米国における石炭火力からの CO_2 回収プロジェクト

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

飯嶋 正樹[*1] Masaki Iijima
長安 立人[*2] Tatsuto Nagayasu
上條 孝[*3] Takashi Kamijyo
岸本 真也[*4] Shinya Kishimoto
中谷 晋輔[*4] Shinsuke Nakatani

温暖化対策及び経済発展の双方を実現し，持続可能な社会活動を可能にしていくためには，経済的負担の少ない大幅な CO_2 排出削減手法が求められている．この中でも，発電分野において現在 CO_2 の排出量が最も多い石炭火力に対する CO_2 排出削減技術として，CO_2 回収・貯留(CCS)が期待されている．先進国を中心に大型の CO_2 回収・貯留(CCS)プロジェクトが計画されているが，これら大型 CCS 実証プロジェクトを実施する手始めとして，当社と米国大手電力会社 Southern Company は，米国アラバマ州に既設石炭火力から CO_2 回収量 500ton/日規模の世界最大級の CO_2 回収・貯留実証機を建設し，このたび実証運転を開始した．本報では米国実証機の運転状況と今後の試験計画について紹介する．

1. はじめに

近年，大気中の温室効果ガス削減の切り札として，二酸化炭素回収及び地中貯留(CCS)が注目されている．国際エネルギー機関(IEA)が発行した世界エネルギー展望(2009)によると，2030 年の世界のエネルギー需要は 2007 年の約 1.4 倍に増加すると予測されており，主要な一次エネルギー源として化石燃料は今後ともその増加が見込まれる．しかし，化石燃料を継続使用することは大気中の温室効果ガスの増加を招くことになる．

これに対し，IEA は 2050 年までの発電分野における2つの CO_2 削減シナリオを発表している．一つは Act シナリオと呼ばれ，既に存在もしくは開発中の技術を用いることにより，2050 年の CO_2 の排出量を 2005 年の排出レベルに抑えるというものである．

もう一方は，地球温暖化を押さえるためには CO_2 の排出量を 2005 年レベルに戻すだけでは十分でなく，2050 年までに CO_2 の排出量を現在のレベルの 50%削減することを目標とする Blue シナリオである．

これら2つのシナリオにおける，CO_2 排出削減内訳を図1に示す．この中でも CO_2 回収・貯留は Act シナリオで 21%，Blue シナリオでは 26%もの割合を占めており，発電分野において最も期待されている CO_2 削減技術として位置づけられている．

CO_2 回収・貯留(CCS)とは発電所などの大規模 CO_2 排出源から CO_2 を分離回収し，パイプラインなどで輸送し，地中あるいは海底下の地中帯水層に貯留するものである．図2に地中貯留のイメージを示す．CO_2 の貯留箇所としては廃油田，廃ガス田，帯水層が挙げられる．

*1 エンジニアリング本部
*2 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グループ長 技術士(機械部門)
*3 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
*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

現在，石炭火力からの CO_2 排出削減を目的として，欧州及び北米を中心に政府主導による石炭火力からの大型 CCS 実証プロジェクトが進められようとしている．これに加えて欧州では新設の発電所に CO_2 回収が可能な施設を追設するためのスペースの確保や，CO_2 貯留可能な貯留層の提示といった新設発電所へのキャプチャーレディの義務化を決定している．

このような動向に先駆け，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）と共同し，米国アラバマ州に 500ton/日規模の石炭焚き排ガス CO_2 回収大型実証プラントを建設し，運転を開始した．

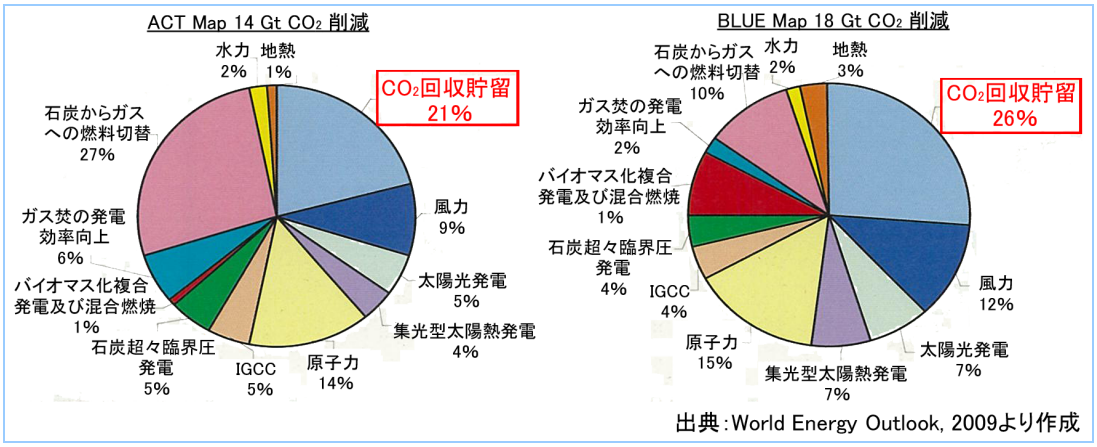

図1　IEA による 2050 年の発電分野における CO_2 削減シナリオ

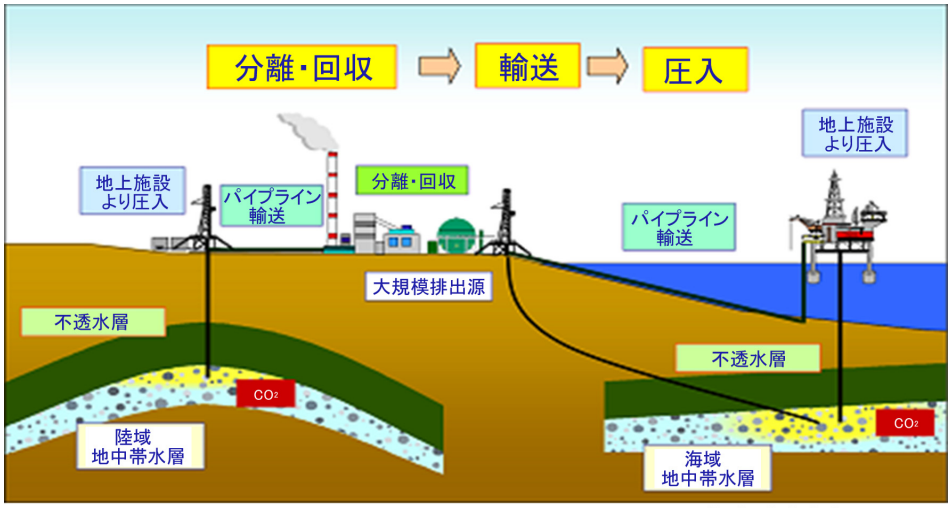

図2　CO_2 地中貯留のイメージ

2. 米国実証プロジェクト概要

当社は Southern Company と共同で 500ton/日の CO_2 回収・貯留実証試験を実施する．実証試験の概要を表1，実証機外観を図3に示す．

表1　米国 Southern Company 向け CO_2 回収実証機概要

項目	
場所	Bucks, Alabama
客先	Southern Company (Alabama Power)
プロセス	KM CDR™ プロセス
吸収液	KS-1™ 吸収液
発電量	25MW 相当
排ガス量	73 800 SCFM (116 800 Nm^3/h)
CO_2 回収率	90%
CO_2 回収量	500 ton/日 (150 000 ton/年)
排ガス中 CO_2 濃度	10.1 mol.%-wet

図3　米国石炭火力発電所向け 500t/d CO_2 回収実証機外観

実証機は米国アラバマ州の Alabama Power の Barry 発電所(図4)に建設され，CO_2 回収から貯留まで一貫して試験を行う．Alabama Power は Southern Company 傘下の電力会社で，アラバマ州内にて約2/3の地域，140 万の世帯・オフィス・工場に電力を供給している．

実証機は，Barry 発電所内の既設石炭火力発電所後流の排煙脱硫装置から出る排ガスの一部を引き込み，CO_2 回収を行う．その後，回収された CO_2 は脱水・圧縮され，パイプラインを通じて Barry 発電所から約 18km 離れた油田地帯の帯水層に貯留される．

本実証試験は 2011 年から4年間実施され，CO_2 回収，脱水及び圧縮は米国三菱重工業(MHIA)と Southern Company Service(SCS)が担当し，貯留は Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership (SECARB)が行う．SECARB は米国エネルギー省(DOE)の補助を受け，アメリカ南東部にて CO_2 の貯留について地質調査及び CO_2 圧入実験を行っている組織である．

本実証装置には当社と関西電力(株)にて共同で開発した KM CDR Process®(3章にて後述)を用いており，CO_2 回収量は 500ton/日，CO_2 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，石炭焚き排ガスに含まれる不純物が CO_2 回収装置及び吸収液に与える影響を把握する．また，これら不純物の挙動の把握及びその対策を検証し，大型実証機や商用機を確実に実現することを目指す．

図4 Barry 発電所所在地

Southern Company 社傘下の Alabama Power が所有する Barry 石炭焚き火力発電所の所在地．
この Barry 発電所において，CO_2 回収から地下貯留までの一貫した実証試験を行う．

3. 三菱重工の CO_2 回収プロセス

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 CO_2 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．

(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．

(1) 実証機プロセスフロー

CO_2 回収装置のフローを図5に示す．

CO_2 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，CO_2 が吸収液に吸収される．CO_2 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，CO_2 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 CO_2 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．

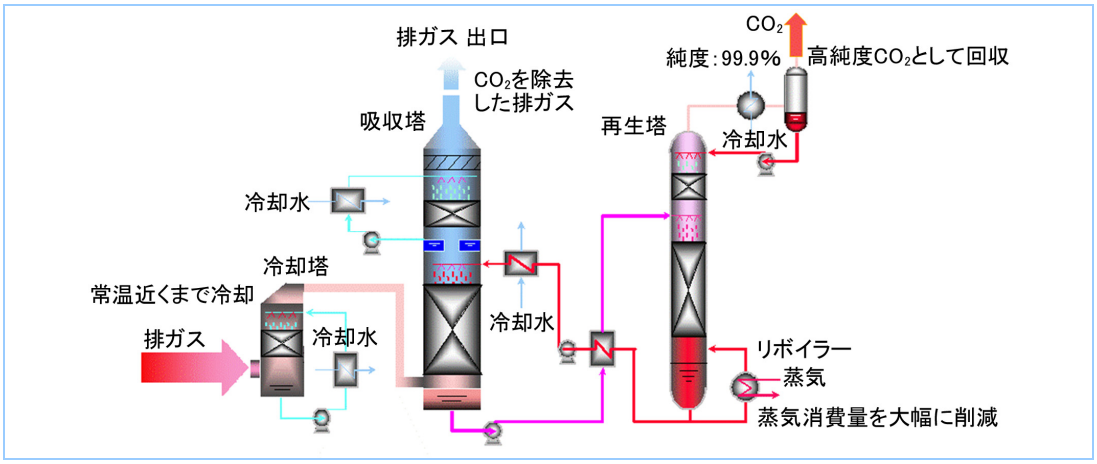

図5 三菱重工の CO_2 回収プロセス(KM-CDR Process®)フロー

(2) 商用機実績

当社は天然ガス焚きボイラやガスタービンの排ガスを対象に CO_2 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，CO_2 回収量は 200ton/日である．回収した CO_2 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．その後も化学的用途あるいは一般的用途として商用機を世界各地に納入してきた．2009 年に納入したアブダビ向け CO_2 回収装置(400ton/日)には初めて省エネルギー再生システム(後述)を導入し，さらに CO_2 回収熱原単位を低減したプラントを納入している．

(3) 石炭焚き排ガス向け試験装置

不純物の多い石炭焚き火力発電所から CO_2 回収を行う場合，排ガス中に含まれる硫黄酸化物，窒素酸化物，煤塵などが吸収液及び回収装置に与える影響について詳細に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，様々な小規模パイロット装置を用いて実証試験を実施してきた．表2に実証試験装置一覧を示す．

まず初めに，当社は1ton/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 CO_2 回収実証試験を開始した．

その後，(財)地球環境産業技術促進機構(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 10ton/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 CO_2 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 CO_2 回収実証試験装置

場所	CO_2 回収量	客先	排ガス源	運転開始
日本 社内 R & D センター	1ton/日	—	石炭焚きボイラ	1999 年 4 月
日本 松島火力発電所	10ton/日	電源開発(株) (J-Power)	石炭焚きボイラ	2006 年 7 月
米国 Southern Company Barry 発電所	500ton/日	Southern Company	石炭焚きボイラ	2011 年 6 月

4. 実証機運転結果

実証機の運転状況を下記に示す．

(1) スタートアップからの運転状況

本実証機は2011年の6月に通ガスを行い実証運転を開始した．2011年の8月末までに累積1612時間の安定運転を達成しており，この期間に回収した CO_2 の総量は約28680tonである．

(2) CO_2回収率及び回収量

図6及び図7に72時間でのCO_2回収量及びCO_2回収率の運転トレンドを示す．実証機は定格運転条件である，CO_2回収量500ton/日及びCO_2回収率90%を安定して達成している．

(3) 省エネ性能

本実証機は当社の省エネプロセスを採用しており，従来プロセスに比べ，大幅な省エネ性能が確認されている．なお，この省エネプロセスは当社のアブダビ向け商用機にて初めて採用されたものである．本実証機では，当社の従来の省エネプロセスの改良により，今まで収めた商用機に対し，更なる蒸気使用量の低減を達成している(図8)．

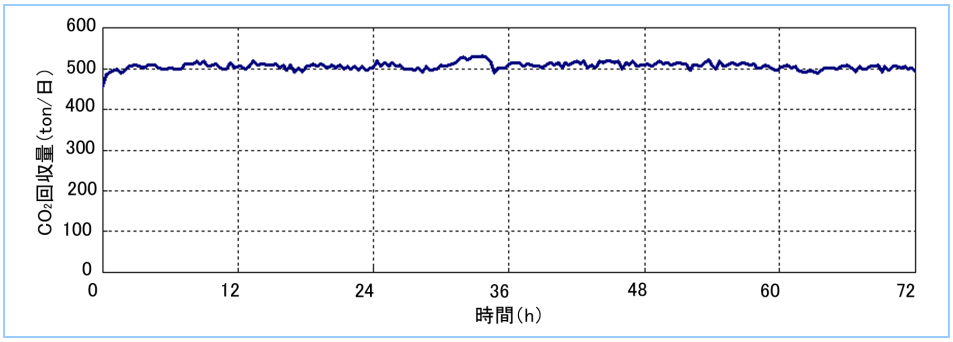

図6 CO_2回収量の推移

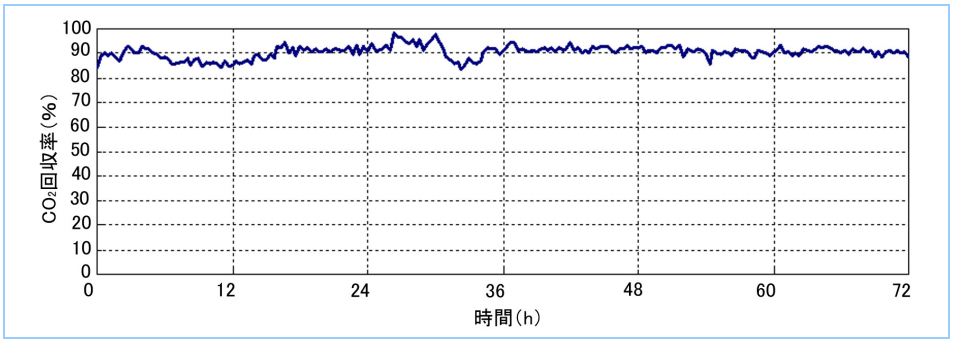

図7 CO_2回収率の推移

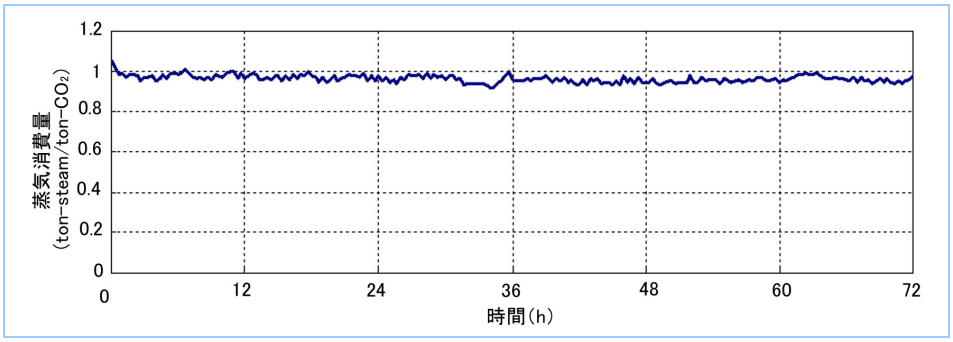

図8 蒸気消費量の推移

(4) 微量成分の影響

排ガス中に含まれる微量成分が装置及び吸収液中に蓄積した場合，腐食や液の劣化などの影響を及ぼす可能性がある．特に石炭焚き排ガス中には多くの不純物を含むため，不純物の影響を把握し，対策を施しておくことは必須である．当社の石炭火力からのCO_2回収実証機は，運転開始より，排ガス中に含まれる微量成分の影響を受けず，安定して稼動し続けている．

以上より，当社 CO_2 回収技術は石炭焚き火力発電所排ガスについても商用規模で利用可能な段階にあることが確認された．

本実証機の実証運転期間中には，更なるCO_2回収熱原単位低減，吸収液消費量低減を目的とした試験を含め，後述する様々な実証試験プログラムを実施する予定である．

5. 今後の試験計画

本実証機は運転開始後から4年間の実証運転を計画している．運転開始から今までに，排ガス中に不純物を多く含む条件にもかかわらず，実証機は安定して稼動し続けている．当社とSouthern Company は実証運転期間中に CO_2 回収装置に関する種々のテストプログラムを計画している．試験内容の一例を下記に示す．

(1) 物質及び熱収支の確認

(2) 排水及び排ガス中の排出成分の確認

排水及び処理後の排ガス中に含まれる微量成分の把握を行う．

(3) プロセス値のパラメータ試験とシュミレーションツールの精度向上

設計シュミレーションツールの精度向上を目的として，運転条件を変えて試験を実施し，データの蓄積を行う．

(4) 装置運転条件の最適化

運転パラメータを変えた状態で実証機の運転を行い，運転コストへの影響の把握することで，最適運転条件を掌握する．

(5) 負荷追従試験

既設発電所の負荷変動に対応し，CO_2 回収装置の運転負荷を自動的に調節するシステムの検証を行う．

(6) 装置の長期信頼性の確認

長時間運転により，石炭焚きボイラ排ガス中の不純物の影響を監視するとともに，不純物対策の信頼性を確認する．

(7) 高煤塵濃度条件下試験

炭種の変更などにより，CO_2 回収装置に多量の煤塵が飛来する条件下での装置への影響把握及び対策の検証を実施する．

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 500ton/日規模の CO_2 回収貯留実証機の建設を終え，2011 年6月に実証運転を開始した．実証機は定格の CO_2 回収量及び回収率を達成し，当社省エネプロセスの採用により低い蒸気消費量を達成している．なお，プラントは運転開始後，安定して稼動し続け，当社 CO_2 回収装置の信頼性の高さがうかがえる結果となった．

本実証機により得られた知見をフィードバックすることで，トラブルフリーかつ最適化された石炭焚き火力発電所からの大型 CO_2 回収装置の商用化につなげていく．

参考文献

(1) International Energy Agency, World Energy Outlook, 2009

(2) The European CCS Demonstration Network, CO_2 Capture and Storage

(3) Endo, T. et al., Current Status of MHI CO_2 Capture Plant technology, Large Scale Demonstration project and Road Map to Commercialization for Coal Fired Flue Gas Application, GHGT-10