherald.com\)](#)をもとに
みずほリサーチ&テクノロジーズ作成

補足情報: Avnos (物理吸着)

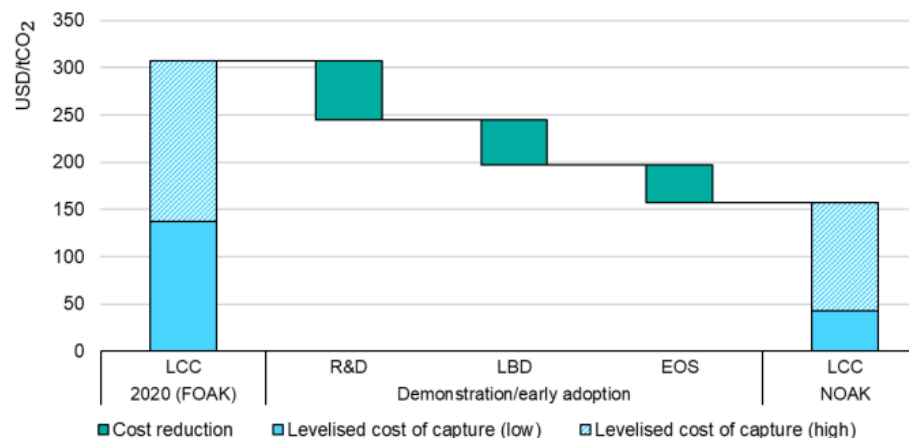
- 該当企業: Avnos
- ご質問内容: \$100の内訳は何か。水の売却益は含まれているか。
- 回答内容: 性能の改善によるコストダウンが可能とのことでしたが、詳細な内訳は明示されていませんでした。
- 出典: [Avnos Signs Strategic Partnerships Worth \\$80M To Deliver Hybrid Direct Air Capture Units \(carbonherald.com\)](https://carbonherald.com/Avnos-Signs-Strategic-Partnerships-Worth-$80M-To-Deliver-Hybrid-Direct-Air-Capture-Units/)

ご参考

- IEAでは2022年時点で建設されている大規模プラントの場合、1トンのCO₂当たりのコストはUSD125～USD335と推定。
- 今後5～10年で大幅なコストダウンが見込まれている(右図)。
 - L-DACは空気接触装置の改良がコスト削減に寄与していると推測。
 - S-DACは規模の拡大や学習効果がコスト削減に寄与していると推測。

(出所) [Direct Air Capture: A key technology for net zero \(windows.net\)](https://www.windows.net/)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

Contribution to decline in cost of DAC by high-level driver



IEA. All rights reserved.

Note: LCC = average levelised cost of capture; FOAK = first of a kind; NOAK = nth of a kind; R&D = research and development, representing learning by researching; LBD = learning by doing; EOS = economies of scale. The "low" levelised cost of capture represents the average cost for L-DAC while the "high" levelised cost of capture represents the average cost for S-DAC. Reference capture capacity scale = 1 MtCO₂/year. Please note that cost reductions based on learning by researching, learning by doing and economies of scale are not fully independent and therefore cumulative; however, they have been represented here as such for simplicity.

デンソー(電気化学)

- 自動車部品製造で培った排気ガス浄化技術を活用し、電圧印加によりCO₂を吸脱着する技術を開発。低濃度CO₂ (0.04~0.1%程度)が対象であり、大成建設の空調への適用実証試験を実施中。

項目	内容
特徴	- 電圧印加によりCO₂を吸脱着する技術を開発。0.04~0.1%程度の低濃度CO₂が対象。 - 自動車部品製造で培った排気ガス浄化技術を活用。
実証サイト	大成建設技術センター 人と空間のラボ(ZEB実証棟)
CO ₂ 回収量	不明
CO ₂ 回収率	不明
用途	CDR, CO ₂ の資源化
PJ実施期間	2023年9月~
関連企業・研究機関	 大成建設
展望	回収したCO₂を環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」に固定する実験などに利用予定。



- NEDOによるグリーンイノベーション(GI)基金事業で開発を進めている技術の一部を活用。対象CO₂濃度が異なる(下表)。

	GI基金事業	本実証
CO ₂ 濃度	~10%程度	0.04~0.1%程度

- 必要なCO₂回収量によって設置台数を調整することができ、顧客のニーズに柔軟に対応することが可能。

(出所) [デンソーと大成建設、カーボンニュートラル社会の実現に向け CO₂回収システムを用いた共同技術検証を開始](#) | [ニュースルーム](#) | [ニュース](#) | [DENSO - 株式会社デンソー / Crafting the Core /](#)、[100946350.pdf \(nedo.go.jp\)](#) をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

東京大学(炭酸塩化)

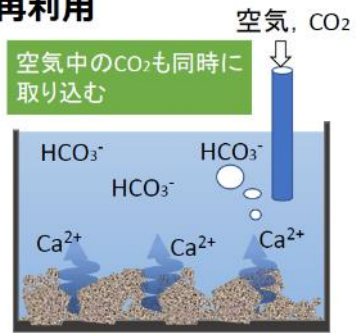
- 世界全体の年間CO₂排出量の7～8%を占めるセメント生産において、コンクリート廃材中のCaと大気中のCO₂のみを原料として、炭酸カルシウムコンクリート(CCC: Calcium Carbonate Concrete)を製造する技術を開発。

項目	内容
特徴	・ コンクリート廃材由来のCaと大気中から吸収したCO₂を用いてコンクリート廃材の隙間にCaCO₃を析出させコンクリートを硬化。
実証サイト	(ラボ)
CO ₂ 回収量	カルシウムカーボネートコンクリート単位あたり124 kg-CO ₂ /m ³ (製造にかかるCO ₂ 排出量は考慮なし)
CO ₂ 回収率	不明
用途	コンクリート廃材のリサイクル
PJ実施期間	不明
関連企業・研究機関	 北海道大学 HOKKAIDO UNIVERSITY  東京理科大学 TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE  宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY  工学院大学 KOGAKUNI UNIVERSITY  清水建設 SHIMIZU CONSTRUCTION  増尾リサイクル株式会社 MASUO  太平洋セメント
展望	・ 建築物の構造材料としての利用 ・ 地球外での建設資材製造技術開発(火星には炭酸塩と水が存在する報告があるため)


P. 15

開発の背景：廃コンクリートの再利用

- Caを再利用するために、コンクリート廃材を用いる。
- このとき、大気中のCO₂、工場の廃ガスの中のCO₂も合わせて取り出す。
- CaとCO₂を原料として結合材にする。**
=石灰岩に戻す反応を利用する。



空気, CO₂

空気中のCO₂も同時に取り込む

炭酸カルシウム製造のためのCa用の原料に

廃コンクリート=貴重なCa資源





2021年4月19日

C⁴Sプロジェクト 記者会見
 「新たな硬化体製造技術の開発」



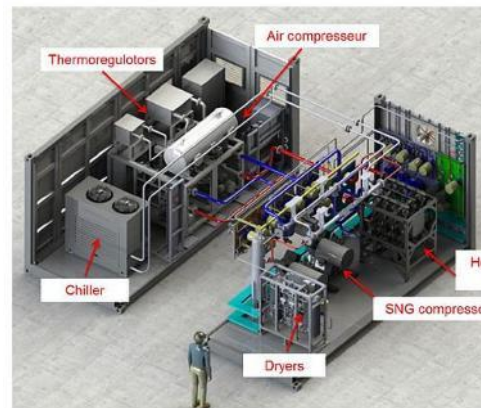
- 2023年11月、セメントを使った材料が空気中のCO₂と反応して無機炭酸塩の形で固定化したことと、その固定化したCO₂量を、¹⁴Cを用いて明らかにする手法を開発。
- 2023年6月、本研究の論文が日本コンクリート工学会賞を受賞。

(出所) C⁴Sプロジェクト 記者会見「新たな硬化体製造技術の開発」をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

【参考】STORE&GO (Climeworks: 化学吸着)

- オンサイトの再エネ電力によって水電解し得られた水素とDACで得られたCO₂からメタン合成を行うEU助成プロジェクト。DAC装置としてClimeworksの技術を採用している。-162℃まで冷却し、合成メタンを液化することでインフラ環境が整備されていない場所でも合成燃料を利用・輸送可能としている。

項目	内容
特徴 (ユニット全体)	・ リーンガスをメタン化ユニットの前部でリサイクルすることにより、CO₂とH₂の全体的な変換効率が約99%を達成。 ・ 液化することでインフラ環境が整備されていない場所でも合成燃料を利用・輸送可能。 ・ スイス実証サイトでは、古細菌(Archaea)を利用した低温でのメタン合成の開発を進めている。
実証サイト	イタリア トロイア
CO ₂ 回収量	不明
CO ₂ 回収率	不明
用途	液体再生可能ガス(液状合成メタン)の合成
PJ実施期間	2016年3月1日～2020年2月29日
関連企業・研究機関	
展望	・ 後続PJは確認できていないが、ガイドツアー等による普及活動を実施している。



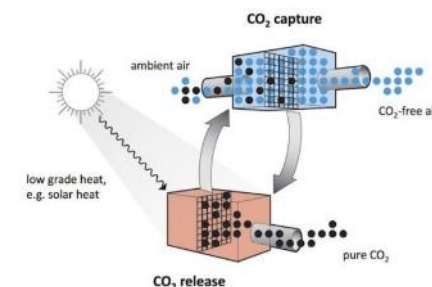
- INGRID主導で開発された電解装置によって生成される水素を用いて合成メタンを製造。
- メタン合成は一般的なサバティエ反応によるもの。

- ✓ 合成メタン製造能 10Nm³/h
- ✓ 純度 CH₄ 75%-vol. CO₂ 4%-vol.

- メタン化反応装置(ATOMOSTAT製)を拡張し、DAC (Climeworks製)等の既存のユニットを内包。



(参考) ClimeworksのDAC技術



(出所) [Italy | STORE&GO \(storeandgo.info\)](https://storeandgo.info)をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援の状況

- EUや英国ではETS制度などのルールメイクや技術開発支援プログラムによってDACを後押し。
- 米国では45Qによる税優遇に加え、多くの技術開発支援プログラムで後押し。

直近の動向

	EU	英国	米国
DACの位置づけ	2050年気候中立に向けて、最優先はGHG排出削減だが、避けられない炭素排出を相殺するための炭素除去が同時に必要。2050年までには、年間数億トンのCO2除去が必要(Sustainable Carbon Cycles, 2021年) - 持続可能な炭素循環に向けて、カーボンファーマーミングや製品への炭素貯蔵の他、DACCSを含む工学的手法も重視。 - 排出量取引や認証などのルールメイクの他、技術支援を進める。	- ネットゼロ達成のための第一の手段は野心的な脱炭素だが、完全な脱炭素化が難しいセクターの残余排出を相殺するためにCO2の除去が必要。(Net Zero Strategy, 2021年) - GGR (Greenhouse Gas Removal) ビジネスモデルの開発を進めており、MRVの指針やクレジット支援の方法などの検討を進める。 - 排出量取引においてDACを含めたGGR技術を導入する方針で、ルールメイク中。	2050年ネットゼロの達成には、「排出削減」と「大気中からのCO2の除去」の2つの戦略が存在。21世紀半ばまでに、毎年ギガトンスケールでの大気中からのCO2回収が必要。(Carbon Negative Shot, 2021年) - CCUSの他、DACも含めたCDRも重視し、支援プログラムや税優遇を実施。連邦政府によるCDRクレジット購入プログラム(オフテイク補助)も発表。
導入目標計画	Sustainable Carbon Cycles(2030年までにDACCSも含めて年間500万トンのCO2を回収・貯留する目標)	- Net Zero Strategy - CCUS Vision - Greenhouse gas removals (GGR): Business Model	- 長期戦略 - Pathways to Commercial Liftoff: Carbon Management - Carbon management challenge
技術開発支援	- Innovation Fund - Horizon Europe	DAC and other GHG Removals Innovation	- DAC Hub - DAC Prize (Commercial CDR Purchase Pilot prize) - Carbon Utilization Procurement Grants - Technology Commercialization Fund - Carbon Negative Shot
DAC導入に向けた制度	EU-ETS	UK-ETS	- LCFS (カリフォルニア州) - American Carbon Registry
規制	炭素除去認証枠組み	Greenhouse gas removals (GGR): Business Model	飲料水安全法における地下圧入管理プログラム
事業補助	-	-	インフレ削減法(IRA) 45Q

EU DACの位置づけ、政策支援の状況

- 欧州グリーン・ディールを受け、持続可能な炭素循環を目指す中でDACを含む除去技術の開発・実装を支援。
- 2022年11月に欧州委員会が炭素除去認証枠組みに関する規則案を提案し、審議中。
- また、2023年5月のEU-ETS指令改正によって、排出量取引における炭素除去の扱いを検討する方針に。

項目	タイトル	発表年	概要	直近の動向
導入目標	Sustainable Carbon Cycle	2021年12月	- 炭素除去量を増加させるための解決策開発に向けた行動計画を含むコミュニケーションを採択。 2028年までに産業で回収・輸送・使用・貯蔵されたCO2量を、その起源とともに報告可能とすること、2030年までに先進プロジェクトによって500万t/年のCO2を大気から回収し、技術によって恒久的に貯留することなどを目標に設定(DACCS以外の方法も含む)。 - Innovation Fund等を通じた資金提供の他、関連して、EU炭素除去認証枠組みを提案。	
	CCUS技術と輸送に関する産業炭素管理戦略	2024年2月	- 産業炭素管理技術の開発や整備に必要なEUレベルでの規制や投資の枠組みの構築に向け、今後の取り組みを示すコミュニケーション。 - 大気からの回収(DACCSやBioCCS)については、2040年のGHG排出削減目標を2050年気候目標に合致する回収量を評価した上で、必要な施策や支援メカニズムを検討する方針。	
技術開発支援	Innovation Fund	-	- 革新的な低炭素技術の実証と実用化に向けた世界最大の助成プログラムの1つ。EU-ETSの排出枠オークションの収益が財源。水素やエネルギー貯蔵、CCUSなどの革新的クリーンエネルギープロジェクトの実証・実装を支援。 - BECCSやDACCSも対象(2023年末時点ではBECCSやCCSの案件のみ)	
	Horizon Europe	-	- EU加盟国を対象とした多年度研究助成プログラム。現行の助成対象は2021~2027年。 2024年9月~2025年1月にもDACCS及びBECCSの技術開発プロジェクトを公募予定(総額1500万EUR、1プロジェクトあたり500万~700万EURの規模)。	
DAC導入に向けた制度	EU-ETS (EU排出量取引制度)	2023年5月	- EU-ETS指令改正案を含むFit for 55関連法案が発行。 - 欧州委員会は2026年7月末までに以下について、欧州議会及び理事会に報告する旨を規定：排出量取引におけるネガティブエミッションの取り扱い、また適切な場合、スコープや要件、必要な排出削減を相殺しないためのセーフカバーも含め、どのようにネガティブエミッションをカバーできるか	
規制	炭素除去認証枠組み (Carbon Removal Certification Framework)	2022年11月~	- EUで実施された炭素除去を認証する、初めてEU全域を対象とした自主的制度を提案するもの。グリーンウォッシュを避けながら、高品質の炭素除去の取組を拡大することが目的。 - 炭素除去の品質確保のための、4つの品質基準(QU.A.L.I.T.Y)*を提案。認証の対象となる炭素除去活動は、カーボンファーミング、BECCS、DACCS、製品・原材料への貯留。それぞれの炭素除去活動に合わせた認証方法は専門家との協議を経て、今後委任法で規定。 - 欧州委員会による規則案の提案後、欧州議会及び理事会で審議。2024年2月に欧州議会と理事会が政治的合意に達し、2024年内に合意見込み。審議と並行して、専門家との協議は2023年から開始、2024年4月にも第4回会合を予定。	

英国 DACの位置づけ、政策支援の状況

- DACは排出削減が困難なセクターからの残余排出を相殺する重要な役割として位置づけられる
- 2023年7月のUK-ETS指令改定により排出量取引においてDACを含めたGGR技術を導入する方針が示された
- 方法論も含めたビジネスモデルの協議が行われ、市場の形成に向けた動きが進んでいる

注) CDR, GGR=二酸化炭素除去、MRV=測定、報告、検証

項目	タイトル	発表年	概要
導入目標	Net Zero Strategy	2021年10月	- CCUSの炭素回収量を2030年までに年間20～30Mtに設定、内6Mtは産業排出としている。 2050年に年間 110MtCO₂ の除去が必要であり、70%はBECCSやDACCS等の工学的手法、30%は土地ベースのソリューションが占めると推定。 2030年までに少なくとも年間5MtのGGR技術によるCO₂回収設備を建設。
	Greenhouse gas removals (GGR): Business Model	2023年6月	- GGRの炭素回収量の目標として2030年までに少なくとも年間5Mt、2035年までに最大23Mt、2050年までに75～81Mtまで拡大するとしている。 - クレジット市場への支援方法として差金決済取引(Contract for Difference)が最も有力であるとされている。
	CCUS Vision	2023年12月	2030年代のCCUS導入を加速し、商業的で競争力のある市場の形成を目指す。 - Carbon Budget 6(2033-2037年の炭素排出量の上限)の達成のためには2030年代半ばまでに年間貯留量を少なくとも50Mtに増やす必要があることを言及している。
技術開発支援	DAC and other GHG Removals Innovation	2020年6月	- DACやその他のGGR技術の開発を対象に資金を提供。 - 対象となるGGRソリューションは、DAC、バイオ炭、BECCSが挙げられる。
DAC導入に向けた制度	UK-ETS	2021年1月	- EU-ETSの後継として導入されたイギリスの排出取引制度。 2023年7月の改定に際して、DACを含めたGGR技術についても導入が適切であると結論付け、詳細設計が今後進められる。
規制	Greenhouse gas removals (GGR): Business Model	2023年6月	- MRVのアプローチの指針となる原則を定義。 2023年12月にBECCSのビジネスモデルも含めた更新版と、民間のコンサルによるレビューレポートが公開。

(出所) Net Zero Strategy: Build Back Greener / Engineered Greenhouse Gas Removals Government response to the consultation on a GGR Business Model / Greenhouse Gas Removals Update on the design of the Greenhouse Gas Removals (GGR) Business Model and Power Bioenergy with Carbon Capture and Storage (Power BECCS) Business Model / Carbon Capture, Usage and Storage A Vision to Establish a Competitive Market / Direct Air Capture and Greenhouse Gas Removal Programme – Phase-2 / Tighter limit on industrial, power and aviation emissions, as UK leads the way to net zero

(参考: 英国) GGR Business ModelとCCUS Vision

GGR Business Model

民間投資を呼び起こし2020年代後半からGGRプロジェクトを大規模に展開するために必要なビジネスモデルの設計について、2022年7月よりステークホルダーとの協議が開始され、2023年6月に協議結果および政府の対応方針が公開された。

- GGRの技術としてDACCS、BECCS、カーボンネガティブコンクリート、海水CO₂除去が挙げられるが、これらに限定されない
- DACCSの炭素回収量として2050年までに少なくとも年間18Mtを目標に掲げており大規模な早期導入が必要としている
- 炭素除去に対するクレジット支援について複数の契約方法で検討を行い、差金決済取引(Contract for Difference, CfD)が最も効果的な手法であるとし開発を進める方針を示す
- MRVのフレームワークとして、正確性、一貫性、継続的改善、環境セーフガード、簡潔性、公平性、透明性の7つの原則に合意

2023年12月にBECCSを含めた[GGR Business Modelの更新版](#)を公開。同時に既存の規格や方法論が可能性を把握するために、民間のコンサルによるレビューレポートも公開。本レポートでは、DACCSの方法論としてPuro Earth、Climeworks Carbfixのものが好意的に評価されている。レビュー結果を受け全てのGGR技術をカバーできる既存の方法論はないとしつつも、更新によってカバーされる範囲が広がってゆくことに言及。今後、政府が新しい基準を検討するとしている。GGRの方法論として、初期のプロジェクトに対しては方法論の質の閾値を設定し、プロジェクトで方法論を提案できるようにすると考えられる。政府主導の方法論はGGR Business Modelで定義された原則を反映しつつも、その他の政策や規則とも一貫性を確保しながら、長期的にはETSの統合を支援するものとなる。

CCUS Vision

2023年12月20日に発表された、CCUSの拡大と市場の確立に向けての政府ビジョン。DACはこの中でNet Zero達成にむけた最も重要な技術であると位置づけられている。

CCUSセクターの構築を以下の三段階に分けて定義している。

➤ Phase-1: 2030年代までの市場の立ち上げ

4つのCCUSクラスター(Hynet、East Coast Cluster、Viking、Acorn)を2030年までに構築
CO₂の輸送を含めた複雑なインフラ開発の課題解決を目的とした、政府主導のワーキンググループを設立

➤ Phase-2: 市場の移行(商業的かつ競争的な市場の出現)

CCUSクラスターの構築を加速、コスト削減を促進させるため、2027年より競争的なプロセスを通して契約を割り当てるとしている。
現在までのCCUSプロジェクトはパイプラインを介してCO₂を輸送することに焦点を当てていたが、主要な産業クラスター外のパイプライン輸送を利用できないNPTプロジェクトについても2025年以降の選定プロセスに申請する資格を有する。

➤ Phase-3: 自立した市場の形成

パイプライン、非パイプラインの様々な輸送経路を組み込んだ成熟したCCUSセクターを構想

なお2024年にCCUS市場のフレームワークに関する協議を開始する予定としている。また輸送および貯蔵のための新しい経済ライセンスの申請プロセスが2025~26年には必要となる見通しである。

(出所) Engineered Greenhouse Gas Removals Government response to the consultation on a GGR Business Model / Greenhouse Gas Removals Update on the design of the Greenhouse Gas Removals (GGR) Business Model and Power Bioenergy with Carbon Capture and Storage (Power BECCS) Business Model / Carbon Capture, Usage and Storage A Vision to Establish a Competitive Market

米国 DACの位置づけ、政策支援の状況

- 2050年ネットゼロの達成に向けてCCUSやCDRも重視し、DACについても支援プログラムや税優遇を実施。
- 2022年8月に成立した インフレ削減法(IRA) で既存のCCSタックスクレジットを拡大し、DACに関する特別措置を追加(45Q)。2022年12月には超党派のインフラ投資・雇用法に基づき、DAC Hubの設置など4つのCDRプログラム(表中の*)に37億ドルを充当すると発表し、2023年8月にDAC Hubの第1段採択案件を発表。
- 2023年9月には、DAC Prizeの一環で連邦政府によるCDRクレジット購入プログラム(オフテイク補助)を発表。

項目	タイトル	発表年	概要	直近の動向
導入目標	長期戦略	2021年11月	2030年までに2005年比50-52%削減を中期目標として、2050年までにネットゼロを長期目標に設定。 2050年の脱炭素化が困難なセクターもあることから、大気からの炭素除去も重要となると指摘。技術的な除去として「BECCS」「DACCS」「鉱物化」「海洋ベースのCDR」を強化する旨を記載。	
	Pathways to Commercial Liftoff: Carbon Management	2023年4月	商業化に向け、2030年前後で分けて短期と中長期の道筋を整理したレポート。2050年までにCCUSとCDRを通じて4~18億トン/年のCO2の回収・貯蔵が必要と推計。	
	Carbon management challenge	2023年4月	炭素回収、除去、利用、貯留技術の展開を加速するために米国が提唱した枠組み。2023年末までに参加国は20か国・地域。2030年までに参加国合計でCCUS・CDRにより1.5Gt/年のCO2回収が目標。	
技術開発支援	DAC Hub*	2022年12月	- DAC技術の商業化を目指すDOE主導のプログラム。BILによる35億ドルの予算で、2022~2026年の5年に地域別のDACハブを4つ設立予定。 2022年12月から公募開始、2023年8月に第1段採択案件を発表(テキサス州のSouth Texas DAC Hubとルイジアナ州のProject Cypress DAC Hubに11億ドル、その他19件の初期調査に1億ドル、総額12億ドル)	
	DAC Prize*	2022年12月	- DOEの化石エネルギーおよび炭素管理局(FECM)が、画期的なDAC技術の開発に向け、3部門で総額1.15億ドルの賞金をBILによって提供。商業化前のイノベーション部門(EPIC賞)、商業化前の技術部門(技術賞)、商業化後のCDR購買部門(次項参照)の3部門。 2023年8月にイノベーション部門で13チームが総額130万ドルを、2023年12月に技術部門で7チームが総額100万ドルと技術支援を受け取ると公表。	
	Carbon Utilization Procurement Grants*	2022年12月	州、地方自治体等に対する、CDR 技術の商用化と、回収した炭素から開発した製品の調達を支援するための補助金。2026年までに最大で 総額1 億ドル、申請の提出期限は2024年4月末。	
	Technology Commercialization Fund*	2022年12月	DOEの技術移行局(OTT)とFECMがCDR技術のMRVの検討プロジェクトを募集し、総額1500 万ドルを支援。CDRの MRVのベスト プラクティスと、大規模な CDR 商業化を可能にするために必要な機能を開発する DOE 主導の 4 つのチームを2023年5月に採択(次項参照)	

(参考: 米国) Technology Commercialization Fund

- BIL予算に基づき、CDRのMRVベストプラクティスとケイパビリティについて、研究チームを2022年12月から公募。2023年5月に、CDR MRV の包括的な枠組み構築、鉱化、セメントとコンクリート、バイオマス CDRの4つの研究チームを採択。4チームのうち、セメント・コンクリートにDACも含まれる模様。
- プロジェクト期間は2年。各チームの参加企業のリストはDOEプレスリリースには記載なし。

各チームの 取りまとめ役	概要	メンバー
ローレンスリバモ ア国立研究所 (LLNL)	• 包括的なCDR MRVフレームワークを開発 • ローレンス・リバモア国立研究所は、CDRのMRVプロジェクトのコホートの調整役も担う	• NREL、ローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL)、および業界パートナー5社からなるグループと協力 • CarbonPlan • Carbon Direct • Isometric ほか2社
パシフィックノース ウェスト国立研究 所 (PNNL)	• 鉱物化ベースのCDRのための適応型MRVフレームワークを開発 • 鉱物化ベースのCDRを実現できそうな、鉱山や沿岸部に近い地域コミュニティとも連携し、CDRへの信頼性を高める	• LLNLおよび22の業界パートナーと協力
国立再生可能エ ネルギー研究所 (NREL)	• セメントおよびコンクリートのCDRのベストプラクティスを開発・検証 • セメント・コンクリート産業は、DACと永久的な隔離の組合せに適すると考えられ、回収したCO2の付加価値のある最終用途を提供する	• LLNL、オークリッジ国立研究所、および業界パートナー9社と協力
国立再生可能エ ネルギー研究所 (NREL)	• バイオマス炭素の除去・貯蔵に関する重要なMRVの課題に取り組む • 様々な生物由来製品の耐久性に関する科学的知識のギャップ、および技術の評価・比較するための透明で一貫したベースラインと境界線を確立するために必要なベストプラクティスとプロトコルの欠如に対処することを目指す	• LLNLおよび業界パートナー8社 (Isometricを含む)と協力

(出所) DOE OTTプレスリリース (MAY 17, 2023) DOE Selects Four National Laboratory-led Teams to Accelerate Commercialization of Carbon Dioxide Removal Technologies with \$15 Million in Funding (<https://www.energy.gov/technologytransitions/articles/doe-selects-four-national-laboratory-led-teams-accelerate>)

米国 DACの位置づけ、政策支援の状況(つづき)

直近の動向

項目	タイトル	発表年	概要
技術開発支援	Carbon Negative Shot	2021年10月	10年以内に大気からCO₂を除去・貯蔵するコストを100ドル/t-CO₂e未満とし、ギガトン規模のCO₂除去の実現を目指す、米政府で初のCDRに関する大型プログラム。信頼性の高いクリーンエネルギーの達成を目的としてイノベーションを加速するDOEの取組「Energy Earthshot」の内数。ステークホルダーエンゲージメントを優先し、情報共有などを行う。DACCSも対象。
	DAC Commercial CDR Purchase Pilot Prize	2023年9月	- 米連邦政府による初のCDRクレジット購入プログラム(オフテイク補助)。第三者が検証したパイロットプロジェクトにおけるCDRクレジットの買い取りを企業が政府に申請。政府へ直接CDRクレジットを販売する機会を競う仕組み。 - DAC Prizeの一環で、商業段階のDACプロジェクト(Phase-3完了までの36か月で少なくとも3,000tのCO₂回収が求められる)が対象。2023年12月応募〆切、2024年2月採択結果発表予定。採択者にはBILによる賞金(総額3500万ドル、1件あたり最大300万ドル)と購買契約を提供。
DAC導入に向けた制度	LCFS *1 (カリフォルニア州)	2018年	2011年に施行。輸送用燃料の炭素強度(CI)を削減することにより、GHG排出量の削減と低炭素燃料の利用促進、石油依存度の低減、大気質の改善を目指す制度。クレジット取引制度を含む。 2018年改正(2019年1月発効)で、CCSとDACのプロジェクトもクレジット対象に追加(2023年末時点でクレジット申請はまだない)。州外に建設されたDACでもクレジット化が可能(場所を問わない)。
	American Carbon Registry (ACR)	2022年	- NPOのWinrock Internationalが1996年に設立した世界初の民間クレジット認証基準。 2015年にGHG排出削減と除去の定量化、モニタリング、報告および検証(MRV)のための方法論の方法論(v1.0)を策定。2022年の改定(v2.0)では、DACも含めたCDRプロジェクトに拡大。
規制	飲料水安全法における地下圧入管理プログラム *2	2010年	CCSには、飲料水に用いる地下水への影響を鑑み、地下への液体圧入の規制プログラムが適用される。所管は連邦環境保護庁(USEPA)。
事業補助	インフレ削減法(IRA) 45Q	2022年8月	米国内で回収され、利用もしくは貯留されたCO₂量に対して回収設備の所有者に税額控除クレジットを付与する制度。2021年1月の制度導入に続いてIRAにより強化。DACで回収したCO₂を地下貯留する場合(EOR*3以外)は最大で180ドル/t-CO₂の税額控除クレジットを取得でき、第三者に有償で譲渡可能。

*1 カリフォルニア州のLCFS(低炭素燃料基準)は低 CI 燃料や石油サプライチェーンにおける低炭素プロジェクトに対してクレジットを付与し、クレジット取引市場を活性化。クレジットには、燃料経路、プロジェクトベース、容量ベースの3つがあり、DACはプロジェクトベースの一部。クレジットを活用できるのは州内で燃料を供給する事業者のみだが、DACは州内消費要件が免除。LCFSクレジットは45Q(連邦政府のクレジット)との組み合わせも可能。

*2 Federal Requirements Under the UIC Program for CO₂ Geologic Sequestration Wells

*3 EOR=石油増進回収

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 - VCS方法論
 - Puro.earth方法論
 - Climeworks社方法論
 - 英国 GGRビジネスモデル
 - BEST PRACTICES for LCA of DACS
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

VCS方法論:方法論の開発状況

- 23年6月30日、Verraより最初の炭素回収・貯留のための方法論フレームワークのドラフトが公開。(23年6月30日～7月29日の期間でパブリックコメントを実施)
- 本方法論は、CCS+イニシアティブの一員である、SouthPole、Perspective Climate Groupが主に開発。
- 方法論フレームワークは、回収・輸送・貯蔵の3つのフレームワークで構成されており、そのうち今回パブリックコメントで公開されたのは、以下の4つ。(その他は開発中)
 - ◆ CCS全体:
 - VMD00XX:CCS方法論:公開
 - ◆ 回収:
 - VMD00XX:大気からのCO2回収(DAC):公開
 - VMD00XX:化石燃料または地熱ベースの発電・熱源からのCO2回収:開発中
 - VMD00XX:工業プロセスからのCO2回収:開発中
 - VMD00XX:石油・ガス生産と加工からのCO2回収:開発中
 - VMD00XX:生物起源CO2回収(BECCS):開発中
 - ◆ 輸送:
 - VMD00XX:CO2輸送用モジュール:公開
 - ◆ 貯留:
 - VMD00XX:塩水性帯水層におけるCO2貯留:公開
 - VMD00XX:枯渇した石油・ガス貯留層へのCO2貯留:開発中
 - ◆ その他:
 - VMT00XX:CCSにおいて排出削減と除去を区別するツール:開発中
 - VMT00XX:VCS由来/非VCS由来CO2を按分するツール:開発中

VCS方法論:主要論点のまとめ

■ DAC方法論の策定に当たっての主要な論点に関して、VCS方法論の設計は下表の通り。

項目	方法論の設計:VCS
DACの定義	- 回収源に関して「周囲の大気」からCO₂を回収しなければならない。なお、酸素燃焼を含むオンサイトの排出源から併せて回収することも可。 ➢ 「周囲の大気」とは、固定の排出源(発電所の煙突、工場の排気口等)の影響を受けない大気のこと。(影響を受けていないことの立証方法については記載なし。地図情報と濃度の継続的な計測等で立証?) ➢ 「除去」と認められるのはDACCS又はBECCSのみ。固定の排出源からの回収も部分的に認められているが、プロジェクト単位で必ず「除去」が含まれていなければならない。
適格な回収方法	- 以下のいずれか、又は組み合わせ。 - 液体溶媒又は固体収着剤による化学的又は物理的吸収又は吸着(例えばアミン) - 膜分離 - 電気化学プロセス - 極低温プロセス - CO₂回収に用いる資材については再生利用が求められる(回数の規定なし)。 ➢ 資材の利用に係る排出量については、追加購入分×製造原単位で計算。
算定に含める装置	- モジュールのバウンダリ内の設備を考慮。一般に含まれる設備・装置は以下の通り。 ➢ 回収プロセスへの気流を発生させるために使用される装置(ファンなど) ➢ 吸収、吸着、またはその他のプロセスによる、コンタクター、ベッド、または容器でのCO₂の回収 ➢ CO₂の流れを生成し、回収に用いた流体または媒体を再利用のために再生するプロセス ➢ CCSセグメント(=回収後の輸送・貯留)に沿ったCO₂のさらなる処理を可能にするためのCO₂のコンディショニング。 ➢ CO₂回収プロセスのためにバウンダリ内に設置された設備(空気分離装置、水処理システム、蒸気システムなど)。
排出量の計算手順	「プロジェクトで回収したCO₂量」ー「各モジュールの排出量」 ➢ 各モジュールの排出量は主要とリーケージから構成される(詳細後述)。

VCS方法論(全体):適用条件

No	適用条件
1	- 少なくとも1つの適格な回収活動と、少なくとも1つの適格な貯蔵活動を含まなければならない。 - 適格な輸送活動を用いて、プロジェクトで回収したCO₂を、あるいは回収サイトに併設/隣接していない貯蔵サイトに輸送しなければならない。
2	- 適格な回収活動とは、モジュールが用意された以下の活動を指す。 ➢ 大気からのCO₂回収(直接空気回収) ➢ 化石燃料の燃焼に基づく、または地熱エネルギーに基づく発電所、熱発電事業、または熱電併給(CHP)ユニットからの燃焼後CO₂回収 ➢ 化学工業、鋳物生産、鉄鋼生産、セメント工場、水素(H₂)製造を含む工業プロセスからの排ガス回収 ➢ 石油・ガス生産と加工からのCO₂回収 ➢ バイオマス燃焼(直接または間接)またはバイオ燃料生産工程(例: バイオガスまたはエタノール生産)からのCO₂回収を含む生物起源源からのCO₂回収(BECCS)
3	適格な輸送活動には、中間貯蔵施設及びパイプライン、船舶/はしけ、鉄道及びトラックによる輸送が含まれる。(輸送のモジュールで定義)
4	適格な貯留活動には帯水層における貯留、枯渇油・ガス貯蔵における貯留が含まれる。(貯蔵のモジュールで定義)
5	回収活動は、少なくとも95%の純度に濃縮されたCO₂を地層隔離のための貯留場所に供給しなければならない。
6	プロジェクトは、CO₂の回収、輸送、貯蔵に関連する国/地域/地方のプロジェクト管轄権の適用されるすべての規制を遵守しなければならない。
7	- プロジェクト実施施設に工業用冷媒を使用する冷蔵システムが含まれている場合は、以下を満たさなければならない: ➢ モントリオール議定書またはキガリ改正に基づく規制物質ではない冷媒のみを使用する。 ➢ 地球温暖化係数 (GWP) が5未満である。

VCS方法論(全体):適用条件

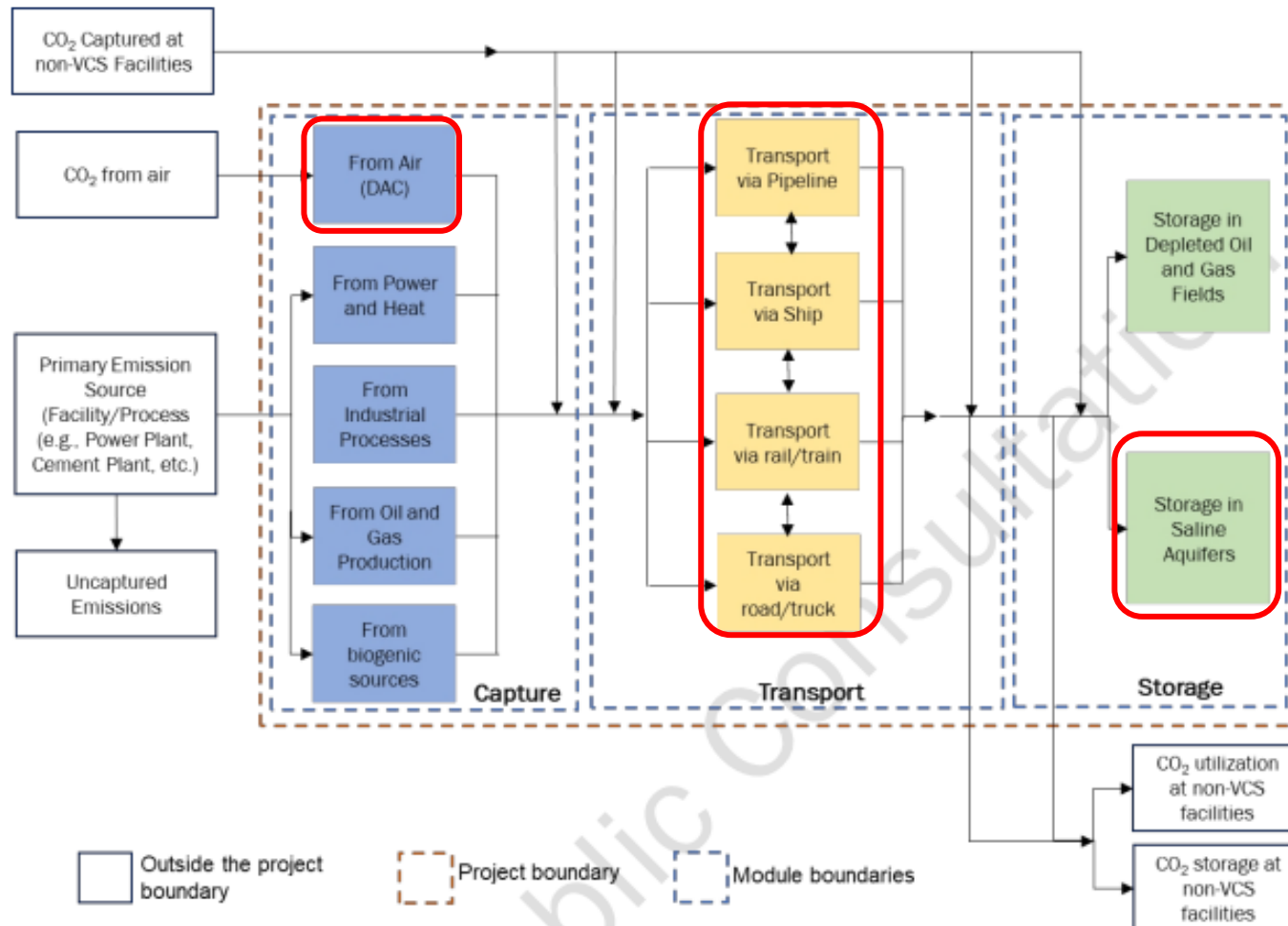
■ 本方法論は以下の場合には適用できない。

No	不適格な場合
1	• 回収したCO2を製品やサービスの原料として利用する(すなわち、CCU)。
2	• 風化促進、炭素無機化、バイオ炭生産、または海洋アルカリ化促進によってCO2を回収および貯留する。
3	• 他のCO2貯留または利用活動からのCO2の流用。
4	• CO2を回収する目的でCO2を発生させる。(不適正事例防止の意味合いか)
5	• CO2を捕捉する目的で地層からCO2を抽出する。
6	• 技術の改善、運用の改善、輸送手段の転換、または炭素集約度の低いエネルギー源への転換を通じて、既存のCCS活動からのエネルギー関連排出を削減する。

VCS方法論(全体):プロジェクトのバウンダリ

- プロジェクトの境界は、漏れなく重複もない、3つの独立したモジュール(回収・輸送・貯留)から構成されている。

 : 23年6月30日に公開された方法論



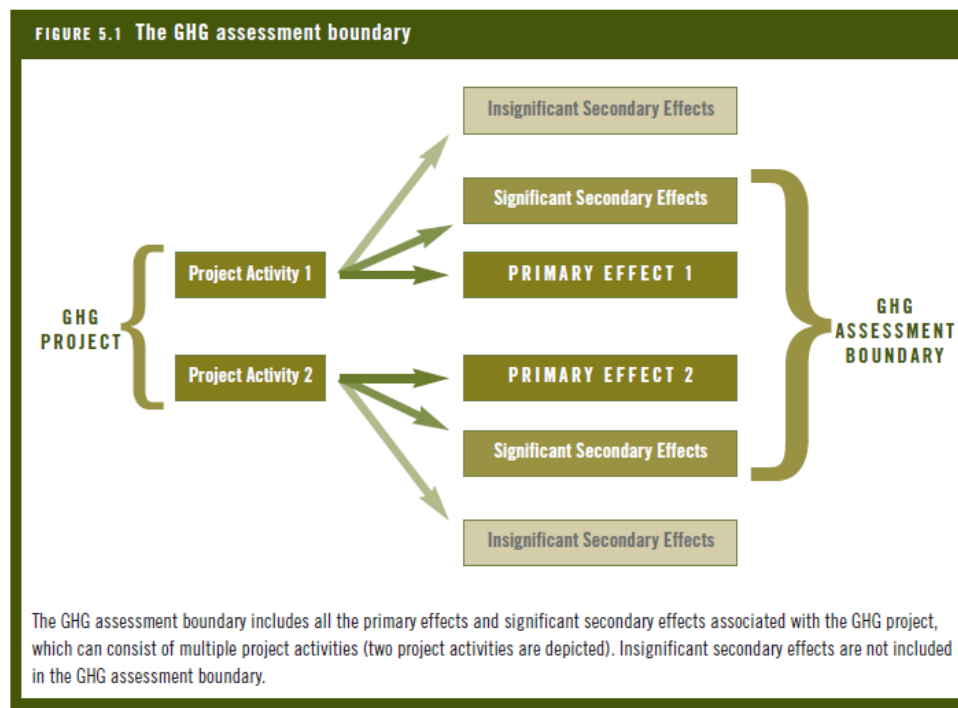
VCS方法論(全体):プロジェクトのバウンダリ

- 本方法論とその関連モジュールは、GHG排出源と吸収源に対する一次影響※(事業者が制御できるもの)と、二次影響(プロジェクトに関連または影響を受けるもの)を区別する。二次影響は一般に、プロジェクトの敷地外で発生し、一次影響に比べれば小規模。
- 二次影響はリーケージとみなされ、以下が含まれる。
 - 上流の燃料生産と輸送(発電のための燃料消費に係るものも含まれる)
 - 施設のオペレーションに係る材料の投入、消耗品
 - 設備や資材の解体、廃棄
- 重要度の閾値について、推計される典型的なプロジェクトの実施期間中の正味の排出削減・除去量の2%以上の影響がある項目については、算定に含めるべきである。以下の項目については算定から除外。
 - プロジェクト施設の建設に使用される機器及び材料の生産及び輸送
 - 研究開発活動
 - 職員の通勤
 - プロジェクト施設・設備の建設及び運用の結果生じる、直接的及び間接的な土地利用の変化

※GHGプロトコル(Project Accounting)準拠。詳細は次スライド参照。

【補足】GHG Protocol for Project Accountingについて(1/2)

- プロジェクト向けの排出量算定基準・ガイドラインである“GHG Protocol for Project Accounting”では、GHG排出量をPrimary、Secondaryに分類。評価のバウンダリは下図の通りで、Secondaryの内重要でないものはバウンダリに含まれない。



【Secondary Effects】

- Secondary Effectsとは、プロジェクト活動によって引き起こされる、温室効果ガスの排出源や吸収源に関連する温室効果ガスの排出、除去、貯留における意図せざる変化のことである。通常、プロジェクト活動のPrimary Effectsに比べて小さいが、場合によっては、Primary Effectsを弱めたり、無効にしたりすることもある。
- Secondary Effectsは2つのカテゴリーに分類される
 1. 一回限りの効果：プロジェクト活動に伴う建設、設置、または廃止・終了に関連するGHG排出量の変化。
 2. 上流及び下流効果：ベースライン排出量と比較して、プロジェクト活動へのインプット（上流）又はプロジェクト活動からの生産物（下流）に関連するGHG排出量の反復的变化。
 - ※ 上流と下流のほぼすべての影響は、なんらかの市場反応を伴いうる。例えば繊維の供給を減少させる森林保護プロジェクトの活動が実施され、繊維需要が変わらなると、伐採領域が他の森林に移動する。

【補足】GHG Protocol for Project Accountingについて(2/2)

- Secondary Effectの項目が重要かそうでないかは、相対的な大きさの推定、重要性評価のステップで実施される。
 - 相対的な大きさの推定に当たってはデフォルト値、既存データ等を利用した推計や市場評価が含まれる。また、評価に当たっては保守性の原則が重視される。
- 重要性の評価に当たっては、以下の基準を用いることができる。
- ✓ ベースライン排出量とプロジェクト活動排出量の間の正の差を含む
 - ・ 環境の観点から見ると、Secondary Effectを考慮する目的は、プロジェクト活動の主な効果を打ち消すような影響を特定すること。特定の二次効果がプラスであることが示される(つまり、それが含まれている場合は GHG 削減の推定値が増加する)が、モニタリングと定量化にコストがかかる場合は、それを GHG 評価境界から除外する方が現実的である(保守的な見積もりになっている)。
- ✓ Secondary Effectは、関連するPrimary Effectに比べて小さい
 - ・ Secondary Effectが、絶対量においても、Primary及び他のすべてのSecondaryに 対しても小さい場合、GHG評価バウンダリーから除外することができる。しかし、「小さい」副次的効果を除外する累積効果を考慮することが重要。場合によっては、複数の「小さな」副次的影響に関連する GHG排出量の変化について、単一の代替値を推計することが望ましい。副次的効果の大きさが「小さい」と判断するために用いられる基準はすべて説明されなければならない。
- ✓ 市場の反応はごくわずかである
 - ・ 市場の反応が小さいか無視できる場合、Secondary Effectは重要でない可能性がある。これは、プロジェクト活動の製品・サービスの生産または消費が、それらの製品・サービスの総市場と比較して著しく小さい場合がほとんどである。唯一の例外は、たとえ小さな市場の反応であっても、それに関連するGHG排出量の絶対的な変化が、プロジェクト活動の主要な効果に対して有意である場合である。これは、Primary Effectが GHG 排出製品またはサービスの供給の削減に関連している場合に最も考えられる。この場合、市場の反応は通常、他の供給業者を使用して需要を満たすことになり、Primary Effectが打ち消されます。
- ✓ 排出削減量への正負の影響が打ち消しあうような項目については、バウンダリーから外しても構わない(双方の大きさを明確に実証することが必要)

VCS方法論(全体): 追加性評価

- 本方法論を活用するプロジェクトは、以下の3つのステップで追加性を証明する必要がある

	実施項目	要件	補足
step1	regulatory surplus	プロジェクト提案者は、最新版のVCS方法論要件に規定されている規則と要件に従っている事を実証しなければならない。	回収地の管轄区域で適用される法律、法令、規制の枠組み、政策を考慮しなければならない。
step2	Implementation Barrier	プロジェクト提案者は、 <u>炭素クレジット収入がない場合、プロジェクトの実施を妨げるような投資障壁(資本や投資収益の制約など)に直面していることを証明しなければならない。</u>	投資障壁を分析するために、プロジェクトは、CDM ツール01「追加性の実証と評価のためのツール」およびCDM ツール27「投資分析」の最新版のステップ2に従った投資分析を、オプションⅢに従って実施しなければならない。
step3	Common Practice	このプロジェクトは、右記のように、 <u>回収活動を含む、または一般的に実施される回収活動の拡張、追設であってはならない。</u>	1) プロジェクト・タイプは、それぞれのセクターや国で一般的に比較可能な供給源施設の20%以上で実施されてはならない(DACCSは、ソースとなる施設がないため、デフォルトでは一般的ではないと考えられる。) 2) 類似の活動が存在する場合、プロジェクト提案者は、既存のプロジェクトと比較しての実装上の障壁を特定し、プロジェクト活動の定期的な進捗に対するリスク、コスト、および／または制限を裏付け、それがプロジェクト活動にとって一般的でないことを証明しなければならない。

【補足】Jークレジット制度の追加性要件について

- Jークレジット制度の追加性要件（経済的障壁、設備導入を伴う場合）は、次の通り。
 - 導入する設備の投資回収年数が3年以上であること又はプロジェクトの実施前後でランニングコストが増加すること。投資回収年数の計算式は以下の通り。計算の際、プロジェクトの実施に伴い外部へ供給する電力、熱等による収益は、プロジェクト実施後のランニングコストから控除すること。なお、クレジット収益を算定に含める必要はない。

$$\text{投資回収年数} = \frac{\text{設備投資費用} - \text{補助金額}}{\text{年間のランニングコスト削減額}} \geq 3$$

- また、追加性を有する蓋然性の高い方法論については、個別のプロジェクトにおける追加性の証明を省略（＝ポジティブリスト化）することができる。蓋然性の判断基準は追加性を有する信頼度が95%以上かどうかで、毎年見直される。
 - DACCSについては、回収したCO2を資源として利用しない場合、投資回収不可なので、ポジティブリストに含まれると考えられる。

VCS方法論(全体):算定式

- CCSプロジェクト全体での排出削減量の算定式は以下の通りで、プロジェクトの回収量から排出量、リーケージを差引く計算。
- プロジェクトから排出削減と除去の双方が生成される際には、ツール(開発中)を使って区別することとなっている。

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad BE_y = \sum_i Q_{CO2,injected,i,y} - \sum_i Q_{CO2,nonVCS,injected,i,y}$$

項目	単位	説明
ER_y	tCO2e	y年における排出削減又は除去量
BE_y	tCO2e	y年におけるベースライン排出量
PE_y	tCO2e	y年におけるプロジェクト排出量(回収、輸送、貯留の各モジュールを使って算定)
LE_y	tCO2e	y年におけるリーケージ排出量(回収、輸送、貯留の各モジュールを使って算定)
$Q_{CO2,injected,i,y}$	tCO2e	貯留サイトにおいて、ある年(y)に注入地点iで注入され、モニタリングされたCO2の質量(tCO2)。DACとBECCSの場合、これは、大気中に残っていたであろう大気あるいは生物起源のCO2に、プロセスの一部として共回収された化石燃料由来CO2の質量を加えたものに等しくなる。
$Q_{CO2,nonVCS,injected,i,y}$	tCO2e	非VCSプロジェクト由来CO2の質量。利用可能になっていれば、VMT00XX(配分ツール)を使って算定。ここには、有効なベースライン シナリオを実証できない回収施設から発生する CO2も含まれる。 プロジェクトバウンダリに含まれるする非VCSプロジェクト由来CO2がない場合、このパラメータはゼロ。

VCS方法論(全体):算定式

- CO₂の流量測定は、体積流量計または質量流量計のいずれかを使用して実施しなければならない。
 - CO₂量のモニタリング方法については、(回収、輸送、受入時等で該当するケースがあれば)圧入時以外にも同様の方法を適用。
 - 超臨界CO₂の量をモニタリングする際には、CO₂濃度を測定しながら質量流量計を使用するか、モル分率で0.5%を超える流れ中のすべての不純物の濃度を測定しながら体積流量計を使用することが必要。
- 質量流量の測定値を用いる場合、“質量流量×CO₂の質量分率”で計算。質量分率はサンプリングによって測定されたモル分率(XCO₂)から求める。

$$Q_{CO_2,x} = FR_{mass,x} \times \%CO_{2, mass,x} \quad \%CO_{2, mass,x} = \frac{M_{CO_2} \times X_{CO_2}}{\sum_{k=1}^n M_k \times X_k}$$

項目	単位	説明
$Q_{CO_2,x}$	tCO ₂ e	CO ₂ の質量
$FR_{mass,x}$	t	質量流量計xでモニタリングした質量流量
$\%CO_{2, mass,x}$	%mass	流量計xでの流量中のCO ₂ の質量分率
M_{CO_2}	質量/mole	CO ₂ のモル質量
X_{CO_2}	%mole	流量計xでの流量中のCO ₂ のモル分率
M_k	質量/mole	構成要素kのモル質量
X_k	%mole	流量計xでの流量中の構成要素kのモル分率
n	—	流体の構成要素のうち、モル分率が0.5%以上のものの数

VCS方法論(全体):算定式

- 体積流量の測定値を用いる場合、“体積流量×CO2の体積分率×密度”で計算。体積分率はサンプリングによって測定されたモル分率 (XCO2)から求める。

$$Q_{CO2,x} = FR_{vol,x(STP)} \times \%CO2_{vol,x(STP)} \times \rho_{CO2,x(STP)} \quad \%CO2_{vol,x(STP)} = \frac{X_{CO2}}{\sum_{k=1}^n X_k} \quad FR_{vol,x(STP)} = \frac{FR_{vol,x(P,T)} \times \rho_{x(P,T)}}{\rho_{x(STP)}}$$

項目	単位	説明
$Q_{CO2,x}$	tCO2e	CO2の質量
$FR_{vol,x(STP)}$	m3	体積流量計xでモニタリングした体積流量
$\%CO2_{vol,x(STP)}$	%vol	流量計xでの流量中のCO2の体積分率
$\rho_{CO2,x(STP)}$	tCO2/m3	CO2のモル質量
X_{CO2}	%mole	流量計xでの流量中のCO2のモル分率
X_k	%mole	流量計xでの流量中の構成要素kのモル分率
n	—	流体の構成要素のうち、モル分率が0.5%以上or、超臨界状態で0.25%以上のものの数
$FR_{vol,x(P,T)}$	m3	実際の条件下でモニタリングした体積流量
$\rho_{x(P,T)}$	tCO2/m3	実際の条件下でのCO2の密度

VCS方法論(DAC):適用条件

■ DACモジュールはCCS方法論を用いるプロジェクトに適用され、適用条件は以下の通り。

No	適用条件
1	- プロジェクトでは、大気中のCO₂※を大気から回収しなければならない。また、酸素燃焼を含むオンサイトの排出源から併せてCO₂を回収することもできる。回収は、次のプロセスの1つまたは組み合わせを使用。 A) 液体溶媒又は固体収着剤による化学的又は物理的吸収又は吸着(例えばアミン) B) 膜分離 C) 電気化学プロセス D) 極低温プロセス ※ 大気温度における自由大気中のよく混合されたCO₂。当該CO₂の濃度は局所的な排出源(点源)の影響を受けないが、人為的/自然の影響で変化する可能性がある。
2	プロジェクトでは、一次回収に用いた流体(溶液など)または媒体(固体吸着材など)を再生し、それが1回限りの使用や、使い捨て材料ではないようにしなければならない。また、吸着剤の再生工程において濃縮されたCO₂が回収され、その後の輸送(該当する場合) および貯留工程に利用できるようにする必要がある。(再利用の回数に関する規定はなし。)
3	プロジェクトにおける回収施設は、新規、既存施設の拡張、またはプロジェクト活動がない場合にプロジェクト開始日に廃止されていたであろう既存施設の改修でなければならない。
4	既存の施設と新しい回収施設は、補助施設や備品(例えばユーティリティ)を共有することができる。

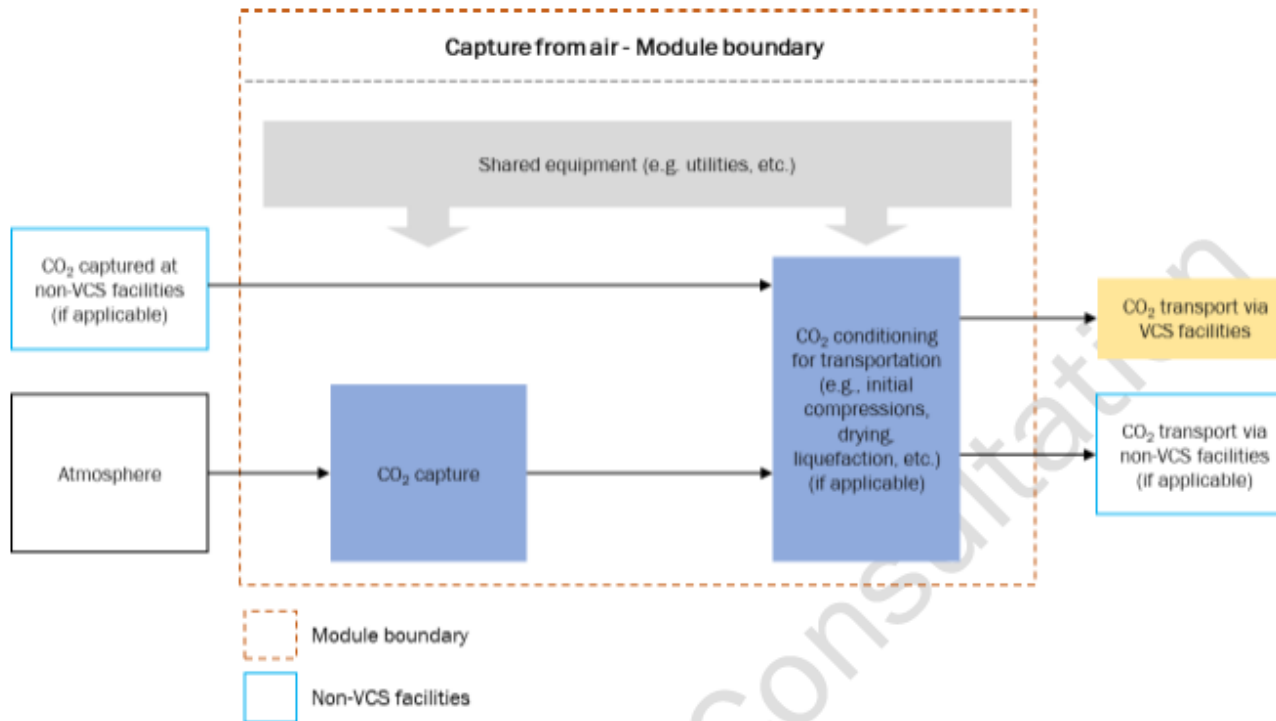
VCS方法論(DAC):適用条件

- モジュールは以下の場合には適用できない。

No	不適格な場合
1	発生源施設※の排出源からのCO2のみを回収するプロジェクト活動(≡必ず一定の「除去」を含んでいなければならない)。 ※ CO2が生成され、そこからCO2が回収される施設(発電所など)。発生源施設は、CO2を生成する異なるプロセス(例:1つの施設にある自家発電所と化学プラントでそれぞれでCO2が発生している場合)、または同じプロセスの複数のユニット(例:1つの施設に複数の嫌気性消化槽がある場合)によってさらに区別される場合がある。
2	- 以下のような効率化プロジェクト ➤ 廃止又は廃止措置のリスクがない既存のDAC施設を改修する場合 ➤ 回収効率向上のために運用を改善する場合

VCS方法論(DAC):モジュールのバウンダリ

- DACモジュールのバウンダリにはCO₂を回収するサイトが含まれる。一般的に使用される装置又はプロセスには、以下が含まれる。
 - ・ 回収プロセスへの気流を発生させるために使用される装置(ファンなど)
 - ・ 吸収、吸着、またはその他のプロセスによる、コンタクター、ベッド、または容器でのCO₂の回収
 - ・ CO₂の流れを生成し、回収に用いた流体または媒体を再利用のために再生するプロセス
 - ・ CCSセグメント(=回収後の輸送・貯留)に沿ったCO₂のさらなる処理を可能にするためのCO₂のコンディショニング※。
 - ・ CO₂回収プロセスのためにバウンダリ内に設置された設備(空気分離装置、水処理システム、蒸気システムなど)。
- モジュールのバウンダリは下図の通り。非VCSーCO₂の回収・輸送部分はバウンダリ外になる。

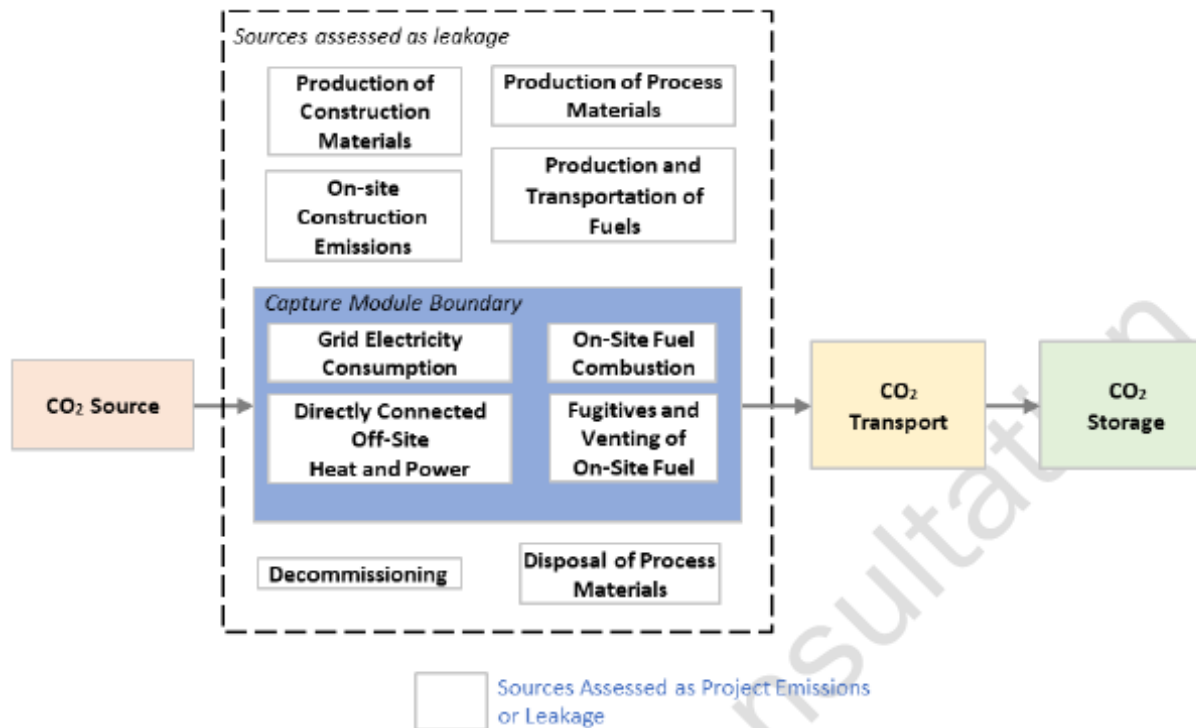


※ 冷凍、脱水、脱硫、脱酸素、圧縮などのさまざまなプロセスが含まれるが、これらに限定されない。

Figure 1: Module boundary for a DAC project

VCS方法論(DAC):モジュールのバウンダリ

- 下図は、このモジュールで考慮される排出源(プロジェクト境界に含まれる一次影響、リーケージとしての二次影響)を、モジュール境界との関係で示している。
- なお、リーケージ排出量の項目については、算定の項で数式が示されているものとそうでないものが混在している(詳細後述)。



【項目】

(Primary Effects)

- 系統電力の使用
- オンサイトの燃料燃料
- 直接接続されたオフサイトからの熱・電力
- オンサイトの燃料使用に伴う漏洩、ベント

(リーケージ:算定式に記載有)

- 回収工程で使用する資材の製造
- 燃料の製造・輸送

(リーケージ:算定式に記載無)

- 建築資材の製造
- オンサイトの建設に係る排出
- 解体
- 資材の廃棄

Figure 2: Boundary for Primary and Secondary Project Activity Effects

VCS方法論(DAC):算定式

■ プロジェクト排出量の計算は以下の通り。

$$PE_{Cap,y} = PE_{Comb_{Fuel},y} + PE_{Fuel_{FV},y} + PE_{Elec,y} - PE_{nonVCS\ CO2,y}$$

$$LE_{Cap,y} = LE_{Fuel,y} + LE_{Elec,y} + LE_{Mat,y}$$

項目	単位	説明
$PE_{Cap,y}$	tCO2e	y年における回収工程からのプロジェクト排出量
$PE_{Comb_{Fuel},y}$	tCO2e	y年における回収・調整工程における装置の運転のための燃料の燃焼による排出量
$PE_{Fuel_{FV},y}$	tCO2e	y年におけるDAC施設の物理的境界におけるオンサイト燃料使用（天然ガス使用など）からの漏出、ベント、およびその他運用上の排出量
$PE_{Elec,y}$	tCO2e	y年における回収・調整工程における装置の運転のための電力使用による排出量
$PE_{nonVCS\ CO2,y}$	tCO2e	y年における非VCS排出源に関連するプロセス及び設備からの排出量（配分にはツール（開発中）を使用） 非VCS排出源がない場合はゼロ
$LE_{Cap,y}$	tCO2e	y年における回収工程からのリーケージ排出量
$LE_{Fuel,y}$	tCO2e	y年におけるオンサイトの設備で消費された燃料に関連する上流発生源からの排出量
$LE_{Elec,y}$	tCO2e	y年におけるDAC施設内の機器を動作させるための電力消費による排出量
$LE_{Mat,y}$	tCO2e	y年におけるDACプロセスで使用した資材の利用による排出量

VCS方法論(DAC):算定式_燃料燃焼

■ 燃料燃焼に伴う排出量の計算は以下の通り。

- DACプロセスにおいて燃料燃焼から生じるCO₂を共回収することも認められている。(一旦排出量として計上しているため)
- 電力又は熱が直接的につながったオフサイトの設備から供給される場合、DAC施設での電力、熱分の燃料使用量を按分して計上する。
- 廃熱の消費によるプロジェクト排出量は、ベースラインセクションの廃熱の基準を満たす熱源についてはゼロとみなすことができる。
- バイオ燃料またはバイオマスが使用される場合、BECCSのモジュール(開発中)で規定されている、再生可能で持続可能なバイオマスの定義と条件に準拠することが必要。それ以外の場合、バイオ燃料またはバイオマスの燃焼による排出は、燃料燃焼の式を使用して算定に含める。

$$PE_{Comb_{Fuel},y} = \sum_i (Q_{Fuel,i,y} \times EF_{Fuel,CO_2,i}) + \sum_i (Q_{Fuel,i,y} \times EF_{Fuel,CH_4,i}) \times GWP_{CH_4} + \sum_i (Q_{Fuel,i,y} \times EF_{Fuel,N_2O,i}) \times GWP_{N_2O}$$

項目	単位	説明
$PE_{Comb_{Fuel},y}$	tCO ₂ e	y年における回収・調整工程における装置の運転のための燃料の燃焼による排出量
$Q_{Fuel,i,y}$	m ³ /kg/GJ	オンサイトおよびオフサイトのモバイル機器、電力、および熱源のための燃料使用量
$EF_{Fuel,X,i}$	tCO ₂ /燃料使用量	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ Oの排出係数

VCS方法論(DAC):モニタリング_燃料燃焼

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Q_{Fuel,i,y}$	m3/kg/GJ	積算 (月次で 集計)	- 流量計による測定 - 常にメーカー指定の運転条件内で運転しなければならない。 - メーカーの仕様に従って定期的に校正、検査、および保守しなければならない。 - 測定値は、温度・圧力で補正しなければならない。 - 燃料の領収書/請求書
$EF_{Fuel,X,i}$	tCO2/燃料使用量	年次	- IPCCの公表値を使用 - 米国EPA(又は各国の同等な規制、報告制度等)の数値を使用 - 燃料供給会社の提供値を使用

VCS方法論(DAC):算定式_漏出、ベント

- 漏出、ベントに伴う排出量の計算は以下の通り。
 - 漏出の潜在的排出源には、バルブ、配管継手／コネクタ、開放端配管、圧力を逃すためのバルブ、フランジ、メーター、計器などのコンポーネントが含まれるが、これらに限定されるものではない。
 - 計算は「コンポーネント数×使用時間×デフォルト値」。

$$PE_{Fuel_{FV},y} = \left(\sum Count_{i,y} \times EF_{component\ i,y} \times T_{i,y} \times 0.001 + \sum V_i \right) \times GWP_{CH4}$$

項目	単位	説明
$PE_{Fuel_{FV},y}$	tCO2e	y年におけるDAC施設の物理的境界におけるオンサイト燃料使用（天然ガス使用など）からの漏出、ベント、およびその他運用上の排出量
$Count_{i,y}$	—	y年における稼働中の施設のi番目のコンポーネントの数
$EF_{component\ i,y}$		EPAのデフォルト値0.005kg/hr/componentを利用可。EPAの報告ガイドラインと同等であれば、国の適切な規制から数値を参照することもできる。
$T_{i,y}$	hours	y年においてコンポーネントが圧力にさらされている時間
V_i	tCH4/event	i番目のベントにおけるメタン排出量

VCS方法論(DAC):モニタリング_漏出、ベント

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Count_{i,y}$	—	年次	- DAC施設の記録(配管、計器の図面、部品リスト等) ➤ 入手できる最新のデータを使うこと。
EF_{compon}	—	—	デフォルト値を利用
$T_{i,y}$	hours	積算 (月次で集計)	- DAC施設の記録(制御システム、記録された運転データ等) ➤ 入手できる最新のデータを使うこと。
V_i	tCH ₄ /event	年次	- ベントの直接計測 - 配管および設備の分離体積に基づいて推定 - 分離されていないパイプおよび機器の体積に基づく推定:提案者は、ベントに接続されている流出流およびパイプライン/コンポーネントのおおよその形状に基づいて、パイプラインまたはコンポーネント内の予想される進行条件に適した、圧縮性流体の過渡流量計算によってベントCH₄の量を決定しなければならない。 ➤ 計量された燃料使用量に関連するエネルギーバランスに基づいてクロスチェックを行う。

VCS方法論(DAC):算定式、モニタリング_電力使用

- 電力使用に伴う排出量の計算は以下の通り。
 - オンサイトまたはオフサイトで直接接続された発電設備から電力を調達する場合、電力消費に関連する排出量は、本モジュールに記載されているように、事業活動とリーケージ排出を考慮した関連する燃料消費に基づいて決定されなければならない。

$$PE_{Elec,y} = Q_{Elec,y} \times EF_{Elec}$$

項目	単位	説明
$PE_{Elec,y}$	tCO2e	y年における回収・調整工程における装置の運転のための電力使用による排出量
$Q_{Elec,y}$	MWh/y	y年における回収・調整工程における装置の運転のための使用した総電力量
EF_{Elec}	tCO2e/MWh	電力の排出係数

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Q_{Elec,y}$	MWh/y	積算(月次で集計)	・ 電力メーターによる測定 ・ 電力会社の領収書/請求書 ➢ 機器の特定の電力消費量が総電力消費量の1%未満であることを実証できる機器については、機器のサイズと効率に基づく工学的推定も可能。
EF_{Elec}	tCO2e/MWh	年次	・ 系統電力: 地域のコンプライアンス市場で承認されたツール又は、州又は国の機関から公表されたデータ ・ 再エネ(風力、太陽光、水力): 直接接続されたオフグリッド電源からのものであればゼロ ・ 地熱: 非凝縮性ガスの放出によるCO2排出を排出係数に考慮しなければならない

VCS方法論(DAC):算定式、モニタリング_燃料の上流

- 燃料調達の上流工程における排出量の計算は以下の通り。
 - 電力と熱がオフサイト施設から供給される場合、DAC施設で使用する電力・熱分を按分して計算する。
 - $EF_{fuel,i,y}$ と $EF_{Upstream_{Fuel},i,y}$ に関する情報が分離できないプロジェクトにおいては、上流工程も含んだ排出係数を燃料燃焼時の式に適用して計算できる。

$$LE_{Feul,y} = \sum_i (Q_{Fuel,i,y} \times EF_{Upstream_{Fuel},i,y})$$

項目	単位	説明
$LE_{Feul,y}$	tCO2e	y年におけるオンサイトの機器で消費される燃料に関連する上流発生源からの排出量
$Q_{Fuel,i,y}$	m3/kg/GJ	オンサイトおよびオフサイトのモバイル機器、電力、および熱源のための燃料使用量
$EF_{Upstream_{Fuel}}$	tCO2e/燃料使用量	燃料調達の上流工程に関する排出係数

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Q_{Fuel,i,y}$	m3/kg/GJ	積算	・ 流量計による測定 ・ 燃料の領収書/請求書
$EF_{Upstream_{Fuel},i,y}$	tCO2e/燃料使用量	年次	・ 一次データまたは公開されピアレビューされたデータを使用し、最新版のISO14040 および14044に従ってLCAを実施する ・ 地域のコンプライアンス市場で承認された方法または同等の方法を使用(カリフォルニア州の低炭素燃料基準) ・ DAC プラントの稼働を時間的および地理的に代表する、査読済みの文献で公表された排出係数

VCS方法論(DAC):算定式、モニタリング_電力の上流

- 燃料調達の上流工程における排出量の計算は以下の通り。
 - EF_{Elec} と $EF_{Upstream_Elec}$ に関する情報が分離できないプロジェクトにおいては、上流工程も含んだ排出係数を燃料燃焼時の式に適用して計算できる。

$$LE_{Elec,y} = Q_{Elec,y} \times EF_{Upstream_Elec}$$

項目	単位	説明
$LE_{Feul,y}$	tCO2e	y年におけるオンサイトの機器で消費される電力に関連する上流発生源からの排出量
$Q_{Elec,y}$	MWh/y	y年における回収・調整工程における装置の運転のための使用した総電力量
$EF_{Upstream_Elec}$	tCO2e/MWh	電力生成の上流工程に係る排出係数

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Q_{Elec,y}$	MWh/y	積算(月次で集計)	・ 電力メーターによる測定 ・ 電力会社の領収書/請求書
$EF_{Upstream_Elec}$	tCO2e/MWh	年次	・ 電力の排出係数と同様

VCS方法論(DAC):算定式、モニタリング_回収に用いる資材

- 回収に用いる資材の利用に係る排出量の計算は以下の通り。
 - 回収に用いる資材とは、DACプロセスで大気中のCO₂を捕捉するために使用される化学物質や媒体のこと。回収溶媒、固体吸着剤、膜、触媒などが含まれ、これらは経時的な損失や劣化により定期的に交換する必要がある。例えば、水酸化カリウム、アミンなどがあるが、これらに限定されない。

$$LE_{Mat,y} = \sum_i (Q_{Mat,y} \times EF_{Mat})$$

項目	単位	説明
$LE_{Mat,y}$	tCO ₂ e	y年における回収に用いる資材の利用に係る排出量
$Q_{Mat,y}$	kg/m ³ /使用単位	DAC設備で使用する回収に用いる資材iの分量(継ぎ足した分量)
EF_{Mat}	tCO ₂ e/単位	資材iの製造原単位

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$Q_{Mat,y}$	kg/m ³ /使用単位	年次で集計	• 質量流量計、重量計による計測 ➢ 流量計は、メーカーの仕様に従って定期的に校正、検査、および保守しなければならない。 • 領収書、請求書
EF_{Mat}	tCO ₂ e/単位	年次	• コンプライアンス市場で認められたツールを利用 • ISO14044に沿って第三者検証を受けたLCA結果 • 査読付き論文を参照

VCS方法論(DAC):算定式(エンボディドカーボンについて)

- 現行の方法論ドラフトにて、エンボディドカーボンについてはアセスメントのバウンダリに含まれてはいるものの、現行の算定式に含まれているのは回収に用いる資材の消費に伴う排出のみ。
- 回収資材以外の項目(特にDACCS関連の活動)については現在協議中or今後の検討事項とされている。

Ongoing or Future Work Related to CCS

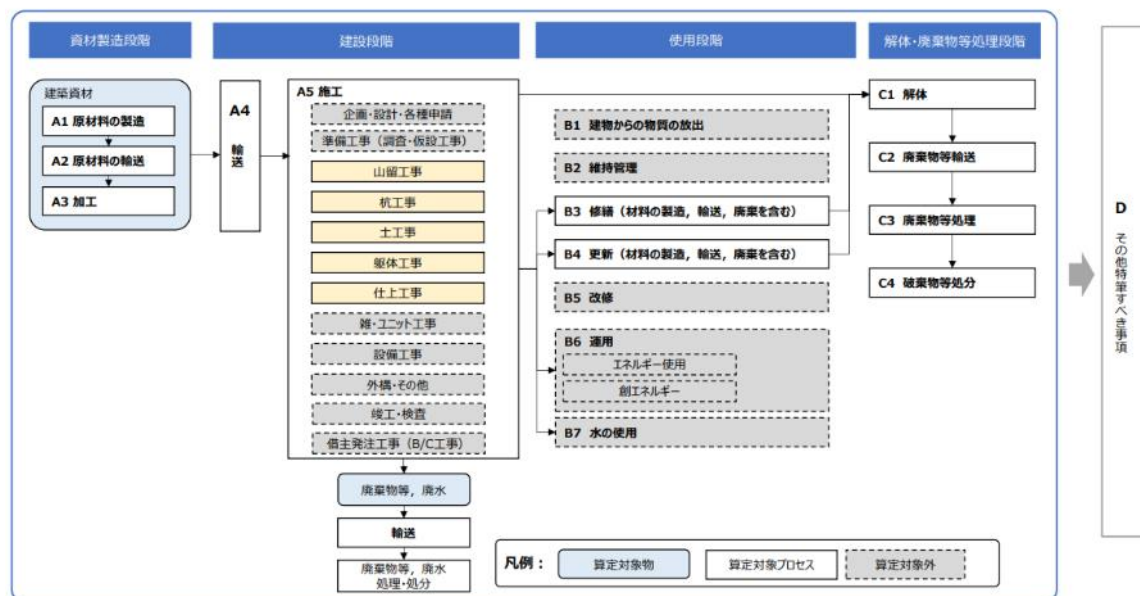
Related to this draft methodology:

- Please see existing requirements document:
 - [Geologic Carbon Storage \(GCS\) Requirements](#) document
 - [GCS Non-Permanence Risk Tool](#) document
- [Draft consultation for program changes](#) related to:
 - Embodied carbon and construction emissions (particularly relevant to DACCS project activities)
 - Modifications to the rules for using activity penetration to assess additionality
- Potential future updates related to CCS work:
 - Digitize the GCS NPRT Tool
 - Develop an electricity tool for making consistent measuring electrical energy consumption and providing guidelines for 'purpose-built green PPAs'

【補足】エンボディカーボンに関する国内の議論状況

- 国内においては、建築物ライフサイクルCO2の分野で、エンボディカーボンに関する議論が始まったところ。
- 例えば、サステナブル経営推進機構が発出する建築物のPCRでは、2023年4月改正の第7版（最新版は5月改正の第9版）で初めて、エンボディカーボンの用語が扱われるようになった。同文書にて、ライフサイクルCO2の分類について以下の通り整理されている。
 - ✓ エンボディカーボン：B6運用、B7水の使用を除く建築物のライフサイクルプロセスを対象としたCO2排出量の評価範囲。
 - ✓ オペレーショナルカーボン：B6運用、B7水の使用を対象とした CO2排出量の評価範囲
 - ✓ アップフロントカーボン：資材製造段階（A1～A3）と建設段階（A4～A5）を対象とした CO2排出量の評価範囲
 - ✓ ホールライフカーボン：全ライフサイクルプロセスを対象とした CO2排出量の評価範囲

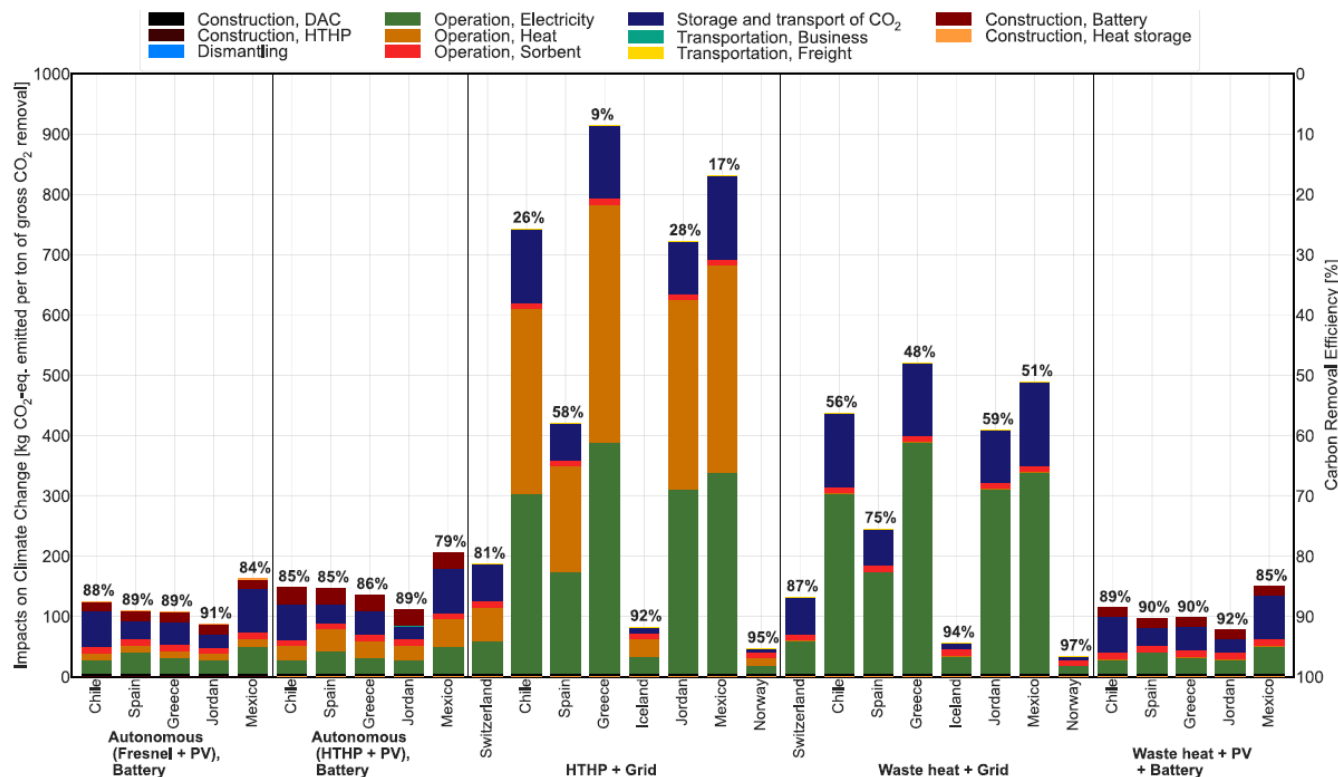
附属書 A-2：算定目的に応じたライフサイクルフロー図策定の例（エンボディカーボン（建築工事のみ）を対象とした場合）※旧 PCR 版



【補足】LCA事例とエンボディドカーボン

■ DACCSのLCA事例において1tのCO₂を回収するのに係る各種排出量の評価がなされている。

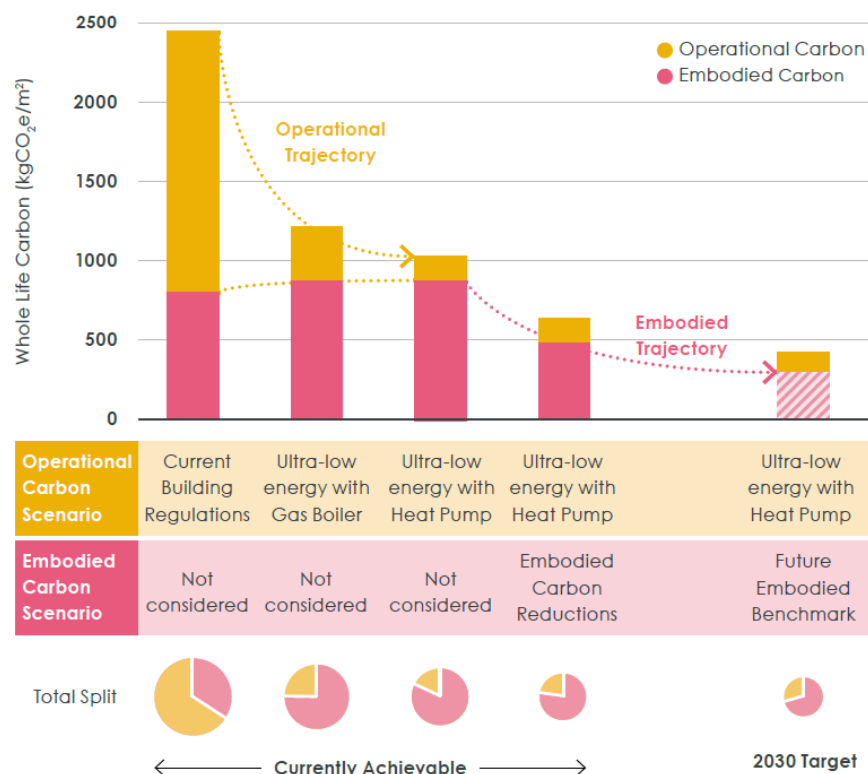
- いずれの評価でも除去の方が大きい。除去の効果は9%（ギリシャ_ヒートポンプ+系統電力）から97%（ノルウェー_廃熱+系統電力）まで幅広い。ノルウェー_ヒートポンプの例で系統電力に関する感度分析を行うと、0.87kg-CO₂/kWhが正の除去効果が出る分岐点。
- エンボディドカーボンについては、DAC設備の建設が「6kg-CO₂/回収量tあたり」、吸着剤の使用が「10kg-CO₂/回収量tあたり」、絶対値は小さいが、オペレーションに利用するエネルギーが低排出化すると無視できなくなる、という評価。
- CO₂の貯留、輸送工程のGHGは大きく、排出量に占める割合は11~52%。ここでは輸送中の漏洩について中程度のシナリオが採用されているが、より多排出なシナリオを採用すると排出量が10倍に増加する。



【補足】エンボディドカーボンの評価事例

- 英国LETI(ロンドンエネルギー転換イニシアティブ)の試算によると、建築物のライフサイクル排出量において、建物のエネルギー効率向上、発電の脱炭素化により新規の建造物においてはエンボディドカーボンが全排出量の40~70%を占めるとされている。

- 下図(左)はオペレーショナルカーボンとエンボディドカーボンの比率の推移のイメージ。
- 現状の規制レベルだとエンボディドカーボンの比率は33%程度だが、極低排出エネルギー×ヒートポンプのシナリオだと比率は80%程度まで上昇。



英国における住宅・建築物の省エネ基準(2021年6月時点)

項目	概要
法律	Building Regulations
法体系	- 建築法の一部として中央政府が省エネ基準(Part L)を規定・執行 - 建築確認申請に連動した義務
規制対象	新築及び増改築される全ての住宅・建築物(面積要件なし)
評価指標対象用途	- 外皮の断熱性能、延床面積当たりの一次エネルギー消費量及びCO2排出量 - 一次エネルギーの対象用途は、暖冷房、換気、給湯、照明、再エネ
ラベリング制度	- 新築建築物、売買・賃貸が行われる既存建築物についてEPC(エネルギー性能評価書)の取得を義務付け - 公共施設においてDEC(運用時エネルギー性能評価書)の取得を義務付け - EPC評価F及びGの住宅・建築物の賃貸が不可
検討中の事項	2016年までに全新築住宅をネット・ゼロ・カーボン化すると発表(2015年に目標取り下げ) - 再エネの導入義務はないが推奨 2025年にはZero Carbon Ready基準への強化を予定

(出所)脱炭素化に舵を切り始めた諸外国の住宅・建築物の省エネ規制
(日本不動産学会誌/Vol.35 No.1・2021.6)

【補足】Jークレジット制度における算定のバウンダリ

- Jークレジット制度においては、排出削減量の算定で考慮すべき排出活動について以下の通り規定。

(方法論策定規程より抜粋)

- ✓ 付随的な排出活動については、以下の 2 つの要件のいずれも満たす排出活動を排出削減量の算定で考慮する。
 - ① 保守的に算定した上で 1%以上の影響度が想定される排出活動
 - ② 計測可能な排出活動
- ✓ なお、計測可能な排出活動とは、一般的に想定されるプロジェクト実施者による直接的な排出活動及び電気若しくは熱利用による間接的な排出活動又はサプライチェーンにおける間接的な排出活動のうち直接計測、合理的な推計値若しくはデフォルト値の設定等が可能な排出活動をいう。その際、以下の排出活動については計測が困難なため、②にはあたらないこととする。
 - ・ 設備の製造、運搬、設置及び廃棄に係る排出活動
 - ・ 化石燃料の精製及び運搬に係る排出活動
 - ・ プロジェクト実施前の既存設備が転売され、他者による当該設備の使用に係る排出活動
- ✓ なお、上記①の影響度及び②の計測可能性については、方法論策定時にその証明を行わなければならない。

VCS方法論(輸送):適用条件

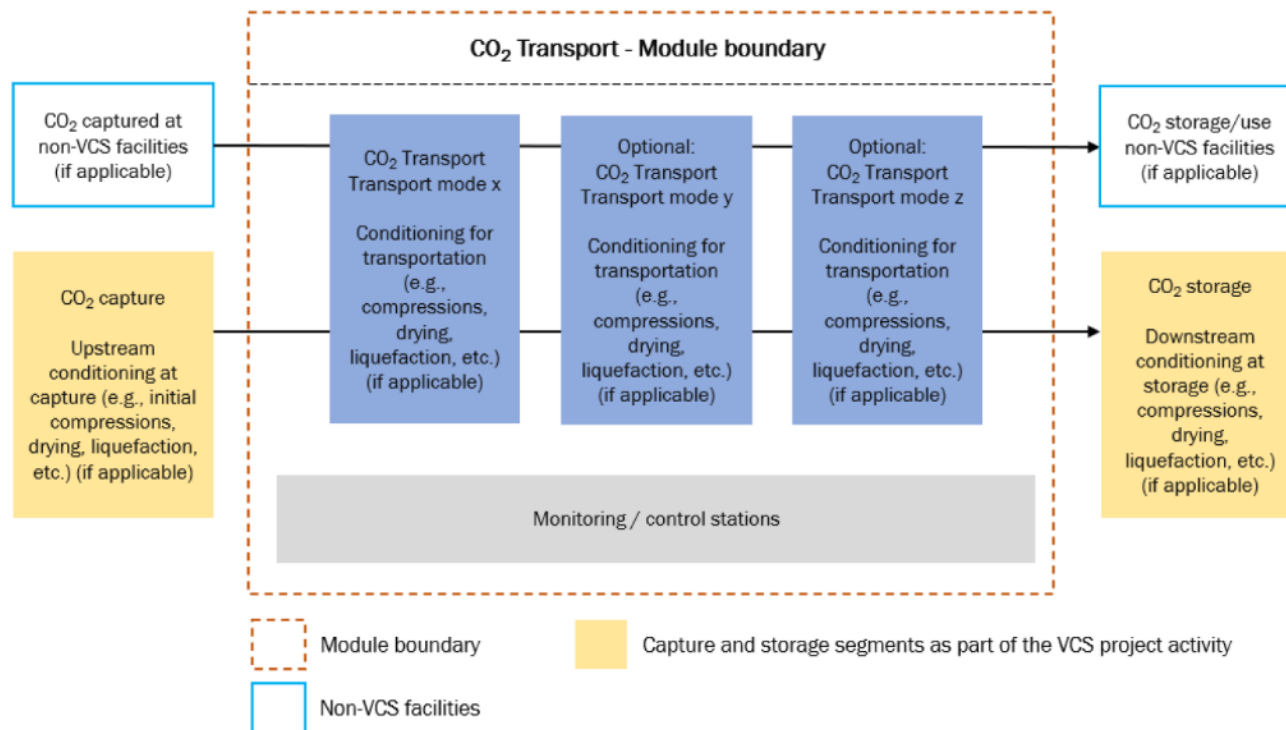
- 輸送モジュールでは、CCS方法論を用いるプロジェクトに適用され輸送に係る排出量を評価。モジュールの適用条件/不適格な場合は以下の通り。

No	適用条件
1	・ プロジェクトにて、濃縮されたCO ₂ を、回収地点から隣接していない貯留地点まで流体として輸送している。
2	・ CO ₂ は、以下の輸送手段の1つまたは組み合わせによって輸送される。 a. パイプライン b. 船舶／はしけ c. 鉄道 d. トラック
3	・ プロジェクトは、回収場所、中間貯留場所、最終貯留場所を結ぶ、1つまたは複数の輸送区間を含まなければならない。
4	・ プロジェクトは、地上の貯蔵手段を用いる場合、CO ₂ の輸送中、輸送区間への移動中、または輸送区間からの移動中に、CO ₂ を一時的に貯留することを可能にする中間貯留サイトを含むことができる。

No	不適格な場合
1	・ 溶媒に溶解したCO ₂ 、希釈剤で希釈されたCO ₂ (回収プロセスの残滓や原料の汚染物質を超えて)、材料中で鉱物化したCO ₂ 、製品に注入されたCO ₂ の輸送または中間貯留(水中に溶解した状態で輸送することを可能にする追加モジュールは、現在開発中)
2	・ 地質貯留層にある中間貯留
3	・ 既存の輸送施設の改善や、輸送効率の改善につながる運用方法の変更は、それ自体で新しいプロジェクト活動として登録することはできない。(新たなDACCSプロジェクトの実施時に既存の輸送インフラを使うこと自体は問題ないと考えられる)

VCS方法論(輸送):モジュールのバウンダリ

- 本方法論は、輸送に関する設備やCO2を状態変化させるための設備等、以下の機器・プロセスが境界内に含まれる。
 - CO2コンディショニング(脱水、冷却など)、圧縮
 - 船舶、列車、トラックへのCO2の積み下ろし
 - CO2輸送のための船舶、列車、トラックの推進
 - 圧力容器内のCO2条件(温度など)の保持
 - 輸送方法を変えたり、配送条件を変えたりするためのCO2の状態変化(再ガス化など)

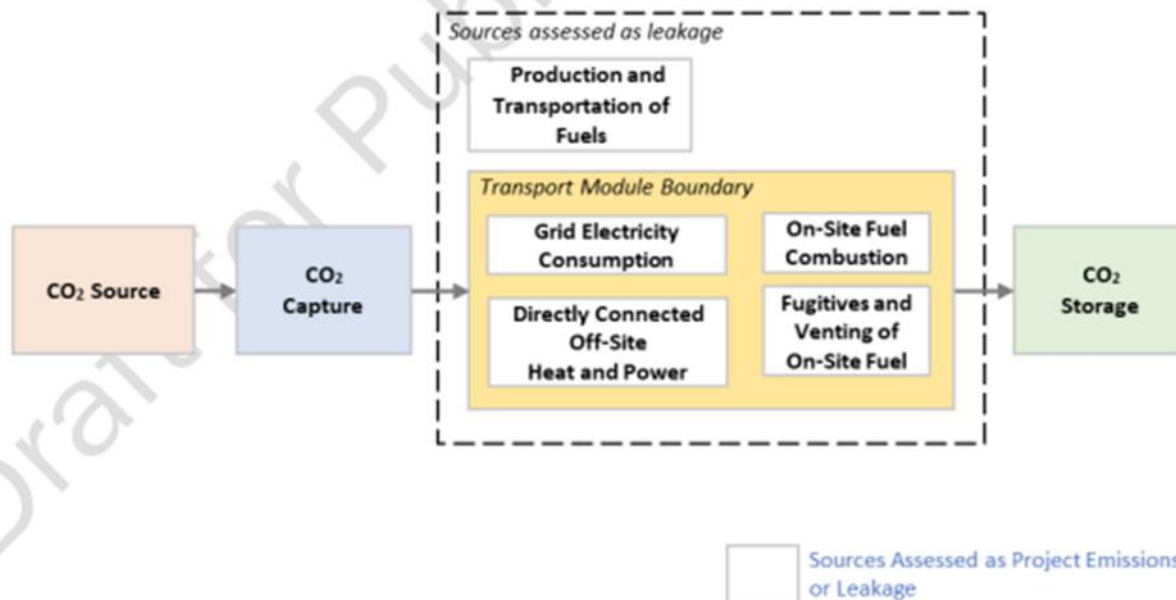


- 所有権の移転が多いプロジェクトの場合に対応するために、所有権の移転毎に算定する設計になっている。
- 国際輸送の場合にもセグメントを区切って各地域の排出係数(電気など)を適用する。

Figure 1: Module boundary for CO2 transport.

VCS方法論(輸送):モジュールのバウンダリ

- 下図は、このモジュールで考慮される排出源(プロジェクト境界に含まれる一次影響、リーケージとしての二次影響)を、モジュール境界との関係で示している。



【項目】

(Primary Effects)

- 系統電力の使用
- オンサイトの燃料燃料
- 直接接続されたオフサイトからの熱・電力
- オンサイトの燃料使用に伴う漏洩、ベント

(リーケージ:算定式に記載有)

- 燃料の製造・輸送

VCS方法論(貯留):適用条件

- 貯留モジュールでは、CCS方法論を用いるプロジェクトに適用され貯留に係る排出量を評価。モジュールの適用条件/不適格な場合は以下の通り。

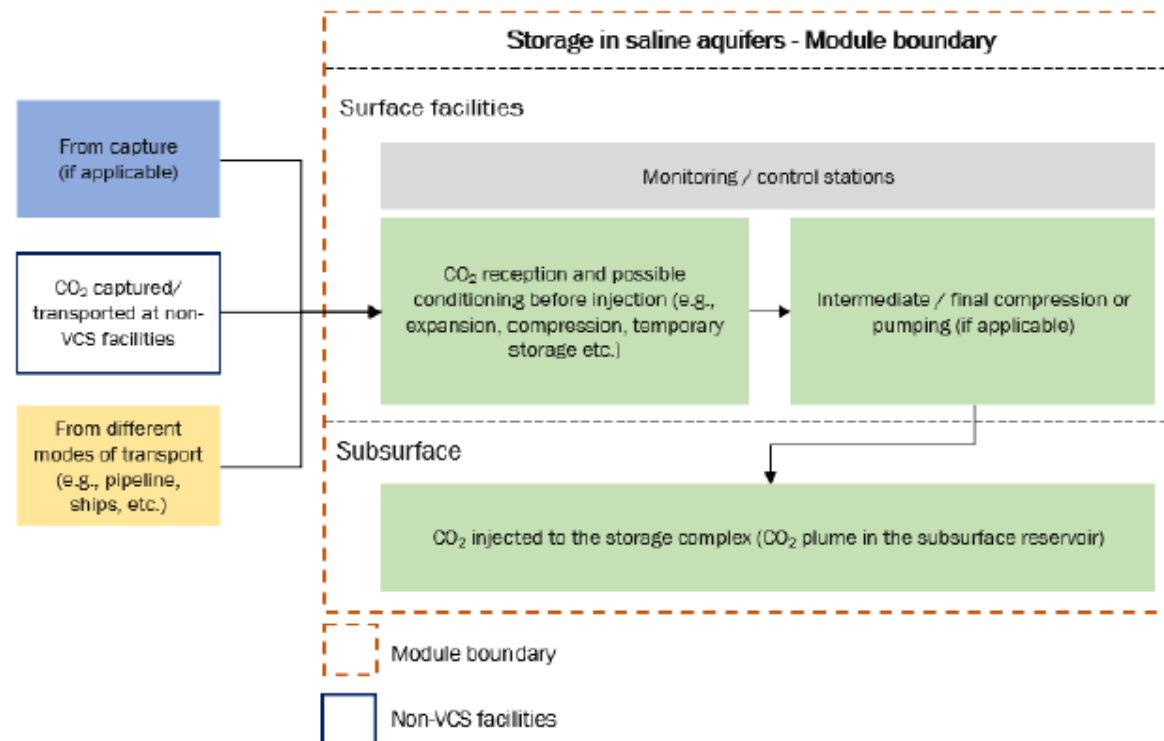
No	適用条件
1	• プロジェクトにおいて、塩水帯水層にCO ₂ を注入して永久貯蔵している。
2	• プロジェクト活動は、全ての中間貯蔵、圧縮、または他のCO ₂ の流れや状態変化工程の下流に、CO ₂ 注入のための必須のモニタリングポイントを有していること。
3	• プロジェクト活動は、地表と地下を隔離するため、坑口、またはCO ₂ の流れがパイプを通して地下に入る地点から10m以内に隔離弁を設置していること。

No	不適格な場合
1	• 何らかの理由で将来CO ₂ を生産することを意図してCO ₂ を貯蔵するプロジェクト活動。
2	• 効率改善プロジェクト: 既存のCCS貯留施設のアップグレードや、貯留効率の改善につながる運用方法の変更は、それ自体を新規プロジェクト活動として登録することはできない。

VCS方法論(貯留):モジュールのバウンダリ

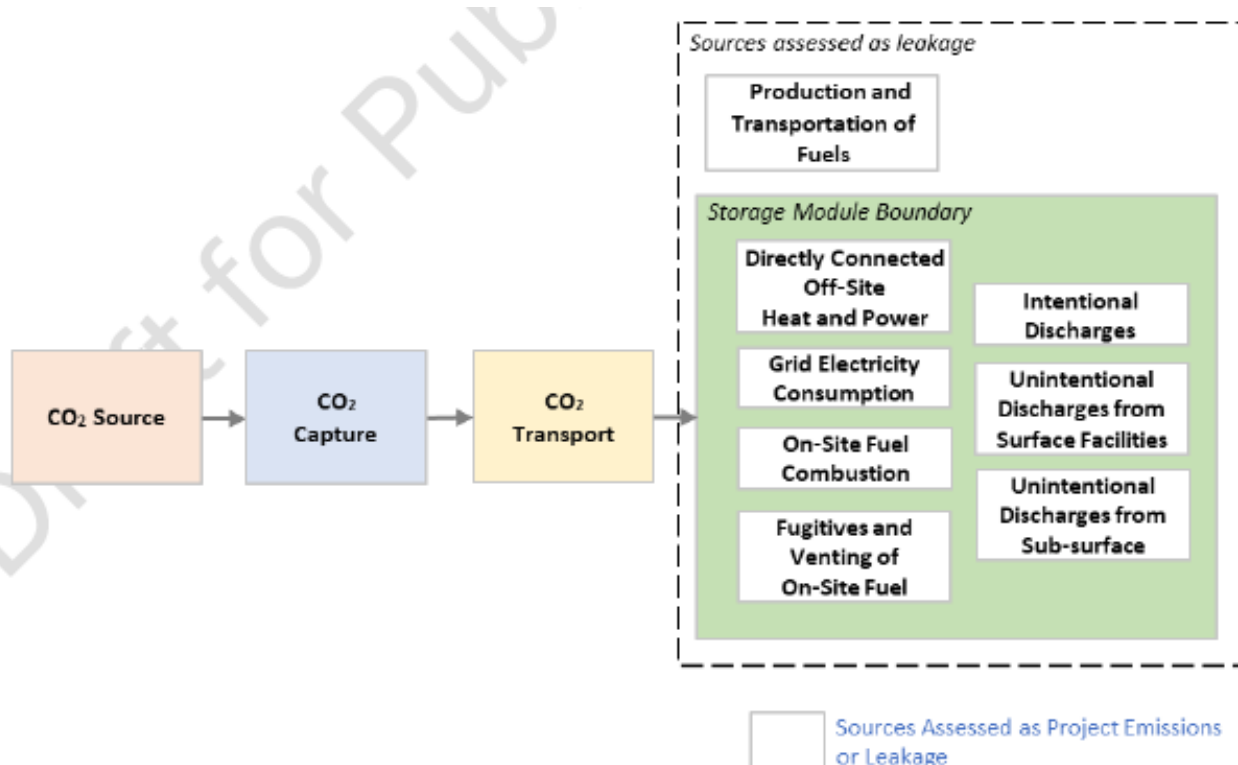
■ 貯留モジュールのバウンダリには圧入を行うサイトの地表・地下設備が含まれる。プロセスには、以下が含まれる。

- CO₂の中間貯留
- 注入前のCO₂の最終圧縮および/または調整
- 注入パイプライン、坑口配管、バルブ、モニタリング機器
- SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition: 監視制御・データ収集システム)/通信機器
- 圧入坑井のメンテナンス作業
- CO₂ブースターポンプ、密閉時の損失、電力消費量
- 中間冷却を伴うCO₂圧縮、バルブ／密閉時の損失、電力消費量または燃料使用量
- 脱水装置(トリエチレングリコール、乾燥剤、冷凍機など)および再生装置



VCS方法論(貯留):モジュールのバウンダリ

- 下図は、このモジュールで考慮される排出源(プロジェクト境界に含まれる一次影響、リーケージとしての二次影響)を、モジュール境界との関係で示している。



【項目】

(Primary Effects)

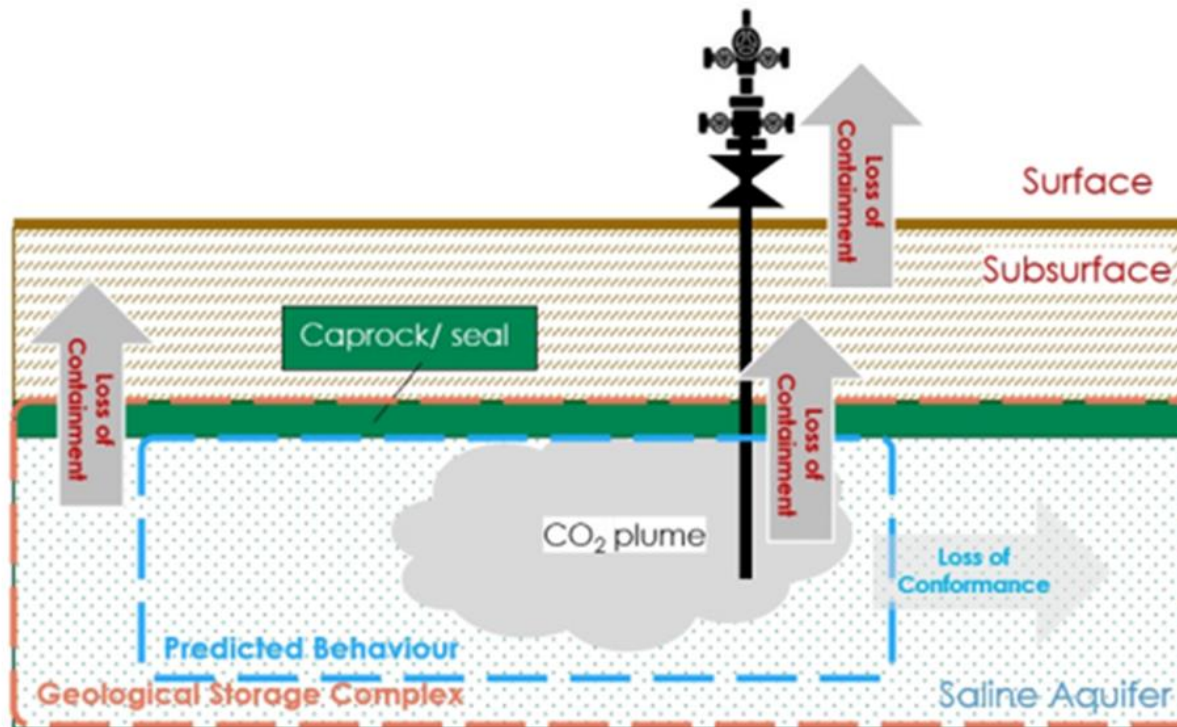
- グリッド電力消費
- オンサイトの燃料消費
- オフサイトからの熱・動力供給
- オンサイトの燃料漏洩・ベント
- 意図的な排出
- 地上施設からの非意図的な排出
- 非意図的な地下からの排出

(リーケージ:算定式に記載有)

- 燃料の製造・輸送

VCS方法論(貯留):モニタリングプログラム

- 各プロジェクトにはモニタリングプログラムが必要。モニタリングプログラムは、長期間にわたるプルームの封じ込めを確実にすることにより、注入されたCO₂の永久貯蔵を管理するものである。
- これには、継続的なモニタリングのための地表・地下設備(圧力・温度計など)、定義されたモニタリングプログラム(地震データ取得頻度の設定など)が含まなければならない。



地下でのCO₂封じ込め喪失(漏洩)ケースのイメージ

VCS方法論(貯留):モニタリングプログラムの文書要件

- すべての中間貯蔵、圧縮、または他のCO2コンディショニングの下流における CO2注入のための必須モニタリングポイントの概要を示すこと。

必須モニタリングポイントは以下のとおり。

陸上の注入井の場合:

- ✓ 複数の注入井が1つの必須モニタリングポイントに接続されている場合、全ての圧入井からパイプラインの長さで300m を超えないこと。
- ✓ 1つの注入井が1つの必須モニタリングポイントに接続されている場合、注入井はパイプラインの長さで100mを超えないこと。

- 地中貯留施設外の地下のCO2移動を検知し、位置を特定し、定量化するために使用される技術を、検知閾値、検知確率、分解能、頻度などの各技術の関連パラメータを含めて記述すること。
- 各モニタリング技術について、封じ込めの喪失を検知するための特定の検知閾値(例えば、tCO2/年またはtCO2)を定義する。
- 非連続なモニタリングを行う場合の(計画された使用頻度を考慮した)各技術について、プロジェクト固有の閾値により封じ込めの喪失を検知するまでの予想平均時間を定義する。封じ込めの喪失を検知するための具体的な検知閾値及び検知までの予想平均時間もまた、プロジェクト説明文書に明記されなければならない。
- 貯留サイトのモデルとモニタリング手法を使って、封じ込めの喪失をどのように顕在化し、定量化するかを概説する。
- 以下のすべてを考慮し、検出されない最大の漏出量($Q_{Threshold,y}$)を定義する。
 - ✓ 可能性のある各経路の漏出推定値(CO2封じ込めの喪失に基づく)と、各経路からそれぞれ放出された排出量の合計
 - ✓ 連続的にモニタリングを行う場合、モニタリングプログラム文書に定義されている検出の閾値
 - ✓ 非連続モニタリングを行う場合、モニタリングプログラム文書に定義されている検出のための閾値と封じ込めの喪失を検出するまでの予想平均時間

VCS方法論(貯留):モニタリングによる不具合検知時の対応

- CO₂適合性の喪失が確認された場合、次回の検証に先立ち、提案者は以下を行わなければならない
 - ✓ 現在または将来の大気への放出の可能性を評価する
 - ✓ 適合性喪失の根本原因を特定する
 - ✓ 変更されたCO₂の動きを反映するように、モニタリングプログラムを改訂する
 - ✓ 封じ込めの喪失が発見された場合、プロジェクトは影響を受ける貯留サイトでの注入を停止しなければならない。
- 封じ込めの喪失が顕在化、定量化された場合、プロジェクト実施者は、封じ込めの喪失が修復可能かどうかを判断するためのアセスメントを実施しなければならない。プロジェクトは、封じ込めが完全に再確立されるまで、当該貯留サイトでの注入を再開してはならない。
- 当該貯留サイトでは、以下の条件が解決されるまで、プロジェクトは排出削減・除去クレジットを生成しない
 - ✓ 封じ込めの喪失を阻止し、恒久的な貯留を回復する。
 - ✓ 封じ込めの損失を数値化する。失われたCO₂の量が、これまでのプロジェクトで注入されたCO₂の総量の10%を超える場合は、当該プロジェクトは不適格となる。
 - ✓ プロジェクト実施者は、プロジェクト活動が発生する管轄の規制に従わなければならない。
 - ✓ 封じ込めの喪失が発生した場合には、VCSプログラム文書の登録・発行プロセス及びGCS(地下炭素貯留)非永続的リスクツールの手順が適用される。

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 - VCS方法論
 - Puro.earth方法論
 - Climeworks社方法論
 - 英国 GGRビジネスモデル
 - BEST PRACTICES for LCA of DACS
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

Puro.earth方法論: 主要論点のまとめ

- DAC方法論の策定に当たっての主要な論点に関して、Puro.earth方法論の設計は下表の通り。
- なお、同制度の特徴として、排出削減は認められず、純除去のみが認証される点が挙げられる。

項目	方法論の設計: VCS
DACの定義	・ 回収源に関して特段の定義なし。 ➢ DACプラントの能力と回収の実績を対照して、大気からの回収であることを証明。
適格な回収方法	・ 以下のいずれか。 A) 化学吸着 B) 膜分離 ・ CO2回収に用いる資材の再生利用については規程なし。
算定に含める装置	・ 回収工程については、以下の項目を考慮。 ➢ 回収のためのエネルギー利用、圧縮、液化 ➢ 目的生産されたバイオマスのcradle-to-gate排出量 ➢ 回収に用いる膜・化学物質の製造、メンテナンス、再生
排出量の計算手順	・ 「プロジェクトで回収したCO2量」－「回収、輸送、貯留、設備の建設及び資材の利用に係る排出量」 ➢ 算定結果についてLCA評価、第三者検証が求められている。 ➢ エンボディドカーボンも算定対象。

Puro.earth方法論:プロジェクトの登録状況

- DAC方法論から実際にクレジットが発行・償却された事例はまだない。
- 一方、Puro.earthでは、需要家が開発中のプロジェクトから将来のクレジット(Puro.earthではCORC)を購入できる先行予約権のようなプログラム(Puro Accelerate)が運用されており、4件のDACプロジェクト、3件のBECCSプロジェクトが掲載されている。

方法論	名称	実施国	価格	t-CO2	概要
DAC	High Hopes Labs – Aim higher.	アメリカ南部	400€	260,960	高高度直接大気炭素回収技術(HACC)TMを活用したプロジェクト。地上15~16kmの高度で無人気球を運用して炭素を回収。
DAC	Project Hummingbird	ケニア	460–910€	9,600	グローバルサウス初のDACプラント。ケニアの地熱エネルギー等が活用されている。
DAC	Modular Direct Air Capture at Industrial Sites	ドイツ	500–1,000€	267,240	- 廃熱と既存のインフラを活用したプロジェクト。エネルギー使用量、財務面でのメリットが期待される。 - 回収したCO2はCCS以外に建造物中にも固定。
DAC	World’s first solar-powered Direct Air Capture	オーストラリア	900€	1,847	世界発の太陽光発電DACプロジェクト。
BECCS	Borg CO2	ノルウェー	190€	2,928,000	工業地帯で生じるCO2の約半数を占めるバイオ由来CO2の回収を目指すプロジェクト。最初のステップとして廃棄物発電からのCO2回収を予定。
BECCS	Project Nexus	イギリス	—	1,200,000	スコットランドにおいて、バイオマス由来CO2の90%削減を目指すプロジェクト。2030年までにウイスキー業界で発酵過程で生じるCO2の回収を目指す。
BECCS	Bioenergy with CCS in Norway, Phase 1	ノルウェー	400€	10,672	バイオメタン製造過程で生じるCO2の回収・貯蔵を行うプロジェクト。

Puro.earth方法論:適用条件

適用条件

適格な地質貯留	• 深部地層への直接注入(EPA クラスⅣ or EUCCS指令) • 貯留層への炭素含有物質の注入(EPA クラスⅠ、Ⅱ) • EOR+ (EPA クラスⅡ) の一部としての石油およびガスの貯留層 ➢ 「EOR+」とは、石油およびガスの貯留層にCO₂を注入し、その貯留層でEORによって抽出された石油に含まれるCO₂よりも多くのCO₂が地下に残るようにすることによる石油回収増進のこと。
適格な炭素回収	• 直接空気キャプチャ(DAC) • バイオマス、バイオ液体またはバイオガスの燃焼による生物由来CO₂(BECCS、バイオCCS) • 他の物質と混合したバイオマスの焼却のうち、生物由来CO₂(廃棄物+CCS) • バイオガス改質プロセスからの生物起源CO₂(バイオガス+CCS) • 工業プロセスにおける生物由来物質の酸化からの生物起源CO₂ • 生体炭素含有物質(炭素質液体、バイオオイル、炭素含有スラリー、エタノール、フェノール)
適格な活動	• CO₂は生物起源であるか、大気由来である。すなわち、CO₂は光合成、化学吸着、または膜分離によって大気から取り込まれる。 • 炭素は永久に地層貯蔵される。適格な貯留は、EUまたは米国の法律および当局によって管理されているか、またはそれらの法律によって定められた同様の要件に従っている。 • CO₂が生物由来の場合、使用されるバイオマスは持続可能なものでなければならない。 • 回収されたCO₂が複合的な発生源(すなわち、化石および生物由来の両方)を含む場合、生物由来分のみが適格である。 • 非適格な活動:CO₂の発生源が純粋に化石である場合、その活動はCarbon Removalとしては適格ではない。(炭素貯留量の純増を示さないため) • 活動は、森林破壊、生物多様性の損失、農地の喪失、食料安全保障の低下、化学物質の排出、健康リスクの低下など、環境に悪影響を及ぼすものであってはならない。 • CO₂除去のための完全な活動の適格性は、監査で決定される。

Puro.earth方法論:適用条件

適用条件

適格な プロジェクト 実施者

- 監査者(審査期間等)はCO2除去のサプライヤー(以降、プロジェクト実施者)正味CO2除去量を測定および定量化する能力があること即ち、信頼できる一貫した方法で全ての計算を実施する能力があることを検証する。
- 監査者は、プロジェクト実施者が、炭素除去の所有権を契約または認可によって証明できることを確認する。
- プロジェクト実施者が有効に存在し、ホスト国の法律を遵守していることを記載した認定商取引の登録の抜粋または同様の公式文書。
 - ① CO2回収のオペレーターとの契約:
 - ✓ 回収プラントとそのオペレーターが有効に存在し、ホスト国の法律を遵守していることを示す、認定商取引の登録の抜粋または同様の公式文書。
 - ✓ プロジェクト実施者が、恒久的な炭素貯留を目的として、回収施設のオペレーターと契約合意していることを示す契約書。
 - ✓ 回収されたCO2または炭素含有物質に対する唯一の所有権を証明し、かつ回収オペレーターが炭素除去の属性を主張しないことを証明するもの。
 - ✓ 炭素除去証明発行のために、回収事業者の設備や書類の監査を許可する契約。
 - ② 貯留サイト及びオペレーターとの契約:
 - ✓ 貯留事業者が国内法に基づいて認可されている証明、および貯留サイトが有効に存在し、ホスト国の法律を遵守していることを示す、認定商取引の登録または同様の公式文書。
 - ✓ 貯留事業者が、プロジェクトの全期間を通じて、契約した量を貯留層に貯留するための法的許可とライセンスを有していること。
 - ✓ プロジェクト実施者が貯留事業者と契約上の合意をしており、回収された炭素が貯留事業者に受け入れられ、注入され、貯留層に貯留されることを記載した契約書。
 - ✓ 貯留事業者が、炭素除去の属性を主張しないことの証明。
 - ✓ 炭素除去証明発行の目的で、貯留事業者の設備や書類の監査を許可する契約。
 - ③ 物流事業者との契約(保管事業者と同一でない場合)
 - ✓ 物流事業者が有効に存在し、ホスト国の法律を遵守していることを示す、認定商取引の登録または同様の公式文書。
 - ✓ プロジェクト実施者が、恒久的な炭素貯留を意図して物流事業者と契約合意していることを示す契約書。
 - ✓ 物流事業者が、炭素除去の属性を主張しないことの証明。
 - ✓ 炭素除去証明発行のため、物流事業者の設備や書類の監査を許可する契約書。

Puro.earth方法論:算定式

■ 炭素除去量の計算は以下の通り。回収量等のモニタリングに不確実性がある場合は、保守的な値を採用。

$$CO2_{removal} = C_{captured} - E_{project} - C_{loss}$$

$$E_{project} = E_{capture} + E_{transport} + E_{injection} + E_{equipment} \quad C_{loss} = C_{captured} - C_{injected}$$

項目	単位	説明
$C_{captured}$	kg-CO2e	- 回収施設で回収したCO2。適格なCO2量を計算するために、以下を実施。 ✓ プロジェクト実施者はCO2の適格性を証明しなければならない。DACの場合、運転記録によりCO2の起源を証明しなければならない。BECCSの場合、ISO 13833 or ASTM D6866に基づく炭素同位体(C14)の結果を提示しなければならない。 ✓ 炭素含有物質の場合、CO2量は回収量×その物質の炭素含有量で決定。 ✓ EOR+の場合、抽出された石油量をCO2注入量から差し引く。
$E_{capture}$	kg-CO2e	CO2の回収に係る排出量(回収のためのエネルギー利用、圧縮、液化、目的生産されたバイオマスのcradle-to-gate排出量、回収に用いる膜・化学物質の製造、メンテナンス、再生)
$E_{transport}$	kg-CO2e	CO2の回収場所から注入場所までの輸送に係る排出量。
$E_{injection}$	kg-CO2e	CO2の注入に係る排出量。
$E_{equipment}$	kg-CO2e	- CCS設備の建設に伴う排出量及び使用する材料の排出量。計算は金額×原単位でも構わない。 - 建設に伴う排出量は最初の炭素除去証明発行前に全量考慮、差し引いておく必要がある。
$C_{injected}$	kg-CO2e	- 地層に注入されたCO2の量。 ✓ 単一のプロジェクト由来や明確に切り分けられる場合は注入量をモニタリング。 ✓ 複数のプロジェクト由来で切り分けられない場合、輸送と注入の効率を乗じる形で計算。

Puro.earth方法論:モニタリング、証憑類

- 炭素除去証明の発行に当たっては第三者検証が必要。

項目	説明・証憑
CO2発生源	- 大気を直接回収する場合、CO2の他の起源を排除できる運用データ記録を提供することにより、CO2の起源が大気であることを証明する。DAC設備のオペレーターは、回収されたCO2の量の測定結果が記載された内部管理シートを提供する必要がある(実際の/最大のプラントの性能よりも多くのCO2量が記録されている場合、一部は他の非大気起源のものということになる)。 - 生物起源のCO2回収の場合、放射性炭素同位体分析の結果による立証、持続可能性の証明が必要。
炭素収支	GHG排出量はISO、WRI、PAS2050に基づくLCA評価を行い、第三者検証を受けなければならない。
永続的な貯留	- 以下の証憑により立証する - 回収されたCO2が、炭素の恒久貯蔵に使用されることを示す、圧入・貯蔵サイトへの搬入の出荷書類。 - 貯留サイトが、適格地中貯留タイプに記載されているように、EUのCCS基準またはEPA基準に分類され許可されていること、あるいは貯留サイトが前述の基準が適用される地域にない場合は、同様の規制に従っていることを示す文書。
二重計上の回避	- 以下の証憑により立証する - 創出に関するダブルカウントがなされないことに関する契約または証明:貯留されたCO2がプロジェクトの帰属であり、他のステークホルダー(物流事業者、貯留事業者)からの環境価値主張がないことの証明。 - 活用に関するダブルカウントがなされないことに関する契約または証明:認証された除去証明を自らの炭素収支に含めないという、プロジェクト実施者の証明。除去証明が他のステークホルダーに売却され、無効化された場合、除去証明の創出者が提供する可能性のある他のサービス(廃棄物処理など)に、カーボンニュートラル等のマーケティングやブランディングの主張を行ってはならない。

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 - VCS方法論
 - Puro.earth方法論
 - Climeworks社方法論
 - 英国 GGRビジネスモデル
 - BEST PRACTICES for LCA of DACS
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

Climeworks方法論: 主要論点のまとめ

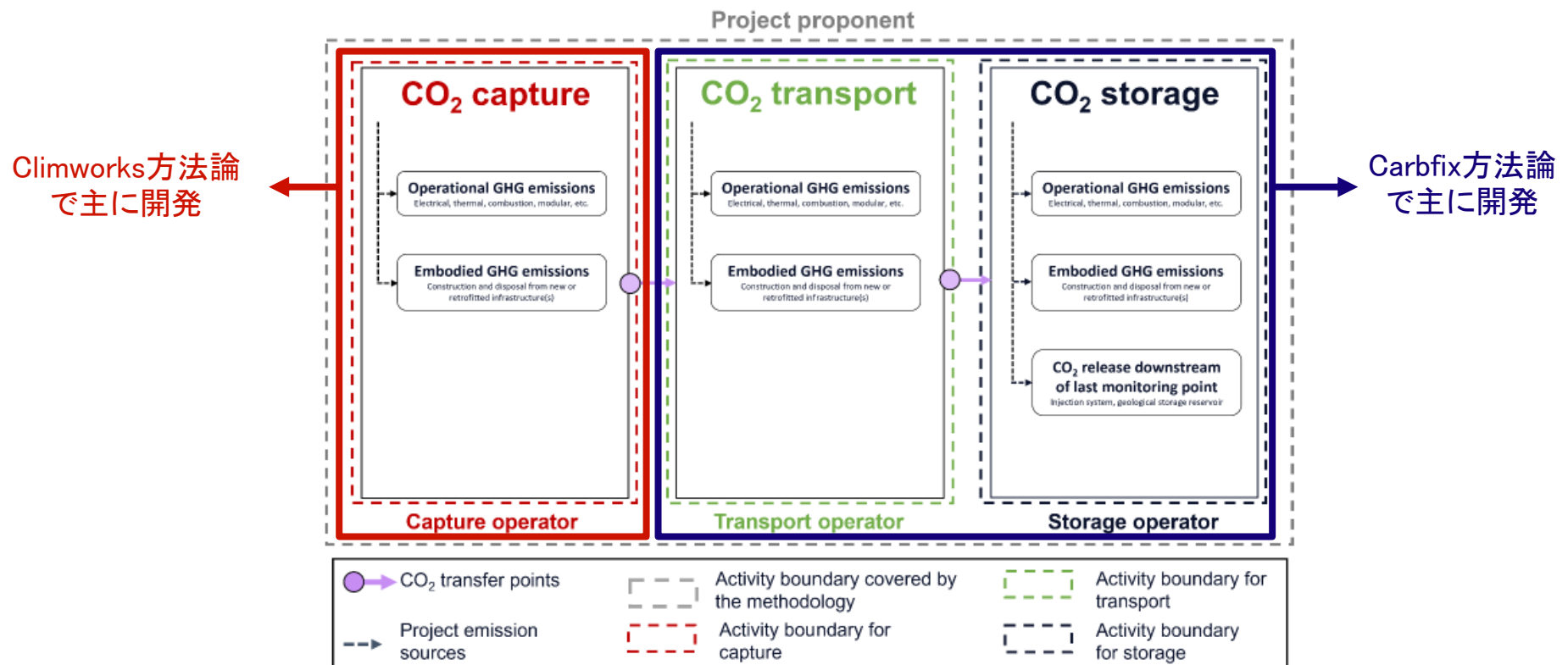
■ DAC方法論の策定に当たっての主要な論点に関して、Climeworks方法論の設計は下表の通り。

項目	方法論の設計: Climeworks
DACの定義	固体吸着材の使用を前提とし、大気中(他の排出源からの距離等に関する記載はなし)を適格なCO2回収源としている。
適格な回収方法	固体吸着材を用いた、温度-真空スイング(TVS: Temperature Vacuum Swing) 吸着法による化学吸着法を使用。
算定に含める装置	- 回収工程については、以下の項目を考慮。 ➢ 固体吸着材に係る排出量は、吸着材の交換頻度を考慮し、生産およびリサイクル／廃棄の工程を考慮する。 ➢ プラントなどの設備の建設および廃棄の排出量は、cradle-to-grave排出量を評価するLCAの国際基準を尊重して評価する。
排出量の計算手順	「回収後に最終モニタリングポイントで測定されるCO2量」―「貯留サイトでのリリース量」―「プロジェクト活動によるGHG排出量」―「設備の建設・廃棄によるGHG排出量」 ➢ プロジェクトのエネルギー利用(地熱発電の実績あり)では、CH4・N2Oも算定対象 ➢ 回収設備等に係るエンボディドカーボンも算定対象 - 貯留方法は地中貯留に限定されており、貯留サイトの圧入井に入る直前の質量流量測定の測定点を最終モニタリングポイントと定義し、注入時のCO2重量率を圧入井ごとに測定する。それよりも上流工程での漏洩や放出の影響は除外されている。 - プロジェクトがCO2除去以外の目的を持たないため、ベースライン排出量はゼロ。

Climeworks方法論: 方法論の開発状況

■ ClimeworksおよびCarbfixによるDAC+S方法論の開発

- 22年6月15日、ClimeworksよりDACを用いたCarbon Dioxide Removal (CDR)の方法論(第2版)、およびCarbfixより輸送・地中貯留の方法論(初版)が同日に運用開始。2種の方法論が補完しあうことで、DACによる炭素回収と輸送・貯留を包括したfull-chainでの認証が可能となり、DNVによる第三者認証の体制を実現。
- 23年9月、Puro.earthと提携し、ClimeworksおよびCarbfixのDAC+Sのサービスに対してPuro Standardによる認証を取得する方針を発表。ICROAの承認を経て、運用を開始する計画。



Climeworks方法論:適用条件

No	適用条件
1	この方法論は、回収、輸送、貯留のプロジェクトの捕集部分に適用され、回収は直接空気回収 (DAC)によって達成され、貯留は地中貯留によって達成される。
2	- この方法論は、次のすべてのプロジェクト条件を満たすプロジェクトおよび運用活動に適用される。 ➤ CO₂は、「1.1 Definitions」で定義された「最終モニタリングポイント」で測定される。 ※ 最終モニタリングポイント…CO₂ストリームが圧入井に入る前の最後の質量流量測定の測定点 ➤ 認証されるネットのCDRは、Equation.1に沿って評価されるものとする。 ➤ cradle to graveのライフサイクルアセスメント(LCA)において、プロジェクト活動の存続期間を通じて地球規模のCO₂濃度を減少させる。 ➤ 環境や社会に悪影響を与えない。 ➤ CO₂除去活動の透明かつ厳密な定量化が必要であり、CDRの全てのユニットはバリューチェーンを通じて一意に識別できる必要がある。 ➤ プロジェクト活動は、適用される地域の環境的、生態系的、社会法令的に規則を遵守しなければいけない。 ➤ 導入時は、国家のベストプラクティス、および国家の法令要件に従って行うものとする。 ➤ 全ての測定装置は、メーカーの推奨事項または業界のベストプラクティスに従って較正され、5%より良い不確実性で測定できるものとする。 ➤ 水へのアクセスは、現地の許可に従うものとする。
3	- この方法論は、次のすべての取得条件を満たすプロジェクトおよび運用活動に適用される。 ➤ 固体吸着剤を用いたTVS吸着プロセスにより大気中から回収したCO₂であること。 ➤ その場貯留または鉱物化を唯一の目的として大気中から回収したCO₂であること。 ➤ 脱着工程のスウィング温度が120°Cを超えないTVSプロセスにより大気中から回収したCO₂であること。 ➤ ガスまたは液体の状態で輸送する場合、純度が95%以上の輸送プールによって運ばれる炭素であること。

次ページへ続く

TVS: Temperature Vacuum Swing

Climeworks方法論:適用条件

No	適用条件
4	● この方法論は、以下の輸送および貯留の条件をすべて満たすプロジェクトおよび運用活動に適用される。 ➢ 水中にまたは高純度に溶解させ、パイプラインによって行うCO₂の輸送 ➢ 以下の条件を満たす地中貯留サイトへのCO₂の輸送 ● 立地条件 □ 国または地方公共団体によって承認されている。 □ 国または地域の法律が存在しない場合、EU CCS指令で説明されるサイト基準に従っている。 □ Matter(2016)で記述される急速無機化によるCO₂貯留の場合、EU CCS指令のアイスランド国内輸送で説明されるサイト基準に従っている。 ● 提案された地中貯留サイトにおける注入されたCO₂の挙動 □ Matterら(2016)で記述される急速な無機化のための水との同時注入を実施している。 □ IPCC(2005年)によるCO₂回収および貯留の特別報告書に記述される超臨界CO₂の注入を実施している。 ● 貯留サイトの使用条件 □ CO₂の貯留が事業者に直接認められない場合、事業者はその貯留作業を認められるCO₂貯留事業者との契約を締結すること。この契約において、貯留事業者は、回収され、貯留サイトに引き渡されたCO₂を受け取り、保管することに同意すること。
5	● この方法論は、明確に以下のものを除外している。 ➢ 溶解的トラッピングおよびその場での炭素の鉱物化以外の地質学的CO₂貯留であって、原油増進回収 (EOR)や堆積盆地での応用のような純相注入を除外している。

TVS: Temperature Vacuum Swing

Climeworks方法論: 追加性評価

■ Climeworks方法論における、追加性評価は以下の通り。

追加性は、現時点で有効なUNFCCC CDM (Clean Development Mechanism)の “Tool for the demonstration and assessment of additionality”に基づいて実証することができる。この評価によれば、下記に示す、いずれかの障壁により追加性を証明することができる。

- プロジェクト活動が、これまでのところ、パイロット事業で検証されている。
- 障壁の評価により、追加性を証明することができる。
 - 経済的障壁： 大気からのGHG除去がプロジェクトの主目的であり、主な収入源である。排出量の認証および販売を行わなければ、経済的障壁によりプロジェクトの実施を妨げる状況である。
 - 資金調達の障壁： DACプラント建設のために大規模な初期費用がかかる。同様の活動が、補助金やその他の非商業的な融資によってのみ実施されている状況である。

Climeworks方法論: 算定式

- 貯留サイトの圧入井に入る直前の最終モニタリングポイントで測定されるCO₂量を基準に算定される。最終モニタリングポイントの上流工程での漏洩や放出での排出は、除外されることが暗黙的に考慮されている。
- 貯留サイトでの放出量に加え、CDRバリューチェーンでの活動に伴うGHG排出量、および建設・廃棄に伴うGHG排出量を考慮する。
- 輸送および貯留のフェーズにおけるCO₂量は、別の補完的方法論(Carbfix方法論)で決定される。認証するネットのCDRの計算に必須であるため、計算方法は本方法論の対象外であるが、モニタリングパラメーターに関しては言及している。
- プロジェクトがCO₂除去以外の目的を持たないため、ベースライン排出量はゼロ。

$$mCO_{2,credited,y} = mCO_{2,injected,y} - mCO_{2,released,y} - mCO_{2eq,project,operation,y} - mCO_{2eq,project,embodied,y}$$

項目	単位	説明
$mCO_{2,credited,y}$	tCO ₂ e	自社計上または第三者への売却・取引として認証される、y日におけるCO ₂ 総量
$mCO_{2,injected,y}$	tCO ₂ e	最終モニタリングポイントで決定される、y日における地中貯留地に圧入されたCO ₂ 総量
$mCO_{2,released,y}$	tCO ₂ e	貯留サイトにおける最終モニタリングポイントの下流で放出される、y日におけるCO ₂ 総量(貯留に関する方法論で決定する)
$mCO_{2eq,project,operation,y}$	tCO ₂ e	CDRバリューチェーン(DAC、輸送、貯留)のプロジェクト活動による、y日におけるGHG総排出量
$mCO_{2eq,project,embodied,y}$	tCO ₂ e	モニタリング期間に予定されているCDRバリューチェーン(DAC、輸送、貯留)の建設および廃棄による、y日におけるGHG総排出量
y	days	クレジットが生成されるモニタリング期間

Climeworks方法論: 算定式_圧入

- 圧入におけるCO₂量は、圧入井ごとに、CO₂ストリームの質量流量を測定する。
- 圧入井の上流工程で漏洩または放出されたCO₂が算定から除外されることを保証するため、圧入井単位での測定とする。
- ストリームにおけるCO₂の重量比率に関しては、業界標準に準拠した流量測定法や規格に決定し、信頼性があり、正確であることを証明しなければならない。

Equation.2

$$mCO_{2,injected,y} = \sum_i mCO_{2,i,y}$$

Equation.3

$$mCO_{2,i,y} = \int_0^y \dot{m}_{CO_2,i} \cdot x_{CO_2,i} dt$$

項目	単位	説明
$mCO_{2,i,y}$	tCO ₂ e	最終モニタリングポイントで決定される、y日におけるそれぞれの圧入井で圧入されたCO ₂ 量
$\dot{m}_{CO_2,i}$	t/s	圧入井において連続的に測定されるCO ₂ ストリームの質量流量
$x_{CO_2,i}$	W_{CO_2}/W_{stream} (単位なし)	圧入井に挿入時の圧入ストリームのCO ₂ 重量比率
dt	s	y日に渡る期間中の数値積分
i	(単位なし)	圧入井

Climeworks方法論: 算定式_プロジェクト運用

- CDRバリューチェーンのプロジェクト活動の運用時のGHG排出量は、回収、輸送、貯留の3つのプロセスフェーズ(ステップ)に分けてモニタリングする。
- 排出係数は文献またはデータに基づくものとし、プロセス入力の活動量は供給者によって計量・定量化させるものとする。
- エネルギー利用におけるGHG排出は、CO₂を主な排出源としつつ、CH₄およびN₂Oの排出を考慮する。
- モニタリング期間中の吸着剤の排出量は交換頻度を用いて算定し、交換頻度はユースケースの運用データから決定できる。排出量の推定値は、平均データから事前に決定することができ、吸着剤の生産とリサイクル／廃棄の埋込値を使って算定できる。
- 実際の吸着剤の排出量に関しては、バッチごとの排出係数を含めて追跡する。排出量は、排出係数と交換頻度の固定値を調整するか、実際の排出量にモニタリング報告値の排出量を一致させるかにより、一致させる必要がある。
- 寿命によるプロジェクト終了時には、吸着剤の全ての排出量が計上されていることを示す必要がある。

Equation.4

$$mCO_{2,project,operation,y} = \sum_p mCO_{2eq,p,operation,y}$$

$$mCO_{2eq,p,operation,y} = \sum_z (I_{z,p,y} \cdot ef_{z,p,y}) = \sum_p \sum_z (I_{z,p,y} \cdot ef_{z,p,y})$$

項目	単位	説明
$mCO_{2eq,p,operation,y}$	tCO ₂ e	モニタリング期間(y日)における、プロジェクト運用の各フェーズ(p)のGHG排出量
p	単位なし	回収ステップ、輸送ステップ、貯留ステップからなるプロセスステップ
z	単位なし	プロセス入力
$I_{z,p,y}$	数量値	プロセス入力の活動量
$ef_{z,p,y}$	t/数量値	任意のプロセス入力の消費量に対する所定の汚染物質の排出係数または排出率

Climeworks方法論: 算定式_建設・廃棄

- CDRバリューチェーンのプロジェクトに関する設備の建設および廃棄のGHG排出量は、建設された設備のケース別評価に基づいて定量化され、以下のいずれかで算定される。
 - 同規模・能力、および推定されるプラント寿命に対応する施設について学術的評価が行われた場合の学術論文
 - 第三者機関から委託された、または国際基準に沿ったプラント固有のLCA研究に基づくプロジェクト管理者の計算結果
- 建設時の排出の最小範囲は使用される材料からのGHG排出量の重大なものとする。操業開始前の評価に基づいて算定することができ、一度だけ計上すれば良い。プラントが再利用された場合、または操業寿命が見積りよりも長期化した場合、その全額が累積的に会計処理された時点でゼロになるものとする（予定耐用年数の終了時に完全な減価償却）。
- プロジェクトの各フェーズでのGHG排出量を合計し、プロジェクト期間中の圧入によるCO₂除去量から差し引かれるようにスケジュールリングされるものとする。排出量の少なくとも50%がプロジェクト寿命の最初の50%以内の期間に予定され、100%が寿命内に予定されるとき、排出のスケジュールと分割を行うことができる。
- ISO 14064-2:2019規格およびプロジェクトの運用データに沿って計算する。

Equation.5

$$mCO_{2,project,embodied,y} = \sum_p mCO_{2eq,p,embodied,y}$$

項目	単位	説明
$mCO_{2eq,p,embodied,y}$	tCO ₂ e	モニタリング期間(y日)に予定された、プロジェクトの各フェーズ(p)に関する施設の建設と廃棄に際して投入されたGHG排出量

Climeworks方法論:モニタリング

■ 方法論では、下記の4つのモニタリングパラメーターに関して、モニタリング方法の特記している

項目	単位	頻度	モニタリング方法
$x_{CO_2,i}$	(単位なし)	a)少なくとも毎月 b)少なくとも年2回 c)年2回以上で固定した頻度	a)オンサイト測定 - メーカーの仕様に沿った校正を行い、仕様適用ができない場合は業界のベストプラクティスを適用する。 b)オンサイト測定が技術的に実行不可能、または不当なコストが発生する場合 - コストをかけずに実現可能な方法で、最高精度をもたらす方法を採用し、実験室によるサンプル分析を行う c)CO2重量率が一定の場合 - 認定試験所での定期的なサンプル分析を行う。
$I_{z,p,y}$	MWh、 t/y、 tなど	積算	- 適切な単位で、測定を行う。 ➤ 電力・熱:MWh、 ➤ 吸着材:t/y ➤ 水など:t
$ef_{z,p,y}$	tCO2e/ (数量値)	デフォルト値	国内／国際基準、文献による裏付け、又は広範なデータによる裏付けにより、得られる値を使用する。
$mCO_{2eq,p,embodied,y}$	tCO2e	デフォルト値	同規模・能力、および推定されるプラント寿命に対応する施設についての学術的評価、または国際基準などに沿ったLCA研究でスケールできるプロジェクト固有の測定値により、得られる値を使用する。

Carbofix方法論:貯留

■ Climeworks方法論を補完するCarbofixの地中貯留の方法論に関して、適用条件は以下の通り。

- この方法論は次のものに適用される
 - CO₂を回収施設から鉱物貯留のための地中貯留施設に輸送するプロジェクトおよび運転活動
 - CH₄の体積率が5%を超えないCO₂ストリーム
 - 化石由来のCO₂を排出するサイトでのCO₂回収、生物由来のCO₂を回収するCO₂回収、CO₂の直接大気回収を対象とする。したがって、(Carbofixの)方法論はCO₂排出削減およびCO₂除去の両方の機会を対象とする
- CO₂貯留の適用条件として、以下の全ての条件を満たす貯留プロジェクトおよび運転活動に適用される
 - 環境や社会に悪影響を与えない
 - プロジェクト活動は、適用される地域の環境、生態学的および社外的法令要件に適合しなければいけない
 - 設置は、国のベストプラクティスおよび国の法令要件に従って行うものとする
 - すべての地中貯留場所は、地方当局の承認を受け、CO₂圧入のための関連する許可を保持しなければいけない
 - すべての測定装置は、メーカーの推奨事項または業界のベストプラクティスに従って較正し、不確実性が5%以上の測定を可能にするものとする
 - 水へのアクセスは、現地の許可に従うものとする
 - すべての圧入井は、国内又は国際的な最良慣行及び国内の法令要件に従って掘削するものとする
 - 圧入井の閉鎖は、地域の法的要件に従うものとする。溶解トラッピングが確認された場合、地中貯留地からの放出のリスクは無視できるため、この方法論に圧入井セメントは不要
- さらに、その場無機化に特有の以下の地質条件を満たすCO₂貯留に適用される
 - 地中貯留地は、CO₂のその場無機化を可能にするため、火成岩(ウルトラマフィック、マフィック、その中間体、またはケイ酸)とする
 - 地中貯留地は、鉱物監視に関する条件(別セクションで定義)に対し、適切であるとみなされるものとする
 - 地中貯留地は、プロジェクト期間中に予想される総圧入量のCO₂を貯留するのに十分な貯留能力を有すものとする
 - CO₂の完全な溶解は、混合が行われる場所(表層または圧入井内)に係らず、地中貯留地に入るときに保証されなければならない
 - 圧入されたCO₂が貯留層に入る点の圧力は、圧入井に入るすべての流れの気泡点圧力より高く、圧入されたCO₂の気泡点圧力よりも5 bar以上高い圧力であり、即時溶解トラッピングを可能にするものとする
- この方法論では、以下を明示的に除外する
 - 溶解トラッピングおよびその場無機化以外の地質学的なCO₂貯留の形態であり、原油増進回収 (EOR)および堆積分地のような純相注入を除く。

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 - VCS方法論
 - Puro.earth方法論
 - Climeworks社方法論
 - 英国 GGRビジネスモデル
 - BEST PRACTICES for LCA of DACS
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

英GGRビジネスモデル: 主要論点のまとめ

■ DACのCO2策定に当たっての主要な論点に関して、英GGRビジネスモデルの設計は下表の通り。

項目	ガイドラインの設計: 英DESNZ(エネルギー安全保障・ネットゼロ省)
DACの定義	GGRのCO2源は大気または海水からの直接回収であると定義され、手段として、生物学的、化学的、地球化学的が明記されている。DACは化学的および地球化学的手段の一部に該当。
適格な回収方法	限定なし。
適格な貯留方法	限定なし。耐久性を満たした非地質の炭素貯留も許容する可能性あり。
CO2算定のMRV	- MRVフレームワークとして、正確性、一貫性、継続的改善、環境セーフガード、簡潔性、公平性、透明性の7つの原則を合意。 - 短期的には、既存イニシアティブが策定する基準から政府承認のMRV基準およびガイドラインを整備する方針。長期的には、強固なMRV基準の制定を検討する方針。 - 永続性の観点から、炭素貯留における大気への反転リスク(risk of reversal)を考慮する。 - GHGの除去は、「GHG排出の回避」と区別して定義する。
政策の方向性	- GGR全体の炭素除去の目標として2030年までに少なくとも年間5Mt-CO2eq、DACCSに関する目標と2050年までに年間18Mt以上を掲げている - クレジット市場への支援方法として、差金決済取引 (Contract for Difference)による方法を有力候補として検討している。

(出所) Monitoring, reporting and verification of greenhouse gas removals (GGRs): Task and Finish Group report, Business Models for Engineered Greenhouse Gas Removals: A consultation on accelerating investment in engineered carbon removals, Engineered Greenhouse Gas Removals: Government response to the consultation on a GGR Business Modelよりみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

英GGRビジネスモデル:ガイドラインの作成状況

- GGR(温室効果ガス除去)ビジネスモデル策定に関する経緯は下記の通り。
 - 2021年10月、GGRのMRV(モニタリング、報告、検証)に関して、タスク&フィニッシュグループによる検討結果を公開。MRVの包括的なアプローチを開発する方法について提言をまとめた。DACCSに関しては、施設運転に利用するエネルギーを踏まえた原単位を考慮することを強調している。
 - 2022年7月、エネルギー安全保障・ネットゼロ省(DESNZ、当時はBEIS)がGGRビジネスモデルを公開し、ステークホルダーとの協議を開始。
 - ネットゼロ戦略では2030年までに少なくとも年間5Mt-CO₂eq.のGGR(温室効果ガス除去)を目標としており、ビジネスモデルの構築によりGGRの大規模導入を支援する。
 - ネガティブエミッション技術として、DACCS、BECCS、カーボンネガティブコンクリート、海水CO₂除去を列挙。
 - DACCSは、2050年までに年間18Mt以上の除去を実現する必要があると試算されるが、コスト課題が大きく、特に政府支援の拡充を検討している。
 - ネガティブエミッションの初期の導入を支援する観点から、政府が介在する取引スキームを提案し、差金決済取引(Contract for Difference)、固定価格での支払い、固定価格での買取保証の3種類を比較検討した。
 - 2023年6月、ステークホルダーとの協議結果および政府の対応方針を公開。
 - ネガティブエミッションの取引スキームとして、差金決済取引(Contract for Difference)が安定的な価格を提供できる優先モデルであると結論づけた。
 - ネガティブエミッションの市場としては、英国排出量取引制度(UK-ETS)とボランタリー市場の両方に対し、潜在的利益を活用できるビジネスモデルを設計する方針とした。

GGR: Greenhouse Gas Removals

MRV: Monitoring, Reporting and Verification

BECCS: Bioenergy with Carbon Capture and Storage

(出所) Monitoring, reporting and verification of greenhouse gas removals (GGRs): Task and Finish Group report, Business Models for Engineered Greenhouse Gas Removals: A consultation on accelerating investment in engineered carbon removals, Engineered Greenhouse Gas Removals: Government response to the consultation on a GGR Business Model

英GGRビジネスモデル:政策の方向性

- ビジネスモデル策定の前提とした政策の原則は、以下の9項目。

原則	説明
収益の確実性	民間の投資を引き出すために収益の確実性を提供すべきである。投資家の信頼を高め、リスクを管理する当事者に適切なリスク配分がなされるように、明確で強い政策シグナルを送るべきである。
金銭的な価値	補助金管理規則を遵守し、他の支援スキームとの2重支援を防止し、プロジェクト開発者への過剰なリターンを回避することにより、政府のコストを最小化することを目的とするべきである。
簡潔性	GGRの導入目標に沿ったペースで社会実装ができ、政府とプロジェクト開発者の両方にとって不要な複雑さと管理コストを回避すべきである。
市場開発	プロジェクト開発者が民間のクレジット購入者を探すことを奨励し、長期的な政府の支援を削減するための明確な道筋を提供し、ネガティブエミッションのための力強い市場の成長を支援すべきである。
技術ポートフォリオ	野心的な政府目標に向かって前進させるため、商業化できる質の高いGGR技術に対し、多様なポートフォリオの形成を支援すべきである。継続的なイノベーション、学習効果、コスト削減を促進するため、時間をかけて競争力のある市場を育てるべきである。
気候の保全	GGRプロジェクトが大気中から検証可能で高耐久性のCO ₂ 除去を確実に行うため、監視、報告、検証(MRV)のための強固な基準によって支援されるべきである。プロジェクトは持続可能性と環境保護の高い基準に従うべきである。
経済的ベネフィット	英国をGGR技術の開発と展開における世界的な先駆者と位置付け、低炭素経済を強化するための雇用と輸出機会を提供するべきである。
野心的なGGR目標への到着	英国の炭素予算の実施と野心的なGGR目標(2030年までに少なくとも年間年間5Mt-CO ₂ eq.)を支援するために必要な速度と規模で、10年間でGGRプロジェクトを展開できるようにするべきである。
広範な脱炭素化	脱炭素化が困難なセクターからの残留排出量に対してバランスをとるためにGGRプロジェクトが展開され、経済全体の排出削減努力を補完するべきである。既存市場にゆがみを生じさせてはならない。

英GGRビジネスモデル:政策の方向性

- GGRを支援するため、下記の一般的な政策を例示した上で、取引スキームによるビジネスモデルの導入意図を強調している。

政策の候補

- 取引スキーム …ネガティブエミッションの価格を保証する私的契約
- 税額控除 …設備投資やプロジェクト生産量に応じた税額控除
- コンペによる出資 …コンペを通じた技術開発者への資金提供
- 規制資産ベース (RAB) …需要者が支払う規制料金を通じたインフラの資産への資金提供

- 取引スキームは、下記の3つのスキームを比較している。

- ① 差金決済取引 (Contract for Difference): クレジット市場の基準価格と固定の行使価格との差額を決済
- ② 固定価格での支払い: 公共財と見なして政府が固定価格を支払い、政府または開発者がクレジットを市場で販売
- ③ 固定価格での買取保証: 開発者が市場で販売し、未販売のクレジットを政府が保証価格で買取り

取引スキーム	課題	ステークホルダーの意見集約
差金決済取引 (CfD)	・実績がある洋上風力などと比較すると、GGRは運用コストが高額かつ変動的であり、CfDの設計に困難さが伴う ・小規模のGGRプロジェクトで開発者の管理コストに課題	・低炭素発電などの実績に加え、CCUSなどでもモデル開発が進んでおり、支持する意見が多数 ・市場主導のスキーム構築が可能であり、政府支援の効率化が見込める
固定価格での支払い	・政府がクレジット販売する場合、管理コストやプラットフォーム構築に課題 ・開発者がクレジット販売する場合、市場販売のインセンティブや追加性要件への政府支援額の反映に課題	・市場成熟までの初期の施策として支持する意見あり ・クレジットの利益配分時に簡素さが損なわれ、CfDに近いメカニズムを発生させる可能性がある
固定価格での買取保証	・市場販売のインセンティブに課題	・支持する意見は限定的

英GGRビジネスモデル: MRVのアプローチ

- MRVの体制構築に関して、MRVフレームワークと政府方針案を示し、ステークホルダーからの提案を踏まえて方針を示している。

MRVフレームワーク

原則	説明
正確性 Accurate	科学的に正確で検証可能であり強固な方法論を確立すること
一貫性 Consistent	UNFCCCの基準など、GGRに関する国際的なベストプラクティスや基準に沿うこと
継続的改善 Continuous improvement	新たなイノベーションや科学的証拠に応じて柔軟に対応し、進化すること
環境セーフガード Environmental Safeguards	政府の環境セーフガードを遵守し、大気、陸上、海洋などの環境への影響とリスクを最小限に抑えること
簡潔性 Simplicity	GGR導入の目標に沿って実装でき、過度な複雑さを回避し、管理負担を最小限に抑えること
公平性 Parity	GGR技術の全範囲に一貫した枠組みを提供し、多様なニーズと特性を認識すること
透明性 Transparent	GGR技術の全範囲にわたって、方法論の透明性を確立し、定量化可能で、正確かつ明確な報告、および独立した第三者による検証を行うこと

政府の方針案

- ・ 強固なMRV基準の確立を行うため、MRV体制を監督する独立した機能の構築を検討する。
- ・ MRV基準を策定するイニシアティブの努力を認識し、短期的には、政府が承認するMRV適格基準の決定を行う。

ステークホルダーから得られた提案

- ① 政府による第三者基準の承認・認定
- ② 長期的に政府基準を策定、短期的に市場の自主基準を採用
- ③ 政府基準の策定し、第三者機関での検証
- ④ 特定のプロジェクトのネガティブエミッションを政府が承認

- 文書で例示されたイニシアティブは下記の通り

NGO	IC-VCМ、ISO Standards、CCS+、GHG Protocol (Land Sector and Removals Guidance)、Oxford Principles
ボランティア	VERRA、Gold Standard、Puro.earth
国際組織	IPCC Guidelines、CORSIA

英GGRビジネスモデル:対象技術

- ビジネスモデルで対象とするネガティブエミッションとして、下記の3つの基準を示している。

原則	基準
CO2源 Net Negativity	CO2は、生物学的、化学的または地球化学的手段を介し、大気または海水から直接採取しなければならない。
正味のネガティブ性 Net Negativity	End-to-endでのCO2排出量は、貯蔵の総量よりも低くなければならない。いくつかの技術に関しては、GGR技術が正味のネガティブエミッションの最低水準を達成することを保証するため、サプライチェーン排出量のレベルを制限する要件を設定しなければならない。
永続性 Permanence	プロジェクトによって回収された炭素は、耐久性の高い貯蔵施設に隔離されなければならない。永続性の評価では、炭素貯蔵に伴う耐久性と「反転リスク (risk of reversal)」を考慮すべきである。燃料やプラスチックなどの寿命の短い製品への炭素の利用は、ネガティブエミッションを構築できない。 risk of reversal … 補足された炭素が大気中に再放出される可能性

- 貯留方法に関しては、特定していないが、下記を例示している。

- ・ 建設用材の炭酸化による鉱物貯留
- ・ 風化促進作用による陸上での鉱物貯留
- ・ 苦鉄質岩(mafic)形成による地中鉱物貯留
- ・ 海洋・海水中での鉱物貯留
- ・ インフラ設備に用いるバイオ炭
- ・ 土壌添加剤に用いるバイオ炭
- ・ 地中へのバイオマス埋設

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 - VCS方法論
 - Puro.earth方法論
 - Climeworks社方法論
 - 英国 GGRビジネスモデル
 - BEST PRACTICES for LCA of DACS
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

米Best Practices for LCA of DACS : 主要論点のまとめ

■ DACのCO₂策定に当たっての主要な論点に関して、米Best Practices for LCA of DACSの設計は下表の通り。

項目	ガイドラインの設計: 米DOE(エネルギー省)
DACの定義	大気中を適格とし、CO₂除去を主目的とするが、それ以外の副産物(水、酸素、熱など)をLCA算定の対象に含む。副産物に由来するCO₂排出の回避分は、CO₂除去と分けて定義する。
適格な回収方法	限定なし。回収後に関しては、CO₂を15.3MPaで圧縮し、純度95%以上に保持することをベストプラクティスとしている。
適格な貯留方法	限定なし。地中貯留を主に想定しており、EORやCCUは追加のガイダンスが必要と補足している。
CO ₂ 算定のMRV	- 本文書を、ISO 14040/14044を補完するガイドラインとして位置づけ。回収や貯留の工程を踏まえてバウンダリが異なる4種類の機能単位を規定し、Cradle-to-graveのバウンダリを使用した評価をベストプラクティスとしている。 - DACSシステムとして、上流工程のエネルギー・原料の調達、DACプロセス、輸送および貯蔵の3種のフローで表されるシステムが例示されている。CO₂などのLCAの算定は、DAC運用および施設運営、エネルギー消費、建設時の材料調達、設備使用時の消耗材、貯留サイトでの圧縮・輸送・圧入、廃棄物管理、土地利用変更、設備の廃棄、を挙げている。オンサイト圧縮はDACサイトでのエネルギー消費とし、ブースト圧縮および輸送は貯留サイトでのエネルギー消費とする。 - 貯留サイトの算定は、サイト建設、井戸建設、圧入、塩水管理を含み、地理的／地質学的な多様性を踏まえて評価する。 - 持続性として、少なくとも100年間のMRVを行うことを、DOEの方針としている。
政策の方向性	- DOE主導のCarbon Negative Shotの活動の一環でDACSを支援し、年間1ギガトンのスケールの除去を目標としている。 - DACSにかかるコスト目標として、\$100/net metric ton CO₂eq未満を掲げている。LCAに加えてTechno-economic assessment(技術経済評価)を加味する方針としている。

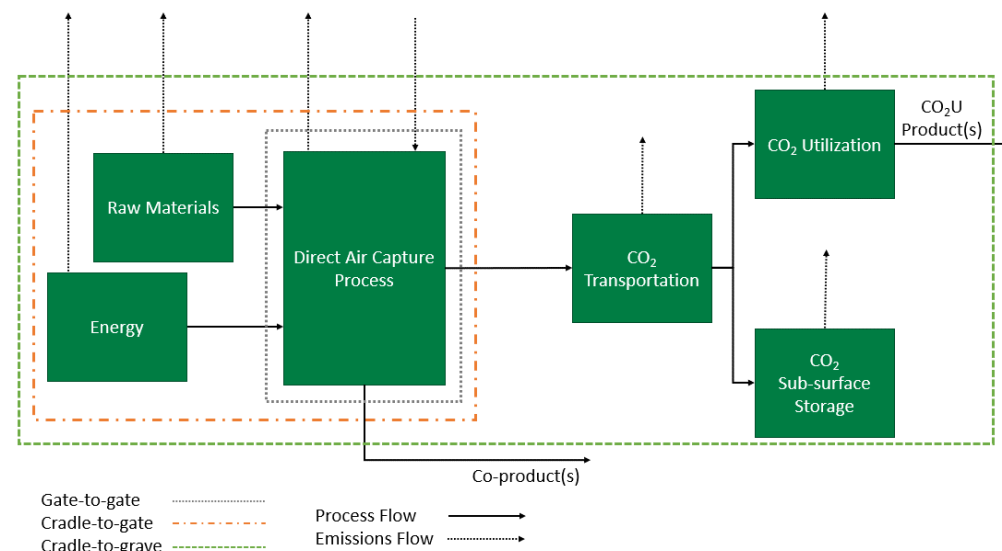
米Best Practices for LCA of DACS:ガイドラインの作成状況、政策の方向性

- 米Best Practices for LCA of DACS策定に関する経緯および目的は下記の通り。
 - 2022年6月、DOE(米エネルギー省)において、Carbon Negative Shotの活動で、DACS によるCO₂除去の定量評価を行うために文書化を実施。
 - 本文書は、LCAに関する国際規格(ISO 14040/14044)を補完する文書として位置づけられ、DACS評価のベストプラクティスを確立すること目的としている。ベストプラクティスを確立する目的は次の通り。
 - CDRの潜在的影響をより完全に理解するため、DACSシステムのLCAの一貫的な評価を支援する。
 - 結果の感度や不確実性を評価し、技術的パフォーマンスが抱える潜在的リスクの範囲に対する信頼性を確保する。
 - DACSシステムの潜在的なトレードオフとコベネフィットを理解する。
 - LCA研究者や実務家コミュニティのベストプラクティスを活用し、新技術の評価で考慮する事項を包括する。
- 米Best Practices for LCA of DACSで、掲げられた目標は、下記の通り。
 - 回収と貯留の両方を踏まえたDACSにかかるコスト目標として、\$100/net metric ton CO₂eq未満とする。
 - ライフサイクル全体の温室効果ガスの排出量に関して、会計処理を行う。
 - 高品質で高耐久の貯留を前提とし、少なくとも100年間の監視、報告、検証に必要なコストを実証する。
 - 必要なギガトンスケールでの除去を実現する。1ギガトンのCO₂は、米国の小型車の年間排出量に相当し、約2億5千万台の自動車の走行に相当する。

米Best Practices for LCA of DACS: 算定の範囲

- 機能ユニットおよびLCAにおけるシステムバウンダリーを定義し、Cradle to graveの算定をベストプラクティスとしている。

機能ユニット	システムバウンダリー
回収されたCO2質量 (オンサイトでの排出回避を含む)	Cradle to gate
大気から回収されたCO2質量	Cradle to gate
大気から回収され、永久貯留されたCO2質量	Cradle to grave
大気から回収され、永久貯留された ネットのCO2相当質量	Cradle to grave



- 機能ユニットのベストプラクティスに関する詳細は、下記の通り。
 - DACSの分析は、大気から回収され、永久貯留されたCO2質量を対象とする。
 - CO2除去の報告は、大気から回収され、永久貯留されたネットのCO2相当質量を対象とする。
 - DACの下流では、回収されたCO2は15.3MPa (2200psig)に加圧され、体積比で95%以上の純度に保たれるべきである (IPCC 2005, NETL 2019を参照)。

米Best Practices for LCA of DACS:算定方法(排出量評価)

■ ライフサイクルインベントリ—(LCI)分析のパラメーターとして、下記のカテゴリーを定義している。

LCIデータカテゴリー	パラメーター
DACの運用	・ オンサイトでの排出物、施設運営に関するインプット・アウトプット
消耗財—電気	・ 発電技術の年代別消費ミックス ・ 発電施設の排出に加え、燃料及び材料のサプライチェーンを含む ・ EIAのAnnual Energy Outlook “Reference Case”のデータを使用した、導入予定年に基づく将来のグリッドミックス
消耗財—熱	・ オンサイトでの燃焼の場合：直接排出はDACの運用に含め、燃料サプライチェーンはこの項目に考慮する ・ オフサイトでの燃焼の場合：燃料および燃料サプライチェーンの両方を考慮する
非消耗財—建設・資材	・ プロセス設備やインフラ設備に用いる主要材料の量(質量又はドル) (スチール、コンクリート、アルミニウム、銅、プラスチックなど)
消耗財—プロセスにおける化学物質及び水	・ 初期システムの消費材、および施設の使用期間中に必要な日常の財(溶剤、吸着剤など)
CO2圧縮、輸送、圧入、MRV	・ 回収されたCO2の最初のオンサイト圧縮は、DACサイトの電力消費に含める。一方で、ブースト圧縮および輸送はこの項目で考慮する。 ・ 貯留サイトの活動には、サイト準備、圧入井建設、圧入、塩水の管理が含まれる。 ・ 貯留サイトは多様であり、必要に応じて地理的／地質学的な多様性を踏まえて評価するためにパラメーターを形成する。
廃棄物管理	・ DACの運用から排出される廃棄物の処理、運搬、管理
土地利用変更	・ DACSの運用とインフラ整備を促進するための用地買収／クリーニング
廃止措置	・ 分解、廃棄物、資材のリサイクル

米Best Practices for LCA of DACS:算定方法(影響評価)

■ 経済性を踏まえた影響評価を前提とし、不確実性分析の標準的なモデリングシナリオを下記の通り定義している。

LCIデータカテゴリー	パラメーター	シナリオ ベースライン／上位想定／下位想定
DACの運用	技術的な運用パフォーマンス (TEAケースのアライメント)	- TEAケースのアライメント: ベースライン／楽観的／悲観的 - すべてのTEAシナリオをモデル化し、潜在的な結果の範囲を明らかにする - 回収効果: 70%/80%/50%
	副生成物の管理方法、変位量	- ISO(質量、経済価値など)で提案されている、異なる配分での評価を行う。 - 共同製品によって置き換えられる可能性のある技術の範囲をモデル化する。
消耗財—電気	電力源	- 地域のグリッドミックス／100%再生可能エネルギー(太陽光・風力)／100%グリッド平均石炭発電 - EIAのAnnual Energy Outlook “Reference Case”のデータを使用した、導入予定年に基づく将来のグリッドミックス
消耗財—熱	熱源	オンサイト燃焼として、回収／廃熱利用／非回収の天然ガス
消耗財—天然ガス	天然ガスのサプライチェーン、メタン量	- 発電・熱用天然ガスのサプライチェーンにおけるメタン漏洩の影響に基づく評価結果 - 抽出から送達までのメタン漏洩として、2%/8%/0.3%
消耗財—プロセスにおける化学物質及び水	主要プロセスにおけるインプット材料(溶剤、その他の化学品)	ベースライン／楽観的／悲観的の各評価プロセスにおける化学的要求事項
非消耗財	資本設備、プロセスにおける化学物質／触媒	プラント運転寿命: ベースライン／楽観的／悲観的

TEA: Techno-economic assessment(技術経済評価)

米Best Practices for LCA of DACS: 対象技術

■ DAC技術に関して、特に限定していないが、下記を例示している。

- 固定吸着剤を使用した回収
- 化学溶媒を使用した回収



上述のプロセスを排他的に適用する意図はない、としている。

■ 貯留方法に関して、特に限定していないが、地中貯留を基本的な方法とし、その他の方法を下記の通り例示している。

- 地中貯留 …継続的な監視および圧入井の建設・廃棄などを含む
- CO2の利用／変換 …変換工程、製品への使用、使用後の原材料およびエネルギーを含む
- 原油増進回収 (EOR) …圧入、CO2の再排出、油田の増進活動、原油輸送、精製、最終使用を含む



CO2の利用／変換やEORに関しては、追加のガイダンスが必要である、としている。

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

DAC方法論策定に係る方針及び論点のまとめ

- 1~3章の調査を踏まえ、DAC方法論ドラフトを作成した。ドラフトの作成方針は次の通り。
 - 算定のバウンダリ、係数の参照方法等については、Jークレジット制度の規程類及び既認定の方法論との整合を重視。
 - CCSパートについては、先進的CCSでの議論を参照することとし、一旦イメージだけ記載。
- 本ドラフトについて、海外制度との相互運用性を考えると、以下の論点が挙げられる。
- なお、ドラフト原本については、DACワーキングでの議論も踏まえアップデートした版を、別添として添付する。

論点		説明
1	再エネの取扱い	・ DACプロセスで再エネを用いる場合、その効果が反映可能か。可能な場合どのような手法が認められるか。
2	廃熱の取扱い	・ DACプロセスで廃熱を用いる場合、その効果が反映可能か。可能な場合どのような手法が認められるか。
3	上流の排出量	・ 燃料や電力の上流の排出量を考慮するかどうか。
4	エンボディドカーボン	・ 設備の建設・廃棄に係る排出量を考慮するかどうか。
5	メタンの漏洩	・ オンサイトで燃料を使う場合のメタンの漏出について考慮するかどうか。
6	越境輸送	・ 回収したCO ₂ を越境輸送して貯留するプロジェクトを認めるかどうか。
7	DACの定義	・ DACをどのように定義し、どのように立証することを求めているか。
8	除去/削減の区別	・ 削減を認めているか。認めている場合、除去とどのように区別しているか。

再エネの取扱いについて

- DACプロセスで再エネを用いる場合、その効果が反映可能か。可能な場合どのような手法が認められるか。
- なお、我が国における再エネ電力の調達手法は一般に以下の3通り。
 - ① 再エネ設備からの直接調達(オンサイト、自営線、自己託送)
 - ② 再エネメニュー(系統電力+非化石証書 or 再エネJークレ or G証書)
 - ③ 需要家による再エネ証書等の調達

制度等		説明
1	DAC-WG	・ 調達手法①のみ認める方針。 ➢ なお、直接調達であることに加えて、Jークレジット制度の方法論が適用可能(追加性、稼働時期、バイオマスの持続可能性等)であることを求めている。 ➢ クレジット化に当たっては、非化石証書制度との制度間の重複排除や環境価値の循環的な認証(一度再エネJークレとして認証された価値をDAC方法論で再度認証するような行為)の排除という観点からも①以外を認めるのは難しいか。
2	VCS	・ 調達手法①のみ認める方針(※自己託送の取り扱いは不明)。
3	Puro.earth	・ 特段の記載なし。 ✓ ただし、注記に「通常、CCS活動は、自家発電または<u>契約による再エネ電力源の利用</u>を目指す。」と記載。 ✓ GHG算定についてはISO等に基づくLCA評価を求めている(ただし、ISO14040,44において証書の明確な取り扱いは決まっていない(確認中))。
4	Clime Works	・ 特段の記載なし。 ✓ GHG算定についてはISO等に基づくLCA評価を求めている。 ✓ 同社は地熱発電事業を行っており、電源の一つに考慮されていると考えられる。

廃熱の取扱いについて

- DACプロセスで廃熱を用いる場合、その効果が可能か。

制度等		説明
1	DAC-WG	- 外部から調達する熱の場合、Jークレジット制度で適格な廃熱のみ認める方針。 ➤ 具体的な要件は、未利用、追加性を有する等。要件を満たさない場合は標準的な熱源とみなして算定。 ➤ オンサイトで廃熱を活用する場合は、燃料使用量削減の形で反映される。
2	VCS	- 以下の要件を満たす場合、廃熱利用に係る排出量はゼロとみなすことができる。 - プロジェクトバウンダリの外部から調達している。 - プロジェクトがなければ熱源の設備で利用されておらず、プロジェクト開始以前には他の需要家への引き渡し、販売、利用がされていない。 - プロジェクト開始以前には周囲のヒートシンクに放熱されている。
3	Puro.earth	特段の記載なし(再エネ同様、LCA評価の方法に依ると考えられる)。
4	Clime Works	- DAC設備に用いる熱エネルギーに関し、GHG排出の算定を要求している。 ✓ 同社は地熱発電事業を行っており、電源利用と同時に廃熱利用が考慮されていると考えられる。

上流の排出量について

- 燃料や電力の利用に伴う排出量の計算に当たって、上流の排出量を考慮する必要があるか。

制度等		説明
1	DAC-WG	・ J-クレジット制度における考え方と整合させ、考慮しない方針。 ➢ 方法論策定規程にて、化石燃料の精製及び運搬に係る排出活動は算定対象外である旨を明示。
2	VCS	・ 考慮を求めている。電気の排出係数が上流工程も含んだものになっている場合は、電力量×当該排出係数で算定することとしている。算定方法として以下の3つを例示。 ➢ ISO14040および14044に基づくLCAの実施。 ➢ 地域のコンプライアンス市場で承認された方法または同等の方法を使用（例えば、カリフォルニア州の低炭素燃料基準） ➢ DACプラントの稼働を時間的および地理的に代表する、査読済みの文献で公表された排出係数
3	Puro.earth	・ 特段の記載なし（再エネ同様、LCA評価の方法に依ると考えられる）。
4	Clime Works	・ 特段の記載なし（再エネ同様、LCA評価の方法に依ると考えられる）。

エンボイドカーボンについて

- DACプラント等、設備の建設・廃棄に係る排出量(エンボイドカーボン)を考慮するかどうか。

制度等		説明
1	DAC-WG	・ J-クレジット制度における考え方と整合させ、考慮しない方針。 ➢ 方法論策定規程にて、設備の製造、運搬、設置及び廃棄に係る排出活動は算定対象外である旨を明示。 ・ なお、回収に用いる資材の製造に係る排出量は考慮する方針。
2	VCS	・ 方法論ドラフト(2023年6月)では、算定項目として挙げられているものの、計算式が提示されていない状況。今後の検討とされている。
3	Puro.earth	・ 考慮を求めている。 ➢ 実際の排出量が分からない場合、金額×原単位の計算も認めている。 ➢ 初回発行時までには計算及び認証量からの減算が完了していることを要求。
4	Clime Works	・ 考慮を求めている。 ➢ 算定方法は、プラント寿命に関する学術論文、またはプラント固有のLCA研究に基づくプロジェクトの算定結果を採用している。 ➢ 最低限の算定範囲は、使用される材料のうち、GHG排出量が重大なもの。 ➢ 操業前の評価結果を採用でき、予定耐用年数で減価償却が完了。 ➢ 各プロジェクトに対し、CO2計上のスケジュールリングを要求している。

メタンの漏洩について

- DACサイトにて燃料を利用する場合、メタンの漏洩について考慮する必要があるか。

制度等		説明
1	DAC-WG	・ J-クレジット制度における既認証の方法論では考慮されていないが、本WGのドラフトでは考慮する方針。
2	VCS	・ 考慮を求めている。 ➢ 配管などからの漏洩及びベントによる排出について、算定を要求している。
3	Puro.earth	・ 特段の記載なし(再エネ同様、LCA評価の方法に依ると考えられる)。
4	Clime Works	・ 考慮を求めている。 ➢ DAC設備のエネルギー消費(電源、熱源)およびDACプロジェクトの廃棄物に対し、メタンおよびN₂Oの排出への考慮を要求している。

越境輸送について

- CO2を越境輸送する場合について、方法論の対象にするかどうか。

制度等		説明
1	DAC-WG	- 日本で回収⇒日本で貯留の場合のみ認める方針。 ➤ J-クレジット制度は、日本国温室効果ガスインベントリと算定範囲を整合。インベントリ側で越境輸送のカウントについて整理されれば、そちらにあわせることが可能。
2	VCS	- 特段の記載なし。 ➤ なお、VCSでは、制度として相当調整のガイダンスを公表し(2023年8月)、クレジットに6条ラベルを付与する際の手続きを定めた。
3	Puro.earth	特段の記載なし。
4	Clime Works	特段の記載なし。

DACの定義について

- 方法論で適格とするDACを定義するか。また、適格性をどのように検証するか。

制度等		説明
1	DAC-WG	- 回収源は固定の排出源の影響を受けない大気としており、屋内の空気も含むことを明示している。 - 適格性については、地図情報、気体の濃度モニタリング、設備の稼働記録等の手段のうち、1つまたは複数を組み合わせて立証することを求めている。
2	VCS	- 回収源は固定の排出源の影響を受けない周囲の大気としている。 - 適格性の立証方法については、特段言及していない。
3	Puro.earth	- 回収源に関して特段の定義を示していない。 - 適格性については、DACプラントの能力と回収の実績を対照して、大気からの回収であることの立証を求めている。
4	Clime Works	- CO2回収源は、固体吸着材の使用を前提とし、大気中のみを適格としている。 - DACの手法は、同社の提供技術である、温度-真空スイング (TVS: Temperature Vacuum Swing) 吸着法による化学吸着法のみを適格としている。

除去/削減の区別について

- 除去/削減を方法論で区別するか。また、双方を適格にするか除去のみ適格とするか。

制度等		説明
1	DAC-WG	区別しつつ、認める方針。
2	VCS	- 区別しているが、酸素燃焼を含むオンサイトの排出源から併せて回収することも認めている。 ➤ 現在、除去/削減を区別するツールを作成中。
3	Puro.earth	除去のみ認めている。
4	Clime Works	- 排出の削減に関して特段の記載なし。 ➤ DACの回収量(貯留地での圧入量)とDACプロジェクトでの排出量とは区別されており、排出の削減分は後者に反映できると考えられる。

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

DACWGの運営

■ 2023年度、DACWGは2回開催された。委員構成及び各回の議題は以下の通り。

＜委員構成＞

所属・役職	名前
金沢大学先端科学・社会共創推進機構 准教授	山田 秀尚(座長)
三菱重工業(株) 成長推進室 事業開発部	乾 正幸
(一財)電力中央研究所 上席研究員	上野 貴弘
(株)商船三井 エネルギー営業本部 エネルギー営業戦略部 カーボン事業チーム チームリーダー	香田 和良
住友商事(株) エネルギーイノベーション・イニシアチブ (EII) CCUS チーム チームリーダー	高橋 淳也
独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 CCS・水素事業部 総括・国際連携課 担当調査役	高梨 真澄
三菱商事(株) 次世代エネルギー部門 カーボンマネジメント室 CCUS & CDR ライン担当課長	滝川 晃史
(株)本田技術研究所 先進パワーユニット・エネルギー研究所 戦略企画室 チーフエンジニア	瀧澤 一晃
川崎重工業(株)水素戦略本部 カーボンニュートラル推進総括部 CN 戦略部 部長 兼 エネルギーソリューション&マリンカンパニー水素・CN ディビジョン CN 事業推進室 基幹職	谷口 晋一
(国研)産業技術総合研究所ゼロエミッション国際共同研究センター 環境・社会評価研究チーム長	森本 慎一郎

＜議題＞

	内容
第1回	- DAC WGにおける議論の進め方について - 関連する国内外の検討状況について
第2回	- DAC方法論のドラフトについて(うち、以下の論点について) - 方法論作成の前提条件に関する事項 - 方法論の基本的考え方/方針に関する事項

-
1. 技術開発動向の整理
 2. 諸外国におけるDACの位置づけ、政策支援状況の整理
 3. 諸外国・NGO等のDACに関連したルール形成議論状況の調査
 4. 調査結果の整理・分析
 5. DACWGの運営
 6. DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

■ 方法論の作成の基本的考え方／方針に係る論点について、下記の8つに再整理し、委員から意見を集約した。

論点		委員の意見集約
1	DACの定義	・ 回収源を大気のみに限定すべきではない。液吸収法などで、化石燃料の燃焼プロセスで排出されるCO2を考慮する必要がある。 ・ 許容度について検討する必要がある。 ・ どの程度の距離を離れていけばよいかという地理的条件について検討する必要がある。 ・ 屋内での稼働は、どのような屋内を想定するか検討する必要がある。 ・ 屋内の呼気や自動車の排気の影響を明確にするのは難しく、排出源の限定は市場を狭める危険がある。 ・ CO2濃度で定義することは難しい。化石由来と人間の活動に由来するものも明確に判別できない。 ・ LCAの算定でネガティブである状況を条件として定義してはどうか。 ・ 除去と排出削減とは区別して価値を持たせる必要がある。
2	廃熱の取扱い	・ 地熱発電で蒸気の一部をDACに利用する場合、未利用の要件を満たすことが難しいのではないかと。その場合、未利用という制限をかけない方がよいのではないかと。 ・ 化石資源を使った廃熱は、現時点で未利用であったとしても後々は利用されていくものであり、2050年までの排除を考慮すると、時限的措置であることを明記してはどうか。 ・ 低温と高温とでは価値が異なるので、分けしてはどうか。

つづく

DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

論点	委員の意見集約
3 上流の排出量	- 算定に加えるべきであるが、制度開始時期などでは、緩和するルールを時限的措置として設けてはどうか。化石燃料の採掘や運搬は、電力の排出係数にも考慮できていないことが多い。 - バックグランドデータに関して整理すべきである。 - リバーサルリスクに対するバッファーの概念について整理すべきである。／バッファーは持続性の担保措置として使うべきであり、計算上の不確実性に対して使ってはいけない。 - メタンリークをどの範囲まで考慮するかが大きな影響を与える。 - 産業創出の目的からルールの厳格さだけを追求してはいけないが、一方で、グローバルスタンダードの潮流には従うべきである。
4 再エネの取扱い	- 再エネ・原子力以外の電源を併用することに関しては、認めて良いのではないか。DACは24時間継続して運転させるものであり、常に再エネだけで稼働させることが現実的ではない。DACCS事業の適地を探す際、電源の確保は大きな制約になり得る。 - 再エネに係るCO2排出がゼロであるとみなすか否かのアカウントルールを検討する必要がある。 - 産業振興の観点では、他事業者から調達した再エネに関しても認めるべきではないか。 - 自社での発電と他社からの調達とは区別できる方が良い。証書クレジットを使用する場合は、追加性と近接性を議論しておく必要がある。

つづく

DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

論点	委員の意見集約
5 化石燃料の併用	- 化石燃料の熱源の利用を許容することに賛成するが、CO2収支の算定は要求されるべきである。 - 除去と排出削減との区別がついている限りにおいて、化石燃料の併用を認めて良いと考える。 - 産業振興の観点から併用を認めるべきだが、時限的措置は必要になる。DAC設備の新設が化石燃料の使用を助長して良いという印象を与えてはいけない。 - DAC事業において、電力だけでなく熱の利用が重要であり、もし化石燃料の使用を認めないと再エネ電源に要する土地利用が膨大になる。 - 実証期と商業期とで分けて考えるべきであり、また将来的に化石燃料使用への意見が厳しくなることも想定しておくべきである。 - 海外マーケットも見据えるなら、国際情勢の中で受入れられるものでなければならず、産業振興とバランスしたルール作りを行う必要がある。 - ステップを設ける場合、ロードマップなどの全体的な説明が必要である。
6 メタンリーク	- メタンリークは、シェールガスなどで大きく、メタン量は計測困難である。 - リークポイントを明確にし、メインのポイントを押さえることで8～9割をカバーできる可能性がある。カットオフの考え方を導入すべきである。 - 具体的なメタンリークは、ボイラー使用などが考えられる。

つづく

DACの社会実装に必要なルール形成の在り方の取りまとめ

論点	委員の意見集約
7 方法論の境界	- 境界で区切った範囲の後工程で、ユーティライゼーションなどを含める場合、回収されたCO2は昇圧されたものに限定しない方が良い。 - 今回対象とする方法論はDACの部分であり、この方法論を踏まえて、ユーティライゼーションや他の固定方法にも展開できるように、次の工程に渡せるものを作ることができると良い。 - ユーティライゼーションの場合は除去ではなくするという区別は必要。検討範囲の外側に、代替する燃料やその排出量が存在することを考慮しておくべき。
8 エンボディドカーボン	- 吸収剤・吸着剤の算定を正確に行うとかなり煩雑になる。測定ではなく、評価で十分なのではないか。 - 吸収剤・吸着剤を考慮する場合も、消耗品として考えて良いのではないか。LCAの観点では、消耗品はユーティリティと同じような扱いであり、設備建設時の資材と区別するため、固定に対する運用として考える。吸収剤・吸着剤とせず、消耗品と記述してもよいのではないか。 - 吸収剤・吸着剤のIPの観点から、メーカーの立場では、情報を出しにくい状況があり得る。EUの事例を見ても、エンボディドカーボンの検証に必要な情報には、IPやトレードシークレットが問題になる可能性がある。 - 将来的には含めることを基本とするべきであるが、時限措置としては、創業期間などを考慮して緩和する考え方があっても良い。 - 他の制度への波及も考えて、拙速に規定を作るのではなく、将来検討するという形で触れるのが良いのではないか。

次回以降のWGにおける議論・課題

- 第2回WGでは、方法論作成の前提条件や基本的な考え方／方針に関して、議論を行った。第3回以降の議論においては、下記の通り、さらに詳細な議論を行う必要がある。
- 現時点の方法論ドラフトを参考のために別添する。

分類	例
運用に関する事項	・ 計算式の構造 ・ 流量測定点に関する事項 等
体裁に関する事項	・ 英文字や添え字 ・ 言葉遣いや表現 など