

石炭焼き火力発電所用 世界最大 CO₂ 回収装置の受注への取組み

Deployment of the World's Largest Post-Combustion Carbon Capture Plant
for Coal-fired Power Plant



上條 孝*¹
Takashi Kamiyo

米川 隆仁*²
Takahito Yonekawa

乾 正幸*³
Masayuki Inui

平田 琢也*⁴
Takuya Hirata

辻内 達也*⁵
Tatsuya Tsujiuchi

宮本 修*⁶
Osamu Miyamoto

火力発電所からの CO₂ 排出削減技術として、CO₂ 回収・貯留 (CCS) が期待されている。当社は米国 Southern Company と共同で石炭火力発電所排ガスの CO₂ 回収・輸送・貯留一貫実証試験に参画し、2013 年 10 月に累計 10000 時間の稼働時間及び 10 万トン以上の CO₂ 貯留を達成した。さらに、2014 年 7 月には、NRG Energy Inc. と JX 日鉱日石開発(株) が中心となって推進している原油増進回収 (EOR) プロジェクト向けに、世界最大となる CO₂ 回収装置 (CO₂ 回収規模: 4776 トン/日) を受注した。本報では CO₂ 回収・貯留実証試験の結果と今後の取組みについて紹介する。

1. はじめに

当社は、関西電力(株)とともに共同して開発した独自アミン吸収液 KS-1™ を用いた CO₂ 回収プロセス KM CDR Process®(注)を採用している⁽¹⁾。図1に当社 CO₂ 回収装置の概略フローを示す。天然ガス焼き排ガスや重油焼き排ガスを対象に、CO₂ 回収技術を実用化しており、1999 年に初の商用機を納入し、現在までに 11 基の商用機が稼働している。回収した CO₂ は、肥料増産用他として納入しており、2014 年に納入したカタール向け CO₂ 回収装置 (500 トン/日) は、メタノール増産用として運転を開始した。

化石燃料の燃焼排ガスからの CO₂ 回収技術は、地球温暖化対策技術としても注目されている。国際エネルギー機関 (IEA) が発表した最新の Energy Technology Perspectives においては、現状のままエネルギー消費が続くと 2035 年には年間 40G トン、2050 年には年間 50G トン以上の CO₂ 排出量となり、平均気温が 3.6~5.3℃ 上昇すると見込まれている。2050 年までの温度上昇を 2℃ に抑えるためには CO₂ 排出量の低減が急務であり、CO₂ 回収・貯留 (CCS) 技術の普及により、2050 年までに全 CO₂ 排出低減量の 14% の貢献が期待されている⁽²⁾。特に、火力発電部門からの CO₂ 排出量は、全 CO₂ 排出量の 39% (2011 年) を占めており、例えば、米国では火力発電所からの CO₂ 排出に規制を行う計画が進められている。

当社は、米国の大手電力会社 Southern Company、米国電力研究所 (Electric Power Research Institute: EPRI) と共同で、米国アラバマ州に 500 トン/日規模の石炭焼き排ガスからの CO₂ 回収

*1 エネルギー・環境ドメイン 化学プラント・社会インフラ事業部 化学プラントプロジェクト管理部 主席プロジェクト統括

*2 米国三菱重工業 環境システム・化学プラント事業部

*3 米国三菱重工業 環境システム・化学プラント事業部 博士

*4 技術統括本部 広島研究所

*5 エネルギー・環境ドメイン 化学プラント・社会インフラ事業部 計画部

*6 MHI ソリューションテクノロジーズ(株)

実証プラントを建設し、CO₂回収・貯留技術の実証試験を行った。

(注) KM CDR Process[®]は、当社が関西電力(株)とともに共同開発した CO₂回収プロセスの日本、米国、欧州共同体(CTM)、ノルウェー、オーストラリア及び中国における登録商標です。

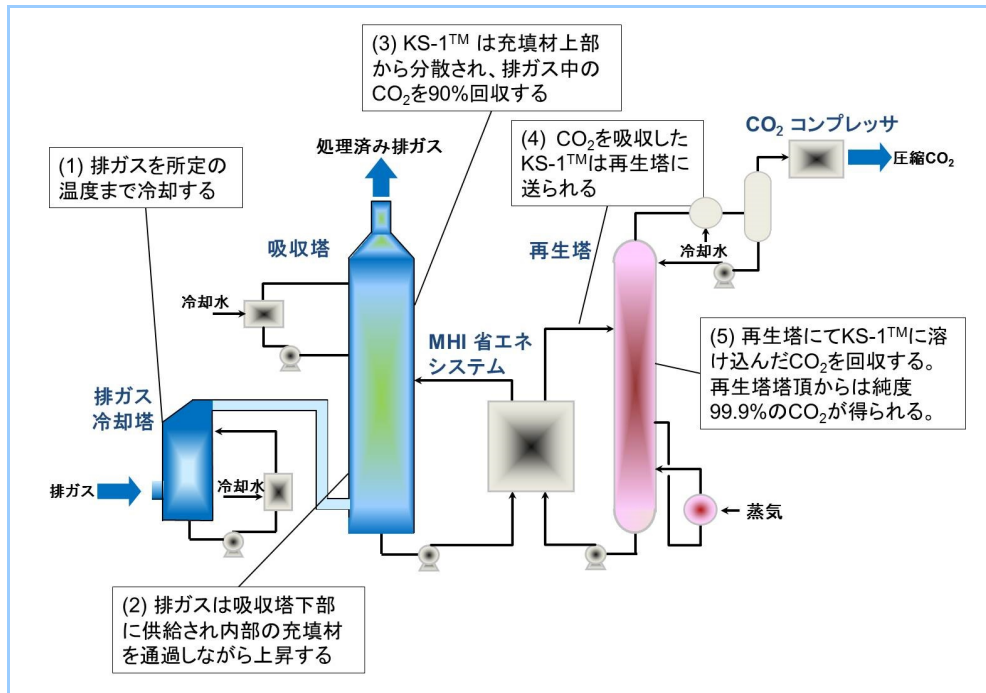


図1 三菱重工の CO₂回収プロセス(KM CDR Process[®])フロー

2. CO₂回収・貯留一貫プロセス実証プロジェクト

(1) プロジェクト概要

当社が Southern Company と共同で建設及び実施した CO₂回収実証プロジェクトは、世界で初めての石炭燃焼火力発電所排ガスからの CO₂回収・圧縮・輸送・貯留一貫プロジェクトとして実施された。表1に Southern Company 向け CO₂回収実証機の概要を、図2に実証機外観を示す。CO₂輸送・貯留は、米エネルギー省(DOE)の Regional Carbon Sequestration Partnership Phase III Program の一環として行われ、南部 11 州政府のパートナーシップ Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership (SECARB) が担当している。

表1 米国 Southern Company 向け CO₂回収実証機概要

項目	内容
プラント場所	Mobile County (米国アラバマ州)
プラントオーナー	Alabama Power (Southern Company の子会社)
プロセス	KM CDR Process [®]
吸収液	KS-1™ 吸収液
プラント規模	25MW 相当
排ガス量	116 800 Nm ³ /h
CO ₂ 回収率	90%
CO ₂ 回収量	500 トン/日 (150 000 トン/年)
CO ₂ 濃度	10.1 mol%-wet



図2 米国 Southern Company 向け CO₂回収実証機外観

(2) 運転状況

本実証機は、2011年6月に CO₂回収装置の運転を開始し、2012年8月から回収した CO₂の地中貯留を開始した。CO₂回収装置は、計画通り CO₂回収量 500 トン/日、CO₂回収率 90%を達成しており、主要な運転パラメータを変化させた試験において、CO₂回収に必要なスチーム

消費量が 1.0 トン/トン-CO₂ 以下の省エネ性能を確認している⁽¹⁾。図3には運転開始から 2013 年 10 月末までの CO₂回収・貯留実績のトレンドを示す。2013 年 10 月末までに累計 10000 時間の安定運転を達成し、この期間に回収した CO₂は約 20 万トンになる。また、CO₂貯留の総量は 2013 年 10 月に 10 万トンに到達し、計画時の目標貯留量を達成した。

(3) アミンエミッション低減技術の実証試験

CO₂を除去された排ガスが CO₂吸収塔から排出される際、吸収液成分であるアミンの一部が排ガスに含まれるため、大気に放出されて吸収液の損失となる。当社は、2010 年に当社研究所内のパイロット試験装置において、石炭焼き排ガスに含まれる SO₃ ミストがアミンエミッションを増加させる現象を見出し、他社に先行してアミンエミッション低減技術の開発を行ってきた。米国での実証プロジェクトでは、開発したアミンエミッション低減技術の実証を行った。実証試験結果を図4に示す。アミンエミッション低減技術は、当社従来プロセスに比べて、アミンエミッションを約 1/10 に低減できることを確認した。

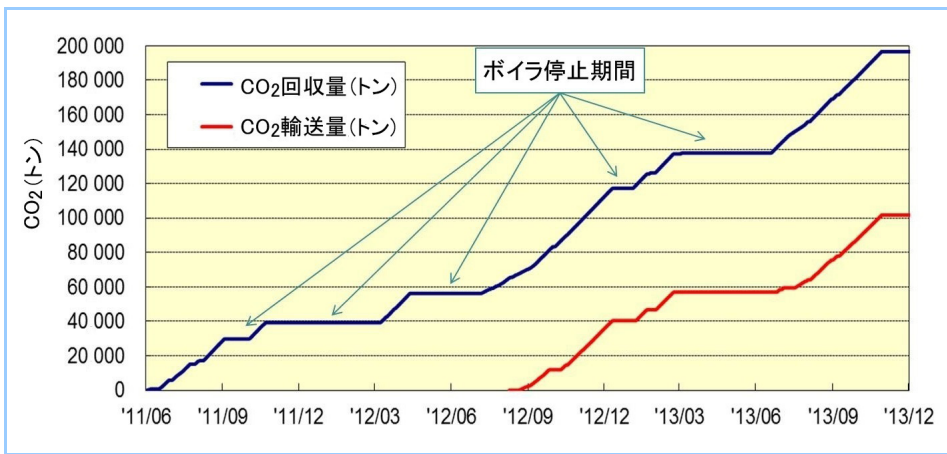


図3 運転実績トレンド

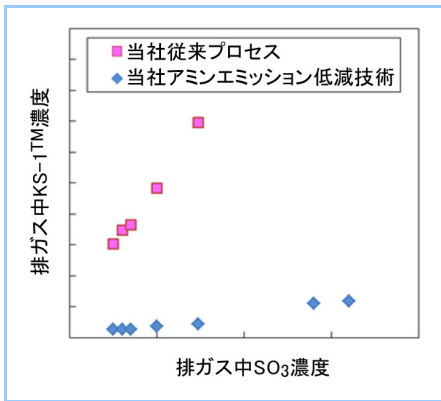


図4 アミンエミッション低減技術実証試験結果

(4) 負荷追従制御システムの実証試験

石炭火力発電所では、日々の電力需要に応じて運転負荷が調整される。ボイラの運転状態は常時変化し、排ガス中の CO₂ 濃度などガス性状も変動するため、CO₂ 回収装置を常に最適な運転状態に保つためには、自動負荷追従制御システムが有効である。そこで、CO₂ 回収装置の最適運転制御システムを開発し、米国実証プロジェクトにおいて制御システムの検証試験を行った。図5に制御システムを適用せずに運転した場合の運転トレンドを、図6に制御システムを用いて運転した場合の運転トレンドを示す。図5、6ともに左図に CO₂ 回収量と CO₂ 回収率を、右図に排ガス中の CO₂ 濃度と排ガス流量を示す。図5では、排ガス条件の変動に伴い、CO₂ 回収量及び CO₂ 回収率の変動が見られているが、図6では、排ガス性状の変化によらず、CO₂ 回収量及び CO₂ 回収率を一定に維持できており、制御システムが安定運転に有効なシス

テムであることを検証した。

(5) 今後の取り組み

2013年10月の10万トン貯留達成の期間までに、上記で紹介した実証試験の他にも各種評価・検証試験を実施し、石炭焚き排ガスに対するCO₂回収装置の運転や大型CO₂回収装置の実用化に向けた知見を得ることができた。現在も、米国CO₂回収実証プラントを新規技術の開発・検証に用いている。2014年から2015年にかけては、DOEの実証プログラムの一環として、CO₂回収技術を適用した際の発電効率低下を緩和させるための発電システムとのインテグレーションプロジェクトを推進中である。図7に実証プロジェクトのブロックフローを示す。この実証プログラムでは、当社高性能排煙処理システム(HES)⁽³⁾による既設排ガスからの余熱回収とCO₂回収装置からの余熱回収による2段ヒートインテグレーションで既設ボイラ水を加熱する。当社プロセスにHESを導入することにより、排ガス中のCO₂を90%回収するケースにおいては、従来の他社技術と比較して30%以上の発電効率改善が期待される。また、HES導入により、問題となるSO₃等の排ガス中の不純物を更に除去することができ、CO₂回収装置への負荷低減が可能となる。

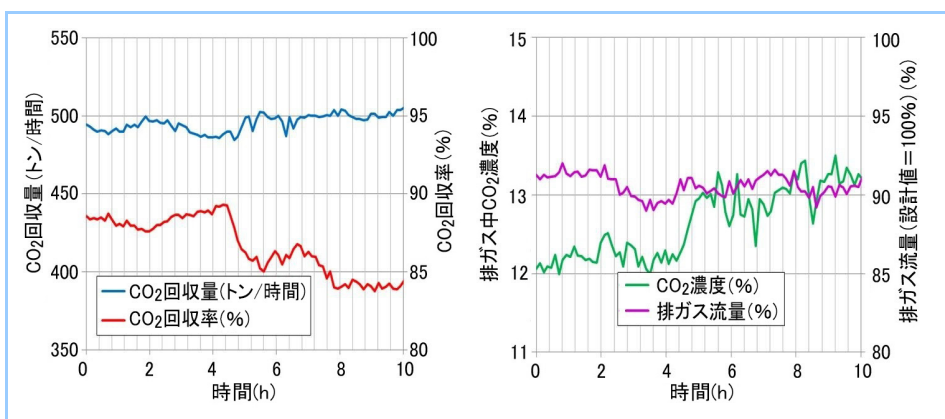


図5 運転トレンド(負荷追従制御システム:OFF)

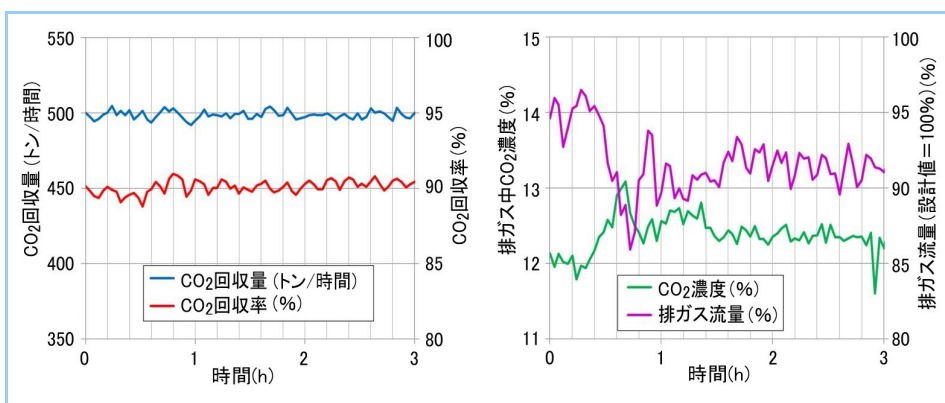


図6 運転トレンド(負荷追従制御システム:ON)

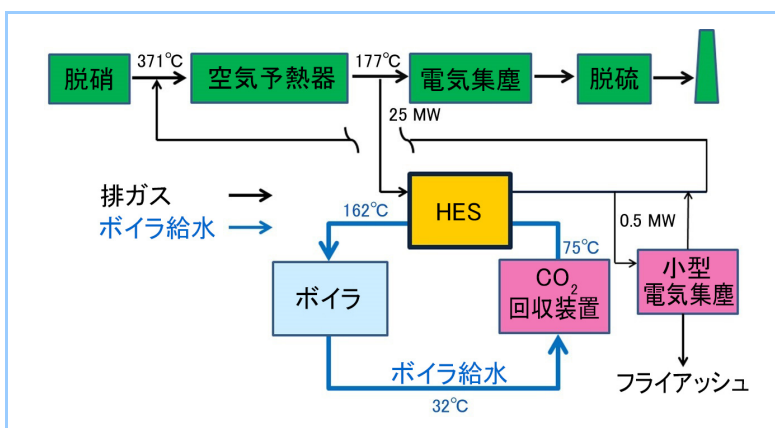


図7 インテグレーションプロジェクトのブロックフロー

3. CO₂回収装置大型化に向けた取組み

当社は関西電力(株)と共同で同社南港発電所に2トン/日のパイロット試験装置を1990年に稼働させて以来、各種排ガスからのCO₂回収試験を行い、性能向上を行ってきた。上述の通りこれまで11基の商用機を稼働させるとともに、石炭焚き排ガスに対しては、1トン/日のパイロット試験装置(当社広島研究所内)、10トン/日の実証試験装置(電源開発(株)松島火力発電所内)を用いて、運転ノウハウを積み重ねてきた。CCSやCO₂-EOR向けには、数千トン/日規模の大型CO₂回収装置の適用が必要であり、更なるスケールアップが求められている。当社はこれまでの各スケールでの実証試験の知見に加え、湿式排煙脱硫設備(現三菱日立パワーシステムズ(株)の製品)の実用化の際に得たスケールアップに関する知見を活用することで、信頼性の高い数千トン/日規模のプラント建設が可能となった。

2014年7月には、NRG Energy Inc.とJX日鉱日石開発(株)が中心となって推進しているEORプロジェクト向けに、世界最大となるCO₂回収装置(CO₂回収規模:4776トン/日)を受注した。プラントの概要を表2に、プラント完成時のイメージ図を図8に示す。このCO₂回収貯留プロジェクトは、米国DOEのクリーンコールパワーイニチアチブ(CCPI)の補助金を受けており、2016年第4四半期頃運開予定である。240MWに相当する排ガスからCO₂回収を行い、発電所から約130km離れた油田にCO₂を圧入することで、CO₂EORの効果により一日当たり500バレルから15000バレルへの原油増産が見込まれている。

表2 米国テキサス州 EOR プロジェクト向け CO₂回収装置概要

項目	内容
プラント場所	Thompsons (米国テキサス州)
プロジェクトオーナー	Petra Nova 社※ ※ NRG Energy Inc.及びJX日鉱日石開発(株)の合弁会社
ガス源	NRG WA Parish 発電所 610MW 石炭焚火力発電設備
プロセス	KM CDR Process®
吸収液	KS-1™吸収液
プラント規模	240MW 相当
CO ₂ 回収率	90%
CO ₂ 回収量	4776 トン/日

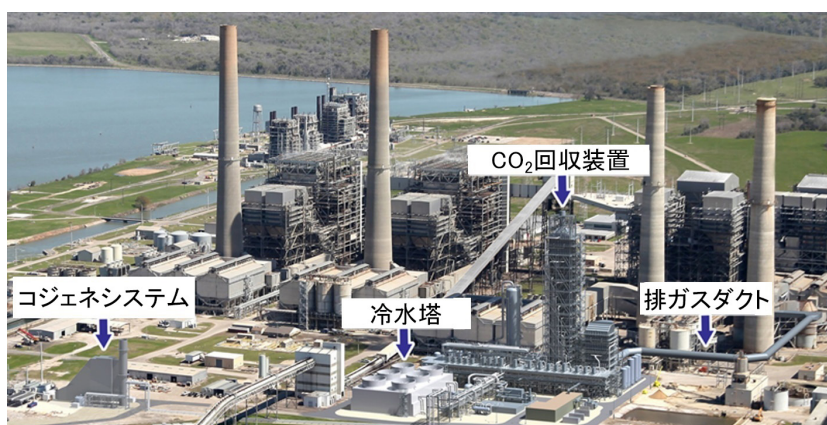


図8 米国テキサス州 EOR プロジェクト向け CO₂回収装置完成イメージ図

このCO₂回収装置及びその周辺設備のプロセス構成を図9⁽⁴⁾に示す。CO₂回収装置の運転に必要なスチーム及び電気は、付帯するガスタービン及び廃熱回収ボイラから供給することで、既設発電設備の発電出力を低下させることなくCO₂回収を可能としている。

今後、発電所や化学プラントからのCO₂回収とEORを組み合わせたCO₂EORが普及し、CO₂回収装置の市場が拡大していくことが見込まれる。当社は、CO₂回収装置の技術開発を進め、CO₂EORやCCS市場に適した大型CO₂回収装置の商用機拡大を進めていく。

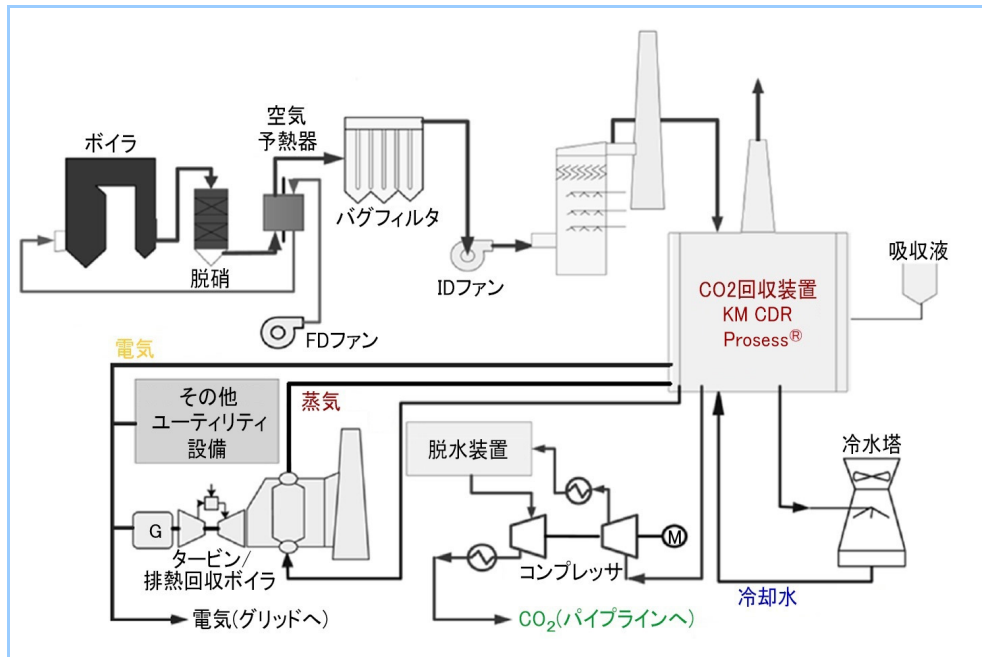


図9 米国テキサス州 EOR プロジェクト向け CO₂ 回収プロセス構成

4. まとめ

当社は Southern Company とともに、米国アラバマ州 Mobile County に位置する Alabama Power の Barry 発電所 に建設した 500 トン/日の CO₂ 回収実証試験装置の運転を行い、累計 10 万トンの CO₂ 地中貯留を達成した。実証機は、石炭燃焼排ガスからの CO₂ 回収において、KM CDR Process® が商用規模で利用可能であることを実証するだけでなく、アミンエミッション低減技術をはじめとする各種新規技術の検証を行うことができた。これらの検証結果は、大型 CO₂ 回収装置にも反映しており、より信頼性の高い装置となっている。今後も引き続き技術開発を行い、CO₂ 回収装置の信頼性向上や CO₂ 回収装置普及に向けた取組みを進めていく。

参考文献

- (1) 上條孝ほか、三菱重工技報 Vol.50, No.1 (2013) p.27-32
- (2) The Global Status of CCS 2014, Global CCS Institute, (2014) p.20-27
- (3) 土屋喜重ほか、三菱重工技報 Vol.34, No.3 (1997) p.158-161
- (4) U.S. Department of Energy “W.A. Parish Post-Combustion CO₂ Capture and Sequestration Project Final Environmental Impact Statement Volume I” (Feb, 2013), DOE/EIS-0473