【産業競争力懇談会　2021年度　研究会　最終報告】

【DAC（Direct Air Capture）研究会】

２０２２年２月１０日

産業競争力懇談会 COCN

【エクゼクティブサマリ（最終）】

- **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CO_2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ＣＯＣＮ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ーを検討した。

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。

ＤＡＣは、空気のある場所ならどこでもCO_2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CO_2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CO_2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CO_2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 年度は十分な議論をするには検討期間が短く、その事業化には長期間を要する研究開発テーマであるため、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ー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。

- **本年度の活動概要**

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技術的特性を把握した。

また、ＤＡＣ起源のCO_2を貯留・利用する取引制度成立の可能性やインセンティブの有無、将来のCO_2回収コスト予測情報、2050 年の各種予測シナリオ分析におけるＤＡＣの果たす役割等、将来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、将来のCO_2循環社会のイメージ、ＤＡＣ起源CO_2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調査の一環として、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」委員である日本エネルギー経済研究所の工藤理事より講演頂き、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。

- **産業競争力強化のための提言および施策について**

次に示す４点の政策提言と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

・公的な規制・支援制度の整備

・ＤＡＣによる回収CO_2の国際的な取引制度の整備

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

・研究人財、研究・試験設備、研究開発資金の充実

・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

・産学連携プラットホームの構築

③ＤＡＣ国内産業基盤を構築・発展させるための提言

・継続的なＤＡＣ要素技術やシステム開発への支援

・国際的なＤＡＣ開発拠点の国内創設～定着の支援

・ＤＡＣ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

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

・国内産業界が海外でCO_2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

・海外企業との事業連携、海外でのCO_2回収事業優遇策

- **今後の計画**

ＤＡＣは、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、例えば産学官の連携や海外との連携・協力のあり方など、ＤＡＣの事業化に向けて産業界として調査や協議が必要と考えられるテーマに関する活動を、２０２２年度も継続すべく計画中である。

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

⑴エンジニアリング課題の整理状況

⑵事業化視点での課題の整理状況

⑶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

添付：参考文献一覧

【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	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
42	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CO_2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、ＣＯＣＮ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ーを検討した。

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CO_2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ＣＯＣＮ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ー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CO_2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CO_2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-CO_2、コストは600$/t-$CO_2$（排ガス中$CO_2$回収の10倍以上）である。大気中の$CO_2$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、大量の大気の取り込みや回収後のCO_2のハンドリング、地熱、風

力、太陽光などの再エネ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CO_2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、CO_2-ＥＯＲや温室促成栽培などにＤＡＣで回収したCO_2を供給する事例、ＤＡＣで回収したCO_2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CO_2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CO_2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②ⅱ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CO_2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CO_2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（CO_2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CO_2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、CO_2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CO_2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CO_2と比較して、大気から回収するCO_2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CO_2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CO_2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CO_2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CO_2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）

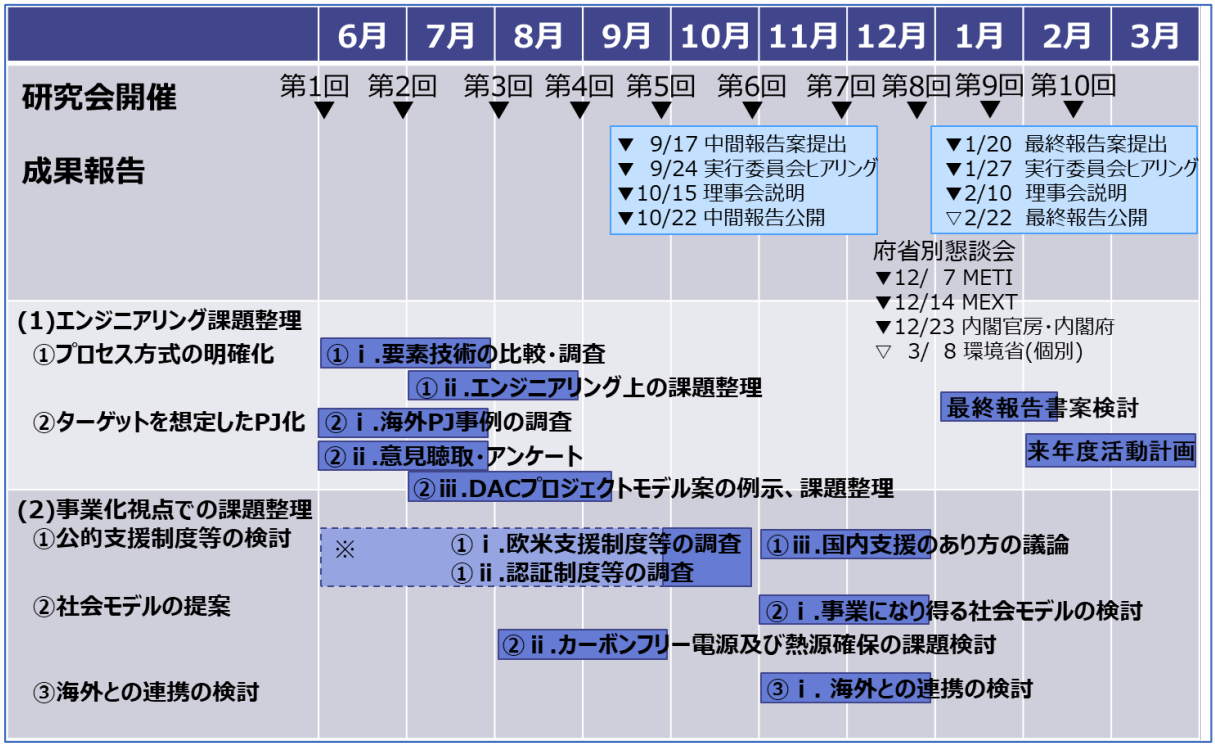
また、回収したCO_2を原料として利用あるいは永久貯留する場合、CO_2の輸送コスト削減のためには、CO_2利用プラントの近傍あるいは永久貯留に適した場所の近くにＤＡＣ設備を設置する方が望ましい。すなわち、ＤＡＣ設備は電源あるいは後段プロセスのいずれか、あるいは双方の近傍に設置できれば、エネルギー・コスト双方で削減が見込めることになる。

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．活動スケジュール及び実績

本研究会の活動スケジュール及び２月中旬までの実績を図 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た。



※：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』の検討状況を第 6 回会議(10/30)にて、日本エネルギー経済研究所 工藤理事殿よりご講演

図 3-1 ＤＡＣ研究会 2021 年度スケジュール及び 2 月中旬までの実績

４．2021 年度の活動実績

（１）エンジニアリング課題の整理

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、貯留(Storage)または隔離(Sequestration)との組合せ(ＤＡＣＣＳ：DAC with Carbon Storage または、ＤＡＣＳ：DAC with Sequestration)でネットでのネガティブ・エミッションとなる。

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。

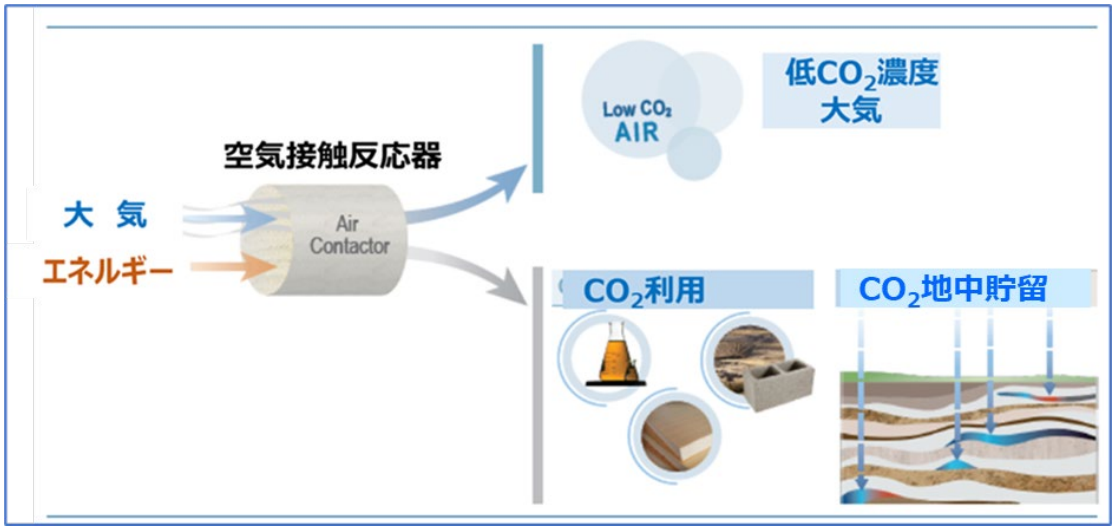


図 4-1 ＤＡＣの原理

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ＤＡＣＳコストとの関係を図 4-2 に示す。ＤＡＣＳコストが将来的に下がると、トータル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なことがわかる。

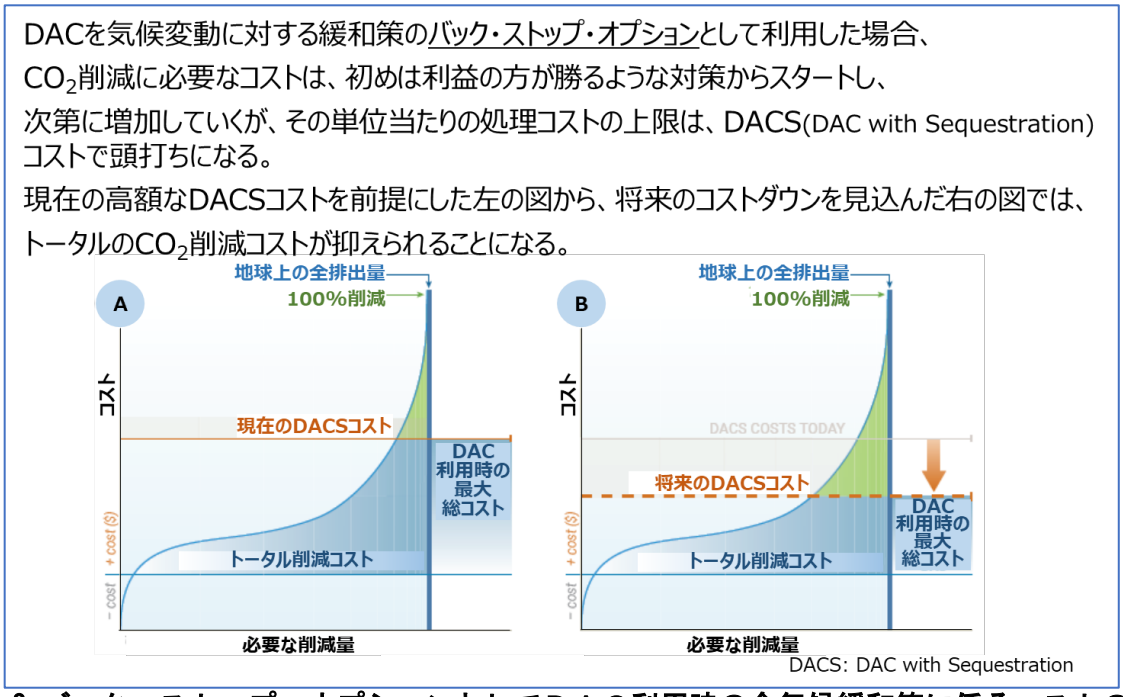


図 4-2 バック・ストップ・オプションとしてＤＡＣ利用時の全気候緩和策に係るコストの概念曲線

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

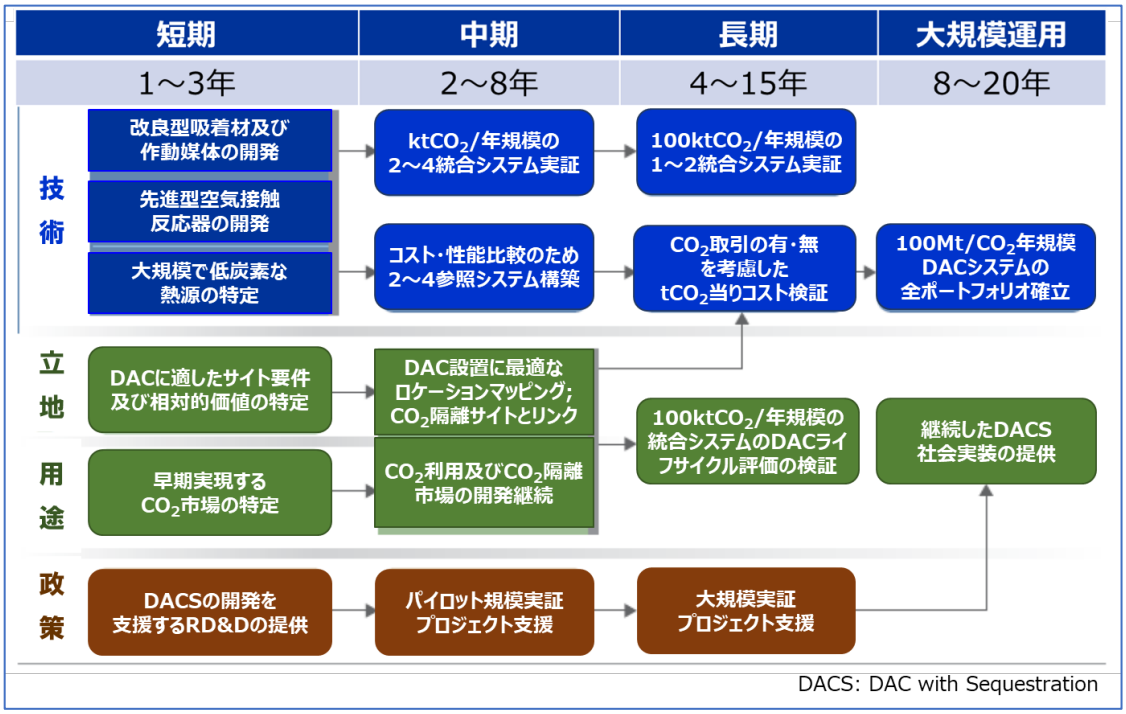


図 4-3 ＩＣＥＦが提唱するＤＡＣイノベーションロードマップ

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、（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した。

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	名大ー東邦ガス 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 CO_2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、2021 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・CO_2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

・CO_2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-CO_2
※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CO_2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＜CO_2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CO_2分離回収コストを達成
目標事例：1 万円/t-CO_2
・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-CO_2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CO_2分離回収コストは、現時点における評価３～６万円/t-CO_2から、2030 年代には 1 万円/t-Ｃ

O_2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-CO_2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CO_2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、現時点ではローカルな相対取引を含む小規模な市場向けにCO_2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。

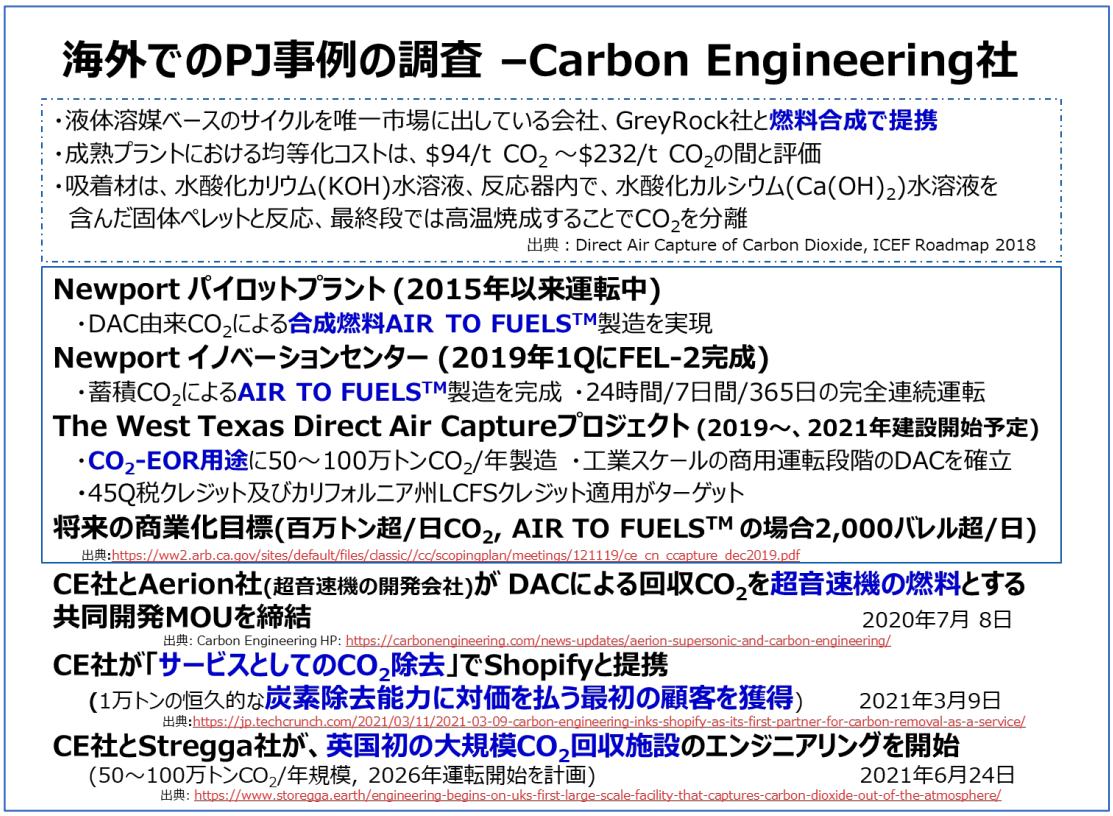


図4-4 Carbon Engineering社の動向

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CO_2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 CO_2 /年の処理能力、回収したCO_2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**(CO_2水を**地中の玄武岩に吸収させて固定化**)向け
　　約50t CO_2 /年CO_2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150tCO_2 /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 CO_2/年規模　2020年12月 2日
年間4,000トンのCO_2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/environ/CCSNews/tabid/77/Default.aspx?bid=995&dispmid=496
https://climeworks.com/orca-4000ton-dac-facility

Audi社は、これら回収CO_2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:CO_2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)の合弁事業,2021年3月創設
回収したCO_2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 CO_2 /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CO_2 /年規模の処理コストは、$50/t CO_2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
・ CO_2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CO_2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CO_2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ＣＯ$_2$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ＣＯ$_2$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	ヘトリスヘイジ地熱発電廃熱利用	稼働中2012年～	アイスランド	CW社	Reykjavík Energy社主導 Carbfix社	EU"HORIZON2020" 米国DOE, アイスランド大学、米コロンビア大学、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	ヘトリスヘイジ地熱発電	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	Gebruder 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ＣＯ$_2$の貯留(Storage)プロジェクトと回収ＣＯ$_2$の利用プロジェクトに大別した。

・回収ＣＯ$_2$の貯留(Storage)プロジェクト

ＣＯ$_2$-ＥＯＲ：化石燃料起源ＣＯ$_2$の方がコスト面で有利ではないか。
ただし、注入先にＣＯ$_2$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、回収したＣＯ$_2$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。また、回収ＣＯ$_2$の貯留に関しては、『地球規模での大規模なＤＡＣ貯留地は既に権益を持たれていることが懸念される。「どこでも回収可能」なメリットを活用した小規模ながらも低コストな分散型貯留のあり方も論点になるのでは？国内でも小規模であれば

貯留可能場所は存在すると思うので、国内での開発・実証を進めるに適した取組みになるのではないか』という意見があった。

・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って将来的に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。

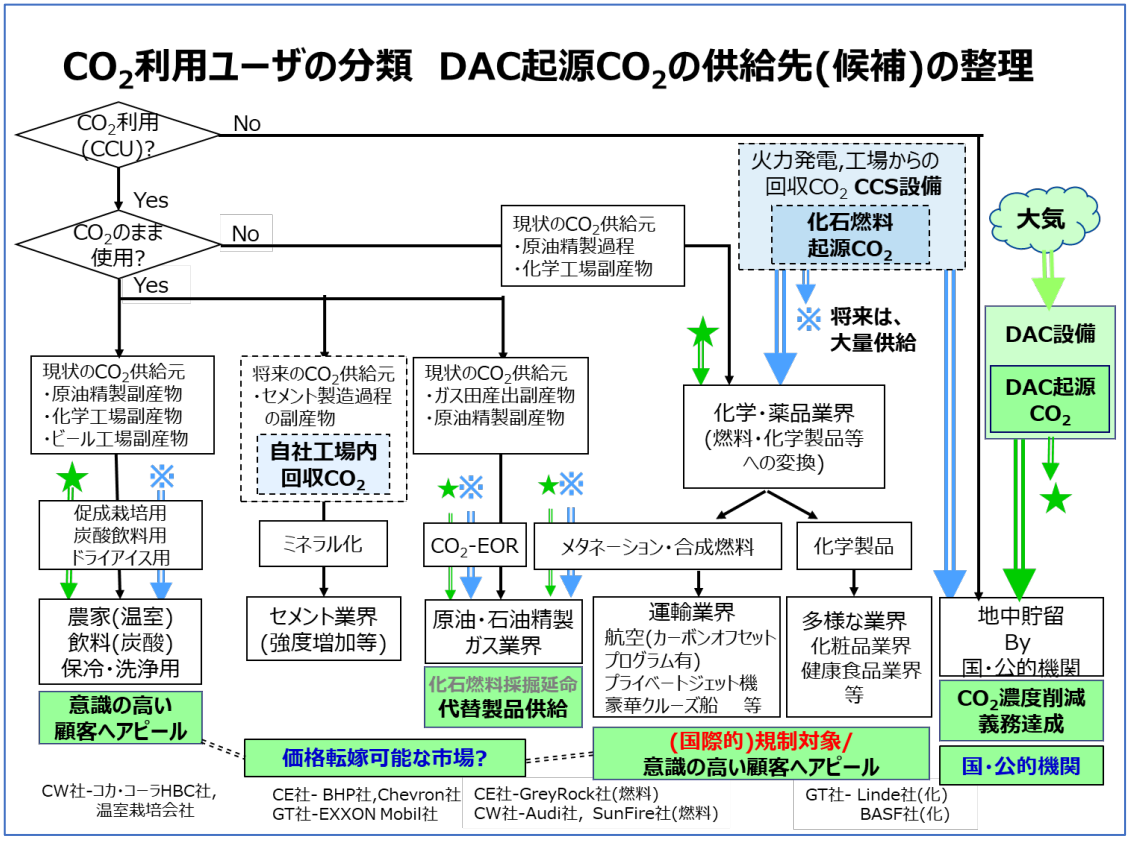


図 4-7　ＤＡＣ起源ＣＯ₂の供給先（候補）の整理

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が狙うターゲットは、まずは市場規模より化石燃料起源ＣＯ₂と競合しない相対取引を含む市場を優先し、コストダウン成功の後、または大気からの回収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ＣＯ₂より価格競争力で劣るうちは限定的な利用に留まってしまうのではないか』という意見や、『海外事例を見ると、クリーンなイメージに民間投資が集まりやすく、ネガティブ・エミッションに高い付加価値を見出す可能性があるため、環境整備を待つのではなく、このような市場の感性に上手く乗ることで、利用範囲を広げていくことが重要ではないか』という意見があった。

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)、または

-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CO_2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CO_2利用プロジェクト（化石燃料起源CO_2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CO_2利用プロジェクト（化石燃料起源CO_2と競合有）の場合

～大規模回収＆CO_2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CO_2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）、または
-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、
-CO_2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CO_2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CO_2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

本項目では、事業化を国内で支援する公的な制度のあり方について議論するため、米国における連邦４５Ｑ優遇税制、加州のＬＣＦＳ(Low Carbon Fuel Standard)制度、欧州グリーンディールほか各国のグリーン分野への投資内容など、先行する欧米の支援制度を調査した。また、カーボンプライシング導入に関する国内動向の調査の一環として、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」の委員である日本エネルギー経済研究所の工藤理事より講演いただき、将来ＤＡＣの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、将来的に事業になり得る社会モデルの検討のため、経済産業省「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、第６次エネルギー基本計画策定の場である総合資源エネルギー調査会基本政策分科会における地球環境産業技術研究機構（ＲＩＴＥ）「2050 年カーボンニュートラルのシナリオ分析」、日本エネルギー経済研究所（ＩＥＥＪ）「2050 年カーボンニュートラルのモデル試算」、及び地球環境戦略研究機関（ＩＧＥＳ）「ネット・ゼロと言う社会-2050 年 日本(試案)-」等、各種の将来社会想定や予測シナリオ資料を調査した。その結果、省エネや再エネ比率の拡大など脱炭素化に向けた様々な施策や努力を重ねた場合でも、2050 年には国内で最大約２億トン/年規模の大気中のCO_2をＤＡＣの利用により回収するシナリオでないとカーボンニュートラルは実現できない旨の分析結果などから、ＤＡＣの大規模な普及が必須であることを改めて確認した。さらに、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」検討においては、太陽光、風力、地熱、原子力等のカーボンフリー電源のメリット/デメリット比較を行った。また、2050 年にカーボンニューラルを実現した場合の、ＤＡＣの設備容量を前述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CO_2回収量等の入力条件は次のとおりである。

・ＤＡＣ CO_2回収量
　①ＲＩＴＥシナリオ・ＩＥＥＪシナリオ：～200Mt (2 億 t)CO_2/年
　②ＩＧＥＳシナリオ：トランジェントケース 33Mt(0.33 億 t)CO_2/年
・ＤＡＣエネルギー消費量
　高温ＤＡＣシステム：1316kWh/tCO_2、及び
　低温ＤＡＣシステム： 182kWh/tCO_2＋4.0GJ/tCO_2
・電源別の設備利用率(2030 年想定)及び必要敷地面積
　資源エネルギー庁資料を引用

表 4-7 に示す通り、2050 年のカーボンニューラル実現のために必要な約２億トン/年まで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%	
高温DAC	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)
	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ＣＯ$_2$循環社会、ＤＡＣにより回収したＣＯ$_2$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・学・官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、「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、ＣＯ$_2$市場など）について

ＣＯ$_2$を商品化（コストではなくプライス設定する）国際的なＣＯ$_2$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」「ＣＯ$_2$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
- ＤＡＣ立地場所の確保と法制化
- ＤＡＣによるＣＯ$_2$回収が促進されるインセンティブ制度の整備、ＣＯ$_2$買取、税制優遇
- ＤＡＣによるＣＯ$_2$除去量の認証等の制度（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CO_2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―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＋貯留(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・貯留に適した国・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CO_2除去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

前述の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。

【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CO_2回収により、大量のCO_2が供給

化石燃料を直接の原材料とはせず、回収CO_2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CO_2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CO_2回収装置が設置され大量のCO_2回収
-産業：CO_2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CO_2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

CO_2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CO_2に国が価格付けするだけでなく、民間ベースでもCO_2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き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CO_2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CO_2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、CO_2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CO_2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CO_2にプレミアム価格設定（化石燃料由来CO_2価格＋α）

－回収CO_2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CO_2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CO_2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

・CO_2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CO_2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産学連携プラットホームの構築

・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ホームの構築

（「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）

・CO_2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―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CO_2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CO_2価値を分配しても、なお国内産業界がCO_2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CO_2回収事業優遇策

・国内ではCO_2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、CO_2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ＤＡＣ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。

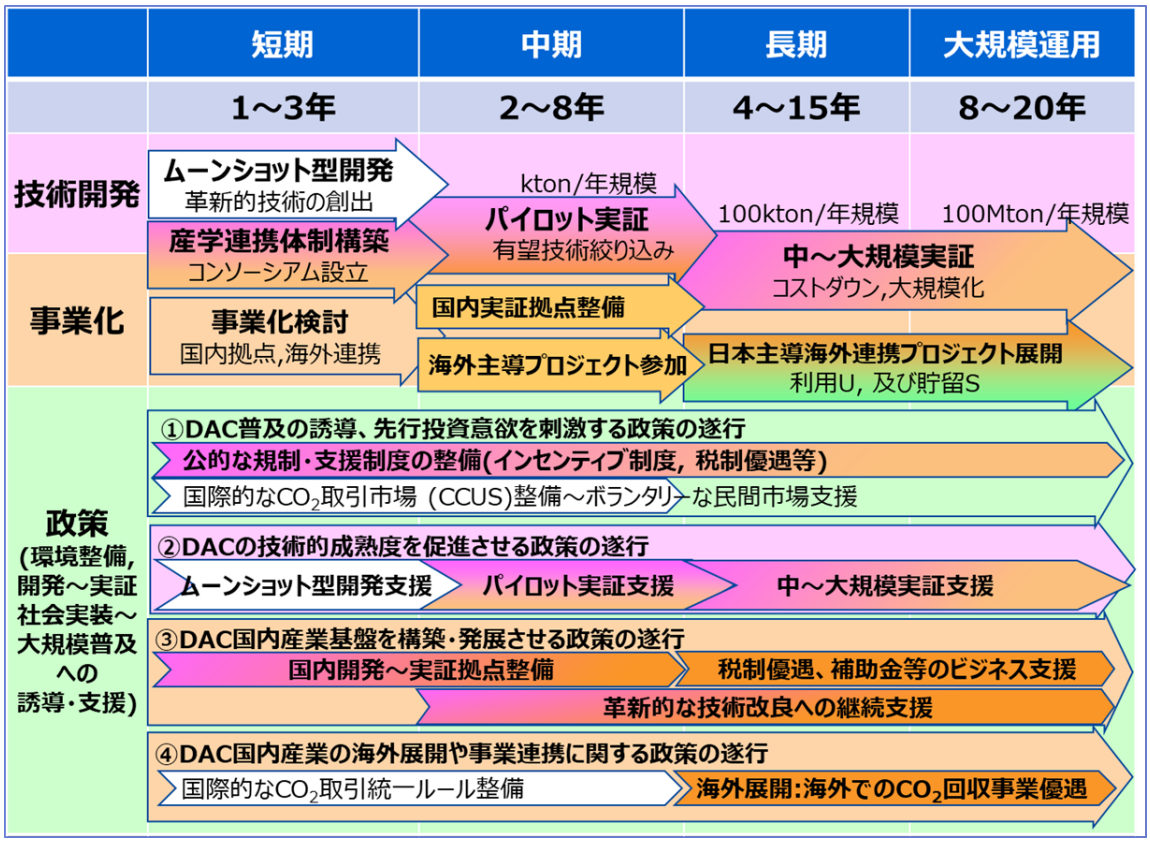


図 5-1　ＤＡＣ事業化を目指した産学官のロードマップ

６．今後の計画

ＤＡＣは、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、2022 年度も、ＤＡＣの事業化に向けて産業界として調査や協議が必要と考えられるテーマに関する活動を継続し、ＤＡＣに関するさらなる政策提言や産学官ロードマップの具体化などを計画している。

【 2022 年度のＤＡＣ研究会検討テーマ（案）】

・産学官連携のあり方や具体的な進め方の検討

例えば、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の提案、国内研究開発拠点の整備やＤＡＣ開発コンソーシアムの提案など

・海外との連携や協力体制構築に関する検討

例えば、海外先行技術の導入、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

・回収したＣＯ₂の貯留・利用のあり方に関する検討

例えば、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）や技術的成熟度/低コスト化の進展度合いに適したあり方など

・最新の開発/ビジネス動向の継続入手活動

例えば、海外の先端技術/ビジネス/国際ルール策定等の最新動向調査、国内産業界の分野別希望意見の聞き取り調査など

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　LCS-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 ＣＯ$_2$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_LLB.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

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