



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

2024年2月

カーボンリサイクル分野（CO₂分離回収技術）の 技術戦略策定に向けて

はじめに.....	2
1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像.....	3
1-1 社会課題と将来像.....	3
1-2 解決・実現のための方法.....	5
1-3 CO ₂ 分離回収分野の各国ロードマップと市場見通し.....	8
2章 解決・実現手段の候補.....	14
2-1 解決・実現のための課題.....	14
2-2 国内外の研究開発動向.....	18
2-3 国内外の社会実装の早期実現に向けた動向.....	26
2-4 早期に社会実装を実現するための技術開発の方向性... ..	29
3章 おわりに.....	31

Vol.

118

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

はじめに

2020年10月に菅総理(当時)によってなされた『2050年カーボンニュートラル宣言』¹を受けて2020年12月に政府が策定(2021年6月に改訂)した『2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』²では、温暖化への対応を「成長の機会」と捉え、2050年に向けて成長が期待される重要分野として「カーボンリサイクル・マテリアル産業」を含む14分野が選定された。カーボンリサイクル分野における主な今後の取り組みの一つであるCO₂分離回収技術については、より低濃度・低圧な排ガスからのCO₂を分離・回収する技術の開発・実証を進めるとしている。CO₂分離回収技術は、CO₂を資源として捉えて分離回収・再利用するカーボンリサイクル分野の中でCO₂供給の要となる共通技術であり、世界でも技術競争が激化する分野である。カーボンリサイクルの取り組みを加速すべく、経済産業省は、技術開発と産業化の加速に係る今後の課題とアクションをまとめた『カーボンリサイクルロードマップ』³を2023年6月に公表した。ここでは、CO₂分離回収技術のコスト目標として2040年以降の1,000円/tCO₂が、また、Direct Air Capture(DAC)に対するコスト目標として2050年での2,000円/tCO₂が示されている。

本レポートでは、カーボンリサイクル分野の共通技術であるCO₂分離回収技術に関して、社会実装を早期に実現し、企業の産業競争力を強化するための技術開発の方向性、及び国の支援の在り方を検討した。

¹ 菅内閣総理大臣(当時)所信表明演説(2020)

https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html

² 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(経済産業省、2021)

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html

³ カーボンリサイクルロードマップ(経済産業省、2023)

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_recycle_rm/20230623_report.html

1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

1-1 社会課題と将来像

気候変動に関する政府間パネル(以下、IPCC)の第6次報告書では、「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がない」とされた。温室効果ガス(GHG)排出の大部分を占める CO₂ の削減は世界的に喫緊の課題である。その解決のためには、炭素循環という観点から、CO₂ の排出削減、貯蔵・固定化、再利用などの全ての工程にわたって包括的に取り組むことで、持続可能な社会を目指すことが重要である。

図1に炭素循環から見た社会システムの概念図⁴を示す。まず、エネルギー需要部分では、省エネルギー化の推進や、再生可能エネルギー、水素、バイオマスの利用により、化石燃料の使用量を削減することで CO₂ 排出量を低減させる。次に、排出される CO₂ については、分離回収し、地中や鉱物等への貯留・貯蔵(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)を行うとともに、カーボンリサイクル技術による化学物質等への利用(CCU: Carbon dioxide Capture and Utilization)を行う。

このように、持続可能なエネルギーの利用やバイオマスの有効活用を推進するバイオエコノミーと、CO₂ の循環利用を推進するサーキュラーエコノミーとを統合した社会システムとして実現していくことが、CO₂ 削減に効果的である。

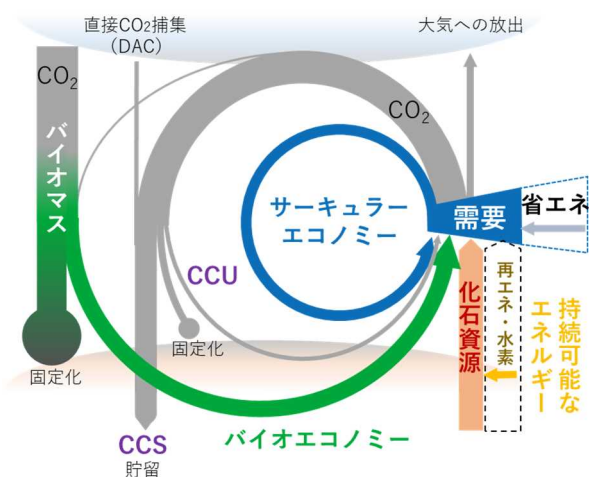


図1 炭素循環から見た社会システムの概念図

出典: 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2023(NEDO)

⁴ 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2023(NEDO)
https://www.nedo.go.jp/library/future_1.html

将来の炭素循環社会の形成に向けた世界全体での GHG 排出量削減シナリオは海外の研究機関から提示されている。IPCC の第 6 次評価報告書によれば、向こう数十年の間に GHG 排出量が大幅に減少しない限り、21 世紀中に 1.5°C 及び 2°C を優に超える地球温暖化に至ることが示されている。また、International Energy Agency（以下、IEA）の World Energy Outlook 2023（以下、WEO 2023）⁵においては、世界の CO₂ 排出量削減シナリオを 3 パターン（STEPS、APS、NZE）示している（図 2）。STEPS（Stated Policies Scenario）は現在の政策に基づいて CO₂ 削減が進むシナリオ、APS（Announced Pledges Scenario）は政府が発表した気候関連の約束を全て達成するシナリオ、NZE（Net Zero emissions by 2050 Scenario）は 2050 年にカーボンニュートラルを実現するシナリオである。

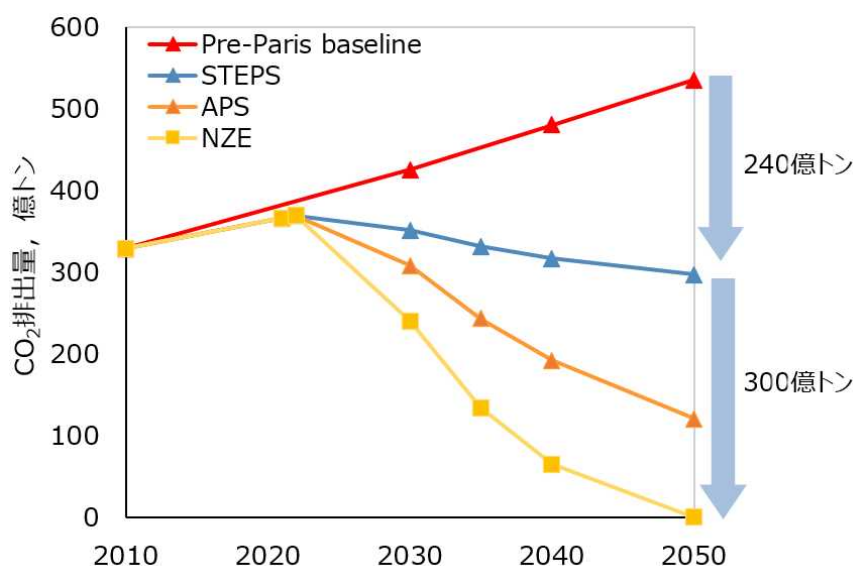


図 2 IEA WEO 2023 による代表的なシナリオの CO₂ 排出量

出典: IEA WEO 2023 を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

2050 年における CO₂ 排出量は STEPS で約 300 億トンであり、パリ協定⁶以前の政策に基づく対策が実施された場合の Pre-Paris baseline に比べ、240 億トン程度の削減を見込んでいる。しかしながら、カーボンニュートラル実現に向けては、STEPS から更に 300 億トンの CO₂ 排出削減が必要である。

⁵ World Energy Outlook 2023 (IEA) <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

⁶ 『フランスのパリで開催された第 21 回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) において採択された 2020 年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み』(外務省) https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html

1-2 解決・実現のための方法

持続可能な社会を目指し、地球温暖化対策として 2050 年までにカーボンニュートラルを実現するためには、様々な手段により化石燃料の使用量を削減することで CO₂ 排出量を低減するが、削減しきれずに排出される CO₂ を分離回収する技術の活用が欠かせない。前述した IEA の WEO 2023 の NZE シナリオでも 2050 年に約 60 億トンの CO₂ 分離回収を見込んでいる。本レポートでは CO₂ 分離回収技術に着目する。

(1) CO₂ 分離回収技術の位置付け

CO₂ 分離回収技術はカーボンリサイクルにおける共通技術として重要である。『カーボンリサイクルロードマップ』³の技術体系(図 3)においても、CO₂ の削減に直接的に結び付く CO₂ の貯留、有効利用技術に対し、CO₂ 分離回収はそれらの前段階で、排ガス、もしくは大気中の CO₂ を高純度にするための処理技術であり、CO₂ 削減に貢献する共通技術として位置付けられている。

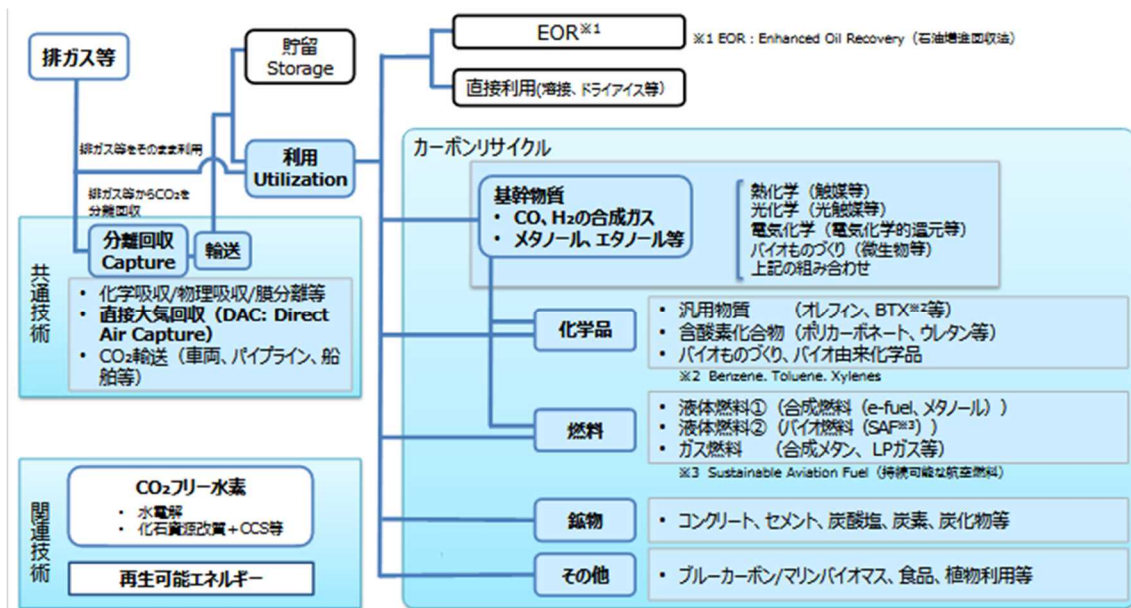


図 3 カーボンリサイクルロードマップの技術体系

出典:カーボンリサイクルロードマップ(経済産業省、2023)

(2) CO₂ 分離回収技術に関する政策と社会動向

2015 年 12 月にパリで開催された国際連合気候変動枠組条約第 21 回締約国会議 (COP21) 以降、国内外の気候変動対策に関する取り組みが加速している。COP21 で採択されたパリ協定では、工業化以前よりも 2°C 高い水準を十分に下回るものに抑える (2°C 目標) とともに、1.5°C 高い水準までのものに制限するための努力を継続すること (1.5°C 努力目標)、このために、21 世紀後半に温室効果ガスの人

為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡(世界全体でのカーボンニュートラル)の達成を目指すこと等を定めている。これを受けて、日欧米をはじめとする多くの国・地域が 2050 年までにカーボンニュートラルを実現することを表明している⁷。

国内では『パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略』⁸(2019 年 6 月閣議決定)に基づき、2020 年 1 月『革新的環境イノベーション戦略』⁹が策定され、炭素循環社会の構築を目指し、産官学の連携の下、革新的な技術開発による非連続なイノベーションの創出が社会的にも強く求められる情勢となっている。さらに 2020 年 10 月、菅総理が所信表明演説において、「我が国は、2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち 2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した¹。これらの実現には技術開発の貢献は不可欠と考えられることから、同年 12 月には革新的な技術開発の重点分野に対する 2 兆円規模のグリーンイノベーション基金が創設されるなどの政策的な動きが進められている。

CO₂ 分離回収分野の重要性が指摘されている国内の政策文書としては、2020 年 1 月に内閣府の総合科学技術・イノベーション会議で策定された『革新的環境イノベーション戦略』⁹ や、同年 12 月に経済産業省で策定(その後、2021 年 6 月に改訂)された『2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』² が挙げられる。これらの文書においては、GHG 削減の目標達成に資する多種多様な革新技術が記載される中で、CO₂ 有効利用技術を推進する基盤として、分離回収技術のイノベーション創出が期待されている。

Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage(CCUS)技術分野の取り組みに特化した国内の取り組みとして、2019 年 6 月に経済産業省は『カーボンリサイクル技術ロードマップ』¹⁰を策定し、CCUS の技術体系を整理し、各技術の道ゆきとして、現状認識と共に 2030 年、2050 年時点の目標が示された。その後、2021 年 7 月には進展のあった新たな技術分野の追記、カーボンリサイクル製品の普及時期の 2040 年頃への前倒しなどを盛り込み、『カーボンリサイクル技術ロードマップ改訂版』¹¹が策定された。さらに 2023 年 6 月には、技術開発に加え、産業化の加速に係る今後の課題とアクションをまとめた『カーボンリサイクルロードマップ』³ が策定され

⁷ エネルギー白書 2021(経済産業省)

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-2.html>

⁸ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(環境庁) <https://www.env.go.jp/press/111781.pdf>

⁹ 革新的環境イノベーション戦略(2020 年 1 月) <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

¹⁰ カーボンリサイクル技術ロードマップ(2019)

<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12685722/www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002.html>

¹¹ カーボンリサイクル技術ロードマップ改定(2021)

<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.html>

ている。また CCUS に関しては、それらの政策文書が示されるとともに、国内企業の動きが活発化しており、一般社団法人カーボンリサイクルファンドの設立、CCUS 検討委員会などの民間企業による自主的な取り組みの動機付けとなっていることがうかがえる。

1-3 CO₂分離回収分野の各国ロードマップと市場見通し

(1) 各シナリオで示される CO₂ 分離回収量の想定

IEA WEO 2023 の各シナリオの CO₂ 排出削減量の内訳における CO₂ 分離回収量を図 4 に示す。各シナリオで想定される 2050 年時点での回収量は、STEPS、APS、NZE において、それぞれ約 4 億トン/年、37 億トン/年、60 億トン/年である。

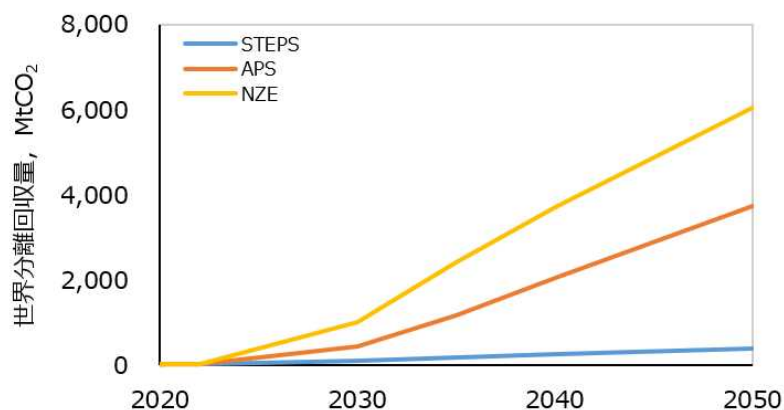


図 4 IEA WEO 2023 の各シナリオ (STEPS、APS、NZE) に対する CO₂ 分離回収量

出典: IEA WEO 2023 を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

これに対し、現状、2022 年時点での CO₂ 回収量は、Enhanced Oil Recovery (EOR) での CO₂ 利用を含む CCS 向けの CO₂ 回収量で約 0.4 億トン/年¹²となっている。先の NZE シナリオに示された CO₂ 回収量を達成するためには、相当量の CO₂ 回収施設の建設が必要である。CO₂ 分離回収設備としては、DAC を含め多様な規模に対応する必要があるが、仮に現状の最大規模である 100 万トン/年としても、NZE シナリオにおける 2050 年時点での約 60 億トンの CO₂ 回収量に達するには、2050 年までに 6,000 施設以上へ拡大する必要がある。この規模に到達するためには、毎年 200 以上の CO₂ 回収施設を建設する必要があり¹³、早急に CO₂ 分離回収技術の改良と社会実装を行っていくことが重要である。

(2) CO₂ 分離回収に係る各国ロードマップと分離回収費用について

各国では、CCS による CO₂ 削減を目的としたロードマップが既に公表されており、CCS を構成する技術体系が整理されている。その中で、CO₂ 分離回収が重要な位置を占めることが述べられている。クイーンズランド大学 (豪州) が発行したレポー

¹² Global STATUS OF CCS 2022 (Global CCS Institute) <https://status22.globalccsinstitute.com/>

¹³ SCALING UP THE CCS MARKET TO DELIVER NET-ZERO EMISSIONS (Global CCS Institute, 2020) <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/scaling-up-the-ccs-market-to-deliver-net-zero-emissions/>

ト¹⁴によると、豪州、カナダ、中国、オランダ、ノルウェー、英国、米国で CCS に関するロードマップが取りまとめられており、各国が高い関心を示している様子がうかがえる。以下では、日本、米国、EU、中国が公表した CO₂ 分離回収に関する研究開発の方向性、並びに、分離回収コストの目標を示す。

日本では 2016 年に『次世代火力発電に係る技術ロードマップ』¹⁵が公表され、LNG、石炭火力発電、水素発電に関する技術開発の方向性ととも CO₂ 分離回収技術、及び CCU 技術について 2030 年までの技術開発目標が示されている。2023 年 6 月には『カーボンリサイクルロードマップ』³が公表され、2030 年における CO₂ 分離回収技術のコスト目標として低圧ガス用は 2,000 円台/tCO₂、高圧ガス用は 1,000 円台/tCO₂、2030~2050 年までの目標として 1,000 円/tCO₂ を掲げて、その実現に向けた技術革新を推進することとしている(図 5)。

共通技術 (CO ₂ 分離回収技術)		
現状課題	2030年に向けた取組	2030年の目標
<p><技術課題> (コスト低減に向けた開発)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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) 等 CO₂排出源、用途に応じた分離回収法の選定 <p>[現在の回収コスト] 石炭火力発電排ガス (低圧ガス) + 化学吸収法 コスト 例: 6,000円程度/t-CO₂ (既設石炭火力に追設の場合) 所要エネルギー: 2.5GJ程度/t-CO₂</p> <p>(技術の標準評価方法の確立)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p><その他課題></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂発生源と需要・供給先を連携させたカーボンリサイクルに適合するCO₂分離回収システムの構築 (コプロダクション) 化学品、燃料、鉱物等、回収したCO₂を利活用する技術との連携 CO₂需給量の調整・運用機能 輸送、貯蔵技術開発、超臨界CO₂の安全性評価 輸送コストの低減 (大量輸送、液化技術) 	<p><具体的な取組> (コスト低減に向けた技術開発及び実証試験)</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧力、濃度の違いによるCO₂分離回収技術の開発 (材料開発、プロセス最適化・高効率化、コスト低減) (低圧ガス用) 固体吸収法、化学吸収法、物理吸着法、膜分離法、電解法等 (適用例: 燃焼排ガス、高炉ガス) (高圧ガス用) 物理吸収法 (適用例: IGCC燃焼前回収) 膜分離法 (適用例: IGCC燃焼前回収、天然ガス精製) <p><その他取組></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂輸送・貯蔵技術開発/実証 CCSの事業環境整備と整合性のとれたCO₂分離回収・輸送システムの検討 CO₂排出源を踏まえた分離回収技術と用途に適合したビジネスモデルの検討、ルール形成のサポート ISO TC265 (二酸化炭素回収・輸送・地中貯留)を中心とした、関連標準化動向の把握 排出削減コントロールの形成に関する情報の収集 CO₂回収効率化燃焼・ガス化技術 (酸素富化燃焼・クローズドIGCC、ケミカル・ピング) <p><グリーンイノベーション (GI) 基金> CO₂の分離回収等技術開発</p> <ol style="list-style-type: none"> 天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO₂分離回収技術開発・実証 工場排ガス等からの中小規模CO₂分離回収技術開発・実証 CO₂分離回収技術の標準評価共通基盤の確立 <p>CO₂濃度10%以下の低圧・低濃度のCO₂分離回収技術を確立し、CO₂分離回収設備・素材ビジネスの拡大に加えて、カーボンリサイクル市場における我が国の国際競争力を強化</p>	<p><技術目標> (コスト低減に向けた開発)</p> <p>(低圧ガス用)</p> <ul style="list-style-type: none"> <燃焼排ガス、高炉ガス等、濃度数6~、常圧程度> -2,000円台/t-CO₂ [GI基金] -所要エネルギー1.5GJ/t-CO₂ <p>(高圧ガス用)</p> <ul style="list-style-type: none"> <化学プロセス、燃料ガス等、濃度数10%、数MPa> -1,000円台/t-CO₂ -所要エネルギー0.5GJ/t-CO₂ -物理吸収法、膜分離法等 <p>(CO₂分離回収システムの構築)</p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂排出源および用途に適合した省エネルギー、低コストとなるCO₂分離回収システムの構築 10,000時間連続運転の実現 (耐久性、信頼性の実証) <p><その他取組></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂排出源を踏まえた分離回収技術と用途に適合したCO₂純度の組み合わせを考えた社会システム構築 省エネルギー・低コストとされるCO₂輸送・貯蔵手段の確立 <ul style="list-style-type: none"> -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、船舶等) <p><分離素材標準評価技術の確立></p> <ul style="list-style-type: none"> ①評価プロセス確立による素材開発加速の実現 [GI基金]
<p>2030~2050年までの取組・ターゲット</p>	<p><技術目標></p> <ul style="list-style-type: none"> 1,000円/t-CO₂に向けた技術革新 CO₂分離回収システムの耐久性、信頼性の向上、小型化 CO₂発生源と用途先の運用に応じたCO₂分離回収システムの最適化 	<p><普及への課題></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂分離回収および輸送システムの本格普及

図 5 カーボンリサイクルロードマップにおける CO₂ 分離回収技術の目標

出典:カーボンリサイクルロードマップ(経済産業省、2023)

米国ではエネルギー省 (DOE) の下、National Energy Technology Laboratory (NETL) がマネジメント機関として、CO₂ 分離回収・貯留・有効利用に関する研究開発を支援している。NETL における分離回収の研究開発は 1999 年から継続的に実

¹⁴ Overview of CCS Roadmaps and Projects (The University of Queensland、2016)

https://www.researchgate.net/publication/337731028_Overview_of_CCS_Roadmaps_and_Projects

¹⁵ 次世代火力発電に係る技術ロードマップ(経済産業省、2016)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/018_03_00.pdf

施され、CO₂ 分離回収費用の低減を狙った技術開発が展開されており、2005 年時点での 100USD/tCO₂ から、2020 年時点では 40USD/tCO₂ にまで近づいている状況¹⁶にあり、さらに 2030 年の 30USD/tCO₂ に向けた技術開発が進められている¹⁷。稼働時支援の税額控除クレジットでは、税額控除政策セクション 45Q が 2018 年に改訂され、CCS は 50USD/tCO₂、EOR や他の CO₂ 利用による CO₂ 隔離に対して 35USD/tCO₂ の控除が行われてきたが、2022 年 8 月に成立した『インフレ抑制法』により、控除上限は CCS が 85USD/tCO₂、CCUS が 60USD/tCO₂ に増額され、また、DAC に関する特別措置として CCS では 180USD/tCO₂、CCUS では 130USD/tCO₂ と大幅な税額控除が認められている¹⁸。

EU では、欧州委員会が低炭素エネルギー技術として有望な 6 分野(風力、太陽エネルギー、二酸化炭素回収・貯留(CCS)、バイオエネルギー、電力グリッド、持続可能な核分裂)を示した『戦略的エネルギー技術計画(SET Plan: Strategic Energy Technologies Plan)』を 2007 年に掲げ、これらの実現に向け、それぞれの分野での技術ロードマップを 2009 年に公表している。CCS の分野では、2025 年までに石炭火力発電への分離回収、及び貯留技術の実装を皮切りに、他の産業分野への展開が期待されており、分離回収設備の利用に伴う既存設備に与えるエネルギー損失、及び、2009 年時点での分離回収費用(60~90 ユーロ/tCO₂)のコストダウンに向けた次世代の分離回収技術開発の必要性が述べられている¹⁹。2015 年には、新たな政策として『SET Plan』が採択され、10 の優先アクションを規定している中の一つに CO₂ 有効利用技術も加えた CCUS 分野が含まれている。CCUS 分野では、10 のターゲットが掲げられ、分離回収については「新規の CO₂ 回収技術に関して、少なくとも 3 つのパイロット実証の実施(Target 6)」と共に、「次世代の分離回収技術の開発(R&I Activity 6)」が言及されている²⁰。2016 年時点では、既に『Horizon 2020』のプログラムも開始されているが、『Accelerating CCS Technology (ACT)』と呼ばれる CCS 技術の確立に向けたプログラム群の下で 2030 年に向け革新的な分離回収技術のパイロット実証に向けたプロジェクトの実施と、更なる研究開発の推進に向け、欧州の参加機関が所有する試験装置の共同利用を可能と

¹⁶ U.S. DOE/NETL large pilot-scale testing of advanced carbon capture technologies (FUEL, Brickett, et al., 2020) <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117169>

¹⁷ Carbon Capture, Storage and Utilization to the Rescue of Coal? Global Perspectives and Focus on China and the United States (Etudes de l'Ifri, 2019) <https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/carbon-capture-storage-and-utilization-rescue-coal-global-perspectives>

¹⁸ Inflation Reduction Act of 2022
<https://www.irs.gov/inflation-reduction-act-of-2022>

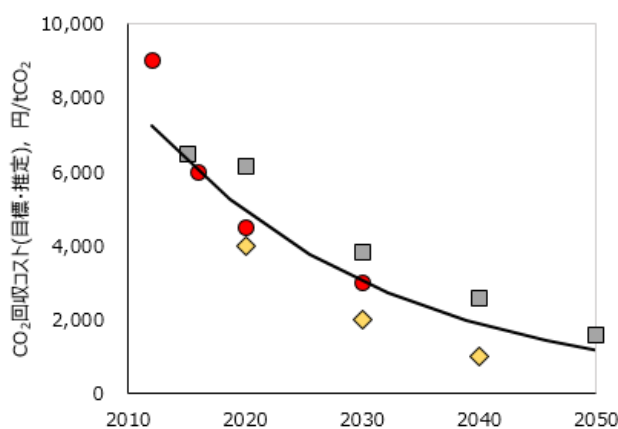
¹⁹ SET-Plan-A TECHNOLOGY ROADMAP (2009) https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en

²⁰ Integrated Strategic Energy Technology Plan (2015)
https://www.h2020.md/sites/h2020/files/SET%20Plan_2015_1_EN_ACT_part1_v8_0.pdf

する研究開発インフラ(ECCSEL²¹)の活用等が挙げられている。また、近年では欧州委員会は『Net Zero Industry Act』²²を2023年3月に発行し、その中で2030年までにEUの戦略的CO₂貯留サイトにおいて年間5,000万トンの注入容量を達成するというEUの目標を設定し、CO₂回収と貯留のプロジェクトを促進しようとしている。

中国では2006年から気候変動対策としてのCCUS技術開発に着手し、2016年までに、Ministry of Science and Technology(MOST)とNational Natural Science Foundation of China(NSFC)の下で、87のCCUS関連プロジェクトが実施されている。2015年には、National Development and Reform Commission(NDRC)がCCSロードマップにてCO₂分離回収費用の目標として、2030年時点で35~50USD/tCO₂、2050年時点で約15USD/tCO₂、CO₂回収量の目標として2030年時点で0.4億トン、2050年時点で24億トンを掲げている。2016年には、NDRCの『Energy technology innovation action plan』、MOSTの『13th Five-Year Plan for National Scientific and technological Innovation』の二つのプログラムの中に、CCUSの研究開発が含まれており、クリーンコール技術には240億USD予算が計上され、その内10%がCCUS技術に充てられている²³。

米国、中国、日本の分離回収コスト目標の比較を図6²⁴に示す。米国、中国では、日本と同様に分離回収コストの削減目標が掲げられている。



1USD=120円、1元=19.7円で計算

図6 米国(●)、中国(■)、日本(◆)の分離回収コスト目標の比較

出典:各種資料を基にNEDO技術戦略センター作成(2023)

²¹ European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure (ECCSEL)

<https://cordis.europa.eu/project/id/675206>

²² Net Zero Industry Act https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/net-zero-industry-act_en

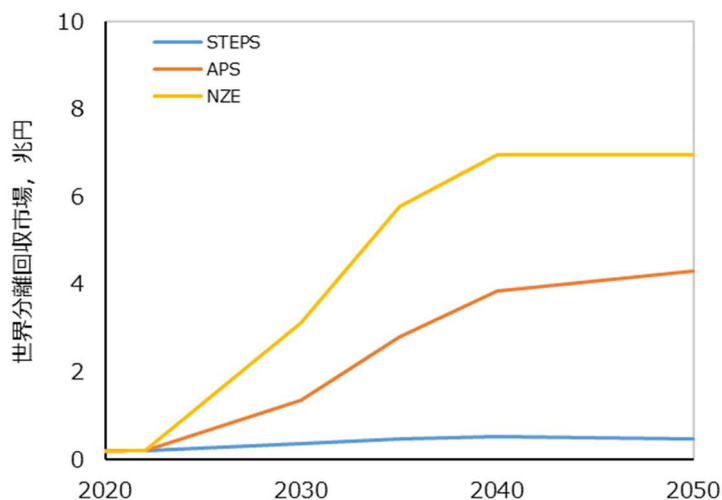
²³ China's carbon capture, utilization and storage (CCUS) policy: A critical review (Renewable and Sustainable Energy Reviews 119:109601, 2019), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109601>

²⁴ 米国、中国の目標値は「Carbon Capture, Storage and Utilization to the Rescue of Coal? Global Perspectives and Focus on China and the United States」を参照し、日本はカーボンリサイクル技術ロードマップ改訂版、カーボンリサイクルロードマップを基に2020年:4,000円/tCO₂、2030年:2,000円/tCO₂、2040年:1,000円/tCO₂として、NEDO技術戦略研究センター作成。

(3) CO₂ 分離回収技術における市場

CO₂ 分離回収技術の市場規模を、IEA WEO 2023 における CO₂ 排出削減シナリオ (STEPS、APS、NZE) の CO₂ 回収量 (MtCO₂/年) と、各国目標の分離回収技術コスト (円/tCO₂) の近似曲線 (図 6) から得られる該当年の推定コストを掛け合わせることで試算した (図 7)。この市場には、CO₂ 分離回収技術開発により拡大する、材料・素材市場、プラントエンジニアリング市場、分離回収設備市場などが含まれる。図に示されるように、各種シナリオでの CO₂ 回収量の拡大につれ、NZE シナリオにおいては、2040 年以降に年間 7 兆円規模の市場に到達することが見積もられる。

なお、ここで指す「市場」は、あるタイミングでの CO₂ 回収量と CO₂ 分離回収コストを掛け合わせて試算しているため、毎年の新規 CO₂ 回収量の増分に応じて経年で積み上げられた市場規模の増分を示すものではない。NZE シナリオでは 2040 年から 2050 年にかけて CO₂ 回収量が増加しているにも関わらず市場は同程度で推移しているが、これは試算において CO₂ 分離回収コストが 2040 年の約 2,000 円/tCO₂ から 2050 年で約 1,500 円/tCO₂ へ低減したことによる。CO₂ 分離回収費用が十分に低減した状態 (例えば、1,500 円/tCO₂) でも、NZE や APS シナリオでは、2040 年から 2050 年では、新規の CO₂ 回収量が数億トン/年と大規模であるため、数千億円規模の新たな市場が期待される。



1USD=120 円、1 元=19.7 円で計算

図 7 CO₂ 分離回収技術を提供するメーカーにとっての市場展望²⁵

本分野において、日本の企業が高い市場占有率を獲得し、産業競争力の強化と CO₂ 削減を同時に実現することが求められる。

²⁵ 市場は (分離回収コスト目標・予測 × WEO 2023 の STEPS、APS、NZE の各分離回収量) で試算。分離回収コストは日本、米国、中国のコスト目標・推定の平均。

(4)まとめ

2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、CO₂排出量の大幅な削減が必須であり、各国はロードマップにコスト目標を定めて共通技術となるCO₂分離回収技術の早期社会実装を推進している。新たな産業としてCO₂分離回収市場の拡大が期待されており、NZEシナリオでは2040年以降に年間7兆円規模の市場に到達することが見積られる。日本企業が高シェアを獲得して産業競争力を強化しつつ、世界全体のCO₂削減を同時に実現するためには、日本としてCO₂分離回収の技術開発と実装を早期に推進することが求められる。

2章では、その目的に向けた技術開発の推進に必要な方策、及び国の支援の在り方を検討する。

2章 解決・実現手段の候補

2-1 解決・実現のための課題

1章ではCO₂分離回収市場拡大の見通しや、各国のコスト目標が大きく低下していくロードマップについて示した。CO₂分離回収分野において、日本の産業競争力を発揮するためには、日本全体で連携してコスト低減に向けた技術課題を世界に先駆けて克服していくことが重要である。

(1)CO₂分離回収技術の特徴について

分離回収においては、対象となる排ガスの成分、CO₂濃度(分圧)に応じて、適した無機、有機の分離回収素材を選択し、それらが最適に機能する温度・圧力等の条件を追求する技術開発が実施されている。対象とする排ガスの多様性やCO₂濃度に対して、適用技術の概要として素材の技術レベル(TRL)の対応を図8にまとめる。



図8 各種CO₂分離回収素材の現状の適応CO₂濃度範囲と技術レベル(TRL)

出典: Carbon capture and storage (CCS): the way forward を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

素材に応じて有効なCO₂濃度などの排ガス条件の範囲が異なるのは、その素材が分離性能を発揮できる条件が大きく関係している。例えば分離膜は差圧が分離の駆動力として作用するため、比較的高いCO₂濃度(分圧)を持つ場合において有効な素材となる。また、アミン吸収液は温度・圧力条件を操作することで溶液中に選択的にCO₂を溶解させるため、広範囲なCO₂濃度が対象となることから回収対象を他の素材よりも選ばないという利点がある。

排ガス中の成分に着目してみると、例えば、天然ガス採掘時に行う随伴ガスからの CO₂ 分離では、主に CH₄ と CO₂ を対象に高分子膜による CO₂ 分離の開発が進む。また、近年ゼオライト等の無機膜の開発例もみられる。

また図 8 においては、一般的な排出源の CO₂ 濃度を相対的な指標として、それに応じた CO₂ 分離回収素材を示したが、本分野の技術開発では、CO₂ 分離回収方式の特徴に合わせて、素材とプロセスの一体的な取り組みが展開されている。以下では、その例を示す。石炭火力発電における CO₂ 分離回収技術の開発では、燃焼後、燃焼前、酸素燃焼といった燃焼プロセスの特性を考慮した 3 つの CO₂ 分離回収方式の検討が進められている。従来の燃焼方式をベースとする燃焼後の回収方式では、アミンや KOH といったアルカリ性溶液を用いた化学吸収法に加え、支持体にアミンを担持した固体吸収材による低濃度の CO₂ 分離回収技術の開発が進められている。他方で、燃焼前回収方式では、原燃料の石炭をガス化することで生成する CO₂ 濃度の高い可燃性ガスを対象に、その燃焼前に膜分離法や物理吸収法 (Selexol 等) で CO₂ を分離することが行われている。また、酸素燃焼方式では、ほぼ 100% の酸素雰囲気下で燃焼させることで、従来のような CO₂ 分離回収プロセスを後段に設置することが不要もしくは簡略化できるという特徴を持つ。このように、排ガス組成を固定した条件の下で最適な CO₂ 分離回収素材を模索するだけでなく、適切な分離回収素材とプロセスを組み合わせることで選定することが求められる。

(2) CO₂ 排出源の違いによる CO₂ 濃度及び回収費用の違い

主な CO₂ 排出源について、その処理前の CO₂ 濃度と回収費用を表 1 にまとめた。処理前の CO₂ 濃度を基に分類すると、濃度が低いと回収費用は高くなる。化学産業での製造プロセス(アンモニア、酸化エチレン等)など 96%以上の高濃度の CO₂ ガスでは回収費用は 15~35USD/tCO₂ と低い。この場合回収費用は主に不純物除去と輸送用の圧縮費用となる。一方で、CO₂ 濃度が 30~100%の水素製造では 15~60USD/tCO₂、セメントや鉄鋼製造時の排ガス、火力発電由来の化石燃料の燃焼後排ガスなど、CO₂ 濃度が 30%以下の低濃度の排出源では回収費用は 60~130USD/tCO₂ と更に高くなっている。これは一般的に CO₂ 濃度が低くなると CO₂ の濃縮の際に CO₂ 以外の成分も同様に処理するため、加熱などエネルギー投入が大きくなることによる。今後、低濃度な排出ガスに対し、これらに要するコスト削減が重要となる。

表 1 CO₂ 排出源ごとの処理前 CO₂ 濃度とその回収費用

CO ₂ 排出源	CO ₂ 濃度 [%]	回収費用 [USD/tCO ₂]
Coal to chemicals (gasification)	98-100	15-25
Ammonia	98-100, 99	25-35, 27
Bioethanol	98-100	25-35
Ethylene oxide	98-100	25-35
Natural gas processing	96-100, 99	15-25, 18
Ethanol	100	30
Hydrogen (SMR)	30-100	15-60
Cement	15-30, 22.4	60-120, 100-127
Iron and Steel	21-27, 23.2-26.4	60-100, 99-101
Coal-fired power plants	13.5	77

出典: 各種資料^{26, 27}を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2020)

²⁶ Putting CO₂ to Use(IEA, 2019) <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>

²⁷ Cost of Capturing CO₂ from Industrial Sources(DOE/NETL, 2014).

<https://www.netl.doe.gov/projects/files/CostofCapturingCO2fromIndustrialSources-011014.pdf>

ここで、石炭火力発電所の燃焼後排ガスを対象とする商用規模のアミン吸収法ユニットでの運転実績が報告されており、それらの分離回収に要する費用内訳の例を図 9 に示す。プラント設備等の固定費が 62～69%、素材、薬品等を含む変動費が 10～25%を占め、次に燃料費等の費用となっており、これらが大きな割合を占めていることがわかる。

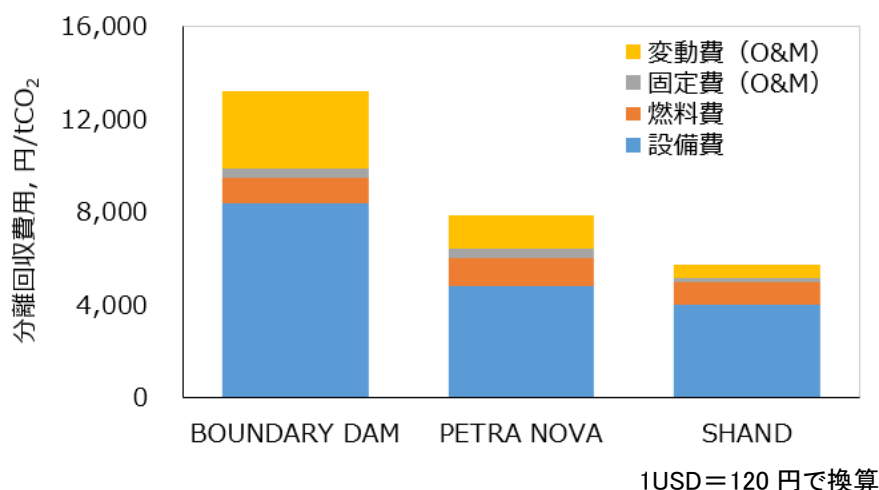


図 9 石炭火力発電所排ガスを対象とする商用規模での分離回収費用の内訳

出典: Global CCS Institute、Global status of CCS targeting climate change 2019 を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

すなわち、CO₂ 分離コストを低減し、競争力のある分離回収技術を他者に先駆けて確立するためには、固定費の大幅削減に向け、プロセス簡略化等に資する革新的な要素技術が必要である。また、燃料費は CO₂ 分離回収にかかる加熱用のエネルギー費用であり、これを削減するためには、分離エネルギーの低減が必要である。これらの低コスト化を実現する優れた分離素材の開発を行うことが重要である。図 8 に示したように、商業運転レベルのアミン吸収法の低コスト化のみならず、CO₂ 分離コスト低減を目指した様々な分離回収素材の研究がなされている。

2-2 国内外の研究開発動向

(1) 論文・特許分析

吸収法、吸着法、膜分離法を対象に、論文・特許分析を行った。本分野における論文数の分析結果を図 10 に示す。なお、論文検索における吸収法の分析結果には、図 8 に示すアミン吸収液、固体吸収材、非水系化合物、相分離、イオン液体など多種の素材が含まれている。

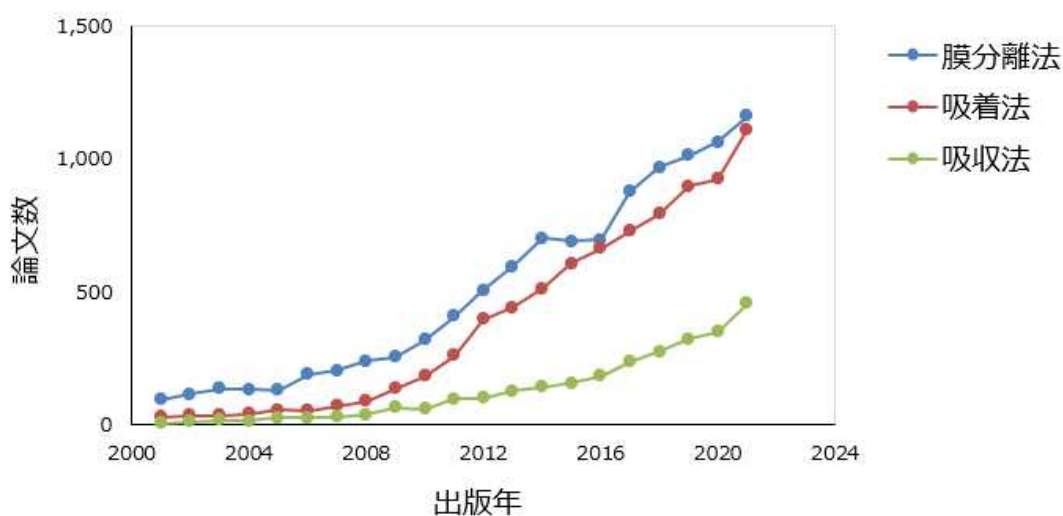


図 10 吸収法・吸着法・膜分離法の論文数の変化

出典: Web of Science™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

2000 年から 2021 年までの論文掲載数は、吸収法、吸着法、膜分離法いずれも増加しているが、膜分離法と吸着法の論文数は吸収法の論文数の 2 倍程度と多い。論文数の国・地域別での順位(表 2)をみると、いずれの方法も 1 位中国、2 位米国となっている。日本は吸収法で 3 位、膜分離法で 5 位、吸着法で 9 位に位置する。

表 2 論文掲載数における上位 20 位に位置する国・地域

吸収法				吸着法				膜分離法			
Rank	国/地域	論文数	割合	Rank	国/地域	論文数	割合	Rank	国/地域	論文数	割合
1	PEOPLES R CHINA	1,700	49.6%	1	PEOPLES R CHINA	4,327	45.3%	1	PEOPLES R CHINA	3,006	25.2%
2	USA	421	12.3%	2	USA	1,636	17.1%	2	USA	2,033	17.1%
3	JAPAN	157	4.6%	3	SOUTH KOREA	589	6.2%	3	IRAN	894	7.5%
4	INDIA	150	4.4%	4	INDIA	510	5.3%	4	SOUTH KOREA	735	6.2%
5	IRAN	144	4.2%	5	AUSTRALIA	407	4.3%	5	JAPAN	663	5.6%
6	SOUTH KOREA	144	4.2%	6	SPAIN	343	3.6%	6	GERMANY	646	5.4%
7	GERMANY	121	3.5%	7	ENGLAND	339	3.6%	7	MALAYSIA	623	5.2%
8	ENGLAND	107	3.1%	8	GERMANY	322	3.4%	8	AUSTRALIA	557	4.7%
9	SPAIN	105	3.1%	9	JAPAN	317	3.3%	9	SPAIN	494	4.1%
10	AUSTRALIA	104	3.0%	10	IRAN	291	3.0%	10	ITALY	446	3.7%
11	CANADA	94	2.7%	11	FRANCE	278	2.9%	11	SINGAPORE	378	3.2%
12	MALAYSIA	93	2.7%	12	SAUDI ARABIA	253	2.7%	12	INDIA	367	3.1%
13	SAUDI ARABIA	75	2.2%	13	CANADA	231	2.4%	13	NETHERLANDS	361	3.0%
14	ITALY	73	2.1%	14	NETHERLANDS	227	2.4%	14	CANADA	347	2.9%
15	FRANCE	64	1.9%	15	ITALY	191	2.0%	15	SAUDI ARABIA	340	2.9%
16	SWEDEN	55	1.6%	16	PORTUGAL	176	1.8%	16	FRANCE	327	2.7%
17	RUSSIA	54	1.6%	17	SINGAPORE	173	1.8%	17	ENGLAND	326	2.7%
18	NORWAY	51	1.5%	18	MALAYSIA	164	1.7%	18	RUSSIA	278	2.3%
19	TAIWAN	50	1.5%	19	BRAZIL	130	1.4%	19	NORWAY	242	2.0%
20	PAKISTAN	49	1.4%	20	SWEDEN	126	1.3%	20	TAIWAN	201	1.7%
-	吸収法 論文数	3,425	100.0%	-	吸着法 論文数	9,545	100.0%	-	膜分離法 論文数	11,907	100.0%

出典: Web of Science™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

特許分析について、出願先国・地域の動向を図 11(吸収法)、図 12(吸着法)、図 13(膜分離法)に、特許出願人別の動向を表 3(吸収法)、表 4(吸着法)、表 5(膜分離法)に示す。吸着法の特許は最近の増加数割合が大きいが、吸収法の特許数増加割合は小さくなってきている。膜分離法の特許数は、吸収法、吸着法の半分程度と少ないが増加傾向が続いている。国・地域別では、いずれの方式でも近年の中国の増加割合が多い。日本は米国と並んで中国に続く割合を維持しており、欧州、韓国がそれに次いでいる。

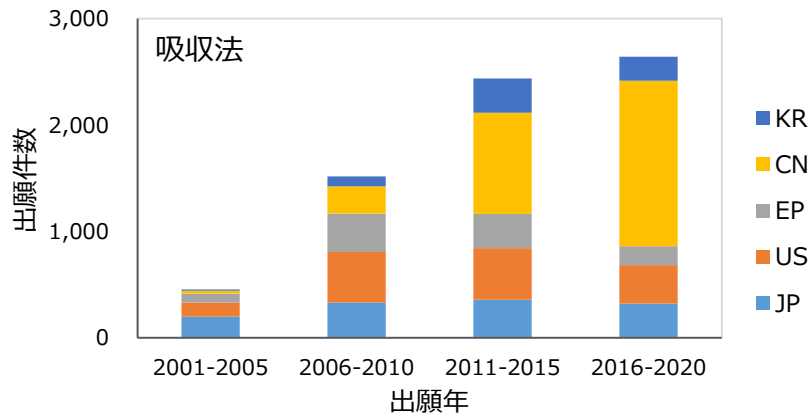


図 11 吸収法での特許分析(各国出願件数の推移)

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

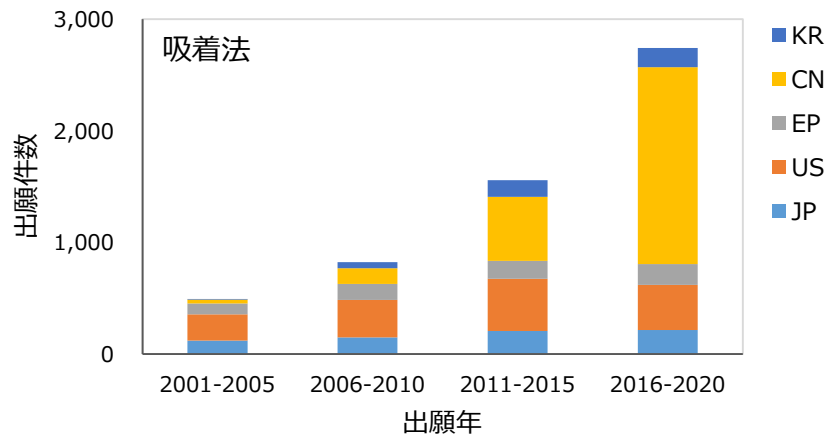


図 12 吸着法での特許分析結果(各国出願件数の推移)

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

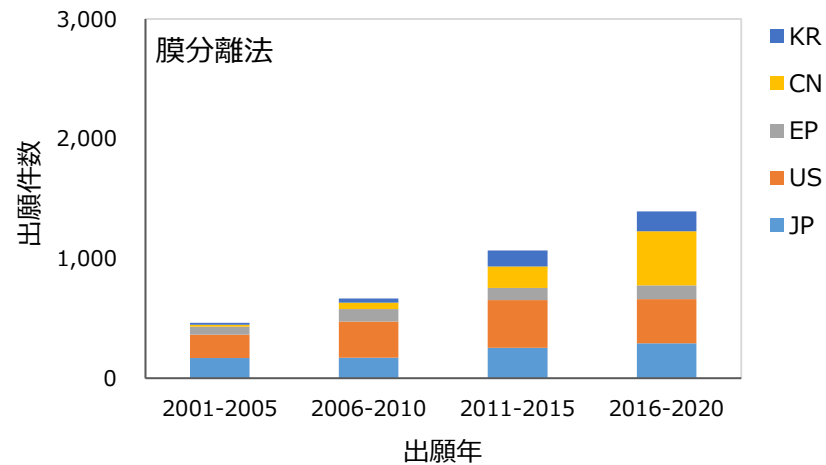


図 13 膜分離法での特許分析結果(各国出願件数の推移)

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

特許出願人別の出願件数の上位を出願人の業種別に表 3~5 に示す。吸収法(表 3)では、三菱重工、東芝が 1 位、2 位となっており、エンジニアリングメーカーの出願が活発である。一方、吸着法(表 4)では、クラレが 8 位、日立化成(現レゾナック)が 11 位、膜分離法(表 5)では、富士フィルムが 1 位、東レが 11 位と、素材・化学メーカーの出願が活発である。これは、吸収法はアミン吸収液による CO₂ 分離回収設備の商業化が進んでおり、その担い手であるエンジニアリングメーカーの出願が多く、一方、吸着法と膜分離法では素材・化学メーカーにおいて商業化に向けた材料開発が進んでいる段階であるためと考えられる。

表3 吸収法 特許出願人別出願件数上位ランキング

	Rank	出願人(出願年 2001年-2023年)	出願件数	業種			
				エネルギー	エンジニアリング	素材・化学	大学・研究所
吸収法	1	三菱重工	322		●		
	2	東芝	219		●		
	3	IFP Group	183				●
	4	ALSTOM TECHNOLOGY LTD	125		●		
	5	CHINA PETROLEUM & CHEM CORP	117	●			
	6	KOREA INST ENERGY RES	115				●
	7	KOREA ELECTRIC POWER CORP	98	●			
	8	SHELL INT RES MIJ BV	50				●
	9	関西電力	46	●			
	10	SIEMENS AG	44		●		
	11	GENERAL ELECTRIC CO	41		●		
	12	CHINA HUANENG GROUP CLEAN ENERGY TECHNO	77	●			
	13	東芝エネルギーシステムズ	39		●		
	14	SINOPEC NANJING CHEM RES INST CO LTD	29			●	
	15	UNIV TIANJIN/UTJ	27				●

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

表4 吸着法 特許出願人別出願件数上位ランキング

	Rank	出願人(出願年 2001年-2023年)	出願件数	業種			
				エネルギー	エンジニアリング	素材・化学	大学・研究所
吸着法	1	AIR LIQUIDE SA Group	182			●	
	2	EXXONMOBIL RES & ENG CO	104	●			
	3	AIR PROD & CHEM INC	74			●	
	4	PRAXAIR TECHNOLOGY INC	57			●	
	5	LINDE AG	45		●		
	6	CHINA PETROLEUM & CHEM CORP	38	●			
	7	KOREA INST ENERGY RES	35				●
	8	クラレ	30			●	
	9	UNIV HUAZHONG SCI & TECHNOLOGY	27				●
	10	CAS DALIAN CHEM & PHYSICAL INST	24			●	
	11	日立化成(現レゾナック)	37			●	
	12	UNIV TIANJIN	20				●
	13	UNIV KUNMING SCI & TECHNOLOGY	20				●
	14	XIAN THERMAL POWER RES INST CO LTD	21		●		
	15	UOP LLC	23			●	
	16	住友精化	22			●	

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

表5 膜分離法 特許出願人別出願件数上位ランキング

	Rank	出願人(出願年 2001年-2023年)	出願件数	業種			
				エネルギー	エンジニアリング	素材・化学	大学・研究所
膜分離法	1	富士フイルム	122			●	
	2	AIR LIQUIDE SA	100			●	
	3	UOP LLC	90			●	
	4	SAUDI ARABIAN OIL CO Group	59	●			
	5	UNIV TIANJIN	52				●
	6	GENERAL ELECTRIC CO	44		●		
	7	MEMBRANE TECHNOLOGY & RES INC	41		●		
	8	GEORGIA TECH RES CORP	34				
	9	UNIV TAIYUAN TECHNOLOGY	31				●
	10	SHELL Group	30	●			
	11	東レ	29			●	
	12	CHEVRON USA INC	26	●			
	13	CAS DALIAN CHEM & PHYSICAL INST	26			●	
	14	LIU C	23				●
	15	UNIV DALIAN TECHNOLOGY	23				●
	16	地球環境産業技術研究機構(RITE)	22				●
	17	日本ガイシ	20			●	

出典: Derwent World Patents Index™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

(2) 大規模 CO₂ 分離回収実証プロジェクトの動向

CO₂ 分離回収技術の導入について、50 万トン/年規模以上の CO₂ 回収能力を持つ大規模実証プロジェクトの実績を付録 1 にまとめた。天然ガス精製、石油精製、肥料製造といったプロセス由来の比較的 CO₂ 濃度が高い排ガスを対象に、多くの CO₂ 分離回収の実績が既に積み重ねられてきた。一方で、近年では低 CO₂ 濃度の排ガスを対象にした大規模なプロジェクトも実施されている。2014 年の Boundary Dam、2017 年の Petra Nova では石炭火力発電での燃焼後排ガスを対象にした CO₂ 分離回収設備を既存石炭火力発電設備に追加し、それぞれで約 100 万トン/年、約 140 万トン/年の回収能力を示している。これまでの実績を見ると、化学吸収法や物理吸収法を中心に実証試験が実施されており、分離素材と分離プロセスが一体となった研究開発が素材・化学系(ダウケミカル、BASF、UOP)、及びエンジニアリング系(三菱重工、Lurgi)、石油系又はエネルギーインフラ系(シェル、関西電力)の企業によって進められている。

(3) 国内の研究開発動向

国内で 2020 年時点に実施、または計画されている CO₂ 分離回収関連プロジェクトと商用運転の概要を付録 2 に、それらの研究フェーズと対象排ガスの CO₂ 濃度の関係を図 14 に、分離方式と CO₂ 濃度の関係を図 15 に示す。

対象排ガス別で見ると、商業運転や実証フェーズのものは CO₂ 濃度が高く、基礎、応用、実用研究では CO₂ 濃度が低いものも行われている。分離方式別に見ると、アミン系吸収液方式、固体吸収方式、膜分離方式など、分離方式の違いに依らず幅広い CO₂ 濃度を対象に研究が行われている。また、電界式などその他に分類される新方式の研究も行われている。

商業運転が行われているのはアミン系吸収液によるものである。実証試験としては、化学吸収液、物理吸収液、固体吸収、物理吸着の各種分離方式で検討が行われている。膜分離は高性能膜の研究が行われている。

分離回収能力の規模で見ると、苫小牧の『CCS 大規模実証試験(NEDO)』が、国内最大の 600tCO₂/日の回収能力を有しており、2019 年 11 月時点で 30 万トンの累積貯留量を達成した。次いで、『環境配慮型 CCS 実証事業(環境省)』では、2020 年に三川発電所での分離回収プラント(500トン/日規模)が建設された。

今後の CCS 事業の本格的な展開に向け、CCS での CO₂ 貯留地域についての調査・検討が進められ、2023 年に発電、石油精製、鉄鋼、化学、紙・パルプ、セメント等の幅広い事業分野が参画する、北海道から九州までの幅広いエリアの先進的 CCS 事業 7 案件が選定された²⁸。

²⁸ 経済産業省ニュースリリース(2023 年 6 月 13 日)
<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230613003/20230613003.html>

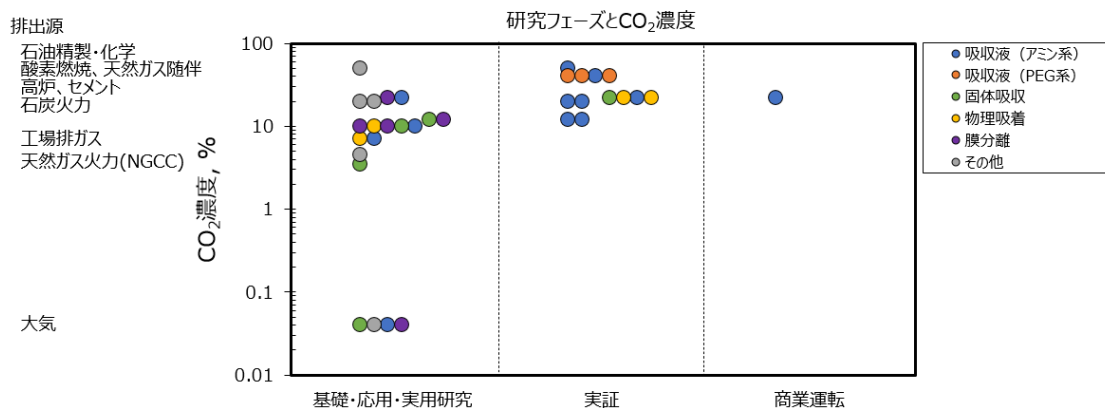


図 14 国内の CO₂ 分離回収関連プロジェクトの研究フェーズと排ガス CO₂ 濃度

出典: 成果報告書等を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

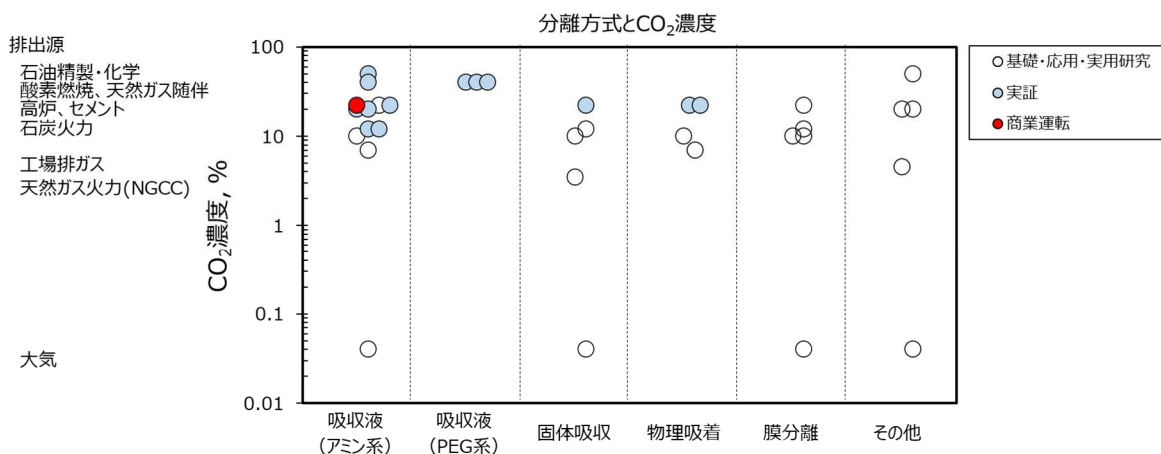


図 15 国内の CO₂ 分離回収関連プロジェクトの分離方式と排ガス CO₂ 濃度

出典: 成果報告書等を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

CO₂ 分離回収技術の適応事例を見ると、CO₂ 排出源、回収源、分離回収手法に関して多岐にわたる取り組みが実施されている。排出源から見ると、水素製造(石油精製)、石炭火力発電、バイオマス発電、鉄鋼(高炉ガス)由来の CO₂ に対する取り組みが大規模実証、又は商用化レベルで実施されている。セメントキルン排ガスを対象にした取り組みは、『環境配慮型 CCS 実証事業(環境省)』で既に開始されていることに加え、『炭素循環型セメント製造プロセス技術開発(NEDO)』においてパイロット実証規模での検討²⁹がなされている。鉄鋼の高炉ガスを対象とした COURSE50『環境調和型製鉄プロセス技術開発(NEDO)』では、既存の分離回収

²⁹ NEDO ニュースリリース(2020年6月18日) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101319.html

の技術の中でも先進的な取り組みを進め、従来のアミン水溶液と比較して大幅な省エネルギー化と共に 100°C以下の低温での回収を可能にした吸収液を公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)が開発した。この技術は日鉄エンジニアリングの『省エネ型 CO₂ 回収設備 ESCAP』に採用され、2014 年には室蘭製鉄所で 120トン/日、2018 年には住友共同電力(新居浜西火力発電所)での石炭火力発電所の排ガスからの 143トン/日の CO₂ 回収の商業設備に採用された。さらに、RITEは再生工程で顕熱、及び蒸発潜熱での消費エネルギーの大幅低減を可能にする固体吸収材(多孔質担体にアミンを担持)を開発し、川崎重工と 2020 年から NEDO で実証を行っている³⁰。60°Cの低温で回収が可能であり、川崎重工業が開発した KCC 移動層システムにて 5.5トン/日の回収実績をベンチ試験で確認し、40トン/日のパイロット試験を行っている。石炭ガス化複合発電(IGCC)において排ガスを事前処理する燃焼前回収が 2016 年に大崎クールジェンプロジェクトにて着手された。次世代の石炭火力発電の分離回収技術として、吸収液等の素材を介した CO₂ の分離回収が不要となる CO₂ 分離回収方式(クローズド IGCC)を備えた石炭火力発電のシステムの開発が行われている。

海外操業プロジェクトへの国内企業の開発技術の採用実績については、三菱重工エンジニアリングによる前述の Petra Nova プロジェクトでの石炭火力発電への実績が海外でも認知されている。それに加え、同社は 2020 年には英国の大手発電会社 Drax のバイオマス発電において CO₂ 分離回収実証(300kg/日)を手掛けることを発表³¹、2021 年には長期ライセンス契約を締結し、世界最大量となる 800 万トン/年以上の CO₂ 排出量を削減する商用規模での設備稼働を 2027 年に予定している³²。さらに、2022 年にはスコットランド・アバディーンシャーのガスタービン・コンバインドサイクル(GTCC)発電設備と CO₂ 回収プラントに関する基本設計を受注し、150 万トン/年の CO₂ 回収規模で北海沖合における CCS を目指すことを発表している³³。同社はこれまでも水蒸気改質由来の排ガスを中心に、1999 年以降、既に 10 機以上の商業実績がある³⁴。日豪官民共同プロジェクトである『カライド酸素燃焼プロジェクト』では IHI、電源開発等の企業が参画し、酸素燃焼方式の CO₂ 分離回収方式の実証(70tCO₂/日の回収能力)を 2012 年から 2015 年の間に実施した³⁵。また IHI は自社開発した化学吸収液(ISOL-162)を用い、豪州の PICA(Post

³⁰ NEDO ニュースリリース(2020 年 7 月 13 日)https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101330.html

³¹ 三菱重工エンジニアリング株式会社 ニュースリリース(2020 年 6 月 24 日)
<https://www.mhi.com/jp/news/story/200624.html>

³² 三菱重工エンジニアリング株式会社 ニュースリリース(2021 年 6 月 10 日)
<https://www.mhi.com/jp/news/210610.html>

³³ 三菱重工 Press information(2022 年 8 月 30 日) <https://www.mhi.com/jp/news/22083001.html>

³⁴ 三菱重工技報. Vol.55 No.1 (2018) <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/551/551042.pdf>

³⁵ IHI ニュースリリース(2012 年 12 月 17 日)

https://www.ihico.jp/all_news/2012/resources_energy_environment/1190178_1706.html

combustion carbon capture、IHI、CSIRO、AGL LY)プロジェクト(2015～2017 年)³⁶において、石炭火力発電所の排ガスを用いた吸収液の長時間試験(5,000 時間)による酸化劣化/熱劣化評価試験を実施しており、回収性能の目標を達成し、長期運用に向けた排ガス性状の変動に対するロバスト性を示している³⁷。

これらの分離回収プロセスの研究開発の特徴は、前述の世界の既存の実例とも共通して素材と分離プロセスの開発を一体で行なっていることであり、国内実証の例では素材・化学(ダウケミカル、BASF、RITE)、及びエンジニアリング(三菱重工、川崎重工、日揮、日鉄エンジニアリング、東芝エネルギーシステムズ)、エネルギーインフラ(関西電力)系の企業の参画がみてとれる。

³⁶ 環境省 石炭火力発電輸出への公的支援に関する有識者ファクト検討会(2020 年 4 月 21 日)資料 3-1 IHI 提出資料 https://www.env.go.jp/earth/post_72.html

³⁷ IHI 技報 Vol.59 No.2(2019)

https://www.ihico.jp/technology/techinfo/contents_no/_icsFiles/afieldfile/2023/06/17/180c858965d0c1080c5da8101512714b.pdf

2-3 国内外の社会実装の早期実現に向けた動向

本分野での研究開発の取り組みが我が国を含め世界で活発な状況にあるが、過去の開発実績からこれらの研究開発期間を振り返ると、素材開発の研究から始まり、実用スケールに至るには少なくとも10年の研究開発期間(図16)及びその先の社会実装まで辿り着くには更に5~10年の長期間を要してきた。

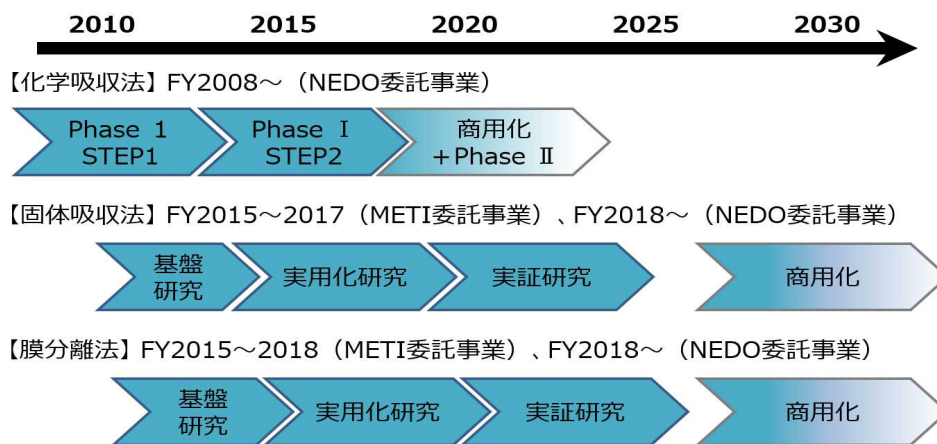


図16 過去の研究開発事例における商用化までのタイムスケールイメージ

昨今のカーボンニュートラル実現への機運の高まりを受け、海外では CO₂ 分離回収技術の研究開発サイクルの加速に向けた取り組みが進められている。

代表的な取り組みとして、表 6 にまとめるように、実ガス評価が可能な規模のテストセンターの整備が進んでいる。現在、米国、カナダ、ノルウェー、英国、豪州、中国が石炭燃焼後排ガスを CO₂ 源とした実ガス利用可能な TPD(トン/日)級の評価設備を保有しており、実燃焼排ガスを分岐し、持ち込まれた素材、もしくはシステムをレトロフィットさせ、複数技術を同時に試験できるような環境を整備している。早い段階で整備が進められた米国 National Carbon Capture Center(NCCC)では DOE の支援を受け、2009 年の設立以降 70 以上の技術に対し、延べ 123,000 時間以上の試験実績を誇り、継続的な評価が実施されている³⁸。

表 6 世界の代表的なテストセンターの設備概要の比較

国	米国		カナダ		ノルウェー	英国	豪州	中国
施設	National Carbon Capture Center ^{1,2}	Wyoming Intergrated Test Center ³	Shand Carbon Capture Test Facility ^{4,4}	CMC Research Institutes ⁸	Technology Centre Mongstad ^{1,5}	UKCCSRC PACT ⁶	PCC @CSIRO ⁹	Haifeng Carbon Capture Center ⁷
設立年	2009	2018	2015	2018	2012	2012	2005	2018
排出源	石炭燃焼後排ガス	石炭燃焼後排ガス	石炭燃焼後排ガス	天然ガス火力 CO ₂ (to 25%) with impurities	天然ガス火力、石油精製	石炭燃焼後排ガス (天然ガス等の各種排出源に接続可能)	石炭燃焼後排ガス	石炭燃焼後排ガス
回収能力 tCO ₂ /day	< 20 t/day	— (20 MW)	< 120 t/day	< 1 t/day	~250 t/day (12MW)	1 t/day (~150kW)	2~12 t/day	10~50 t/day

以下の情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成

¹RITE 革新的環境技術シンポジウム2014 : <http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/nakao-ppt-kakushin2014.pdf>

²NETL (Agreement Number : FE0022596) : <https://netl.doe.gov/project-information?p=FE0022596>

³Wyoming Intergrated Test Center : <https://www.wyomingitc.org/>

⁴Shand Carbon Capture Test Facility : <https://www.saskpower.com/Our-Power-Future/Infrastructure-Projects/Carbon-Capture-and-Storage/Shand-Carbon-Capture-Test-Facility>

⁵Technology Centre Mongstad : <https://tcmda.com/>

⁶UKCCSRC PACT : <https://pact.group.shef.ac.uk/facilities/>

⁷Global CCS Insitute. The Global Status of CCS 2018

⁸CMC Research Institutes <https://cmcgch.com/ccci/facilities/>

⁹Cottrell et al. (2009) Post-combustion capture R&D and pilot plant operation in Australia <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.133>

³⁸ NCCC Topical Report <https://www.nationalcarboncapturecenter.com/wp-content/uploads/2022/08/NCCC-BP6-Report-DE-FE0022596.pdf>

米国 DOE NETL における Carbon Capture Research and Development Program での取り組みとして、ラボスケールからパイロットスケールへスケールアップさせる「ダウンセクションプロセス」(図 17)が採用されていることを特徴とする仕組みがある。システム化に向け、各種素材の選択肢を素材開発が中心となる領域からエンジニアリングが中心となる領域へと段階的にスクリーニングすることで研究効率を高め、商業化検討時のリスクを最小限に抑えている。

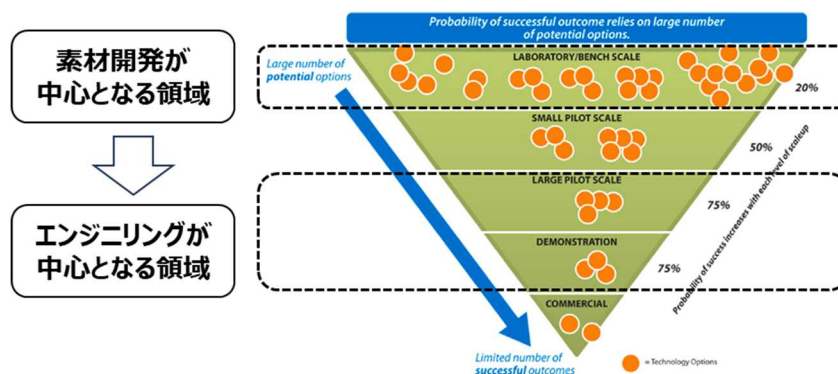


図 17 商用化検討時のリスクを抑えるダウンセクションプロセスについて(概念図)

出典: U.S. DOE/NETL large pilot-scale testing of advanced carbon capture (Brickett, et al., 2020)
(黒線囲みは NEDO 技術戦略研究センター加筆)

EU では、LAUNCH³⁹(実施期間:2019~2022 年)に約 6 億円の資金が拠出され、ドイツ、ノルウェー、オランダ、英国、米国が参画するコファンドプロジェクトに着手している。CO₂回収素材に対し、ラボスケール(25kg/日)での評価後、ドイツ、オランダ、英国、米国の試験施設(TPD)で実ガスによるラウンドロビンテストを実施し、各素材の性能評価と経済性評価手法を整備する取り組みを実施している。

³⁹ LAUNCH <https://launchccus.eu/>

2-4 早期に社会実装を実現するための技術開発の方向性

CO₂ 分離回収技術の分野を俯瞰し、社会実装に向けて加速するための技術開発や国の支援の在り方について検討する。

今後成長が期待される本分野において、早期に社会実装を実現するための技術開発の方向性に関し、各技術開発プレイヤーに、ヒアリングを行い、技術開発を効率的に進めるにあたっての課題認識を表 7 に整理した。

表 7 技術開発プレイヤーの課題認識

技術開発体制の 課題認識	全体	<ul style="list-style-type: none"> ・素材とプロセスの一体となった開発を行っているが、これらのノウハウは秘匿性が高く、多様なプレイヤーとの共同開発は競争、非競争領域の扱いが難しい。 ・素材開発側の参入障壁が革新技術の選択肢を狭め、日本のサプライチェーンにおけるすそ野が広がらない。
	エンジニアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・新素材技術の活用へのモチベーションは高いが、素材開発者から新規素材のデータが示されても、開発機関ごとの独自評価法となっており、実ガス評価結果も示されないため、自社素材との比較ができない。
	素材開発	<ul style="list-style-type: none"> ・非連続のイノベーションが期待される要素技術開発は、有機化学分野、材料科学分野と学問・産業領域が広く、学・国研・素材（化学）メーカーがそれらを担うが、実環境を想定した試験（実ガス利用や熱収支試験）は設備を所有しておらず、実施できない。 ・CO₂ 分離回収技術開発を行うエンジニアリング開発から標準的評価法は秘匿情報として開示されない。

現状では、素材とプロセスが一体となった開発が行われている中、エンジニアリング開発者にとっては、新たな素材開発者からの新規素材の提案に対し、評価法が異なることから既存の素材との比較ができず、新素材の活用が進みにくい課題が示された。また、素材開発者にとっては、実ガス利用や熱収支試験などの性能評価設備を所有しておらず、標準的な評価法も開示されていないため、適切な評価ができず参入しづらい課題が示された。

ここで、CO₂分離回収の既存の技術開発から実用化までの全体像を図 18 に示す。コンセプト立案段階となる素材・要素技術開発では、基本性能評価を繰り返すことにより、素材のスクリーニング、組成の最適化を行う。選定された基本性能に優れる素材は、劣化や寿命、不純物の影響などのラボ、ベンチスケールでの検証が行われ、必要に応じて素材・要素技術開発での改善が検討される。検証試験で期待の性能を満足した素材はパイロットスケールでの実証試験を行い、実ガスでの性能評価、ヒートバランスや物質収支など、実証機で性能が評価される。実証試験の結果、期待通りの性能とならない場合は、素材・要素技術開発にその情報をフィードバックして改善することが理想であるが、通常実証試験の実施には多大な時間を要することから、素材・要素技術開発から検証試験までの工程をいかに効率的、効果的に実施し、最初から優れた素材を選定して実証試験を行うことが研究加速には重要となる。しかしながら、現状では、素材開発側とエンジニアリング側で評価法が揃っていないため、幅広い素材の中から、優れた素材を効率的、効果的に選定することが難しい。

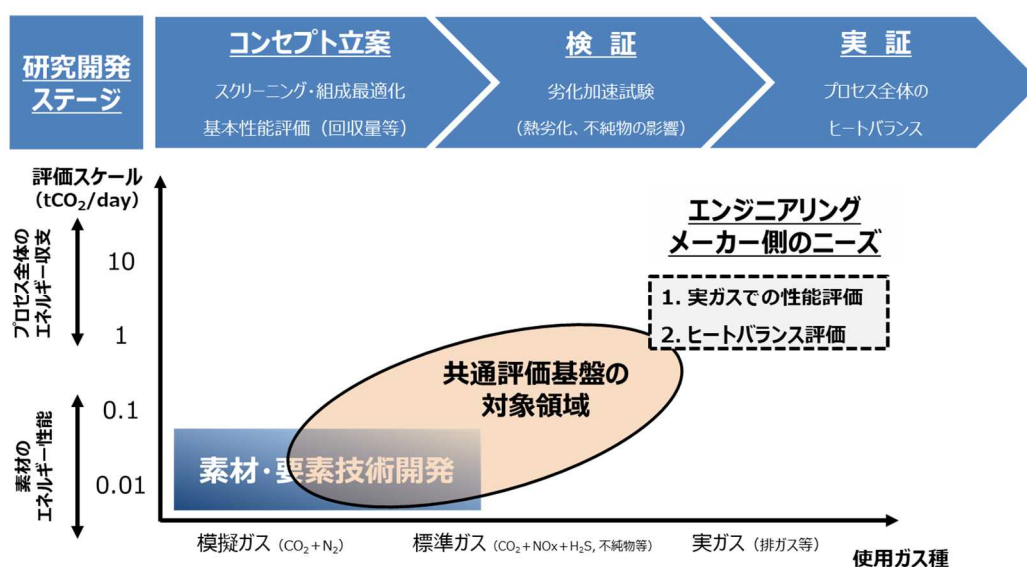


図 18 CO₂分離回収の既存の技術開発から実用化までの全体像(概念図)

表 7 にまとめた課題解消に向けた技術開発加速の方向性としては、素材開発側のスクリーニングや CO₂分離回収性能を検証する標準の性能評価条件の策定、共通設備による評価・解析体制などの共通評価基盤の構築が有効である。共通評価基盤により、CO₂分離回収費用の低減に向け、素材の優れた性能を発揮する使用条件や課題を明確にし、素材開発側、エンジニアリング側それぞれでの対応の可能性を示し、両者の協調を促進することで、素材開発からプロセス化への研究開発サイクルを迅速化することが、本分野の産業競争力強化のために重要である。

3章 おわりに

本レポートでは、2050年のカーボンニュートラルの達成に向け、CO₂削減に資するカーボンリサイクル分野の中でCO₂供給の要となる共通技術であり、世界でも技術競争が激化するCO₂分離回収分野に関して、社会実装を早期に実現し、日本の企業の産業競争力を強化するための技術開発の方向性を検討した。

IEA World Energy Outlook 2023のNet Zero Emission(NZE)シナリオに示される世界のCO₂分離回収量と日米中の分離回収コスト目標から推算されるCO₂分離回収市場は、2040年以降に7兆円規模に達すると見積られる。カーボンニュートラル実現に向けて拡大する市場において、日本の企業が産業競争力を維持するためには、CO₂分離回収コストの低減に係る課題を世界に先駆けて克服していくことが重要である。そのためには、設備費や分離エネルギーを低減する、低コストで優れた分離素材の開発を行い、エンジニアリングに結び付けていくことが重要となる。

CO₂分離回収技術は、対象の排出ガスの組成や圧力などの異なる特徴に合わせ、アミン吸収液、分離膜、固体吸収材などの様々な分離素材から適切な素材を選定し適応して行く研究開発が必要である。CO₂濃度が低濃度になると、同時に処理するCO₂以外の成分に対するエネルギー消費が大きくなるため、CO₂回収コストが高くなるのが一般的であり、今後、低濃度な排出ガスに対するコスト削減が重要となる。

また、既存の開発事例を振り返ると、CO₂分離回収技術の社会実装に至る研究開発期間は素材開発から実用スケールに至るのに少なくとも10年、その先の社会実装までには更に5~10年の長期間を要していた。現状、素材・エンジニアリング分野双方の開発プレイヤーにとっては素材開発以降のプロセス化における研究開発プロセスを加速することが重要である。

2050年のカーボンニュートラル達成に向け、CO₂分離回収技術の研究開発加速の方向性の一つとして、素材開発側のスクリーニングやCO₂分離回収性能を検証する標準の性能評価条件の策定、共通設備による評価・解析体制などの共通評価基盤の構築が有効である。共通評価基盤により、素材の優れた性能を発揮する使用条件や課題を明確にし、素材開発側とエンジニアリング側の双方でCO₂分離回収費用の低減に向けた研究開発を協調して行うことで、素材開発からプロセス化への研究開発サイクルを迅速化することが、本分野の産業競争力強化のために重要である。

付録1 50万tCO₂/年規模以上の操業中CCUSプロジェクトの施設概要とCO₂分離回収手法

プロジェクト(操業中)	実施国	操業年	CO ₂ 排出分野	回収能力 (百万t/年)	CO ₂ 回収源	CO ₂ 固定形態	CO ₂ 濃度	硫黄分	分離方法	分離素材	分離回収 プロセス	分離プロセス開発
ENID FERTILISER	USA	1982	肥料製造	0.7	産業プロセス分離	EOR	高	微量	化学吸収法	炭酸カリウム	Benefield	ハネウェル
Labarge SHUTE CREEK GAS PROCESSING PLANT	USA	1986	天然ガス精製	3.5	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	DEPG	Selexol	ダウケミカル
SLEIPNER STORAGE	NOR	1996	天然ガス精製	1	産業プロセス分離	地中貯留	高	微量	化学吸収法	アミン	MDEA	ダウケミカル・BASF
GREAT PLAINS SYNFUELS PLANT WEYBURN-MIDALE	USA	2000	合成メタン製造	3	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	メタノール	Rectisol	Lurgi/Linde
SNØHVIT CO ₂ CAPTURE AND STORAGE	NOR	2008	天然ガス精製	0.7	産業プロセス分離	地中貯留	高	微量	化学吸収法	アミン	OASE	BASF
CENTURY PLANT	USA	2010	天然ガス精製	4.32	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	DEPG	Selexol	ダウケミカル
LABARGE SHUTE CREEK GAS PROCESSING PLANT EXPANSION	USA	2010	天然ガス精製	3.5	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	DEPG	Selexol	ダウケミカル
PETROBRAS SANTOS BASIN PRE-SALT OIL FIELD CCS	BRA	2013	天然ガス精製	3	産業プロセス分離	EOR	高	微量	その他分離法	高分子膜	Separex	UOP
COFFEYVILLE FERTILISER PLANT	USA	2013	肥料製造	0.7	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	DEPG	Selexol	ダウケミカル
LOST CABIN GAS PLANT	USA	2013	天然ガス精製	0.9	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	DEPG	Selexol	ダウケミカル
VALERO PORT ARTHUR REFINERY	USA	2013	石油精製	0.9	産業プロセス分離	EOR	-	-	-	-	-	-
BOUNDARY DAM CCS	CAN	2014	火力発電	1	燃焼後分離回収	EOR	低	SO ₂	化学吸収法	アミン	Cansolv	シェル
QUEST	CAN	2015	水素製造 (石油精製)	1	産業プロセス分離	地中貯留	高	微量	化学吸収法	アミン	Adip-X	シェル
UTHMANIYAH co ₂ -EOR DEMONSTRATION	SAU	2015	天然ガス精製	0.8	産業プロセス分離	EOR	高	微量	化学吸収法	アミン	Amine	-
ABU DHABI CCS (PHASE 1: EMIRATES STEEL INDUSTRIES)	UAE	2016	鉄鋼製造	0.8	産業プロセス分離	EOR	低	微量	化学吸収法	アミン	Amine	-
ILLINOIS INDUSTRIAL CARBON CAPTURE AND STORAGE	USA	2017	エタノール製造	0.5	産業プロセス分離	地中貯留	-	微量	その他分離法	-	-	-
PETRA NOVA CARBON CAPTURE	USA	2017	火力発電	1.4	燃焼後分離回収	EOR	低	SO ₂	化学吸収法	アミン	KM-CDR	三菱重工/関西電力
GORGON CCS	AUS	2019	天然ガス精製	3.4	産業プロセス分離	地中貯留	高	微量	化学吸収法	アミン	OASE	BASF
QATAR LNG	QAT	2019	天然ガス精製	2.1	産業プロセス分離	地中貯留	高	-	-	-	-	-
NWR CO ₂ RECOVERY UNIT	CAN	2020	オイルサンド精製	1.3	産業プロセス分離	EOR	高	H ₂ S	物理吸収法	メタノール	Rectisol	Lurgi
SINOPEC QILU PETROCHEMICAL SHENGLI	CHN	2022	石炭ガス化	0.7	産業プロセス分離	EOR	-	-	物理吸収法	-	-	-

EOR: Enhanced Oil Recovery、高圧: >0.1MPa、DEPG: Dimethyl Ethers of Polyethylene Glycol

出典: CCUS Projects Database (IEA、2023)、化学工学 第 79 巻 第 11 号(2015)「CCS 及び CO₂ 有効利用プロジェクトの最新動向及び今後の展開」を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

付録2 国内のCO₂分離回収プロジェクトと商業運転の概要

プロジェクト名	期間	研究フェーズ	CO ₂ 排出分野	CO ₂ 濃度 /%	回収能力 (t/d)	回収ポイント	方式	分離回収プロセス	分離プロセス開発
大崎クールジェンプロジェクト	2012-2015	実証	火力発電 (IGCC)	40	—	燃焼前	吸収液 (PEG系)	—	大崎クールジェン
低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発	2004-2008	実証	鉄鋼	12	—	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	RITE
二酸化炭素回収技術高度化事業	2010-2014	基礎・応用・実用研究	—	12	—	—	固体吸収	—	RITE
二酸化炭素分離膜モジュール研究 開発事業	2011-2014	基礎・応用・実用研究	—	12	—	—	膜分離	—	RITE
CCS研究開発・実証関連事業	2009-	実証	水素製造 (石油精製)	50	600	—	吸収液 (アミン系)	OASE	日揮/BASF
CCS研究開発・実証関連事業 ← 二酸化炭素回収技術実用化研究事業 (先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業)	2015-	実証	石炭火力発電	22	40	燃焼後	固体吸収	KCC	川崎重工/RITE
CCS研究開発・実証関連事業 ← 二酸化炭素回収技術実用化研究事業 (二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業)	2015-	基礎・応用・実用研究	—	22	—	燃焼前	膜分離	—	RITE
大崎クールジェンプロジェクト	2016-	実証	石炭火力発電	40	400	燃焼前	吸収液 (PEG系)	SeparaALL	ダウケミカル
多目的石炭ガス製造技術開発プロジェクト (EAGLE : Coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity)	1998-2009	実証	火力発電 (IGCC)	40	24	燃焼前	吸収液 (アミン系)	—	J-Power, MHPS
革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト	2010-2014	実証	火力発電 (IGCC)	40	—	燃焼前	吸収液 (PEG系)	—	J-Power, MHPS
環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE50 Phase1 Step1)	2008-2012	実証	鉄鋼	22	30	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	RITE
環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE50 Phase1 Step1)	2008-2012	実証	鉄鋼	22	3	燃焼後	物理吸着	—	RITE
環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト (COURSE50 Phase1 Step2, 2013~2017年度)	2013-2017	実証	鉄鋼	22	—	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	—
環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト (COURSE50 Phase1 Step2, 2013~2017年度)	2013-2017	実証	鉄鋼	22	4	燃焼後	物理吸着	—	—
環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト (COURSE50 Phase1 Step2, 2013~2017年度)	2013-2017	基礎・応用・実用研究	—	20	—	—	その他	—	RITE
環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト (COURSE50 Phase1 Step2, 2013~2017年度)	2013-2017	基礎・応用・実用研究	—	20	0.005	—	その他	—	RITE
次世代火力発電等技術開発/次世代火力発電基盤技術開発 (5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発	2014-	基礎・応用・実用研究	—	50	—	—	その他	—	J-COAL
環境配慮型CCS実証事業 (藤原工場)	2018-2020	実証	セメント	20	0.02	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	(太平洋セメント)
環境配慮型CCS実証事業 (三川発電所)	2018-	実証	バイオマス発電	12	500	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	東芝エネルギーシステムズ株式会社
炭素循環型セメント製造プロセス技術開発 (藤原工場)	2020-	実証	セメント (キルン排ガス)	20	10	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	太平洋セメント
二酸化炭素回収機能付き廃棄物発電検討事業 (佐賀市)	2016-	実証	ごみ焼却施設	—	10	燃焼後	—	—	—
二酸化炭素の回収・資源化による炭素循環モデル構築実証事業 (小田原市)	2022-	実証	ごみ焼却施設	—	—	燃焼後	物理吸着	—	日立造船
二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業 (久慈市)	2022-	実証	ごみ焼却施設	—	0.01	燃焼後	吸着液	—	積水化学工業・東芝
NEDO先導研究プログラム (革新的CO ₂ 分離膜による省エネルギー-CO ₂ 分離回収技術の研究開発)	2020-	基礎・応用・実用研究	—	10	—	燃焼後	膜分離	—	九州大学・東ソー株式会社
NEDO先導研究プログラム (吸着式CO ₂ 分離回収におけるLNG未利用冷熱の活用)	2020-	基礎・応用・実用研究	—	7	—	—	物理吸着	—	名古屋大学・東邦瓦斯株式会社
NEDO先導研究プログラム (未利用冷熱による燃焼ガス中CO ₂ の回収技術の開発)	2020-	基礎・応用・実用研究	—	7	—	燃焼後	吸収液 (アミン系)	—	名古屋大学・東邦瓦斯株式会社
ムーンショット型研究開発事業 (大気中からの高効率CO ₂ 分離回収・炭素循環技術の開発)	2020-	基礎・応用・実用研究	DAC	0.04	—	DAC	DAC	—	金沢大学・RITE
ムーンショット型研究開発事業 (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)	2020-	基礎・応用・実用研究	DAC	0.04	—	DAC	—	—	東大・清水建設・大阪大・宇部興産・古河電気工業・理化学研究所・千代田化工
ムーンショット型研究開発事業 (冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発)	2020-	基礎・応用・実用研究	DAC	0.04	—	DAC	DAC	—	名古屋大学・東邦瓦斯・東京理科大
ムーンショット型研究開発事業 (“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)	2020-	基礎・応用・実用研究	DAC	0.04	—	DAC	DAC	—	九州大学・熊本大学・北海道大学
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (天然ガス燃焼排ガスからの低コスト CO ₂ 分離・回収プロセス商用化の実現)	2022-2030	基礎・応用・実用研究	天然ガス火力発電	3~4	—	燃焼後	固体吸収	—	千代田化工建設・JERA・RITE
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (工場排ガス等からの中小規模 CO ₂ 分離回収技術開発・実証)	2022-2030	基礎・応用・実用研究	溶解炉希釈排ガス・自家発電	4~5	—	燃焼後	電界式	—	デンソー
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (革新的分離剤による低濃度 CO ₂ 分離システムの開発)	2022-2030	基礎・応用・実用研究	製鉄ガス・石化ガス	~10	—	燃焼後	物理吸着	—	レゾナック(昭和電工)・日本製鉄
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (分離膜を用いた工場排ガス等からの CO ₂ 分離回収システムの開発)	2022-2030	基礎・応用・実用研究	工場燃焼排ガス	~10	—	燃焼後	膜分離	—	住友化学・OOYOO
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (Na-Fe 系酸化物による革新的 CO ₂ 分離回収技術の開発)	2022-2026	基礎・応用・実用研究	中・小規模工場燃焼排ガス	~10	—	燃焼後	固体吸収	—	エア・ウォーター : 戸田工業・埼大
グリーンイノベーション基金事業「CO ₂ の分離回収等技術開発プロジェクト」 (LNG 未利用冷熱を活用した CO ₂ 分離回収技術開発・実証)	2022-2030	基礎・応用・実用研究	中小規模工場燃焼排ガス	~10	—	燃焼後	吸収液(冷熱利用)	Cryo-Capture	東邦瓦斯・名古屋大
新居浜西火力発電所	2018-	商業運転	石炭火力発電	—	143	燃焼後	吸収液 (アミン系)	ESCAP	日鉄エンジニアリング/RITE
日本液炭株式会社	2017-	商業運転	加熱炉	—	283	—	吸収液 (アミン系)	KM CDR Process	三菱重工エンジニアリング/関西電力
室蘭製鉄所	2014-	商業運転	鉄鋼 (高炉ガス)	22	120	燃焼後	吸収液 (アミン系)	ESCAP	日鉄エンジニアリング/RITE

出典:各プロジェクト資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.118

カーボンリサイクル分野（CO₂分離回収技術）の技術戦略策定に向けて

2024年2月20日発行

TSC Foresight Vol.118 カーボンリサイクル分野（CO₂分離回収技術） 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■センター次長 植木 健司

■環境・化学ユニット

- ・ユニット長 中村 勉
土肥 英幸 (2022年3月まで)
- ・研究員 寒川 泰紀
柳田 泰宏 (2021年3月まで)
坂本 友樹 (2023年3月まで)
林 直之 (2020年9月まで)
- ・フェロー 指宿 堯嗣 一般社団法人産業環境管理協会顧問
島田 広道 国立研究開発法人産業技術総合研究所フェロー (2021年3月まで)
府川 伊三郎 株式会社旭リサーチセンターシニアリサーチャー (2021年3月まで)
室井 高城 アイシーラボ代表

●本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。