

ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会
とりまとめ案

2023年6月

ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会

目次

1. はじめに	1
1.1 本検討の背景.....	1
2. Carbon Dioxide Removal (CDR) とネガティブエミッション技術 (NETs) とは	2
2.1 CDR の国内外での位置づけと動き.....	2
2.2 NETs の定義・分類.....	4
2.3 代表的 NETs.....	6
3. CDR に関する動向	12
3.1 各国政策・市場動向.....	12
3.2 MRV (Measurement, Reporting and Verification) 手法の検討の動向.....	18
4. NETs の現状分析・今後の方向性	21
4.1 NETs の現状分析.....	21
4.2 NETs の今後の方向性.....	26
4.3 NETs の特殊性に基づいた考察.....	34
5.ネガティブエミッション市場創出に向けた方針	37
5.1 市場形成の初期段階における政府支援策の検討.....	37
5.2 ネガティブエミッション市場創出に向けたクレジットの活用環境の整備と初期需要の拡大.....	44
5.3 コベネフィットも含めたビジネスモデルの推進と需要家への理解促進.....	49
5.4 必要なルール形成に向けた方針とその検討の在り方.....	50
6. おわりに	53

1. はじめに

1.1 本検討の背景

2020年10月に菅義偉首相（当時）が「2050年カーボンニュートラル（以下、CNという）、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。2050年CNの達成には、最大限排出削減をしたとしても最終的にCO₂の排出が避けられない分野からの排出（残余排出）を相殺する手段として、大気中のCO₂除去（以下、CDRという、Carbon Dioxide Removal）が必須であると考えられる。国際エネルギー機関（以下、IEAという）や気候変動に関する政府間パネル（以下、IPCCという）などの各機関における推定では、世界で、2050年に約20～100億トン/年のネガティブエミッション技術（以下、NETsという、Negative Emission Technologies, CDRに資する技術の総称）の活用によるCO₂除去が必要と試算されている。

特に近年、諸外国においては、NETsの社会実装に向けた動きが加速している。米国、EU、英国はCDRの必要性と今後の取組方針を相次いで公表した。いずれも、CN達成のためには、CDRが必須であること、CDRには様々な種類があることを示した上で、ネガティブエミッション市場拡大に向けて、実証に向けた政策支援や、削減効果の確認方法の確立、導入拡大に向けた支援策等の方針を示している。

我が国においても昨年度、グリーンイノベーション戦略推進会議及びWGにおいて、NETsの要素技術の分類や、各分類の世界規模でのコスト、ポテンシャルの分析を踏まえ、今後の対応について議論を行った。その結果、NETsの位置づけや意義/役割の明確化、NETs関連の技術開発、技術開発を産業化に繋げていくための施策が必要との結論に至った。今後、NETsを大規模化し、産業化につなげるために、我が国としても、各技術の現状整理・分析、NETsの今後の方向性の検討、必要なルール形成を進めることが喫緊の課題であり、早期の検討が求められている。

経済産業省では、2023年3月より「ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会」（以下「検討会」という）を設置し、有識者や関連企業等へのヒアリングも行いながら、国内外におけるNETsの技術開発動向及びビジネス動向や、各技術を整理・分析する際の視点、産業化に当たって重視すべき要素等を整理し、各技術の今後の方向性やルール形成等市場創出に向けた方針について議論、検討を行ってきた。今般、これまでの全5回の議論を踏まえて、ネガティブエミッション市場創出に向けた今後の方針について、取りまとめるものである。

2. Carbon Dioxide Removal (CDR) とネガティブエミッション技術 (NETs) とは

2.1 CDR の国内外での位置づけと動き

2050 年 CN 達成のためには、前述の通り、残余排出を相殺する手段として、大気中の CO₂ 除去が必須である。

我が国の状況を見てみると、2050 年 CN に向けた排出削減イメージ（第 8 回グリーンイノベーション戦略推進会議, 2022 年 3 月 18 日）においては、非電力/電力の分野でそれぞれ残余排出が存在し、それを相殺するために CDR が必要であると想定している<図 2-1-1>。IPCC AR6¹のシナリオによると、我が国の CN 達成時点における残余排出量は、約 0.5~2.4 億トン/年と推定されている<図 2-1-2>。主な残余排出は、産業や運輸の部門で見られる。産業部門では、電化が難しい分野や、セメントなどのプロセス自体から CO₂ が排出される分野などの、いわゆる Hard-to-abate な分野の CO₂ 排出が残るものと考えられる。また、運輸部門では大型トラックや航空機、海運など、電化が困難な分野で、CO₂ 排出が残ると考えられる。こういった残余排出が CDR により相殺されなければ、CN は達成することができない。このことに鑑みれば、日本国内においては、2050 年に数億トン/年の CDR が必要とされることが想定される。

国際機関等での CDR の位置づけを見てみると、IPCC AR6 において、CDR は、排出削減を代替することはできないものの、短期的にはネット排出削減の強化、中長期的には CN やネットマイナス達成のための手法として、補完的な役割が認められている。

2023 年 5 月に開催された G7 気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケにおいては、『CDR プロセスの展開が、完全な脱炭素化が困難なセクターにおける残余排出量を相殺する上で不可欠な役割』を担うとされている。

本年 4 月には、「エネルギーと気候に関する主要経済国フォーラム (MEF)」首脳会合において、米国が Carbon management challenge 構想を発表した。当該構想は、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) と CDR の実用化・普及を加速させるイニシアチブとなる見込みで、COP28 において具体的な目標がアナウンスされる予定である²<図 2-1-3>。

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change 「気候変動に関する政府間パネル」は、1988 年に世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) によって設立された各国政府の気候変動政策に対し科学的な知見を供与する機能をもつ政府間組織である。総会、議長団、執行委員会が設置され、その下に評価対象により分けられた 3 つのワーキンググループ (第一~第三作業部会) と、1 つのインベントリータスクフォース (TFI) が設置され、報告書の執筆者選定や報告書の内容のレビューに関わる。2023 年 3 月に定期報告書である第 6 次評価報告書 (Sixth Assessment Report, AR6) が発出された。

² <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/04/21/chairs-summary-of-the-major-economies-forum-on-energy-and-climate-held-by-president-joe-biden-2/>

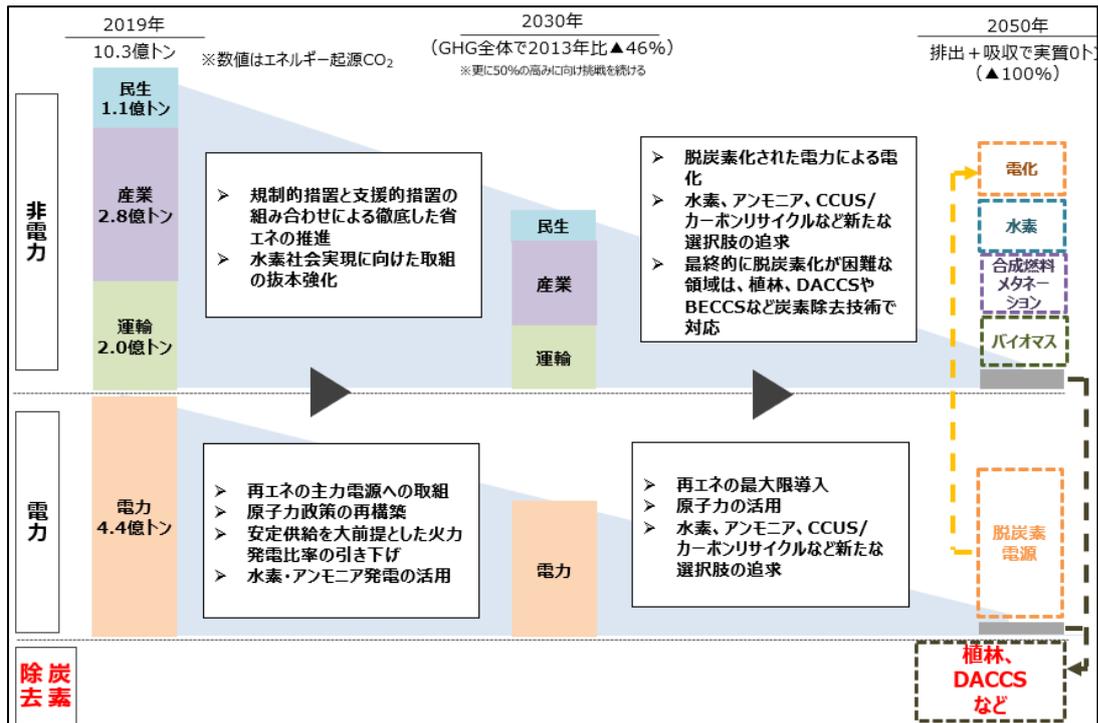
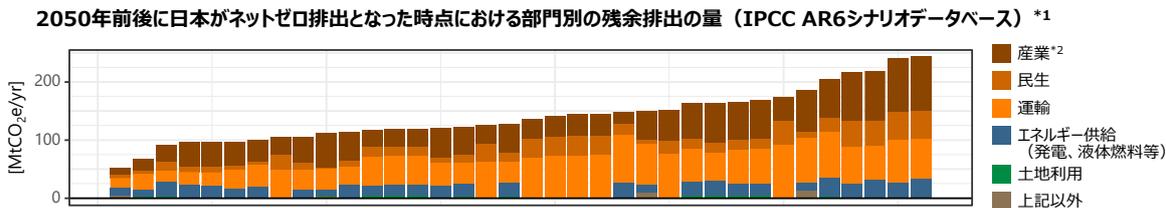


図 2-1-1 2050 年 CN に向けた削減イメージ



*1 IPCC AR6シナリオデータベースに収録された1202本のシナリオのうち、(1)世界全体の温度上昇が2°C未満 (カテゴリC1~C4) 及び(2)2050年前後 (2045~2054年) に日本がCO₂排出量ネットゼロを達成するという2条件を満たし、(具体的な方法は坂本・堀尾(2020)電中研報告Y20001を参照)、産業部門における除去の想定が極端と判断したモデルによる結果を除いた36本のシナリオについて、部門別のCO₂排出量の分布を図示。各シナリオについて、この排出量と同量の除去量が存在。
*2 産業部門は、エネルギー起源の排出と産業プロセスによる排出の両方を含む。

図 2-1-2 日本国内ネットゼロ達成時の各シナリオにおける残余排出量³

<p>G7 気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケ (2023年4月) 抜粋 日本語訳 (暫定仮訳)</p>	<p>Major Economic Forum (MEF) Fact Sheet (2023年4月) 抜粋 日本語訳 (仮訳)</p>
<p>カーボンマネジメント： ネット・ゼロを達成するためには、自然吸収源の強化、二酸化炭素の回収・貯蔵を伴うバイオエネルギー (BECCS)、直接大気による二酸化炭素の回収・貯蔵 (DACCS) など、強固な社会・環境面のセーフガードを備えた二酸化炭素除去 (CDR) プロセスの展開が、完全な脱炭素化が困難なセクターにおける残余排出量を相殺する上で不可欠な役割を担っている。 (中略) 我々は、二酸化炭素の輸出入メカニズム整備を促進するために協力する。我々は、二酸化炭素の活用、及び活用を通じて二酸化炭素の価値を高めるシステム、もしくはインセンティブを整備する必要性を認識する。</p>	<p>炭素隔離・除去技術の加速： 全面的な緩和努力に加え、1.5°Cの温暖化抑制を達成するには、炭素回収・利用・貯留 (CCUS) と二酸化炭素除去 (CDR) 技術を責任を持って導入する必要がある。(中略) IEAは、温暖化を1.5°C以内に抑えるためには、2030年までにおよそ120億トンのCCUSとCDRが必要になると推定している。世界の気温上昇が1.5°Cを超えた場合、今世紀末までに世界の気温を1.5°Cに戻すためには、大気からCO₂を除去するCDRの利用が必要となる。 (中略) 大統領は、CCUSとCDRを国際的に加速させる具体的な目標等をCOP28で発表することを目指し、他の国々にCarbon Management Challengeへの参加を呼びかける。</p>

図 2-1-3 国外の CDR 推進例

³ 富田基史 (電力中央研究所)、本検討会用に作成。坂本・堀尾 (2020) 「ネットゼロ排出達成時における CO₂ 排出・除去の態様—IPCC SR15 シナリオデータを中心とした検討—」 電中研報告 Y20001 を参照。

2.2 NETs の定義・分類

NETs とは、大気中の CO₂ を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中の CO₂ 除去 (CDR) に資する技術のことである。

炭素循環の観点においては、地球レベルの CO₂ 循環から CO₂ を一定期間固定化する技術を、NETs と定義できる<図 2-2-1>。一般的には 100 年以上の固定化が、NETs を実施する上で重要とされている⁴。UNFCCC Climate Champions によると、100 年未満は“lower durability”と分類される。ICROA (International Carbon Reduction & Offset Alliance) で整理されるカーボン・クレジットの品質基準においては、国際的に認められている永続性基準年数は 100 年間である。

炭酸塩、バイオ炭 (バイオチャー)、DACCS (Direct Air Capture and Carbon Storage)、BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) は長期の安定した固定化が期待される。一方、植林・海藻は、そのバイオマス利用によって CO₂ が排出されるため、固定期間に留意が必要である。

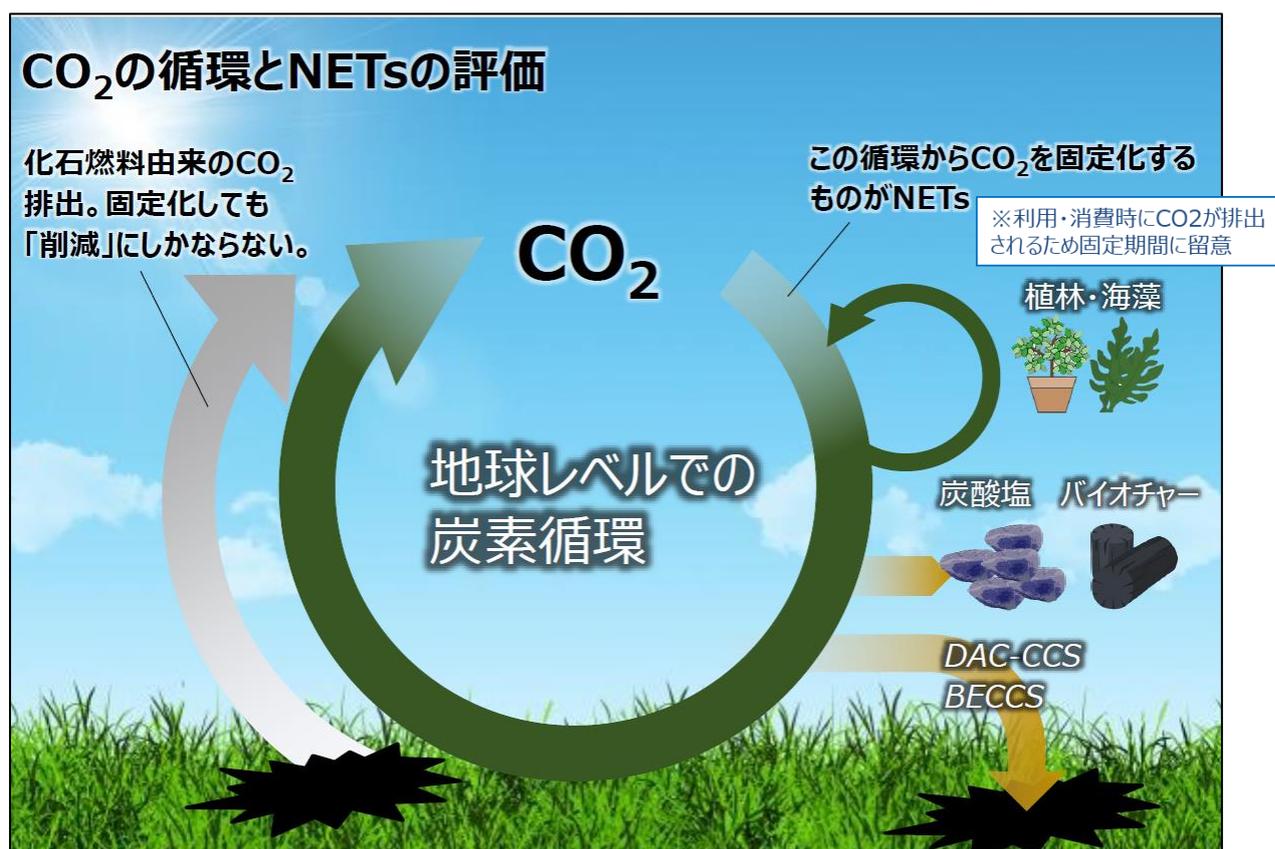


図 2-2-1 CO₂ の循環と NETs の評価⁵

NETs は、IPCC AR6 において、主に、表 2-2-2 に示すように分類分けされる。

⁴ UNFCCC Climate Champions (<https://climatechampions.unfccc.int/system/carbon-dioxide-removals/>)

⁵ 第 4 回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料 6

表 2-2-2 ネガティブエミッション技術の一覧

植林・再生林	植林は新規エリアの森林化、再生林は自然や人の活動によって減少した森林への植林
土壌炭素貯留	バイオマスを土壌に貯蔵・管理する技術（自然分解によるCO ₂ 発生を防ぐ）
バイオ炭	バイオマスを炭化し炭素を固定する技術
BECCS	バイオマスの燃焼により発生したCO ₂ を回収・貯留する技術
DACCS	大気中のCO ₂ を直接回収し貯留する技術
風化促進	玄武岩などの岩石を粉碎・散布し、風化を人工的に促進する技術。風化の過程(炭酸塩化)でCO ₂ を吸収
海洋肥沃化	海洋への養分散布や優良生物品種等を利用することにより生物学的生産を促してCO ₂ 吸収・固定化を人工的に加速する技術。大気中からのCO ₂ の吸収量の増加を見込む。
海洋アルカリ度の向上	海水にアルカリ性の物質を添加し、海洋の自然な炭素吸収を促進する炭素除去の方法
沿岸生態系のブルーカーボン管理(*)	マングローブ・塩性湿地・海草などの沿岸のブルーカーボン維持・再生によるCDR。大型海藻類(例えば、昆布)など沿岸における他の炭素隔離の可能性を議論中。
その他の海洋CDRアプローチ	研究事例が少ないが、「人工湧昇」「作物残渣または丸太など陸上バイオマス投棄」「大型海藻養殖などの海洋バイオマスCDRオプション」「海水からの直接CO ₂ 抽出(貯蔵あり)」などの手法がある

(*) 以降、「ブルーカーボン管理」と記す

NETs は自然プロセスの人為的加速（以下、自然系 NETs という）と工学的プロセスの 2 つのプロセスに分類される。また、IPCC AR6 では、海に関する CDR を、海洋 CDR (Ocean based CDR) と総称している<図 2-2-3>。

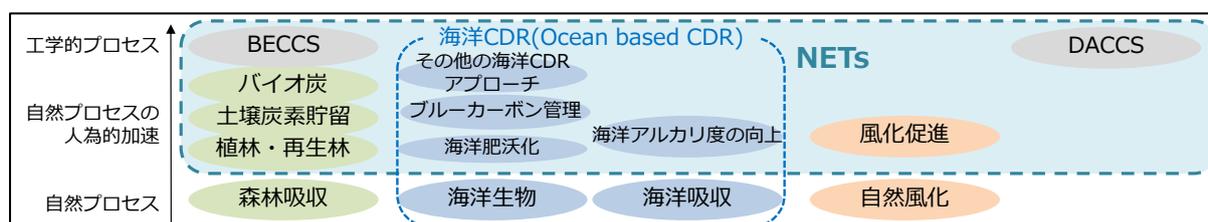


図 2-2-3 ネガティブエミッション技術の分類⁶

<コラム：IPCC における NETs の分類>

IPCC AR6 においては、自然ベースの手法から DACCS や BECCS などの工学的手法まで幅広い手法が NETs として認識され、除去プロセスと貯留期間によって図 2-2-4 のように区分されている。また、IPCC AR6 chapter 12 では以下のように述べられている。

- CDR は、産業/輸送/農業を中心とする hard-to-abate なセクターの残余排出削減のキーエレメント
- 一方で導入する手法/量/導入時点は、排出削減目標/持続可能性と実現性の制約のバランスをどうとるか、政治的な選択や社会の受け入れがどう形成されてきたかによって各国で異なる
- CDR の方法は、除去ポテンシャル/コスト/コベネフィット/副作用が異なる

⁶ 第 8 回グリーンイノベーション戦略推進会議資料 4

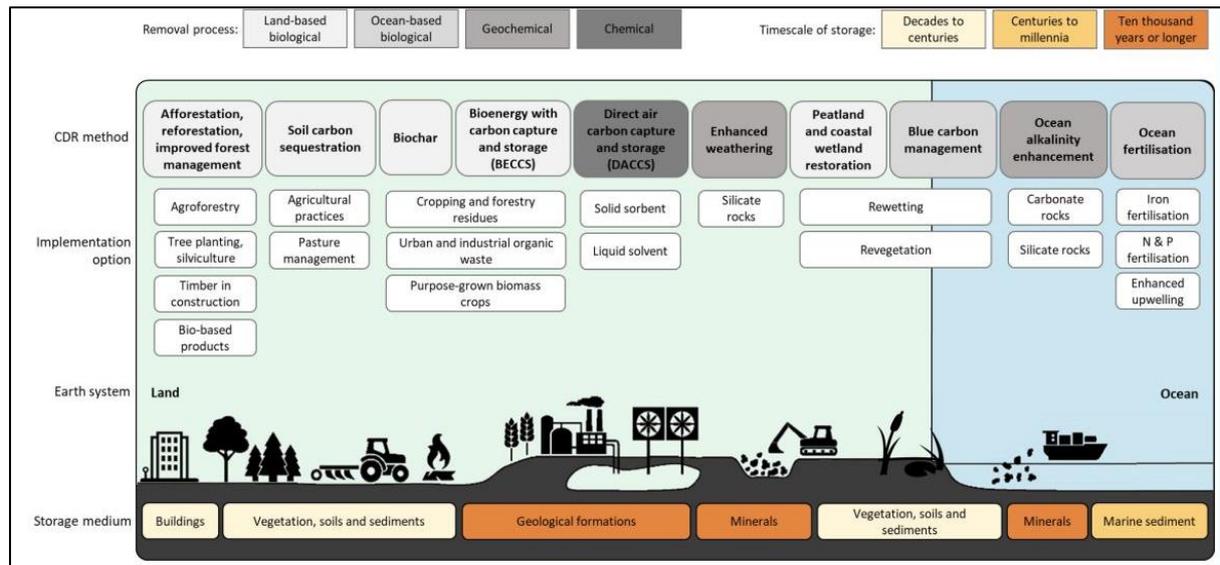


図 2-2-4 CDR の分類 (IPCC) ⁷

2.3 代表的 NETs

以下に、代表的な NETs について、特徴や利点/欠点をまとめた。

(1) DACCS (Direct Air Capture and Carbon Storage)

DACCS は、工学的プロセスである DAC ((Direct Air Capture) で大気から回収した CO₂ を貯留することで、ネガティブエミッションを実現するプロセスである。CO₂ の回収方式としては商用化が進む化学吸収、化学吸着方式や、研究開発段階の膜分離法、電気化学方式などがある<表 2-3-1、2-3-2>。

表 2-3-1 DAC の技術分類

分類	技術概要
化学吸収 (液体、固体)	ガス分子とアミン/アルカリとの化学反応を利用しCO ₂ を回収する方法 (アミン系、Ca/Na/K炭酸塩系)
化学吸着 (固体)	多孔質担体にアミンを含浸またはアルカリ金属を担持させ、アミン/アルカリとの化学反応を利用しCO ₂ を回収する方法
物理吸着 (固体)	ガス分子と吸着剤の表面の間に働くファンデルワールス力によりCO ₂ を回収する方法 (活性炭、ゼオライト、アルミナなど)
膜分離	薄膜を用いた圧力差を駆動力とする透過速度の差によりCO ₂ を回収する方法
電気化学	電極等を用いた電気化学的手法によりCO ₂ を回収する方法
その他	微生物を使用したCO ₂ 回収 (微生物)、コンクリート廃材へのCO ₂ 固定 (炭酸塩化) など

出所：NEDO“ムーンショット型研究開発事業/DAC (Direct Air Capture) の技術動向及び社会実装課題に関する調査(2022年9月)より、NEDO技術戦略研究センター作成

⁷ IPCC 第6次評価報告書 第3作業部会報告書

表 2-3-2 主要 DAC スタートアップ企業の動向

企業	CO ₂ 回収方式	所要エネルギー	プロジェクト展開（代表的なもの）			
			2030年までの計画	実施場所	規模、時期	適用先
Carbon Engineering (カナダ)	化学吸収 KOH/Ca(OH) ₂ 水溶液 吸収：常温 脱離：900℃	熱:5.3 GJ/t 電力:366kWh/t	59 Mt-CO ₂ /y	米国	100万t/y設計中(2022建設開始、2024開始) →2035年までに70基(最大135基)を計画	EOR/貯留
				英国	50~100万t/y (2022詳細設計、2026までに稼働)	貯留
				カナダ	規模不明 (2017~)	燃料
Climeworks (スイス)	化学吸着 アミン担持吸着剤 吸収：常温 脱離：100℃	熱:9.0 GJ/t 電力:450kWh/t	1.1 Mt-CO ₂ /y	アイスランド	Project Orca(Carbfix) : 4000t/y(2021~稼働) Mammoth : 3.6万t/y (2022着工)	貯留
				ドイツ	デモ専用プラント	燃料
				ルウエー	燃料として1万kL/y (2023)、10万kL/y (2026~)	燃料
Global Thermostat (米国)	化学吸着 アミン担持吸着剤 吸収：常温 脱離：80℃	熱:4.4 GJ/t 電力:160kWh/t	1.5 Mt-CO ₂ /y	チリ	2,000t/y (1ユニット) ×4基~スケールアップ計画 燃料として130kL/y (2022)、5.5万kL/y (2024)、55万kL/y (2026)。他4箇所計画中	燃料

出所：NEDO“ムーンショット型研究開発事業/DAC (Direct Air Capture) の技術動向及び社会実装課題に関する調査(2022年)、NETL Carbon Management Project Review Meeting - Carbon Dioxide Removal (August 15-19, 2022年9月) (<https://netl.doe.gov/22CM-CDR-proceedings>) より、NEDO技術戦略研究センター作成。

大気中の CO₂ 濃度は 400ppm 程度であり、希薄な CO₂ の回収に多くのエネルギー（熱・電気）を消費する。そのため、CO₂回収コスト及びライフサイクルアセスメント（以下、LCA という）の点から、エネルギー消費量削減が必須となる。

表 2-3-3 DACCS の利点、欠点⁸

Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・貯留・固定化・利用場所への隣接が可能 ・必要面積が比較的少ない ・永久貯留 ・除去効果の検証が容易 ・世界市場への展開可能性(DAC)
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂除去コスト ・国内のCO₂貯留ポテンシャル制約(CCS) ・エネルギー消費

※必要面積に再生可能エネルギー由来の設備面積は考慮していない。

(2) BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)

BECCS は、大気から CO₂ を固定したバイオマスエネルギー生成などに利用し、そのバイオマスから発生する CO₂ を地下または耐久消費財に貯蔵する手法である。具体的には、バイオマス発電から排出される CO₂ を回収して隔離する、あるいは、バイオマスから液体燃料、ガス燃料、及び水素製造プロセス等で発生する CO₂ を回収して隔離する。隔離方法としては、地中に貯留するだけでなく、炭酸塩化との組み合わせで固定化するケースもある。

近年、「バイオマス炭素除去・貯留 (Biomass Carbon Removal and Storage: BiCRS)」とも称されることがある (BiCRS と称する場合、貯蔵方法としてバイオ炭も含まれる。)

⁸ 第6回 グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料 3-1

表 2-3-4 BECCS の利点、欠点⁹

Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス発電/分離回収/CCSはほぼ完成された技術 ・持続可能なエネルギーの供給とネガティブエミッションの両立 ・永久貯留 ・除去効果の検証が容易 ・木質資源ポテンシャル
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂除去コスト ・日本での貯留ポテンシャルやバイオマスの入手性 ・必要面積 ・CCSの追加による効率のペナルティ

(3) 風化促進

風化促進は、玄武岩などケイ酸塩を含む岩石を粉砕・散布し、千年から万年スケールの自然風化を人工的に促進する技術である。採掘・粉砕や散布などの技術要素は、既存技術が利用できる可能性がある。また、玄武岩等の鉱物資源が豊富で、実施場所である耕作地・森林・海岸が近くに存在するなど、日本国内では、実施するための主な要件が揃う〈図 2-3-5〉。日本は、必要な地質・地球化学情報・関連する技術分野の専門家が豊富で、ムーンショットプロジェクトにおいて研究開発が開始されており、シミュレーションも含めた CO₂ 除去効果の評価方法、環境影響（リスク評価）、モニタリング手法の確立が望まれる。近年、海外での研究開発・実証試験も活発化している。風化促進の利点、欠点を表 2-3-6 にまとめた。

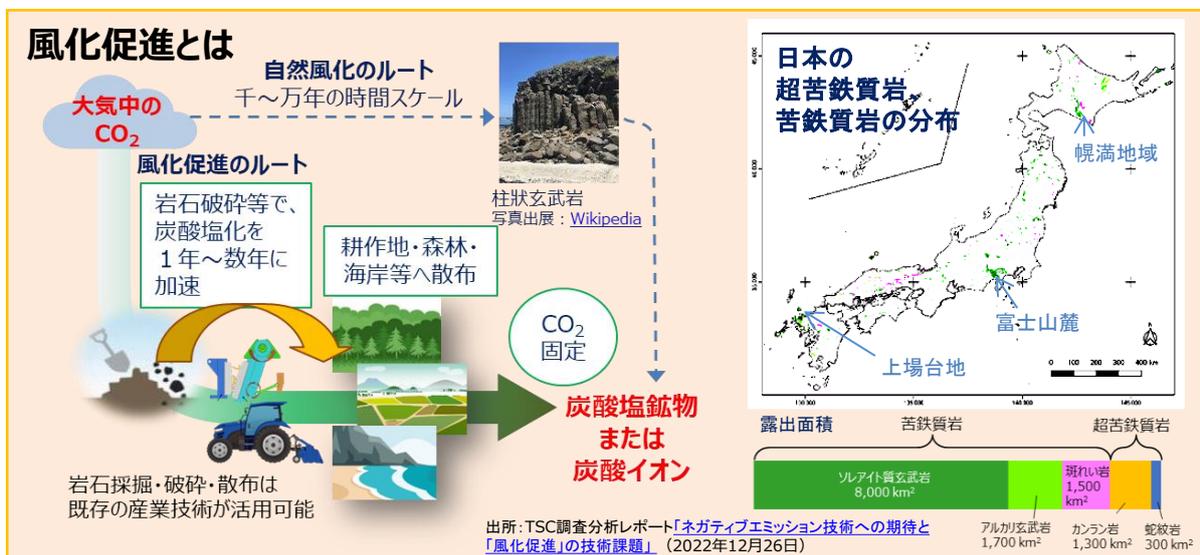


図 2-3-5 風化促進の概要¹⁰

⁹ 第6回 グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料 3-1

¹⁰ 第3回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料 2

表 2-3-6 風化促進の利点、欠点¹¹

Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・必要面積が比較的少ない ・永久貯留 ・日本での実施 ・自然現象の加速 ・土壌改良などのCO₂除去以外の便益の可能性
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂除去コスト(輸送・粉砕・散布) ・CO₂除去効果の検証が不十分 ・環境影響評価(土壌、微生物、河川)が不十分 ・ステークホルダーの合意形成

(4) バイオ炭

バイオ炭は、バイオマス原料を熱分解またはガス化させて得られた炭の総称である。施用された後は、100年単位にわたって難分解性炭素として土壌に貯留されるとされている<図 2-3-7>。国内では2020年の温室効果ガスインベントリから、土壌炭素プールの算定に、バイオ炭の農地施用による炭素貯留量の算定が追加された。バイオ炭の利点、欠点を表 2-3-8 にまとめた。

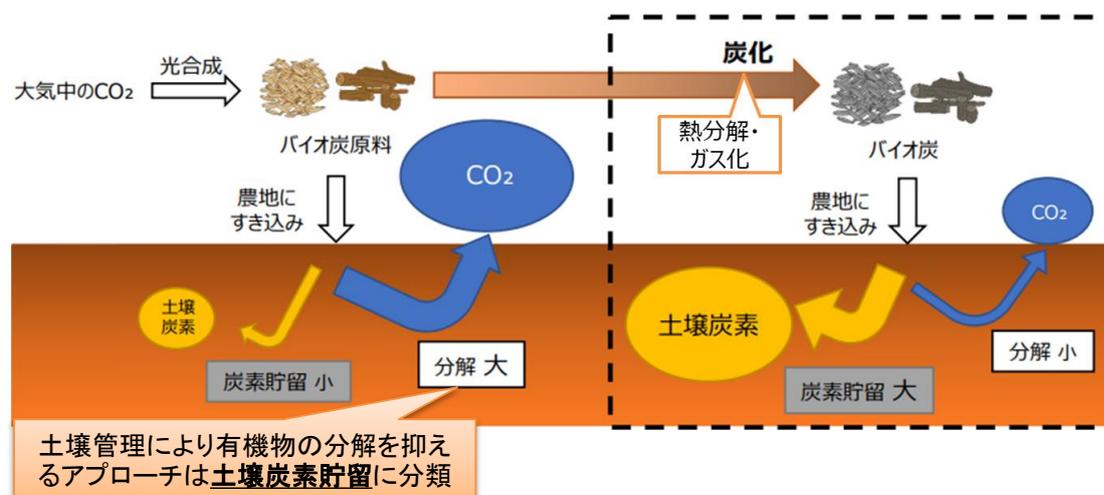


図 2-3-7 バイオ炭投入による炭素貯留のイメージ¹²

¹¹ 第6回 グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料 3-1

¹² 第3回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料2 ()

表 2-3-8 バイオ炭の利点、欠点¹³

Pros
<ul style="list-style-type: none"> ・土壌改良（物理性、化学性、生物性）とネガティブエミッションの両立 ・100年以上の長期貯留効果 ・木質資源ポテンシャル 等
Cons
<ul style="list-style-type: none"> ・必要面積・適用対象（※） ※「農地」又は「採草放牧地」における鉱質土壌 ・日本でのバイオマス入手性 等

（5）海洋 CDR（ブルーカーボン管理／大型海藻養殖）

海洋 CDR としては、海洋肥沃化、海洋アルカリ度の向上、ブルーカーボン管理、大型海藻養殖などを含む他の海洋 CDR アプローチが提案されている<図 2-3-9>。欧米では海洋 CDR に関するプロジェクトが進められ、米国、豪州では生態系保全の観点からもブルーカーボン分野の研究が積極的に行われ、インベントリへの算定や独自の評価手法開発にも着手している。

表 2-3-9 海洋 CDR の分類

分類	細分類
海洋肥沃化 (Ocean fertilisation)	
海洋アルカリ度の向上 (Ocean alkalinity enhancement)	
ブルーカーボン管理 (Blue carbon management)	
その他の海洋CDRアプローチ	人工湧昇 (Artificial Upwelling)
	陸上バイオマス（作物残渣または丸太）投棄 (Terrestrial biomass dumping)
	海洋バイオマスCDRオプション (Marine biomass CDR options) : 大型海藻養殖 など
	海水からのCO ₂ の抽出(貯蔵あり) (Extraction of CO ₂ from seawater (with storage))

出所：IPCC Sixth Assessment Report「Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change」 p1268~p1273

ブルーカーボン管理は、マングローブ・塩性湿地・沿岸海草の藻場などの、生態系の維持・再生による CDR を指す。現時点では、海藻藻場や大型海藻養殖は含まれないが、沿岸における海藻類を含む他の炭素隔離の可能性について議論がなされている。

「その他の海洋 CDR」のうち、海洋バイオマス CDR オプションに大型海藻養殖などが含まれる。大型海藻養殖は、沿岸、沖合における、昆布など大型海藻の養殖を指す（海草と海

¹³ 第 6 回 グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料 3-1

藻は異なるものであることに留意されたい) <図 2-3-10>¹⁴。

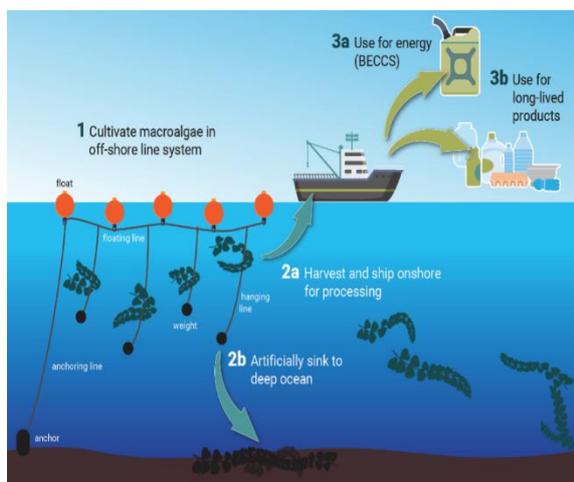


図 2-3-10 大型海藻養殖のイメージ

※海洋 CDR では、CO₂ 隔離のみを目的とした養殖が対象

欧米では、海洋 CDR に関してプロジェクト体制で総合的な研究開発が進められている。一方、日本では、観測技術等の要素技術の開発が進められており、欧米のような大規模化のための生産技術、観測技術などの多面的な研究開発への更なる取組が必要となる。

世界的にも自主的クレジット制度（日本：J ブルークレジット）が整備されてきており、クレジット認証のために、定量的に CO₂ 吸収能評価、賦存量管理を把握するための海洋観測技術の開発が進められている。

ブルーカーボン管理、大型海藻養殖の利点、欠点を表 2-3-11 に記す。

表 2-3-11 ブルーカーボン管理及び海洋 CDR（大型海藻養殖）の利点、欠点¹⁵

Pros
<ul style="list-style-type: none"> • 排他的経済水域の広さ（世界第6位）/海岸線の長さ • 土地、水資源の競合がない • 多くのコベネフィット • 海藻養殖技術の保有 • 藻場造成技術の保有 • 発展途上国へ展開（技術移転）
Cons
<ul style="list-style-type: none"> • 気候変動等の環境変化（藻場減少） • 産業従事者（関連水産業）/関連研究者の減少 • 藻場造成・大型システム設置のコスト • 漁業権及び沖合漁場の使用権利 • 評価方法が未確立（CO₂吸収能評価、賦存量、環境影響等）

¹⁴ EFI (Energy Futures Initiative.) "Uncharted Waters: Expanding the Options for Carbon Dioxide Removal in Coastal and Ocean Environments." December 2020.

¹⁵ 第 6 回 グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料 3-1, NEDO TSC

3. CDR に関する動向

3.1 各国政策・市場動向

米国、EU、英国は、2021～2022 年の間に、CDR に関する今後の取組方針について、相次いで公表している。いずれも、CN 達成のためには CDR が必須であること、CDR に資する技術には様々な種類があることを示した上で、ネガティブエミッション市場拡大に向けて、実証に向けた政策支援や、削減効果の確認方法の確立、導入拡大に向けた支援策等の方針を示している。

3.1.1 米国

米国は、2050 年 CN の達成には、「排出削減」と「大気中からの CO₂ 除去」の 2 つの戦略が存在し、今世紀半ばまでに、毎年ギガトン（10 億トン）スケールでの大気中からの CO₂ 除去が必要である、としている。また、CDR に資する技術の例として、DACCS や土壌炭素貯留、BiCRS、風化促進、海洋由来 CDR、植林・再生林をあげている¹⁶。2021 年 10 月には、CDR の研究開発・実証を早期に拡大するための取組として、Carbon Negative Shot を立ち上げ、この取組を通して達成するものとして、以下の 4 つの目標を掲げた¹⁷。

- ①CO₂ の回収・貯留コストを 100 ドル/トン未満に削減
- ②ライフサイクル排出量の確実な算定
- ③モニタリング・報告・検証のコストが実証された、質の高い長期間（100 年以上）の貯蔵
- ④ギガトン規模での CO₂ 除去

CDR に関する支援策としては、2022 年 8 月に成立したインフレ削減法（以下、IRA という）において、既存の CCS タックスクレジットを拡大、DAC に関する特別措置を追加し、最大 180 ドル/トンを税額控除することを決定した。また、2021 年 11 月に成立した超党派インフラ投資雇用法に基づき、2022 年 12 月には米国における CDR 産業の構築を支援するための 4 つのプログラム（総額 37 億ドル）を公表した¹⁸。これらのプログラムには、1 百万トン/年以上の CO₂ 回収・貯留・利用する能力を有する技術の実証、商用化を目的とした、米国内における 4 つの DAC Hub（詳細は 5 章にて記載する）設置に対する 35 億ドルの投資や、商用段階及びインキュベーション段階（商用化前）の DAC 技術に対する、それぞれ 1 億ドルと 0.15 億ドルの賞金などが含まれる。

これらの支援策の存在も後押しに、米国においては特に DAC を中心とした投資や起業が近年進みつつあり、急速に市場が拡大しつつある状況である。

¹⁶ DOE Fossil Energy and Carbon Management（2021）, Carbon Dioxide Removal, Frequently Asked Questions

¹⁷ (1) <https://crds.jst.go.jp/dw/20220131/2022013130950/>

(2) DOE, earthshots（2022） Carbon Negative Shot, https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-07/Carbon-Negative-Shot-FactSheet_7.5.22%20Updates.pdf

¹⁸ (1) 第 1 回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料 4

(2) DOE（2022）“Biden-Harris Administration Announces \$3.7 Billion to Kick-Start America’s Carbon Dioxide Removal Industry “, <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-37-billion-kick-start-america-carbon-dioxide>

<コラム：インフレ削減法（IRA）における DAC への税額控除>¹⁹

米国は、2022 年 8 月に成立したインフレ削減法において、内国歳入法セクション 45Q（CCUS における税額控除）を改定し、直接空気回収（DAC）に関する特別措置を追加するとともに、年間回収量に関する要件の緩和や、着工期限の延長等を行った。DAC においては、2032 年までに運転開始した施設（1 千トン/年以上の回収が要件）を対象に、運転開始から 12 年間、回収した CO₂ の量に応じて以下の 2 段階の税額控除クレジットを付与する仕組みとしている。

①基本控除額：

永続的な隔離については、36 ドルトン（一般的な CCS の場合は 17 ドルトン）
利用又は EOR については、26 ドルトン（一般的な CCU の場合は 12 ドルトン）

②賃金と見習い要件を満たす場合：

永続的な隔離については、180 ドルトン（一般的な CCS の場合は 85 ドルトン）
利用又は EOR については、130 ドルトン（一般的な CCU の場合は 60 ドルトン）

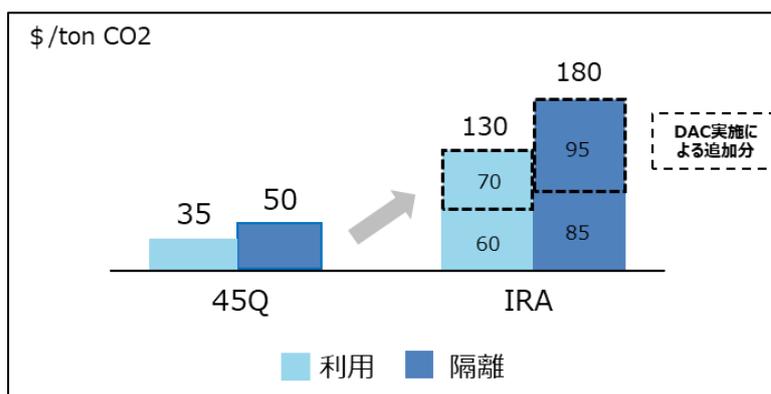


図 3-1-1 IRA による税額控除インセンティブの拡大（賃金と見習い要件を満たす場合）

なお、税額控除が適用されるのは、米国で「回収され、処分、使用、または有効利用（utilization）される場合」に限られ、その上で「有効利用」については、「藻類やバクテリアの生育など、光合成や化学合成による固定」、「材料または化合物への化学的変換」、「商業的市場が存在する他の利用」と定義されている。

また、IRA には「直接還付」と「控除の譲渡」という 2 つの規定が存在する。

①「直接還付」

対象主体（非課税主体、州政府、地方自治体、テネシー川流域開発公社等）の場合、特定

¹⁹ (1) https://www.ey.com/ja_jp/ey-japan-tax-library/tax-alerts/2022/tax-alerts-09-08

(2) 上野貴弘（2022）「米国「インフレ抑制法」における気候変動関連投資」電力中央研究所社会経済研究所ディスカッションペーパー SERC22009

(3) 第 1 回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料 4

(4) <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-117publ169/pdf/PLAW-117publ169.pdf>

の控除について直接の還付として受領可能。ただし、CCUS を含む一部の税額控除においては、上記の対象主体以外の適格納税者も、最初の 5 年間に限り、直接の還付として受領可能。

②「控除の譲渡」

CCUS を含む一部の税額控除においては、適格納税者は適格控除の全額（または一部の金額）を、無関係の主体に対して 1 回に限り譲渡可能。

このような直接還付と控除の譲渡は、元々の納税額が小さく、税控除の恩恵を生かしきれない主体にとって重要であり、また、控除の譲渡が可能であることによって、タックス・エクイティ（tax equity）と呼ばれるファイナンス手法が援用可能になると電力中央研究所の上野氏は分析している。

3.1.2 EU

EUは、2050年気候中立（Climate Neutrality）の達成に向けて、最優先はGHG排出削減であるとしつつも、避けられない排出を相殺するための炭素除去が同時に必要であるとしており、2050年までには、数億トン/年のCO₂除去が必要と想定している。また、炭素の除去・貯蔵の手法としては、BECCSやDACCSなどの工学的手法、カーボンファーム（植林・再植林や、土壌管理、泥炭地や湿地の回復など）、製品への炭素貯蔵（製品への木材利用など）の3つを挙げている²⁰。

2021年には、欧州委員会が、CO₂除去量を増やすための行動計画として Sustainable Carbon Cycles²²を公表し、カーボンファームと工学的手法の目標達成に寄与する短中期的な計画を策定した。カーボンファームについては、2030年までに土地部門で合計3.1億トンのネット除去という目標のうち、0.42億トン分をカーボンファームで実現するため、専門家グループの設置によるモニタリング・報告・検証のベストプラクティスの確立や、LIFE program等の関連政策による資金提供等の方向性を明記した。工学的手法については、2028年までに、産業によって回収・輸送・利用・貯留された全ての炭素について、化石由来・生物由来・大気由来を区別して報告・勘定すべきとしたうえで、「2030年までに、5百万トン/年を大気中から除去し、地中に恒久的に貯留」等の目標を提示し、方法論策定や、Innovation Fundによる支援、CO₂輸送網の調査の開始等の今後の取組を示した。実際に、Innovation FundやHorizon Europe、LIFE programなど、各種資金プログラムの中で森林系/海洋系/CCS系の開発・実装を支援している。

また、同文書にて、モニタリング・報告・検証基準の確立のため、炭素排出量の算定と認証のための規制の枠組を2022年までに提案することが言及された。これに基づき、2022年11月には、欧州委員会がEU全域を対象とした炭素除去認証枠組に関する規則案を提案²¹。炭素除去の質と比較可能性を確保するための一連の基準（QU.A.L.I.TY※）を提唱した（※（1）定量化、（2）追加性、（3）長期貯留、（4）持続可能性）。今後、欧州議会及び理事会において立法手続きが行われるとともに、炭素除去の認証手法の開発に関する専門家委員会が設置され、更なる議論が行われる予定である。本規則案が正式に採択・発効された後には、個々の炭素除去活動の技術的な認証手法を定める委任法や、認証の様式や手続き、認証制度の承認に関する規則を定める実施法などの規定についても予定されており、除去の認証手法に係る規制が今後、欧州を中心に先行して進むことが予想される。

排出量取引における除去の扱いについても、2023年5月に採択・発行したEU-ETS指令改正案²²において、EU-ETSにおけるネガティブエミッションの扱いについて、欧州委員会が欧州議会及び理事会に2026年7月までに報告を行うことを明記するなど、排出量取引における除去の活用に向けた議論も今後活発化すると考えられる。

²⁰ European Commission（2021）, Sustainable Carbon Cycles

²¹ European Commission（2022）, Communication on Carbon Removal Certification Framework

²² DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC

3.1.3 英国

英国は2021年10月に発表したNet Zero Strategy²³において、ネットゼロ達成のための第一の手段は野心的な脱炭素であるとしつつも、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Greenhouse Gas Removal（以下、GGRという）が必要であるとしている。また、GGRには自然ベースと工学的手法の両方が必要で、工学的手法においては2030年に5百万トン/年、2050年には75～81百万トン/年の除去が期待されると述べている。Net Zero Strategyにおいては、今後の方針として以下の内容などを表明した。

- ・ DACCSなどのGGR技術のイノベーション促進に対して総額1億ポンドを措置
- ・ 炭素除去市場の確立と、GGRへの早期投資に対するインセンティブを与えるためのビジネスモデルについて2022年中にコンサルテーションを実施
- ・ GGRの長期的なポテンシャル市場としての排出量取引制度（以下、UK-ETSという）の役割を調査するためのコンサルテーションの実施
- ・ 有識者の助言を基にした、強固なMRV確立のためのオプションの検討

また、各GGR手法のコストやポテンシャル等について、既存の研究も元としつつ整理・分析の上、英国における8つの異なる普及シナリオを構築した²⁴。平均的シナリオにおいては、2050年に110百万トン/年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（土地利用、土地利用変化及び林業部門）のソリューションが占めると推定した。

2022年には、GGR導入拡大に向けて、炭素差額決済による値差補填、政府調達、政府による余剰クレジット買取り等の手法を提示し、民衆の契約に基づくビジネスモデルの構築や、その導入に当たって考慮すべき論点についてコンサルテーションを実施²⁵。特にBECCSについては、電力と炭素除去それぞれに対する差額補填の仕組みを検討している²⁶。2023年中には、ビジネスモデルの詳細設計と実装に関するプロポーザルが行われる予定である。また、UK-ETSにおけるコンサルテーション²⁷の中でも、排出量取引制度への除去の組み込みについて言及し、意見を募集した。

²³ UK Government, (2021) Net Zero Strategy: Build Back Greener

²⁴ UK Government, (2021) Greenhouse gas removal methods and their potential UK deployment

²⁵ UK Government, (2022) Business Models for Engineered Greenhouse Gas Removals

²⁶ UK Government, (2022) Business Model for power bioenergy with carbon capture and storage

²⁷ UK Government, (2022) Developing the UK Emissions Trading Scheme (UK ETS)

3.1.4 海外市場の動向

海外では、CO₂除去に関する取引が近年進み、既に市場が形成されつつある。その例として、Climeworks（スイス）や Carbon Engineering（カナダ）などの DAC 技術を有するスタートアップ企業が、金融・IT や国際航空等の企業との間で購入契約を結ぶといった動きが見られる。2009 年に創業した Climeworks は、2017 年に世界初の商業用 DAC プラントを建設、2021 年には最大 4 千トン/年規模の回収能力を持つ商業用 DACCS プラント

“Orca”の操業をアイスランドにおいて開始している²⁸。これまで、Microsoft や Stripe、Shopify などと長期の購入契約を結び、2023 年 1 月には、これらの企業に対し、世界で初めて第三者認証済の高品質な CO₂除去（CDR）を納入したことを発表した²⁹。また、5 月には JP Morgan Chase と過去最大規模である 2000 万ドル超の購入契約を行った³⁰。

Carbon Engineering のライセンス販売権を有する 1PointFive は、2022 年 3 月に Airbus とパートナーシップを締結し、Airbus が 4 年間にわたり 10 万トン/年の除去クレジットを 1PointFive から購入することで合意した³¹。11 月には、Airbus が Air Canada など主要航空 7 社と基本合意書を締結し、2025 年～2028 年の 4 年間にわたり除去クレジットを主要航空 7 社に対し供給するための交渉を行うこととしている³²。

また、NETs を対象としたボランタリークレジット市場も形成され、取引が開始されている。その例として、フィンランドの Puro. Earth 社は、世界初の除去クレジット市場を運営している³³。Puro. Earth は、独自の метод論である Puro Standard（ICROA 基準準拠）を満たすプロジェクトに対して CORC（クレジット）を発行することで、CO₂除去量の取引を可能としている。方法論の対象はバイオ炭、CO₂貯蔵建設資材（CO₂ネガティブコンクリートなど）、風化促進、CCS を伴う除去（DACCS、BECCS）、木質バイオマス埋蔵（woody biomass burial）の 5 つとしている。これまで、17 万トン分の CO₂除去量が取引・活用されており、2023 年 6 月現在、欧米を中心に 48 プロジェクトが登録されている。

²⁸ (1) <https://climeworks.com/roadmap/orca>

(2) https://climeworkscom.cdn.prismic.io/climeworkscom/b48c7705-fd88-4db8-92b5-d04743f8f720_about_Climeworks_CDR_Service.pdf

²⁹ <https://climeworks.com/news/climeworks-delivers-third-party-verified-cdr-services>

³⁰ <https://climeworks.com/news/jp-morgan-chase-signs-landmark-cdr-agreement-with-climeworks>

³¹ <https://www.oxy.com/news/news-releases/1pointfive-announces-agreement-with-airbus-for-the-purchase-of-400000-tonnes-of-carbon-removal-credits/>

³² <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcpta136/files/2022-07/EN-Press-Release-DACCS.pdf>

³³ <https://puro.earth/>

＜コラム：国際航空分野における脱炭素に向けた動向＞

ICAO（国際民間航空機関）は2022年10月の第41回総会において、2050年までのCNを目指す脱炭素化長期目標を採択するとともに、2035年までの取組についてオフセット量算定の基準となるベースラインを2019年の85%に変更すること等を決定した。この目標達成の手段としては、①新技術の導入、②運航方式の改善、③SAFの活用、④市場メカニズム（カーボン・クレジットの活用）があり、各国際航空会社は、①～③の手段により削減してもベースラインから増加するCO₂排出量を、④によりオフセットしなければならない。

そのため、目標達成期間が開始する2024年以降、国際航空会社がCO₂排出量のオフセットのためにクレジットを購入することが予想され、特に、DACをはじめとした除去に対する需要の拡大も見通される。

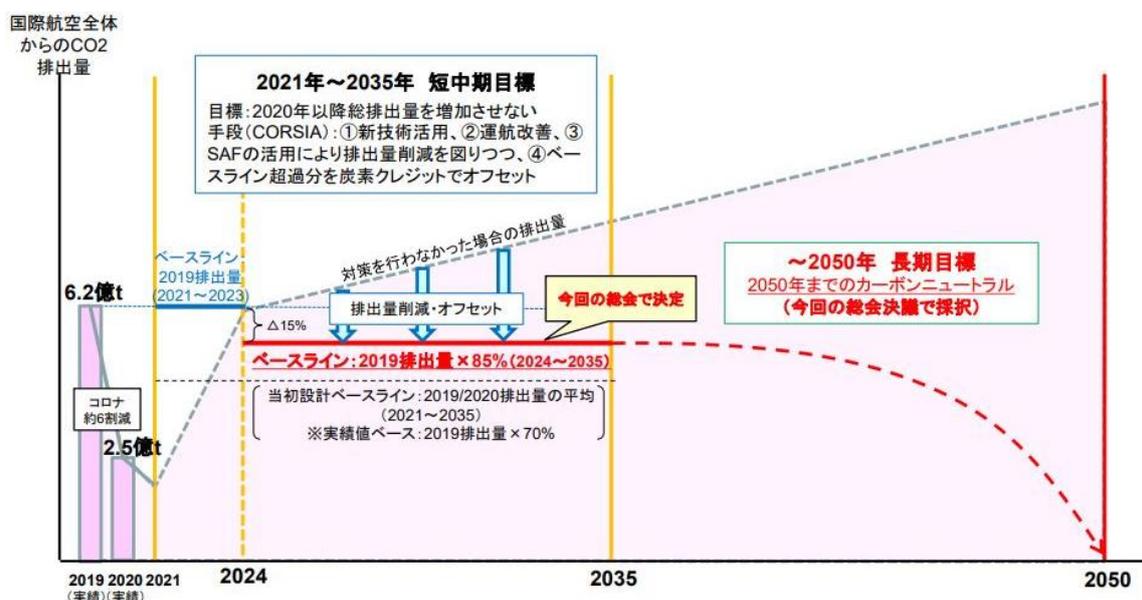


図 3-1-2 第41回 ICAO 総会における決定概要³⁴

3.2 MRV（Measurement, Reporting and Verification）手法の検討の動向

NETsの産業化に向けて、各技術が、どれだけのCO₂を除去し、どこへ貯留するのか、どの程度の割合でどの程度の期間継続するのか、といった点を把握することが欠かせない。市場を世界レベルで形成していくためには、こういった各技術の定義、除去の効果の測定方法等の見識が、市場で取引する価値のあるものとして認識されなければならない。本書第5章で詳細を述べるが、CO₂排出側と除去者との間でCO₂除去の価値を取引するためには、カーボン・クレジット化が必要不可欠となる。技術そのものや取引されるクレジットの信頼性を確保し、市場をサポートするために重要な役割を果たすと考えられるのが、MRV（Measurement, Reporting and Verification）「測定、報告及び検証」のプロセスである。インベントリ算定に用いられるIPCCガイドラインをはじめとする国際的枠組み、主要国・地域のCDRに関するMRV手法の検討状況を、表3-2-1に整理した。ただし、後述の通り、技術や目的に応じて、目指すべき段階、取り組むべき具体的内容も異なり、測定、報告及び検

³⁴ 航空脱炭素化の取組の進捗について（国土交通省 航空局）

証のすべての手法が確立してから社会実装しなければならない、という訳ではない点に留意する必要がある。

表中、IPCC ガイドライン以外で CDR の評価手法が確立されている項目はないが、DACCS、BECCS、風化促進、植林・再生林などの項目で、検討が始まっている枠組みが複数見られる。ブルーカーボン管理は、IPCC ガイドラインに記載があり、我が国においては 2023 年 4 月提出の温室効果ガスインベントリにおいて、ブルーカーボンのうちマングローブ林の吸収量を報告し、他の吸収源についても、環境省が主体となって検討を進めている³⁵。

表 3-2-1 国際的枠組み、主要国・地域の CDR に関する MRV 手法の検討状況³⁶

分類	IPCC ガイドライン	Carbon Removal Certification Framework	GGR methods and their potential UK deployment	Ocean climate action plan	GHG protocol
		EU (EU議会でcommunication発表)	UK	米国	WRI/WBCSD Land Sector and Removals Guidance (開発中)
海洋アルカリ化	×	×	△	△ 検討対象	×
海洋肥沃化	×	×		△ 検討対象	×
ブルーカーボン 管理 (沿岸)	○	△ 検討対象	×	△ 検討対象	×
大型海藻養殖	×	×	×	△ 検討対象	×
植物残渣 海洋隔離	×	×	×	×	×
風化促進	×	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象
DACCS	×	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象
BECCS	△	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象
植林・再生林	○	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象
土壌炭素貯留	○	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象 * 農業のscope1,2にかかる算定は Agricultural Guidance にて規定。
バイオ炭	△ 農地・草地の鉱質土壌下	△ 検討対象	△ 検討対象	×	△ 検討対象

³⁵ <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/mrv-library/0.index.html>

³⁶ (1) European Commission (2021), COM (2021) 800 final

(2) European Commission (2022), COM (2022) 672 final, SWD (2022) 377 final

(3) UK, Department for Energy Security and Net Zero, BEIS (2021), “Greenhouse gas removal methods and their potential UK deployment”, “Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Removals: Task and Finish Group Report”

(4) Ocean Climate Action Plan, A REPORT BY THE OCEAN POLICY COMMITTEE

(5) GHG Protocol Land Sector and Removal Guidance. Part1: Accounting and Reporting Requirements and Guidance (DRAFT FOR PILOT TESTING AND REVIEW, SEPTEMBER 2022)

(6) GHG Protocol Agricultural Guidance

(7) <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

<コラム：GHG プロトコルにおける NETs にかかるガイダンス策定の動き>³⁷

CDR に関連した算定方法の策定が新たに進んでいる国際的枠組みとして、GHG プロトコルでの検討状況を取り上げる。GHG プロトコルは、世界資源研究所（WRI）及び持続可能な発展のための世界経済人会議（WBCSD）が策定する、GHG 排出量の算定・報告の方法や手続きに関するガイダンスであり、組織/プロジェクトにおける GHG 排出量や排出削減量の算定、報告方法のデファクト規格となっている。GHG プロトコルでは、サプライチェーン全体における排出量を、「スコープ 1（直接排出量）」「スコープ 2（間接排出量）」「スコープ 3（そのほかの排出量）」の 3 つの区分に分け、算定・報告基準を設定している。

本枠組みにおいて、2022 年より、土地部門と炭素吸収・炭素除去に係る「Land Sector and Removals Guidance」のとりまとめが進んでおり、2022 年 9 月にガイダンス案が公表された。本文書は、既存の各種文書（コーポレートスタンダード、スコープ 2 ガイダンス、スコープ 3 スタンダード）に対して、土地部門と炭素除去の算定の方法を補完する位置づけとなっている。GHG プロトコルに沿って排出量報告を行う企業は、自社事業またはバリューチェーンに土地部門の活動が含まれる場合、本ガイダンスに従わなければならない。除去についての報告は任意となっているが、報告する場合は本ガイダンスに従うこととなる。報告対象は、吸収プロセスと貯留プールで分類され、スコープ 1 とスコープ 3 の両方もしくはスコープ 3 のみの除去量を報告することとなっている<表 3-2-2>。

表 3-2-2 「Land Sector and Removals Guidance」における報告対象の分類

プロセス	貯留先	対象となる CDR の例
生物的	土地管理	森林でのバイオマス拡大、農地での土壌炭素貯留拡大
	製品	木製製品への炭素貯留拡大
	地下	BECCS
技術的	製品	セメント、プラスチック製品への炭素貯留拡大
	地下	DACCS

除去を報告する際には、①モニタリング計画に沿って、貯留地のモニタリングを継続する、②回収・輸送から貯留までの全過程を追跡できる、③ネットの貯留量変化を実データで測定している、④除去の量を不確実性の幅とともに報告し、除去の量が過大推定でない、⑤貯留地の反転を報告する、という要件を満たす必要がある。

³⁷ 経済産業省（2022）カーボン・クレジット・レポート

4. NETs の現状分析・今後の方向性

3章において NETs に関する各国の政策や市場動向、ルールについて調査を行った。4章では個別技術の現状分析を行い今後の方向性を示す。

4.1 NETs の現状分析

NETs の現状分析のため、今回は以下の 10 の視点に着目した。これらの視点は、技術的視点と導入環境的視点に分けて考えることができる。技術的視点としては①TRL、②除去コスト、③除去ポテンシャル、④研究開発の国際比較が挙げられる。導入環境的視点としては⑤所要陸面積、⑥除去量確認の容易さ、⑦日本での地理的・気候的優劣、⑧社会・環境影響、⑨各国の取組状況、⑩コベネフィットが挙げられる。なお、これらの視点はあくまでも現状分析のためのものであり、絶対値や相対比較を行うものではない。また、必ずしも評価や試算の前提条件が揃っている訳ではないことに留意が必要である。例えば現状のコストが高い技術が将来的に見込みのない技術と判断されるものではない。各視点の考慮する事項、理由等を以下に示す<表 4-1-1>。

表 4-1-1 現状分析の視点及び考慮する事項、理由等

	要素	考慮する事項、理由等
技術的要素	①TRL	技術成熟度によって、支援方法が異なるため
	②除去コスト	排出削減に比べ除去は高コストであるため、コストは注視される
	③除去ポテンシャル	技術を産業化した際の市場の大小に関わる。CO ₂ 排出削減にどの程度貢献できるかの基準となる
	④研究開発力の国際比較	日本の技術の蓄積を分析し、技術力の優位性を探るため（特許数、論文引用数等）
導入環境的要素	⑤所要陸面積	日本においては国土に限られるため
	⑥除去量確認の容易さ	技術開発で目指すレベルや、技術に合わせたルール形成の必要性等が変わるためまた、固定期間も重要である。
	⑦日本での地理的・気候的優劣	自然プロセスは地理・気候の影響を受けやすいため
	⑧社会・環境影響	社会・環境への影響により、導入が難しいケースが存在するため
	⑨各国の取組状況	各国の支援や制度の状況次第で、海外での実施可能性に影響するため
	⑩コベネフィット	事業化・収益化に影響するため

IPCC AR6 によると、TRL は植林・再生林、土壌炭素貯留等の NETs が高く、海洋アルカリ化、海洋肥沃化等の海洋 CDR が低い傾向にある。ただし、ブルーカーボン管理で示されるように、詳細技術や前提条件により TRL は大きく異なることに留意が必要である。

世界における 2050 年時点での除去コストは、各 NETs 間で比較的大きな差はなく、いずれも更なる低コスト化が望まれる。また、土壌炭素貯留のようにコベネフィットの有機肥料効果を定量化しコストに反映することで、除去コストがマイナスとなるケースもある。ブルーカーボン管理については、マングローブ、塩性湿地、海草など様々な技術が含まれており、除去コストの範囲が広い。

世界における 2050 年時点での除去ポテンシャルは海洋アルカリ化が高い。また、DACCS は近年、欧米の複数のベンチャー企業が大型化・事業化をアナウンスしていることもあり、除去ポテンシャルは高くなる傾向にある。

論文数による近年の研究開発力の国際比較では、欧米や中国が先行している。日本においては、海洋 CDR ではマングローブ、海草養殖、大型海藻養殖、炭素隔離の評価などが、DACCS や BECCS ではシナリオ分析、BECCS での燃焼技術などについての研究論文が見られる。

表 4-1-2 現状分析 (①TRL、②除去コスト、③除去ポテンシャル、④研究開発力の国際比較)

分類	TRL ¹⁾	除去コスト ¹⁾ \$/tCO ₂ ⁴⁾		除去ポテンシャル ¹⁾ GtCO ₂ /年 ⁵⁾		研究開発力の国際比較 ³⁾
		共通	世界	世界	共通	
海洋アルカリ化	1-2	150	40~260	50.0	1~100	独が先行。豪、英、伊、米が続く。日本はなし。
海洋肥沃化	1-2	225	50~500	1.5	1~3	独、米が先行。英、豪が続く。日本は10位。
ブルーカーボン管理	2-3 (8-9) ²⁾	12680	240~30000 ⁶⁾	< 1	0.02~0.08	米が先行。豪、中、印が続く。日本は9位。
大型海藻養殖	-	-	-	-	-	中、米、豪が先行。日本は10位
植物残渣 海洋隔離	-	-	-	-	-	-
風化促進	3-4	125	50~200	3.0	2~4	英がリード、米国が続く。日本は18位。
DACCS	6	200	100~300	22.5	5~40	英、独、米が先行。日本は10位。
BECCS	5-6	208	15~400	5.8	0.5~11	英、米が先行。日本は10位。
植林・再生林	8-9	120	0~240	5.3	0.5~10	英、米、独が先行。日本は14位。
土壌炭素貯留	8-9	28	-45~100	5.0	0.6~9.3	米、独が先行。日本は12位。
バイオ炭	6-7	178	10~345	3.5	0.3~6.6	米、英、独が先行。日本は21位。

1) IPCC Sixth Assessment Report "Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change" Table 12.6 and p1271, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

2) ICEF "Blue Carbon Roadmap-Carbon Captured by the World's Coastal and Ocean Ecosystem" 2023

※文献 (分類における詳細技術等) によってTRLは異なりうる

3) Web of Scienceでの検索結果 (論文数) (2000年~2022年)

4) 2050年想定CO₂除去コストの中央値 5) 2050年の除去ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり

6) マングローブ: 240USD、塩性湿地: 30,000USD、海草: 7,800USD

日本での地理的・気候的優劣において、ブルーカーボン管理や大型海藻養殖は世界第6位の排他的経済水域と海岸線の長さを有することから、風化促進は鉱物資源（玄武岩等）と実施場所（耕作地、森林、川、海岸等）が揃うことから、導入しやすさが考えられる。一方、DACCS、BECCS の国内実施を考えると、CCS 貯留地の確保が課題として挙げられる。なお、BECCS、植林・再生林、バイオ炭は、国内での木質資源のポテンシャルはあるが所要陸面積が必要となる。ここで、各 NETs の所要陸面積について、必ずしも試算の基準や前提条件が揃っている訳ではないことに留意が必要である。例えば、DACCS、BECCS は、再生可能エネルギー設備由来の面積を考慮しておらず、BECCS、植林・再生林、バイオ炭は、バイオマス由来の面積を考慮して試算されている。

海洋 CDR、風化促進といった自然系 NETs は、社会・環境影響のリスクが考えられ、社会実装のために、社会・環境影響の評価・検証が必要となる。また、風化促進、土壌炭素貯留、海洋 CDR の多くは、CO₂ 除去効果の確認（根拠となる科学的データの収集・蓄積、測定手法確立等）が必要である。

表 4-1-3 現状分析（⑤所要陸面積、⑥除去効果確認、⑦日本での地理的・気候的優劣、⑧社会・環境影響）

分類	所要陸面積 m ² /tCO ₂ /年 ¹⁾	除去効果 確認 ¹⁾	日本での地理的・気候的優劣	社会環境影響
海洋アルカリ化	0	要	-	× アルカリ度の増加やニッケル等の溶出物が生態系に影響を与える可能性がある ²⁾
海洋肥沃化	0	要	-	○ 表層の海洋生物の一次生産性と炭素貯留量を増加させる ³⁾ × 生態系への影響が懸念 ³⁾ × 沈んだ有機物粒子が分解される際に温室効果ガス(CH ₄ やN ₂ O等)が発生する可能性がある ¹⁶⁾
ブルーカーボン 管理	0	済	○ 世界第6位の海岸線の長さを持つ^{1) 12)}	○ 漁業生産量の増加や沿岸環境の保護が可能 ⁴⁾ × 蓄積した炭素の放出による海洋生物相に対する影響が懸念 ⁴⁾
大型海藻養殖	0	要	○ 世界第6位の排他的経済水域、海岸線の長さを持つ^{1) 12)}	○ 食料・肥料・飼料の供給、エネルギー源としての利用、海洋生物多様性を高めること ²⁰⁾ × 国際法への抵触の懸念 ²¹⁾
植物残渣 海洋隔離	0	済	-	× 大規模な実施は海洋の環境に影響を及ぼす可能性 ¹⁷⁾ × 深海への廃棄物投棄はロンドン条約や海洋投棄禁止条約(米)によって制限¹⁷⁾
風化促進	29 ^{a)}	要	○ 鉱物資源(玄武岩等)、実施場所(耕作地・森林・海岸)が揃う^{1) 12)} ○ 熱帯(高温多雨)、湿潤気候が適している ¹⁵⁾ × 再生電力が高価 ¹⁴⁾	× 粉碎と土地への散布の際の粉塵リスクや水質汚染のリスクあり⁵⁾ × 岩石の採掘、処分等への環境影響の可能性あり¹⁴⁾
DACCS	4 ^{b)}	済	× 再生電力が高価 ¹⁾ × CCS適地が不透明¹⁾	○ 水を大気から回収できる可能性あり ¹⁹⁾ × CO ₂ 地中貯留に伴う漏出のリスクあり ⁶⁾
BECCS	379 ^{b) c)}	済	○ 木質資源のポテンシャルはある ¹⁾ × CCS適地が不透明¹⁾	× CO ₂ 地中貯留に伴う漏出のリスクあり ⁶⁾ × 持続可能性、生物多様性に関するリスク ⁷⁾
植林・再生林	978 ^{c)}	済	○ 大きなエネルギー消費を伴う工程はない ¹¹⁾ ○ 温暖湿潤な気候は植物、樹林が育つ環境 × 土地面積が必要 ¹⁾	× 土地利用の変化が生じる場合、自然生態系や、生物多様性にリスクあり ⁸⁾ × 地域への水循環への影響 ¹³⁾ × 新品種導入による生態系などへの影響防止 ¹³⁾
土壌炭素貯留	0 ^{d)}	要	-	× 農作物管理方法の変更はリスクあり ⁹⁾
バイオ炭	580 ^{c)}	済	○ 木質資源のポテンシャルはある ¹²⁾ × バイオマスの入手性に難がある ¹²⁾	○ バイオ炭による土壌改良により収量増加が可能 ¹⁰⁾ ○ 土壌からのCH ₄ とN ₂ O排出量の削減が可能 ¹⁸⁾ × 含まれる化学物質による汚染等のリスクあり ¹⁰⁾

【出典】1)第6回グリーンイノベーション戦略推進会議WG発表資料(2022)、2) Negative CO₂ emissions via enhanced silicate weathering in coastal environments. Biology Letters. 13, 4(2017), Olivine Dissolution in Seawater: Implications for CO₂ Sequestration through Enhanced Weathering in Coastal Environments. Environmental Science & Technology. 51, 7 (2017), 3)NATIONAL ACADEMIESIA Research Strategy for Ocean-based Carbon Dioxide Removal and Sequestration(2022)、4) The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering. 87(2014), 5) Mining Impacts on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management. Mine Water and the Environment. 23, 1(2004), Climate change mitigation: potential benefits and pitfalls of enhanced rock weathering in tropical agriculture. Biology Letters. 13, 4(2017), 6) Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda(2019) The National Academies Press, 7) The economics of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) deployment in a 1.5 degrees C or 2 degrees C world, Global Environmental Change 68 (2021)、Transportation systems for CO₂-application to carbon capture and storage. Energy Conversion and Management. 45, 15(2004), 8) The impact of biofuel plantation on biodiversity: a review. Chinese Science Bulletin. 59, 34(2014), A meta-analysis of the greenhouse gas abatement of bioenergy factoring in land use changes. Scientific Reports. 8, (2018)、IPCC, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press(2022), 9) <https://cdrprimer.org/read>, 10) Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security? Environmental Research Letters. 12, 10(2017), Impacts of Land-Based Greenhouse Gas Removal Options on Ecosystem - 289 - Services and the United Nations Sustainable Development Goals. Annu. Rev. Environ. Resour., 44(1)(2019), Biochar in the Agroecosystem-Climate-Change-Sustainability Nexus, Frontiers in Plant Science, 8(2017), Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. Land. 8, 296, 12(2019), 11)第二回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料4-1、12)第三回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料2、13)第三回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料3、14)第二回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料4-3、15) "Effects of elevated CO₂ on a natural diatom community in the subtropical North East Atlantic". Book Effects of elevated CO₂ on a natural diatom community in the subtropical North East, Negative CO₂ emissions via enhanced silicate weathering in coastal environments. Biology Letters. 13, 4(2017), 16) Predicting and monitoring the effects of large-scale ocean iron fertilization on marine trace gas emissions. Marine Ecology Progress Series. Vol. 364(2008), 17) Burial of agricultural byproducts in the deep sea as a form of carbon sequestration: A preliminary experiment, Marine Chemistry 122 (2010), Reviewing the sociotechnical benefits and risks of climate change geoengineering, Energy Strategy Reviews 35, (2021), 18) How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar., GCB Bioenergy. 13, (2021), 19) Direct Air Capture of Carbon Dioxide - Global CCS Institute, ICEF Roadmap(2018), Techno-economic assessment of CO₂direct air capture plants., Journal of Cleaner Production, 224(2019), 20)日本国際フォーラム「大型海藻類の新たな価値創造を通じた海洋世論創出の可能性」(2022年)、21)科学技術未来戦略ワークショップ報告書「バイオマス・ネガティブエミッション技術の実用化加速基盤研究(第1回)および(第2回)」(2023年); a)耕作地施用の場合、b)再生エネルギーを含まない、c)バイオマス由来分を含む、d)新たな土地を利用しないため0となる。

各国の取組をプロジェクトあたりの予算額や支援年数、対象とする NETs で整理を行った<表 4-1-4>。これらの国は CN 実現に向けて CDR が必要となることを認識し、種々の NETs について研究開発、実証、CO₂除去効果の確認等に支援を行っている。

表 4-1-4 現状分析（⑨各国の取組状況）

		1PJあたり予算規模	支援年数	海洋アルカリ化	海洋肥沃	ブルーカーボン管理	大型海藻養殖	植物残渣・海洋隔離	風化促進	DACCS	BECCS	植林・再生林	土壌炭素貯留	バイオ炭
アメリカ	FLECCSプログラム	80万\$程度	1~2年	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
	CDRプログラム	100~500万\$	4年程度	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-
UK	GGRプログラム	初期：25万£ 後期：300~500万£		○	-	-	-	○	○	○	○	-	△	○
EU	Horizonプログラム	- (※1)	- (※1)	○	○	○	○	○	-	○	○	-	-	-
日本	GI基金	200億円以上	10年	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○
日本	MS(※2)	5億円(※3)	3-10年	-	-	-	○	-	○	○	-	-	△	-

※1 Horizon プログラムについては、幅広いプロジェクトが存在するため対象外とした

※2 MS:ムーンショット型研究開発事業

※3「自然のCO2 吸収源を活用し、人為的にCO2 の吸収速度を加速させる技術」として採用された追加のプロジェクトの予算規模

NETs、特に自然系 NETs では CDR のみならず生物多様性の増加や環境保護など様々なコベネフィットが生じる場合があり、こうした効果を考慮・評価することでブランド化し、高額なクレジット価格で取引される例もある。実際に、J ブルークレジット制度においては、コベネフィットによる経済価値を証書に明記することで、通常のクレジットよりも高値で購入されることが確認されている。



➤ J-ブルークレジット購入証書において、コベネフィットによる経済価値を記載。

「このプロジェクトの1年間の実施により、食料供給（メバシなどの魚介類の漁獲が年間745kg増加）、水質浄化（海の生物によるCODの浄化量が年間1.2トン増加）、種の保全（この海域で生息する海生生物が28種類増加）という複数の環境価値（コベネフィット）が増加し、その経済価値は約1800万円と評価されました。」

図 4-1-5 コベネフィットによる経済価値の記載（J-ブルークレジット購入証書）³⁸

国際的にも、自然資本及び生物多様性に関する企業のリスクや機会を適切に評価し、開示するための枠組みを構築するための国際的組織；TNFD（Taskforce on Nature-related

³⁸ 地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会（国土交通省）令和4年度 第1回 資料6-1 (https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk6_000069.html)

Financial Disclosures) が立ち上げられるなど、企業に自社の事業活動が自然環境に及ぼす影響や依存度に関して情報開示や定量評価を求める動きが加速している。

また、自然系 NETs では農業や水産業などの主産業の副産物として CDR が位置づけられる場合も考えられる。

期待されるコベネフィットの例を以下に示す。

① バイオ炭

- ✓ 土壌改良資材として古くから農業現場で有用性（土壌の保水性・透水性向上、ミネラル補充など）が認識されている。
- ✓ 作物収量の増加、土壌からの CO₂ 以外の GHG 排出量の削減なども期待される。

② 風化促進

- ✓ 岩石の風化により溶出する栄養塩が植物の成長を促進するため、農業的効用や森林再生等が期待される。
- ✓ 玄武岩を含む苦鉄質岩が溶解した水はアルカリ性を示す傾向があり、鉱山廃水等の酸性水の中和あるいは中和のための補助としての役割、一部の休廃止鉱山では石灰石の代替となる可能性が期待される。
- ✓ 玄武岩を含む苦鉄質岩は栄養塩である鉄を含むため、沿岸部の生態系の活性化、漁業収穫量の増加が期待される。

③ ブルーカーボン管理

- ✓ 海洋バイオマスの増加・保護による漁業生産量の増加・沿岸環境の保護が期待される。
- ✓ 生物生息空間の維持や富栄養化対策（窒素、リンの除去による水質浄化）など海洋生物多様性を高める効果が期待される。

4.2 NETsの今後の方向性

4.2.1 DACCS/BECCS

DACCSとBECCSは、CDRのためにはCO₂を分離・回収した後、CCSにより貯留する必要がある。そのため、CCS適地が豊富な米国等の海外では、DACCSとBECCSは高いポテンシャルを有すると考えられる。また、これらの技術の大規模化・商用化に向けた実証支援や優遇政策、ビジネスモデルの構築が進められており、将来的に市場拡大が見込まれることから、こうした海外市場に積極的に参入していくことが重要である。

国内についても、160億トンのCO₂貯留可能量³⁹が推定され、2030年までの事業開始に向けて民間事業者におけるCCS事業の検討が開始されているところであり、こうした制度環境が整備されていくことを踏まえ国内での実証を進めていく必要がある。一方、CO₂貯留地の確保は依然として課題であり、DACCSとBECCSの実用化・事業化へのボトルネックとなる可能性がある。

DACCSは大気中から非常に濃度の薄い400ppmのCO₂を回収するプロセスであるため、多量のエネルギーを要する。そのため、省エネルギー・低コスト化に向けた研究開発を引き続き推進する。また、国内でのクレジット化に向けて算定方法の確立が必要である。既にCCS範囲の方法論は確立されつつあるため、CO₂回収範囲における方法論の早期確立を図ることが必要である。

DACCSやBECCSに対する支援例を以下に示す。

- ✓ DOE（米）は、大気から回収したCO₂の処理、輸送、安全な地中貯留、変換の商業化を加速し実証するために、国内の4つの地域で直接大気回収ハブ（DAC Hub）の開発に35億ドルを投資している。
- ✓ 英国は、バイオマス発電（Power BECCS）に対する支援として、カーボン・クレジットと発電の双方に対して値差補填を導入する支援策を優先モデルとして検討している。
- ✓ 国内では、ムーンショット型研究開発制度において、「温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術」の一部でDACの技術開発を推進している<図4-2-1>。また、令和5年度「先進的CCS事業の実施に係る調査」に関する委託調査業務においては、BECCSを視野にいれたプロジェクトが採択された。

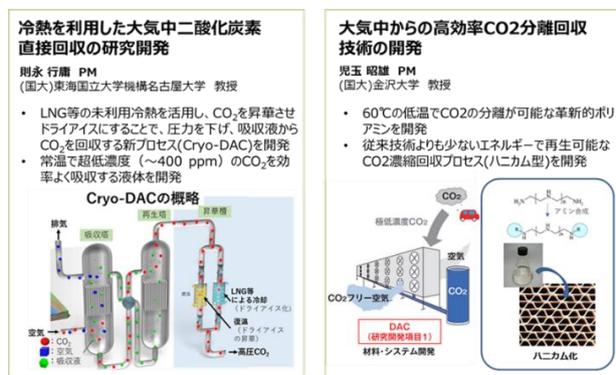


図 4-2-1 DAC 技術の研究開発例（ムーンショット型研究開発制度）

³⁹経済産業省（2023）CCS 長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ

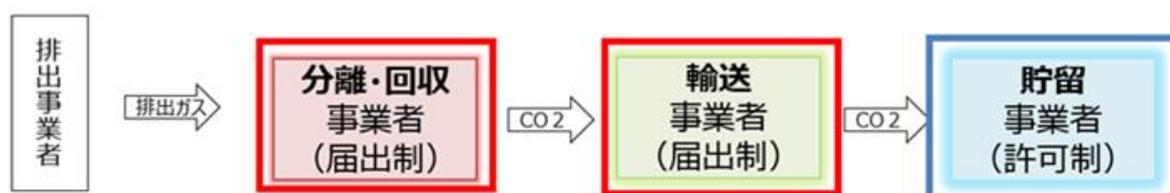
<コラム：CCS 事業法（仮称）との関係>

CCS 長期ロードマップ検討会の CCS 事業・国内法検討ワーキンググループにおいて、2022 年 9 月～12 月において CCS 事業に関する国内法整備に関する課題が検討され、2023 年 3 月に最終とりまとめがなされた。これにより、2030 年までを目標に国内において開始される CCS 事業に合わせ、CCS に関する法律（CCS 事業法（仮称））が整備されることになった。今後、国内での DACCS/BECCS 導入の際は、当該事業法の検討状況を踏まえ検討すべきである。当該事業法において DACCS/BECCS に関連する事項を紹介する。

①法の規制範囲

CCS 事業法（仮称）は「分離・回収事業者」「輸送事業者」「貯留事業者」を規制の対象とする計画である。DACCS や BECCS の事業者は「分離・回収事業者」のみならず「輸送事業者」、「貯留事業者」となる可能性がある<図 4-2-2>。

<CCS事業全体のバリューチェーン>



2023/3/10、「CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ説明資料」より抜粋、一部加工

図 4-2-2 CCS 事業法（仮称）の事業規制イメージ

②DAC により回収した CO₂の取り扱いについて

DAC により回収された CO₂の所有者が明確化される<図 4-2-3>。CCS した CO₂をクレジット化する際やメタネーション原料などとして販売する際に、所有権が重要になると想定されるためである。

(4) DAC により回収した CO₂の取扱いについて

なお、いわゆる DAC により、空気中にある CO₂を直接回収し、地下貯留する技術（DACCS）が、バイオマスから生じた CO₂を地下貯留する技術（BECCS）と併せて、ネガティブエミッション技術や炭素除去技術として有望視されている。

DAC で回収された CO₂は、DACCS として空気中に放散される CO₂と相殺することができるだけでなく、CCU/カーボンリサイクルの炭素源として利用されることが想定されている。

DAC により回収された場合には、CO₂を回収した事業者を当該 CO₂の所有者とすべきである。

図 4-2-3 DAC により回収した CO₂の取扱いについて

<コラム：カーボンリサイクルへの活用>

DACにより回収したCO₂はe-fuel、SAF等の燃料、化学品等の製造（カーボンリサイクル）に活用することもできる。将来的には、化石燃料の使用減に伴い、化石由来CO₂の供給が減少すると想定されることから、DAC由来CO₂を活用したカーボンリサイクルにも積極的に取り組むことが重要である。実際に、海外のDACスタートアップは、DAC由来CO₂を活用したe-fuel、SAF等の燃料製造に向けて、提携を既に開始している⁴⁰。

Carbon Engineering社（カナダ）では、バイオ技術会社Lanza Techとパートナーシップを締結し、イギリス航空会社向けにDAC由来CO₂を利用したSAF製造の提携を行っている⁴¹。Lanza Techが持つCO₂等を含む排ガスからエタノールを生成するガス発酵技術の原料として、DAC由来CO₂を供給する。2030年に、1億L/年以上のSAFを生産する大規模商業設備を英国に導入するため、実現可能性を調査している。

Climeworks社（スイス）は、ロッテルダム空港（蘭）やSAF製造開発企業SkyNRGなどととともに、DAC由来CO₂を100%利用したSAF製造のためのコンソーシアム「Zenid」を結成し、大気中から回収したCO₂と水、再エネから合成ガスを製造し、SAFへの変換・精製を行う⁴²。既にFSを終え、ロッテルダムでの実証施設の建設を目指している。

Global Thermostat社（米国）は、チリのマガリャネス地方で、風力発電を利用してe-fuel製造のためのDAC由来CO₂を供給する。実施主体には、HIF Global、ポルシェ、ENEL、関連企業にはSIEMENS Energy、ExxonMobilなどが参画しており、実証プラントは2022年末までに操業開始を目指し、メタノール生産量は2023年に約75万L/年で、一部はガソリンに変換される（13万L）。商用段階では2025年までにガソリンを5,500万L/年、2027年までにメタノールを1百万トン、ガソリンを5億5,000万L以上に拡大する予定である。製造されたガソリンは、コンテナ船で欧州に輸送される計画である。

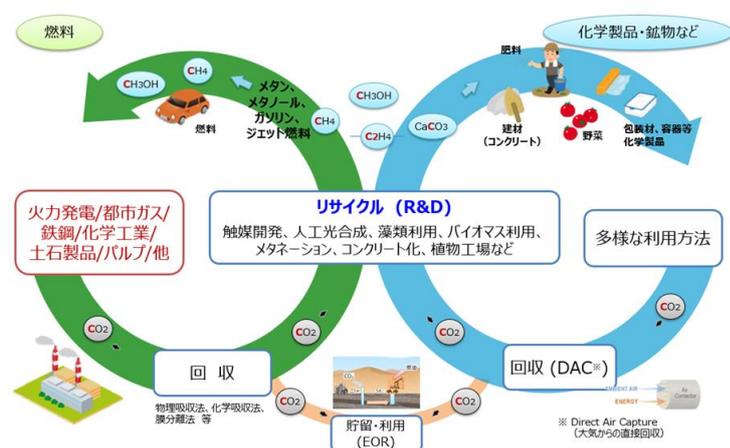


図 4-2-4 DAC 等の CO₂ を活用したカーボンリサイクルのイメージ⁴³

⁴⁰ https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/e_fuel/shoyoka_wg/pdf/001_07_00.pdf

⁴¹ <https://carbonengineering.com/news-updates/ce-lanzatech-jet-fuel/>

⁴² <https://climeworks.com/news/christoph-gebald-co-ceo-and-co-founder-of-climeworks>

⁴³ https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_recycling2021.html

4.2.2 風化促進

国内では、鉱物資源（玄武岩等）と実施場所（耕作地、森林、川、海等）が揃っていることから、風化促進の導入しやすさが考えられる。

CO₂を固定（炭酸塩化）した鉱物資源を埋立地へ貯留することも考えられるが、事業性を考慮すると、当該鉱物資源の散布による農業的効用、鉱山廃水等の中和や浄化、建設資材への利用等のコベネフィットが期待される。また、例えば、鉱山廃水の中和や浄化では、酸性排水が流れ続ける限り、同じ場所で土地利用なく（貯留地の容量を必要とせず）CDR 効果を期待できる。

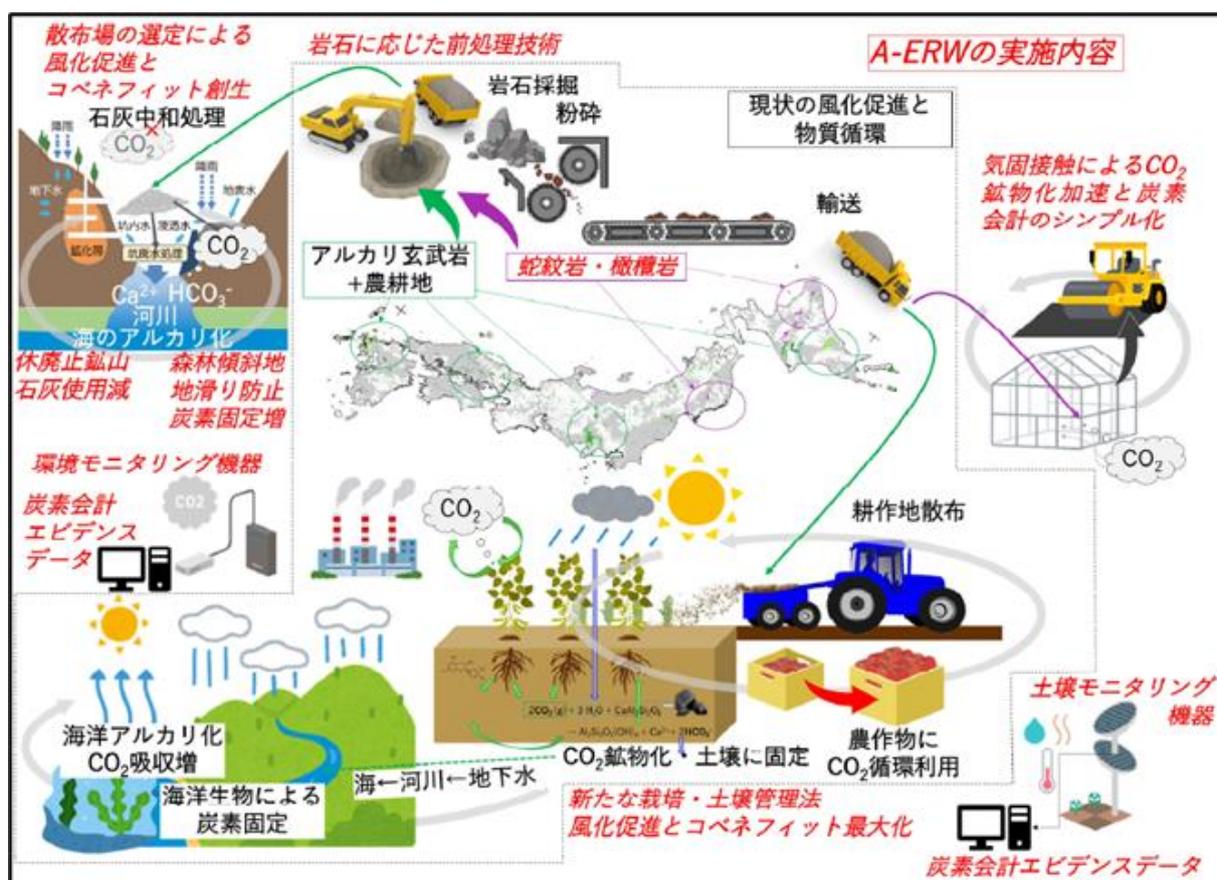


図 4-2-5 風化促進技術の研究開発例（ムーンショット型研究開発制度）⁴⁴

一方、実際の CO₂ 除去量や環境影響については未知数であるため、CO₂ 除去量の測定手法の確立や、CO₂ 除去量や安全性の根拠となる科学的データの収集・蓄積を継続的に行うことが必要である。また、CO₂ 除去量の測定手法については、耕作地、森林、川、海といった広範なエリアに効果があることが想定されるため、データ取得が困難な領域も存在し、シミュレーションを活用しながら、評価手法を確立する必要がある。

⁴⁴ 第3回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会【資料2】

➤ 研究開発プロジェクト名

LCA/TEAの評価基盤構築による風化促進システムの研究開発

PM：森本 慎一郎（産総研）

➤ 研究開発概要

大気中の希薄なCO₂を苦鉄質岩等の炭酸塩化（風化現象）によって吸収し、苦鉄質岩や生成した炭酸塩を土壌散布することによって植物育成を促進するまでのトータルシステムをLCA/TEAの観点から最適化する評価基盤を開発。

➤ 研究開発項目例（苦鉄質岩DBとCO₂固定量測定技術の開発）

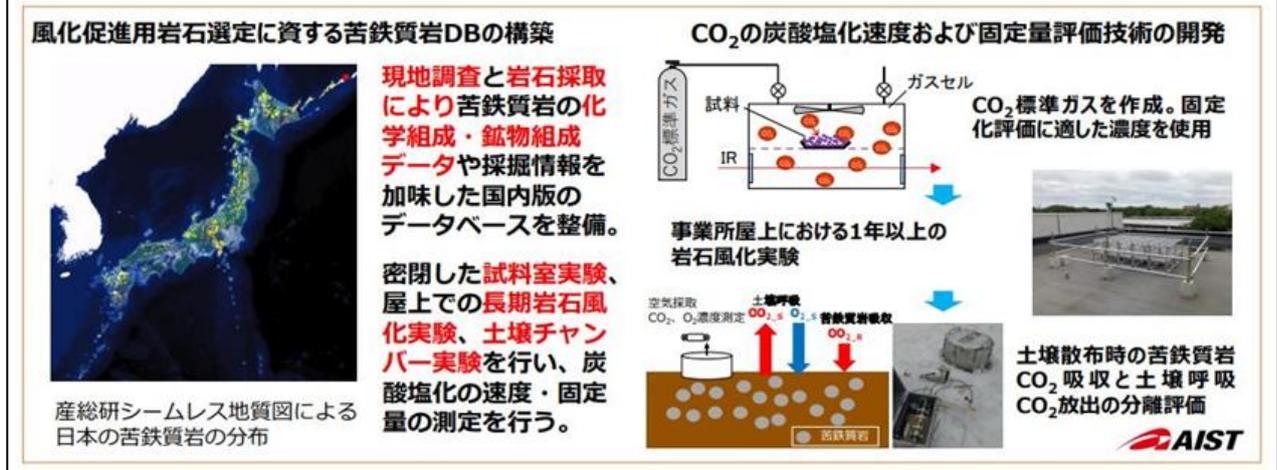


図 4-2-6 CO₂除去量の測定手法確立に向けた研究開発例（ムーンショット型研究開発制度）

45

4.2.3 バイオ炭

バイオ炭の農地・草地土壌への施用については、温室効果ガスインベントリにおいて算定方法が確立されており、CO₂除去量の算定が可能である。施用したバイオ炭は、長期（100年単位）にわたり難分解性炭素として土壌に貯留されることが認められ、海外においてもクレジット創出例がよく見られる。また、CO₂除去の価値のみならずコベネフィットの効果によりビジネスを成立させている例もあり、こうしたコベネフィットと組み合わせたCO₂除去の取組の更なる拡大を図ることが重要である。一例として、TOWING社はバイオ炭に培養微生物を付加して高機能バイオ炭（宙炭）とし、農地施用することで施用しない場合より農作物の収量を上げ農家の収益性向上に繋げている。このような効果を付与することでバイオ炭の販売促進に繋げるといったビジネスモデルを展開している。

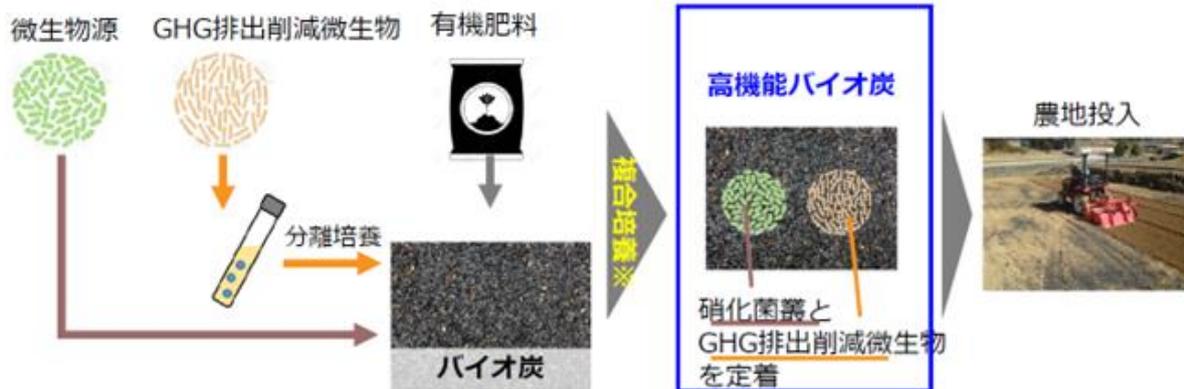


図 4-2-7 コベネフィットによるビジネスの成立例 (TOWING 社) ⁴⁶

バイオ炭の普及拡大を図るため、引き続き、バイオ炭の低コスト化、収量性向上、温室効果ガス発生抑制などの付加価値を持たせた資材の開発、バイオ炭の使い方等、農家の導入インセンティブを図るための取組を進めるべきである。

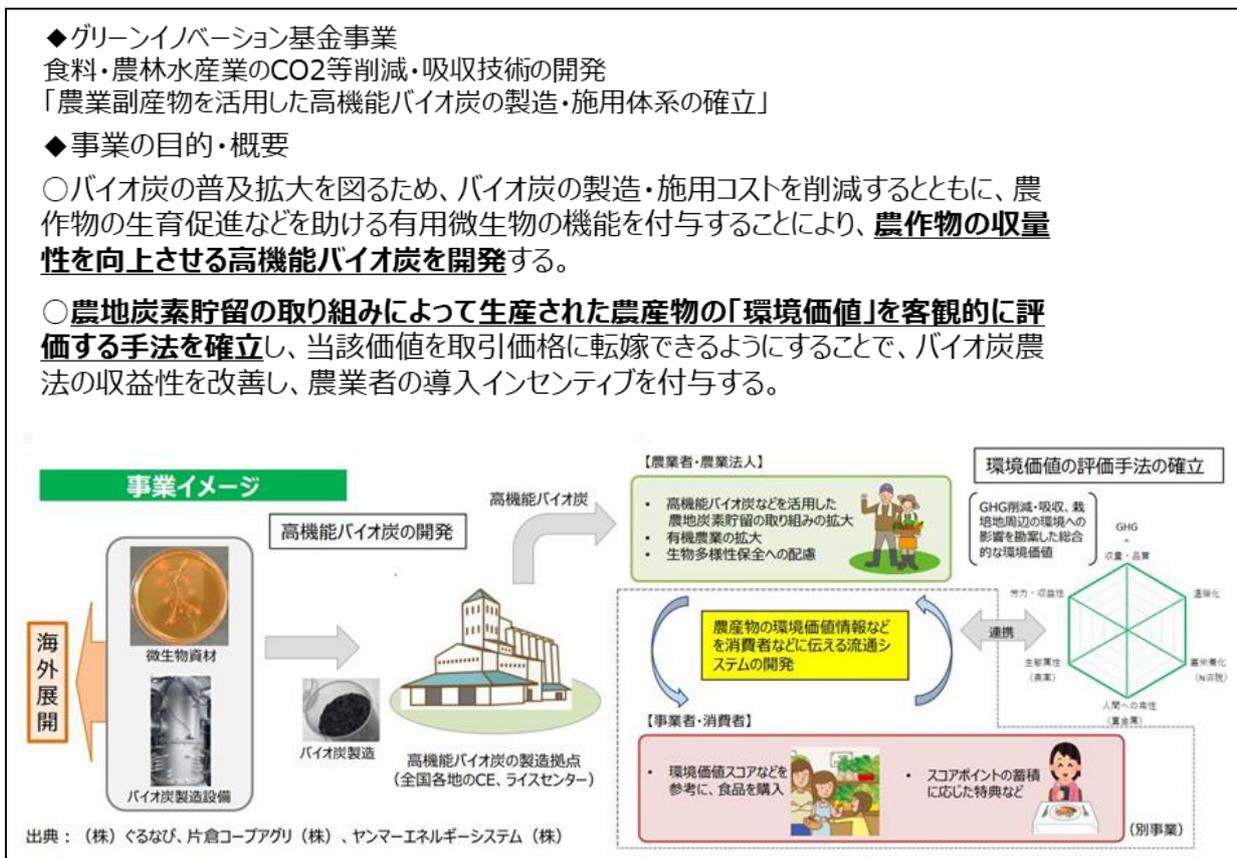


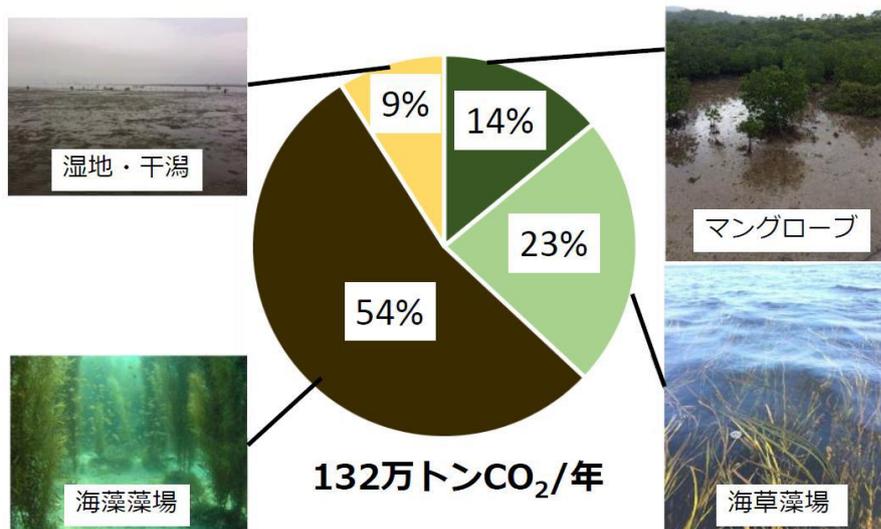
図 4-2-8 国内における研究開発例 (グリーンイノベーション基金事業/食料・農林水産業の CO₂ 等削減・吸収技術の開発) ⁴⁷

⁴⁶ 第3回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料 5-1

⁴⁷ グリーンイノベーション基金事業/食料・農林水産業の CO₂ 等削減・吸収技術の開発 事業概要資料

4.2.4 ブルーカーボン管理/大型海藻養殖

日本は、世界第6位の排他的経済水域、海岸線の長さを有し、海藻養殖等の関連技術を有するなど国内での導入しやすさが考えられる。



出典：桑江ら,土木学会論文集 B2 (2019)

図 4-2-9 ブルーカーボンによる吸収ポテンシャルの全国推計

欧米では、海洋 CDR や大型海藻養殖（沖合養殖含む）に関して総合的かつ大規模化に向けた研究開発がプロジェクト体制で進められており、国内でも、欧米のような大規模化のための生産技術などの多面的な研究開発を進めていく必要がある。また、ブルーカーボン生態系の面積と活動量を正確に把握するため、かつ科学的に CO₂ 吸収能評価、賦存量管理を把握するために海域に合わせた海洋観測技術やモニタリング技術等の開発も重要となる<図 4-2-10>。

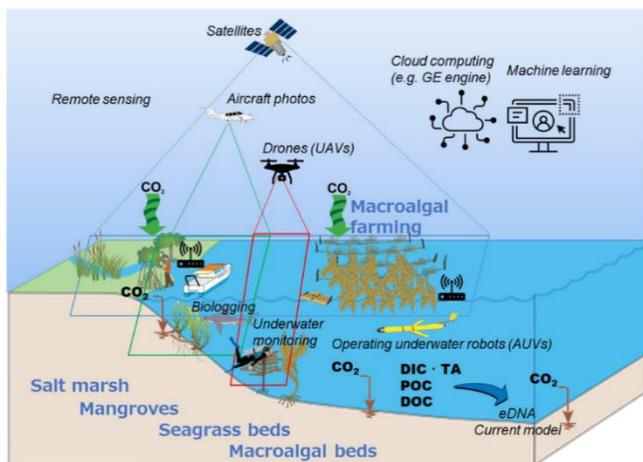


Figure 3.1. Observation technology and analytical tools to improve the parameterization of blue carbon.

図 4-2-10 海洋観測技術のイメージ

欧米での研究開発の取組について、以下に3例示す。

➤ MARINER プロジェクト (米国)

エネルギー用途のバイオマスとして大型海藻養殖をプロジェクト化。大型藻類（コンブ）の種苗から収穫（沖合養殖開発も含む）、モニタリング、LCA 評価まで 22 のプロジェクトを実施している<図 4-2-11>。モニタリングは衛星写真やドローン、水中ドローン等の最新技術を用いた方法が検討されている。

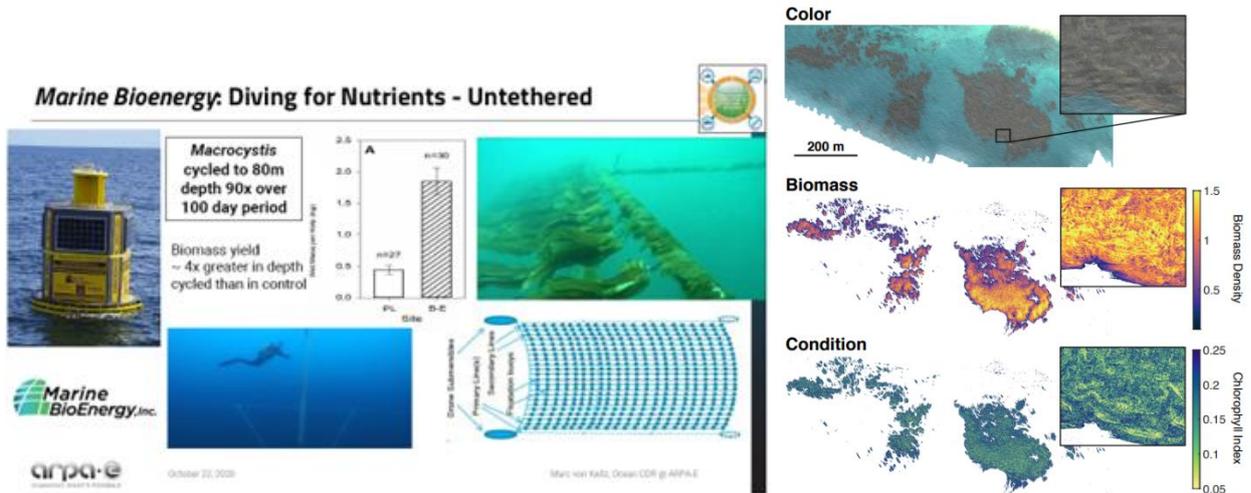


図 4-2-11 MARINER プロジェクト (米国)

(左図) 養殖棚、(右図) ドローンモニタリングの例⁴⁸

➤ Ocean NETs コンソーシアム (欧州)

欧州委員会における研究開発プログラム Horizon2020 からの助成を受け、海洋ベースの NETs の研究推進を目的とした Ocean NETs コンソーシアムを結成。海洋アルカリ化のポテンシャルや環境影響の評価、大型海藻養殖などのシミュレーション分析、アカウンティング手法の評価などを実施している。

➤ North Sea Farms (米国)

また、多数のコベネフィットを活用する実証実験（洋上風力発電での海藻養殖、魚介類との複合養殖等）が行われている<図 4-2-12>⁴⁹。

⁴⁸ MARINER Annual Review 2021 - Scalable Aquaculture Monitoring System (<https://arpa-e.energy.gov/mariner-annual-review-2021/university-of-california-santa-barbara>)

⁴⁹ North Sea Farmers (NSF) 「AMAZON FUNDS THE WORLD' S FIRST COMMERCIAL-SCALE SEAWEED FARM LOCATED BETWEEN OFFSHORE WIND TURBINES

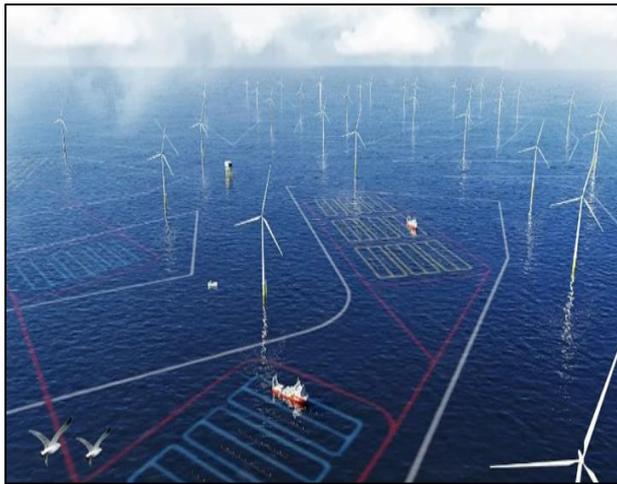


図 4-2-12 海藻養殖場への出資 (Amazon 社)

また、「沿岸の海藻養殖」が貢献する吸収量を我が国のインベントリに登録することを目指すことや、ブルーカーボン生態系による CO₂除去量の算定方法の明確化、国内ボランタリークレジット制度の拡大等、現在の取組を引き続き進めていくことも必要である<図 4-2-13>。



図 4-2-13 J ブルークレジット制度の概要⁵⁰

4.3 NETs の特殊性に基づいた考察

前項までに、NETs の現状分析のため、10 の視点を用いて、今後の方向性について検討し

⁵⁰ 第4回ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 資料4

てきた。NETs が環境価値化され、より一層市場において取引されるようになるためには、「除去効果の把握が難しい」という特殊性も考慮する必要がある。技術ごとに、状況・段階を判断し、目的に応じて、目指すべき段階、取り組むべき具体的内容を考えることも必要である。

NETs の現在の立ち位置と、次に進むために求められる具体的行動を俯瞰する事を目的として、NETs の社会実装の鍵となる、「除去効果の確認手法が確立・認知されているか」「社会・環境への影響が把握できているか」という項目を軸に、各段階での目標と具体的行動、及び各技術の位置を考察した<図 4-2-14>。なお、この図の各技術の現在位置を持って取り組むべき技術の優先順位を決めるものではないことに留意されたい。

横軸は、STEP 1 から 4 に向けて、除去量の測定方法の開発（STEP 3,4 ではクレジット創出に向けた算定方法の合意形成）が進んでいるかどうかを区分けしている。STEP 1 は、技術アイデアの発案から、ラボレベルでの概念検証を目標とした、基礎技術開発の段階である。STEP 2 は、プロセス全体の除去効果を示す実証を目標とした、現場レベルでの実証に取り組む段階である。STEP 3 は、実証から得られた知見をベースとして、民間ベースでのクレジット化に向けて必要な民間レベルでの除去効果の合意形成を目指す段階であり、STEP4 は、これを公的レベルに進める段階である。なお、最終的に図中のどの位置を目指すべきかは、技術、目的によって異なり、全ての技術が STEP4 を目指す必要があるということではない。

縦軸は、社会・環境影響に関する知見の蓄積が進んでいるかどうかを 2 段階で示している。下段は、取組が始まったばかりで、自然環境に対する影響の科学的・定量的知見がない、社会の認知・受容状況を含めた社会影響についての取組が始まっていない、もしくはあっても非常に乏しい段階とした。上段は、世界的に取組を進めるプレーヤーが増え、完全な解明にはいたらずとも、当該分野の知見の蓄積が進んでいる段階とした。図中、点線で区切られた各分画内においては、複数ある技術の優劣は示さない。

DACCS はクレジット化による価値の取引が必要であるため、STEP3~4 を目指すことが求められると考えられる。沖合海藻養殖や風化促進といった自然系 NETs は、まずはデータを積み重ね、除去の効果に関するエビデンスを示していくことが求められるが、自然メカニズムを早期に完全に解明することは難しく、シミュレーションによる評価方法を利用する可能性も含めて関係者間でのルール形成を行いながら、ある程度の不確実性を含む段階でも実装を目指すことが望ましい。

国の NDC への貢献を目的とするならば、除去の効果の説明するためのエビデンスは必要ではあるが、IPCC ガイドラインへの反映を待たずとも、NDC 組み込みについて検討することはできる。

データの収集やシミュレーション手法構築を含む、除去効果算定手法の開発と向上を通じた、除去の検証は、STEP 1~4 すべての段階において推進すべきである。同様にすべての段階において、削減を前提としても残余排出に対する CDR が必要となることの、国際社会への継続的な打ち込みが求められる。併せて、脱炭素の取組は日本一国で閉じるものではなく、国内外関係者間での協調関係構築とともに、各技術の除去効果・算定手法に関する知見の発信・理解促進が重要である。

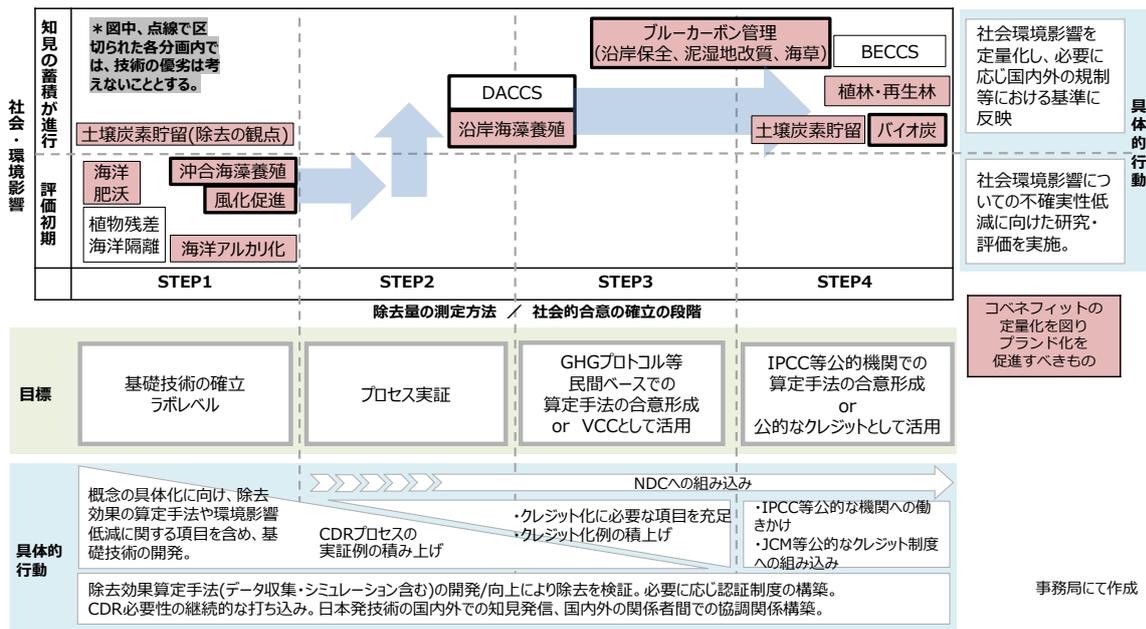


図 4-2-14 NETs の特殊性に基づいた現在位置と、各開発段階での目標及び具体的行動

5.ネガティブエミッション市場創出に向けた方針

2050年CN達成のためには、避けられないCO₂排出（残余排出）を相殺するための炭素除去が必要不可欠であり、2050年に向けて徐々に役割が高まるものの、一般的に除去は削減よりコストが高いため、自然に導入・市場拡大が行われるものではない。一方、除去市場を早期に立ち上げることは、我が国の排出削減目標の達成のみならず、国際的にも今後確実に拡大していく市場を獲得する上で必要な、我が国が強みを有する技術の競争力強化にも資することとなる。このため、相対的に価格の高い炭素除去市場を早期に創出することが必要であり、そのためには、市場の初期段階において高コストな除去に対する政府支援策の導入や、CDRの価値を取引するためのカーボン・クレジット（除去クレジット）の活用環境の整備がまずは重要となる。さらに、除去クレジットについては、CNを実現する2050年が近くにつれて、残余排出者が自らの排出量に相当する除去クレジットを調達するという制度環境が形成されると見込まれることから、初期段階だけではなく、長期的にも重要な役割を担う。

一方、特に自然系NETsについては、農業や水産業などが主産業として存在し、CDRが副産物となる場合もある。この時、CDRのクレジット収益のみに立脚したビジネスでは、CDRの導入拡大は市場の整備状況等に左右されやすいことを踏まえ、主産業による収益が見通しやすいこともCDRの導入拡大にあたって必要な視点であることにも留意が必要である。

さらには、除去市場の創出・拡大においては、未だ国際的に確立されていないCDRの重要性や概念について国内外で理解を図ると同時に、それぞれの技術・目的・段階に応じた最適なルール形成戦略を、関係者が連携して検討し、実現する必要がある。こうした、必要なルールの合意形成や知見の共有を適切な場で実施していくことが重要であり、技術ごとに、どういった取組を進めていくべきか戦略的に検討するための仕組みが必要である。

本章では、こうしたネガティブエミッション市場の創出に向けて必要な取組について、以下5.1～5.4において、今後の方針として整理した。

5.1 市場形成の初期段階における政府支援策の検討

市場の初期段階における支援策として、現在、欧米を中心に税額控除や大規模実証支援に加え、値差補填や政府による調達など、様々な政策手法が検討・導入されている。それらを総合すると以下の8つのオプションに整理される。

以下に列挙する政策手法に必ずしも限定されるものではないが、こうしたオプションを踏まえて、国内でのネガティブエミッション市場創出に向けた支援策を検討、実施していく必要がある。なお、将来的には「排出量取引制度」の本格稼働や「化石燃料賦課金」の導入など成長志向型カーボンプライシング構想の具体化が進むため、各企業においてもCN実現に向けた取組がより一層必要となることを前提に、金銭的・非金銭的支援を含めた政策を講じることが必要である。

① 値差補填

値差補填とは、市場価格に連動する参照価格が、契約に基づいて決定される権利価格を下

回る場合、その差額を政府が補填するものである。逆に、参照価格が権利価格を上回る場合は、事業者から政府へ差額が支払われる。英国においては、再エネ等で値差補填の導入実績があること、かつ市場原理を活用することで政府コストを抑えられることから、オプションの一つとして検討されている。一方、設備投資費用が高く運転コストが低い再エネと異なり、CDRは運転コスト（エネルギーコスト、CO₂輸送・貯蔵コスト）が比較的高く変動が大きい。そのため制度のスキームが複雑化する。参照価格として確立された市場価格の存在が必要となることが課題として存在する。

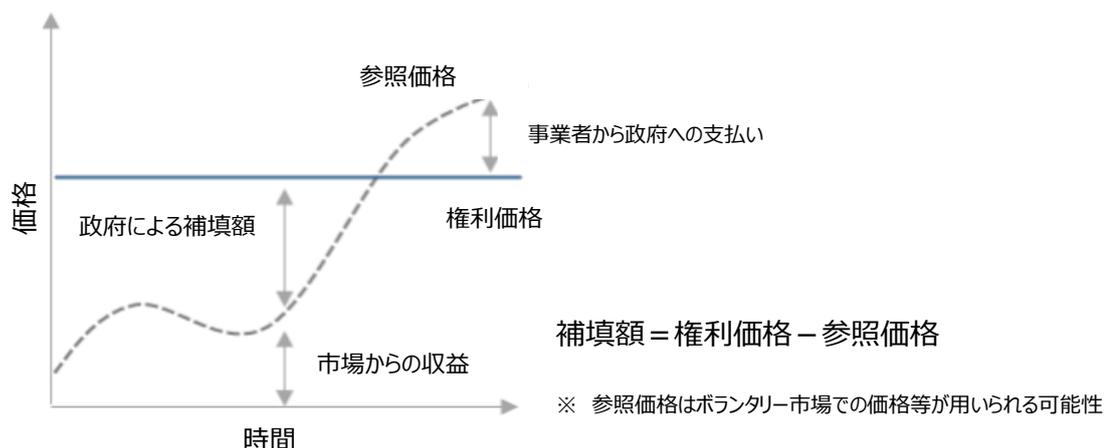


図 5-1-1 値差補填制度のイメージ

② 政府調達

政府調達は、英国で検討されている政策オプションの一つであり、事業者が実施した炭素除去プロジェクトに対して、政府が一定の価格で買取りを行うものである。その際、政府は買取り分をクレジット化して市場に売却する。この場合、政府が確実に買い手となるため民間事業者にとっての予見可能性が高く、市場の発展を促進しやすいという利点がある一方、政府が負担するコストが高くなりうる。また、取引プラットフォームやレジストリの整備など、透明性確保のための行政コストも大きくなる。これが課題として考えられる。

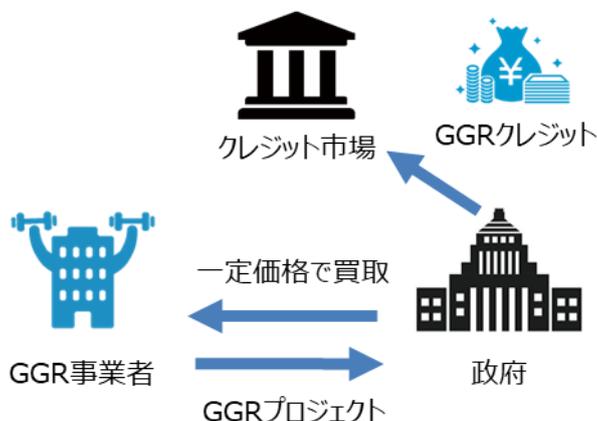


図 5-1-2 政府調達のイメージ

③ 余剰クレジットの買取り

余剰クレジットの買取りも英国で検討されている政策オプションの一つであり、事業者はまず市場へクレジットを売却することを前提とした上で、余剰クレジットが生じた場合は、政府が一定期間毎に固定価格での買取りを保証するものである。市場機能を最大限活用できるため、市場の需要に応じて政府が負担するコストが減少するが、市場価格が低い場合には、市場でクレジットを売るインセンティブが事業者に働かず、逆に市場の発達を阻害する恐れもある。

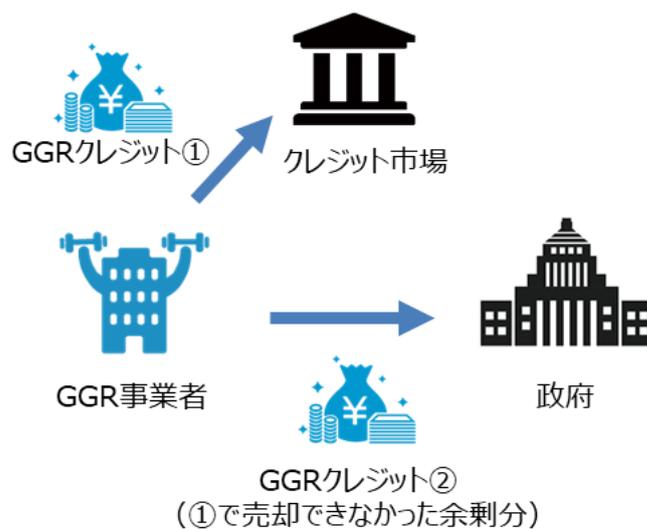


図 5-1-3 余剰クレジットの買取りのイメージ

④ 税額控除

米国では投資促進策として様々な税額控除を実施しており、2022年に成立したIRAにおいて、CCSに対する既存の45Qタックスクレジットを拡大し、大気から直接回収したCO₂ (DAC)に対するインセンティブを追加している (CO₂の利用には最大130ドル/トン。隔離には最大180ドル/トン)。米国では、もともと税額控除による投資促進策が活用される傾向にあるが、英国は検討の対象としていないなど、各国により、採用する手法は異なっている。

⑤ 設備投資・実証支援

米国は、大気中から回収したCO₂の処理・輸送・貯留・変換の商業化を実証するため、国内の4地域におけるDAC Hubの設置に対し、2026年までの間に35億ドルを投じることを表明している。2022年12月には最初の公募を開始し、DAC Hubの建設に関するFSや基本設計調査 (FEED)、プロジェクト開発に対して合計12億3600万ドルの投資を発表。今後、プロジェクト実施のための調達・建設等に対する支援も行う予定である。

このようにDACCS等の設備投資規模が比較的大きい技術に対しては、設備投資や実証支援が、初期投資のハードルを下げ、事業者への収益の予見可能性を高めるにあたって有効な手法となりうる。

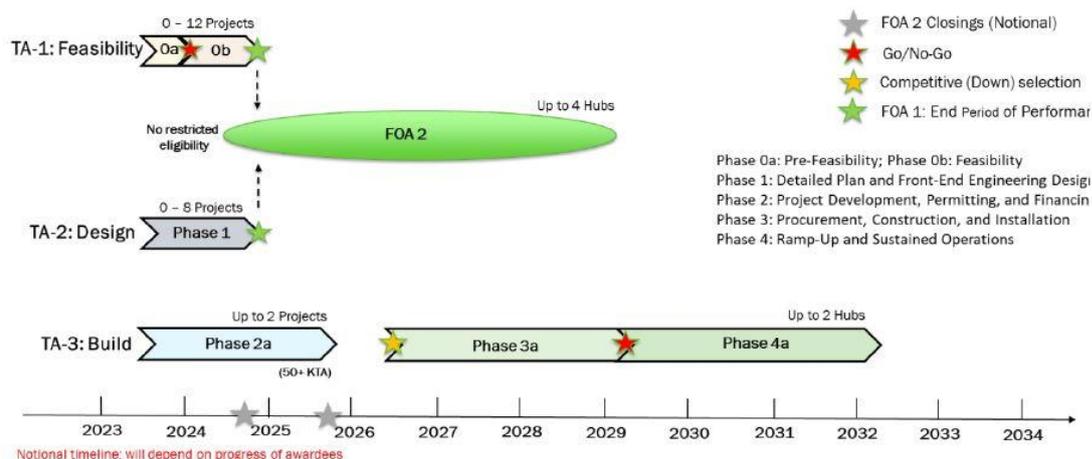


図 5-1-4 米国 DAC Hub の支援スケジュール概要⁵¹

⑥ 研究開発補助

米国は、100 ドル/トンのコスト目標を達成するため、DACCS/DACCU や、海洋由来 CDR、風化促進など幅広い技術の R&D を支援、欧州も、Horizon プログラムなどの各種資金策において、自然系を含む様々な NETs の技術開発を進めている。

国内においても、ムーンショット型研究開発事業において DAC の高効率化・省エネ化や風化促進の評価基盤開発、大型藻類の利活用技術の開発等を行っているところである。また、グリーンイノベーション基金事業においても、食料・農林水産業の CO₂ 等削減・吸収技術の開発と称し、高機能バイオ炭等の供給・利用技術の確立やブルーカーボンを推進するための海藻バンク整備技術の開発等の NETs に関連する技術開発を行っている。技術の初期段階においては、こうした研究開発補助がネガティブエミッション技術のコスト低下に大きく貢献しうる。一方、研究開発投資のみでは長期的な収入の確実性をもたらすものではなく、ネガティブエミッション市場の拡大を直接的に支援するものではないことに留意が必要である。

⑦ 排出量取引への除去の組み込み

EU においては、2023 年 5 月に採択・発行した EU-ETS 指令改正案において、EU-ETS におけるネガティブエミッションの扱いについて、欧州委員会が欧州議会及び理事会に 2026 年 7 月までに報告を行うことを明記するなど、排出量取引への CDR 組み込みに向けた議論が始まっている。また、英国においても、ネガティブエミッション市場としての UK-ETS の活用ポテンシャルについてコンサルテーションを実施しており、UK-ETS への除去の組み込みについて検討を開始している。

排出量取引の対象に除去クレジットを含めることは、需要の長期的な予見可能性を生み出し、投資の促進に寄与すると考えられる。また、将来的に CN の達成に近づく際には、政府が発行する排出枠の量もゼロに近づき、排出量取引制度が排出者間の枠の取引から、

⁵¹ Department of Energy (2022), “Funding Opportunity Announcement (FOA) Number: DE-FOA-0002735”

残余排出者が自らの排出量に相当する除去クレジットを除去者から調達する仕組みへと変わっていく可能性がある。

⑧ 義務量割当

多排出セクターに対して、排出量のうち一定割合の NETs プロジェクト（もしくはクレジット）を購入する義務を発生させるといった手法も存在する。実際に、カリフォルニア州においては、特定の排出主体に対する一定割合の除去の購入義務化に向けた検討が進められており、中長期的には、こうした規制的アプローチの導入も、確実に民間需要を拡大するための有効な手段となりうる。

一方、導入初期においては、義務量を満たすだけの供給が確保されるかは不明瞭であるほか、ペナルティ価格の水準によっては、高価な技術由来のクレジットは買い取られず市場が発展しない恐れもある。さらに、対象とすべき産業や義務量の水準等、詳細設計において公平性の確保にも課題が存在する。

<コラム：政策手法の分類>

政策には、大きく支援的アプローチと規制的アプローチ、金銭的支援と非金銭的支援、さらにそれぞれ直接的・間接的な支援など、様々な手法があり、図 5-1-5 のように分類される。これらの手法を効果的に組み合わせながら、政策を講じることが重要である。

支援的アプローチ	分類	手法	例	目的	
支援的アプローチ	金銭的支援	直接的	補助金・税額控除・値差補填 など	<ul style="list-style-type: none"> ムーンショット型研究開発基金 グリーンイノベーション基金 炭素差額決済等の値差補填支援（英） タックスクレジット（米） など 	技術開発・実証・初期需要創出費用の供給 など
		間接的	政策金融、政府調達 など		
	非金銭的支援	直接的	情報提供・認証 など	<ul style="list-style-type: none"> JICによる出資 DBJ・JBICによる融資、NEXIによる貿易保険 クレジットに関するルール形成 など 	国内外での初期～成熟段階の事業資金の供給 など
		間接的	消費行動変容の醸成 など		
規制的アプローチ	ソフトロー	<ul style="list-style-type: none"> GXリーグ コーポレートガバナンスコード TCFD、IDDI など 	<ul style="list-style-type: none"> CDRIに関する情報提供 標準戦略の推進（議論の場の提供、国際標準交渉 等） 認証制度の確立 など 	市場拡大、ビジネス環境整備 など	
	ハードロー	<ul style="list-style-type: none"> トップランナー制度 排出量取引制度 化石燃料賦課金 など 	<ul style="list-style-type: none"> 消費行動変容の醸成 など 	社会受容性の向上 など	

図 5-1-5 政策手法の分類

また、既に形成されつつある海外市場への展開の後押しも進めていく必要がある。例えば、一般的な海外展開に向けた支援の例として、NEXI の環境イノベーション保険や、JBIC GREEN 等が存在する。こうした海外展開支援の活用可能性も検討しつつ、CO₂回収・除去技術についても積極的な海外展開を今後推し進めていくことが必要である。

「環境イノベーション保険」

環境イノベーション保険の付与

↑

NEXI

環境イノベーション保険の効果

- ① 特約付与により、信用危険のカバー率を **97.5%まで引き上げ**
- ② 通常案件よりも最大1%程度の保険料率優遇効果を見込む

<対象プロジェクトの例>

- ① **再生可能エネルギー関連**
 - 洋上風力、可変速揚水発電、太陽光、地熱、バイオマス
- ② **省エネルギー関連**
 - スマートグリッド
 - ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）
- ③ **その他環境関連の新技术**
 - 炭素回収・利用・貯留技術（CCUS・カーボンリサイクル）
 - 水素・燃料電池関連技術
 - 系統安定化技術（蓄電）

等

図 5-1-6 海外展開に向けた支援例：NEXI 環境イノベーション保険

➤ **対象事業**

- ✓ 地球温暖化の防止等の地球環境の保全を目的として、温室効果ガス排出量削減効果が大きいなど、地球環境保全効果が高い事業とJBICが認める事業。(なお、GREENとしての取り上げにあたり、JBICが温室効果ガス排出削減効果の定量的確認が必要と判断する事業については、J-MRVガイドラインを準用し、計画排出削減量の算出を行うことで、削減効果が認められることを確認する。)

➤ **対象分野（一例）**

再エネ・次世代エネ	太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマス発電、水素・燃料アンモニア製造など
省エネ・熱供給	CCUS付き石炭火力、コージェネ、燃料電池など
エネルギー需要	鉄鋼・セメント・化学、紙パルプ等における高効率化設備・技術や改修案件など
グリーンイノベーション	デマンドレスポンス、系統用蓄電池、EVなど
その他温室効果ガス削減	二酸化炭素回収（CC）、二酸化炭素回収・貯留（CCS）、二酸化炭素回収・輸送・利用（CCUS）、植林・森林保全など

➤ **具体的な支援例**

(1) **民間金融機関との協調融資・保証**

太陽光発電やエネルギー効率の高い発電所の整備等、温室効果ガス排出量削減効果の高い案件に対して、民間金融機関との協調融資又は民間金融機関の融資に対する保証を行うもの。

(2) **国際金融機関等との協調融資**

国際金融機関等が、高い温室効果ガス排出量削減効果を有する途上国の案件に対して融資を行う際に、JBICが当該国際金融機関等と協調融資を行うもの。

(3) **外国企業や国際機関等が設立したファンドに対する出資**

地球環境保全に関する国際的取り組みを踏まえ、外国企業や国際機関等が温室効果ガス排出量削減を目的として設立したファンドに対して出資するもの。

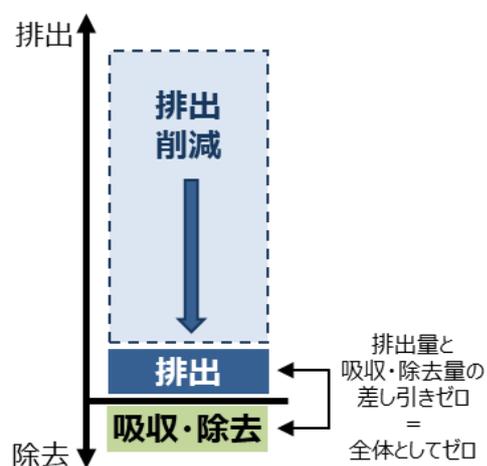
図 5-1-7 海外展開に向けた支援例：JBIC GREEN（Global action for **R**econciling **E**conomic growth and **E**Nvironmental preservation）⁵²

⁵² <https://www.jbic.go.jp/ja/information/news/news-2018/0702-011178.html>

5.2 ネガティブエミッション市場創出に向けたクレジットの活用環境の整備と初期需要の拡大

5.2.1 除去クレジットの活用環境の整備

我が国の 2050 年 CN 達成と NETs の産業化を実現するためには、CO₂ 排出を行う主体と除去の取組を行う主体との間で、CO₂ 除去の価値を取引するためのカーボン・クレジットの活用環境を整えることが必要不可欠である。現状、国内で活用できる除去クレジットの種類や量は限られているが、2050 年 CN の達成に向けて、ネガティブエミッション技術等に由来する除去クレジットの必要性が今後高まり、CN 達成後に利用できるのは基本的には除去クレジットのみとなることが予想される。そのため、技術ベースでの除去（DACCS, BECCS）やブルーカーボン等の新たなクレジットの活用・拡大が必要である。なお、2022 年 6 月に公表したカーボン・クレジット・レポート⁵³においても、除去クレジットの創出拡大等を取組の方向性の一つとして提示している。



日本における 2050 年 CN 達成のイメージ

- ✓ 我が国が目標として掲げる 2050 年の CN とは、人為的な GHG 排出量と人為的な GHG 除去量が釣り合っている状態を意味しており、この状態を達成するためには、除去量の拡大が必要である。これに貢献するものとして、GHG 排出を行う主体と、炭素吸収・炭素除去を行う主体との間で、カーボン・クレジットを介した取引の仕組みを活用することが考えられる。また、炭素吸収・炭素除去の取組は、カーボン・クレジットとして環境価値化し、他者に移転できることで、取組を実施するインセンティブがより働くものである。

図 5-2-1 カーボン・クレジットを介した取引による CN 達成のイメージ

国内において活用可能な政府主導型のクレジット制度として、J-クレジット、JCM が存在する。まずは、これらのクレジット制度における除去クレジットの創出拡大を図ることが重要である。J-クレジット制度は、主に省エネ・再エネ設備の導入や森林管理等による温室効果ガスの排出削減・吸収量を対象とし、2022 年には 83 万トンのクレジットを認証、2023 年 3 月時点での累計認証量は 1,102 万トン（うち、除去系は 70 万トン）である⁵⁴。現在、J-クレジットにおいては植林・森林管理などの森林系やバイオ炭の農地施用が除去系の方法論として方法論化されている。（方法論とは、排出削減・吸収に資する技術ごとに、適用範囲、排出削減・吸収量の算定方法及びモニタリング方法等を規定したものである。）クレジット化に向けて新たな除去系技術を J-クレジットの方法論として追加するには、方法論の適用条

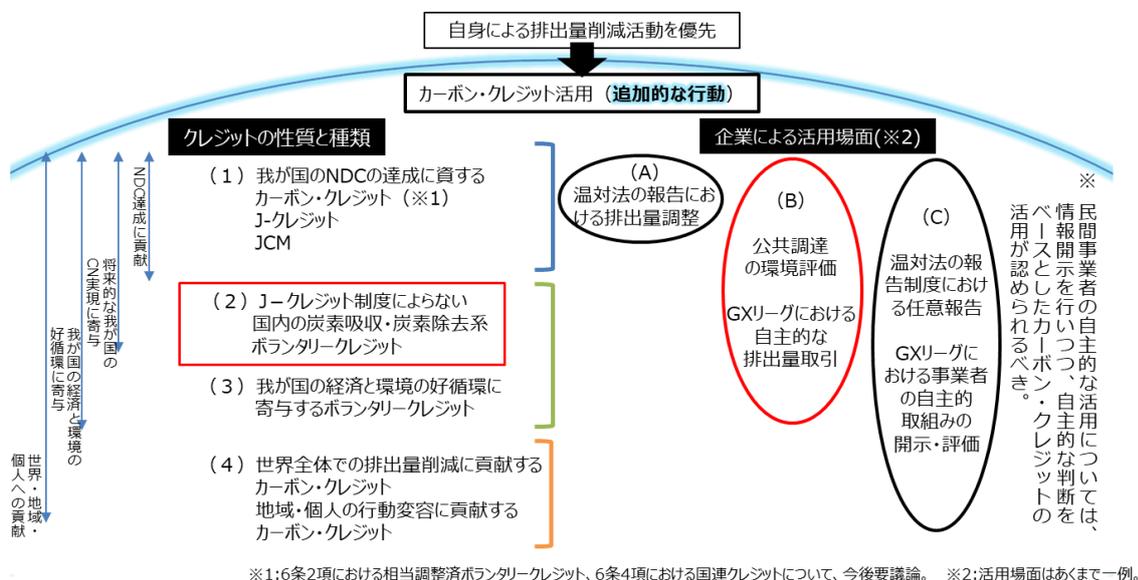
⁵³ <https://www.meti.go.jp/press/2022/06/20220628003/20220628003-f.pdf>

⁵⁴ J-クレジット制度事務局（2023），J-クレジット制度について（データ集）

件やベースラインの設定、算定方法等が課題となる。

また、海外での排出削減・吸収を対象とする二国間クレジット制度（JCM）においては、排出源から回収された CO₂ の CCS（削減系 CCS）を対象とした実現可能性調査や、JCM の枠組みにおいて CCS 関連のプロジェクトを実施のためのルール・制度の見直し作業を実施中である。将来的には、海外で実施される DACCS、BECCS 等の除去系プロジェクトについての JCM クレジット化のニーズの高まりも考えられる。この時、クレジット化にあたっては、現在行っている削減系 CCS についての検討の成果や知見も踏まえつつ、除去効果の定量化や MRV 手法の構築が必要となる。

除去クレジットの創出拡大という供給面での取組と同時に、排出量取引制度における除去クレジットの活用拡大という需要面の取組も進めることが必要である。国内の排出量取引制度については、2023 年度より、GX リーグにおける排出量取引制度（GX-ETS）の第 1 フェーズが開始されており、参画企業は、実排出量が自主目標排出量を超過した場合、適格カーボン・クレジット等を調達・使用することで自主目標を達成することが可能となっている。この適格カーボン・クレジットについては、まずは J-クレジット及び JCM クレジットが対象として扱われるが、今後追加すべき適格カーボン・クレジットの要件について検討が予定されている。この時、インベントリという観点で必ずしも国内の排出量への影響を示していないものの、将来の除去の拡大に貢献するようなカーボン・クレジットについても、カーボンニュートラル達成後に利用できるのは基本的には除去クレジットのみとなることを念頭に、適格カーボン・クレジットとしての位置付けについて検討を進めていくことが望ましい。



出典：カーボン・クレジット・レポート（一部変更）

図 5-2-2 国内制度におけるカーボン・クレジット活用のイメージ

ボランタリー市場においては、既に一部の NETs を対象としたクレジット取引が進められ

ており、海外では Puro. Earth など NETs に特化したクレジット市場も存在する。今後、除去クレジットの取引拡大のためには、ボランティア市場も積極的に活用していく必要がある。

この際、ボランティア市場におけるクレジットの品質・適格性を満たすための要件<図 5-2-3>が国際的に既に提唱されていることから、こうした要件に沿った技術や測定手法の適用を進めていくことも重要な視点である。

カーボン・クレジットの要件の例：ICROA CODE OF BEST PRACTICE

Unique (唯一性)	・当該カーボンクレジットは、唯一無二であり、二重カウントしてはならない
Real (実際に行われていること)	・全ての排出削減・除去活動は真に行われたことが証明されなければならない
Permanent (永続性)	・カーボン・クレジットは、恒久的な排出削減・除去を表すものでなければならない（国際的に認められている永続性基準年数は100年間）
Additional (追加性)	・プロジェクトベースの排出削減・除去は、そのプロジェクトが実施されなかった場合に発生したであろう排出削減・除去から、追加的なものでなければならない。
Measurable (測定可能性)	・信頼できる排出ベースラインに対して、認められた測定ツールを使用して定量化されなければならない。
Independently verified (独立した検証)	・全ての排出削減・除去は、認定された独立した第三者検証者によって検証されなければならない。

図 5-2-3 ボランティア市場におけるカーボン・クレジットの要件の例:ICROA (International Carbon Reduction & offset Alliance) が定める「ICROA CODE OF BEST PRACTICE」

5.2.2 炭素除去に対する初期需要の拡大

現状、除去クレジットは、市場価格が高く、供給量は限定的である。一方、将来的には除去クレジットの需要が供給を上回り、供給不足となることが想定される。このような状況の中、近年、一定の基準を満たす炭素除去プロジェクトに対する、共同購入・長期オフテイク契約の仕組みが形成されはじめ、民間主体で初期需要が創出されつつあり、こうした市場への参入も重要である。

民間による初期需要創出の一例としては、カーボン・クレジット創出を手掛けるスイスの South Pole 社と、三菱商事が設立した NextGen CDR Facility があげられる⁵⁵。NextGen CDR Facility は、技術系 CDR (※) の普及・促進を目指して、バイヤーとして参加する企業が第三者認証を取得した技術系 CDR 由来の CO₂ 除去価値を共同購入する取組である(※対象技術は DACCS、BECCS、風化促進、バイオ炭、プロダクト・ミネラルリゼーション)。商船三井やボストン・コンサルティング・グループ (BCG) 等がクレジットの買い手として参画しており、NextGen CDR Facility が買い手と売り手 (プロジェクト) を繋ぐ役割を果

たしている。2023年4月の設立後、累計約20万トンの技術系除去クレジットの長期購入契約を締結しており、2025年までに合計1百万トン以上の技術系CO₂除去価値を購入、2030年までに参加企業に検証済みの技術系CO₂除去価値を提供する予定としている。

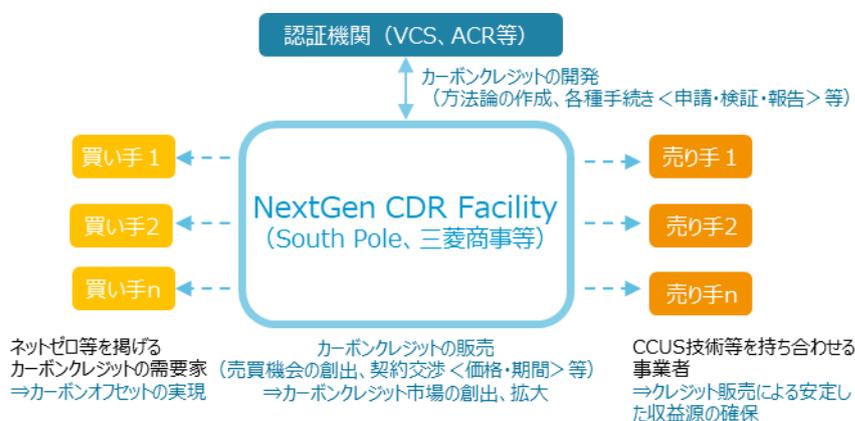


図 5-2-4 NextGen CDR Facility の概要⁵⁵

また、Shopify、Stripe、Alphabet、Meta 及び McKinsey Sustainability の5社が創設した Frontier は、将来の需要を保証することにより技術の開発促進を図るアドバンスドマーケットコミットメント (AMC) のコンセプトを活用した、炭素除去の事前買取主体である。2022年から2030年にかけて10億ドル相当の永久的な炭素除去技術の購入にコミットする予定で、既に、炭素除去関連スタートアップ15社に対して560万ドル(約9千トン相当)を購入コミット済みである。



図 5-2-5 Frontier の概要⁵⁶

⁵⁵ <https://www.mitsubishicorp.com/jp/ja/pr/archive/2023/html/0000051162.html>,
<https://www.mol.co.jp/pr/2022/img/22067.pdf>

⁵⁶ <https://frontierclimate.com/>

国内での早期市場拡大においても、相対的に価格の高い炭素除去への需要を早期に創出するための初期需要の担い手の拡大も重要である。世界に目を転じると、足下、炭素除去分野では IT、金融や航空、船舶等の一部企業が主に初期需要を牽引している。

これらの初期需要には、①炭素除去を活用して早期（2050 年以前）の CN 達成を目指す、先進的なファーストムーバーとしての取組と、②2050 年時点での残余排出を意識した、早期に除去技術を囲い込むための先行投資という 2 つの側面に整理できる。

このうち、①の代表的な例として IT、金融等の企業が挙げられる。Microsoft は 2030 年までのカーボンネガティブと、1975 年の創立以来、直接的に排出及び電力消費により間接的に排出してきたすべての CO₂ を 2050 年までに除去するという目標を宣言し、既に、森林やバイオ炭、ブルーカーボンなどの購入を進めている⁵⁷。2022 年度は 150 万トン以上の除去クレジットを契約し、DAC についても、Climeworks と 10 年間で 1 万トンの炭素除去購入の契約を行った⁵⁸。JP Morgan Chase も 2023 年 5 月に、80 万トン（2 億ドル相当）の CDR を購入することを表明している⁵⁹。既に、Climeworks と 9 年間で 25,000 トン、Charm Industrial（バイオオイル貯留）と 5 年間で 28,500 トンの炭素除去を契約、CO280 solutions（Bio-DAC）と MOU を締結し、今後 15 年間で最大 45 万トンの炭素除去購入の意思を表明した。また、炭素除去の事前買取りを行う Frontier にも 7500 万ドルを出資している。

一方、航空や船舶のような企業は②の代表例として、既に除去技術への先行投資を始めている。Airbus は Carbon Engineering のライセンス販売権を有する 1PointFive とパートナーシップを締結し、4 年間にわたり毎年 10 万トンの除去クレジットを 1PointFive から購入することで合意した³⁴。11 月には、Air Canada など主要航空 7 社と基本合意書を締結し、2025 年～2028 年の 4 年間において除去クレジットを主要航空 7 社に対し供給するための交渉を行うこととしている³⁵。商船三井についても、技術系 CDR の普及・促進を目的とした NextGen CDR Facility にバイヤーとして参加しており、NextGen は、2023 年 4 月に累計約 20 万トンの除去クレジット（BiCRS、DACCS、バイオ炭）の長期購入契約の締結を発表した⁴⁹。また、商船三井は革新的技術の早期市場創出を目指す First Movers Coalition にも参画し、2030 年までに少なくとも 5 万トン（又は 2500 万ドル分）の CO₂ 除去の購入にコミットしている⁶⁰。

⁵⁷ Microsoft（2022）, “Microsoft Carbon Removal: An Update with Lessons Learned in Our Second Year - March 2022”

⁵⁸ <https://climeworks.com/news/climeworks-extends-collaboration-with-microsoft>

⁵⁹ <https://www.jpmorganchase.com/news-stories/jpmorgan-chase-seeks-to-scale-investment-in-emerging-carbon-removal-technologies>

⁶⁰ <https://www.mol.co.jp/pr/2022/22069.html>

5.3 コベネフィットも含めたビジネスモデルの推進と需要家への理解促進

農業や水産業など、CDR が副産物であるような場合、CDR のクレジット収益のみに立脚したビジネスでは、CDR の導入拡大は市場の整備状況等に左右されやすいことを踏まえると、主産業による収益が見通しやすいことも CDR の導入拡大にあたって必要な視点である。今後ネガティブエミッション市場を創出・拡大するための政策支援を実行するにあたっては、コベネフィットも含めたビジネスモデルを推し進めるべく、主産業と CDR を合わせることで、コベネフィットも含めたビジネスモデルが成立する例を発信していくことが重要である。実際に、CDR のコベネフィットにより既存事業の収益性向上や高付加価値化を実現しているビジネスモデルは国内外において存在する。以下、図 5-3-1、5-3-2 にその例を示す。

また、生物多様性の増加や作物収量の増加などのコベネフィットとしての価値や、CDR 自体の価値についての理解が広まることで、こうしたビジネスが創出・受容されやすくなるため、コベネフィットの価値やネガティブエミッションの概念自体について、広く社会への周知を行うことも今後重要である。



出典：グリーンイノベーション基金「食料・農林水産業のCO2等削減・吸収技術の開発」プロジェクト事業概要資料、各社HP

図 5-3-1 国内企業の取組事例⁶¹

⁶¹ <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-co2-agriculture-forestry-fisheries-industries/>
<https://www.sanshosuiko.co.jp/news/20230303001.pdf>
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/003_05_01.pdf
<https://coolvege.com/coolvege/what/>

風化促進	ブルーカーボン	バイオ炭
Inplanet (ドイツ、ブラジル)	Marine Bioenergy (アメリカ)	Carbo Culture (フィンランド)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岩石粉末を土壤に散布することで、風化促進作用によるCO2吸収とともに、土壤へのミネラル (Ca²⁺、Mg²⁺) 供給による、収穫量の向上や栄養価の高い作物の生産を可能とする。 ✓ 風化速度が速い熱帯に位置し、農業が盛んなブラジルにおいて、農家向けに岩石粉末を販売。またFrontierなど大口需要家向けに除去クレジットを提供。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水中ドローンを用いたジャイアントケルプ (大型海藻) の沖合養殖。ケルプを取り付けた延縄 (はえなわ) を水中ドローンで牽引し、夜間は栄養分の豊富な水深300ft以下まで沈降させ、昼間は太陽光の豊富な海水表面で養殖する。 ✓ 養殖したケルプは、エタノールやメタンなどの代替バイオ燃料にも活用。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Carbolysis™と呼ばれる独自の高温高圧での熱分解法を用いることで、炭素含有率が高く (90%)、CO2固定能の高い固体バイオ炭を生成。 ✓ 栄養保持能の高さを活用した土壌改良材としての活用のほか、建設材 (コンクリート) におけるセメント代替材としても販売している。
		 

出典：各社HP

図 5-3-2 海外企業の取組事例⁶²

5.4 必要なルール形成に向けた方針とその検討の在り方

気候変動対策としての CDR には様々な意味、技術が含まれており、未だ国際的に確立した概念・位置づけは存在していない。市場創出に向けた検討にあたっては、技術・目的・段階に応じた最適なアプローチを、関係者が連携して検討し、実現する必要がある。目的別に、どのような認識付け、合意形成、ルール策定の方向性がありうるか、その打ち込み先として考えられる例を、まず<表 5-4-1>に整理した。

表 5-4-1 CDR 関連の様々なルール形成の分類

分類	目的	ルールの例	ルール形成主体の例
① 気候変動対策における CDR の位置づけ	CDR 自体の地位向上により、企業等が CDR に取り組むインセンティブを向上。	<ul style="list-style-type: none"> • CDR を緩和対策の一環として認識 • NDC における「除去」の扱い 	<ul style="list-style-type: none"> • G7、G20 等マルチ交渉 • IPCC、IEA 等の国際機関
② CDR (範囲と技術) の定義	企業等が取り組むべき CDR の範囲の明確化。	<ul style="list-style-type: none"> • CDR に求める要件 (永続性、除去に要する期間等) • CDR に含める技術分類 	<ul style="list-style-type: none"> • ICAO、IMO 等のフォーラム機関
③ CDR の除去効果算定手法を中心とした MRV 手法等	NDC 貢献やクレジットの創出など、それぞれの目的に沿って、除去の効果の測定手法を中心とした MRV 手法等の構築。	<ul style="list-style-type: none"> • 各種フォーラムルール • GHG プロトコル • ISO/IEC • IPCC ガイドライン 	<ul style="list-style-type: none"> • ミッションイノベーションなどのイニシアチブ • GHG プロトコルなど民間主体の国際団体
④ 各技術特有のルール形成	各技術固有の状況 (技術レベル、事業実施環境) を踏まえた、取り組みの明確化。	<ul style="list-style-type: none"> • DACCS プロセスの標準化 • 自然由来 CDR の環境影響評価手法の標準化 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO、IEC 等の国際標準機関 • IPCC 等の国際機関

事務局作成

⁶² (1) <https://inplanet.earth/>
(2) <https://www.carbonfuture.earth/catalyst-blog/inplanet-a-love-for-rocks-and-a-path-to-mitigate-climate-change>
(3) <https://www.marinebiomass.com/>
(4) <https://carboculture.com/>

また、それぞれの分類ごとに、我が国として必要と考えられる今後のアクションを、表 5-4-2 に示した。

表 5-4-2 CDR にかかるルール形成の分類ごとの方針

分類	方針
①気候変動対策におけるCDRの位置づけ	事業者がCDRに取り組むモチベーションの向上にむけ、IPCCやIEAなどの国際機関や、G7をはじめとしたマルチ交渉の成果文書、多国間のイニシアティブ等の活動を通じて、CDRの必要性について合意形成を図っていく。
②CDR（範囲と技術）の定義	企業等が取り組むべきCDRの範囲の明確化を図るため、日本国内での導入しやすさが考えられる風化促進やブルーカーボン（沖合での海藻養殖）を中心に、CDRに求められる要件（永続性、除去に要する期間等）、CDRに含める技術分類を、国内外で明確にする。DACを中心に、公的な枠組みでエンドースすることも視野に入れる。
③CDRの除去効果算定手法を中心としたMRV手法等	除去の効果の測定方法に関する研究の推進、ミッションイノベーションを通じたデータ基盤の構築等を行い、クレジット化等に向けて必要なMRV手法等の構築をすすめる。
④各技術特有のルール形成	特に研究開発段階、実証段階にある技術については、市場・業界が未熟であり、個々のネットワークにより取組が進められている状況である。関係者が集まってルール形成の方針を議論するための場を設けるなど、標準戦略を検討するため『仕組み』を検討する。

大きな方向性として、CDR が、最大限排出削減をしたとしても最終的に排出が避けられない分野からの残余排出を相殺する手段として必須であることについて、引き続き国際社会での理解を図っていくことが必要である。また、技術ごとに、その技術の開発状況、世界のルール形成状況、データ取得の難易度等に加え、クレジット創出か NDC 貢献かといった目的を踏まえながら、国内外での戦略的協調関係の構築を含め、必要な合意形成や知見の発信を、適切な場を実施していくことが重要である。

CDR は、現段階で市場・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ため、国内外ルール形成状況を踏まえ、ど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と考えられる<図 5-4-3>。具体的には、CDR に係る様々なルール形成の取組方針等、分野横断的な検討を行う場と、風化促進・ブルーカーボン・DACCS といった個別技術、CDR 定義や必要な技術基準等の具体的なルールの内容を検討するワーキンググループの構成とするのが、一案と考えられる。

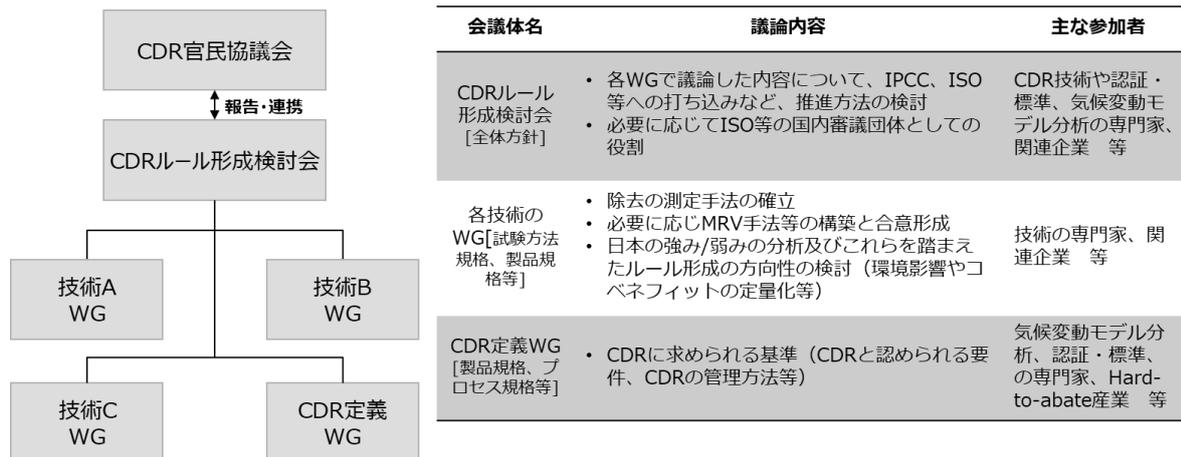


図 5-4-3 協議体の構成と各会議体での議論内容のイメージ

ここで、国内ですでに機能している既存の枠組みとの連携も、迅速な、既存制度との齟齬のない方向性決定のために重要である。既存の枠組みの例として、日本国の1年の温室効果ガス排出・吸収量の算定にあたり、方法やデータの見直し等を担う、環境省の「温室効果ガス排出量算定方法検討会」があげられる⁶³。日本国のインベントリへの算入を目指す場合には、これに合わせた調整が必要となるが、国土交通省の「地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会」が、前記検討会へ、インベントリ算入に資する情報提供を行っている事例がある⁶⁴。

⁶³ <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/committee/index.html>

⁶⁴ https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk6_000069.html

6. おわりに

2050年カーボンニュートラルの達成には、最大限の排出削減をしても最終的にCO₂の排出が避けられない分野からの排出（残余排出）を相殺する手段として、大気中のCDRが必須である。

世界でも、2050年には約20～100億トン/年のCO₂除去が必要とされる中で、近年、米国、EU、英国等の欧米を中心として、CDRの必要性和今後の取組方針を相次いで公表し、導入拡大、社会実装に向けた積極的な政策支援を開始している。

我が国においても2050年のカーボンニュートラルの達成に向けては、産業や運輸の部門を中心とした残余排出を相殺するために、約数億トン/年のCDRが必要とされていることから、これを確実に達成するためにはCDRの拡大に向けた取組を早急に開始することが重要である。その際、海外を中心にCDR市場が拡大しつつあることに鑑みると、我が国が強みを有する技術の国際競争力を強化し、こうした拡大するCDR市場を確実に獲得すべく、各NETsの現在の位置づけや意義/役割を明確化・分析し、適切な取組を行うことが必要である。すなわち、例えばDACCSのように、すでにある程度技術が確立し、海外でも類似の技術による商用化がすでに進んでいる技術については、海外の状況も踏まえた国際展開を含め取組を進めつつ、国内での導入に向けては、様々な制約を踏まえ、省エネルギー・省スペースの技術開発を平行して進める、あるいは、ブルーカーボン管理/大型海藻養殖などのように、今後の産業の広がりも念頭に現在課題となっている除去効果算定方法の確立に向けた研究開発を進めるなど、NETsごとに異なる取組を着実に実施していくことが重要である。

他方で、2050年に確実にNETsが普及し、数億トン/年規模のCDRが達成されるためには、こうしたNETsごとに異なる取組を着実に進めていくだけでなく、除去市場を早期に立ち上げ、NETsの産業化に向けた環境を整備することが必要不可欠である。しかし、除去は削減よりコストが高いことから、自然に導入・市場拡大が進むものではないため、市場の初期段階においては、政府支援策を導入しつつ、CDRの価値を取引するためのカーボン・クレジットの活用環境を整備し、官民合わせて需要を創出していくことで導入を図っていくことが不可欠である。

さらには、その普及・拡大に向けては、未だ国際的に確立されていないCDR)の重要性や概念について国内外で理解を図っていくと同時に、それぞれの技術・目的・段階に応じて、2050年カーボンニュートラルの達成と市場の獲得を見据えた最適なルール形成戦略を官民で協力しながら展開していく必要がある。

今般、CDR市場の創出・拡大に向けて、取り組むべき方向性について、各方面の専門家やCDR技術に取り組む企業からのヒアリングをしつつ整理したものであるが、こうした種々の取組を複合的・効果的に進め、カーボンニュートラルを実現するために、今後具体化されていく成長志向型カーボンプライシング構想の状況も踏まえつつ、官民での議論を継続することにより、NETsの産業化を実現し、ネガティブエミッション市場が活性化していくことを期待する。

ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会

委員名簿

- 上野 貴弘 (一財) 電力中央研究所 上席研究員
- 江藤 学 一橋大学 経営管理研究科 教授
- 桑江 朝比呂 ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 理事長
- 佐藤 努 北海道大学 大学院工学研究院 教授
- 土肥 英幸 ENEOS 総研株式会社 常勤顧問
- 向笠 雄介 (株) 日本政策投資銀行 業務企画部 課長
- 森本 慎一郎 (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
- 山田 秀尚 金沢大学先端科学・社会共創推進機構 准教授
- 横山 伸也 東京大学 名誉教授

ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 開催実績

第1回 令和5年3月15日（水） 9：00～10：30

- 議題： 1. ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会の進め方について
2. ネガティブエミッションに関する海外の制度形成の動向
3. 国内/海外における各技術の現状分析・検討について

第2回 令和5年3月29日（水） 8：30～10：00

- 議題： 1. DACCS/BECCSに関する現状について
2. 関連事業者等からヒアリング

第3回 令和5年4月19日（水） 10：30～12：00

- 議題： 1. 自然由来のネガティブエミッション技術に関する現状について
2. 関連事業者等からヒアリング

第4回 令和5年5月15日（月） 8：00～10：00

- 議題： 1. 産業化の際に重視すべき項目について
2. CDR市場創出にかかるルール形成について

第5回 令和5年5月29日（月） 17：00～18：30

- 議題： 1. 背景・現状整理及び各CDRの現状分析・今後の方向性について
2. ネガティブエミッション市場創出に向けた方針について

第6回 令和5年6月28日（水） 10：00～11：30

- 議題： 1. ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 とりまとめ案について

（すべてWEBによる開催）