

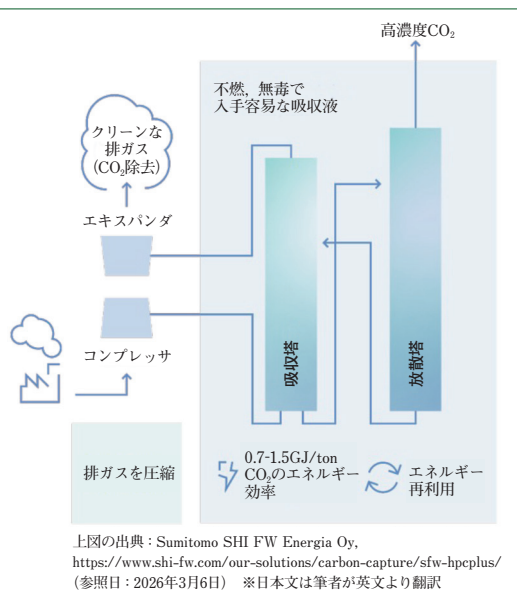
CO₂分離回収技術の背景と熱炭酸カリウム(HPC)方式の開発

Background of CO₂ Separation and Capture Technologies and Development of Hot Potassium Carbonate (HPC) Process

●田 岡 智 浩*
Tomohiro TAOKA



デモ機CapsolGo3ユニット外観とHPCフロー図
Demonstration unit CapsolGo3 Exterior and HPC flow diagram



1 はじめに

カーボンニュートラル社会の実現に向け、再生可能エネルギーの活用、省エネ対策および温室効果ガスの排出抑制など、さまざまな取り組みが世界的に進められている。特に発電所や鉄鋼・セメントといったCO₂排出の回避が困難な産業(Hard-to-Abate)では、排出されるCO₂を回収し、地中貯留やe-Fuel・持続可能な航空燃料(SAF：Sustainable Aviation Fuel)などへ有効利用するCCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)が重要な手段となっている。これは国内外の政府方針やCOP28の合意文書でも、カーボンニュートラル達成に向けた主要施策の一つとして位置づけられている。

当社では、バイオマスボイラの提供を通じてカーボンニュートラルに貢献しているが、当社の子会社 Sumitomo SHI FW (SFW) が所在する欧州では、さらに進んだ取組みとしてバイオマスボイラにCO₂を回収・貯留・有効利用するBECCUS(Bioenergy with Carbon Capture, Utilization and Storage)を組み合わせ、排出量より吸収量が上回るカーボンネガティブ技術としての活用検討が行われ、それを支えるカーボンクレジット制度が整備されつつある。

日本国内でも2026年4月から排出量取引制度(GX-ETS)が本格的に開始され、その算定にはGHG(Greenhouse Gas)プロトコルのSCOPEが採用されるなど、バイオマスボイラからのCO₂回収は有効な手段として注目されている。このような状況を踏まえ、当社では熱炭酸カリウム(HPC：Hot Potassium Carbonate)を用いた化学吸収法によるCO₂回収技術の開発に取り組むこととした。

2 HPC について

CO₂分離回収技術にはさまざまな方式があり、それぞれ特徴が異なる。代表的な方式と特徴を表1に示す。

このなかで最も商用化が進んでいる方式の一つが化学吸収法である。1960～70年代はこの化学吸収法のアミン方式とHPC方式が石油・ガス精製などの大規模プラントを中心に用いられてきた。アミン方式は吸収液へのCO₂吸収と加熱再生による温度操作を用いるのに対し、HPC方式は昇圧下で吸収液にCO₂を吸収した後、減圧操作によりCO₂を放出する圧力操作型のプロセスである。HPC方式の吸脱着反応は、



で表される。

その後、エネルギー効率で優位であったアミン方式が原油回収率向上(EOR：Enhanced Oil Recovery)での活用やCCUS・BECCUSを目的とした実証や商用プラントで主に採用されてきた。しかし近年、HPC方式は、圧力操作を担う部分に熱回収システムを組み合わせることで、高いエネルギー効率を実現できることが分かってきた。

また、アミン溶液は毒性と揮発性の高さから環境影響が懸念されるほか、溶液劣化による廃液増加や改良型アミンでの高価格化により運用コストが増大する傾向にある。一方HPC方式の炭酸カリウムは食品用途でも使用される物質であり、アミンと比べて環境負荷が低い。さらに劣化が少なく低コストで調達できる利点もある。

当社は、2023年よりCO₂回収方式の調査を進めてきたが、

表1 代表的なCO₂分離回収技術とその特徴
Major CO₂ separation and capture technologies and their characteristics

方式	排ガス圧力	回収CO ₂ 純度	分離回収方式	操作方法
物理吸収	高压	高純度	ガス中CO ₂ を高压液体に溶解	圧力変化
膜分離	高压	低純度	膜にガスを透過し透過速度でCO ₂ を選択分離	圧力変化(昇圧)
化学吸収	低压	高純度	CO ₂ と反応・吸収する溶液を用いてCO ₂ を選択分離	温度・圧力変化
物理吸着	低压	低純度	固体の吸着材にCO ₂ を吸着させ圧力変化によりCO ₂ を分離	圧力変化

当社製バイオマスボイラとの親和性、ガス条件、回収量、そして前述の利点を踏まえてHPC方式を採用することとした。なお、バイオマスボイラ排ガスを対象としたHPC商用機の報告はないため、まずはデモ機による評価を目的に研究開発を開始した。

3 開発概要と結果

2023年12月、当社とSFWによる共同研究としてHPC方式のデモ試験を実施することで合意した。欧州はCCUSやBECCUSに関する導入事例が国内に比べて多く、具体案件も複数進行していることから、SFWが納入したスウェーデンの2ヶ所の発電所にCO₂回収装置および液化装置のデモ機を設置し、試験を行った。

デモ機はノルウェーのCapsol Technologies社製CapsolGo 3ユニットをリースした。同社はこの分野のフロントランナーであり、自社技術のCapsolGoユニットを用いて、CO₂回収のエネルギー効率向上、CAPEX (Capital Expenditure：設備投資費)およびOPEX(Operating Expenditure：運転費・運営費)の削減、さらにはプロセス全体の性能向上を目的としたデモ試験を実施し、HPCの商用スケール機への展開を進めている。デモ機の設計・製作、現地オペレーション、遠隔監視は当社が担当した。遠隔運転を併用し省人化、試験時間短縮、運転安定性およびデータ精度の向上を図った。当社は試験計画の立案とデータ評価・考察を担当した。試験中は関係者で定例のオンライン会議を実施し、情報共有を密に行うことでスムーズな試験運営を実現すべく連携して取り組んだ。

試験の概要を次に示す。

(1) 試験の実施期間・場所

- ・2024年7～10月 Växjö Energi社(バイオマスボイラ)
- ・2024年11月～2025年4月 Mälarenergi社(廃棄物ボイラ)

(2) 主な試験内容

- ・圧力、ガス量、吸収液循環量など性能に関わるパラメータ変更
- ・フラッシュシステムの有無
- ・炭酸カリウム溶液特性の変化

(3) 考察項目

- ・CO₂回収率やエネルギー効率
- ・回収ガス中の不純物分析
- ・吸収液が装置へ与える影響
- ・基本設計に用いるシミュレーションモデルの妥当性検証

試験開始当初はデータ監視や機器不具合、プラント安定性などに問題が発生したが、それも1ヶ月程度で解消した。そ

表2 HPC方式のデモ試験結果
Demonstration test results of HPC process

項目	アミン方式	HPC方式
CO ₂ 回収率(%)	90以上	90以上 ^{*1}
エネルギー効率(GJ/t CO ₂ CO ₂ 回収率90%以上)	2.5前後 ^{*2}	1.84 ^{*3}

*1 95%以上を達成

*2 最新のアミン溶液では2 GJ/t CO₂ 前半との報告がある

*3 試験結果からの換算値で、試験中の最も高効率の数値

の後は順調に進み、当初の予想を大きく上回る条件数で評価を行うことができた。

試験の結果、HPC方式は一般的な目標である90%以上のCO₂回収率を達成するとともに、エネルギー効率もアミン方式と比較して十分に高いという結果を複数確認できた(表2)。回収CO₂の純度、不純物濃度から商用展開に向けた有用な知見が得られた。また、吸収液が装置に与える影響も認められなかった。シミュレーションモデルについてもテスト結果と整合性が取れ、基本設計に活用できる見通しが得られた。さらに、SFWが実施した最新のOPEX試算では、アミン方式より優れた経済性を示す例が見られた。

4 おわりに

- (1) カーボンニュートラル社会の実現に向け、CO₂回収技術としてHPC方式の開発を進めた。アミン方式に比べ環境負荷やOPEX面で利点があり、エネルギー効率も比較的高い。2024～25年に欧州2拠点でデモ試験を実施し、CO₂回収率90%超、エネルギー効率も想定以上の良好な結果となり今後有益となるデータや知見を得ることができた。
- (2) 試験を通じて得られた知見に基づき、SFWはCCUS・BECCUSやe-Fuel/SAF向けの基本設計(FEED：Front-End Engineering Design)に着手し、当社ではCO₂回収技術のFS(Feasibility Study)へ進んでいる。ボイラ排ガスを対象としたHPC商用機に向けて、また他方式も改良が進むと予想されることから、今後はさらなる改良と商用機実績の積み上げをめざしていく。

地球温暖化抑制に向けた社会的要請は今後さらに高まると考えられ、CO₂分離回収技術の重要性は増す一方である。当社としても、HPC方式を含むCO₂回収技術の開発・適用を今後も積極的に進めていく所存である。