

米国電力会社 Southern Company との石炭焚き火力発電所からの CO₂ 回収・貯留共同実証試験

Large Scale Demonstration Project for Carbon Capture & Storage from Coal-fired Power Plant in USA



上條 孝*¹
Takashi Kamiyo

長安 弘貢*²
Hiromitsu Nagayasu

米川 隆仁*³
Takahito Yonekawa

島田 大輔*⁴
Daisuke Shimada

辻内 達也*⁵
Tastuya Tsujiuchi

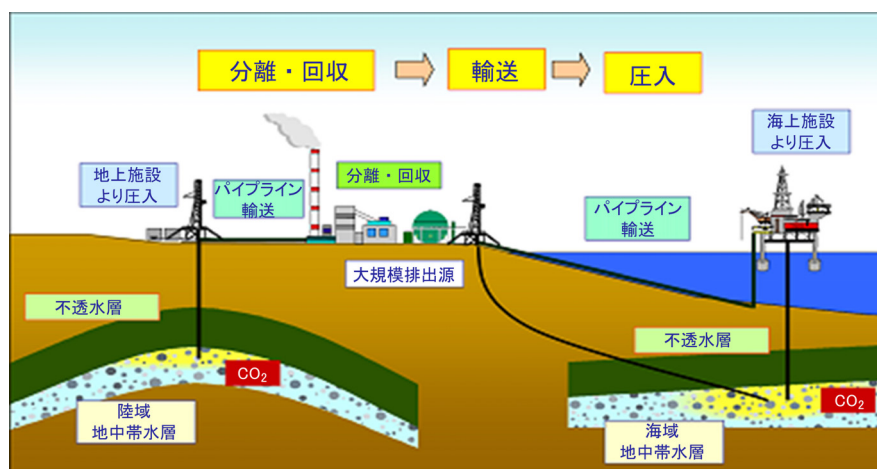
中山 浩次*⁶
Koji Nakayama

発電出力当たりの CO₂ 排出量が多い石炭火力に対する CO₂ 排出削減技術として、CO₂ 回収・貯留(CCS)が期待されている。当社は米国アラバマ州で進められている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 2008 年から米国 Southern Company (SoCo) と共同で参画し、2011 年6月よりアラバマ州の Barry 石炭焚き火力発電所において、排ガスからの CO₂ 回収 (500t/日規模)を開始し、これまでに(2012 年 11 月末時点)、6300 時間の稼働時間を達成し、10 万トン以上の CO₂ を回収した。一方、2012 年8月より回収した CO₂ の地中貯留をスタートさせ、3 万トン以上の CO₂ を貯留した。本報では CO₂ 回収・貯留実証試験の結果と今後の試験計画について紹介する。

1. はじめに

石炭は埋蔵量が豊富でコスト面においても優れていることから、発電分野において広く使用されている。一方で、石炭火力発電所から排出される CO₂ の削減は地球温暖化対策の重要な課題のひとつとなっており、特にヨーロッパ、米国では将来の新設石炭火力に CO₂ 回収・貯留(CCS)が義務づけられることから、石炭火力排ガスからの CCS 実証が急務となっている。

図1に CCS のイメージを示す。



出展：経済産業省 CCS2020

図1 CO₂ 回収・貯留(CCS)のイメージ

*1 エンジニアリング本部 環境・化学プロジェクト総括部 環境・化学プラント計画部 主席技師

*2 技術統括本部 広島研究所 化学研究室 主席研究員 *3 米国三菱重工 環境システム事業部 プロセスマネージャー

*4 エンジニアリング本部 環境・化学プロジェクト総括部 環境・化学プラント計画部

*5 米国三菱重工 環境システム事業部

*6 MHI ソリューションテクノロジーズ(株)

CCS とは発電所等の大規模 CO₂ 排出源から CO₂ を分離回収し、パイプライン等で輸送し、地中あるいは海底下の地中滞水層に貯留するものである。CO₂ の貯留箇所としては廃油田、廃ガス田、滞水層が挙げられる。

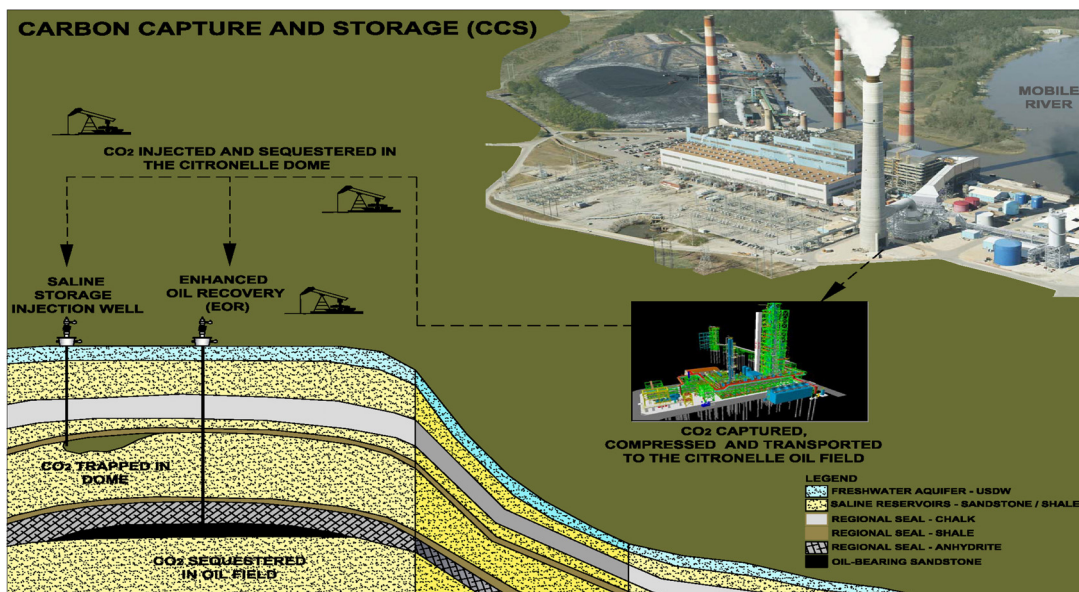
当社は米国の大手電力会社 Southern Company, 米国電力研究所(Electric Power Research Institute: EPRI)と共同で、米国アラバマ州に 500t/日規模の石炭焼き排ガス CO₂ 回収大型実証プラントを建設し、2011年6月より CO₂ 回収運転を開始し、2012年8月より回収した CO₂ の貯留をスタートさせた。

2. CO₂ 回収・貯留共同実証試験概要

CO₂ 回収・貯留共同実証試験の概要を図2に示す。アラバマ州にある Southern Company 傘下の Alabama Power Barry 火力発電所に、当社が Southern Company と共同で建設した石炭焼き排ガス CO₂ 回収実証設備により回収・圧縮した CO₂ をパイプラインで約 12km 輸送し、Citronelle Dome の地下約 3000m にある滞水層に貯留する。CO₂ 貯留は、2-3 年間で合計 10-15 万トン进行している。CO₂ 輸送・貯留は、米エネルギー省(DOE)の Regional Carbon Sequestration Partner Ship 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。CO₂ 回収実証機の概要を表1に示す。

当社と Southern Company は、2007 年に Gorgas 発電所に排煙脱硫装置を納入して以来、石炭焼き火力発電所の環境装置分野において技術開発パートナーとしての関係を深めてきた。今回の実証プラントでは、プロジェクトの要所に米国人技術者を選任し、Southern Company と建設的な意見交換を行いながら、設計の大部分を米国で行った。また、あらかじめ工場で組み立てた設備などを現地地で接合する「モジュール工法」(図3)を用いて、現地工事の効率化を図り、予定通りに実証プラントの運転を開始した。

本実証装置には当社と関西電力(株)が共同で開発した KM CDR Process®(3章にて詳述)を用いており、CO₂ 回収量は 500t/日、CO₂ 回収率は 90%、約 25MW 相当の発電所排ガスを処理するものである。実証期間中にプロセスの省エネルギー化、発電所負荷に追従する CO₂ 回収・圧縮・貯留の運転制御の確立、石炭焼き排ガスに含まれる不純物が CO₂ 回収装置及び吸収液に与える影響の把握及びその対策を検証し、商用機を確実に実現することを目指している。



出典: Project Update of 500 MTPD Demonstration Plant for Coal-fired Power Plant and MHI Amine Emission Reduction Technology, MEGA Symposium 2012.

図2 CO₂ 回収・貯留共同実証試験の概要

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	Bucks(米国アラバマ州)
プラントオーナー	Southern Company (Alabama Power)
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	116800 Nm ³ /h
CO ₂ 回収率	90%
CO ₂ 回収量	500 t/d (150000 t/y)
CO ₂ 濃度	10.1 mol.%-wet



図3 モジュール工法

3. 石炭焼き排ガス CO₂ 回収・圧縮プロセス

本実証機は、当社と関西電力(株)が共同して開発した KM CDR Process®(注)を採用している。当社と関西電力(株)は燃焼排ガスからのCO₂回収プロセスであるKM CDR Process®の技術開発を1990年より行い、1999年に初の商業機を納入している。

(1) 実証機プロセスフロー

CO₂回収装置のフローを図4に示す。

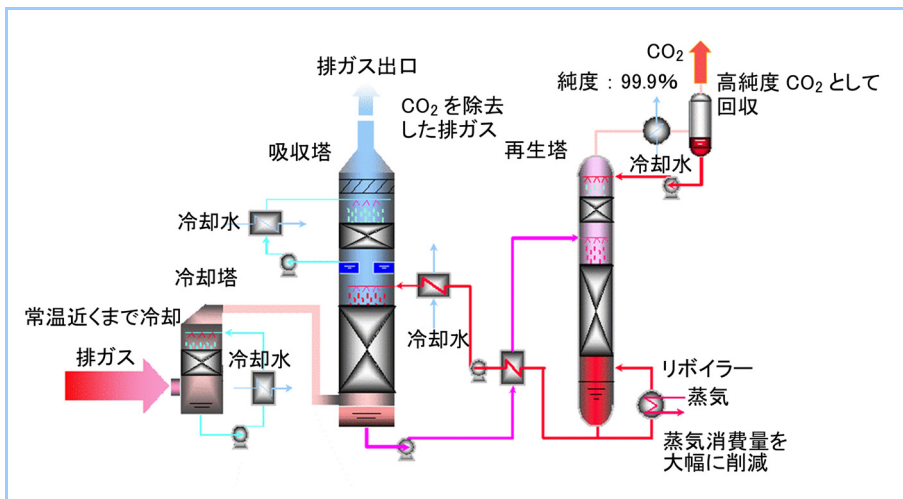


図4 三菱重工の CO₂回収プロセス(KM-CDR Process®)フロー

CO₂を含む排ガスは冷却塔に送られ冷却された後、冷却塔後流に設置されたブロワにより昇圧され、吸収塔に送られる。吸収塔に送られた排ガスは、吸収塔下部で当社が関西電力(株)と共同開発したアルカリ性の吸収液であるKS-1™と接触し、CO₂が吸収液に吸収される。CO₂が吸収された後の排ガスはクリーンな排ガスとして、大気に放出される。一方、CO₂を多く含む吸収液は再生塔に送られ、蒸気により加熱することでCO₂を放出し、吸収液は再生される。この再生プロセスに当社が開発した最新の省エネプロセスを採用することで、大幅な蒸気使用量の低減が可能である。また、再生した吸収液は吸収塔に戻し、再利用される。

(2) 石炭焼き排ガス CO₂回収プロセスの開発経緯

当社は天然ガス焼きボイラやガスタービンの排ガスを対象にCO₂回収技術を既に実用化しており、現在までに10機の商用機を納入している。初号機は1999年にマレーシアに納入し、CO₂回収量は200t/日である。回収したCO₂は尿素の増産用として今日まで10年以上運転を続けている。一方、不純物の多い石炭焼き火力発電所からCO₂回収を行う場合、排ガス中に硫酸化物、窒素酸化物、煤塵等が含まれているため、吸収液及び回収装置に与える影響に

ついて検証する必要がある。当社は米国での大型実証プロジェクトの実施に先立ち、小規模パイロット装置を用いて実証試験を実施した。表2に実証試験装置一覧を示す。1t/日規模の実証パイロットプラントを当社研究所内に製作し、石炭焚き排ガスからの CO₂ 回収実証試験を行った。その後、(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)の補助及び電源開発(株)の協力を得て、長崎県松島の既設石炭火力発電所に 10t/日のパイロットプラントを建設し、2006 年から実証試験を開始し、2008 年に完了した。松島での長期実証試験では、5000 時間以上の連続運転を達成し、運転のノウハウ及び排ガス中の不純物に対する影響の把握とその対策について検証を行い、中規模での石炭焚き排ガスからの CO₂ 回収を行うためのデータの蓄積を実施した。

表2 石炭焚きからの CO₂ 回収実証試験装置

設置場所	プラント規模(t/d)	納入先	排ガス源	運転開始時期
当社広島研究所	1	-	石炭焚きボイラ	1999年4月
電源開発(株) 松島火力発電所	10	-	石炭焚きボイラ	2006年7月
米国アラバマ州 Barry 発電所	500	Southern Company	石炭焚きボイラ	2011年6月

(3) 当社の CCS 関連技術

石炭焚き火力発電所からの CCS における、当社の関連技術を図5に示す。当社はボイラを含めた石炭焚き火力発電所からの CCS に必要な技術をすべて供給出来る数少ないメーカーのひとつである。本実証プラントにおいても、排ガスから CO₂ を吸収する工程の前処理工程として当社排煙脱硫技術を組み込み、CO₂ 回収の後工程に当社の CO₂ コンプレッサを設置している。

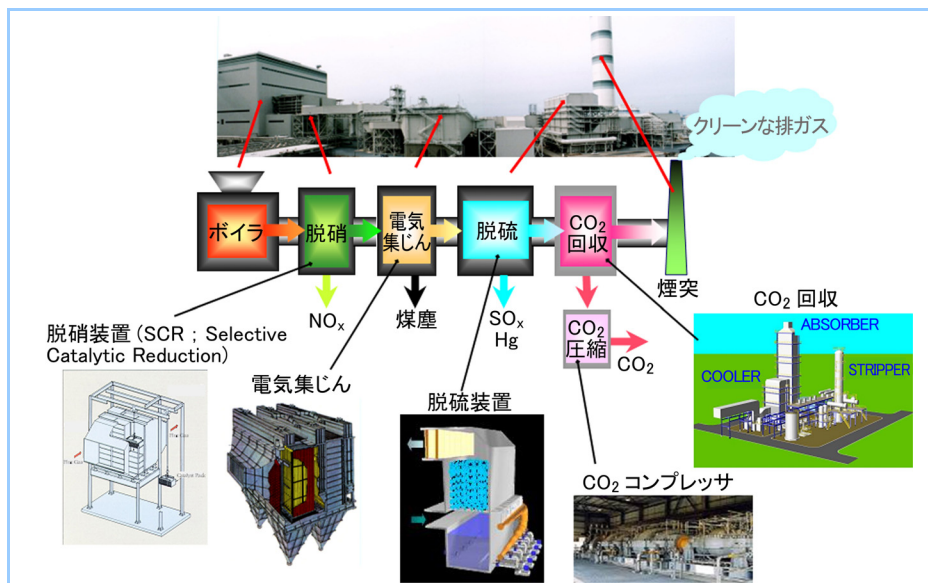


図5 三菱重工の CCS 関連技術

4. 実証試験結果

実証試験結果を下記に示す。

(1) 運転状況

本実証機は 2011 年 6 月に通ガスをを行い、実証運転を開始した。2012 年 11 月末までに累積 6300 時間の安定運転を達成しており、この期間に回収した CO₂ の総量は約 113000 トンになる。また、CO₂ パイプラインの試運転結果を図6に示す。回収・圧縮した CO₂ をパイプラインに供給を始めるとパイプラインの圧力は上昇が始めるが、圧力が 1000psig 近くになるとパイプライン内の CO₂ がガスから超臨界状態に変わっていくため、パイプラインの圧力はしばらく一定となり、その後再び圧力の上昇が始める。CO₂ の地中貯留は 2012 年 8 月に開始し、2012 年の 11 月末までの CO₂ 貯留の総量は 36000 トンになる。

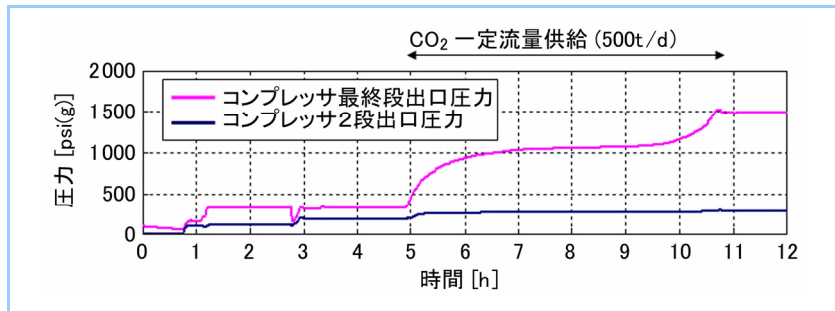


図6 CO₂パイプライン試運転結果

(2) パラメータ試験

CO₂ 回収量, CO₂ 回収率が計画値となるように排ガス量等の主要運転パラメータを設定した標準条件運転, 吸収液循環量を最適化した省エネ運転, 排ガス中の CO₂ 濃度が計画値より高い条件下で, 排ガス量が計画値となるように設定した CO₂ 回収高負荷運転を行った結果を表3に示す. いずれの運転においても, CO₂ 回収量 500t/日及び CO₂ 回収率 90%を達成しており, 発電所側の運転条件によって変化する排ガス条件によらず, 安定した性能が得られることを確認した.

表3 パラメータ試験結果

		標準条件 運転	省エネ 運転	CO ₂ 回収 高負荷運転
排ガス条件	排ガス流量 [Nm ³ (w)/h]	109000	112000	116000
	冷却塔入口 CO ₂ 濃度 [vol.% (w)]	10.8	10.5	10.8
運転結果	CO ₂ 回収量 [t/d]	505	509	543
	CO ₂ 回収率 [%]	91	91	91
	スチーム消費量 [ton-steam/t-CO ₂]	0.98	0.95	1.02

(3) 負荷追従試験

負荷追従試験の結果を, 図7に示す. CO₂ 回収量及び排ガス量の負荷を 60%と 100%の間で毎分5%で上昇させた結果, 当社で開発したダイナミックシミュレーションに基づく運転制御システムが追従することを確認した. 同様に毎分5%で負荷降下させた場合でも追従することを確認している.

(4) リクレーミング運転

石炭焚き排ガスからの CO₂ 回収プロセスにおいて, 不純物の一部は循環吸収液中に蓄積していくため, 効率的かつタイムリーなリクレーミング運転を実施することで吸収液中の不純物を取り除くことは重要である. 本実証試験では, リクレーミング運転を実施し, 吸収液中の不純物を効率的に取り除くことを実証した.

(5) オンライン吸収液測定装置

オンライン吸収液測定装置の外観を図8に示す. 本測定装置は, 実証プラントから定期的に吸収液を自動的にサンプリングし, 吸収液濃度及び吸収液中の CO₂ 濃度を自動的に分析する. 本装置の活用により, 分析作業を従来より大幅に軽減し, かつ循環吸収液中の吸収液濃度及び CO₂ 濃度を高頻度で把握することで, 運転の最適化をタイムリーに行えるようになった. なお, 本装置は, 吸収塔からの放出ガスのサンプリングも可能であり, 放出ガス中のアミン濃度を計測することができる.

以上より, 石炭焚き排ガスからの CO₂ 回収の当社プロセスは商用機として問題なく実用可能であることを確認した. また, CCS の運転を高度化する設備及び制御システムについても商用化レベルにあることを示した.

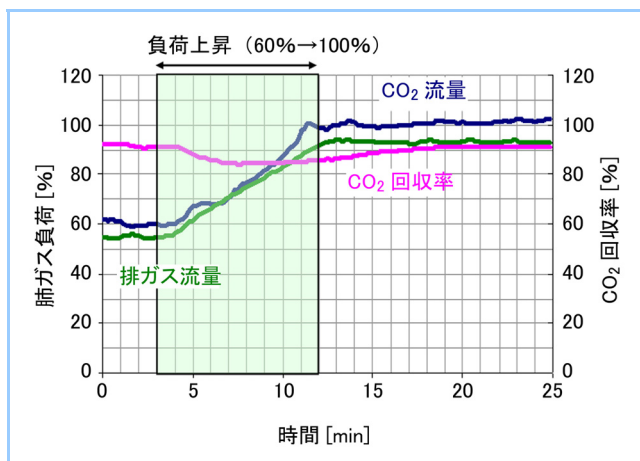


図7 負荷追従試験結果



図8 オンライン吸収液測定装置の外観

5. 今後の試験計画

今後の試験計画の概要を下記に示す。

(1) 運転費及び設備費の低減検討

運転パラメータを広範囲に変化させて、蒸気消費量及び電力消費量等への影響を把握し、更なる運転費低減を検討する。また、設備費低減のための検討・実証を併せて行う。

(2) 装置の長期信頼性の確認

長時間実証運転及びその後の内部点検により、石炭焼き排ガス中の不純物の影響を把握するとともに、不純物対策の信頼性を検証する。

(3) 環境対策

数千トン/日規模のCO₂回収の商業機を設置する場合、数百万m³/h規模の大量の排ガスを処理し、CO₂回収後の大量のガスを吸収塔塔頂から大気に放出することになる。また、リクレーミング運転等によって発生する廃棄物も装置規模の増加と共に増えていく。これらのガス及び廃棄物に含まれる環境規制物質を定量化し、かつ運転パラメータとの関係性を把握して、更なる低減を検討する。

6. まとめ

当社とSouthern Companyは、米国アラバマ州のBarry発電所に建設した世界最大級500t/日規模のCO₂回収貯留実証機の運転を2011年6月より開始し、回収したCO₂の地中貯留を2012年8月よりスタートさせた。実証機は、石炭焼き排ガスからのCO₂回収において、当社プロセスが商用規模で利用可能な段階にあることを示すだけでなく、CCSの運転を高度化する設備及び制御システムについても商用化レベルにあることを示した。今後は、装置の長期信頼性の確認に加えて、数千トン/日規模の商業機の開発に向けて、運転費・設備費の更なる低減及び環境対策の検討を進めていく。

(注) KM CDR Process[®]は、三菱重工業(株)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。

参考文献

- (1) Nick Irvin. et al., Project Update of 500TPD Demonstration Plant for Coal-fired Power Plant, GHGT-11
- (2) Nick Irvin. et al., Project Update of 500TPD Demonstration Plant for Coal-fired Power Plant and MHI Amine Emission Reduction Technology, MEGA Symposium 2012