

川崎重工業の CO₂ 分離回収技術の開発および事業化

川崎重工業株式会社 技術開発本部 テクノロジーイノベーションセンター 事業化推進部

基幹職（CN・CO₂回収事業開発プロジェクトマネージャー） 奥村 雄志 博士（工学）

1. 緒言

地球温暖化は、産業革命以降の人間活動による温室効果ガスの増加が大きな原因となっている。その影響には、異常気象の増加、海面上昇、生態系の破壊が含まれる。

温暖化の主な原因とされる二酸化炭素（CO₂）の排出削減には火力発電所や産業用プラント等から排出される CO₂ の回収・貯留・利用（Carbon capture utilization and storage : CCUS）は必要不可欠である。特に、燃焼後排ガス回収技術（Post-combustion capture : PCC）は、既設の設備を改修することなく、排ガス出口に CO₂ 回収設備を追加で設置できるため、現在稼働中のプラントに対して有効な脱炭素手法と言える。一方、大気中から CO₂ を直接回収するネガティブエミッション技術の一つである直接空気回収技術（Direct air capture : DAC）も近年注目を集めている。

当社は PCC と DAC の両方をターゲットとして開発を進めており、固体吸収剤を用いた CO₂ 回収技術（Kawasaki CO₂ Capture : KCC）の開発を行っている[1-2]。本稿では KCC の概要と実用化に向けた取り組みについて紹介する。

2. Kawasaki CO₂ Capture の概要

川崎重工業は 1980 年代から宇宙船内やオフィスビル等の閉鎖空間からの CO₂ 除去を目的として開発を開始し、2000 年代からは地球温暖化対策として PCC に適用し、2019 年からは DAC の開発も開始した。

KCC システムでは多孔質基材にアミンを担持した固体吸収剤を用いて CO₂ を分離回収する。アミンは細孔内部に保持されており、CO₂ を選択的に吸収し、99%以上の高い純度で CO₂ を回収でき

る。KCC は 60°C 程度の低温排熱を用いた運転が可能なのが特徴である。KCC の特徴を図 1 に示す。

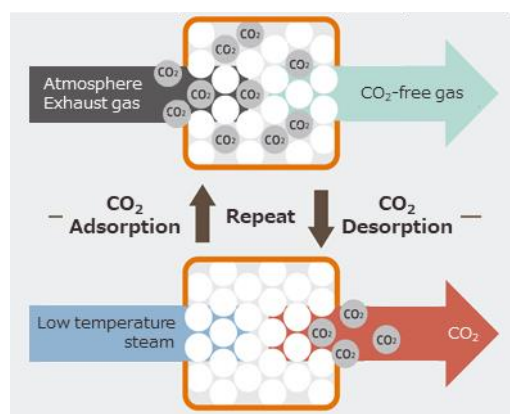


図 1 KCC プロセスの概要

固体吸収剤を用いた CO₂ 分離回収は吸収工程と脱離工程に分けられます。吸収工程では CO₂ 含有ガスを通気させて CO₂ を吸収し、脱離工程では低温蒸気を供給して CO₂ を回収します。KCC システムで利用する低温蒸気は 100°C 以下の排熱から生成できるため、排熱を利用することで省エネルギーのシステムを構築できます。

3. 燃焼後排ガス回収技術の開発

PCC を想定した場合、大規模 CO₂ 回収が求められるため、移動層システムを採用している。移動層システムは吸収塔、再生塔、乾燥塔で構成され、固体吸収剤が循環する。吸収塔で CO₂ を吸収し、再生塔で低温蒸気との接触により CO₂ を脱離し、乾燥塔で水分を調整する。移動層システムの概要を図 2 に示す。

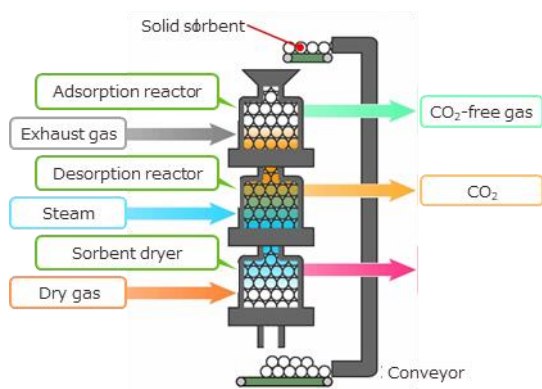


図2 移動層システムの概要

移動層システムではCO₂回収を連続で行うことができ、さらに火力発電所の出力変動に対しても、固体吸収剤の循環速度を変更することで追従が可能である。また、固体吸収剤抜き出し・補充が固定層に比べて容易であり、メンテナンス性にも優れている。

本システムの開発にあたり、2012年に図3に示す5ton-CO₂/day規模のベンチスケール試験設備を当社明石工場内（兵庫県明石市）に設置し、試験を実施している。試験結果の一例を図4に示す。吸収塔に供給された約13%のCO₂を含む排ガスは、固体吸収剤がCO₂を吸収することで、吸収塔出口では2%程度にまで低減されていることがわかる。また、数時間にわたって一定速度でCO₂が回収でき、安定的な運転が可能なることも確認できている。



図3 移動層試験設備の外観

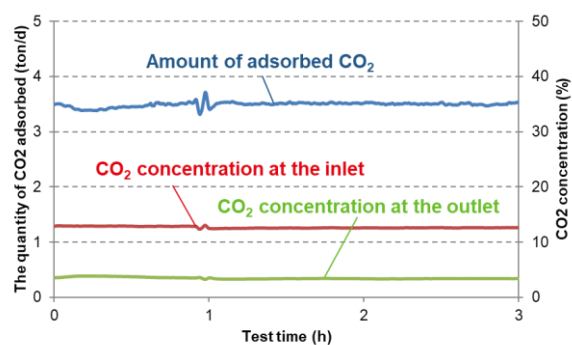


図4 ベンチ試験結果の一例

KCCシステムは社内での開発を進めつつ、並行して実用化に向けた社外での実証試験を行っている。2015年度から経済産業省事業「二酸化炭素回収技術実用化研究事業」（2018年度から新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に移管）に参画し、2020年度からは、将来の社会実装を見据えた信頼性／運用性評価や経済性評価のため、NEDO委託事業である「先進的二酸化炭素固体吸収剤の石炭燃焼排ガス適用性研究」として、関西電力株式会社の舞鶴発電所内に40ton-CO₂/day規模のパイロットスケール試験設備を建設し、2024年1月からNEDO助成事業としてCO₂分離回収の実証試験を開始している。石炭火力発電所から排出される実ガスよりCO₂を分離、回収する際に固体吸収法を用いる設備は国内初となる。

さらに、2021年度からは、環境省から一般財団法人カーボンフロンティア機構（JCOAL）と当社が委託された「環境配慮型CCUS実証拠点・サプライチェーン構築事業」の一部として、揮発成分の評価及び環境影響評価を実施した。本事業では、アメリカ合衆国ワイオミング州にあるIntegrated Test Center（ITC）にKCCシステムの実証試験設備を建設して隣接する石炭火力発電所の実排ガスからのCO₂回収試験を実施し、廃棄されるガスを分析して飛散物の成分分析を行った。また、ITCの施設近辺で環境モニタリングを行い、広域での分析も実施した。

4. DAC技術の開発

2019年よりDAC技術の開発を開始し、2021年度までの3年間にわたり環境省より委託を受け、「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委託業務（低濃度二酸化炭素回収シス

テムによる炭素循環モデル構築実証)」を実施した。本事業では 2021 年度に 5kg-CO₂/day の実証試験装置を当社明石工場に設置し（図 5）、温湿度を調整していない外気を直接試験装置に供給し、昼夜連続で CO₂ 分離回収試験を実施した。図 6 に示す試験結果より、吸収量が外気温変化に連動しているものの、1000 時間継続して安定した CO₂ 回収ができていることが実証できた。



図 5 DAC 実証試験設備

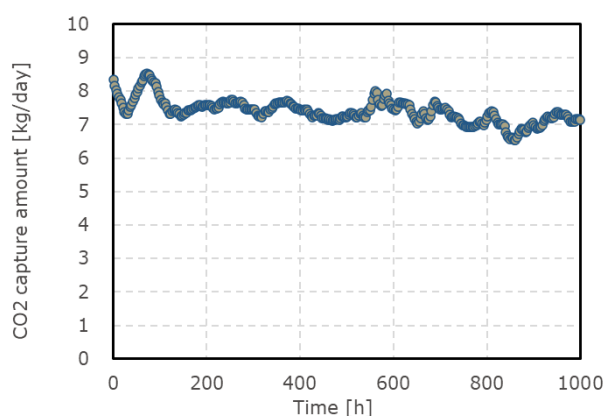


図 6 DAC 実証試験結果

2050 年カーボンニュートラル達成に向けては、DAC による炭素固定を大規模に実施する必要がある。当社はこれまでも大規模な産業プラントの設計・建設を担っており、これら技術と DAC 実証試験で培ったノウハウの融合、また、他社との協業・自社での更なる技術改良により、大型 DAC プラントの開発に取り組んでいる。

当社 DAC 事業は 2025 年頃の開始を目指しており、2030 年を目途に 50-100 万 ton-CO₂/year の大規模 DAC 設備による大気からの CO₂ 回収事業を推進していく計画である（図 7）。



図 7 大規模 DAC 設備のイメージ図

5. 結言

当社は 2050 年のカーボンニュートラル社会の実現に向け、固体吸収剤を用いた CO₂ 回収技術を開発している。これら技術の実用化、商用化を通じて持続可能な社会の構築に貢献していく所存である。

謝辞

本技術を開発するにあたり、経済産業省事業「二酸化炭素回収技術実用化研究事業」（2018 年度から新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に移管）、NEDO 委託事業「先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究」、環境省委託事業「環境配慮型 CCUS 実証拠点・サプライチェーン構築事業」において支援を賜った。ここに御礼申し上げる。

参考文献

- [1] T. Okumura, T. Yamaguchi, S. Nishibe, R. Numaguchi, Y. Kawajiri, Modeling of moving bed CO₂ capture process using amine solid adsorbent and its validation using pilot plant test data, International Journal of Greenhouse Gas Control. 133 (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104094>.
- [2] T. Okumura, T. Yamaguchi, Y. Kawajiri, A concurrent approach for determining binary isotherm and optimizing moving bed adsorber for solid amine adsorbent in the coexistence of CO₂ and H₂O, Separation and Purification Technology (2024) 130567.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130567>.