

【DAC(Direct Air Capture)研究会】

2021年10月15日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリー（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」において産業界視点での技術的フィジビリティを検討した。

10社6機関が参加した同研究会では、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ではあるものの、基礎・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り、特に現状レベルではCO₂の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。

しかしながら、2020年度は検討の期間も短かったため、十分な議論が尽くされているとは言えず、また、その事業化には10年以上かかる長期的な研究開発テーマであり、事業化に向け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、2021年度も、「DAC研究会」の活動を継続することとした。

- **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することとした。

具体的には、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、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の2点を検討項目に掲げている。

- **現在までの活動状況**

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、1回／月のペースで活発な議論や意見交換を行っている。

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。また、大気中(低濃度 400ppm)からCO₂を回収する方法には、排ガス(中濃度 5~12%)から回収する場合との技術的な類似性もあり、様々な方法が既に提案されている。

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。

(1) エンジニアリング上の課題の整理状況

本研究会では、まずエンジニアリング上の課題を明確にするため、DACのメリット及びデメリット、先行する海外スタートアップ会社の技術や開発プロジェクトの動向、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理論限界を現時点で可能な範囲で整理した。

また、DAC起源のCO₂を貯留・利用する市場成立の可能性や市場化を促すインセンティブの有無、将来のCO₂回収コスト予測のための関連情報、2050年のカーボンニュートラル社会を実現させる各種シナリオ分析におけるDACの果たす役割等、将来想定されるDAC事業の具体的なターゲットを想定するための情報を整理した。

さらに、これらの活動と並行して、将来のCO₂循環社会のイメージ、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・官・学の役割や期待などに関する本研究会メンバーの意見をアンケート方式で収集した。

(2) 事業化視点での課題の整理状況

本項目に掲げた検討項目のうち、「将来的に事業になり得る社会モデルの提案」に関連して、DACの普及・拡大に伴って必要になる電源・熱源の特性やメリット・デメリットを比較・調査した。DACへのエネルギー供給源は、再エネ、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、大規模化する場合、DAC設備だけでなく、DAC用供給電源・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。

● 産業競争力強化のための提言および施策について

本研究会では、「産業競争力強化のための提言および施策」を本年度下半期に議論しまとめる計画であるが、上半期のメンバー間の議論やアンケート結果などを整理すると、主に次に示す4つの論点が、さらなる議論を必要とする項目として浮かび上がってきた。

- ・DACが民間産業として成立するための必要条件(公的な規制・支援制度、社会モデル、CO₂市場など)について
- ・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
- ・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
- ・国内DAC産業が、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ルールについて

● 今後の計画(最終報告書に向けた検討上の課題と展開)

DACは、地球温暖化抑制の条件である2050年のカーボンニュートラル社会の実現に必要な不可欠な「バック・ストップ・オプション」であるとの共通認識のもと、下半期は、「事業化視点での課題」を整理しつつ、上述の4つの論点を中心に議論を深め、「DACに関する産業力強化のための政策提言および産業界としての施策」を取りまとめる。

そのため、①DAC事業化に影響を与えるカーボンニュートラルに関する公的な規制・支援制度、②カーボンニュートラルを実現する社会モデル、及び③海外との連携方法など、メンバー間の議論に必要な情報についても、調査・整理する予定である。

以上

【目 次】

【プロジェクトメンバー】

【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)
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)
3. 活動スケジュール
4. 現在までの活動状況
 - (1) エンジニアリング課題の整理状況
 - (2) 事業化視点での課題の整理状況
 - (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)
5. 産業競争力強化のための提言および施策について
6. 今後の計画(最終報告書に向けた検討上の課題と展開)

【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	ENEOS 株式会社	星野 優子
3	メンバー	ENEOS 総研株式会社	斎藤 健一郎
4	メンバー	株式会社 IHI	田中 浩
5	メンバー	株式会社東芝	斉藤 ひとみ
6	メンバー	株式会社本田技術研究所	瀧澤 一晃
7	メンバー	株式会社本田技術研究所	塚越 範彦
8	メンバー	株式会社三菱総合研究所	才村 綾美
9	メンバー	株式会社三菱総合研究所	新地 菊子
10	メンバー	株式会社理研鼎業	半田 敬信
11	メンバー	株式会社理研鼎業	松山 剛
12	メンバー	キヤノン株式会社	青谷 貴治
13	メンバー	キヤノン株式会社	榊原 悌互
14	メンバー	キヤノン株式会社	坂口 清文
15	メンバー	キヤノン株式会社	古川 靖之
16	メンバー	国立大学法人東京工業大学	小玉 聡
17	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	張 銘
18	メンバー	国立研究開発法人産業技術総合研究所	崔 準哲
19	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	斎藤 聡
20	メンバー	東芝エネルギーシステムズ株式会社	村松 武彦
21	メンバー	トヨタ自動車株式会社	石橋 一伸
22	メンバー	トヨタ自動車株式会社	中谷 好一郎
23	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
24	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
25	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
26	オブザーバー	一般財団法人日本エネルギー経済研究所	大槻 貴司
27	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
28	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
29	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
30	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	土肥 英幸
31	オブザーバー	国立大学法人金沢大学	山田 秀尚
32	COCN 担当実行委員	ENEOS 総研株式会社	五十嵐 仁一

33	COCN 担当実行委員	株式会社日立製作所	小塚 潔
34	COCN 担当実行委員	株式会社東芝	斉藤 史郎
35	COCN 担当企画小委員	株式会社日立製作所	菊地 達朗
36	COCN 担当企画小委員	ENEOS 株式会社	中山 慶祐
37	COCN 事務局長	一般社団法人産業競争力懇談会	山口 雅彦
38	COCN 副事務局長	一般社団法人産業競争力懇談会	五日市 敦
39	COCN 副事務局長	一般社団法人産業競争力懇談会	佐藤 桂樹
40	COCN 副事務局長	一般社団法人産業競争力懇談会	武田 安司
41	COCN 事務局	一般社団法人産業競争力懇談会	中塚 隆雄
42	DAC 研究会事務局	東芝エネルギーシステムズ株式会社	浅野 和仁
43	DAC 研究会事務局 — 以上 —	東芝エネルギーシステムズ株式会社	斎藤 崇司

【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、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」において産業界視点での技術的フィジビリティを検討した。

10社6機関が参加した同研究会では、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との認識を参加メンバーで共有したものの、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ことが、実用化へのハードルをコスト面においてきわめて高いものにしていることを確認した。しかしながら、2020年度は検討の期間も短かったため、ある程度の理解は進んだものの十分な議論が尽くされているとは言い難く、また、その事業化には10年以上はかかる長期的な研究開発テーマであることから、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年度において、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CO₂CNを中心に産業界を挙げて取り組むため、「DAC研究会」の活動を継続する。

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。

(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、太陽光などの再生エネルギー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・評価に資する。

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

- 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フリー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。

なお、上記② ii に記載のアンケート方式による意見の聴取結果については、本報告では項を独立させ、4（3）に示す。

（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・エミッションあるいはネガティブ・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、回収しても価値の無い産業廃棄物として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 事業化を国内で支援する公的な規制・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した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。この研究会では、本年夏頃には中間整理が行われ、年内には「一定の方向性のとりまとめ」が発表される予定であるため、そ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、化石燃料に起因する排ガス回収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、再エネ発電が普及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ている。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、最終的には再エネ・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、再エネ・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。

3. 活動スケジュール

本研究会の活動スケジュール及び9月末までの実績を図3-1に示す。

本研究会では、2つの課題のうち、議論の前提となる（１）エンジニアリング上の課題整理を上半期に行い、下半期に（２）事業化視点での課題整理をしながら、公的な規制・支援制度に関する政策提言や産業界としての施策案をまとめる計画である。

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
研究会開催	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	▽	▽	▽	▽	▽
成果報告				中間報告案作成 中間報告提出▽ 中間報告公開▽ 府省別懇談会▽			最終報告案作成 最終報告提出▽ 最終報告公開▽			全体会議▽
(1)エンジニアリング課題整理										
①プロセス方式の明確化		① i.要素技術の比較・調査								
			① ii.エンジニアリング上の課題整理							
②ターゲットを想定したPJ化		② i.海外PJ事例の調査								
		② ii.意見聴取・アンケート								
			② iii.DACプロジェクトモデル案の例示、課題整理							
(2)事業化視点での課題整理										
①公的支援制度等の検討	※	① i.欧米支援制度等の調査				① iii.国内支援のあり方の議論				
		① ii.認証制度等の調査								
②社会モデルの提案						② i.事業になり得る社会モデルの検討				
			② ii.カーボンフリー電源及び熱源確保の課題検討							
③海外との連携の検討						③ i. 海外との連携の検討				

※：経済産業省『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』の検討状況をウォッチ

図3-1 DAC研究会 2021年度スケジュール及び9月末までの実績

4. 現在までの活動状況

(1) エンジニアリング課題の整理状況

エンジニアリング課題を整理するにあたり、まず、ICEF (Innovation for Cool Earth Forum) が発表したDAC技術に関して網羅的な評価がなされている「Direct Air Capture of Carbon Dioxide ICEF Roadmap 2018」を調査し、メンバー間でDACの概要、利点及び課題等について基本的な理解を深めた。

DACの原理・概要を図4-1に示す。

Direct Air Capture とは、大気中の CO_2 を物理的または化学的に分離・濃縮する技術のことであり、大気中から CO_2 を回収する方法には、化学吸収法、物理吸着法、膜分離法などがあり、吸脱着に際し、温度を変化させる（温度スイング法：TSA）、圧力を変化させる（圧力スイング法：PSA）、温度と圧力を変化させる（温度—圧力スイング法：TVSA）、湿度を変化させる（湿度スイング法：MSA）などの方式がとられている。膜分離法では N_2 あるいは O_2 と比較して CO_2 との親和性が高い薄膜を用い、薄膜の両側の CO_2 濃度差や圧力差を利用して CO_2 を積極的に分離する方式である。

DACの最大の利点は、場所を問わずどこからでも大気中の CO_2 を回収できる点である。一方、最大の課題は、経済性（コスト）であり、DAC費用は、現時点で\$300～\$600/トン CO_2 、将来のNth 試算では\$60～\$250/トン CO_2 と評価されている。大気中の CO_2 濃度は400ppmと、火力発電排ガスの5～12%に比べて、非常に薄いため、大気からの理論的な回収コストは、これら排ガスからの回収に比べて、少なくとも約3倍は高いとされている。また、経済性に関連して、DACの運転には、膨大なエネルギーを必要とするため、低炭素なエネルギー源であることを大前提にして、安価で安定的な電力や熱の供給源を確保することも課題のひとつ、とされている。

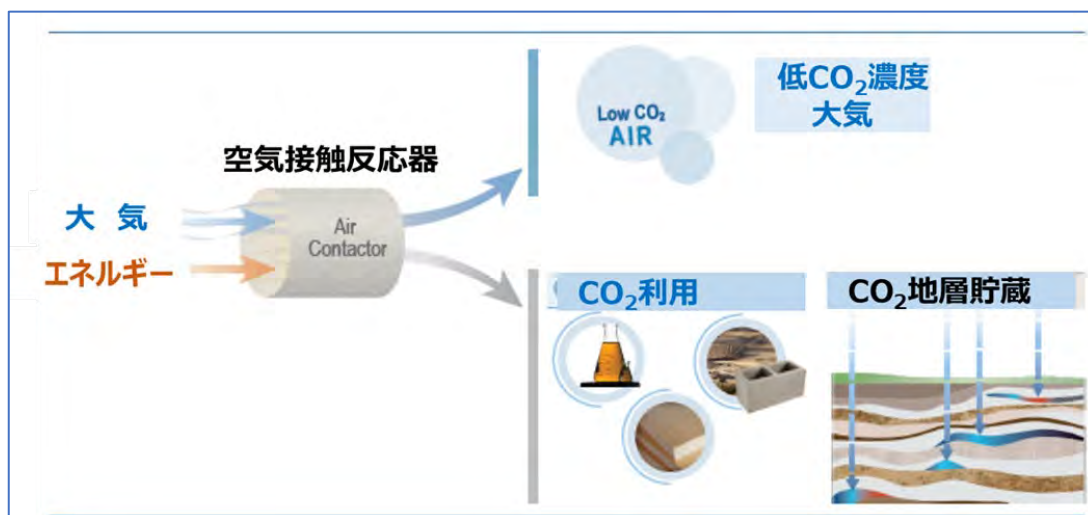


図4-1 DACの原理

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018
Figure 2-1. Direct Air Capture of Carbon Dioxide 仮訳

また、DACを気候変動に関する緩和策の「バック・ストップ・オプション」として利用した場合の、 CO_2 削減に必要なトータルコストとDACコストとの関係を図4-2に示す。

DACコストが将来的に下がっていくと、トータルのCO₂削減コストが抑えられることを示している。

さらに、ICEF Roadmap 2018 で提唱されているDAC技術の大規模運用が実現するまでのイノベーションロードマップを図4-3に示す。図4-3に示す通り、DAC技術のイノベーションには、政策面での支援が必要になることがわかる。

DACを気候変動に対する緩和策のバック・ストップ・オプションとして利用した場合、CO₂削減に必要なコストは、初めは利益の方が勝るような対策からスタートし、次第に増加していくが、その単位当たりの処理コストの上限は、DACS(DAC with Sequestration)コストで頭打ちになる。

現在の高額なDACSコストを前提にした左の図から、将来のコストダウンを見込んだ右の図では、トータルのCO₂削減コストが抑えられることになる。

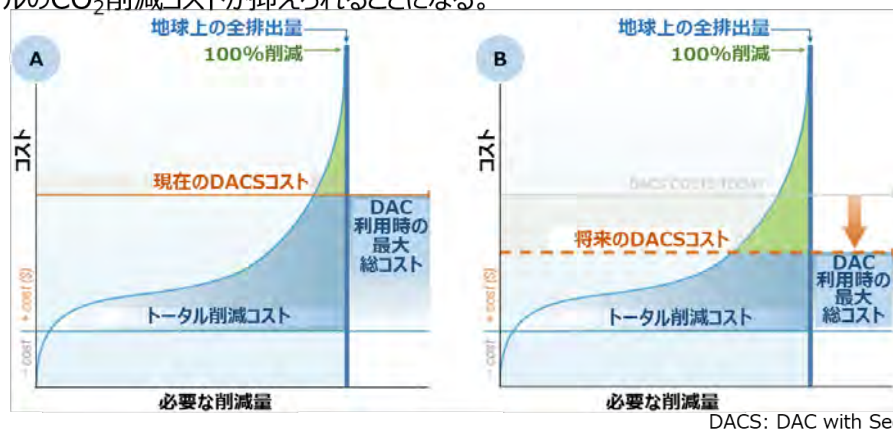


図4-2 バック・ストップ・オプションとしてDAC利用時の全気候緩和策に係るコストの概念曲線

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018

Figure 3-2. Conceptual cost curves for total climate mitigation with DAC as a backstop technology option. 仮訳

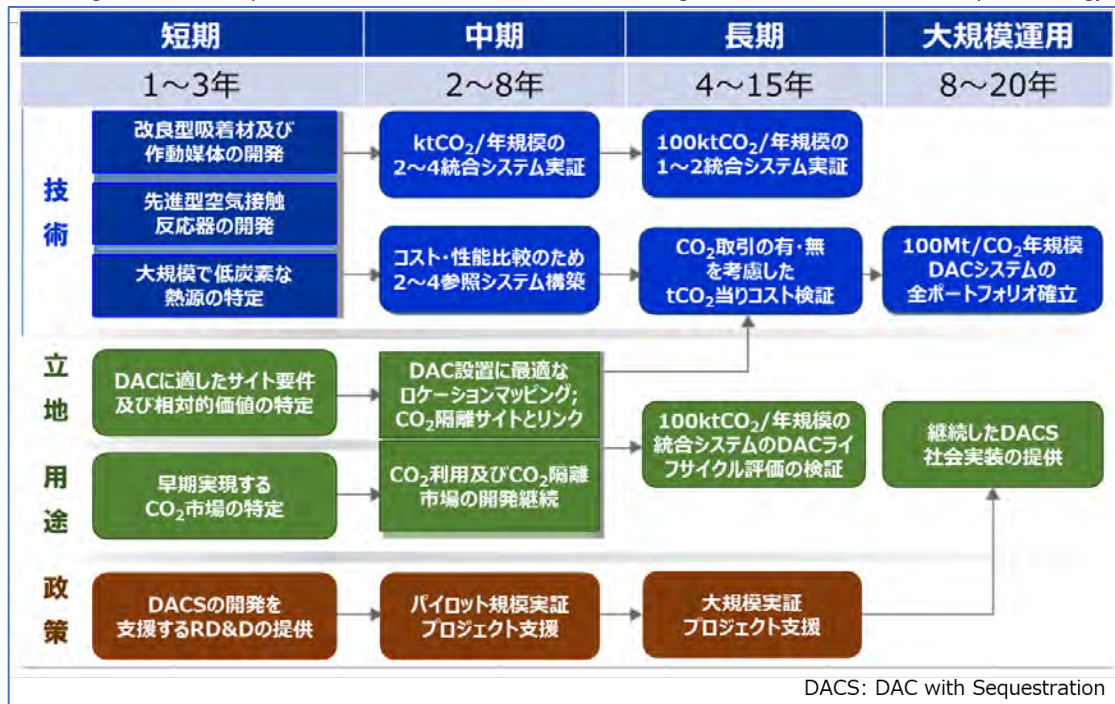


図4-3 ICEFが提唱するDACイノベーションロードマップ

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018 Figure 5-1. Innovation Roadmap - Direct Air Capture. 仮訳

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

大気中の CO_2 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・評価した。

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ことに努めた。

これら調査結果を表 4-1 から表 4-4 に示す。

表 4-1 は、海外先行メーカー3 社及び国内ムーンショット型開発事業にて採用されているプロジェクトにおける大気中から CO_2 を回収する技術の原理、特徴、運転条件、所要エネルギー、コスト等をまとめたものである。

表 4-2 は、大気中から CO_2 を捕集するメカニズムの違いに着目してそれぞれの要素技術の CO_2 選択性、吸着量、回収エネルギー、吸着材コストのパラメータを定性的に評価したものであり、さらにDACシステムとしての実用化を想定した場合の、大型化への適否や耐久性についても定性的な評価を加えたものである。

表 4-3 は、DACのシステム設計への制約となりうる CO_2 の吸収⇔脱着方法に着目し、吸着/吸収材の種類、温度・圧力・湿度条件、システムに必要な機能・エネルギー、処理方式、回収される CO_2 の濃度、及び大型化に伴うスケールメリットの有無についてまとめたものである。

表 4-4 は、大量の空気と溶媒を接触させるための方法に着目し、空気と接触させる具体的な方法、適用可能な溶媒、システムに必要なエネルギー/設備、設置場所、捕集効率、及び大容量化の可否についてまとめたものである。

なお、これら吸収・吸着材には、 CO_2 以外の大気成分、例えば大気中の水分（湿度）により、 CO_2 の吸着・吸収性能に影響を受けるものがある。この場合、大気中の湿度が低い地域で用いることも可能であるが、 CO_2 選択性を高める材料の開発・改良を追求することで、これら課題を技術的に解決する案が考えられる。

一方、DACの設置地域に、大気中の水分が少ない乾燥地域を選択する案も考えられる。これら乾燥地域では、副産物として回収される水が価値の高い商品として流通する点も、有利に働く可能性がある。

大気中の湿度のほか、温度や風況のような自然環境条件に適したDACのプロセス方式については、カーボンフリー電源・熱源との組合せ検討などとあわせて、下半期に予定している（2）事業化視点での課題の検討 ③海外との連携に関する検討 におけるDAC好適地の検討材料とする。

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

		Carbon Engineering カナダ	Climeworks スイス	Global Thermostat 米国	金沢大学- RITE	名大-東邦ガス Cryo-DAC	九州大学
原理		アルカリ水溶液 (加熱再生)	吸着材 (加熱蒸気 再生)	吸着材 (加熱蒸気 再生)	吸着材 (加熱再生)	吸収液 (減圧再生)	膜分離 (差圧分離)
特徴		KOH/Ca(OH) ₂ +炭酸塩 を高温焼成	アミン担持 吸着材	アミン担持 吸着材	アミン担持 吸着材	LNG冷熱 有効利用	CO ₂ 選択性の 高い分離膜
運転 条件	吸収	常温	常温	常温	常温	常温	常温
	放散	900℃	100℃	80℃	試算中	常温 (減圧再生)	常温
所要 エネルギー	熱	5.3 GJ/ton (1450kWh/ton)	9.0 GJ/ton (2400kWh/ton)	4.4 GJ/ton (1200kWh/ton)	試算中	0 GJ/ton (開発目標)	試算中
	電気	366 kWh/ton	450 kWh/ton	160 kWh/ton	試算中	試算中	試算中
コスト		94-232\$/ton	600\$/ton	150\$/ton	試算中	試算中	試算中
備考		先行スタートアップ 50万ton/年の プラントを2022年に 稼働予定	先行スタートアップ 世界初の商用プラ ント(900ton/年) を発売	先行スタートアップ 4000ton/年の パイロット設備を 建設	ムーンショット 火力向け吸収材を DAC向けにも検討	ムーンショット	ムーンショット

表 4-2 DAC向けCO₂分離要素技術 -捕集メカニズム-

捕集メカニズム		CO ₂ 選択性 (対水分)	CO ₂ 選択性 (対水分 以外)	CO ₂ 吸着量 (吸収量)	CO ₂ 回収 エネルギー (システムと して)	CO ₂ 吸着材 コスト	大型化	耐久性	注記
物理 吸着	ゼオライト	×/○	×	△	△	○	○	○	理論上の回収エネルギーが大きい ため、物理吸着単独では、 大気中CO ₂ 捕集に は不向き
	MOF	△	○	△	○	○	○	○	
物理～ 化学の中間	修飾MOF (フッ素、 アミン等)	○	○	○ (～2.8 mol/kg)	○	△	○	△	
化学 吸収	固体アミン	△	○	○ (～2.5 mol/kg)	○ (4.4～9.0 GJ/t-CO ₂ +電力)	△	○	△	
	液体アミン	△	○	○	△	○	○	△	
	相変化アミン	△	○	○	○	△	○	△	
	無機アルカリ (液体)	△	○	○	△ (5.3GJ/ t-CO ₂ +電力)	○	○	○	
膜分離	膜	○	○	対象外	○	○	△	△	CO ₂ の高純度化が 求められない用途向け
相変化	ドライアイス化	△	○	○	△	○	△	○	冷熱量、場所 (LNG)、処理速度

表 4-3 CO₂吸脱着方法 -吸収⇔脱着方法/DACシステムへの制約-

方法	吸着/吸 収材種類	吸着時 ⇒脱着 時	必要な 機能	必要な エネル ギー 電力・熱	処理方式	回収 CO ₂ 濃度	大型化に 伴う スケール メリット	備考
温度 スイング法 (TSA)	液体溶媒、 固体吸着 材	常温 ⇒高温	加熱 冷却	熱 (電力)	バッチ or 連続	高濃度	有り	
湿度 スイング法 (MSA)	液体溶媒、 固体吸着 材	低温 蒸気	蒸気 供給 蒸気 冷却	熱 (電力)	バッチ or 連続	高濃度	有り	乾燥工程が必 要 (乾燥ガスの 通気または温度 スイングとの組み 合わせ)
圧力 スイング法 (PSA)	液体溶媒、 固体吸着 材	大気圧 ⇒負圧	減圧 密閉性	電力	バッチ	高濃度	小 (小規模 複数 設置)	
透過法	薄膜	膜透過 による 濃縮	減圧 密閉性	電力	カスケード 方式	低濃度	有り	多段化により CO ₂ を高純度化 可能
その他								

表 4-4 空気-溶媒の接触方法 -DACシステムへの制約-

空気-溶媒 接触方法	具体案	適用可能 な溶媒	必要エネル ギー/設備	設置場所	捕集 効率	大容量 化
空気を動かす	強制吸引	固体・液体	電力/ファン	どこでも可	大	可
	自然の風	固体・液体	不要	風況の良い地域	小	否
溶媒を動かす	液滴落下 (シャワー)	液体	電力/ポンプ	風況の良い地域	大	可
	薄膜拡延⇔ 折畳	薄膜状の 固体・液体	電力/駆動 モータ	風況の良い地域	小	?
空気も溶媒も 動かす	(新設)	冷却水中に 溶媒添加	電力/ ファン&ポンプ	どこでも可	大大	可
	(既存設備の 流用:冷却塔 /空調想定 ケース)	液体 (冷却水中に 溶媒添加)	電力 /既存既存 冷却塔/ 空調設備 (電力代は ミニマム)	既存冷却塔/空調 (工場、発電所 建物、地下街 トンネル 等)	大大	- (既存 設備 次第)
その他						

・ **DACのエンジニアリング上の課題:まとめ**

DACのエンジニアリング上の課題については、本年7月に改訂版が発表された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」も参照し、キーワードとなる項目は、本研究会での調査・整理した結果と概ね共通していることを確認した。

DACの技術課題

- ・吸収剤/吸着剤/膜と大気との接触技術 (Air contactor) の開発
- ・分散型 (小型化) の開発、
- ・大規模型 (高効率化) の開発

技術課題・CO₂分離回収と共通

- ・設備・運転コスト及び所要エネルギーの削減
- ・新しい材料 (吸収材、吸着材、分離膜) の開発 (選択性、容量、耐久性の向上)
- ・基材の製造コストの低減
- ・プロセスの最適化 (熱、物質、動力等) など

その他課題

- ・CO₂分離回収法の発展形として、回収効率、所要エネルギーの削減等の技術開発
- ・コストの削減:現在の回収コスト評価は3～6万円/t-CO₂
※大規模実証の例がなく、また、適用システム、適用技術、規模によりコストが大きく変化
- ・再生可能エネルギー等の非化石電源の利用や回収したCO₂の貯留・利用手法と併せた開発
- ・設置場所 (回収に最適な気候、エネルギー源や再利用先の近傍) の選定
- ・エネルギー消費とコスト評価手法の明示化、評価基盤確立

2030年のターゲット

DAC<CO₂分離回収システムの構築>

- ・2030年代の市場で競争力を発揮するCO₂分離回収コストを達成
目標事例:1万円/t-CO₂,
- ・ライフサイクルアセスメント (LCA) の観点からもその有効性をパイロット規模で確認する。
液化 (冷却、圧縮)、貯蔵 (コンテナ、タンク)、輸送 (車両、パイプライン、船舶など)

2040年以降のターゲット

<DAC実用化>

- ・2,000円台/t-CO₂の達成
- ・DACシステムの耐久性、信頼性の向上
- ・DACシステムの本格普及

なお、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」におけるDACによるCO₂分離回収コストは、現時点における評価3～6万円/t-CO₂から、2030年代には1万円/t-CO₂台、2040年以降のDAC実用化を達成する時期のターゲットは2,000円台/t-C

O₂という目標が掲載されている。この非常に野心的な目標設定については、本研究会の中でも話題にあがったことを付記する。

③ 具体的なターゲットを想定したプロジェクト化

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)を調査した結果を以下に示す。

海外先行メーカー3社の動向を図4-4から図4-6に示す。

先行メーカー3社は、回収したCO₂を貯留する国家レベルのプロジェクトから、合成燃料製造や、炭酸飲料、温室促成栽培など、現時点では小規模・ローカルな市場向けにCO₂を原材料として供給することで、開発資金を収集しながら、研究開発を進めているものと推測される。

また、近年では、ネットビジネス大手のShopify社やオンライン決済サービス大手のStripe社が、DACメーカーのような地球温暖化抑制技術を開発・提供しているベンチャーを資金面で支援する動きが活発になっている。地球温暖化に強い関心を持つ一般消費者とこれら開発ベンチャーをつなぐ動きと考えられる。

海外でのPJ事例の調査 –Carbon Engineering社

- ・液体溶媒ベースのサイクルを唯一市場に出している会社、GreyRock社と**燃料合成で提携**
- ・成熟プラントにおける均等化コストは、\$94/t CO₂ ~\$232/t CO₂の間と評価
- ・吸着材は、水酸化カリウム(KOH)水溶液、反応器内で、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)水溶液を含んだ固体ペレットと反応、最終段では高温焼成することでCO₂を分離

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018

Newport パイロットプラント (2015年以来運転中)

- ・DAC由来CO₂による**合成燃料AIR TO FUELS™**製造を実現

Newport イノベーションセンター (2019年1QにFEL-2完成)

- ・蓄積CO₂による**AIR TO FUELS™**製造を完成 ・24時間/7日間/365日の完全連続運転

The West Texas Direct Air Captureプロジェクト (2019～、2021年建設開始予定)

- ・CO₂-EOR用途に50～100万トンCO₂/年製造 ・工業スケールの商用運転段階のDACを確立
- ・45Q税クレジット及びカリフォルニア州LCFSクレジット適用がターゲット

将来の商業化目標(百万トン超/日CO₂, AIR TO FUELS™ の場合2,000バレル超/日)

出典：https://www2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/cc/scopingplan/121119/ce_cn_ccapture_dec2019.pdf

CE社とAerion社(超音速機の開発会社)が DACによる回収CO₂を**超音速機の燃料**とする共同開発MOUを締結

2020年7月 8日

出典：Carbon Engineering HP: <https://carbonengineering.com/news-updates/aerion-supersonic-and-carbon-engineering/>

CE社が「**サービスとしてのCO₂除去**」でShopifyと提携

- (1万トンの恒久的な**炭素除去能力**に**対価を払う最初の顧客を獲得**)

2021年3月9日

出典：<https://jp.techcrunch.com/2021/03/11/2021-03-09-carbon-engineering-links-shopify-as-its-first-partner-for-carbon-removal-as-a-service/>

CE社とStregga社が、**英国初の大規模CO₂回収施設**のエンジニアリングを開始

- (50～100万トンCO₂/年規模、2026年運転開始を計画)

2021年6月24日

出典：<https://www.stregga.co.uk/engineering-begins-on-uks-first-large-scale-facility-that-captures-carbon-dioxide-out-of-the-atmosphere/>

図4-4 Carbon Engineering社の動向

海外でのPJ事例の調査 –Climeworks社

- ・世界で初めてDACにより回収したCO₂を商業的に供給、現在 3 つのパイロットプラントが稼働中
初号機(スイス):90t CO₂ /年の処理能力、回収したCO₂を**温室に供給、地域焼却炉からの廃熱利用**
- 2号機(アイスランド):**CarbFixプロジェクト**(CO₂水を**地中の玄武岩に吸収させて固定化**)向け
約50t CO₂ /年CO₂を供給し**地中隔離、地熱からの廃熱利用**
- 3号機(イタリア):**EUファンドSTORE&GOプロジェクト**(カーボンニュートラル**メタン製造**) 約150tCO₂ /年
- ・固体多孔質顆粒に担持されたアミンをフィルタ状の吸着材にして用いる方式
- ・現在、**飲食品と炭素除去サービス**に注力、スイスGebruder Meier greenhouse(**温室栽培会社**)等
- ・また、特に**Audi社**やSunfire社とは、**燃料開発**で提携

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018

アイスランド“Orca”プロジェクト建設開始、4,000t CO₂/年規模 2020年12月 2日
年間4,000トンのCO₂回収規模、Hellisheidi**地熱発電所**よりエネルギー供給
回収したCO₂は、**Carbfix**の技術により**鉱物化・地中貯留**が実施される予定
出典：<http://www.janus.co.jp/enviro/CCSNews/tabid/77/Default.aspx?bid=995&dispmid=496>
<https://climeworks.com/orca-4000ton-dac-facility>

Audi社は、これら回収CO₂の1/4相当1,000トン分クレジット購入にて、本PJに参加
出典：<https://motor-fan.jp/tech/10016297>

ノルウェー政府のLongshipプロジェクトにCW社参加、Northern Lights社と提携 2021年3月10日

Longshipプロジェクト:CO₂を分離回収 + 船舶輸送 + 海底圧入するプロジェクト

Northern Lights社:欧州大手エネルギー企業(Equinor、Shell、Total)の合併事業、2021年3月創設
回収したCO₂の処理、移動、地下隔離事業を担う

出典：<https://jp.techcrunch.com/2021/03/10/2021-03-09-two-european-companies-are-mapping-a-future-service-for-direct-air-capture-to-sequestration-of-co2/>

図4-5 Climeworks社の動向

海外でのPJ事例の調査 –Global Thermostat社

- ・カリフォルニア州に実証プラントを運転中
- ・アラバマ州では約4000t CO₂ /年規模の世界最大のパイロットプラントが完成間近
- ・百万トンCO₂ /年規模の処理コストは、\$50/t CO₂と試算
- ・吸着材には、多孔質セラミック“モノリス”で担持されたアミンを採用
- ・CO₂の吸脱着には、温度-真空スウィング法を採用、85～100℃の蒸気でCO₂を脱着

出典：Direct Air Capture of Carbon Dioxide, ICEF Roadmap 2018

ExxonMobilとGT社は、発電施設を含む産業部門と大気からのCO₂回収技術の共同開発に合意 2019年6月27日

出典：ExxonMobil プレスリリース 2019年6月27日
<https://corporate.exxonmobil.com/en/News/Newsroom/News-releases/2019/0627-ExxonMobil-and-Global-Thermostat-to-advance-breakthrough-atmospheric-carbon-capture-technology>

ExxonMobilとGT社は、DAC技術の大規模化に向け共同開発の延長に合意

2020年9月21日

出典：ExxonMobil プレスリリース 2020年9月21日
<https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/News-releases/2020/0921-ExxonMobil-expands-agreement-with-Global-Thermostat-re-direct-air-capture-technology>

GT社は、米国DOEによるDAC技術のR&D資金提供プロジェクトに選定 2020年9月1日
テーマ名“Demonstration of a Continuous-Motion Direct Air Capture System”

DOE Funding: \$2,499,996; Non-DOE Funding: \$850,000; Total: \$3,349,996

出典：https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/21DAC_Ping.pdf

図4-6 Global Thermostat社の動向

また、前述の3社が参加しているCO₂を回収・貯留・利用するプロジェクト/ビジネスの事例を表4-5に示す。

表4-5に示す通り、EUや米国、仏国、ノルウェー等、欧米各国では、官・学が連携してCO₂回収に関するプロジェクトに資金提供を行うことにより、DACの研究開発を支援している状況であることがわかる。

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

プロジェクト名	用途	規模 tCO ₂ /年	電源・熱源	進捗状況	場所	DAC会社	提携・販売先	資金提供の有無
West Texas DAC	CO ₂ -EOR	50 ～100万	再エネ電力	建設開始 2022年	米国	CE社	Oxy Low Carbon Ventures, LLC (CE社とOxy(Occidental Petroleum)社との子会社)	45Q税クレジット及びカリフォルニア州LCFSクレジットの適用目標
CarbFix 産学連携プロジェクト	地中貯留	約50	ハトリスハイジ 地熱発電 廃熱利用	稼働中 2012年～	アイスランド	CW社	Reykjavik Energy社 主導 Carbfix社	EU"Horizon2020" 米国DOE, アイスランド大学, 米コロニア大学, 仏CNRS, スペインAmphos 21
Orca (上記プロジェクトの拡張)	鉱物化・ 地中貯留	4,000	ハトリスハイジ 地熱発電	稼働開始 2021年 9月～	アイスランド	CW社	Carbfix社が 地中貯留担当	調査中
STORE&GO プロジェクト	メタン 製造	約150	太陽光 風力	稼働中 2019年～	イタリア	CW社	INGRIDが水素供給 STORE&GOが CW社供給のCO ₂ と 併せてメタネーション	EU"Horizon2020"
Longship (CCS プロジェクト)	海底 圧入	～150万 CCS含	調査中	稼働開始 2024年 中旬～	ノルウェー	CW社	Northern Lights(Equinor, Shell, Totalの合弁)	ノルウェー政府
燃料開発	ジェット燃料 合成燃料	-	-	-	米国 ドイツ	CE社 CW社	Aerion Audi, Sunfire	不明
農業	温室栽培	-	-	-	スイス	CW社	Gebrüder Meier greenhouse	不明
食品	炭酸飲料	-	-	-	スイス	CW社	スイス・コカ・コーラHBC	不明

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

上述の海外プロジェクト/ビジネス事例の調査結果及び後述の本研究会メンバーからのアンケート方式による意見聴取結果等に基づき、将来の具体的なプロジェクトを、回収CO₂の貯留(Storage)プロジェクトと回収CO₂の利用プロジェクトに大別した。

・回収CO₂の貯留(Storage)プロジェクト

CO₂-EOR：化石燃料起源CO₂の方がコスト面で有利ではないか。

ただし、注入先にCO₂を輸送するインフラが整備されておらず、「どこでも回収可能」なDACのメリットを活用できる環境では利用の可能性有り

玄武岩との反応を利用した早期地中固定化：日本に適した地域があるか調査要

海底への貯留：海に囲まれた日本でも適用可能か調査要

なお、これら回収したCO₂の貯留先の選定に関する課題は、先行するCCSと同様である。

・回収CO₂の利用プロジェクト

DAC起源CO₂の供給先となりうる候補について、CO₂を原材料として利用している業界を抽出し、将来の合成燃料購入業界なども想定しながら、化石燃料起源のCO₂供給先に、DAC起源のCO₂が供給先として参入する可能性について図4-7に整理した。DAC起源のCO₂はコスト競争力で劣るものの、地球温暖化抑制に関心の高い消費者への価格転嫁が可能な業界や、国際的な規制の対象となつて将来的にCO₂排出量削減を厳しく要請される業界などには、一定の需要があるものと考えられる。

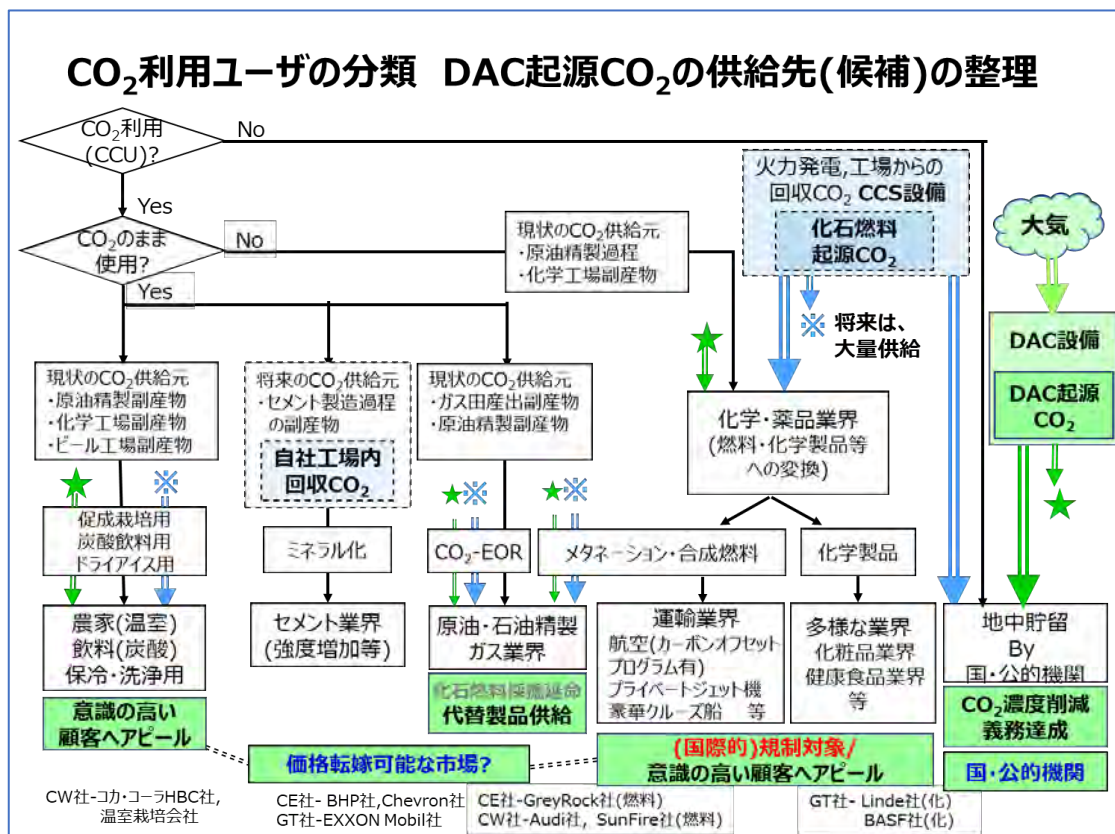


図4-7 DAC起源CO₂の供給先(候補)の整理

さらに、海外でのビジネス事例なども参考にしながら、回収CO₂の利用先として候補にあがった製品分野への参入の可能性について、概略評価を行った。原材料のCO₂に対するコスト優先度合い、化石燃料起源のCO₂との競合の有無、「どこでも回収」メリットを活かせる地産地消型の適否、及び本来の目的であるCO₂長期隔離効果について定性的な比較評価した結果を表4-6に示す。

DACが狙うターゲットとしては、まずは市場規模の大小より化石燃料起源CO₂と競合しない市場を優先し、コストダウンに成功した後、あるいは大気からの回収CO₂の利用に有利な環境が整備された後は、大規模市場へと展開していく成長シナリオを想定した。

なお、DACで回収する大気由来のCO₂は、排ガス等から回収する化石燃料由来のC

CO₂より価格競争力で劣ることは避けられないため、その利用は限定的であり、そのまま貯留するプロジェクトの方が主流ではないか、という意見が多かったことを付記する。

表 4-6 回収CO₂の利用先：製品分野別参入の可能性

分野	製品例	市場規模	コスト優先度合	化石燃料起源CO ₂ との競合	地産地消	CO ₂ 長期隔離効果
燃料	航空燃料, e-fuel	大	大	有	No	無
化学製品	石化製品の代替原料	大	大	有	No	用途次第
建設材料	コンクリート, 軽量骨材	大	大	有	No	大
農業	温室促成栽培	小	小	無	Yes	無
食品	炭酸飲料	小	小	無	Yes	無
特殊	ダイヤモンド(宝飾品)	小	無	無	No	大

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」、「回収CO₂利用プロジェクト(化石燃料起源CO₂と競合無)」、及び「回収CO₂利用プロジェクト(化石燃料起源CO₂と競合有)」の3つを想定して、それぞれに適したDACシステムに対する要求事項、及び望ましいDACシステムの特徴を整理し、以下の通りまとめた。

・回収CO₂貯留(Storage)プロジェクトの場合

DACシステムに対する要求事項

- 貯留場所に関する要求：選定には先行CCSプロジェクトと同じ課題有り
(隔離安定性、貯留可能容量、輸送距離等)
- コストに対する要求：回収コストの削減要求大
(回収CO₂からは価値が還元されない、廃棄のみ)
- DAC性能に対する要求：高濃度回収(隔離効率の最大化)
- 設置場所に対する要求：貯留地近傍(輸送コストの最小化)
- 回収規模に対する要求：大規模の方が望ましい(回収コストの最小化)
- 電力/熱源に対する要求：貯留地近傍・大容量(送電/熱輸送コストの最小化)
- 設置場所の自然環境：温暖、低湿度、砂塵・氷雪雨・潮風等の影響少

望ましいDACシステムの特徴：

- 大容量・連続処理（単体設備スケールアップ効果によるコスト削減）、又は
- 小容量・バッチ処理（小容量モジュール大量生産効果によるコスト削減）
- 高濃縮回収（注. 九州大学では低純度CO₂の地中貯留による低コスト概念を研究中）

さらに、プロジェクト実現には、

- 回収・貯留コストを極力削減できる適切な場所の選定が重要
- 貯留場所の課題は、先行するCCS普及での解決が前提

・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

～小規模回収&地産地消のビジネスイメージ～

DACシステムに対する要求事項

- DAC性能に対する要求：用途次第(温室栽培：中濃度，炭酸飲料：高濃度)
- 設置場所に対する要求：利用先近傍(輸送コストの最小化)
- 電力/熱源に対する要求：小～中容量の脱炭素電力利用可能
(太陽光、風力、水力、地熱 等)
- 設置場所の自然環境：爽快・清浄な自然環境イメージ
- コストに対する要求：コスト削減圧力は比較的小(価格転嫁可能な製品を想定)

望ましいDACシステムの特徴：

- 小容量、バッチ処理/連続処理方式可、用途に適した中～高濃縮回収方式

さらに、プロジェクト実現には、

- 美しい自然環境イメージをアピールできる適切な場所の選定が重要
- クリーンなエネルギー利用をアピールできる電力/熱源の選定が重要

・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

～大規模回収&CO₂回収場所と利用場所が異なるビジネスイメージ～

DACシステムに対する要求事項

- DAC性能に対する要求：高濃度回収(輸送時の容積削減)
- 設置場所に対する要求：利用先近傍(輸送コストの最小化)
- 電力/熱源に対する要求：中～大容量の脱炭素電力利用可能(変動型より安定型)
- 設置場所の自然環境：温暖、低湿度、砂塵・氷雪雨・潮風等の影響少
- コストに対する要求：コスト削減圧力大(化石燃料起源CO₂との競合)

望ましいDACシステムの特徴：

- 大容量・連続処理(単体設備スケールアップ効果によるコスト削減)、又は
- 小容量・バッチ処理(小容量モジュール大量生産効果によるコスト削減)
- 高濃縮回収

さらに、プロジェクト実現には、

- CO₂リサイクル社会成立の課題は、先行CCU普及での解決が前提
- 化石燃料起源CO₂コスト差は、補助金・税制優遇措置等の補填が前提
- または、脱化石燃料社会実現でCO₂供給量が不足する将来が前提

(2) 事業化視点での課題の整理状況

本項目に掲げた検討項目のうち、大部分は下半期からの検討開始を予定している。上半期では、「将来的に事業になり得る社会モデルの提案」に関連して、DACの普及・拡大に伴って必要になる「カーボンフリー電源及び熱源確保の課題」のみ検討した。

DACへのエネルギー源は、再エネ、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り、それぞれのメリット/デメリットの比較を行った。

また、2050年にカーボンニュートラルを実現した場合の、DACの設備容量を各種の将来予測シナリオから想定し、必要な電源の設備容量及び敷地面積を電源の種類別に試算した。試算に必要なDACによるCO₂回収量等の入力条件は次のとおりである。

- ・DAC CO₂回収量：①RITE/エネ経研シナリオ：～200Mt (2億t) CO₂/年
②IGESシナリオ：トランジェントケース 33Mt (0.33億t) CO₂/年
- ・DACエネルギー消費量：高温DACシステム：1316kWh/tCO₂、及び
低温DACシステム：182kWh/tCO₂+4.0GJ/tCO₂
- ・電源別の設備利用率(2030年想定)及び必要敷地面積：エネ庁資料を引用

表4-7に示す通り、2050年のカーボンニュートラル実現のために必要な容量までDACを大規模化する場合、DAC設備だけでなく、DAC用供給電源・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。

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）

	DAC容量	エネルギー消費量 (億Wh/年)	太陽光発電(事業用) 設備利用率:17.2%		風力発電(陸上) 設備利用率:25.4%		原子力発電 設備利用率70%	
	全て電力換算⇒	1316 kWh/tCO ₂	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)
高温DAC	1,000tCO ₂ /年	13.16	0.87	0.01	0.59	0.04	0.21	0.0001
	10万tCO ₂ /年	1316	87.3	0.86	59.1	3.62	21.5	0.01
	1,000万tCO ₂ /年	131,600	8,734	86	5,915	362	2,146	1.29
②	0.33億tCO ₂ /年	434,280	28,823	283	19,518	1,195	7,082	4.25
	1億tCO ₂ /年	1,316,000	87,342	858	59,145	3,622	21,461	12.9
①	2億tCO ₂ /年	2,632,000	174,684	1,717	118,290	7,243	42,922	25.8
			100万kWe級 発電所175基相当	東京都面積 の約8割	100万kWe級 発電所118基相当	東京都面積 の約3倍	100万kWe級 発電所43基相当	
低温DAC	電力 ⇒	182 kWh/tCO ₂	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)	必要設備容量 (MWe)	必要面積 (km ²)
	1,000tCO ₂ /年	1.82	0.12	0.00	0.08	0.01	0.03	0.00002
	10万tCO ₂ /年	182	12.1	0.12	8.2	0.50	3.0	0.002
	1,000万tCO ₂ /年	18,200	1,208	12	818	50	297	0.18
②	0.33億tCO ₂ /年	60,060	3,986	39	2,699	165	979	0.59
	1億tCO ₂ /年	182,000	12,079	119	8,180	501	2,968	1.8
①	2億tCO ₂ /年	364,000	24,158	237	16,359	1,002	5,936	3.6
			100万kWe級 発電所24基相当	山手線面積 の約4倍	100万kWe級 発電所16基相当	山手線面積 の約17倍	100万kWe級 発電所6基相当	
	熱 ⇒	4.0GJ/tCO ₂	=1,111kWh/CO ₂ ←熱源(グリーン水素/ガス)製造分の必要電力量を加算すると 高温DACと大差無し、廃熱利用によるコストダウンのポテンシャルに期待					

(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)

本研究会メンバーに、将来のCO₂循環社会、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、産・官・学それぞれに期待すること等、DACに関するアンケート調査を実施し、メンバーの関心事や問題意識を確認した。アンケート結果から、下半期に予定している「産業競争力強化のための提言および施策」を検討する際に重要な論点と思われる4つの項目が浮かびあがってきた。

以下に、それぞれの項目に関する意見を列挙する。

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

CO₂を商品化(コストではなくプライス設定する)国際的なCO₂取引市場の構築が大前提

- ・「高額カーボンプライシングの社会導入」「CO₂貯留サイト技術確立と運用」の領域における「官」の積極的主導
- ・政府(国際間)によるCO₂排出規制、DACによるCO₂回収の義務化
- ・DAC立地場所の確保と法制化
- ・DACによるCO₂回収が促進されるインセンティブ制度の整備、CO₂買取、税制優遇
- ・DACによるCO₂削減量の認証等の制度(LCAを用いた認証制度)の確立

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

スケールアップを含めた検討の継続維持、成功体験の積み重ね、小さくともビジネスが続く環境整備が必要

- ・産業界におけるシステム開発、大規模実証に関する政策、資金面での助成
- ・可能性のある技術実証を加速させるため、製品化/事業化における課題について産学が相互に連携し合える場の構築

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

海外展開するためにも、国内産業の技術競争力強化は必要

国内でも保険的な意味でDACオプションは重要、国主導で継続的な国内プロジェクトとしてDACの要素技術開発、国内での適地選定を進めることが重要

- ・インセンティブ制度の整備：要素技術研究への政策、資金面での補助金助成、税制優遇
- ・国内での技術開発～実証プロジェクト支援
- ・DACシステム全体のコストダウン技術の開発支援
- ・DACで回収したCO₂の積極利用への支援

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

日本は地勢学的にエネルギー・貯留地の観点からDAC+Storageには不利なため、グローバルな立地場所の探索、実証、実装が必要

DACは世界どこでも一緒なので、回収・隔離に適した国・地域で展開する方が望ましい

- ・世界のどこでも展開できる法整備、世界統一のルール市場を作ることが必要
- ・国内産業界が海外DACプロジェクトへの参加する場合、海外での削減分の取り扱いに関する国際的なルール作り

5. 産業競争力強化のための提言および施策について

本研究会では、「産業競争力強化のための提言および施策」を本年度下半期に議論しまとめる計画であるが、上半期のメンバー間の議論やアンケート結果などを整理すると、上述のとおり、次に示す4つの論点が、さらなる議論を必要とする項目として浮かび上がってきた。このため、これらの論点を中心に議論を深めていく。

①DAC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

例えば、DACによる回収CO₂が適切にプライス設定される国際的なCO₂取引市場の構築、DACによるCO₂回収が促進されるインセンティブ制度、DACによるCO₂削減量の認証制度(LCA)など、事業環境の整備に関する議論

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事業環境について

例えば、産業界におけるシステム開発や大規模実証などへの投資リスクの軽減、資金面での助成など、研究開発段階から実証・実用段階への円滑な移行に関する議論

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

例えば、継続的なDAC要素技術やシステム開発を支援する国内プロジェクト、DAC設備の国内における適地選定など、技術競争力の持続的な向上に必要な国内産業基盤の構築に関する議論

④国内DAC産業が、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

例えば、国内産業界が海外プロジェクトに参加した場合や海外企業と連携して大気中からのCO₂回収した場合の貢献度合いを国際的に認証する統一ルール、海外企業との事業連携の優遇など、国内DAC産業の積極的な海外展開に関する議論

6. 今後の計画(最終報告書に向けた検討上の課題と展開)

DACは、地球温暖化抑制の条件である2050年のカーボンニュートラル社会の実現に必要不可欠な「バック・ストップ・オプション」であるとの共通認識のもと、下半期は、図3-1の活動スケジュールにしたがって、①DAC事業化に影響を与えるカーボンニュートラルに関する公的な規制・支援制度、②カーボンニュートラルを実現する社会モデル、及び③海外との連携方法など、「事業化視点での課題」の整理、及びそれらに必要な調査や評価を行う。また、上述のメンバーのアンケート結果から抽出された4つの論点を中心にして、「DACに関する産業力強化のための政策提言および産業界としての施策」について議論し、その成果を取りまとめていく。

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 4 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