

石炭火力発電所排ガスからのCO₂分離回収パイロットプラント試験

Validation Testing of Carbon Dioxide Capture Pilot Plant Using Flue Gas of Coal-Fired Thermal Power Plant

北村 英夫 江上 法秀 大橋 幸夫

■ KITAMURA Hideo ■ EGAMI Norihide ■ OHASHI Yukio

石炭は、石油や液化天然ガス (LNG) などと比べて、採掘可能埋蔵量が豊富で世界中に広く分布しているため安定供給性に優れ、より安価であるという利点がある。このため、火力発電所の燃料として、石炭の需要は大きい。しかし、石炭火力発電は発電量当たりの二酸化炭素 (CO₂) 排出量が多いため、地球温暖化防止の観点から、排ガスからのCO₂分離回収技術の実用化が強く求められている。

東芝は、この要求に応えるため、化学吸収法を用いた燃焼後回収方式の開発を進めている。この方式は新設だけでなく既設の発電所へも適用でき、かつ大量の燃焼排ガスからの分離回収に適している。2009年9月に(株)シグマパワー有明の三川発電所内にCO₂回収量10t/日規模のパイロットプラントを建設し、実排ガスによる実証試験を開始した。商用機の実現へ向けて、有用なデータを取得している。

Coal reserves are relatively rich and widely distributed around the world compared with other fossil fuels such as oil and liquefied natural gas (LNG). Coal therefore has advantages in terms of stable supply and low cost as a fuel for power generation. However, the carbon dioxide (CO₂) emissions per unit of electricity generated by coal are larger than those of other fossil fuels. The development of technology for separation and capture of CO₂ from the flue gas of coal-fired thermal power plants is thus required from the standpoint of global warming prevention.

Toshiba has been developing a post-combustion capture (PCC) method using chemical absorption, which is suitable for CO₂ capture from large volumes of flue gas and can be applied to not only newly constructed but also existing power plants. We constructed a 10 tons-CO₂/day-scale pilot plant at the Sigma Power Ariake Co., Ltd.'s Mikawa Power Plant in September 2009, and have been conducting test operation to verify the performance of the system using actual flue gas.

1 まえがき

地球温暖化防止の観点からCO₂の排出量削減は急務の課題になっている。なかでも、石炭火力発電所の燃焼排ガスに含まれるCO₂の量は膨大であり、全世界のCO₂排出量の約30%を占めている⁽¹⁾。同じ火力発電で比較しても、最新鋭のLNGコンバインドサイクル発電に対して、石炭火力発電の出力

当たりのCO₂排出量は約2倍である。

一方、石炭の採掘可能埋蔵量の多さ、分布の広さ、及び価格の安さから、石炭火力発電は、現在世界の発電量の約40%を占めている。更に、開発途上国や産炭国を中心に石炭火力発電所の増設が計画されていることから、石炭が世界の電力供給に果たす役割は今後も大きいと考えられる。

このような背景から、地球温暖化防止対策の一つとして、特

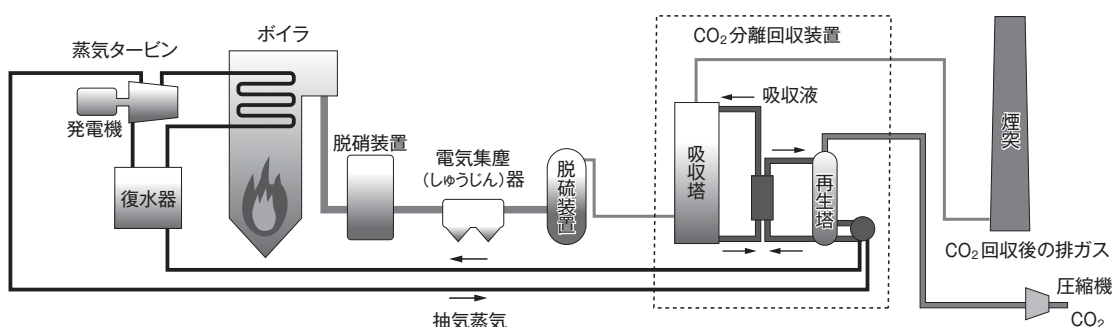


図1. 化学吸収法を用いた燃焼後回収方式 — ボイラ燃焼排ガスと吸収液を接触させてCO₂を取り込み、再生塔で蒸気エネルギーを加えて吸収液からCO₂を分離する。
PCC method using chemical absorption

に石炭燃焼排ガス中のCO₂を分離して回収した後、地中に隔離するCCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) 技術の確立が望まれている。主なCCS技術としては、燃焼前回収方式、酸素燃焼方式、及び燃焼後回収方式が挙げられるが、東芝は汎用性が高く、既設の発電所へ後から適用することもできる、化学吸収法を用いた燃焼後回収方式の開発を行っている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。

当社では、CO₂回収量10 t/日規模のパイロットプラントを2009年9月に建設し、実排ガスによる実証試験を開始した。ここでは、その試験実績について述べる。

2 化学吸収法を用いた燃焼後回収方式の概要

火力発電所に化学吸収法を用いた燃焼後回収方式を適用した例を図1に示す。

ボイラからの燃焼排ガスに、まず脱硝、集塵(しゅうじん)、及び脱硫の処理を施した後、吸収塔と再生塔から成るCO₂分離回収装置に導く。CO₂分離回収装置内では吸収液を循環させ、CO₂を吸収、解離する。CO₂を解離するためには熱エネルギーが必要なので、タービンシステムから抽気した蒸気を用いる。また吸収液としては、CO₂の解離反応のための必要エネルギーが少ない、アミン系の水溶液を用いる。

3 パイロットプラントの概要

パイロットプラントの基本仕様を表1に、その外観を図2に示す。このプラントは、福岡県大牟田市の(株)シグマパワー有明三川発電所内に当社の設備として建設したものであり、石炭火力発電所から発生する実排ガスの一部を導入して処理を行う。

パイロットプラントの目的は、次のとおりである。

- (1) 実排ガスに対して、当社が開発した高性能アミン系吸収液のCO₂吸収性能の確認
- (2) 長期信頼性の検証
- (3) システムの過渡特性や大型化など、商用機に向けた課題抽出と対策

表1. パイロットプラントの基本仕様

Basic specifications of pilot plant

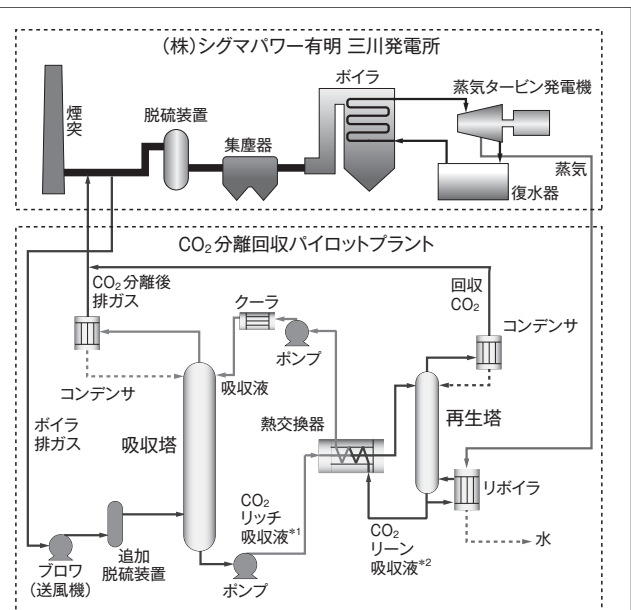
項目	仕様
排ガスの種類	石炭焚(た)きボイラ排ガス
排ガス中のCO ₂ 濃度	約12 vol%
処理ガス量	2,100 Nm ³ /h ^(注1)
CO ₂ 回収率	90%
CO ₂ 回収量	10 t/日

(注1) Nm³は0℃、1気圧の状態に換算した体積。



図2. パイロットプラント — 2009年9月に福岡県大牟田市の(株)シグマパワー有明三川発電所内に建設し、実証試験を開始した。

Pilot plant at Mikawa Power Plant



*1: CO₂を多く含む吸収液
*2: CO₂含有量が少ない吸収液

図3. パイロットプラントのフロー — 発電所から発生する実排ガスの一部を処理し、純度99%以上のCO₂を約10 t/日の規模で分離回収する。

Flow diagram of pilot plant

パイロットプラントのフローを図3に示す。排ガスを脱硫装置と煙突の間から抽気して、CO₂分離回収装置の吸収塔に下部から供給する。一方、CO₂の吸収液は吸収塔上部から供給し、両者を接触させながら対向して流すことによって、排ガス中のCO₂を吸収液中に取り込む。CO₂濃度が低下した燃焼排ガスは、再び煙道に戻す。

一方、CO₂を多く含んだ吸収液は、吸収塔底部から抜き出して再生塔の上部に供給し、塔内を流し落とす。再生塔に対しては、付属するリボイラ（加熱器）に蒸気タービンからの抽気蒸気を供給し、内部でCO₂の解離反応を生じさせるためのエネルギーを供給する。再生塔で吸収液中から解離したCO₂は再生塔上部から抜き出すが、このプラントの場合は再び煙道に戻す。

また、吸収塔から流出するCO₂を多く含んだ吸収液と、100℃以上の再生塔から流出するCO₂含有量が少ない吸収液を、熱交換器に導入してエネルギー回収を行う。

なお、排ガス中に含まれる硫黄酸化物(SO_x)の吸収液に対する影響を調査するため、供給SO_x濃度を調整する追加脱硫装置を吸収塔手前に設置している。

4 試験結果

4.1 運転時間実績

パイロットプラント竣工以来の総運転時間の推移を図4に示す。実証試験は、2009年9月に開始して各種パラメータ試験などを実施している。2010年4月末時点で総運転時間は2,000hに到達しており、現在も試験を継続中である。

4.2 CO₂回収率と回収量

パイロットプラントでのCO₂回収率及び回収量は、吸収塔入口でのCO₂濃度とガス流量の測定値を基に、式(1)及び式(2)により算出した。

CO₂回収率 (%)

$$= \frac{Q_{in} \times C_{in} - Q_{out} \times C_{out}}{Q_{in} \times C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

CO₂回収量 (t/日)

$$= (Q_{in} \times C_{in} - Q_{out} \times C_{out}) \times \frac{44 \times 24}{22.4 \times 10^5} \quad (2)$$

Q_{in} : 吸収塔入口流量 (Nm³/h)

C_{in} : 吸収塔入口CO₂濃度 (vol%)

Q_{out} : 吸収塔出口流量 (Nm³/h)

C_{out} : 吸収塔出口CO₂濃度 (vol%)

継続して性能を維持できるか確認するため、各種の試験を行うなかで、固定条件におけるCO₂の回収率と回収量を定期的に測定した。この結果を図5に示す。約1,100時間の運転期間にわたってCO₂回収率とCO₂回収量はほぼ一定であり、吸収液の劣化は認められなかった。また、このことはサンプリングした吸収液の基礎特性を測定した結果からも確認された。今後も運転を継続し、性能の推移を監視し続ける。

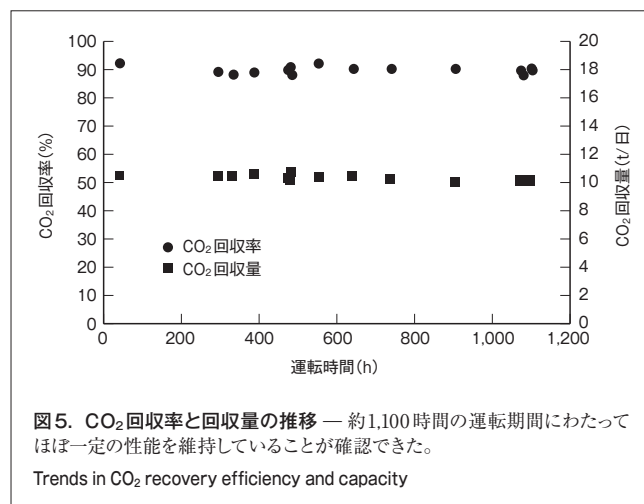
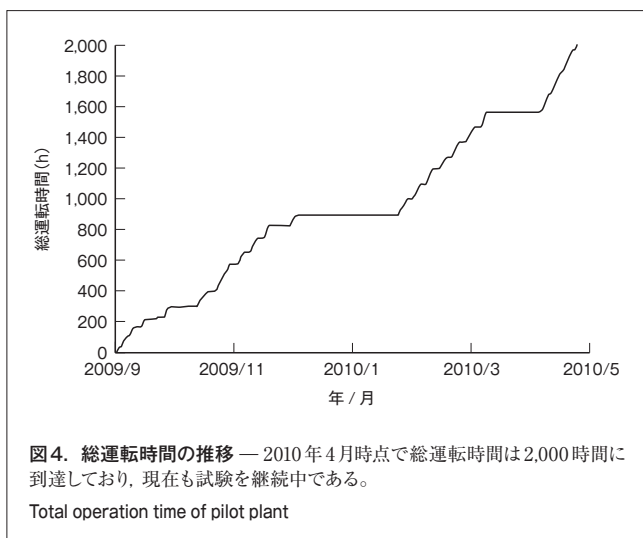
再生塔で回収したCO₂の純度は、水分を除いて99%以上である。

4.3 CO₂分離回収エネルギー

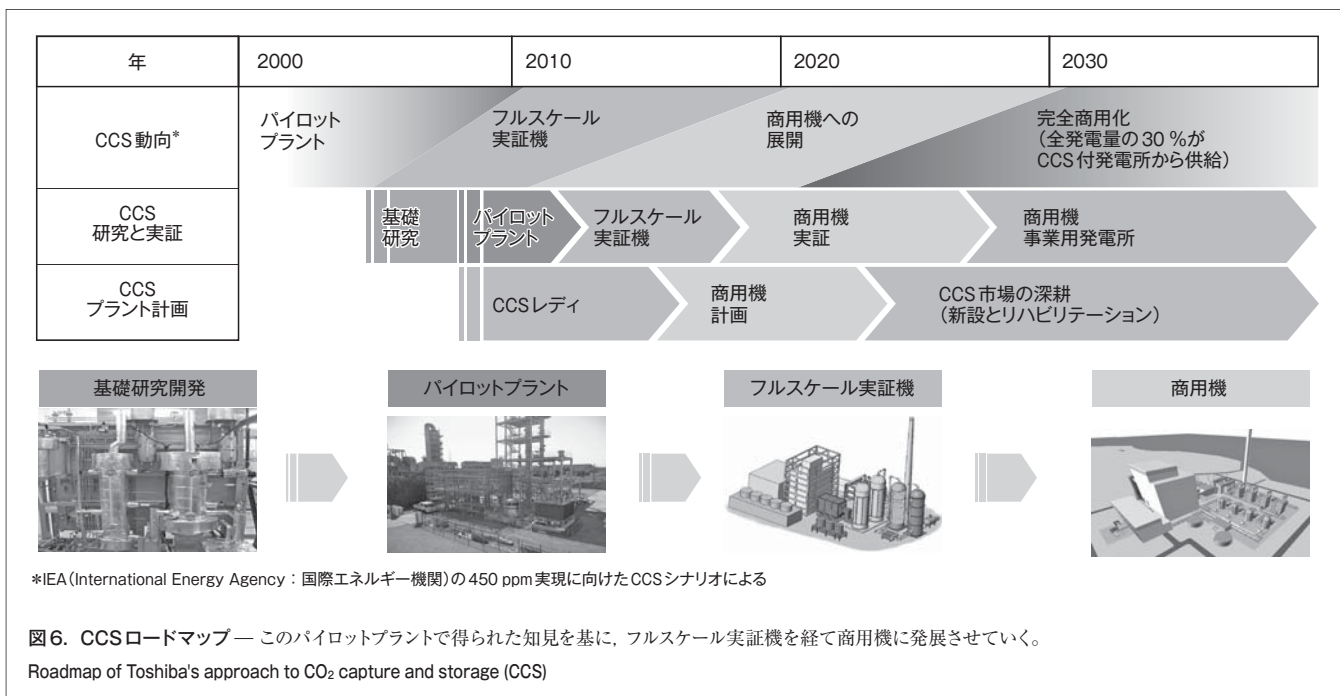
CO₂の分離回収に必要なエネルギーは蒸気タービンから抽気した蒸気によって供給するが、化学吸収法では必要な蒸気量が大きく、発電効率を低下させてしまうことが知られており、使用蒸気量の低減が求められている。

使用蒸気量の尺度としては、一般的には回収したCO₂1t当たりの蒸気エネルギー消費量が用いられる。このパイロットプラントでも、リボイラに供給される熱量を測定してCO₂分離回収エネルギーを算出した。

その結果、4.2節で述べた性能確認試験で得られたCO₂分離回収エネルギーは、3.2～3.3 GJ/t-CO₂^(注2)であった。これ



(注2) CO₂を1t分離回収するのに要する蒸気エネルギー (GJ)。



まで得た試験結果を基にプロセスの最適化を検討した結果、現在の吸収液で3 GJ/t-CO₂以下を達成できる見通しを得ており、今後この改良プロセスをパイロットプラントに適用し実証していく予定である。

5 将来の展望

CCS 実用化に向けて当社が掲げるロードマップを図6に示す。現在進めているパイロットプラントの試験結果を基に、より大型のCO₂回収設備の試設計も並行して行っており、フルスケール実証機を経て商用機に発展させていく計画である。また、既に新設火力発電所建設の前提条件ともなりつつあるCCSレディプラント^(注3)の計画にもこの実証プラントで得られた知見を反映し、発電プラントとCO₂回収設備の最適統合エンジニアリングの実現を目指している。

6 あとがき

CO₂回収量10t/日規模のパイロットプラントを建設し、石炭火力発電所の実排ガスを使った実証試験を開始した。

当初計画したCO₂回収性能を達成し、また、各種の運転パラメータによる影響や過渡特性など、有用な試験データを取得できた。今後は、CO₂分離回収エネルギーのいっそうの低減とともに、長期連続運転での信頼性や運用性の検証を行っていく。

(注3) CO₂回収設備を後から設置することができる火力発電プラント。

文献

- International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2009. Paris, IEA, 2009, 696p.
- 大橋幸夫, ほか. 火力発電所の燃焼排ガスからのCO₂分離回収技術. 東芝レビュー. 63, 9, 2008, p.31 - 33.
- Ogawa, T., et al. "Development of Carbon Dioxide Removal System from the Flue Gas of Coal Fired Power Plant". Energy Procedia. 1, 1, p.721 - 724. <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/18766102>>, (accessed 2010-07-06).
- 藤田己思人, ほか. "化学吸収法におけるCO₂回収エネルギーの低減". 化学工学会第75年会 (2010) G313. 鹿児島, 2010-03, 化学工学会, 2010, p.279.



北村 英夫 KITAMURA Hideo

電力システム社 火力・水力事業部 CCS推進担当主務。
CO₂分離回収システムの開発に従事。化学工学会会員。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



江上 法秀 EGAMI Norihide

電力システム社 火力・水力事業部 CCS推進担当主務。
CO₂分離回収システムの開発に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



大橋 幸夫 OHASHI Yukio

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 環境・水システム開発部主幹。CO₂分離回収システムの開発に従事。日本機械学会, エネルギー・資源学会会員。技術士 (機械部門)。
Power and Industrial Systems Research and Development Center