

特集論文

石炭火力発電所排ガスのCO₂回収長期実証試験Long Term Demonstration of CO₂ Recovery from the Flue Gas of a Coal Fired Power Station

飯嶋正樹*¹
Masaki Iijima

高品徹*²
Toru Takashina

岩崎省二郎*¹
Shojiro Iwasaki

沖野進*³
Susumu Okino

岸本真也*⁴
Shinya Kishimoto

化石エネルギーの中で安価で長期的に安定供給が可能な石炭のニーズが高まりつつあるが、石炭火力発電はCO₂の排出が多いという問題があり、今後温暖化対策の面から、CO₂回収・貯留が不可欠となる。当社は関西電力(株)と共に、天然ガス燃焼ボイラ排ガスからのCO₂回収技術を開発し実用化しているが、これを石炭燃焼排ガスに適用するため、(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)による補助及び電源開発(株)の協力を得て、松島の石炭燃焼火力発電所に実証試験装置を建設した。当社は、本試験装置にて4000時間の実証運転を達成した。

1. はじめに

石油・天然ガスの価格の高騰が続き、近い将来の供給不測が危惧されている中で、今後化石エネルギーの中で安価で長期的に安定供給が可能な石炭のニーズが高まりつつあり、今後の火力発電の中核は石炭火力となると見られている。

しかしながら、石炭火力はCO₂の排出が多いという問題があり、温暖化対策を実施する場合、石炭火力からのCO₂回収・貯留が不可欠となる。

当社は関西電力(株)と共同して天然ガス燃焼ボイラやガスタービン排ガスからの省エネ性能の優れた図1のようなCO₂回収装置を開発し、化学用途やドライアイス等の一般用途として、商用装置を納入し稼働している。図2は、この技術を導入したマレーシアの尿素プラント向けの当社CO₂回収装置であり、現在まで世界最高水準の性能を安定的に達成している。

石炭燃焼ボイラ排ガス中には、天然ガス中に含まれない微量成分としてSO_xや煤塵その他不純物が多く含まれており、これら不純物をCO₂回収前に取除く技術をCO₂回収と共に実証する事を目的として、RITE及び電源開発(株)の協力を得て実証試験装置を

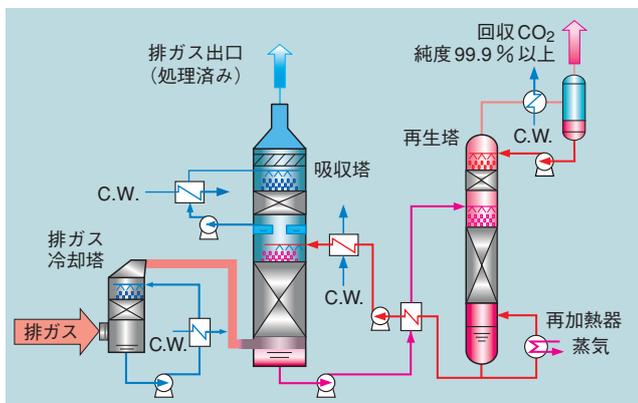


図1 CO₂回収装置フロー図

排ガスは、排ガス冷却塔で冷やされた後、吸収塔内でアルカリ性の吸収液と接触し排ガス中のCO₂が吸収される。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を放出し再生される。再生した吸収液は吸収塔に戻し再利用する。



図2 マレーシアに納入したCO₂回収装置

*¹ プラント・交通システム事業センター環境プラント部主席

*² 技術本部広島研究所化学プロセス研究室長 工博

*³ 技術本部広島研究所化学プロセス研究室主席

*⁴ プラント・交通システム事業センター環境プラント部環境技術計画グループ

建設し、平成18年7月から連続運転による試験を開始した。本報では、実証試験の結果を報告すると共に今後の取組みについて述べる。

2. 石炭火力からのCO₂回収の必要性

火力発電の視点から化石エネルギーを見ると、天然ガスを使うか石炭を使うかの2つのオプションで考える必要があり、石油はあくまでもピーク対応火力の燃料との位置付けとなる。

天然ガスは、ロシアや中東を中心に十分な埋蔵量があるものの、最近では石油生産のピークに遅れること10年程度でピークを迎えるのではと言われており、また天然ガス価格が大幅に上昇してきたことから、発電用燃料として石炭の比率が今後ますます高まりつつある。

今後の新設火力の計画としては、産ガス国は天然ガスコンバインドに、それ以外の国々は石炭火力主体で建設されると予想される。

一方において温暖化対策を考えると、化石燃料を使用し続ける限りCO₂の回収貯留は不可欠となるのではと考えられるようになり、ここ数年来CCS (Carbon Capture and Sequestration)の研究が進み具体的実施が叫ばれるようになって来た。CCSの対策対象として火力発電所は全世界のCO₂排出量の約1/3を占めており、かつ集中したCO₂排出源であるため、現在その焦点が当てられている。

当社はCO₂の有効利用と更には温暖化対策を目的として発電所排ガスからのCO₂回収技術開発に取り組む、比較的クリーンな排ガスである天然ガス焼きボイラや炉からのCO₂回収技術を商用化しており、次のターゲットとして石炭火力からのCO₂回収の商用化に向け実証試験を開始している。

3. 石炭火力からのCO₂回収の技術的課題

石炭焼きボイラ排ガス中には微量成分としてSO_x、NO_x、煤塵(ばいじん)等が含まれており、下記の技術的課題がある。

(1) 長期運転による確認

CO₂回収装置の運転状況を長期間にわたり監視し、想定した前処理装置での安定運転の可否及び安定運転を阻害する要因を確認する。

(2) 煤塵の影響把握

① 捕集率の把握

煤塵の蓄積は機器への固着やストレーナ等の閉塞を引き起こす。そのため、煤塵の蓄積に対応した装置設計を行う必要がある。

よって、これらの装置設計のベースとなる各系

統での煤塵の蓄積量及び捕集率の把握を行う必要がある。

② 吸収液への影響把握

吸収液中において煤塵は、吸収液の泡立ち性を増加させることが考えられる。吸収液の泡立ち性が増すと、再生塔及び吸収塔においてフラッディング現象^(注1)が起こりやすくなり、安定した運転を阻害する。そのため、吸収液中の煤塵量と泡立ち性・フラッディング現象の相関関係を確認し、これらに対応した装置設計及び運転管理を行う必要がある。

注1：充填塔を降下する液が、対向して上昇するガス流れの影響により、その落下を制限される現象。

③ 機器への影響把握

液中の煤塵は機器への固着、閉塞、伝熱能力の低下を引き起こすことが考えられる。そのため、煤塵の機器への影響を把握し、これらに対応した装置設計及び運転管理を行う必要がある。

(3) SO_xの影響把握

① 脱硫セクションでの除去率

SO_xは吸収液の劣化を促進する。そのため、苛性ソーダを用いた脱硫セクションを設置し、吸収塔に導入されるSO_x濃度を低く抑える。よって、脱硫セクションでの脱硫能力を検証するため、SO_xの除去率の確認を行う必要がある。

② 吸収液への影響把握

脱硫セクションを通過したガス中にも微量のSO_xが含まれている。そのため、これらの微量のSO_xが吸収液中に蓄積し、熱安定性塩^(注2)を生成することが考えられる。よって、熱安定性塩の生成量の挙動を確認する必要がある。

注2：酸とアルカリの化合物で、蒸気による加熱により解離しない。

(4) NO_xの影響把握

NO_xは吸収液の劣化に影響する。そのため、NO_xがCO₂回収装置のどの部分でどれだけ吸収されるかを把握する必要がある。

(5) 塩素、フッ素の影響把握

塩素・フッ素の蓄積は機器の腐食を引き起こすことが考えられる。よって、各機器の材質の選定のために、CO₂回収装置のどの部分にどの程度蓄積するかを把握する必要がある。

(6) 吸収液損失量の把握

吸収液は運転費の中で蒸気に次ぎ大きな割合を占める。そのため、劣化等による損失を抑えることは重要である。よって、吸収液損失量の確認を行う必要がある。

4. 実証試験結果

4.1 装置概要

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE) の“京都議定書目標達成技術開発促進事業”により補助金 (50%補助) を受け、電源開発(株)の協力を得て、松島の既設石炭火力発電所に実証試験装置を建設した。試験装置仕様及びフロー図をそれぞれ表1及び図3に示す。

表1 CO₂回収実証試験装置仕様

項目	諸元(計画値)
設置場所	電源開発(株)松島火力発電所内
排ガス源	石炭焼きボイラ排ガス
処理ガス量	1750 m ³ N/h
CO ₂ 回収率	90%
回収CO ₂ 量	計画値9.5 ton/day (Max.10 ton/day)
CO ₂ 濃度	14.1 v%
その他不純物	煤塵, SO _x , NO _x 等
吸収液	KS-1吸収液

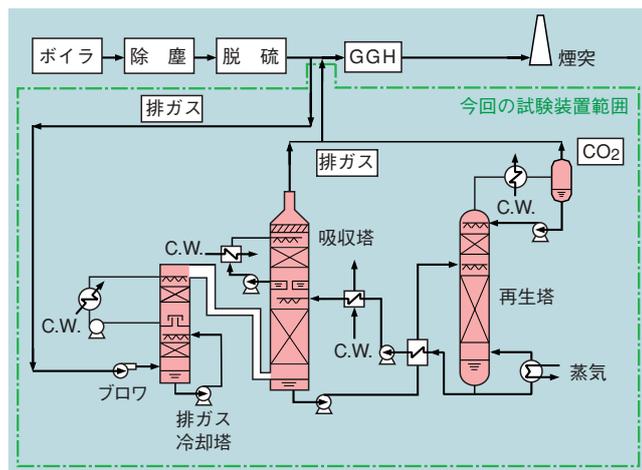


図3 CO₂回収実証試験装置フロー図
本図の機器構成等は商用機ベースの標準的なものであり、実際の装置とは若干異なる。

4.2 測定方法及び試験結果

(1) 運転状況の監視

(a) 測定方法

CO₂回収装置の運転状況を示す各流量、温度、圧力等のデータを、時系列に沿ってコンピュータ内に蓄積する。また、ガス計測にてCO₂の純度を確認する。

(b) 試験結果

前処理装置の設置により、長期間 (4000 h) に渡り安定運転を実施することが出来た。性能面の評価を次に示す。

① CO₂回収率及びCO₂回収量

吸収塔入口・出口のCO₂濃度計指示値から算出したCO₂回収率及び流量計にて測定した回収CO₂量の時系列データを図4に示す。

CO₂回収率、CO₂回収量共に、実証試験期間 (4000時間) に渡って計画と同等以上の性能が得られた。

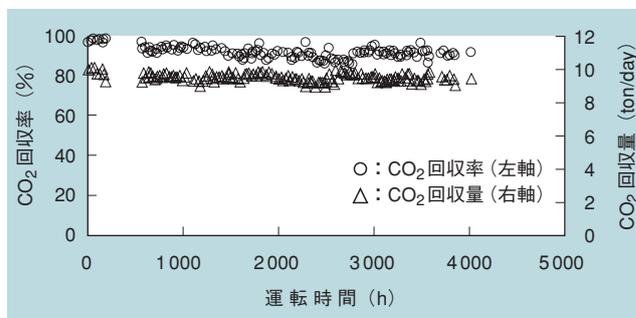


図4 CO₂回収率及びCO₂回収量の推移

② CO₂回収熱原単位

CO₂回収装置の運転費で最も大きな割合をしめる蒸気量を低く抑えることがプラント運転コストを下げる上で重要であり、本試験にて、蒸気消費量とCO₂回収量からCO₂回収熱原単位を算出したので次に示す。

● CO₂回収熱原単位実績 730～820 kcal/kg-CO₂

今回、吸収塔と再生塔は天然ガス焼きとほぼ同様の設計手法を適用しているが、原単位は計画以上の性能が得られた。なお、本原単位は、CO₂再生過程に当社及び関西電力(株)の共同で開発した新プロセス^(注3)を適用することで、さらに15%程度の低減が見込める。

注3：吸収液及び蒸気凝縮水からの熱回収を利用したCO₂再生塔における省エネプロセス。

③ 回収CO₂純度

表2に天然ガス焼き向けCO₂回収装置の商用機と今回の実証機との比較を示す。

当社装置においては、石炭焼きでも天然ガス焼きと同様の高純度を確保できる事がわかった。

表2 回収CO₂純度

天然ガス焼き商用機実績	本実証機実績
99.9%以上	99.9%以上

(2) 煤塵の影響把握

① 捕集率の把握

(a) 測定方法

ガス及び液中の煤塵濃度を測定することにより、CO₂回収装置の各部分の蓄積量及び捕集率

を把握する。煤塵の蓄積量及び捕集率を把握する部分とその為の測定項目を表3に示す。

表3 煤塵捕集率把握のための測定項目

煤塵の蓄積量・捕集率を把握する部分	測定項目
1. 排ガス冷却塔系統	・排ガス冷却塔入口煤塵濃度 ・排ガス冷却塔出口煤塵濃度 ・排ガス冷却塔排水中の煤塵濃度
2. 吸収液系統	・吸収塔出口ガス中の煤塵濃度 ・吸収液中の煤塵濃度 ・フィルタ(*1)前後吸収液中の煤塵濃度

*1: 吸収液循環系統に設置

(b) 試験結果

各部煤塵の計測により次のことがわかった。

- 排ガス中の煤塵捕集率は、排ガス冷却塔で40～50%程度、吸収塔で40～60%程度。
- 吸収液中の煤塵は、フィルタで除去され、吸収液中の煤塵濃度は上昇していない(概ね10 mg/kg以下のレベル)。

② 吸収液への影響

(a) 測定方法

吸収液中の煤塵濃度測定、吸収液の発泡性試験及び吸収塔・再生塔の差圧の監視により、吸収液中の煤塵量と泡立ち性・フラッディング現象の相関関係を把握する。

(b) 試験結果

吸収液中の煤塵濃度と、吸収液の泡立ち性を確認したが、吸収塔差圧及び再生塔差圧との相関はなく、石炭焚き排ガスにおいて吸収液中煤塵濃度10 mg/kg以下においてはフラッディングに寄与しないことがわかった。

③ 機器への影響

(a) 測定方法

煤塵の機器への影響を把握するため、表4の様に煤塵の影響があると考えられる機器の運転状況を監視する。

表4 煤塵の機器への影響把握のための監視項目

機器名称	運転監視項目
1. 排ガス冷却塔 吸収塔	・塔差圧
2. 熱交換器	・熱伝達係数

(b) 試験結果

- 排ガス冷却塔差圧、吸収塔差圧

図5及び図6に排ガス冷却塔及び吸収塔の差圧の時系列データを示す。4000時間経過後も

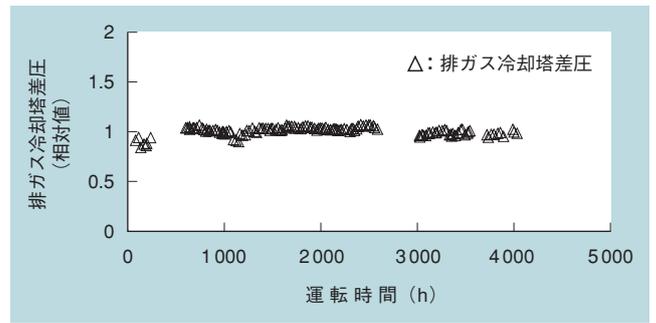


図5 排ガス冷却塔差圧の推移

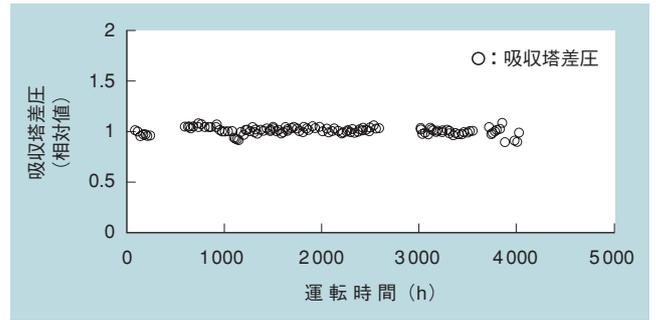


図6 吸収塔差圧の推移

差圧の上昇傾向はなく、今回の前処理手法にて充填物やデミスタの詰まりを防止できることがわかった。

● 熱交換器 伝熱係数

冷却水を用いた熱交換器において、運転時間の経過に伴う伝熱係数の低下が生じた。ただし、これは冷却水の汚れが熱交換器伝面に付着したためであり、適切な水処理の実施により対応可能と考える。なお、それ以外の熱交換器の伝熱係数の著しい低下は見受けられなかった。

(3) SOx の影響把握

① 脱硫セクションでの除去率

(a) 測定方法

排ガス冷却塔入口ガス中のSOx濃度と出口ガスのSOx濃度の測定により、脱硫セクションでのSOx除去率を算出する。

(b) 試験結果

脱硫セクションでのSOx除去率は98%以上であった。

② 吸収液への影響

(a) 測定方法

吸収液中の熱安定性塩濃度を測定する。

(b) 試験結果

排ガス冷却塔出口のSOxは、ほぼ全量が吸収液に吸収され熱安定性塩となっていたが、脱硫セクションの設置により、その生成量を低く抑えることができた。これにより、吸収液の性能

を天然ガス焚きと同レベルに保つことができた。

(4) NO_x の影響把握

① 吸収率

(a) 試験方法

排ガス冷却塔入口及び出口ガス中の NO_x 濃度と吸収塔出口ガスの NO_x 濃度の測定より、排ガス冷却塔及び吸収塔での NO_x 吸収率を算出する。

(b) 結果

排ガス中の NO_x は排ガス冷却塔でほとんど吸収されず、吸収塔で 1～3% 程度吸収されていた。

(5) 塩素、フッ素の影響把握

① 蓄積量

(a) 試験方法

排ガス冷却塔排水、吸収液中の塩素・フッ素の濃度を測定する。

(b) 試験結果

塩素及びフッ素は CO₂ 回収装置前流（既設脱硫装置等）にて高度除去されており、排ガス中及び液中に検出されないことが確認された。

(6) 吸収液損失量の確認

① 損失量

(a) 試験方法

吸収液の分析等により損失量を算出する。

(b) 試験結果

吸収液損失量は概ね計画値に近い値が得られた。本試験により石炭焚きでの吸収液損失量を定量的に把握する事が出来たので、今後の実案件に適用していく予定である。

4. 3 試験結果の成果

前処理装置として、超高脱硫及び排ガス水洗機能を備えた排ガス冷却塔を設置することで、石炭焚き微量成分の処理が可能であり、CO₂ の吸収・再生を安定して行えることを実証することが出来た。また、次の具体的成果が得られた。

- (1) 4000 時間の実証試験運転時間を達成し、計画と同等以上の CO₂ 回収性能を達成できる事を実証できた。
- (2) 前処理装置の煤塵除去能力及び吸収液系統での煤塵の挙動を把握することが出来た。
- (3) SO_x 及び NO_x の各部吸収率及び挙動を把握出来た。
- (4) 吸収液損失を定量的に把握できた。

5. 今後の取組み

当社の目的は、最終的には、商用機 (5000 ton-CO₂/

day 程度) を高信頼性、低コストでお客様に提供することであり、プロセス上の問題のみならず、ハードとしての大容量化についても今後検証していく必要がある。

6. ま と め

今回の松島での石炭焚き長期実証試験により、4000 時間の実証運転を達成する事が出来たのみならず、煤塵、SO_x、NO_x の装置系内での挙動や吸収液に及ぼす影響を把握することができ、石炭焚き排ガスの不純物の影響を検証するという当初目的を概ね達成できた。また、前処理を適切に実施することにより当社の燃焼排ガスからの CO₂ 回収装置が石炭焚き排ガスにも適用できることが確認できた。これにより次のステップとして想定している中型機 (数百～千 ton-CO₂/day 規模) での実証試験が技術的に可能な状況となった。

昨今、欧米を中心に地球温暖化対策として、石炭焚き発電所からの CO₂ 回収について盛んに検討され始めているが、近い将来、当社の技術により地球温暖化対策に貢献できることを確信している。

なお、本実証試験においては、電源開発(株)に多大な協力をいただき、この場を借りてお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 飯嶋正樹ほか、地球温暖化防止とピークオイル緩和に有効な CO₂ 回収技術とその EOR への適用、三菱重工技報 Vol.44 No.1 (2007)
- (2) 岩崎省二郎ほか、大容量排出源からの CO₂ 回収 CO₂ EOR トータルシステムとコスト、三菱重工技報 Vol.41 No.4 (2004)
- (3) 飯嶋正樹ほか、CO₂ 回収有効利用・固定化と事業化、三菱重工技報 Vol.39 No.5 (2002)



飯嶋正樹



高品徹



岩崎省二郎



沖野進



岸本真也