

【産業競争力懇談会 2022年度 研究会 中間報告】

【DAC(Direct Air Capture)研究会】

2022年10月20日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ（中間）】

- **趣旨説明**（本プロジェクトの背景及び基本的な考え方について）

DAC(Direct Air Capture、大気中CO₂の回収)は、2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」の1テーマとして設定され、また同年1月のムーンショット目標4の重要テーマとしても取り上げられるなど、2050年カーボンニュートラルを目指した国家的な取組みの中で、その重要性が大きく認識されるようになってきた。

このためCO₂CNでは、2020年度に「カーボンニュートラル研究会」を設立し、その傘下の「DAC研究会」において10社6機関が参加し、DACの具体的な技術とメカニズム、国内外の取組み状況を概観しつつ、現状技術レベルの概要やその課題を把握することに努めた。DACは、空気のある場所ならどこでもCO₂回収可能という大きなメリットがある一方、低濃度であるがゆえに、排ガス中からの回収と同量のCO₂回収には、桁違いに大容積の大気を吸い込む必要があり、高濃度(~99%)に濃縮するプロセスでも原理的に膨大な設備コストとエネルギーを要することが様々な課題を引き起こす要因となっている。

これら概要把握の結果、DACは2050年カーボンニュートラルの実現には必要不可欠ではあるものの、基礎・要素技術研究レベルで多くの技術的ブレークスルーが必要であり、特に現状ではCO₂分離回収に膨大なエネルギーが必要なため、実用化へのハードルがきわめて高いことを確認した。その事業化には長期間を要し、産業界としての切り口を見出すのは容易ではないことから、2021年度以降も、「DAC研究会」の活動を継続している。

- **活動方針及び検討項目**(本プロジェクトの目標、検討の視点と範囲について)

本研究会の目標は、DAC導入・事業化の将来の社会モデルを構想しつつ、それに向けて必要な公的な制度、規格・標準化を検討し、国への働きかけを実施することである。

そのため、本研究会では、ムーンショットでの基礎研究の段階から技術的フィジビリティを産業界視点で見ておき、海外における最新動向なども参考にしつつ、将来の事業化を目指したビジネスモデルやエンジニアリング課題を整理している。

- **2021年度の活動実績**

2021年度は、10社8機関がメンバーあるいはオブザーバーとして参加し、次に示す2点について、1回/月のペースで活発な議論や意見交換を行った。

(1) エンジニアリング上の課題の整理

本項目では、DACのメリット及びデメリット、先行する海外における技術開発の動向、国内のムーンショット型研究開発事業などの情報を幅広く調査し、様々なプロセス方式の優位性と技術的特性を把握した。また、DAC起源CO₂の取引制度成立の可能性やインセンティブの有無、将来のCO₂回収コスト予測情報、2050年のシナリオ分析におけるDACの果たす役割等、将来DAC事業のターゲットを想定に必要な情報を整理した。さらに、将来のカーボンリサイクル社会のイメージ、DAC起源CO₂の利用や市場化に関する課題、DACが提供するネガティブ・エミッション価値、及びDACの事業化や普及に必要な産・学・官の役割や期待などに関する本研究会メンバーの意見を収集した。

(2) 事業化視点での課題の整理

本項目では、先行する欧米の支援制度やカーボンプライシング導入に関する国内動向を調査し、DAC事業化を支援する制度のあり方や課題等について意見交換を行った。

また、海外では、既に数十トン～4千トン/年規模のパイロット～実証段階の研究開発試験に産学官が連携して取り組んでいるプロジェクト事例があることを確認した。

さらに、DACへのエネルギー供給源は、太陽光、風力、地熱、原子力等のカーボンフリーであることが大前提であること、大規模に社会実装する場合には、DAC設備だけでなく、供給電源・熱源設備の容量や敷地の確保も大きな課題になることを確認した。

(3) 産業競争力強化のための政策提言および産学官のロードマップの策定

上記2点に関する議論を通じて、次に示す4項目の政策提言とDAC事業化を目指した産学官のロードマップを策定した。

- ①DACの普及を誘導し、現時点から産業界の先行投資意欲を刺激するための提言
- ②DACの研究開発段階から実用段階へと技術的成熟度を促進させるための提言
- ③DAC国内産業基盤を構築・発展させるための提言
- ④国内産業界が地球規模での温暖化抑制に貢献するための提言

● 2022年度の活動状況

2022年度は、製造業界から川崎重工業(株)及び(株)明電舎、航空業界から全日本空輸(株)が新たに加わったことで業種の幅が広がり、13社9機関による活動体制に拡大した。さっそくカーボンニュートラル実現を目指す国際航空業界の動向や全日本空輸殿のトランジション戦略等について情報共有する機会を得ている。2022年度は、上記2021年に策定した政策提言及び産学官のロードマップをブラッシュアップすることとし、次に掲げる3つのテーマについて、さらなる議論を続けている。

- (1) 産学官連携のあり方や具体的な進め方
- (2) 海外との連携や協力体制の構築
- (3) 回収したCO₂の各種条件に適した貯留・利用

なお、これら議論の参考にするため、IPCC第6次評価報告書第3作業部会報告書『Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change』、及び国際エネルギー機関(IEA)報告書『Direct Air Capture 2022 - A key technology for net zero-』、国内ではグリーントランスフォーメーション推進小委員会『クリーンエネルギー戦略 中間整理』及びグリーンイノベーション戦略推進会議 会議資料『ネガティブ・エミッション技術について』など、DACに関する最新情報を幅広く調査している。

● 今後の計画(最終報告書に向けた検討上の課題と展開)

2022年度の検討の結果、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見いだせれば、具体的な解決に向けて、『研究会』から次年度以降のCO₂推進テーマ『プロジェクト』に移行するための取り組み、例えば、産学官連携のためのコンソーシアム作りや国内における開発拠点の整備などのプロジェクト化を検討する。

以上

【目 次】

【プロジェクトメンバー】	2
【本文】	
1. 趣旨説明(本プロジェクトの背景及び基本的な考え方について)	4
2. 活動方針及び検討項目(本プロジェクトの目標、検討の視点と範囲について)...	4
2. 1 2021年度の活動方針及び検討項目	4
2. 2 2022年度の活動方針及び検討項目	7
3. 活動スケジュール及び実績	8
4. 現在までの活動状況	9
4. 1 2021年度の活動実績	9
4. 2 2022年度の活動状況	10
5. 産業競争力強化のための提言および施策について	22
5. 1 2021年度の活動実績	22
5. 2 2022年度の活動状況	25
6. 今後の計画	28
添付：参考文献一覧	29

【プロジェクトメンバー】

*所属については五十音順

#	区分	企業・大学・法人名*	氏名
1	リーダー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	藤木 保伸
2	メンバー	E N E O S 株式会社	星野 優子
3	メンバー	株式会社 I H I	田中 浩
4	メンバー	株式会社東芝	斉藤 ひとみ
5	メンバー	株式会社日立製作所	小塚 潔
6	メンバー	株式会社日立製作所	三宮 豊
7	メンバー	株式会社本田技術研究所	瀧澤 一晃
8	メンバー	株式会社本田技術研究所	塚越 範彦
9	メンバー	株式会社三菱総合研究所	才村 綾美
10	メンバー	株式会社三菱総合研究所	新地 菊子
11	メンバー	株式会社明電舎	長 輝通
12	メンバー	株式会社明電舎	小川 裕治
13	メンバー	株式会社理研鼎業	奥野 正樹
14	メンバー	株式会社理研鼎業	半田 敬信
15	メンバー	株式会社理研鼎業	松山 剛
16	メンバー	川崎重工株式会社	奥村 雄志
17	メンバー	川崎重工株式会社	田中 一雄
18	メンバー	川崎重工株式会社	西部 祥平
19	メンバー	川崎重工株式会社	沼口 遼平
20	メンバー	川崎重工株式会社	堀川 敦史
21	メンバー	キヤノン株式会社	青谷 貴治
22	メンバー	キヤノン株式会社	坂口 清文
23	メンバー	キヤノン株式会社	古川 靖之
24	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	崔 準哲
25	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	牧野 貴至
26	メンバー	国立大学法人東京工業大学	小玉 聡
27	メンバー	全日本空輸株式会社	江頭 雅人
28	メンバー	全日本空輸株式会社	吉川 浩平
29	メンバー	全日本空輸株式会社	緒方 明日香
30	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	斎藤 聡
31	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	村松 武彦
32	メンバー	トヨタ自動車株式会社	石橋 一伸

33	メンバー	トヨタ自動車株式会社	林 宏司
34	オブザーバー	一般財団法人エネルギー総合工学研究所	飯田 重樹
35	オブザーバー	一般財団法人エネルギー総合工学研究所	加藤 悦史
36	オブザーバー	一般財団法人エネルギー総合工学研究所	黒沢 厚志
37	オブザーバー	一般財団法人日本エネルギー経済研究所	柴田 善朗
38	オブザーバー	国立大学法人横浜国立大学／(一財)日本エネルギー経済研究所	大槻 貴司
39	オブザーバー	公益財団法人地球環境産業技術研究機構	余語 克則
40	オブザーバー	国立研究開発法人科学技術振興機構	尾山 宏次
41	オブザーバー	国立研究開発法人科学技術振興機構	真崎 仁詩
42	オブザーバー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	鈴木 秀士
43	オブザーバー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	中村 勉
44	オブザーバー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	吉田 朋央
45	オブザーバー	国立大学法人金沢大学	山田 秀尚
46	D A C 研究会事務局	東芝エネルギーシステムズ株式会社	井上 一男

【D A C 研究会 COCN 委員】

*敬称略

区分	企業・大学・法人名*	氏名*
担当実行委員	株式会社東芝	斉藤 史郎
担当実行委員	株式会社日立製作所	長我部 信行
担当実行委員	株式会社地球快適化インスティテュート	日下 晴彦
担当企画小委員	株式会社日立製作所	菊地 達朗
担当企画小委員	トヨタ自動車株式会社	佐藤 桂樹
担当企画小委員	E N E O S 株式会社	中山 慶祐
※以下 COCN 事務局		
事務局長	一般社団法人産業競争力懇談会 (C O C N)	山口 雅彦
副事務局長	株式会社東芝	五日市 敦
副事務局長	日本電気株式会社	武田 安司
副事務局長	E N E O S 総研株式会社	土肥 英幸
企画小委員	三菱電機株式会社	金枝上 敦史
企画小委員	富士通株式会社	大久保 進之介
企画小委員	株式会社地球快適化インスティテュート	岩田 一

【本 文】

1. 趣旨説明(本プロジェクトの背景及び基本的な考え方について)

DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収)は、2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」39テーマの第39番目として設定され、また、同年1月にムーンショット目標4の重要テーマとしても取り上げられるなど、2050年カーボンニュートラルを目指した国家的な取組みの中で、その重要性が大きく認識されるようになってきた。このため、CO₂では、2020年度に「カーボンニュートラル研究会」を設立し、その傘下の「DAC研究会」において、10社6機関が参加し、DACの具体的な技術とメカニズム、国内外の取組み状況を概観しつつ、現状技術レベルの概要やその課題を把握することに努めた。その結果、DACは2050年カーボンニュートラルの実現には必要不可欠の技術であること、その実用化に向けては、基礎研究・要素技術研究レベルでの多くの技術的ブレークスルーが必要であること、特に、現状の技術レベルではCO₂の分離回収に膨大なエネルギーを要するため、実用化にはコスト削減が最大の課題であることを確認した。しかしながら、2020年度だけで十分な議論が尽くされたとは言い難く、長期的な研究開発テーマであるため、事業化に向けて産業界としての切り口を見出すのは容易ではない。

そこで、2020年度「DAC研究会」参加メンバーによるアンケート結果も踏まえ、2021年度以降も、産業界からの積極的な関与が期待されている(1)エンジニアリング上の課題、及び(2)事業化視点での課題にCO₂を中心に産業界を挙げて取り組むため、「DAC研究会」の活動を継続している。

2. 活動方針及び検討項目(本プロジェクトの目標、検討の視点と範囲について)

本研究会の目標は、DAC導入・事業化の将来の社会モデルを構想しつつ、それに向けて必要な公的な制度、規格・標準化を検討し、国への働きかけを実施することである。

そのため、ムーンショットでの基礎研究の段階から技術的フィジビリティを産業界視点で見ておき、海外における最新動向なども参考にしつつ、将来の事業化を目指したビジネスモデルやエンジニアリング課題を整理する。

2. 1 2021年度の活動方針及び検討項目

2021年度は、以下に示す2つの検討項目についてひと通り調査・整理し、政策提言とDAC事業化を目指した産学官のロードマップを活動成果としてまとめる。

(1) エンジニアリング上の課題の整理

大気中の低濃度CO₂を分離回収するDAC技術は、海外では一部実用化されているもののCO₂の分離回収にかかるエネルギー・コストが膨大であり、実現までのハードルは高い。例えば、世界初の商用プラントを運転中のスイスClimeworks社の設備では、分離回収エネルギーは9.0GJ/t-CO₂、コストは600\$/t-CO₂(排ガス中CO₂回収の10倍以上)である。大気中のCO₂を効率良く吸収・脱着あるいは分離・濃縮するプロセスに関する要素技術のみならず、大量の大気を取り込みや回収後のCO₂のハンドリング、地熱、風力、太陽

光などの再生電源利用によるグリーン性を考慮したシステム等においても、高効率で低エネルギー消費型の技術が必要とされる。

このため、米国DOE (Department of Energy) や英国BEIS (Department for Business, Energy & Industrial Strategy) では、DAC技術を含むCO₂の回収・利用の実現を促進する開発資金提供型プログラムを進めている。

国内においても、2020年度より創設された「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、無害化する技術の開発」の一部にDACの要素技術を開発するテーマが採択されるようになった。

2021年度は、海外及び国内でのDACに関する最新の要素技術開発動向や、先行するスタートアップ会社等で実用化が進むビジネスモデルの例を調査し、今後、国内産業界がDACに関して技術開発面、及びビジネス面で取り組む方向性の議論・評価を行う。

① 様々なプロセス方式（液体・固体吸収剤、膜分離等）の優位性と技術的特性の把握

- i. 大気中のCO₂の吸収・脱着あるいは分離・濃縮に用いられる様々な液体・固体吸収法、膜分離法等の要素技術について、その技術的特徴やメリット・デメリット等を調査し、それぞれの優位性を比較・評価する。
- ii. また、各プロセス方式の将来的な技術ポテンシャルを見通すため、単位投入エネルギーに対する理論的な回収限界を可能な範囲で調査し、現時点におけるエンジニアリング上の課題を明確にする。

② 具体的なターゲットを想定したプロジェクト化

- i. 海外では、CO₂-EORや温室促成栽培などにDACで回収したCO₂を供給する事例、DACで回収したCO₂を原料とするカーボンニュートラル合成燃料の開発をユーザー顧客と開始した事例、大気からのCO₂回収に対価を払う顧客を獲得する事例などが相次いでいる。そこで、海外で先行するDACに関連するプロジェクト事例やそのターゲット(市場、顧客)を調査する。
- ii. また、DAC研究会メンバーに、DACにより回収したCO₂のネガティブ・エミッション価値や利用方法、利用する場合の課題等について、研究会の場やアンケート方式等で意見を聴取する。これらの調査結果や聴取結果に基づき、将来のDACのターゲットやそのターゲット向けのプロジェクトを具体的に想定した上で、そのプロジェクトを実現するために必要なエンジニアリング上の課題を抽出する。

(2) 事業化視点での課題の整理（システムインテグレーション）

DACは、まずは回収したCO₂にゼロ・エミッション、さらにはネガティブ・エミッションとしての環境的価値を付与し、商業利用(U)することでいくばくかの収益を得ながら技術開発を進め、最終的には地球温暖化対策の切り札として永久貯留(S)の割合を増やしていくものと想定される。しかしながら、前者の場合は、ネガティブ・エミッションとしての付加価値の値付けが困難な一方、既に実用化が進む排ガス由来のより安価で豊富なCO₂との競合が想定される。また、後者の場合は、回収しても利用せずに貯

留するだけでは民間主導の事業化は進まないことが懸念される。

そこで、以下の①～③の検討を行う。

① 事業化を国内で後押しする公的な規制・支援制度（税制、カーボンプライシング等）及び規格・標準化（CO₂回収量把握法等）の検討と働きかけ

米国では、連邦45Q優遇税制や加州のLCFS（Low Carbon Fuel Standard）制度など、DACを進める企業に対する公的なサポートが整備されることで、DACプラントの立ち上げ計画などの具体的な動きがみられる。欧州グリーンディールでは10年間で1兆ユーロも投資の計画が発表されており、DACを含む脱炭素対策関連大型プロジェクトの誕生に拍車がかかっているように見受けられる。

また、国内においてDACを導入・拡大するためには、ライフサイクルごとCO₂排出量を適正に評価し環境への影響を評価するLCA（Life Cycle Assessment）手法を整備し、CO₂を回収し永久貯留する事業化には、そのプロセス全体を通じたCO₂排出削減量を適切に認証するMRV（Monitoring, Record, Verification）技術の規格・標準化が必要である。また、化石燃料に起因する排ガスから回収するCO₂と比較して、大気から回収するCO₂のネガティブ・エミッションとしての付加価値を適切に評価するためにも、公的な指針あるいは認証制度によるお墨付きのあることが望ましいと考えられる。そこで、

- i. 先行する欧米の支援制度の例を調査する。
- ii. DACの事業化に必要な認証制度や規格・標準化を調査する。
- iii. 以上のような調査結果を踏まえ、DACの事業化を国内で支援する公的な制度はどうあるべきかを議論し、政府への提言としてまとめる。

なお、これら国内公的的制度に関しては、2021年2月に経済産業省主催の「世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会」が発足し、「成長に資するカーボンプライシング」とは、いかなる制度設計が考えられるか、炭素税や排出量取引制度のみならず、国境調整措置やクレジット取引等も含めて、幅広く議論が進められている。この研究会の動きを適宜調査する。

② 将来的に事業になり得る社会モデルの提案

大気からのCO₂回収・貯留事業が実現する将来は、化石燃料起因の排ガス回収CO₂を原料にしたCCUS・カーボンリサイクル社会、カーシェアリングに代表されるシェアリングエコノミー社会、再エネ発電などによる地産地消を指向した分散型社会など、従来社会とは全く異なる価値観をもつ社会の実現が想定される。そこで、

- i. 大気中のCO₂濃度を削減する「バック・ストップ・オプション」であるDACが事業として成立しうる社会モデルを検討し、提案する。
- ii. なお、DACの運転に必要な膨大な電力・熱は、過渡的にはCCS付き火力発電から供給するケースもありうるが、最終的には太陽光、風力、水力、地熱、原子力発電などのカーボンフリーな電源や熱源から供給する必要がある。DACの普及・拡

大に伴って必要になる膨大なカーボンフリー電源・熱源の確保についても、社会モデル検討で取り扱い、必要に応じて前述のプロジェクトモデルにも反映させる。

③ 海外との連携に関する検討（DACの設置に適した海外地域等）

DACは、大気のある地球上のどこでもCO₂回収可能というメリットがあるが、その運転に必要な膨大な電力・熱は、太陽光、風力、水力、地熱、原子力発電などのカーボンフリーな電源や熱源から供給する必要がある。このため、それらカーボンフリーな電源・熱源を安価に安定して供給できる国・地域にDAC設備を設置する方が経済的である。（例えば、安価な太陽光発電電力が利用可能な中東砂漠地帯等）

また、回収したCO₂を原料として利用あるいは永久貯留する場合、CO₂の輸送コスト削減のためには、CO₂利用プラントの近傍あるいは永久貯留に適した場所の近くにDAC設備を設置する方が望ましい。すなわち、DAC設備は電源あるいは後段プロセスのいずれか、あるいは双方の近傍に設置できれば、エネルギー・コスト双方で削減が見込めることになる。

このため、DACを組み込んだ社会モデルの検討に際しては、地理的及び気候的な制約条件の多い国内に限定することなく、DACの設置に適した海外との連携を含めた検討を行う。

2. 2 2022年度の活動方針及び検討項目

2022年度は、最新のDAC開発及びビジネス動向に関する情報収集活動を継続しながら、産業界として引き続き調査や協議が必要と考えられる次の3つのテーマに注力し、さらなる議論を深める。

（1）産学官連携のあり方や具体的な進め方

ムーンショット型開発テーマへの協力、実証段階へと進める国プロ枠組み提案、国内研究開発拠点の整備、DAC開発コンソーシアムの提案 など

（2）回収したCO₂の各種条件に適した貯留・利用

規模や場所（大規模集中/小規模分散、国内/海外）、回収CO₂の性状（気体、固体、液体、濃度等）、技術的成熟度/低コスト化の進展度合い、DAC回収CO₂利用の場合の帰属に関する考察 など

（3）海外との連携や協力体制の構築

海外先行技術の導入検討、海外実証プロジェクトとの連携、DAC適地の選定、二国間協力枠組みの活用 など

これら注力テーマの協議結果を、産業界として取り組むべき具体策として、2021年度の活動成果である政策提言と産学官のロードマップへ反映し、ブラッシュアップする。

さらに、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見いだせれば、具体的な解決に向けて、今年度までの『研究会』から次年度以降のCO₂推進テーマ『プロジェクト』に移行するための取組み、例えば、産学官連携のためのコンソーシアム作りや国内における開発拠点の整備などのプロジェクト化の要否を検討する。

3. 活動スケジュール及び実績

本研究会の2022年度活動スケジュール及び9月下旬までの実績を図3-1に示す。

また、2021年度の活動項目と2022年度に注力している項目の対比を図3-2に示す。

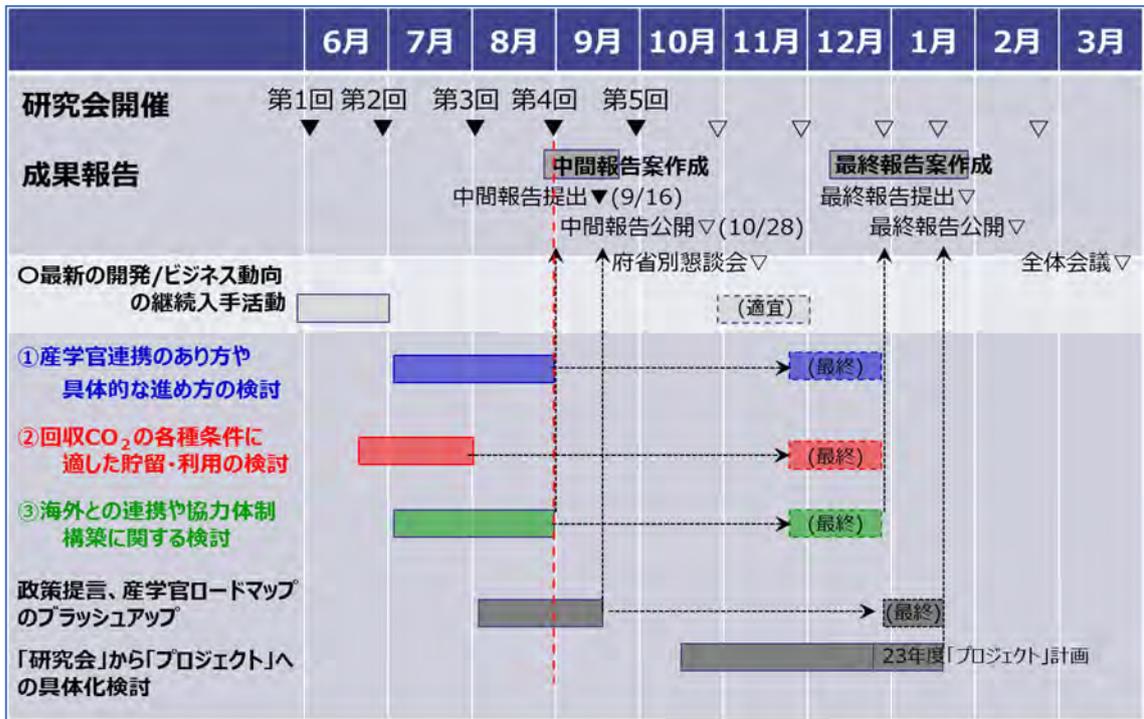


図3-1 DAC研究会 2022年度スケジュール及び9月下旬までの実績



図3-2 DAC研究会 2021年度活動項目と2022年度に計画している注力項目との対比

4. 現在までの活動状況

4. 1 2021 年度の活動実績

2021 年度の活動実績は、検討項目及び図・表一覧のみ記載する。詳細は、2021 年度最終報告書を参照のこと。

(1) エンジニアリング課題の整理

図 4-1 DAC の原理

図 4-2 バック・ストップ・オプションとして DAC 利用時の全気候緩和策に係るコストの概念曲線

図 4-3 ICEF が提唱する DAC イノベーションロードマップ

① 様々なプロセス方式（液体・固体吸収剤、膜分離等）の優位性と理論限界の明確化

表 4-1 DAC 要素技術の比較 -海外先行メーカー/国内ムーンショットプロジェクト

表 4-2 DAC 向け CO₂ 分離要素技術 -捕集メカニズム-

表 4-3 CO₂ 吸脱着方法 -吸収⇔脱着方法/DAC システムへの制約-

表 4-4 空気-溶媒の接触方法 -DAC システムへの制約-

・ DAC のエンジニアリング上の課題：まとめ

② 具体的なターゲットを想定したプロジェクト化

図 4-4 Carbon Engineering 社の動向

図 4-5 Climeworks 社の動向

図 4-6 Global Thermostat 社の動向

表 4-5 DAC 先行 3 社が参加する海外プロジェクト/ビジネス事例

将来の DAC のターゲット市場や具体的なプロジェクトの想定について

・回収 CO₂ の貯留 (Storage) プロジェクト

・回収 CO₂ の利用プロジェクト

図 4-7 DAC 起源 CO₂ の供給先 (候補) の整理

表 4-6 回収 CO₂ の利用先：製品分野別参入の可能性

想定プロジェクトの実現に適した DAC システムの検討

・回収 CO₂ 貯留 (Storage) プロジェクトの場合

・回収 CO₂ 利用プロジェクト (化石燃料起源 CO₂ と競合無) の場合

・回収 CO₂ 利用プロジェクト (化石燃料起源 CO₂ と競合有) の場合

(2) 事業化視点での課題の整理

表 4-7 2050 年の日本における DAC 用供給電源別の必要面積 (試算)

(3) 参加メンバーの主な問題意識・主な意見 (アンケート結果含)

① DAC が将来社会で普及するための必要条件 (公的な規制・支援制度、カーボンニュートラルが実現する社会モデル、CO₂ 市場など) について

② DAC の研究開発段階から実用段階へと技術的成熟度を促進させる環境について

③ 国際的な技術競争力の持続的な向上に必要な国内産業基盤について

④ 海外展開や海外との事業連携に関する国際的な統一ルールについて

4. 2 2022 年度の活動状況

3つの注力テーマ検討のため、最新のDACの開発、ビジネス及び政策動向等をIPCC第6次評価報告書第3作業部会報告書『Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change』(以下、IPCC AR6 WGIII報告書)、及び国際エネルギー機関(IEA)報告書『Direct Air Capture 2022 - A key technology for net zero-』(以下、IEA DAC報告書)、国内ではグリーントランスフォーメーション推進小委員会『クリーンエネルギー戦略 中間整理』及びグリーンイノベーション戦略推進会議 会議資料『ネガティブ・エミッション技術について』、その他様々な公開情報を調査した。

・ IPCC AR6 WGIII報告書

同報告書の第12章では、DACCS(Direct Air Capture with Carbon Storage)を含む様々な炭素除去技術(CDR:Carbon Dioxide Removal)オプションを、技術成熟度、コスト、緩和ポテンシャル、リスク及び影響などを評価している複数の文献を紹介しつつ、表4-1に示すような比較表にまとめている。DACCSは、高エネルギー要件さえ満足すれば技術的なポテンシャルは事実上無制限とする文献や、その他のCDRオプションの代替ではなく補完する役割を果たし、緩和コストの抑制に効果的とする文献などが紹介されている。ただし、多数の統合評価モデルシナリオに組み込まれているCDRオプションは、主にBECCS(Bioenergy with Carbon Capture and Storage)やA/R(Afforestation/ Reforestation)であり、DACCSは一部のシナリオに留まっている。

表4-1 IPCC AR6 WGIII報告書におけるCDRオプション評価(DACCS欄抜粋(仮訳))

CDR オプション	技術成熟度 (TRL)	コスト (米ドル /tCO ₂)	緩和ポテンシャル (GtCO ₂ /年)	リスク及び影響	コベネフィット	トレードオフ 及び波及効果	モデル化された緩和経路における役割
DACCS	6	100~300 (84~386)	5~40	エネルギー及び水利用の増加	水製造(固体吸着材を用いたDAC設計のみ)	水供給及びエネルギー生産からの潜在的な排出量増加	DACCSが他のCDR手法を補完するIAMsの例有り

出典: IPCC AR6 WGIII Final Draft Full Report Chapter 12 12.3 Table 12.6
https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf

・ IEA DAC報告書

同報告書では、2050年ネット・ゼロへの実現には、DAC技術の役割が益々大きな果たずと評価しており、DACに関する様々な最新動向、DACに最適な場所、及びネット・ゼロを加速するためのDACの展開に必要な6つの優先事項などが整理されており、2022年度の注力テーマ検討の参考情報として活用している。

IEAのネット・ゼロ・シナリオでは、現在から2050年までの間に毎年平均32の大規模プラント(各々1Mt-CO₂/年)を建設する必要があり、そのためには、コストを削減し、技術を改善し、DAC技術の市場を構築するための公的および民間のサポートを増やす必要がある、と主張している。IEAは、これらネット・ゼロの目標に沿ってDACを展開するため、表4-2の通り、6つの短期的な優先事項にまとめている。

表4-2 IEAがまとめたDACの展開に必要な6つの優先事項

DACの展開に必要な6つの優先事項	
1	優先的な大規模なDACの実証

	短期的な実証と展開には、その対象を絞った政策とプログラムが必要。政府機関は、計画プロジェクトが実運用へと進み、DAC技術とサプライチェーンに不可欠な教訓提供を可能にすべし。
2	DACバリューチェーン全体でのイノベーション促進 イノベーションは、DACプラントの必要エネルギー量の削減、製造・運転コストの削減、高温の熱を供給する低炭素排出源を利用可能性の向上、及び合成航空燃料を含むCO ₂ 活用方法の開発とコスト削減、の観点から重要。
3	CO₂貯留の特定及び開発 DACによるCO ₂ の大量除去ポテンシャルは、適切な地質学的CO ₂ 貯留の開発次第。貯留ポテンシャルは膨大なものの、これら資源開発には約10年程度は必要、一部の地域ではDACの大規模化にブレーキをかけるおそれ有り。
4	DACの認証と会計に関して国際的に合意されたアプローチの開発 DACについてロバストで透明性があり標準化された国際認証および会計手法は、炭素市場およびIPCC温室効果ガスインベントリレポートにおけるDAC認知度の促進に必要。
5	ネット・ゼロ戦略におけるDACおよびその他のCDRアプローチの役割の評価 DACおよびその他CDRアプローチに期待される役割の理解とコミュニケーションの向上は、国や地域内の技術、政策、及び市場ニーズの定量化に有効。たとえば、英国のNet Zero Strategyは、2050年までに約80Mt-CO ₂ の技術ベースの炭素除去が必要と指摘。
6	展開を加速するための国際協力の構築 IEA、クリーンエネルギー部長級会議(CEM)、ミッションイノベーション(MI)、温室効果ガス研究開発に関する技術コラボレーションプログラム(GHG TCP/IEAGHG)などの国際組織やイニシアチブを通じたコラボレーションは、知識の共有を促進し、研究活動の重複を減らし、LCAへのアプローチとDAC技術の会計方法を調和させる上で重要な役割を遂行可能。

出典:IEA Direct Air Capture 2022 <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

なお、IEA DAC報告書に記載されている個別情報は、テーマごとの状況説明時に適宜参照する。

(1) 産学官連携のあり方や具体的な進め方

本テーマを検討するにあたり、国内及び海外の状況を調査した。

➤ 国内の状況

国内の状況については、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)新領域・ムーンショット部ムーンショット型研究開発事業推進室吉田朋央殿、及び産業技術総合研究所(産総研)CO₂分離回収・資源化コンソーシアム事務局古屋武殿によるご講演及び質疑応答を通してメンバーの理解を深めた。

・NEDO ムーンショット型研究開発制度 2020年度～

ムーンショット型研究開発制度が掲げる9つの目標のうち、「目標4:2050年までの地球環境再生に向けた持続可能な資源循環の実現」を目指すプロジェクトのひとつにDACなどの「温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術」が位置づけられている。DAC関連では、表4-3に示す7つの研究開発プロジェクトが推進中である。

表4-3 NEDOMーンショット型研究開発 目標4 DAC技術関連プロジェクト一覧

	研究開発プロジェクト	PM
1	大気中からの高効率CO ₂ 分離回収・炭素循環技術の開発	(国大)金沢大学 児玉 昭雄
2	電気化学プロセスを主体とする革新的CO ₂ 大量資源化システムの開発	(国大)東京大学 杉山 正和

3	C ⁴ S*研究開発プロジェクト *C ⁴ S: Calcium Carbonate Circulation System for Construction (建設分野の炭酸カルシウム循環システム)	(国大)東京大学 野口 貴文
4	冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発	(国大)名古屋大学 則永 行庸
5	大気中CO ₂ を利用可能な統合化固定・反応系 (quad-C system) の開発	(国大)東北大学 福島 康裕
6	“ビヨンド・ゼロ”社会実現に向けたCO ₂ 循環システムの研究開発	(国大)九州大学 藤川 茂紀
7	電気エネルギーを利用し大気CO ₂ を固定するバイオプロセスの研究開発	(国研)産業技術総合研究所 加藤 創一郎

・産総研「CO₂分離回収・資源化コンソーシアム」 2021年9月設立

産総研は、『2050年までにカーボンニュートラルを達成するには、CO₂分離回収・資源化・固定化技術の研究開発をオールジャパンで取り組むことが必要である』と考え、図4-1に示す「CO₂分離回収・資源化コンソーシアム」を2021年9月1日に設立した。『本コンソーシアムを情報交流の場としてさまざまな法人、大学、公的研究機関の交流を活発にし、業界全体の技術力向上に寄与するとともに、社会実装を加速する大型連携の創出を通じて、カーボンニュートラルの早期実現に貢献』することを目指している。

2022年10月6日現在、法人会員101法人、特別会員65名が参加している。

出典:産総研HP CO₂分離回収・資源化コンソーシアム

<https://unit.aist.go.jp/dmc/consortium/co2c/index.html>



図4-1 産総研 CO₂分離回収・資源化コンソーシアムの概要

出典: CO₂分離回収・資源化コンソーシアムパンフレット

https://unit.aist.go.jp/dmc/consortium/co2c/ja/intro/co2c_pamphlet_2203.pdf

既に多くの企業が参加している本コンソーシアムは、DAC技術のみにフォーカスした
ものではないが、様々なCDRオプションの中から、その目的・用途に応じて、DAC技
術についても適材適所で選択し、活用していく動きになるものと思われる。

将来的にはDAC技術の事業化・普及を目指す産学官連携のコアとしても発展してい
くことが期待される。

▶ 海外の状況

海外では、CCUS及びCDR技術の開発・実証・普及を目指した様々な公的支援制度や
産学官が連携したプロジェクトが活発になってきており、DACもそれら対象に含まれて
いる。表 4-4 に前述のIEA DAC報告書がまとめた国・地域別の公的資金による主な
DACイニシアチブを示す。

表 4-4 国・地域別の公的資金による主なDACイニシアチブ

プログラム/手段	説明
カナダ	
Climate Action and Awareness Fund	この基金は、DACを含む炭素除去技術のポテンシャルとその影響を理解するための取り組みを含め、カナダのGHG排出量を削減するプロジェクト支援のために2億600万カナダドル(1億6,400万米ドル)を投資している。
Net Zero Accelerator	戦略的イノベーション基金の一部であるこのイニシアチブは2020年12月に発表され、カナダの予算2021では、産業部門の脱炭素化を支援するために7年間で合計80億カナダドル(64億米ドル)を提供するまでに拡大された。CO ₂ の利用を伴うDACは、低炭素製品を生産するための気候中立なCO ₂ 原料として適格である。
Clean Fuel Standard	この基準では、液体燃料の供給業者は、製造および販売する燃料の炭素強度を徐々に下げる必要がある。低炭素強度の燃料には、持続可能な方法で調達されたバイオマスとDACから作られた燃料が含まれる。
Budget 2021	この予算には、DACを含むCCUS技術の商業的実行可能性を改善するために、カナダ天然資源省がRD&Dに資金を提供するための7年間で3億1900万カナダドル(2億5400万米ドル)が含まれていた。
欧州連合	
Horizon Europe	DACプロジェクトは、研究とイノベーションのための主要なEU資金調達プログラムであるHorizon Europeの下で支援を受ける資格を有している。Horizon Europeの全ての分野にわたる総予算は955億ユーロ(約1,130億米ドル)。
Innovation Fund	CCUSやDACを含む低炭素技術とプロセスの革新を支援するために、2020年に100億ユーロ(118億米ドル)の基金が発足した。
Communication on Sustainable Carbon Cycles	2021年12月に発表されたこのコミュニケーション(指針)は、大気からの炭素の除去を増やすための戦略を示している。本指針では、2030年までに毎年5MtのCO ₂ を除去する必要があることを示唆している。
英国	
DAC and GHG Removal Competition	2020年に発表されたこのコンペティションは、大気からのGHGの除去を可能にする技術に資金を提供する。総予算は最大1億ポンド(1億3700万米ドル)。
Net Zero Strategy	この戦略では、2050年までにDACおよびBECCSを介した75~81MtCO ₂ の工学的な炭素除去の必要性を断定している。DACはまた、持続可能な航空燃料の生産支援のために発表された1億8000万ポンド(2億4800万米ドル)の資金提供から利益を得られる可能性がある。

米国	
45Q tax credit	この税額控除（2008年に導入され、2018年に拡大）は、石油増進回収に使用されるCO ₂ 1トンあたり35米ドル、貯留されるCO ₂ 1トンあたり50米ドルを提供する。このクレジットは、プラントの回収容量が10万tCO ₂ /年を超える場合にのみDACで利用できる。DACに180米ドル/tCO ₂ を提供するBuild Back Better Actを含め、45Q税額控除の価値を高めるための提案がいくつかある。
California Low Carbon Fuel Standard	プロジェクトがCO ₂ 回収隔離プロトコルの要件（100年間の貯留モニタリングを含む）を満たしている場合、世界中のどこであってもDACプロジェクトであればLCFSクレジットを受け取る資格がある。2020年に、LCFSクレジットは平均約200米ドル/tCO ₂ で取引された。
Infrastructure Investment and Jobs Act	2021年11月に制定されたこの法律には、約120億米ドルのCCUS支援が含まれていた。これには、4つのDACハブ（年間1 MtCO ₂ 以上）および関連する輸送および貯留インフラストラクチャを確立するための35億米ドルの資金が含まれる。DACプロジェクトは、この法律に含まれる約5億米ドルの追加のCCUS資金援助の対象にもなる。DAC Prizeプログラムもインフラストラクチャパッケージによって完全に資金提供されており、商業規模のプロジェクトには1億ドル、商業化前のプロジェクトには1,500万ドルが提供される。
Carbon Negative Shot	これは、2021年11月のCOP26で、大気からCO ₂ を除去し、DACを含むCO ₂ 換算で100米ドル/トン未満の意味のある規模で永続的に貯留する技術とアプローチのイノベーションを追求するものとして発表された。
DOE funding programmes	DAC専用の複数の資金調達プログラムは、2020年3月（2,200万米ドル）、2021年1月（1,500万米ドル）、2021年3月（2,400万米ドル）、2021年10月（1,450万米ドル）に発表された。
日本	
Moonshot Goal 4	ムーンショット目標4（ムーンショット型研究開発プログラムのサブセット。2019年に開始され、総予算は1,000億円[10億米ドル]）は、「2050年までに地球環境再生に向けた自然循環の実現」に焦点を当てている。この目標を達成するために、ムーンショット目標4には、DACを含む複数の革新的な技術に対する200億円（2億米ドル）の研究開発資金が含まれている。

出典: IEA Direct Air Capture 2022 (仮訳) <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

また、特に次の2つのイニシアチブについては、将来の国内さらにはアジア地域においてDACの事業化及び普及の枠組みを発展させる際の参考になるものと考えられる。

-米国” Carbon Negative Shot”：2050年のネット・ゼロ排出実現に必要な新興のCDR産業の発展を促進するため、米国DOEが2021年11月に創設。大気から相当量のCO₂を、正味1トン当たり換算100米ドル未満で回収・貯留する技術とアプローチのイノベーションを訴求している。

-欧州” Negative Emissions Platform: 欧州及び国際的な企業、スポンサー、学術機関などが参加する各種CDR技術の促進を目標に掲げている。カーボンサイクルを閉じる手段として、大気中のCO₂をe-fuelや化学製品などに利用することを積極的に推進し、大気からのCO₂回収技術の規模の経済とコスト削減の実現を志向している。

(2) 海外との連携や協力体制の構築

➤ 日本が手掛ける国際協力の枠組みの活用

DACを使用して大気から回収したCO₂の貯留・利用に際しては、国内のみならず海外との連携・協力が必須と考えられる。そこで、三菱総合研究所殿の協力のもと、現在日本が手掛けている国際協力の枠組みを調査し、その活用可能性について、次の通り確認した。

・アジアCCUSネットワーク

アジア全域でのCO₂回収・利用・貯留(CCUS)活用に向けた環境整備や知見を共有する国際的な産学官プラットフォーム。将来は、DACで回収したCO₂の利用・貯留環境の整備にも活用可能ではないかと考えられる。

・CEFIA: Cleaner Energy Future Initiative for ASEAN

経済成長が著しいASEAN地域において、エネルギー転換と省エネルギーの推進によ

る低炭素化をビジネス主導で実現する官民協働の取り組み。将来は、DACビジネスを対象とした制度構築・市場普及の参考になるものと考えられる。

・ JCM: Joint Crediting Mechanism 二国間クレジット制度

COP26の議論を踏まえて、JCMのパートナー国の拡大、民間資金を中心としたJCMの拡大、対象スコープの拡大等の動き有り。パートナー国へのDAC導入・普及、日本の脱炭素貢献評価にも活用可能と考えられる。

さらに、2022年1月、岸田総理大臣施政演説における「アジア・ゼロエミッション共同体構想」の今後の動きについても注視していくことを確認した。

➤ DACに最適な場所

・ 海外連携のあり方について検討する場合の前提として、より低コストなCO₂回収及び貯留が可能なDACに適した場所を把握しておく必要がある。図4-2は、DACプラントへの脱炭素エネルギー源(再エネに適した地域、原子力/水力/地熱発電の立地箇所(計画含む)と、回収したCO₂の地中貯留ポテンシャルを世界地図上に重ねてマッピングした図である。また、図4-3は、DACによるCO₂回収コストを国・地域ごとの試算結果を示したものである。なお、同報告書によると、DACのコスト評価の結果は次の通りである。

- 再エネのポテンシャルが高く、電力と熱の生産に最適な技術を利用できる地域では、DACコストは2030年までに100米ドル/t-CO₂を下回る可能性が有る。
- DACを展開する地域のうち、中東と中国は、欧州、北アフリカ、及び米国と同様に、最もコストが少なく済む可能性がある。
- ただし、コストがこれらのレベルに下がるポテンシャルは、イノベーションと展開に対する公的および民間のサポートの増加度合いに大きく依存する。

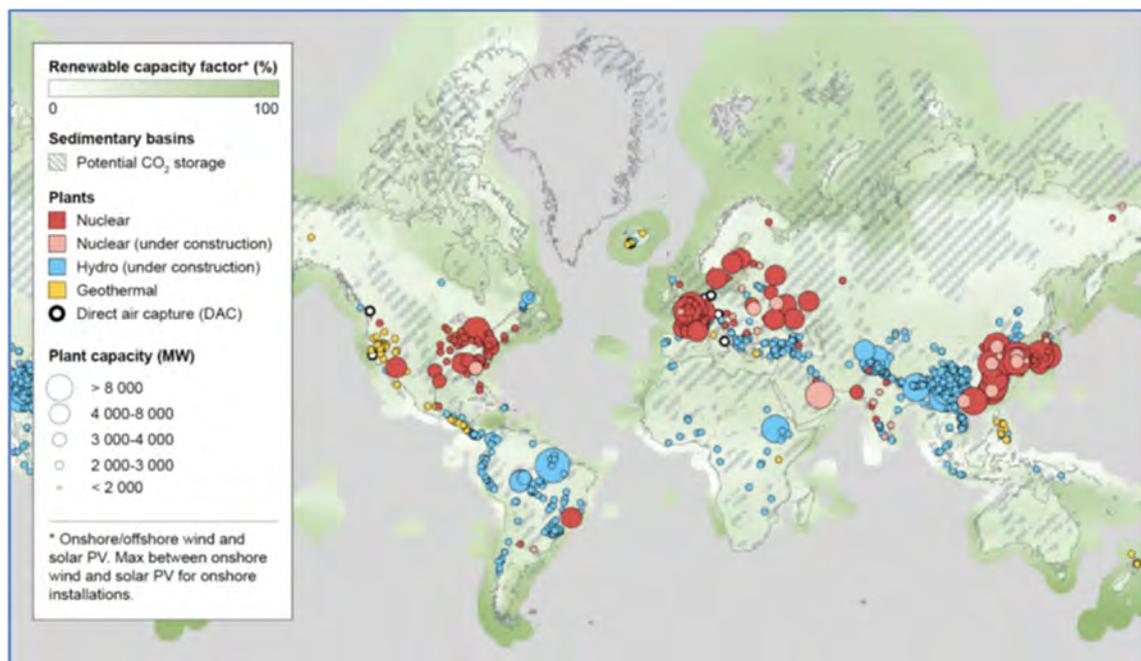


図 4-2 再エネ発電、原子力/水力/地熱発電立地地域とCO₂貯留ポテンシャルを重ねた地図

出典:IEA Direct Air Capture 2022 (仮訳) <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

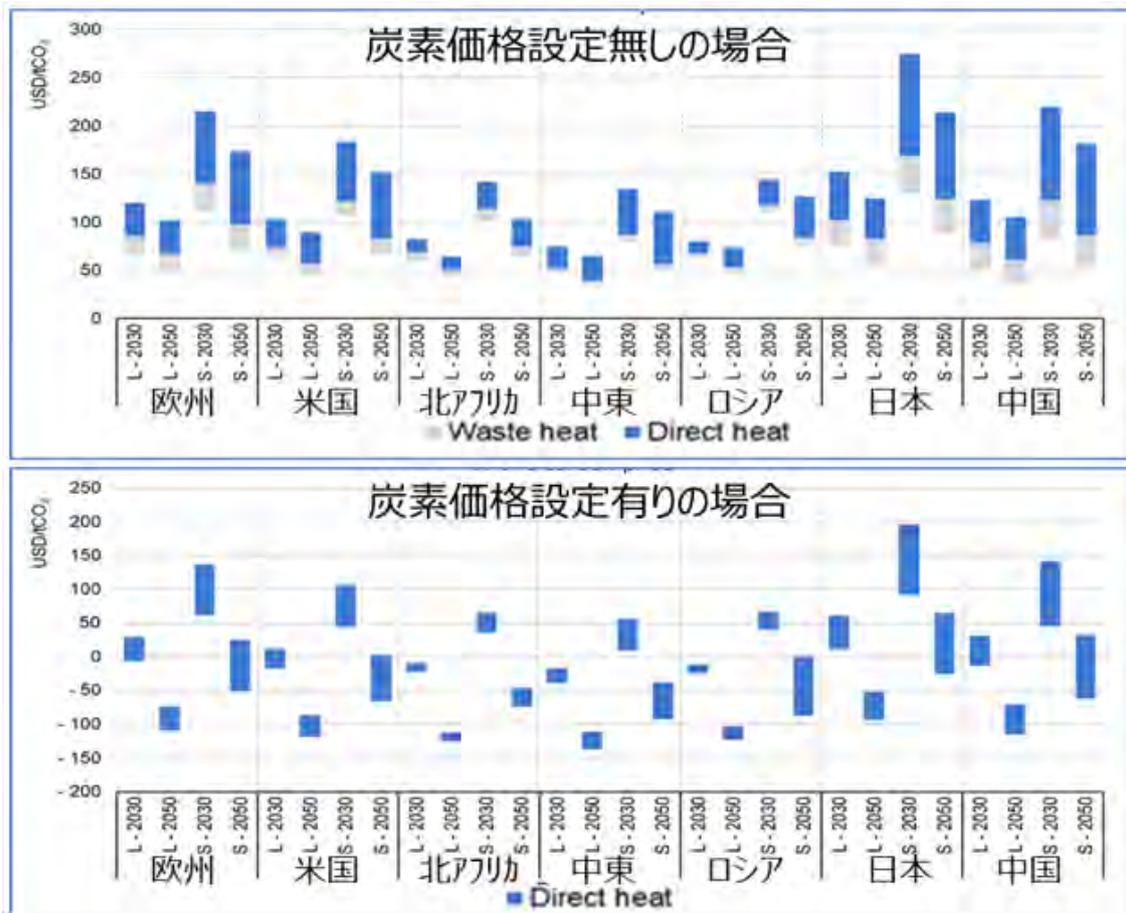


図 4-3 国・地域別の DACCS 技術による炭素回収の均等化コスト、2030 年および 2050 年
 出典: IEA Direct Air Capture 2022 (仮訳) <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

(3) 回収した CO₂ の各種条件に適した貯留・利用

➤ CO₂ の貯留：CCS 事業に関する長期ロードマップ調査

DAC により回収した CO₂ を貯留する場合の貯留可能なポテンシャルや、貯留に伴う課題などは CCS 事業で回収される CO₂ の場合と同様である。このため、CCS 事業に関する検討状況を調査した。図 4-4 に示す通り、2022 年 5 月に発表された「クリーンエネルギー戦略 中間整理」では、2050 年時点の年間 CO₂ 貯留量の目安を 1.2 億トン～2.4 億トンと想定した上で、2030 年までの CCS 事業開始に向けた事業環境整備を政府としてコミットし、年内までに「CCS 長期ロードマップ」の最終とりまとめを行う、とされている。本研究会でも引き続き、これら政府機関の動向をウォッチする。

GXの方向性（CCS）②取組の方向性

- **2050年時点の年間CO2貯留量の目安を1.2億トンを～2.4億トンと想定し、「2030年までのCCS事業開始」に向けた事業環境整備を政府としてコミット（CCS長期ロードマップに明記）。**
- **CCSに関する国内法の整備や事業化支援など必要な取組について更なる検討を集中的に行い、年内までにCCS長期ロードマップの最終とりまとめを行う。**

<取組の方向性>

【基本理念】

CCSを計画的かつ合理的に実施することで、社会コストを最小限にしつつ、わが国のCCS事業の健全な発展を図り、もってわが国の経済及び産業の発展やエネルギーの安定供給確保に寄与することを目的とする。

【具体的アクション】

- ① **2022年内にCCS国内法整備の論点を整理し、可能な限り早期にCCSに関する国内法を整備する。**
- ② CCSバリューチェーンそれぞれの将来のコスト目標を設定し、**研究開発や実証等により、コスト低減を図る。**
- ③ **事業者と連携し、国が積極的にCCSの適地調査を実施する（既存データの開示を含む）。**
先進的なCCS事業について、**欧米などCCS先進国で措置している手厚い補助制度等の支援制度を参考にし、政府支援の在り方を検討する。**
商業化の段階等を踏まえ、**米国等における支援措置も参考にしつつ、更なる政府支援の在り方を柔軟に検討する。**
- ④ **国や地方自治体、企業等が一体となり、国民やCCS実施地域の住民等の理解増進を図る。**
- ⑤ 「アジアCCUSネットワーク」を通じた知見共有、海外CCS事業へのリスクマネー供給等を通じて、**海外CCSを推進する。**

CCS長期ロードマップ 中間とりまとめ（案）



97

図 4-4 CCS事業 取組の方向性

出典：クリーンエネルギー戦略 中間整理 経済産業省 産業技術環境局・資源エネルギー庁 2022年5月19日
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/green_transformation/pdf/20220519_1.pdf

➤ CO₂の利用：カーボンリサイクル燃料利用に関する調査

DACにより回収したCO₂を利用する場合の先行検討例として、貯留の場合と同様に先行するCCU事業におけるカーボンリサイクル燃料利用について調査した。図4-5に示す通り、合成メタンを含むカーボンリサイクル燃料を燃焼した際のCO₂排出について、国際・国内の制度等における扱いが明確でないため、ビジネスとしての予見性が低い旨の課題が指摘されており、供給側の技術開発投資や生産設備投資、需要側のカーボンリサイクル燃料利用の促進には、燃焼時のCO₂排出の扱いに係るルールを含む環境整備を速やかに図ることが必要、とされている。

カーボンリサイクル燃料利用に伴うCO₂排出に係る制度整備

CCUS

- 合成メタンを含むカーボンリサイクル燃料を燃焼した際のCO₂排出について、**国際・国内の制度等における扱いが明確でないため、ビジネスとしての予見性が低い。**
- 供給側の技術開発投資や生産設備投資、需要側のカーボンリサイクル燃料利用の促進には、**燃焼時のCO₂排出の扱いに係るルールを含む環境整備を速やかに図ることが必要。**

メタネーション推進官民協議会CO₂カウントタスクフォース中間整理（概要）

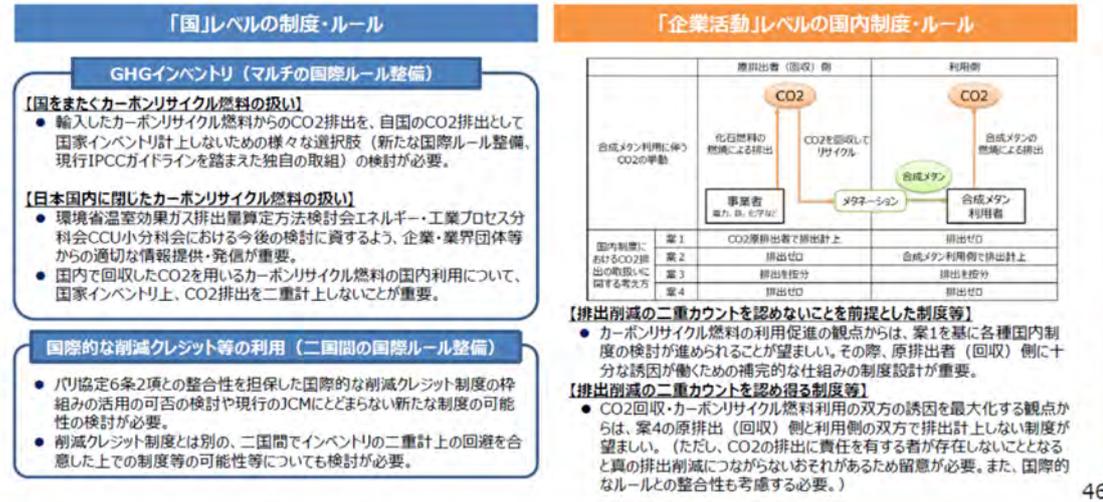


図 4-5 カーボンリサイクル燃料利用に伴うCO₂排出に係る制度整備

出典：クリーンエネルギー戦略 中間整理 経済産業省 産業技術環境局・資源エネルギー庁 2022年5月19日
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gi_jutsu/green_transformation/pdf/20220519_1.pdf

➤ 回収規模や場所、回収CO₂性状、技術成熟度からの整理

・ I E A D A C 報告書の記載

I E A D A C 報告書では、回収したCO₂を貯留する以外に、化学製品、合成燃料や建築材料などの原料として利用することが可能とする一方、炭素除去のためには、CO₂を恒久的に貯留する必要があるとし、その利用に関しては、次のように記載されている。

- 合成燃料を含む大部分の大規模なCO₂利用では、CO₂は最終的に大気中に再放出される。CO₂利用は、拡張性が高く、低炭素エネルギーを使用し、ライフサイクル排出量の多い製品を代替する場合には、気候上の利益を提供できる。
- ネット・ゼロ排出に向けた脱炭素化の道程では、大気中のCO₂は、最終的には化石ベースの炭素利用に取って代わる必要がある。CO₂の利用は、上記の状況下で気候上の利益をもたらせるが、国際的な気候目標達成のために大規模な展開が期待されるCO₂貯留を代替するものではなく、補完的なものである。
- I E A のネット・ゼロ排出シナリオでは、（すべてのCCUS活用から）回収されたCO₂の総計の約95%は、利用ではなく貯留を目的としている。
- 2050年にDACを介して回収される980Mt-CO₂のうち、630Mt-CO₂は恒久的に貯留され、350Mt-CO₂は利用（主に航空燃料用）である。

・ 規模や場所、及び回収CO₂の性状の観点からの整理

回収したCO₂を、大容量の地層貯留地に貯留する場合と化学製品工場にて利用する場合とをイメージしつつ、大規模集中と分散配置というDACプラント配置例について、コスト、必要資源、投資・支援の観点から整理したものを表4-5に示す。

また、回収CO₂の性状と用途（貯留または利用）の組合せによる比較を表4-6に示す。

表 4-5 DACプラントの規模や設置場所の観点からの整理

		大規模集中	小規模分散
コスト	設備	スケールアップ、大量生産効果によるコスト削減に期待、初期投資額:大	大量生産効果によるコスト削減に期待、初期投資額:小
	運転	集中管理で高効率化可能	大規模より効率は劣る
	輸送	利用先から遠隔設置の場合、インフラ整備/輸送費に課題	利用先と近接設置可能 省コスト化可能(地産地消)
必要資源	脱炭素電源・熱源	安価で大容量が必要 設備利用率向上には、安定電源・熱源要、遠隔の場合、輸送ロス発生	小容量で十分 利用先の電源・熱源の炭素強度次第 (地産地消前提)
	土地	低密度・変動型の電源・熱源の場合、大面積が必要 ^{注1}	利用先次第だが、課題小(地産地消前提)
	水	L-DACは必要、S-DACは副産物 ^{注2}	同上
	初期投資	ハードル高	ハードル小
投資・支援	公的支援	必須、民間単独は困難	必要、民間単独も可

注1: 必要面積: L-DACでは、約0.4km²/Mt-CO₂/年、 S-DACでは、1.2~1.7km²/Mt-CO₂/年
 に対し、地熱発電 1.5km²/Mt-CO₂/年(L-DAC)~太陽光発電 23km²/Mt-CO₂/年(S-DAC)

注2: 必要水量: L-DACでは最大50t-H₂O/t-CO₂ 必要、 S-DACでは0.8~2t-H₂O/t-CO₂ 抽出
 上記注記の各数値は、IEA Direct Air Capture 2022 <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

表 4-6 回収CO₂の性状の観点からの整理

	貯留する場合	利用する場合
CO ₂ として回収	輸送・圧入コスト削減のためには、高濃度が望ましい	直接利用: 飲料の炭酸化、温室促成栽培利用等 回収濃度は用途次第 間接利用: 合成燃料、各種有機材料の原料 回収濃度は高濃度 間接利用の場合、CO ₂ 以外の原材料(H ₂ など)の製造コスト(LCA上、脱炭素が前提)の削減も大きな課題として考慮要 ←CO ₂ 回収コストのみに着目しても不十分
CO ₂ 以外の炭素化合物として回収 CCUSアプリケーションの事例発表が増加中	液体や固体の安定した炭素化合物として回収する提案有り (例:炭酸塩として回収)	用途に応じて原材料になる炭素化合物に直接変換して回収する提案有り (例:COとして回収)

回収するCO₂の用途に応じて大規模集中型と小規模分散型の選択は可能である。なお、大規模集中型の場合、DAC施設廻りの自然環境条件の適否のほか、脱炭素電源・熱源に必要な土地・水資源などへの影響が、DAC施設を設置することによる影響より大きく

なる懸念がある。DAC施設を社会実装が始まる小規模導入の時期から、地球規模での大規模普及へと展開する際の大きな課題となることを再認識した。

・DAC技術の技術成熟度及び将来の見通しについて

DAC技術の技術成熟度は、表 4-7 に示す通りであり、前述のIPCC AR6 WGIII 報告書では、既に展開されつつある先行メーカー3社の技術(アミン系、炭酸カルシウム系)を想定して、TRL=6と評価している。ただし、これら技術の高コストかつ高エネルギー消費という欠点が大規模展開のネックになっているという評価である。そのため、様々なベンチャー企業や大学・研究機関で、これら従来型DAC技術の大幅改良あるいは全く別の革新的な技術開発を続けているところであり、前述のNEDOムーンショット型研究開発プロジェクトもその一例といえる。

ちなみにIEA DAC報告書では、最新のDAC技術開発例として、エレクトロスイング吸着法(ESA)及び膜ベース法(m-DAC)を挙げて評価しているが、これら革新性の高い回収技術は、技術成熟度が低いため、将来性を見通しを評価することは未だ困難である、と結論づけている。

表 4-7 DAC技術の技術成熟度(TRL)評価

IPCC AR6 WGIII 報告書におけるDAC技術の技術成熟度(TRL)評価			
	TRL	メリット	課題
DACCS (既に展開されつつある先行メーカー3社の技術を想定)	6	他のCDR手法と比べて、コスト以外の制約が少ない 土地要件: 小、水要件: 小	他のCDR手法と比べて、高コスト、高エネルギー消費
IEA DAC報告書における最新DAC技術の技術成熟度(TRL)評価			
	TRL	メリット	課題
エレクトロスイング吸着法(ESA)	4	電気化学セルの原理セルの多層化によりコンパクト化可能 温度・圧力変化不要のため、必要エネルギー小	性能、コスト、材料、運用および保守に関するさらなる知見の蓄積要 大気(低濃度)からのCO ₂ 除去の性能向上
膜ベースDAC(m-DAC)	-	従来のCCUSアプリケーション(中・高濃度CO ₂)では、セメント業界向けTRL4, 天然ガス処理TRL6と実用化に近い	未だ、揺籃期のレベル 圧縮するためのコスト大 大気圧下でのCO ₂ 選択性向上

➤ 航空業界の取組みについて

産業界では、それぞれ 2050 年までのCO₂排出量ネット・ゼロ実現に取り組んでいるが、航空業界及び全日本空輸株式会社(ANA)の最新の取組み状況について、ANA 経営戦略室の吉川浩平殿によりご講演頂いた。カーボンニュートラル(CN)の確実な実現に向け、どうしても削減しきれないCO₂対策として、DACCSを含むネガティブ・エミッション技術(NETs)の活用まで戦略に組み込んだ良好事例であることを共有した。

・国際航空における取組み

- 国際民間航空機関(ICAO)は、国際航空にて 2021 年~2050 年まで年平均 2%の燃費効率を改善するグローバルな目標を達成するため、2010 年の総会で 2020 年以降は温

室効果ガス（CO₂）の排出量を増加させない「CNG2020」を採択

- 2016年 ICAO総会で、2021年以降はCO₂排出量の増加を伴わない国際航空の成長スキーム「CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)」を採択。

グローバル削減目標: 燃焼効率を毎年2%改善、2020年以降総排出量を増加させない

4つの脱炭素手法: ①新技術の導入、②運航方式の改善（燃節）、

③代替航空燃料の活用（SAF (Sustainable Aviation Fuel)),

④排出権取引

・ANAにおける取り組み

- ANAでは、図4-6に示す通り、2050年カーボンニュートラル(CN)実現に向けたトランジション戦略を策定した。(2022年8月1日プレスリリース)
- 1) 運航上の改善、及び 2) SAFの活用等による航空燃料の低炭素化により、CO₂排出量を削減する。
- さらに、3) 排出権取引制度を活用することにより、残余のCO₂排出量を相殺する。
- 上記対策では削減しきれないCO₂への対応策として、DAC等、国内外で研究開発が進められている大気中からCO₂を回収・吸収するネガティブ・エミッション技術(NETs)の活用によるCO₂の「除去」にも積極的に取り組み、2050年度までに排出権取引制度に依存せず実質ゼロ（カーボンニュートラル）を目指す。
- NETs活用については、2030年にはCO₂削減量の1%、2050年にはCO₂削減量の10%をNETsで実現する目標を掲げる。

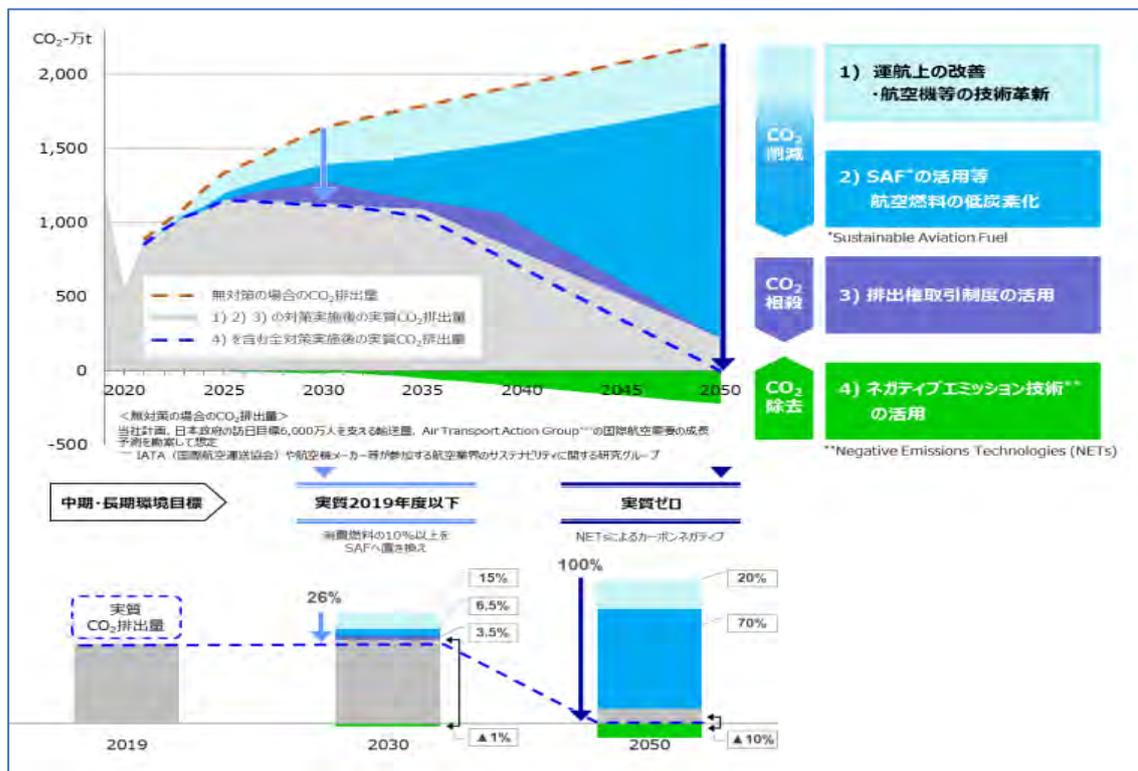


図4-6 ANA 2050年CNに向けたトランジション戦略

出典: ANA HOLDINGS NEWS 2050カーボンニュートラル実現に向けたトランジション戦略を策定
第22-010号 2022年8月1日 <https://www.anahd.co.jp/group/pr/202208/20220801-3.html>

➤ **CO₂の利用: CO₂削減効果について**

大気から回収したCO₂を貯留する場合にはネガティブ・エミッションであるが、利用する場合の用途やそれぞれの削減効果、大気から回収したCO₂と化石燃料起源のCO₂を利用する場合の価値の違い、CO₂利用に対する本研究会の見解等についてメンバー間で議論が交わされている。これに関連して日本エネルギー経済研究所の大槻貴司殿から、CCUS・カーボンリサイクルに関する論文情報が提供され、メンバー間で共有された。脱炭素化された合成燃料(e-fuel)を回収CO₂と脱炭素H₂から製造した場合のCO₂削減効果の帰属問題など、興味深い内容であるため、2022年度後半の本研究会において議論を深め、本研究会としての見解をまとめる予定である。

5. 産業競争力強化のための提言および施策について

5. 1 2021年度の活動実績

2021年度は、4つの論点*を中心にしたメンバー間議論の前提として、DACの普及直前のカーボンニュートラル/カーボンリサイクル社会が構築されていくイメージを想定した。

- * ① DACが将来社会で普及するための必要条件
- ② DACの研究開発段階から実用段階へと技術的成熟度を促進させる環境
- ③ 国際的な技術競争力の持続的な向上に必要な国内産業基盤
- ④ 海外展開や海外との事業連携に関する国際的な統一ルール

➤ **DACが普及する直前の社会想定**

・ **2030年代に向けて、カーボンリサイクル社会が次第に実現すると予想**

化石燃料由来の中・高濃度CO₂回収により、大量のCO₂が供給

化石燃料を直接の原材料とはせず、回収CO₂への利用にシフト

DACなどのネガティブ・エミッション技術は、脱炭素化に積極的な国・地域やCO₂排出削減の難しい産業などにおいては、その利用が進みつつあるものの、地球規模での大規模な普及には至らない状況

-電力：火力発電は、可能な限りCO₂回収装置が設置され大量のCO₂回収

-産業：CO₂排出量削減が進む一方、排出分は可能な限り回収

有機製品(燃料、化学製品類)は、回収CO₂を可能な限り利用

-輸送：非化石燃料由来のグリーン燃料比率増加、脱炭素電源への電化が進展

・ **カーボンリサイクル社会実現に向けた課題は次第に解決されると予想**

CO₂の負の外部性(迷惑財)を適正に内部化する環境が整備されたカーボンリサイクル社会を想定

-迷惑財としてのCO₂に国が価格付けするだけでなく、民間ベースでもCO₂を除去すること自体が価値として認められ、価格付けされる社会

-これらが、国内のみならず国家間をまたぐ活動や取引においても次第に整備されるものの、大気中へ排出されるCO₂をゼロにはできない状況

これら直前の社会を想定する過程で、仮にCO₂排出量がゼロになっても、他の削減が難しい温室効果ガス排出のオフセット、あるいは温暖化のレベルを低く抑えるためには、ネガティブ・エミッション技術であるDACの普及は必須であることを強く再認識した。また、DACの大規模な普及実現には、一般社会がその必要性を理解し受け入れて頂けるよう、地域的受容性の観点からの対応も重要との意見があった。

その上で、さらにDACが地球規模で大規模に普及する社会構築に貢献するには、日本の産学官は現時点から何をすべきか、という観点から、前述の4つの論点に沿って次に示す政策提言にまとめた。

なお、産業界にとっては、現時点からDAC事業の将来展望を確実に描ける予見性が重要であり、カーボンニュートラル社会実現に向けた国家戦略に基づく短期・単発に終わらない長期・継続的な支援政策・制度を希望する意見があった。

(1) DACが将来社会で普及するための必要条件(公的な規制・支援制度、カーボンニュートラルが実現する社会モデル、CO₂市場など)について

【DACの普及を誘導し、産業界の先行投資意欲を刺激する事業環境整備のための提言】

①公的な規制・支援制度の整備

- ・大気中からのCO₂回収を促進するインセンティブ制度の整備
 - DAC設備新設時の補助金供与、税金控除、優遇融資等
 - 回収CO₂にプレミアム価格設定(化石燃料由来CO₂価格+ α)
 - 回収CO₂隔離期間に応じた補助金供与、税金控除、優遇融資等の差別化

②DACによる回収CO₂の国際的な取引制度の整備

- ・他国でDAC設備を提供・運営する事業者(国)への適切な排出権の移転
- ・大気中CO₂除去貢献量(クレジット)の移転を適正に管理する第三者機関
- ・CO₂を除去すること自体に、多様な価格付けがなされるボランタリーな相対取引を含む民間ベースの市場への支援

(2) DACの研究開発段階から実用段階へと技術的成熟度を促進させる事業環境について

【DACの技術的成熟度を促進させるための提言】

①研究人財、研究・試験設備、研究開発資金の充実

- ・政府による研究開発等に向けた支援プログラムの新設、既存プログラムの強化
- ・日本国内における実ガス試験・実証試験のための拠点整備
- ・研究開発資金支援のための安定した財源の確保(炭素税、エネルギー課税等の活用)
- ・開発モチベーションを向上させる研究開発プロセスの適切な評価システムの整備

②産業界からの先行投資促進や投資リスク軽減に寄与する長期かつ継続的な政策実行

- ・DACを含むネガ・エミ技術開発活動への長期間にわたる税制優遇・補助金支援
- ・DAC研究開発への貢献度合に応じてCO₂排出量を相殺する仕組み導入
- ・大規模な実証・実装試験等に対する全面的な公的資金の投入

(試験開発費用の一部補助では大型先行投資に踏み込めない)

③産学連携プラットフォームの構築

・実証試験段階への円滑な移行や、実用化の課題(コスト削減、大容量化等)を産学連携で早期解決するプラットフォームの構築

(「カーボンニュートラル達成に貢献する大学等コアリション」への将来的な展開、産学連携コンソーシアムの創設、等)

(3) 国際的な技術競争力の持続的な向上に必要な国内産業基盤について

【DAC国内産業基盤を構築し、発展させるための提言】

①継続的なDAC要素技術やシステム開発への支援

・小規模～大規模実証に至る長期間、規模に応じた継続的な支援保証
・大規模な実証・実装試験等に対する全面的な公的資金の投入(再掲)

②国際的なDAC開発拠点の国内創設～定着の支援

・日本国内における実ガス試験・実証試験のための拠点整備(再掲)
・CO₂の回収、利用、輸送、貯留の各プロセスを実証、その後の改良拠点設備
(例えば、国際的にもアピールできるショーケース的な国内プロジェクト支援)

③DAC関連企業が国内で育つための、税制優遇、補助金等のビジネス支援

・長期的な視野に基づき国内産業基盤の裾野を広げる支援策

(4) 国内DAC産業界が、世界全体での地球温暖化抑制に大きく貢献することを可能にする、海外展開や海外との事業連携に関する国際的な統一ルールについて

【国内産業界が地球規模での温暖化抑制に貢献するための提言】

①国内産業界が海外でCO₂回収した場合の貢献度認証の国際的な統一ルールの整備

・海外と回収CO₂価値を分配しても、なお国内産業界がCO₂回収貢献のモチベーションを維持できる国際的な貢献度分配に関する統一ルール

②海外企業との事業連携、海外でのCO₂回収事業優遇策

・国内ではCO₂貯留の適地や安価で大量のゼロカーボン電源調達に制約があることを念頭においた、海外企業との事業連携や海外プロジェクト参画への優遇措置
(税制優遇、補助金付与、CO₂価格差補填 等)

(5) DAC事業化を目指した産学官のロードマップ

2050年カーボンニュートラルの実現を前提に、産学官が取り組むべきDAC事業化までのロードマップをICEFF Roadmap 2018を参考にしつつ、「技術開発」、「事業化」及び「政策」の3項目に分類して、図5-1の通り策定した。

技術開発：主に大学・研究機関が取り組む、革新的なDAC要素技術の創出、及び実証・実装段階で直面する技術的な課題を解決する活動。2050年には約2億トン(200Mt)/年規模まで普及させることを前提に、パイロット～大規模実証の時期を想定。

事業化：主に産業界が取り組む、DAC要素技術を組み合わせたシステム化、実証・実装に向けたコストダウン及び大規模化のための改良・改善活動、及び地球規模での温暖化抑制に貢献する活動。

政策：主に政府・公的機関が取り組む、大学・研究機関「学」及び産業界「産」によるD

A Cの研究開発から実証、社会実装から大規模普及を政策面にて誘導・支援し、日本の「産」・「学」による地球規模での温暖化抑制への貢献活動を奨励・牽引する活動。

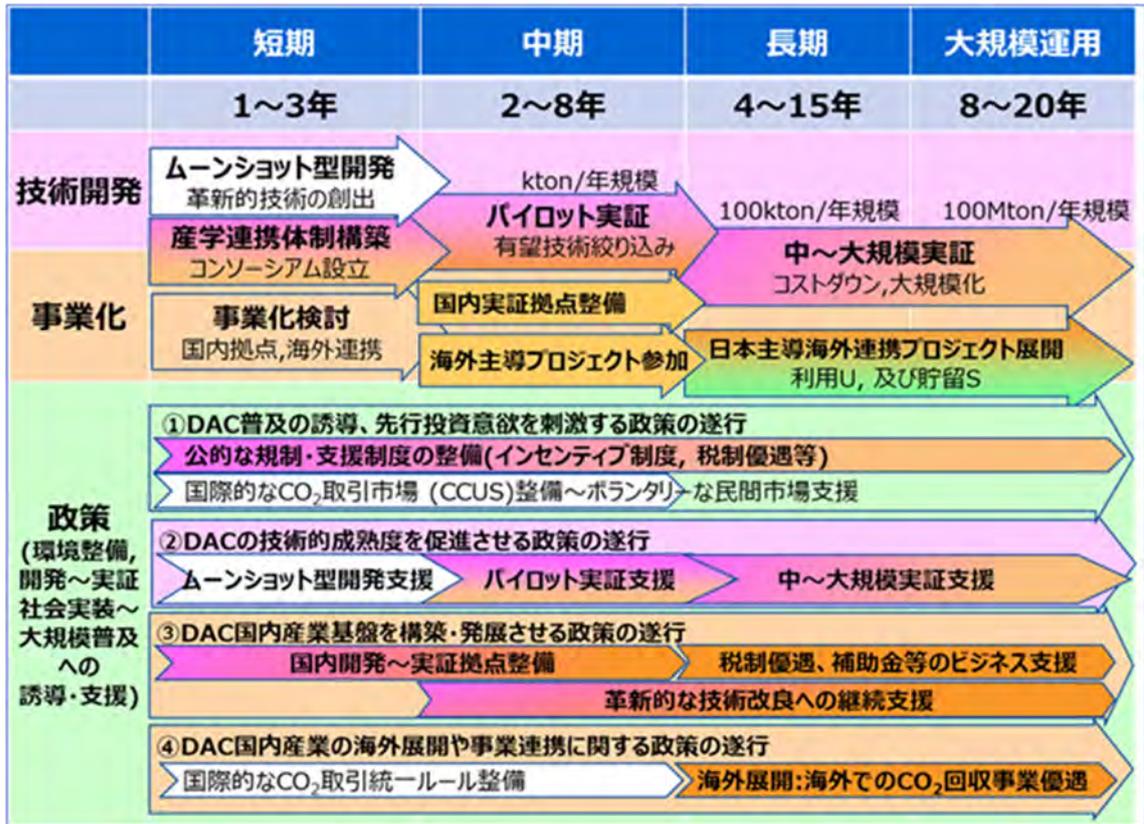


図 5-1 DAC事業化を目指した産学官のロードマップ(2021 年度版)

5. 2 2022 年度の活動状況

2022 年度は、2021 年度に策定した政策提言及び産学官ロードマップのブラッシュアップを行うにあたり、I E A が 2021 年 5 月に発表した“Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector” (以下、I E A ネット・ゼロ報告書)における世界想定を調査した。また、国内においては、「カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会」が 2022 年 6 月に発表した「カーボン・クレジット・レポート」を調査した。それぞれの調査結果の概要を次に示す。2022 年度後半は、前述の 3 つの注力テーマの議論に加え、これら国内外のネット・ゼロ・シナリオ/カーボンニュートラル社会に関する情報も参考にしながら政策提言及び産学官ロードマップのブラッシュアップを図る。

➤ I E A 2050 年ネット・ゼロ・シナリオにおける世界

I E A ネット・ゼロ報告書では、図 5-2 に示す 2050 年ネット・ゼロ・シナリオにおけるマイルストーンを設定しており、2035 年:世界のCO₂回収量: 40 億トン/年規模、2050 年:世界のCO₂回収量:76 億トン/年規模、そのうち、10 億トン/年弱がDACによる回収を想定している。

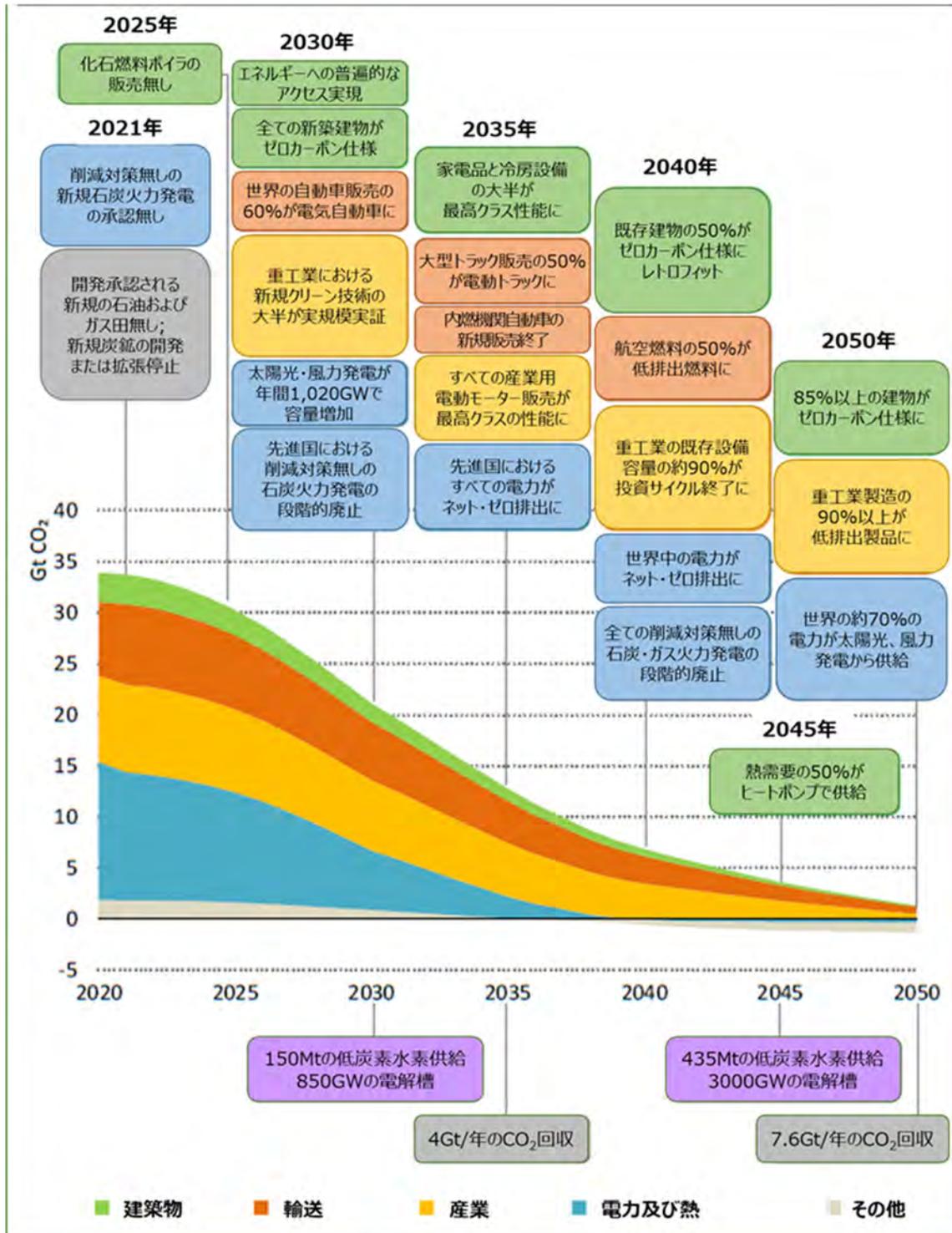


図 5-2 I E A 2050 年ネット・ゼロ・シナリオにおけるマイルストーン(仮訳)

出典: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector by IEA, May 2021

Figure 4.1 Selected global milestones for policies, infrastructure and technology deployment in the NZE
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

また、I E A ネット・ゼロ報告書では、図 5-3 に示す通り 2050 年ネット・ゼロ・シナリオにおける D A C による C O₂ 回収量を想定しており、2050 年の回収量は次の通りである。

• 2050年のDACによるCO₂回収量：9.8億t-CO₂/年

そのうち貯留量(S)：6.3億t-CO₂/年(約64%)

そのうち利用量(U)：約3.5億t-CO₂/年(約36%)

利用の場合、水素と共に合成炭化水素燃料を製造するために利用。

航空燃料需要の約3分の1がこれら合成燃料によって賄われると想定。

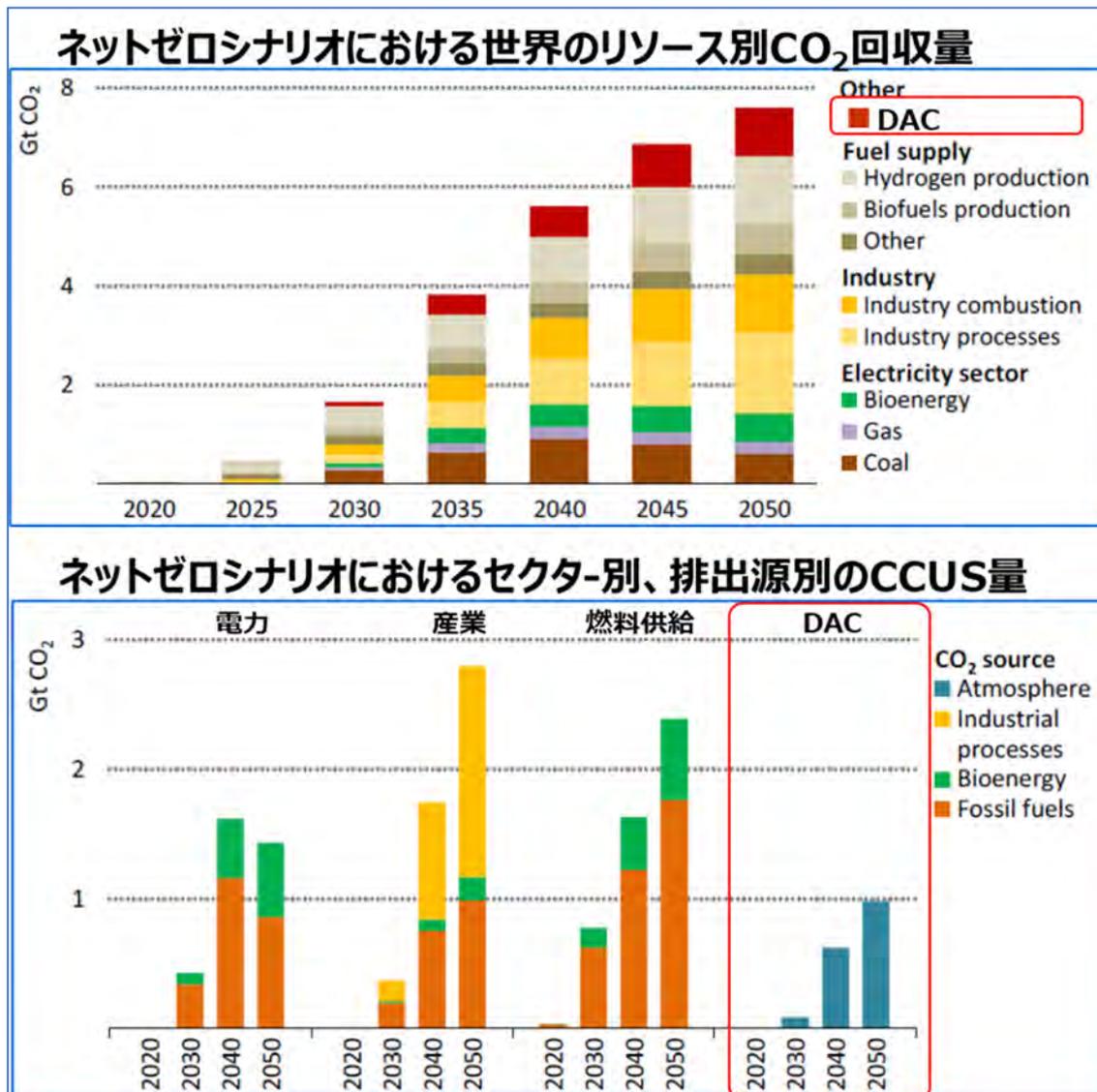


図 5-3 IEA 2050年ネット・ゼロ・シナリオにおけるDACによるCO₂回収量の想定

出典： Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector by IEA , May 2021

Figure 2.21 Global CO₂ capture by source in the NZE ,

Figure 2.30 CCUS by sector and emissions source in the NZE

<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

➤ 「カーボン・クレジット・レポート」におけるDAC関連記述の調査

「カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会」が2022年6月に発表した「カーボン・クレジット・レポート」は、(1)多様なカーボン・クレジットの意義・活用方法の整理、(2)カーボン・クレジットを通じた日本の排出量削減目標達成を促進するための取組の方向性の整理、及び

(3) 我が国における「カーボン・クレジット市場」の方向性を示すことを目的にまとめられたレポートである。本レポートにおいてDACCSは、カーボン・クレジットを創出する炭素除去技術に分類されており、DACCSを含むNETs技術の開発・事業化を促進する環境整備施策が提言されていることを確認した。

DACCSに関連する主な提言内容は次の通りであり、DAC研究会が2021年度に策定した提言項目と重複あるいはさらに具体的な施策が記述されていることを確認した。

- DACCSを含む炭素除去カーボン・クレジット活用の検討が重要
- NETs(ネガティブ・エミッション技術)由来のクレジット創出促進が必要
- 国内事業者によるNETsの開発に適切なインセンティブを与えるべく、研究開発の支援に加えてボランタリークレジットも含めたカーボン・クレジット市場におけるNETs関連のクレジットの導入拡大を促すための方策を検討すべき
具体的には、① NETsクレジットの位置づけ(他クレジットとの関係)の整理、② 品質の信頼性と価格の透明性の両方を担保した取引ルール整備、③ 回収・貯留(・利用)における排出削減寄与度の帰属についてルール整備を行うべきである。また、将来的には、NETsクレジットの創出段階における必要な政策支援も視野に入れた検討を進めていくべきである。
- 炭素吸収系・炭素除去系クレジットの創出には高いコストがかかり、将来の創出拡大には、足下における投資の拡大が必要
これらをより推進するために、例えば、GXリーグ等の枠組みにおける民間事業者による自主的な取組として、炭素吸収系・炭素除去系クレジットの将来における創出に向けた投資活動や、将来における調達を現時点でコミットするような取組を推奨し、評価できるような枠組みを構築すべきである。
- DACCS等の炭素除去系クレジットの普及に向けた移行段階においては、これら技術の前提となるCCS由来のクレジットの活用を進めて行くことも重要

出典:「カーボン・クレジット・レポート」2022年6月28日

カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_credit/index.html

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_credit/pdf/20220627_1.pdf

6. 今後の計画

2022年度下半期は、DACに関する国内外の最新の技術・政策動向等の調査を継続しつつ、産業界として引き続き調査や協議が必要と考えられる3つのテーマの中で残された項目、例えば、DAC回収CO₂利用の場合の帰属に関して考察する。上半期の活動成果とも合わせて、DACに関するさらなる政策提言、及び産学官ロードマップの具体化に関する議論を継続する。検討の結果、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見いだせれば、具体的な解決に向けて、『研究会』から次年度以降のCO₂推進テーマ『プロジェクト』、例えば、産学官連携のためのコンソーシアム作りや国内における開発拠点の整備などのプロジェクト化の要否について検討する。

以上

添付：参考文献一覧

1. Direct Air Capture of Carbon Dioxide ICEF Roadmap 2018
December 2018, Innovation for Cool Earth Forum
https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2018_roadmap.pdf
2. カーボンリサイクル技術ロードマップ 令和元年6月(令和3年7月改訂)
経済産業省 協力府省 内閣府 文部科学省 環境省
<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>
3. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
内閣官房 経済産業省 内閣府 金融庁 総務省 外務省 文部科学省 農林水産省
国土交通省 環境省 令和3年6月18日
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf
経済産業省 公報資料①「カーボンニュートラルの産業イメージ」
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-4.pdf>
経済産業省 公報資料②「カーボンニュートラルの広がり」
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-5.pdf>
4. 令和2年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2021)
経済産業省 資源エネルギー庁 令和3年6月4日
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/>
5. 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討 経済産業省 資源エネルギー庁
総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第36回会合) 2021年1月27日 資料2
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/036/036_005.pdf
6. 2030年に向けたエネルギー政策の在り方 経済産業省 資源エネルギー庁
総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第38回会合) 2021年3月11日 資料1
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/038/038_004.pdf
7. 2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)
(公財)地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ 秋元圭吾、佐野史典
総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第43回会合) 2021年5月13日 資料2
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf

8. 2050年カーボンニュートラルのモデル試算
(一財)日本エネルギー経済研究所
松尾雄司、大槻貴司、尾羽秀晃、川上恭章、下郡けい、水野有智、森本壮一
総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第44回会合) 2021年6月30日 資料6
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_009.pdf
9. 発電コスト検証に関するとりまとめ(案)
経済産業省 発電コスト検証ワーキンググループ 令和3年8月3日
総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ(第8回会合) 資料2
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2021/data/08_05.pdf
10. 第6次エネルギー基本計画の概要 経済産業省 資源エネルギー庁 令和3年10月
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf>
11. ネット・ゼロと言う社会-2050年 日本(試案)
(公財)地球環境戦略研究機関 2020年6月
<https://www.iges.or.jp/jp/pub/net-zero-2050/ja>
12. パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(令和3年10月22日閣議決定)
環境省HP
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/chokisenryaku.html>
13. 「カーボンニュートラル達成に貢献する大学等コアリション」の設立について
文部科学省HP 令和3年7月29日
https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00678.html
14. ムーンショット型研究開発制度 ムーンショット目標4
内閣府 HP
<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub4.html>
15. ムーンショット型研究開発事業
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 HP
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html
大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発
国立大学法人金沢大学 児玉昭雄
<https://www.nedo.go.jp/content/100923459.pdf>

冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学 則永行庸

<https://www.nedo.go.jp/content/100923462.pdf>

“ビヨンド・ゼロ” 社会実現に向けたCO₂循環システムの研究開発

国立大学法人九州大学 藤川茂紀

<https://www.nedo.go.jp/content/100923464.pdf>

16. 大気中からのCO₂直接回収と地中貯留でネガティブ・エミッションを達成する
コンセプトを構築！ 九州大学 News 2021年6月21日

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/628>

17. 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく

イノベーション政策立案のための提案書 二酸化炭素の Direct Air Capture(DAC)法
のコストと評価 令和2年2月 LGS-FY-2019-PP-07

国立研究開発法人 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2019-pp-07.pdf>

18. 二酸化炭素固体吸収材の実用化に向けた研究開発の進展

(公財)地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ 余語克則

革新的CO₂分離回収技術シンポジウム 2021年2月2日

https://www.rite.or.jp/news/events/yogo_ppt_separationfy2020_r.pdf

19. 2050年カーボンニュートラル実現のための技術とコスト

(公財)地球環境産業技術研究機構 システム研究グループリーダー 秋元圭吾

未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 2021年9月30日

<https://www.rite.or.jp/news/events/pdf/akimoto-ppt-kansaisympo2021.pdf>

20. カーボンニュートラル実現に向けたCO₂分離回収技術開発への取り組み

(公財)地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ主席研究員 余語克則

未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 2021年9月30日

<https://www.rite.or.jp/news/events/pdf/yogo-ppt-kansaisympo2021.pdf>

21. CO₂分離回収技術の開発状況とDACへ向けての課題と将来展望

(公財)地球環境産業技術研究機構 山田秀尚、余語克則

2020年度 COCN「カーボンニュートラル研究会」合同フォーラム 2020年9月10日

22. 世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会
中間整理 令和3年8月
世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_neutral_jitsugen/pdf/20210825_2.pdf
23. カーボンニュートラル実現のための経済的手法/カーボンプライシングの概要
(一財)日本エネルギー経済研究所 電力・新エネルギーユニット担任 理事 工藤拓毅
2021年度 COCN DAC研究会 第6回 2021年10月26日
24. 米国 Department of Energy(DOE) HP
Direct Air Capture Research and Development Efforts
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/Direct%20Air%20Capture%20Fact%20Sheet.pdf>
DIRECT AIR CAPTURE Research and Development Activities
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/01/f70/Direct%20Air%20Capture%20Infographic_0.pdf
25. 英国 Department for Business, Energy and Industrial Strategy(BEIS) HP
Direct Air Capture and Greenhouse Gas Removal Programme - Phase 2
An SBRI Competition: TRN 4696/11/2020(2) Competition Guidance Notes
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1038880/dac-ggr-competition-phase-2-guidance.pdf
- 26 The US Section 45Q Tax Credit for Carbon Oxide Sequestration: An Update
Lee Beck, Senior Advisor, Advocacy & Communications
Global CCS Institute April 2020
https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/04/45Q_Brief_in_template_LL.B.pdf
27. The LCFS and CCS Protocol: An Overview for Policymakers and Project Developers
ALEX TOWNSEND Senior Consultant - Economics
IAN HAVERCROFT Senior Consultant - Legal & Regulatory
Global CCS Institute 2019 POLICY REPORT
https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/05/LCFS-and-CCS-Protocol_digital_version-2.pdf
28. IPCC第6次評価報告書第3作業部会報告書
『Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change』
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

29. 国際エネルギー機関(I E A)報告書『Direct Air Capture 2022 A key technology for net zero』Technology report – April 2022
<https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>
30. 国際エネルギー機関(I E A)報告書『Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector』Flagship report – May 2021
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
31. グリーントランスフォーメーション推進小委員会『クリーンエネルギー戦略 中間整理』
経済産業省 産業技術環境局・資源エネルギー庁 2022年5月19日
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/green_transformation/pdf/20220519_1.pdf
32. グリーンイノベーション戦略推進会議『ネガティブエミッション技術について』
第8回会議 資料4 経済産業省 産業技術環境局 2022年3月18日
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_008_04_00.pdf
33. 産総研『CO₂分離回収・資源化コンソーシアム』
<https://unit.aist.go.jp/dmc/consortium/co2c/index.html>
34. 『2050 カーボンニュートラル実現に向けたトランジション戦略を策定』
ANAホールディングス株式会社 ANA HOLDINGS NEWS 第22-010号 2022年8月1日
<https://www.anahd.co.jp/group/pr/202208/20220801-3.html>
35. カーボンニュートラルの実現に向けたカーボン・クレジットの適切な活用のための環境整備に関する検討会『カーボン・クレジット・レポート』
第6回 会議 2022年6月28日 報告書
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_credit/pdf/20220627_1.pdf
36. 2021年度 COCN DAC(Direct Air Capture)研究会 最終報告書 2022年2月10日
<http://www.cocn.jp/report/b53ce19784e78fcc7ac373a05e0098feade630f4.pdf>

以上

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 - 2 - 1

日本プレスセンタービル 6階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 山口雅彦