

省エネルギー型CO₂分離・回収システム「KCC」

Energy-Saving CO₂ Capture System KCC



真鍋賢① Satoshi Manabe
 安原克樹② Katsuki Yasuhara
 嶺祐太③ Yuta Mine
 成相俊文④ Toshifumi Nariai
 田中一雄⑤ Kazuo Tanaka
 奥村雄志⑥ Takeshi Okumura
 沼口遼平⑦ Ryohei Numaguchi
 西部祥平⑧ Shohei Nishibe

脱炭素への取組みとしてCO₂分離・回収に対する需要が高まっている。しかし普及にあたっては、そのコストの低減が技術的課題となっている。そこで当社ではCO₂分離・回収エネルギーの大幅な低減を期待できる固体吸収法による省エネルギー型CO₂分離・回収システム KCC (Kawasaki CO₂ Capture) の開発を行っている。

As an effort toward decarbonization, the demand for CO₂ capture is increasing. However, reducing its cost is a technical challenge to popularizing CO₂ capture. Therefore, we are developing KCC (Kawasaki CO₂ Capture), which is an energy-saving CO₂ capture system that is expected to drastically reduce the energy required to capture CO₂ with the solid sorbent method.

まえがき

国連気候変動枠組条約 第21回締約国会議 COP21で採択されたパリ協定の発効を機にCO₂排出を実質ゼロにすることを目指す中で、その実現に向けた具体的な計画策定と実行が急務となっている。その過程で再生可能エネルギーを最大限導入することが脚光を浴びてきたが、再生可能エネルギーの変動を補う調整力として火力発電は重要な機能を保持しており、その脱炭素化が求められている。

1 背景

火力発電脱炭素化に向けては、燃料そのものを水素・アンモニアに転換させる研究や開発が進む一方で、CO₂の分離・回収設備を設置すれば、既存の燃料調達体制や設備を活用しつつCO₂を貯留・固定化することでCO₂排出削減に貢献できるという利点を有している。また避けられないCO₂排出については、大気中のCO₂を分離回収・貯留・固定化するDACCS (Direct Air Carbon dioxide Capture Storage) や、バイオ燃料燃焼排ガスからCO₂を分離回収・貯留・固定化するBECCS (Bio Energy Carbon dioxide Capture Storage) のような工業的にネガティブエミッション化する技術が求められている。このような脱炭素への取組みの中心となるCO₂分離・回収設備はその需要が高まっているが、コストの低減などが技術的課題となっている。

2 排出量削減目標と各国の取組み

CO₂排出削減は人類共通の課題であるという認識のもと、さまざまなCO₂排出量削減目標が公開されている。特に国際エネルギー機関 IEA (International Energy Agency) のNet Zero Emission by 2050 (NZE2050) では、世界全体でエネルギー利用および産業プロセスからのCO₂排出量をネットゼロにするための具体的な目標をシナリオとして公表している。このうちCO₂分離・回収によって期待される削減量は図1のように2050年段階で約76億トン-CO₂/年と試算されている¹⁾。

欧州の脱炭素の取組みであるEU域内排出量取引制度 EU-ETS (EU Emission Trading System) が2005年1月から開始された。EU-ETSは制度を都度見直しているが、2021年~2030年を対象とするフェーズ4における注目点として、炭素国境調整措置CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) の導入合意がある。EU域内市場でのEU製品と輸入品の炭素コスト差を埋めて、産業流出とそれに伴う海外への炭素流出を防ぐ実質的な炭素関税となる。加えてEU-ETS排出枠を有償配布することで得られるオークション収入を気候変動対策に基金として投入することも注目される。イノベーション基金として、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) や再生エネルギー・エネルギー貯蔵などの革新的な低炭素技術への投資支援を行う²⁾。EU-ETS排出量先物取引 (カーボン

	2020年	2030年	2050年
1. 化石系燃料からのCO ₂ 分離・回収			
電力分野	0.03	3.40	8.60
産業分野	0.03	3.60	26.20
水素製造分野	0.03	4.55	13.55
非バイオ燃料製造分野	0.30	1.70	4.10
小計	0.39	13.25	52.45
2. バイオ燃料からのCO ₂ 分離・回収			
電力分野	0.00	0.90	5.70
産業分野	0.00	0.15	1.80
バイオ燃料製造分野	0.01	1.50	6.25
小計	0.01	2.55	13.75
3. 大気からのCO ₂ 分離・回収(DAC)			
有効利用	0.00	0.20	3.55
貯留・固定化	0.00	0.70	6.30
小計	0.00	0.90	9.85
合計(億トン-CO ₂ /年)	0.40	16.70	76.05

図1 CO₂回収量シナリオ (IEA NZE2050より)
Fig. 1 CO₂ capture scenario (Source: IEA NZE2050)

プライス)は、2023年2月に初の100EUR/トン-CO₂を超え、欧州も投資可能性が高くなっている。

米国ではインフラ投資・雇用法を更に強力にするインフレ削減法IRA (Inflation Reduction Act) が2022年に成立し、再生可能エネルギー・水素・CCUS・DACなどのカーボンフリーエネルギーやクリーンテクノロジーに大きな税控除インセンティブが導入された。これにより、CCUSにおいては貯留・固定化により85ドル/トン-CO₂、利用により60ドル/トン-CO₂の大きな税控除が得られる。DACでは、貯留・固定化により180ドル/トン-CO₂、利用により130ドル/トン-CO₂の税控除が得られる。この税控除影響は大きく、DACは空想論ではなく現実的な投資可能性をもたらした。図2に示すように米国は世界的規模の貯留地を保有しており、米国インフレ削減法は世界の脱炭素化の流れに対し、大きな影響を与えている³⁾。

日本では、国内CCS事業化検討が開始されており、さらにGX (グリーントランスフォーメーション) リーグによ

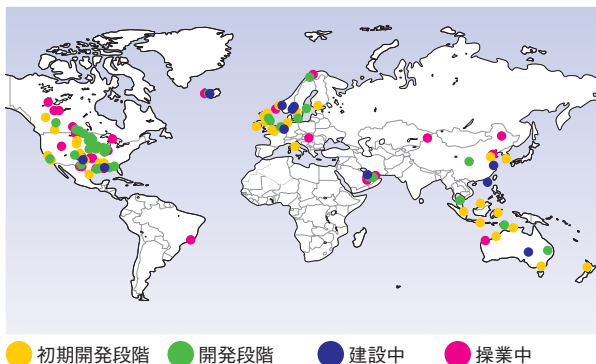


図2 世界のCCSプロジェクト⁴⁾
Fig. 2 Global CCS projects
出典: GCCSI「Global STATUS of CCS 2022」を基に作成

る排出量取引市場導入の見込みである⁵⁾。またグリーンイノベーション基金による支援など活発な開発支援を実施しており、排出量削減に向けて水素と共にCCS社会実装開発が進んでいる。

このようにCO₂分離・回収・貯留・固定化・有効利用は脱炭素をもたらすクリーンテクノロジーとして注目を集め、各国政策に排出量削減の現実解として影響を与えている。このキー技術となるCO₂分離・回収設備は更に世界的に普及を推し進めるためには、革新的な低炭素技術開発により、CO₂分離・回収コストを従来技術より更に低減させる必要がある。

3 CO₂分離・回収技術

(1) 従来技術

商用化されている排ガス中のCO₂を回収する手法として液吸収法が知られている。

液吸収法プロセスとは、CO₂吸収液は対象ガスに応じてアミン系やカリウム系などの水溶液を使用している。水溶液とCO₂含むガス媒体が接触することで、ガス中のCO₂を水溶液が吸収して、ガスからCO₂が分離される。CO₂を含んだ水溶液を加熱することでCO₂を分離して回収する。水溶液からCO₂を分離する際に水溶液を蒸発させるため、水潜熱分に加えて水顕熱のエネルギーも必要となり、大きな熱エネルギーが必要であった。

(2) 固体吸収法

当社では、従来の液吸収法の課題であったCO₂分離エネルギーを低減するため、潜水艦などの閉鎖空間中空気からのCO₂除去技術の研究から始まった固体吸収材を使用したKCC (Kawasaki CO₂ Capture) プロセスを開発している。当社で開発した固体吸収材は、図3に示すようにCO₂吸収多孔質材表面に吸収材用アミンをコーティングしたものである。

固体吸収材では低温蒸気のエネルギーのみでCO₂を分離させることから、液吸収法と違い水顕熱分のエネルギーが不要となるため、従来の液吸収法よりもCO₂分離・回収エネルギーが約6割低減できる。また液吸収法で使用されるアミンより揮発性が低いことから、プロセス系外へのアミ



図3 固体吸収材
Fig. 3 Amine-impregnated solid sorbent

ン飛散量が減少し、環境への影響が少なくなる。

4 CO₂分離回収システム

当社では燃焼後排ガスや空気を対象に、この固体吸収材を用いて固定層方式と移動層方式の2つのシステムを開発した。

(1) 固定層方式

固定層方式は、固体吸収材を吸収塔内に固定して、CO₂を吸収する吸収工程、蒸気によりCO₂を脱離する再生工程、蒸気により材が吸収した水分を乾燥させる乾燥工程を複数塔間でバッチ切替する方式である。この方式は設備構成がシンプルであり小規模の試験評価用CO₂分離・回収設備に向いている。

この設備特長を生かし、当社は環境省事業「環境配慮型CCUS一貫実証拠点・サプライチェーン構築事業（固体吸収剤による分離回収技術実証）」にて、代表事業者である一般財団法人カーボンフロンティア機構（JCOAL）との共同実施により、当社開発固体吸収材による環境影響評価試験を米国ワイオミング州で行う予定である。本事業は、日米協働の上、分離回収技術の実証試験設備を建設するもので、米国ワイオミング州のDry Fork発電所（微粉炭焚石炭火力発電所）に隣接するIntegrated Test Center（ITC）に設置して発電所からの実際の排ガスを使って試験を行う。

欧米では、CO₂分離・回収時のアミン系水溶液が外界へ放出されるアミンエミッションにより、生物が受ける影響を懸念する動きが広まっている。環境影響評価手法に基づき、2023年度に実証試験設備からのCO₂分離回収後排気ガス分析とともに、試験期間中およびその前後の期間に周辺地域のアミン系放散物の環境モニタリングと分析を実施する。固体吸収材による環境に安全で安価なCO₂分離・回収技術の確立を目指して、2022年度に詳細設計、2023年度中に環境影響評価試験を完了する予定である。

(2) 移動層方式および実証試験設備

移動層方式は、図4に示すようにCO₂を吸収する吸収塔、蒸気によりCO₂を脱離する再生塔、蒸気により材が吸収した水分を乾燥させる乾燥塔へ、固体吸収材自体を移動させ、乾燥塔から再度コンベアにより吸収塔へ再度循環させることにより、CO₂を連続的に分離・回収する設備となっている。この方式は再生塔を常時再生するため、固定層と比較してより分離エネルギーが低減できる設備となる。当社明石工場内にベンチスケール5トン-CO₂/日回収の試験設備を建設し、大規模回収用KCCとして開発中である。

このベンチスケールの実績から、当社は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDOの事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO₂分離・

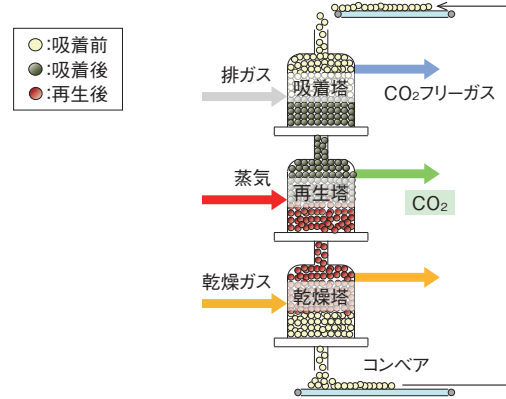


図4 移動層固体吸収法プロセス
Fig. 4 Moving bed solid sorbent process

回収技術の研究開発／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」として、関西電力株式会社舞鶴発電所にて、40トン-CO₂/日回収量相当の移動層パイロットスケール試験機の長期連続運転実証試験を公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）と共に実施している。当社は移動層パイロットスケール試験設備の設計・製作・据付工事・試運転を担当しており、2021年に土建着工、2022年度までに移動層パイロットスケール試験設備を建設（図5）した。

固体吸収材は、RITEにより石炭排ガス用に新開発されたものを使用しており、2022年度までにCO₂分離・回収を実施した。今後、2024年度まで本試験設備を使用した最大回収量試験や各種パラメータ変更試験、連続運転試験を実施し、事業化・商用化に向けたKCCプロセスの運用方法の確立や連続操作／制御応答性の開発・検証を行う予定である。

実証試験完了後は、数千t-CO₂/d回収までの商用機を開発して、中小規模排出源や火力発電所などに商用展開を開



図5 移動層パイロットスケール試験設備
Fig. 5 Pilot-scale moving bed solid sorbent plant



図6 DAC実証試験機
Fig. 6 Demonstration plant for DAC

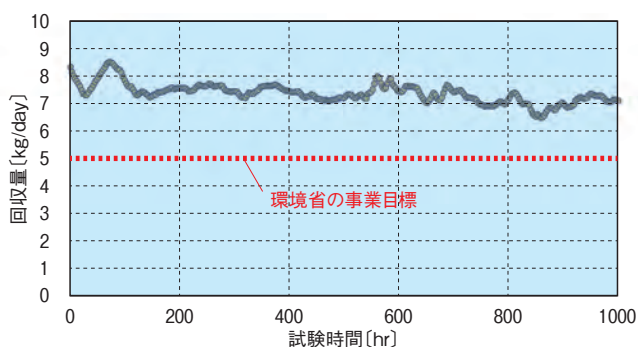


図7 DAC CO₂回収試験
Fig. 7 DAC CO₂ capture test

始する予定である。

(3) DAC開発

当社固体吸収材開発は潜水艦用DACを発祥としており、排ガスよりもCO₂濃度が低い大気からの直接回収にも適用できる。環境省事業「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）」において、5 kg-CO₂/日回収量（約2トン-CO₂/年）の小型実証試験機（図6）を当社明石工場内に設置し、実証試験を2022年度までに完了した。

固体吸収材は本実証用に新開発した当社製固体吸収材を使用している。1,000時間の連続運転において、図7のように事業目標である5 kg-CO₂/日以上での6.5~8.5 kg-CO₂/日回収量を確認し、回収したCO₂の純度は99%以上であった。さらに季節や天候の変化を模擬した空気によるCO₂回収試験を実施して季節依存性評価を実施しており、商用化展開へのデータ取得は完了済である。

あとがき

当社の省エネルギー型CO₂分離・回収システム「KCC」は実証試験を行うことで、商用機展開に向けて開発を行っている。固体吸収法という革新的な低炭素技術により、世界の脱炭素化に向けて更に開発を推進していく所存である。

参考文献

- 1) IEA ホームページ
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 2) 電力中央研究所 ホームページ
<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/column/column61.html>
- 3) 経済産業省 ホームページ
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/006_03_01.pdf
- 4) Global CCS Institute, 「Global STATUS of CCS 2022」レポート <https://status22.globalccsinstitute.com/>
- 5) 経済産業省 ホームページ
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/GX-league/gx-league.html



真鍋 賢



安原 克樹



嶺 祐太



成相 俊文



田中 一雄



奥村 雄志



沼口 遼平



西部 祥平