

産業化の際に重視すべき項目について

令和5年5月15日

エネルギー・環境イノベーション戦略室

前回までの議論の振り返り①

第1回 現状認識の共有

➤ CDRの考え方について

- 削減と除去の表現をかき分けた方がよい。また、削減・除去は分けて考えることが重要だが、目標設定はネットで設定することが重要。

➤ 技術的観点について

①優先的に取り組むCDR技術の選定について

- 具体的な技術をこの段階で予断しない方がよい。
- 長期的にはリスクの少ない技術が大事。
- 自然プロセスは印象が良いが、慎重なアセス・普及活動が必要。

②各技術の分析・評価について

- 土地利用の考え方が、陸上、沿岸、沖合で異なる。
- 海外と国内で、ブルーカーボンの捉え方が違う。海外だと大型海藻を対象に民間企業がプレイヤーだが、国内のプレイヤーは漁業者が中心。このあたりを区別して考える必要があるのではないか。
- 国内でCCSを実施する体制を構築していく際に、DACやバイオマスエネルギー利用との組み合わせも重要。
- DACはエネルギー確保が課題である一方、バイオマスエネルギーはバイオマス資源がどれくらい活用できるかが重要。
- TRLも大事だが、TRLが上がるまで社会実装しないのではなく、社会実装に当たって何がハードルになっているかを考えるべき。
- 各技術について、時系列での除去（可能）量の見込みがわからないと、技術比較が議論できない。
- 除去ポテンシャル・除去コストについては、不確実性が高く、感度分析や幅で示す、あるいは、同じ条件で検討していく必要がある。
- 国内における森林による除去はTRLが高く、除去ポテンシャルがあるので、この活用について、林野庁等からヒアリングするのも良い。

前回までの議論の振り返り②

➤ ネガティブエミッション市場創出について

①ビジネス化による導入拡大に向けた考え方について

- 適地の観点では（排ガス由来CO₂等の）CCSとDACCS/BECCSが競合するように、削減技術と除去技術が競合する可能性がある。
- コベネフィットが産業化には必要。例えば、コベネフィットが既存製品を代替する場合は、代替物による効果を定量的に評価するルールを作ることにより、導入を促すことができる。
- 45Qのような制度を参考にしながら、技術ごとに日本でどの程度の支援があれば導入が進むのか考えられればよいのではないか。
- グリーンプレミアムやクレジットの価格については、制度で決まってくる部分がある。
- 『除去のバイプロ』が『排出削減した通常のグリーン製品』と競合する場合に、グリーンプレミアムが両方に乗ると『排出削減した通常のグリーン製品』に勝てないので、『除去』にのみ載せるプレミアムである必要がある。

②ルール形成について

- ルール作りを行うリソースや認証を行うリソースが日本には足りない。
- 自然プロセスについては、（不確実性が高いため、）どのように、どれくらいCO₂を削減できるかというルール化が難しい。
- ルール形成を行う際に、日本と海外がwin-winの関係になるようなパートナーシップを組めるような国際連携を考えてほしい。
- 持続性について、『コスト当たりの貯留年数』の基準もあるのではないか。
- 自然メカニズムの解明は早期に完璧を目指すことは困難であるので、不確実性があっても、最低限の削減量や、吸収率や認証率を調整することで早く実装させることもあり得るのではないか。
- 削減効果の確認は、国際的にどれくらいの合意がなされているか・認知されているかという点の視点が必要。

前回までの議論の振り返り③

第2回 DACCS/BECCSについて

- DACCSについて、除去量より発電に伴うCO₂排出量の方が大きいと意味がない。
- CO₂貯留後・固定後の不確実性について、環境影響も含めて、考慮が必要。
- DACCSは需要地域と貯留地域を結ぶ輸送方法の検討が重要。
- DACは貯留と組み合わせないとRemovalにならないとなると、貯留のポテンシャルに限られてしまう。日本として、鉱物化やe-fuelなど、他の選択肢との組み合わせを備えることが必要。
- 海外が先行する中で、日本でのDAC実施/産業化を促進するロードマップを考える必要がある。

第3回 自然由来のNETsについて

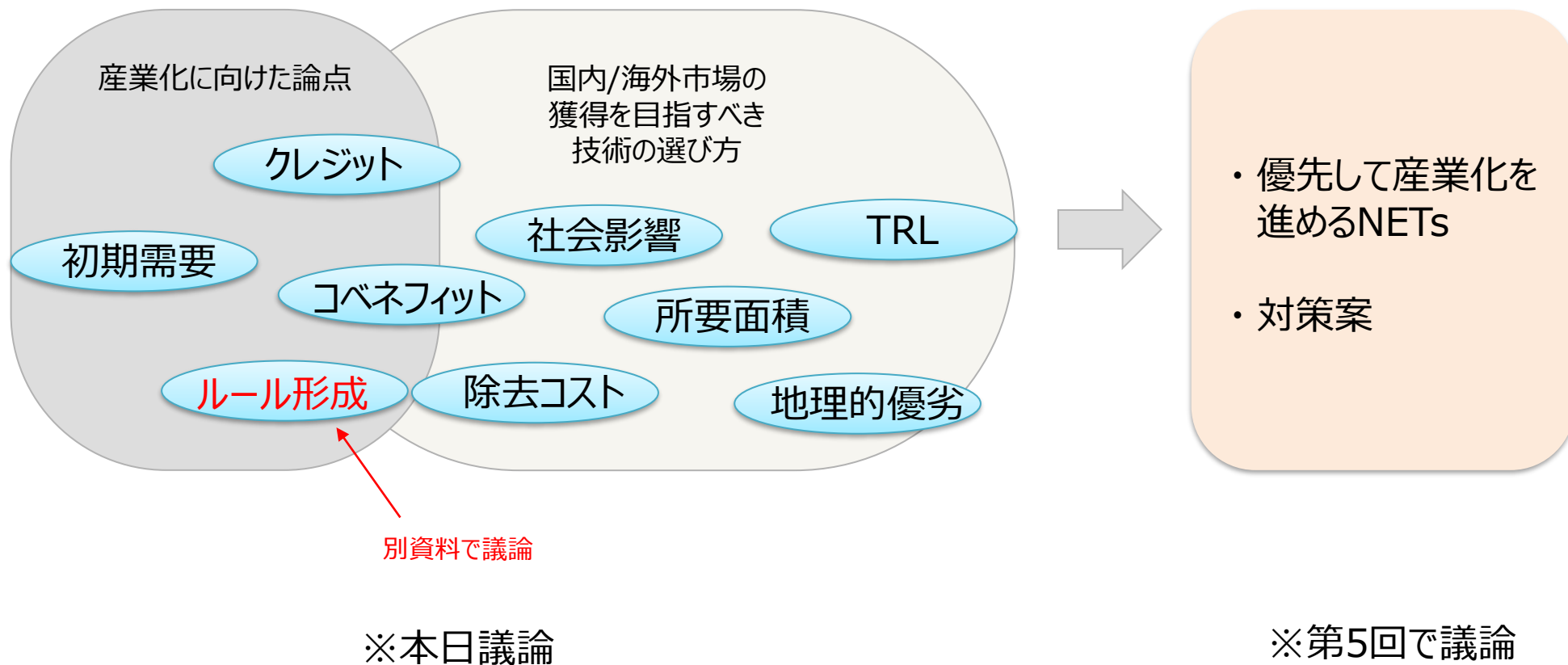
- 自然由来のNETsについては、不確実性が高い技術が多い。
- 脱炭素への貢献や経済価値、生物多様性への貢献といった多面的な観点から評価していくことも必要。
- 様々なコベネフィットや用途が提示されている中で、ビジネスが成立するような仕組みを構築することも重要な観点。
- 研究開発において、効果の検証については科学的な知見・データの整備が重要。
- 一方で、定量的な検証が困難な部分への対応は、当該分野における世界各国の専門家の間でコンセンサスをとる必要があり、コンセンサスが科学的エビデンスとなると思われる。
- 技術ごとに科学的データによる根拠の提示難易度が異なることを踏まえ、日本としてどのようにルール化しデータを整備するか検討することが重要。
- 海外との競合の観点では、自然由来のNETsについては地理的条件等日本に有利な部分もある。一方で、基礎的な研究については遅れている。
- 不確実性が高い技術の社会実装を加速させるためにはある種強引に進める必要性がある。その際のリスク回避策として国からの資金的援助を最初に打ち出し、科学的エビデンスが揃ってきた段階で定期的な見直しを実施するなどのプロセスが必要。

産業化の際に重視すべき項目の整理

優先して産業化を進めるNETSの特定にあたっては、

「産業化に向けた論点」

「国内あるいは海外市場の獲得を目指すべき技術の選び方」に分けて議論する



1. 産業化に向けた論点

2. 国内/海外市場の獲得を目指すべき技術の選び方

1-0. ネガティブエミッション市場の動向

- 一部の試算では、世界のNETs導入量は2050年時点で5.74GtCO₂/年と推定されている。海外においてはNETsのクレジット取引に向けた動きが活発化するなど、先行して市場が存在。また、米国等においては、DACの商用化が進みつつあるとともに、大規模な支援を既に表明しているところ。

✓ 米国でインフレ削減法が成立したことを受け、北米を中心にDAC市場が急速に拡大している。
2030年までにCO₂貯留ポテンシャルが高く、経済合理性の高い海外からのDAC事業化を目指している。

1-1. 市場形成の初期段階における需要の確保と政府支援の在り方

- 2050年CN達成のためには、避けられないCO₂排出を相殺するための炭素除去が必要不可欠ではあるが、一般的に除去は削減よりコストが高く、すぐに導入・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NDC達成のみならず、我が国が強みを有する技術の国際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への需要を早期に創出することで、技術開発投資の加速とコスト低下を促し、市場の形成・拡大を図ることが重要。
- 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る。国内での早期市場拡大に向けては、このような初期需要の担い手の拡大に向けた方策の検討も必要ではないか。
- 市場の初期段階における支援策として、海外では、税額控除や大規模実証支援が措置されているほか、値差補填や政府による調達などの政策モデルについても検討されているところ。国内においても、市場化に向けて政府支援の在り方を考えるべきではないか。また、既に形成されつつある海外市場への展開に向けて、。

✓ 米国/EU等のビジネス支援に類する国内の仕組み作りが必要
✓ CDRで創出した排出権をある一定以上の価格で取引されるよう支援すべき

1-2. 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

- CDRの社会実装のためには、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。また、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。
- 初期の段階では削減以上に除去コストが大いことが想定されるため、除去の定義や範囲を整理したうえで、除去クレジットの取引を促進するための仕組みの検討も必要ではないか。また、現時点では、除去系クレジットの供給量は限られており、DACCS、BECCSやブルーカーボン等の新たなクレジットの活用も重要になると考えられる。

- ✓ 国内におけるCDRクレジット取引市場の早期立ち上げ・整備が必要
- ✓ クレジットのポートフォリオを組む等によるCDRクレジットの価値のラベリングが重要
- ✓ 輸出入の関係性のある国・企業への販売にも使えるようにするなどJクレジットのマーケット醸成を期待

1-3. コベネフィットの重要性

- 一部では高額での除去プロジェクトの取引が行われている例もあり、黎明期のNETs導入拡大に向けて、こうしたネガティブエミッション市場の確立は重要。
- 他方、クレジット収益のみに立脚したビジネスで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、コベネフィットによる収益が見通しやすいことも国内での産業化にあたっては必要。

- ✓ 既存事業の高収益化等、CDRの付加価値として経済合理性を示すことが重要

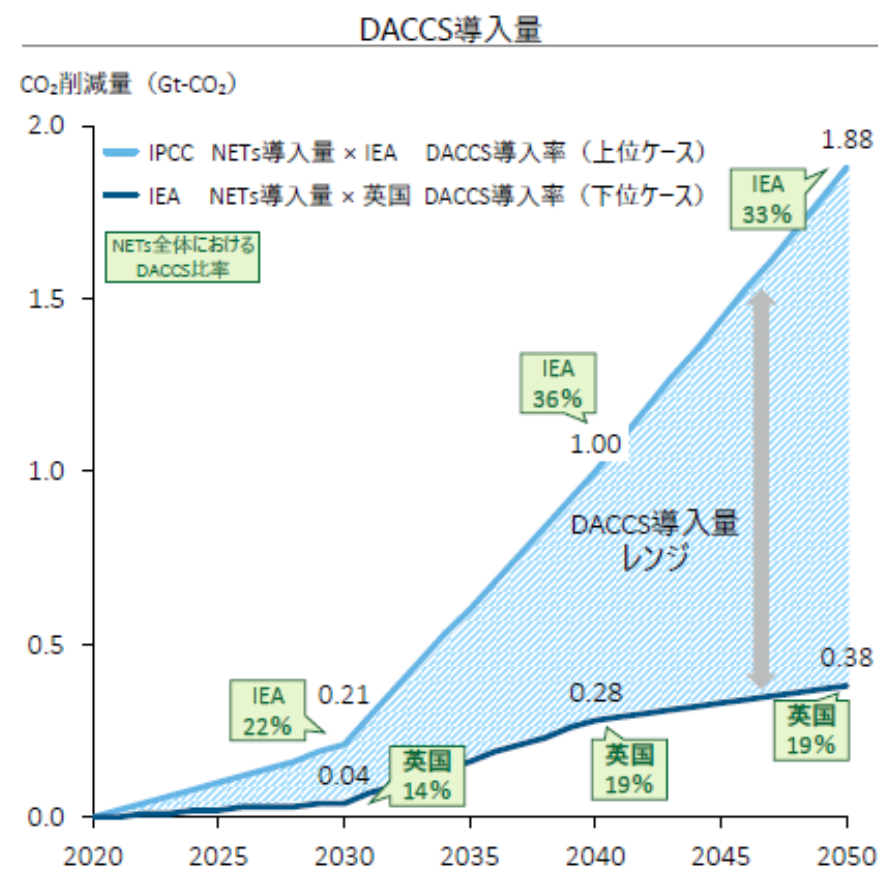
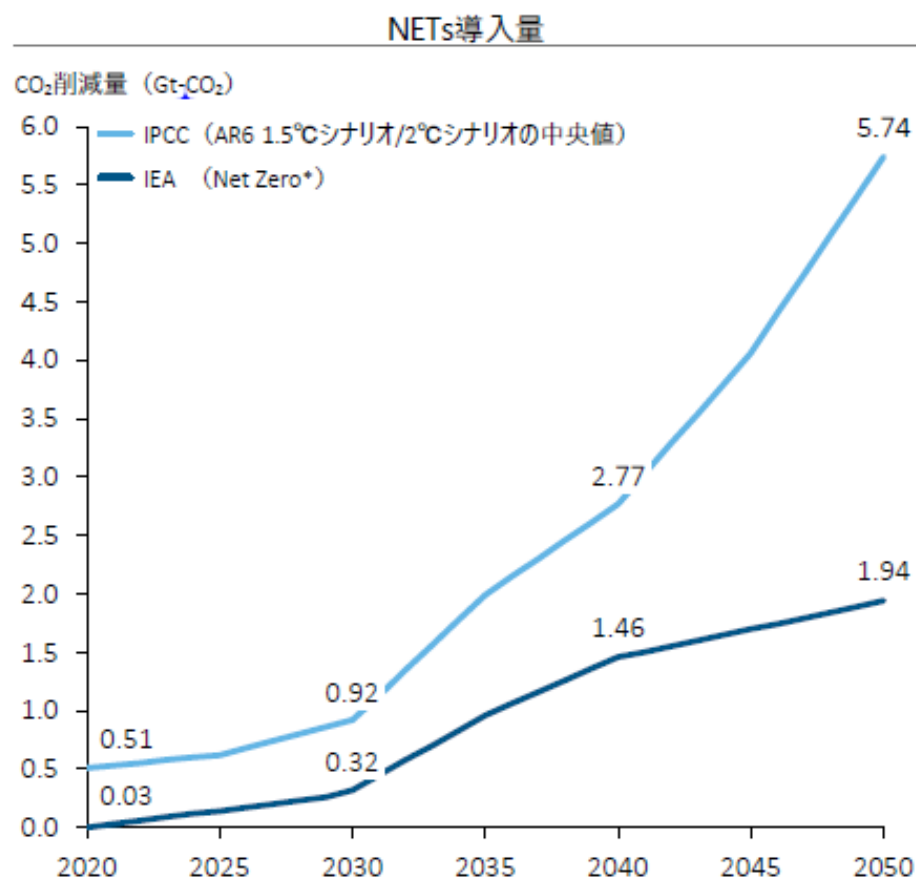
1-4. （議題②にて議論）ルール形成の必要性

- 我が国が強みを持つ技術、我が国固有の資源制約（土地・環境等）を踏まえ国内で実施可能なCDRについては、その技術の正当性に関して国際的な支持が得られるよう、各国関係者との協調関係を構築しながら、正当性の主張に向けたエビデンスの積み重ねと、適切な国際機関等への打ち込みが必要。

- ✓ CO2削減効果の測定手法の標準化が必要
- ✓ 炭素会計LCAによるCO2排出係数を明確化するルール作りが必要

ネガティブエミッション市場予測

- NETs関連の世界市場は年々拡大し、世界でのNETs導入量は2050年時点5.74GtCO₂/年、DACCS導入量は最大1.88GtCO₂/年と見積もられている。

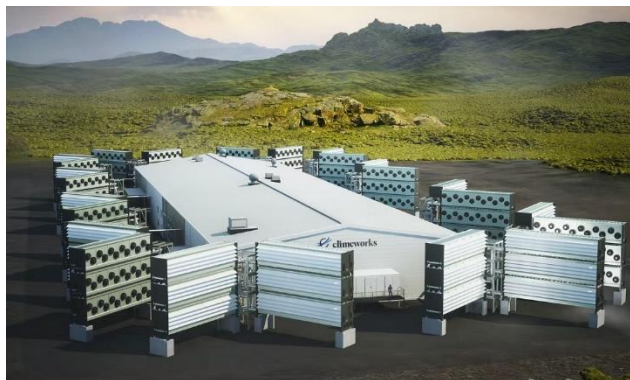


海外市場の動向

- 海外では、DACCSを実施するスタートアップが誕生し、既に金融・ITや国際航空等、一部企業との間で購入契約を結ぶなどの動きが見られる。
- 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。

DAC実施企業の動向

- ✓ Climeworks（スイス）は、Microsoft、Shopify、Stripeなどに対し、世界で初めて第三者認証済の二酸化炭素除去（CDR）を納入したことを発表（2023年1月）。
- ✓ Carbon Engineering（カナダ）のライセンス販売権を有する1PointFiveは、Airbusとパートナーシップを締結（2022年3月）。Airbusが4年間にわたり40万トンの炭素除去クレジットを購入することで合意。また、AirbusはAir Canadaなど主要航空7社と基本合意書を締結し、主要航空7社が、2025年～2028年において炭素除去クレジットの事前買取について交渉を行うことを約束した（2022年11月）。



出所：Climeworks

海外NETsクレジット市場の例：Puro. Earth

- ✓ 世界初の炭素除去クレジット市場および証書発行主体。
- ✓ 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。
- ✓ 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）、木質バイオマスの5つ。
- ✓ シンガポール証券取引所等が設立したカーボンクレジット取引所「クライメート・インパクトX（CIX）」と昨年6月に戦略的提携を発表、今後CIXでPuro. Earthのクレジットを扱えるようになる予定。

対象プロジェクト例



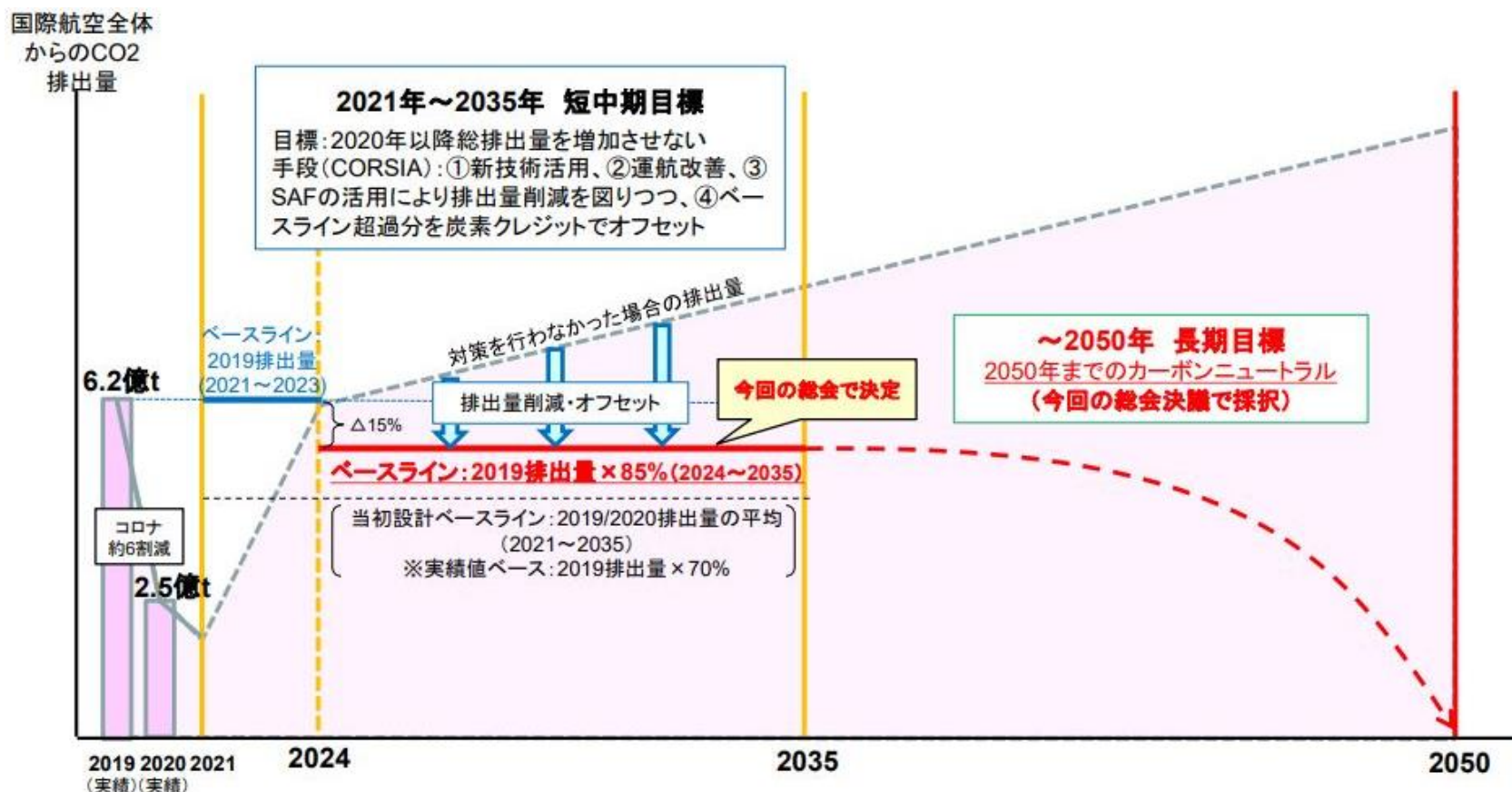
国：フィンランド
技術：バイオ炭
価格：270€ / tCO2（CORC1単位）



国：オーストラリア
技術：DAC
価格：900€ / tCO2（CORC1単位）
備考：2024年より事業開始

参考：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）は第41回総会（2022年10月）において、2050年までのカーボンニュートラル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。
- 目標達成の手段として、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（炭素クレジットの活用）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。

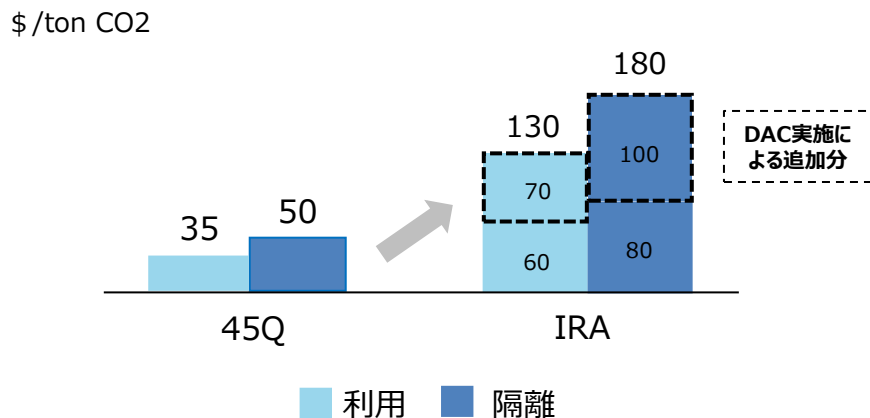


参考：各国における支援策の例

- 米国は、2022年8月に成立したインフレ削減法案（IRA）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、1トン当たり最大180ドルを税額控除。
- 英国は、発電目的のBECCS（Power BECCS）に対する値差補填支援を検討中。また、DACCS等の工学的プロセスに広く適用しうるビジネスモデルについて、値差補填を含むオプションを整理、詳細な制度設計について意見を募集。

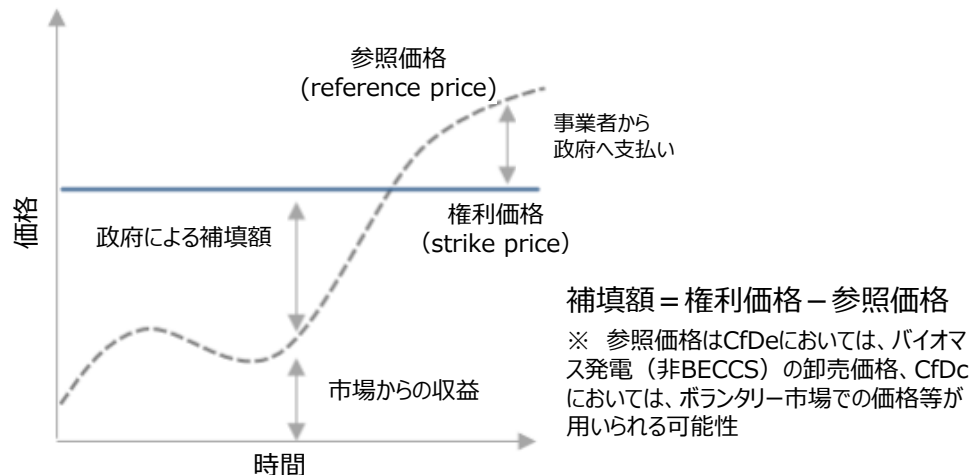
IRA法に基づき45Qクレジット拡大（2022.8）

- ✓ 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に対するインセンティブを追加。
- ✓ CO2の利用には\$ 130/トン。隔離には\$ 180/トン。



Power BECCSビジネスモデル

- ✓ ①投資対効果、②利益最大化、③コスト最小化、④投資可能性（リスクの適正配分や収益の予見性等）、⑤タイムラインの5つの判断基準を基に検討を深め、炭素クレジット(CfDc)と発電(CfDe)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。



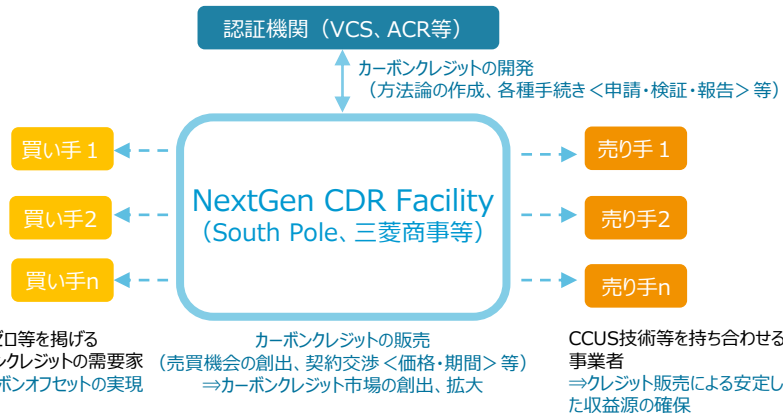
初期需要の確保 早期市場拡大に関する動向

- 現状、炭素除去クレジットは、市場価格が高く、供給量は限定的。一方、将来的には需要が供給を上回り、供給不足が見込まれる。炭素除去への需要シグナルを早期に創出し、供給側の予見可能性を高めることで、技術開発投資の加速とコスト低下を図ることが重要。
- 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る。
- 国内での早期市場拡大に向けては、このような初期需要の担い手の拡大も必要ではないか。

NextGen CDR Facility

- ✓ 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り組み
- ✓ 2025年までに合計100万トン以上の技術系CO2除去価値を購入し、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

(※) 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を対象として検討



Frontier

- ✓ 将来の需要を保証することにより炭素除去技術の開発促進を図るアドバンストマーケットコミットメント (AMC) のコンセプトを活用して、FinTech大手 Stripe等が2022年4月に立ち上げ。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。現在、炭素除去関連スタートアップ15社に対して560万ドル (約9,000tCO2相当) を購入コミット済み。

Frontier の仕組みの概要

一例



1| Frontier は需要を集計して年間最大支出額を設定

購入者は、2022年から2030年の各年に炭素除去に対して行う支出額を決定します。Frontierは、コミットメントを集計し、年間の総需要プールを設定します。サプライヤーは、定期見積依頼プロセスの一環として応募します。

2| Frontier はサプライヤーを精査して炭素除去の購入を促進

初期段階のサプライヤーが行う契約は、ほとんどの場合、少量の事前購入の形をとることになります。規模拡大の準備が整っているより大きなサプライヤーの場合、Frontierは、達成時に、合意した価格でトン単位の炭素除去を購入するオフテイク契約を進めます。

3| サプライヤーは二酸化炭素を除去し、買い手にトン単位で返還

トン単位で二酸化炭素が除去されると、サプライヤーは支払いを受けます。オフテイク契約の場合、買い手にトン単位で払い戻されます。

市場の初期段階における政府支援策の例（英国）

- 市場の初期段階においては、政府による需要喚起やインセンティブ付けも重要と考えられる。
- 英国は、GGR(Greenhouse Gas Removal)の普及拡大のため、DACCSやBECCS等の工学的手法を対象に、安定した価格インセンティブを付与するための契約ベースのビジネスモデルを初期的に検討。
- CfD、Payment、Guaranteeの3つのオプションを提示のうえ、適切なモデルや支援期間、レビューメカニズムのあり方等について意見を募集（2022年7月-9月）。

Negative emissions Contract for Difference (CfD)

- ✓ 参照価格（市場価格に連動）が権利価格を下回る場合、差額を政府が補填。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。
- …再エネで導入実績あり。市場原理を活用可能。
- ×…技術によりコストが変わるため、スキームが複雑化。

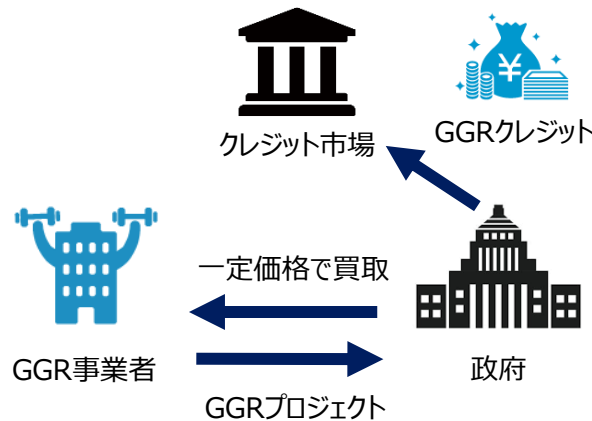
補填額 = 権利価格 - 参照価格

※ 参照価格はボランタリー市場での価格等が用いられる可能性



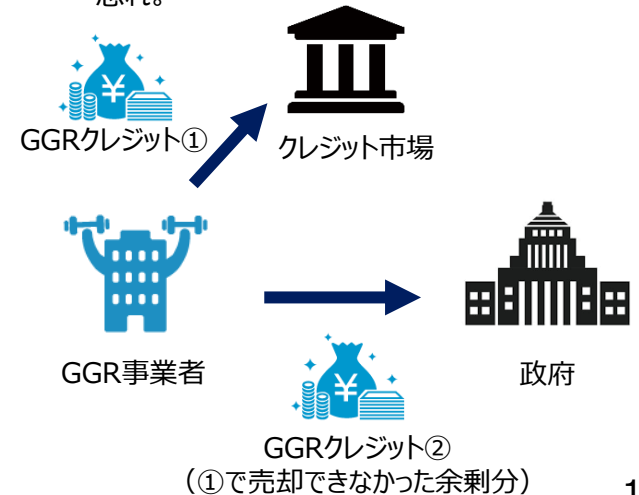
Negative emissions Guarantee

- ✓ GGR事業者が実施したネガティブエミッションに対して、政府が一定の価格で買取。政府は買取分をクレジット化して市場に売却。
- …民間事業者にとって予見可能性が高い。NETs市場の発展を促進。
- ×…政府にとってクレジット価格リスク有り。行政コストが高い。



Negative emissions Payment

- ✓ GGR事業者はまず市場へクレジットを売却。余剰クレジットが生じた場合は、政府が一定期間毎、固定価格での買取を保証。
- …市場機能を最大限活用。市場の需要に応じて政府が払うコストが減少する。
- ×…市場価格が低い場合、市場でクレジットを売るインセンティブが付き、市場の発達を阻害する恐れ。

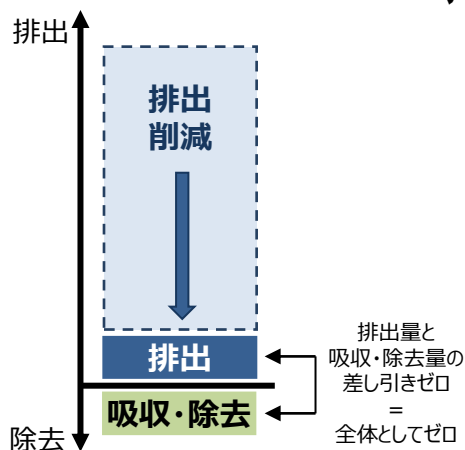


NETsクレジット 活用の意義

- NETsの社会実装を促進するためには、プロジェクト実施者に対するインセンティブ付与としてカーボンクレジットの活用環境を整えることが重要ではないか。
- また、2050年CN達成のためには、吸収・除去系のクレジットの活用が重要となるが、現状森林吸収系のクレジットの供給量は限られており、今後は、技術ベースでの除去クレジット（DACCS, BECCS）やブルーカーボン等の新たなクレジットの活用も重要になるのではないか。
- 2022年6月に公表したカーボン・クレジット・レポートでは、炭素吸収・除去系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たところ。

カーボンニュートラル達成時における 炭素吸収・炭素除去系カーボン・クレジットの重要性

- ✓ 我が国が目標として掲げる2050年のカーボンニュートラルとは、**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。



日本における 2050 年CN達成のイメージ

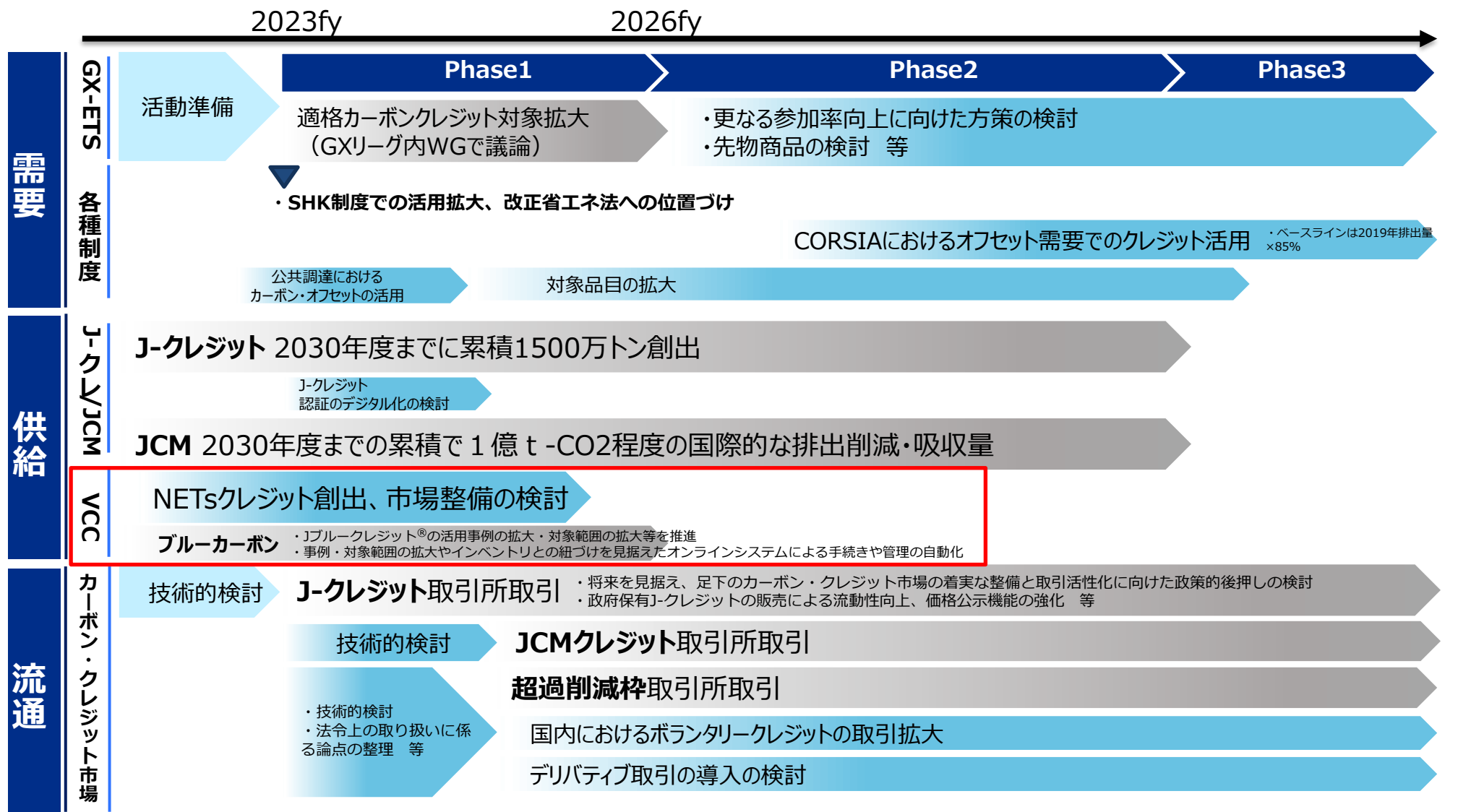
カーボンクレジットの適切な活用に向けた 取組の方向性と具体策 ※一部抜粋

（供給面での取組）

- **NDCの達成に資するカーボン・クレジットの創出拡大**
- J-クレジット、JCMの排出削減・炭素吸収・炭素除去量の確保
- **J-クレジット制度によらない炭素吸収系・炭素除去系クレジットの創出拡大**
- 自然由来の国内ボランタリークレジット創出の促進
- NETs（ネガティブエミッション技術）の開発及びNETsクレジット創出の促進
- 炭素吸収・除去クレジットの将来の創出に対する投資・調達コミットメントの促進

参考：クレジット活用拡大に向けた取組に関する方向性のイメージ

- カーボン・クレジット・レポートを踏まえ、カーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備をさらに進めるための、需要・供給・流通に関する各施策について具体化の方向性を3月に提示。



コベネフィット（ビジネスモデルに関する考え方）

- 黎明期のNETsの導入拡大に向けて、「除去」によるグリーンプレミアム※を支払い、高額での取引が行われている例はあり、こうしたネガティブエミッション市場の確立は重要

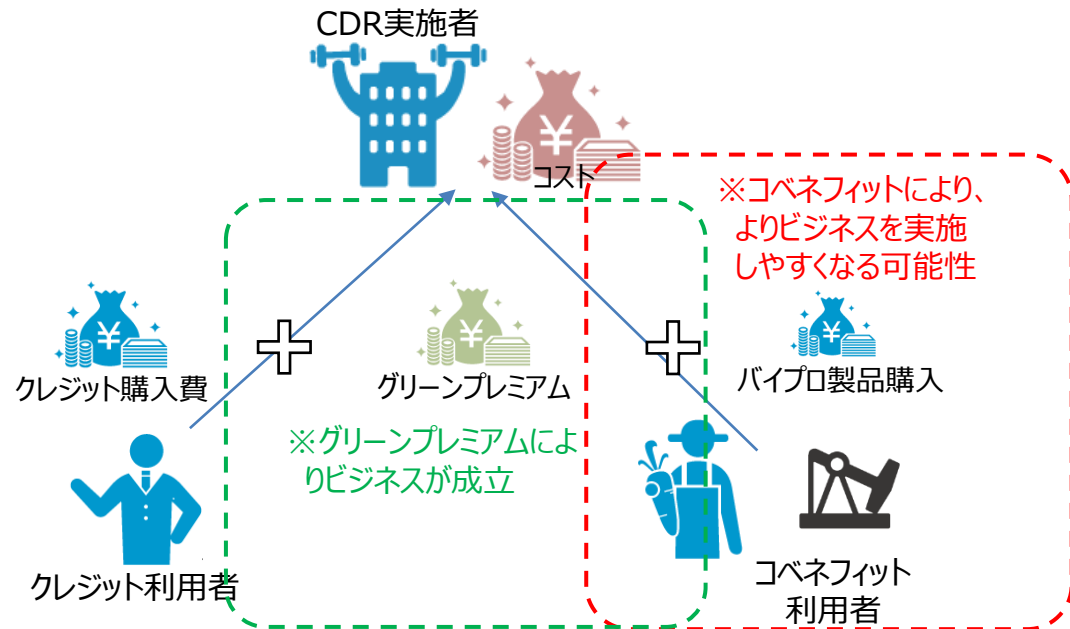
※ ここでのグリーンプレミアムとは、市場価格と比して高いクレジットの購入を促進する何等かのインセンティブを指す。

- 他方、クレジット収益のみに立脚したビジネスで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、コベネフィットによる収益が見通しやすいことも産業化にあたっては必要な視点ではないか。

【ビジネスモデルに関する考え方（案）】

ビジネスモデルは下記 3 パターンが考えられるのではないかな。

- ① **グリーンプレミアムのみ**によりビジネスが成立
例：DACCS等のクレジットをより価値の高いクレジットとして販売しビジネスが成立するパターン
- ② **コベネフィット**によりビジネスが成立
例：肥料をバイオ炭に転換しグリーンプレミアムがなくてもビジネスが成立するパターン
- ③ **コベネフィットとグリーンプレミアムの双方**によりビジネスが成立
例 1：BECCSのようにバイオエネルギーによる価値と、より価値の高いクレジット販売によりビジネスが成立するパターン
例 2：グリーンプレミアムのついたDAC由来燃料を販売しつつ、グリーンプレミアムのついたDACCSクレジットを販売し、ビジネスが成立するパターン



【コベネフィットの例】

作物収量の増加（バイオ炭）、植物の生育促進、浸食の減少（風化促進）
沿岸保護、生物多様性の増加、工業用や材料用の原料生産（ブルーカーボン管理）

1. 産業化に向けた論点

2. 国内/海外市場の獲得を目指すべき技術の選び方

国内/海外市場の獲得を目指すべき技術を整理する際の視点

- 技術的視点と導入環境的視点に分けて整理すると、
- 技術的視点としては、②除去コスト(国内外)(/t-CO₂)、③除去ポテンシャル(国内外)(t/y)、④技術力の国際比較、が挙げられる
- 導入環境視点としては、⑤所要陸面積(t/m²)、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、⑨各国の取組の状況、⑩コベネフィット、が挙げられる

	視点	考慮する事項、理由等
技術的視点	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技術力の国際比較	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）
導入環境的視点	⑤所要陸面積	日本においては国土が限られるため
	⑥除去効果確認	技術開発で目指すべきレベルや、技術に合わせたルール形成の必要性等が変わる。炭素の固定期間も重要な指標となる。
	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

視点：①TRL、②除去コスト、③除去ポテンシャル、④技術の国際比較

分類	TRL	除去コスト \$/tCO ₂ * ¹		除去ポテンシャル GtCO ₂ /年* ²		技術力の国際比較* 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	12680	240~30000* ⁴	< 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。

*1:2050年想定CO₂削減コストの中央値 *2:2050年の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり。

*3:Web of Scienceでの検索結果（論文数）（2000年~2022年）*4:マングローブ：240USD、塩性湿地：30,000USD、海草：7,800USD

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

視点：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	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)}	○ 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	-	-	○ 世界第6位の排他的経済水域、海岸線の長さを持つ ^{1) 12)}	
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	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⁾ × 再エネ電力が高価 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⁾
DACCS	4	済	× 安価な再エネ電力が必要 ¹⁾ × CCS適地が少ない ¹⁾	○ 水を大気から除去できる可能性あり ¹⁹⁾ × CO ₂ 地中貯留に伴う漏出のリスクあり ⁶⁾
BECCS	379	済	○ 木質資源のポテンシャルはある ¹⁾ × CCS適地が少ない 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	済	○ 大きなエネルギー消費を伴う工程はない ¹⁾ ○ 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	要	-	× 農作物管理方法の変更はリスクあり ⁹⁾
バイオ炭	580	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⁾	○ バイオ炭により土地改良により収量増加が可能 ¹⁰⁾ × 含まれる化学物質による汚染等のリスクあり ¹⁰⁾ × 土壌からのCH ₄ とN ₂ O排出量の削減が可能 ¹⁸⁾

〔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) Meysman and Montserrat (2017)、Montserrat et al. (2017)、3) NATIONAL ACADEMIES「A Research Strategy for Ocean-based Carbon Dioxide Removal and Sequestration」(2022)、4) Ondiviela et al. (2014)、Orth et al. (2006)、Unsworth et al. (2019)、5) Younger and Wolkersdorfer (2004)、Edards et al. (2017)、6) NASEM(2019)、7) Fajardy et al. (2021)、Svensson (2004)、8) Liu et al. (2014)、El Akkari et al.(2018)、IPCC (2022)、9) CDR Primer (2021)、10) Frank et al. (2017)、Smith et al. (2019)、Nair et al. (2017)、Tisserant and Cherubini (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(COCN)、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 (NEDO TSC)、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(CRDS)、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(三菱重工)、15) Bach et al. (2019)、Meysman & Montserrat (2017)、16) Law (2008)、17) Keil et al. (2010)、Sovacool (2021 18) Joseph et al 202119) Sandalow et al. (2018)、Fasihi et al. (2019)

視点：⑨各国の取組状況

いずれの国・地域もCN達成のためにはCDRが必須であることを認識した上で、様々な技術を対象に**研究開発や実証に向けた支援、削減効果確認方法の検討**等を実施。

CDRに対する認識、関連政策等

アメリカ

- 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つの戦略が必要だと主張。
- CDRの技術実証や市場拡大のため、**Carbon Negative Shot**を立ち上げ、**100 \$ 未満/トン**へのコスト削減など、4つの性能目標を達成することを目指す。
- 2022年8月に成立したインフレ削減法案（IRA）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、**1トン当たり最大180ドルを税額控除**。

EU

- 2050年気候中立の達成に向けて、**最優先はGHG排出削減だが、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**との認識。
- 2021年12月に、炭素除去に関する行動計画「Sustainable Carbon Cycles」を採択。**カーボンファーマーミング（炭素農業）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**。
- 2022年11月に、欧州委員会は、質の高い炭素の除去を確実に認証するための、**EU全域を対象とした初の自主的枠組み**として、EU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.T.Y）を提案**。

UK

- Net Zero Strategyにおいて、CDRを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。2021年には、Greenhouse gas removal（GGR）の手法・ポテンシャルを分析。
- また、GGR投資へのインセンティブを高めるための**ビジネスモデルや市場の発展、DACCSなどのイノベーション促進のために1億ポンドを措置**。**測定・報告および検証制度（MRV）確立のための選択肢の検討**等の方針を表明。
- 2022年7月にBusiness Models for Engineered GGRsを公表し、GGR導入拡大に向けて必要な、**炭素差額決済等の民衆の契約に基づくビジネスモデルの構築に向けた検討**を実施。また、特にBECCSについてはBusiness Models for Power BECCSを公表し、発電された電力の保証価格やCO2の価格を検討。

視点：⑨各国の取組状況

いずれの国・地域もCN達成のためにはCDRが必須であることを認識した上で、様々な技術を対象に研究開発や実証に向けた支援、削減効果確認方法の検討等を実施。

		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	MS(※2)	5億円(※3)	3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

視点：⑩コベネフィット

- 自然プロセスは、コベネフィットにより収益性の向上が見込まれる技術あり
- 主目的は別にあり、CDRが副産物となっている例もあり

バイオ炭

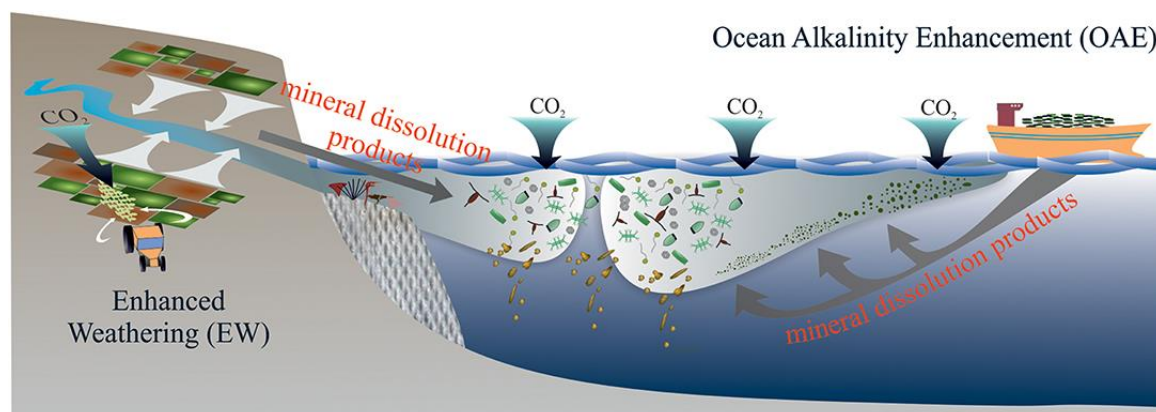
- ✓ 土壌改良資材として古くから農業現場で有用性（土壌の保水性・透水性向上、ミネラル補充など）が認識されている

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

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

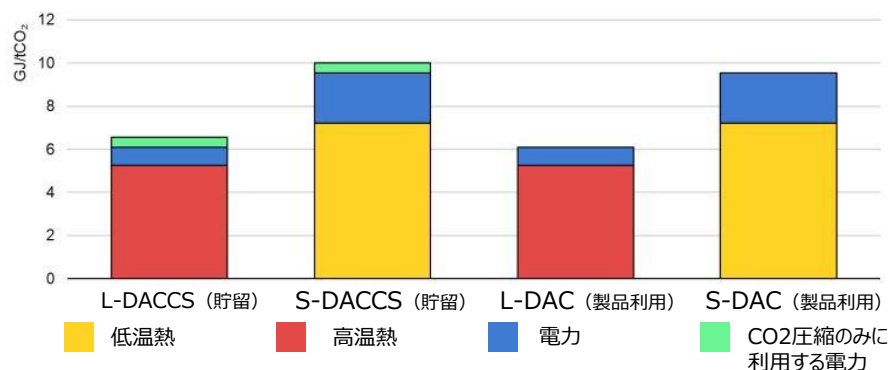


図：風化促進のコベネフィット概略

国内での実施において特に重視すべき点

- DACCSについては、CO₂回収プロセスにおいて多量のエネルギーを消費すること、CO₂貯留地が必要となることから、貯留地や安価な再エネ電力の有無に実現可能性が左右される。
- ブルーカーボン管理や風化促進については、地理的・気候的要因から、導入しやすさが考えられる。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、MRV手法の確立や根拠となる科学的データの収集・蓄積が必要となる。

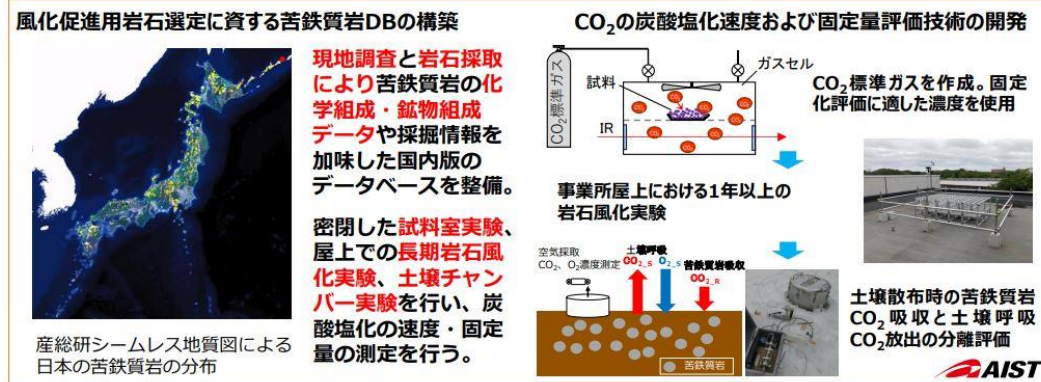
DAC/DACCSにおける必要エネルギー量



- ✓ L-DAC（固体吸収）については高温熱が必要となることから、再生可能エネルギーのみで運転するためには、電気から高温熱を供給するためのイノベーションが必要。現状の技術では、再エネ利用の柔軟性が限られる。一方、S-DAC（液体吸収）は、より多くのエネルギーが必要。

自然系NETsのMRV手法確立に向けた研究開発の例（風化促進）

- 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）



海外での実施において特に重視すべき点

- CCS適地が豊富な米国や欧州などにおいて、DACCSやBECCSは高いポテンシャルを有すると考えられる。これらの技術の商用化に向けた実証支援やビジネスモデルの構築が進められ、市場が形成されつつある。
- 他方、風化促進や一部の海洋系CDR技術については、特に欧州において環境への悪影響が問題視されている。

DACCSやBECCSに対する支援の例

- ✓ DOEは、大気から回収したCO₂の処理、輸送、安全な地中貯蔵、変換の商業化を加速し、実証するために、国内の4つの地域直接大気回収ハブ（DACハブ）の開発に35億ドルを投資。
- ✓ 英国は、バイオマス発電（Power BECCS）に対する支援として、炭素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中。



出典：Climeworks

海外におけるCDRの認識

➤ EUにおけるCDRの認識

炭素の除去・貯蔵の手法は、以下の3つに分けられる

- ① BECCSやDACCSなどの工学的手法
- ② カーボンファーム（森林再生、農地改良、アグロフォレストリーなど）
- ③ 製品への炭素貯蔵（製品への木材利用など）

➤ G7コミュニケにおける炭素除去の記載

To achieve net zero, the deployment of carbon dioxide removal (CDR) processes with robust social and environmental safeguards, such as **strengthening natural sinks, Bioenergy with Carbon Dioxide Capture and Storage (BECCS), Direct Air Carbon Dioxide Capture and Storage (DACCS)**, have an essential role to play in counterbalancing residual emissions from sectors that are unlikely to achieve full decarbonization.

議論いただきたい事項（技術の選び方）

2-1. 国内/海外市場の獲得を目指すべき技術の選ぶ際に考慮すべき視点

- 技術的視点としては、①TRL、②除去コスト(国内外)(/t-CO₂)、③除去ポテンシャル(国内外)(t/y)、④技術力の国際比較が挙げられる
- 導入環境視点としては、⑤所要陸面積(t/m²)、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各国の取組の状況、⑩コベネフィットが挙げられる

【論点①】 この他、考慮すべき視点があるか。

2-2. 国内・海外での実施において考慮すべき点

<DACCS・BECCS>

- DACCS、BECCSについては、CCS適地が国内においては限られ、安価な再エネ電力も必要。一方、米国などにおいてCCS適地が豊富であることから特にDACCSやBECCSは国外において高いポテンシャルを有すると考えられる。また、これらの技術の商用化に向けた実証支援やビジネスモデルの構築が海外では進められ、市場が形成されつつある。

<自然系NETs>

- ブルーカーボン管理や風化促進については、地理的・気候的要因から、国内での導入しやすさが考えられる。また、コベネフィットにより収益性の向上が見込まれる技術も存在する。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、MRV手法の確立や根拠となる科学的データの収集・蓄積が必要となる。他方、風化促進や一部の海洋系CDR技術は特に欧州において環境への悪影響が問題視されている。

【論点②】 この他、（技術ごとに）考慮すべき点があるか。