

第444回定例研究報告会 2023年7月25日

水素/アンモニア・ネガティブエミッション ～脱炭素の加速度的な推進～

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

研究戦略ユニット 研究戦略グループ 兼

クリーンエネルギーユニット 次世代エネルギーシステムグループ

小林 良和

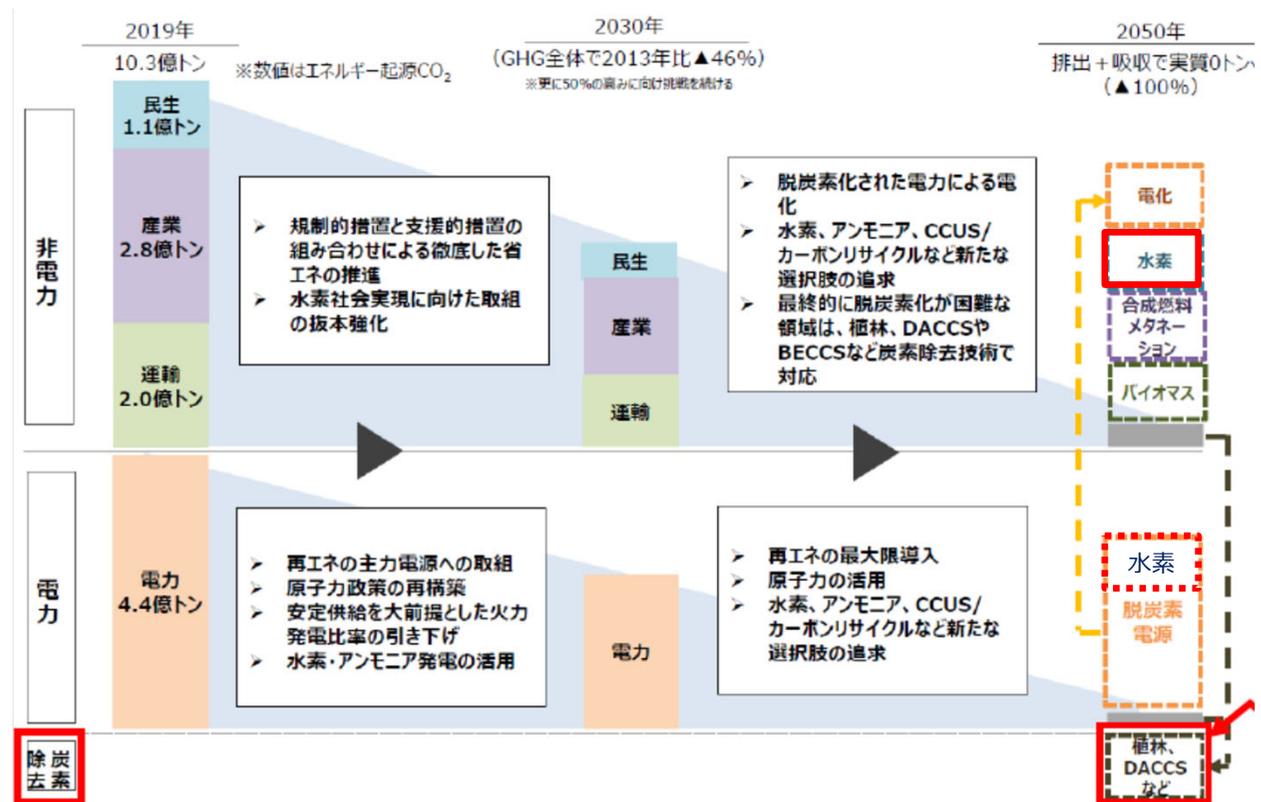
本報告のポイント

- ✓ 5月に開催されG7広島サミットにおいて、再生可能エネルギー由来の水素だけでなく、化石燃料由来の低炭素水素やアンモニアについても有効な脱炭素化策であるということが改めて首脳間で確認された。
- ✓ 移行期における低炭素水素・アンモニア供給源としてこれまで通り中東資源国との関係維持が重要。
- ✓ 将来的なカーボンニュートラルを実現するための手段としてネガティブエミッション技術（NETs）に対する関心が高まりつつあるが、各技術による除去効果の把握、MRVの整備、コスト削減など課題は多い。
- ✓ NETsの中で相対的に技術成熟度が高く、除去ポテンシャルが大きく、除去量の把握が容易な技術が、CCSを活用するもの（BECCS・DACCS）であるため、回収するCO₂の由来に関わらず、CCSの社会実装に取り組みを加速させていく必要がある。

エネルギー転換とイノベーション

- 石油危機から50年を経た現在、脱炭素化とエネルギー安全保障の両立を目指すエネルギー転換の推進が必要
- その実現のためには、様々な分野での取組みの強化が不可欠だが、イノベーションの実現は成否のカギを握る重要なポイント
- イノベーション自体も多様な分野での取り組みがあるが、世界的に高い注目を集めているのが、水素・アンモニアなどの革新的な燃料、およびネガティブエミッション技術。

今後の国内における排出削減のイメージ



出典：経済産業省資料に発表者加筆

G7首脳コミュニケにおける水素の扱い

- G7首脳コミュニケでは「低炭素水素、再生可能エネルギーによって製造された水素、およびアンモニアのような水素の派生製品」の意義が確認された。
 - 特定の種類の水素に過度にこだわるのではなく、現実的に脱炭素化に資する水素であれば柔軟に取り入れていくアプローチに対し、G7の首脳が合意したことの意義は大きい。また、燃料アンモニアについても、有効な脱炭素化燃料であることが首脳間で正式に認知されたことで、今後の利用拡大に向けた弾みがつくことに期待

We recognize that low-carbon and renewable hydrogen and its derivatives such as ammonia should be developed and used, if this can be aligned with a 1.5 °C pathway, where they are impactful as effective emission reduction tools to advance decarbonization across sectors and industries, notably in hard-to-abate sectors in industry and transportation, while avoiding N₂O as a GHG and NO_x as air pollutant.

--- *G7 Hiroshima Leaders' Communiqué*, Paragraph 25 (下線は筆者)

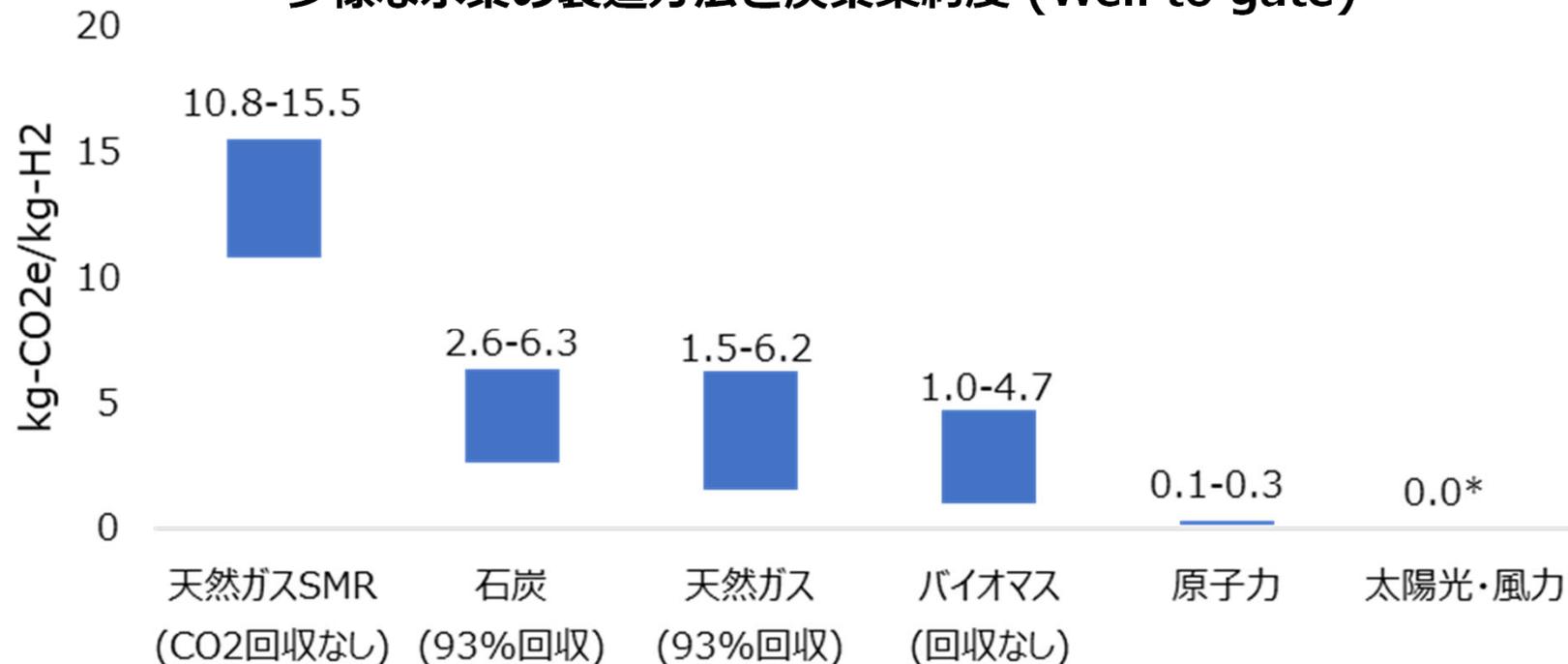


出典：外務省HP

重要なのは水素の「色」ではなく「炭素集約度」

- G7首脳コミュニケは、炭素集約度に基づいた低炭素水素の製造や融通を進めていくことの重要性にも言及
 - 炭素集約度：単位当たりの水素や派生製品の供給時に排出されるCO₂換算のGHG量
- 日本では、6月に改訂された水素基本戦略 において水素で3.4 kg-CO₂e/kg-H₂、アンモニアで0.84 kg-CO₂e/kg-NH₃という目標値が示されている。
 - 今後の技術の進捗等を踏まえ、必要に応じて見直される予定

多様な水素の製造方法と炭素集約度 (Well to gate)



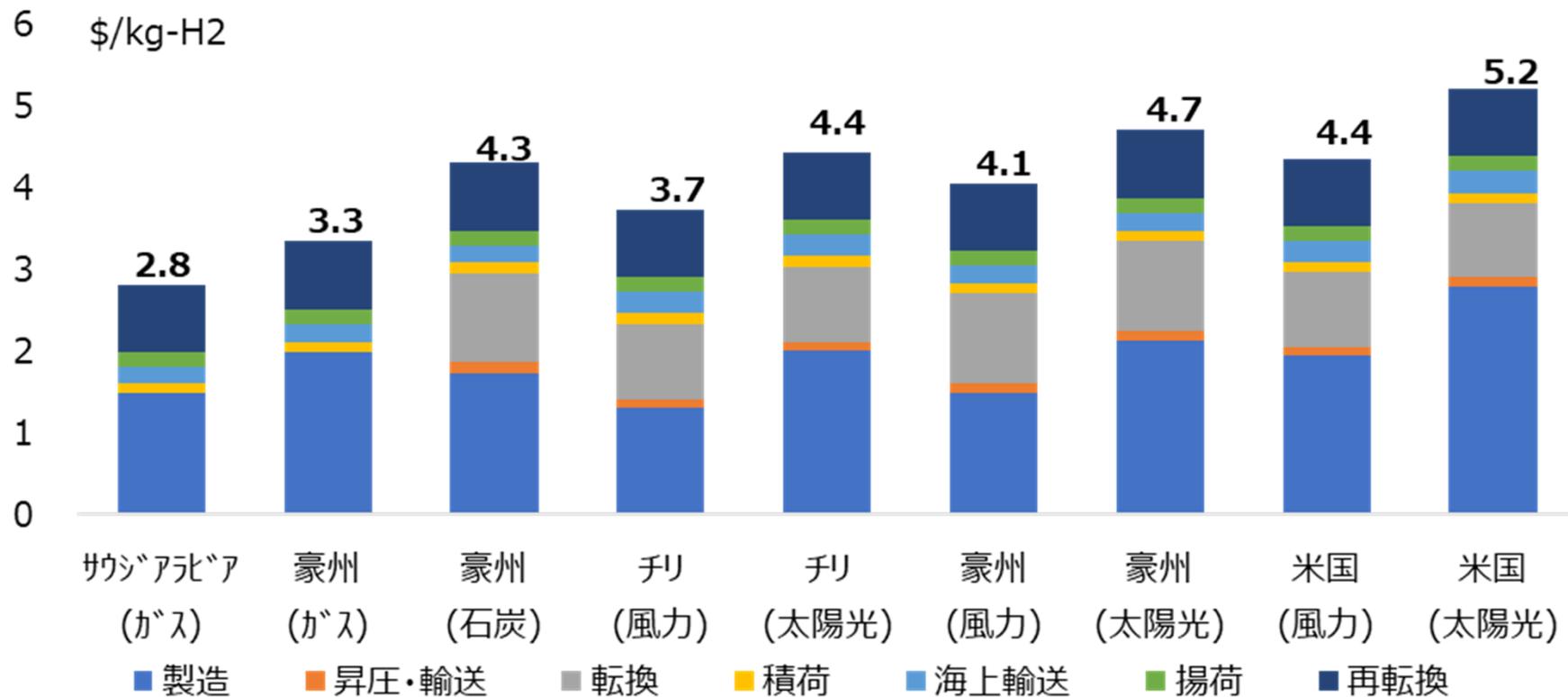
*下記IEA報告書においては、機器製造時の排出分を計上すると、太陽光は0.9-2.5kg-CO₂e/kg-H₂、風力は0.4-0.8kg-CO₂e/kg-H₂の炭素集約度があるとの試算も紹介されている。

出典：IEA (2023), Towards Hydrogen Definitions based on Their Emissions Intensity, pp39-43を元に発表者作成

低炭素水素の供給源として重要な中東資源国

- 移行期における低炭素水素の供給においては、低コストのガス生産と豊富なCCS適地を有する中東産油国のような資源国がコスト競争力を有している。
- 石油危機から50年が過ぎ、日本のエネルギー需要全体に占める中東産原油の位置づけには変化がみられるものの、日本にとって中東資源国との良好な関係維持は今後も引き続き重要。また中東にとっても、世界がカーボンニュートラルに向かう中、水素のような新しいエネルギー源の輸出先の確保が重要となる。

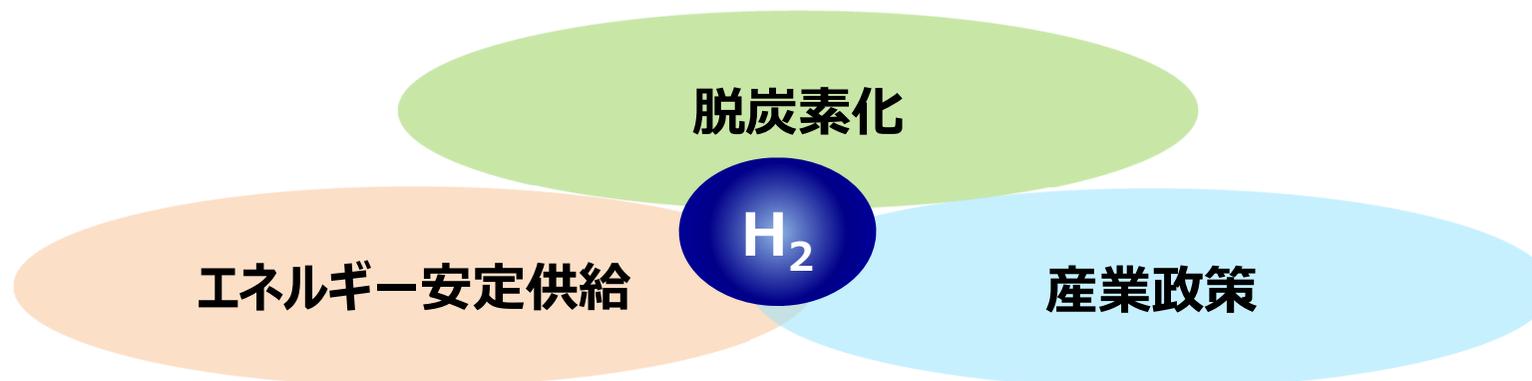
多様な供給源からの日本に対する水素供給コスト見通し* (2030年時点)



*水素キャリアとしてアンモニアを利用した場合
出典：日本エネルギー経済研究所

(参考) 国内では7年ぶりに水素基本戦略の改訂

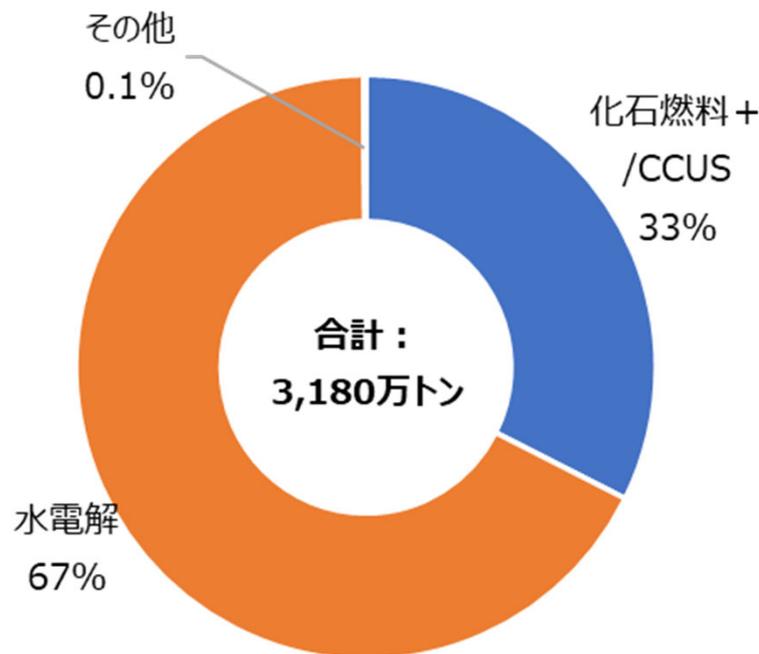
- 2023年6月6日に、水素基本戦略が7年ぶりに改訂
 - 脱炭素化だけでなくエネルギー安定供給や産業政策の視点も盛り込まれた包括的な内容
 - 2040年時点での導入目標（1,200万トン）、2030年時点での電解装置の導入目標（15GW）、国内5か所における水素供給拠点の設置計画を明記
 - 水素製造、水素サプライチェーンの構築などの9分野を戦略分野として位置付け
- 各分野における具体的な政策内容は今後の議論
 - 水素産業戦略や水素保安政略の立案、既存燃料との値差支援やクリーン水素利用拡大に向けた規制的な誘導措置等について、今後具体的な政策が作成されていく見通し
- 産業政策との両立も視野に国際的なサプライチェーン構築の重要性を強調
 - 水素の「上流権益」獲得、水素製造プラント建設、水素利用製品の輸出支援など



世界の水素サプライチェーン構築の動向

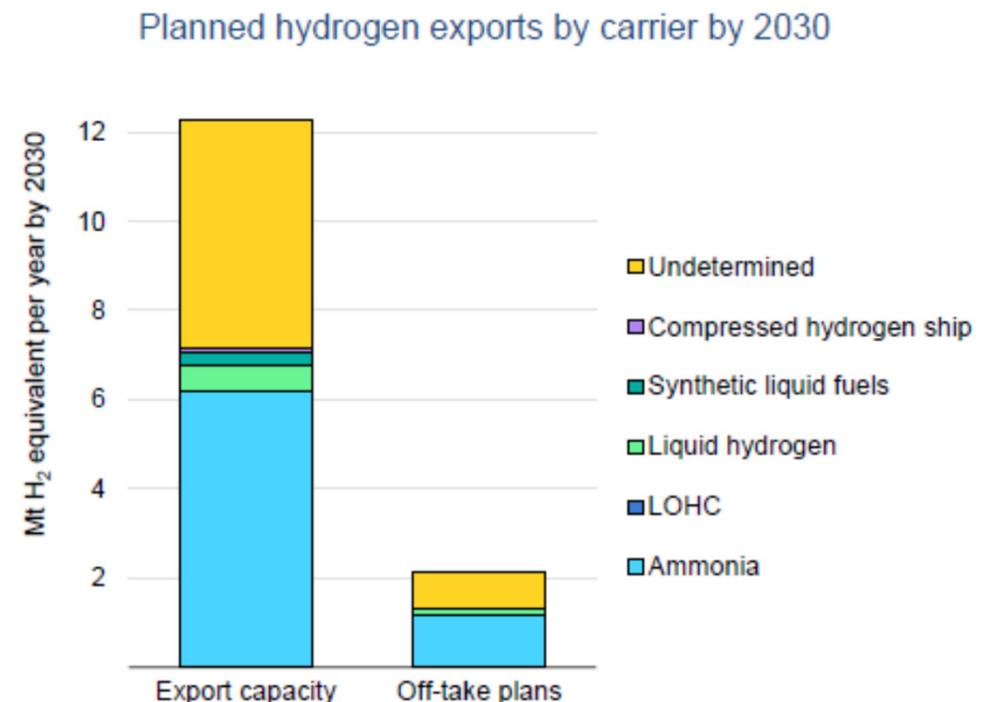
- 海外では、供給サイドにおいて多くの案件の検討が進む。
 - 2030年までに生産開始を予定する案件は3,180万トン*。約3分の2が水電解水素
 - 地域別では欧州、米国、豪州、ラテンアメリカにおける開発案件が多い。
 - 全体の94%がまだ投資決定前（事業性調査段階）
- 水素の国際貿易という観点では、輸入サイドの取り組みが劣後している。
 - 輸入国内における導入体制（値差支援制度・受入インフラ等）の整備を急ぐ必要あり。

世界の水素生産プロジェクト（～2030年）



* 操業開始年が公表されているもののみ。構想段階のものは除く。
出典：IEA, Hydrogen Project Database を元に筆者作成

水素の貿易計画（～2030年）



出典：IEA, Global Hydrogen Review 2022, p.166

発電以外にも多様な可能性が広がるアンモニア

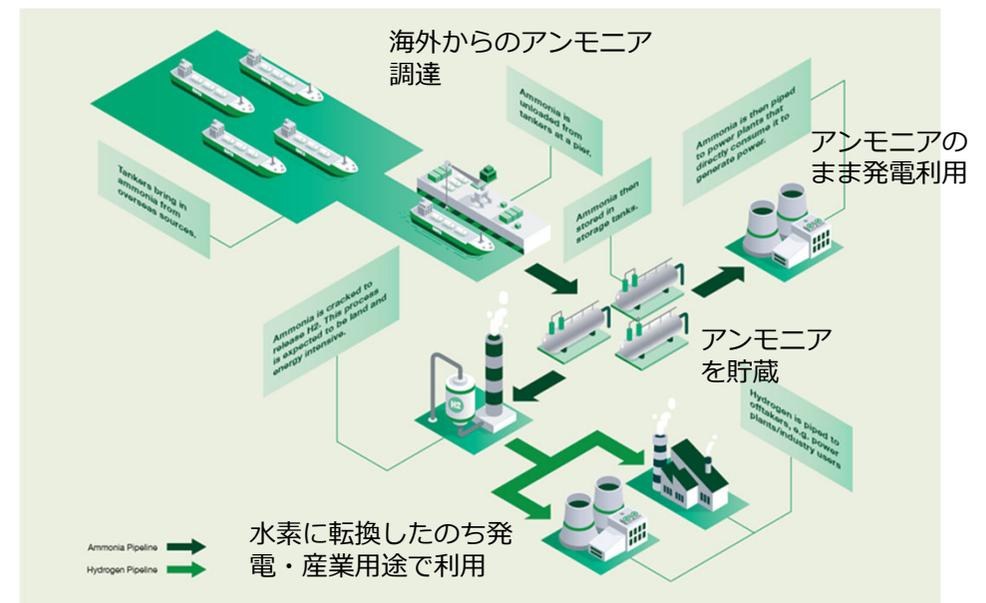
- 発電用途以外にも、港湾・海運部門での利用計画も国内外で進む。
 - 山口県周南市、シンガポール、ロッテルダム等でアンモニア輸入拠点の形成計画
 - 船舶用アンモニア専焼エンジンが2025年に実用化予定
- 今後は、産業用途でのアンモニア利用・技術開発にも注目
 - 山口・周南では受け入れたアンモニアを産業用燃料として域内の工場に供給する計画
 - 自社の熱需要 (ガラス・化学等) を満たすアンモニア工業炉を開発中の国内企業も存在

周南コンビナートにおいてアンモニアの燃料 利用が計画されている工場



出典) 周南市

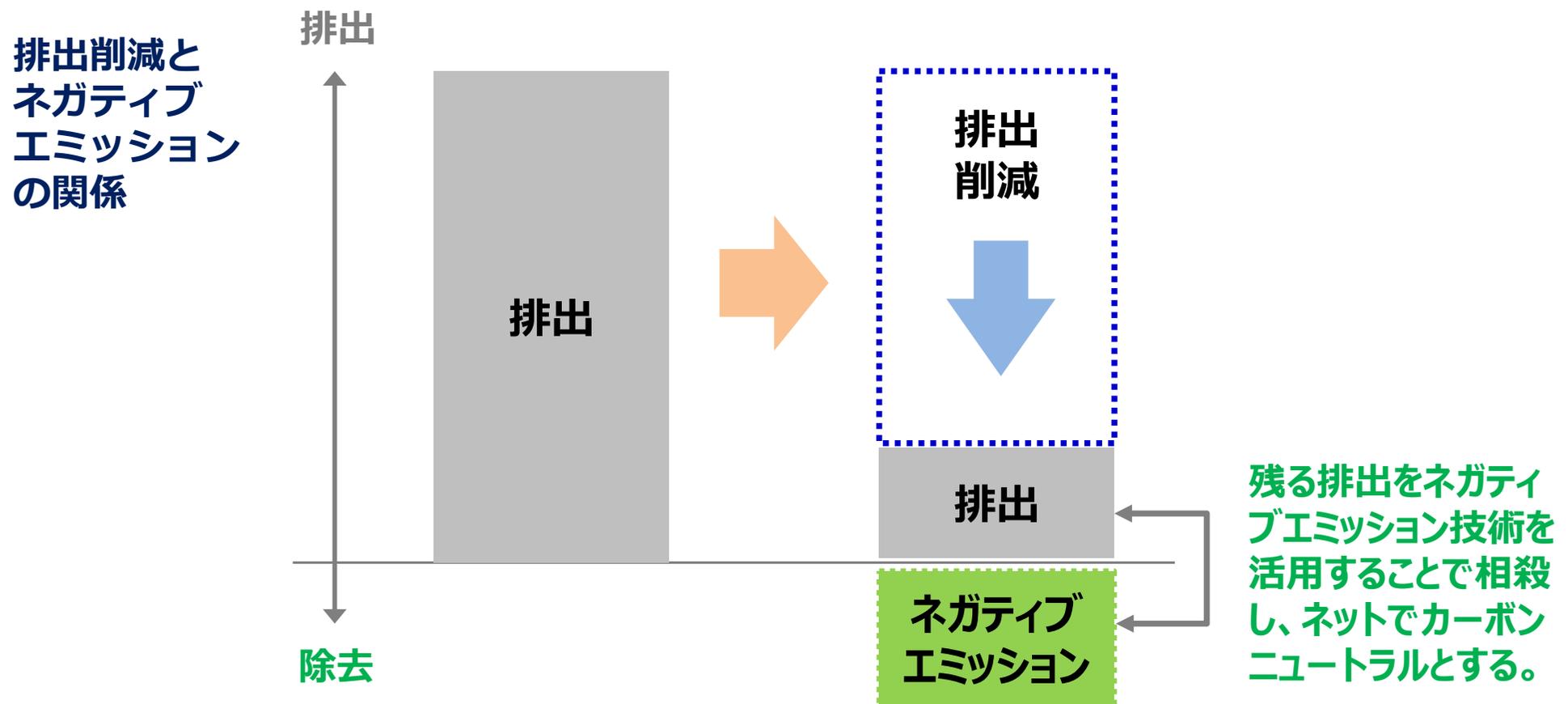
シンガポールのアンモニア受入れハブ構想



出典 : Maritime & Port Authority of Singapore 8

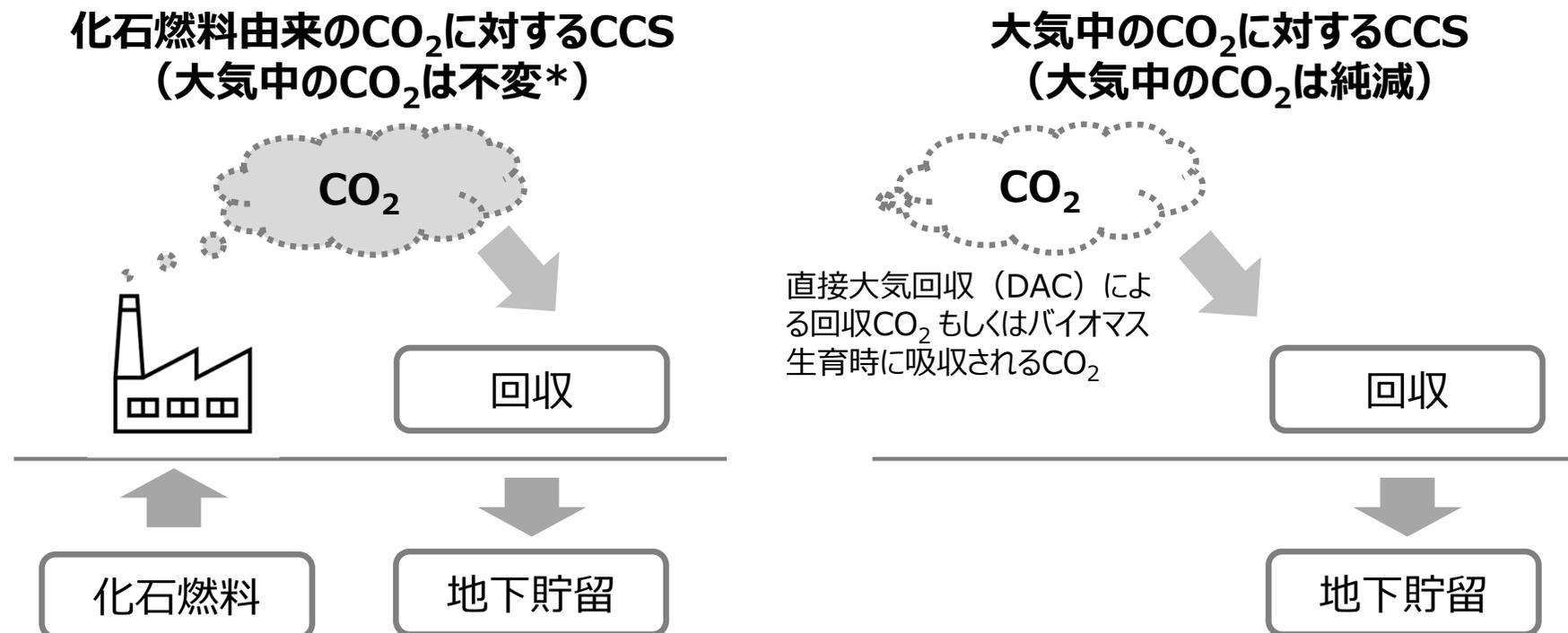
ネガティブエミッション技術（NETs）とは

- ネガティブエミッション技術（NETs）：大気中からGHGを回収し、それを長期間にわたって固定する技術
 - 炭素除去（Carbon Dioxide Reduction）とほぼ同義
- ネガティブエミッションの意義：排出削減が困難な残余CO₂の相殺。



カーボンニュートラル、CCSとNETs

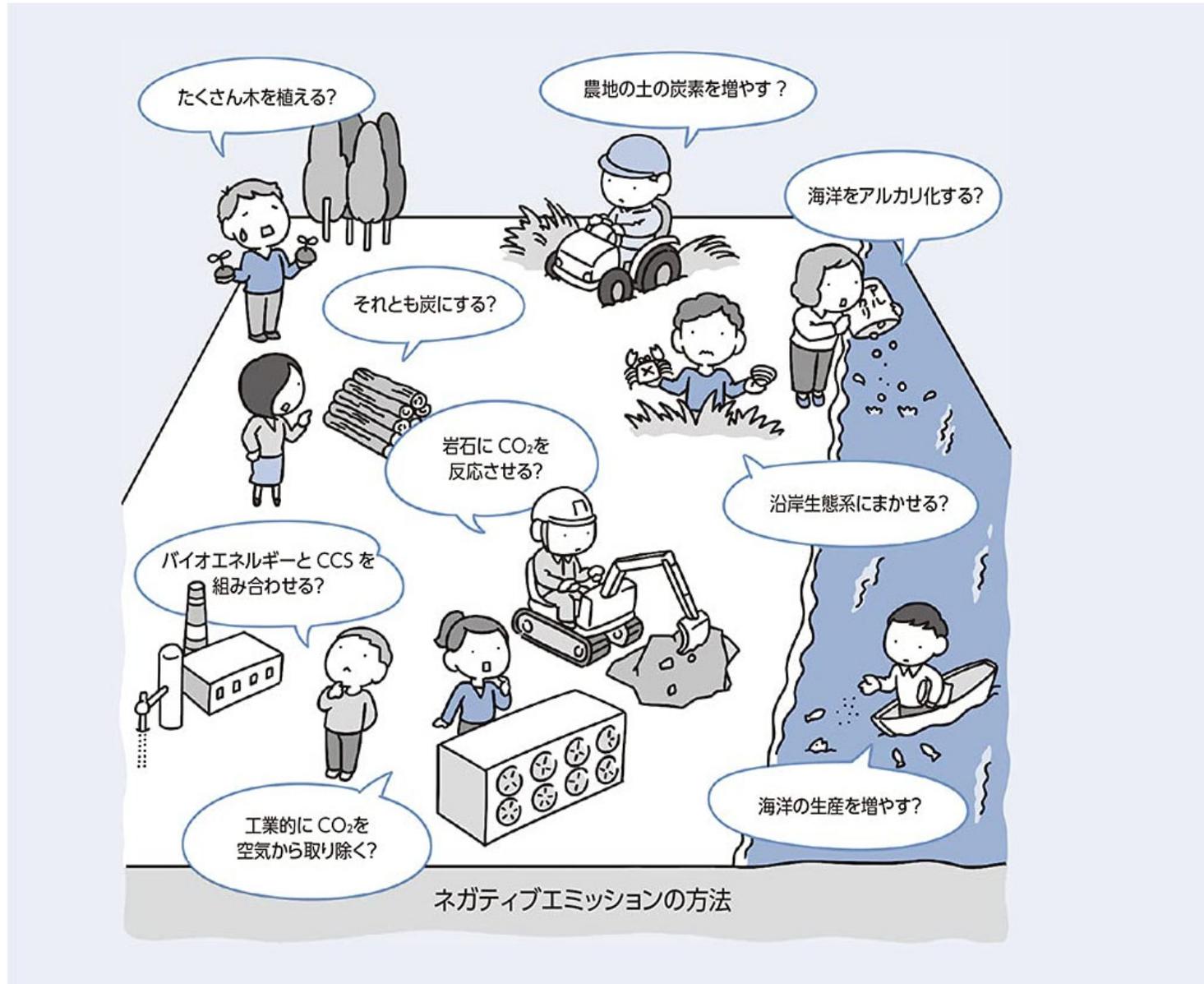
- カーボンニュートラルとは、大気中に放出されるCO₂と大気中から除去されるCO₂がバランスされている状態
- NETsは、カーボンニュートラルの状態という**目的**を実現する**手段**であり、大気中からCO₂をはじめとするGHGを除去する技術の一群を指す。
- CCS (炭素回収貯留) は、CO₂を回収して地下に貯留する技術。化石燃料由来のCO₂を回収して貯留すればカーボンニュートラルであり*、大気中のCO₂を回収して貯留すればネガティブエミッションとなる。



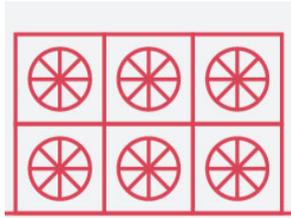
* 議論の簡単化のために全量回収すると想定

多様なネガティブエミッション技術

- 多様な技術を活用することで大気中のCO₂を純減させることができる。



多様なネガティブエミッション技術（続き）



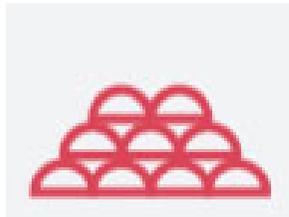
直接大気回収+CCS (DACCS)

大気中から技術的に直接CO₂を回収し (DAC)、地下に貯留する (CCSを組み合わせる)。



バイオエネルギー+CCS (BECCS)

バイオエネルギーを利用した際に排出されるCO₂を技術的に回収して地下に貯留する (CCSを組み合わせる)。



バイオ炭

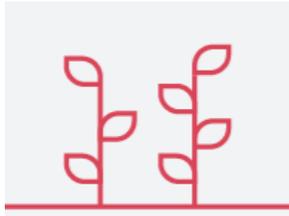
バイオマスを熱分解などによって炭化させることで、バイオマス中に含まれている炭素を長期間固定する。



植林・森林管理

大規模な植林や森林の再生、森林農法の採用、森林破壊の積極的な抑制を通して森林によるCO₂吸収を高める。

多様なネガティブエミッション技術（続き）



土壌炭素貯留

不耕起（耕さない）栽培、土壌表面を覆う作物の栽培、堆肥の活用によって土壌中の炭素貯留を促す。



風化プロセスによる鉱物化促進

玄武岩、かんらん岩、蛇紋岩などを散布することで大気中のCO₂を吸収し固定化（鉱物化）させる。



ブルーカーボン

沿岸地域における植生や土壌の改善による炭素貯留や大型海藻の養殖などによるCO₂吸収を促進する。



海洋アルカリ化

炭酸カルシウムなどを投入することで海水中のアルカリ度を高めることで海水面でCO₂吸収を高める。

多様なネガティブエミッション技術（続き）

- NETsは技術ベースのものと自然プロセスを利用するものに大きく二分される。
- それぞれのNETsには一長一短があるが、相対的に技術成熟度が高く、除去ポテンシャルが大きく、除去量の計測が容易であり、CO₂の固定期間が長い手法が、CCSを活用するDACCSとBECCS
- 採用する技術によっては、土壌の改善や海洋環境の改善などの副次的な便益（コベネフィット）が得られるものもある。

主要なネガティブエミッション技術の概要

手法	プロセス	技術成熟度 (TRL)	除去コスト (US\$/tCO ₂)	除去ポテンシャル (GtCO ₂ /yr)
直接大気回収+CCS (DACCS)	技術	6	100-300	5-40
バイオエネルギー+CCS (BECCS)	技術	5-6	15-400	0.5-11
バイオ炭	技術	6-7	10-345	0.3-6.6
植林・森林管理	自然	8-9	0-240	0.5-10
土壌炭素貯留	自然	8-9	-45-100**	0.6-9.3
風化プロセスによる鉱物化促進	自然	3-4	50-200	2-4
ブルーカーボン	自然	2-3	N/A	<1
海洋アルカリ化	自然	1-2	40-260	1-100

* 技術成熟度（Technology Readiness Level）：特定の技術の成熟度レベルを評価するために使用される指標。9段階で評価され、TRL 9が最も成熟度が高く、TRL 1が最も低い。

** 土壌炭素貯留は、土壌改善に伴う便益が大きい場合には全体としても便益（マイナスのコスト）が発生する可能性がある。

出典：Babiker et al. (2022) Cross-sectoral Perspectivesを元に発表者作成

諸外国における取組み

- 諸外国においては、具体的なプロジェクトに対する税額控除や個別のNETsに対する導入目標の設定、既存の排出権取引システムへの除去クレジットの統合等、NETs導入への具体的なインセンティブに関する検討が進められている。
- 日本は現在、DACなどの技術開発への政府支援を実施中。市場創設に向けた政策オプション (次頁) についての議論を実施

国・地域	政府支援	導入目標	クレジット制度
米国	<ul style="list-style-type: none"> • DACプロジェクトに対し130-180\$/t-CO₂の税額控除 • 国内4か所のDACハブ形成に35億ドル支援 	<ul style="list-style-type: none"> • 10億トン規模での炭素除去の実現 • 技術開発では100\$/t-CO₂以下を目指す 	-
英国	<ul style="list-style-type: none"> • DACCS などの技術革新に向けて1 億ポンドを支援 	<ul style="list-style-type: none"> • 化学的手法で2030年に500万トン、2050年に7,500-8,700万トンの除去 	<ul style="list-style-type: none"> • 除去クレジットのUK-ETSへの組入れ検討
EU	<ul style="list-style-type: none"> • NETsに対するインセンティブを拡大予定 (具体的内容は検討中) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030年までに、土地利用、土地利用変化及び林業部門で3.1億トン 	<ul style="list-style-type: none"> • 除去クレジットのEU-ETSへの組入れ検討

(参考) 国内における市場創設に向けた取組み

- 今年5月、ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会がとりまとめ骨子を公表。市場創出・拡大に向けた手法のオプションとして下表の7点を提示
- 今後さらにこれらの手法のどれを採用すべきかについての議論が進められていくものと考えられる。

手法	概要
①値差補填	参照価格（市場価格に連動）が権利価格（コストを元に設定される価格）を下回る場合、差額を政府が補填
②政府調達	事業者が実施したネガティブエミッションに対し、政府が一定価格で買取
③余剰クレジットの買い取り	ネガティブエミッションを行った事業者が販売しきれなかったクレジットを政府が買い取り
④税額控除	ネガティブエミッション実施分に対する税額控除を提供
⑤設備投資・実証支援	実現性調査や基本設計調査、プロジェクト開発や調達・建設等に対する支援
⑥研究開発支援	コスト低減に向けた多様なNETs技術開発に対する支援
⑦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

(参考) 国内外の企業による自発的な取り組み

- 自社の事業活動のネットゼロ化に資するものとして、多様な業種における国内外の企業が、NETsへの自主的な取り組みをすすめている。

業種	社名	取組内容
IT (物流)	Amazon	植林・再生林を始めとする自然ベースのCDR技術に投資
IT	Microsoft	2030年までにカーボンネガティブの実現を目指し、炭素除去（森林やバイオ炭、ブルーカーボンなど）の購入を計画。2022年度は150万トン以上の炭素除去を契約。DACについてはClimeworksと10年間で1万トンの炭素除去を購入。OrstedからBECCSによる炭素除去を11年間で276万トン購入
金融	JP Morgan Chase	5月23日DACCSなどによる80万トンの炭素除去を購入し、2030年の自社残余排出量と均衡させると表明
製造	Airbus	1PointFiveから4年間で40万トンの炭素除去を購入することで合意。また、Air Canadaなど主要航空7社と2025～28年の4年間の炭素除去の供給についての交渉を行うことに合意
石油	Occidental	DAC事業を行う1PointFiveに出資
航空	United	DAC事業を行う1PointFiveに出資
消費財	Unilever	2039年時点でのネットゼロを目指し、150万Haの森林・土地・海洋の保全を実施
商社	三菱商事	技術系CDR由来の炭素除去取引の基盤としてNextGen CDR Facilityを設立
海運	商船三井	NextGen CDR Facility にバイヤーとして参加。NextGenとしては既にバイオマス、DACCS、バイオ炭などの炭素除去を購入

ネガティブエミッション技術のまとめ

- 石油危機後の50年間はエネルギー安全保障の確保と共にエネルギー転換が進められたが、今後の50年間はカーボンニュートラルの実現に向けたエネルギー転換が進められ、その中でNETsは不可欠の技術となる。
- NETsには多種多様な技術が存在し、それぞれに一長一短があるが、CCSを用いた技術ベースのNETs (DACCS、BECCS) には、比較的技術成熟度が高く、除去ポテンシャルが大きく、実際のCO₂除去量を正確に把握しやすく、CO₂の固定期間が長い、という利点がある。
- CCSは、化石燃料由来のCO₂排出削減だけではなくNETs (DACCS、BECCS) の双方に活用される中核的な技術として重要性が高く、現在進められている社会実装に向けた取り組みを加速させていくべきである。
- 諸外国では、除去量の数値目標の設定やカーボンプライス制度との関連付けに向けた検討が進められている。国内では、導入に向けた議論が始まった段階であり、技術開発支援や市場創出・拡大に向けた政策オプションが検討されているが、今後さらに議論を加速させる必要がある。