

火力発電所の燃焼排ガスからのCO₂分離回収技術

Carbon Dioxide Capture from Flue Gas of Thermal Power Plants

大橋 幸夫 小川 斗 山中 矢

■ OHASHI Yukio ■ OGAWA Takashi ■ YAMANAKA Susumu

全世界で大気中に排出される二酸化炭素 (CO₂) のうち、火力発電所の燃焼排ガスからのCO₂が1/4以上を占めており、このCO₂を低コストで分離回収できる技術が求められている。

東芝は、大量の燃焼排ガスからの分離回収に適している化学吸収法による技術を開発している。今回、CO₂の吸収液として新しい高性能なアミン系水溶液を見いだした。現在、CO₂分離回収に要するエネルギーの検証試験と、燃焼排ガス中の酸素などによる吸収液の劣化特性の把握を行っている。引き続き、吸収液の更なる開発と石炭火力発電所での実証試験を進めていく。

Almost a quarter of global emissions of carbon dioxide (CO₂) are released from thermal power plants. There is consequently an increasing need for the development of low-cost CO₂ capture technology.

Toshiba has been developing a chemical absorption method suitable for capturing CO₂ from large volumes of flue gas. We have now found new amine solvents with good performance, and have been evaluating them experimentally. We are making continuous efforts to decrease the energy required for CO₂ capture and inhibit degradation of the solvents, and are carrying out experiments with a bench plant using real coal combustion gas.

1 まえがき

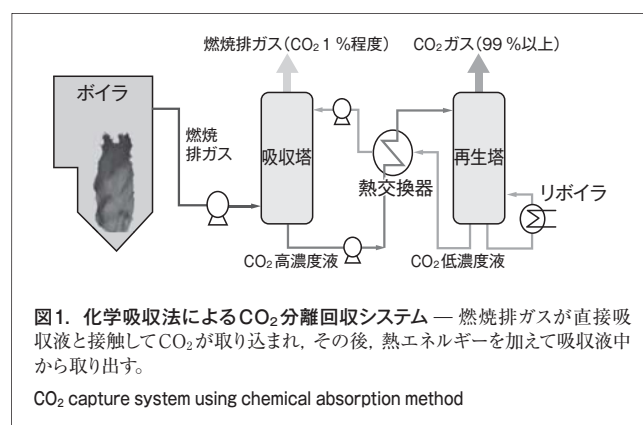
地球温暖化防止の観点から、CO₂の排出量削減は喫緊の課題となっている。なかでも、火力発電所の燃焼排ガスに含まれるCO₂の量は、全世界でのCO₂排出量の1/4以上を占めている。1,000 MW級石炭火力の場合、燃焼排ガスによって放出されるCO₂の量は、年間になると600万t以上と見積もられる。また、もっともクリーンと言われるLNG (液化天然ガス) 燃料の場合でも、500 MW級コンバインドサイクル火力から年間200万t以上のCO₂を排出することになる。

そこで、地球温暖化防止対策の一つとして、これら燃焼排ガス中のCO₂を分離回収した後、地中に隔離するCCS (Carbon Capture & Storage) 技術の確立が望まれている。CCSの実現には種々の課題があるが、CO₂の分離回収の部分については、現状ではCO₂を分離回収するために大きなエネルギーを消費するため、経済性の向上が要望されている。

CO₂を分離する方法には、化学吸収法や、物理吸着法、膜分離法などいくつかあるが、東芝は、大量の燃焼排ガスから効率的に分離できる方法として、化学吸収法を中心に開発を進めている。ここでは、化学吸収法を用いた当社の取組みについて述べる。

2 化学吸収法の原理

化学吸収法の原理を図1に示す。ボイラからの燃焼排ガスは、まず脱塵 (じん)・脱硫・脱硝などの処理を施された後、



吸収塔の下部に導入され上向きに流れる。これに対向させてCO₂を吸収しやすい液を吸収塔の上部から落下させ、燃焼排ガスと直接接触させることによって、燃焼排ガス中のCO₂のほとんど (約90%) を吸収液に取り込む。その結果、燃焼排ガスはCO₂濃度が約1/10になって、煙突から大気に排出される。

一方、吸収塔の下部にたまるCO₂を多く含んだ吸収液は、再生塔の上部に供給され塔内を落下する。このとき、再生塔の下部にたまる吸収液をリボイラに循環させて加熱すると、吸収液に取り込まれたCO₂が液中から解離され、再生塔上部から純度の高いCO₂が得られる。水分などを除去した後に加圧し、CO₂の地中貯留や原油増進回収 (EOR: Enhanced Oil Recovery) ^(注1)などに処せられるが、これらについてはここで

(注1) 油田にCO₂を注入して、原油を増進して回収する技術。同様に、天然ガスを増進回収する技術もある。

述べない。

この方法の主な課題は、再生塔でCO₂を吸収液から解離するときに、リボイラで供給するエネルギーが大きいことと、燃焼排ガスに含まれる酸素やSO_x（硫黄酸化物）、NO_x（窒素酸化物）などにより吸収液が劣化することである。

再生塔に用いられるエネルギーは、火力発電所ではボイラで発生させた水蒸気の一部を使用することになり、これが大きいとそれだけ発電出力の低下も大きくなる。現状の技術では、発電出力の20%も消費してしまう。また、吸収液は従来化学プラントで使用されてきたもので、酸素がほとんど存在しない還元性雰囲気での用途が主であった。したがって、燃焼排ガス特有のSO₂や、NO_x、酸素に対する劣化対策については、まだ開発途上である。

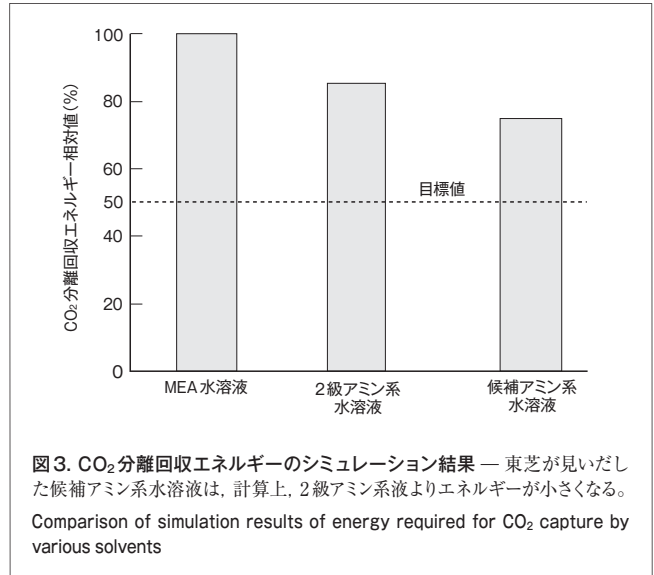
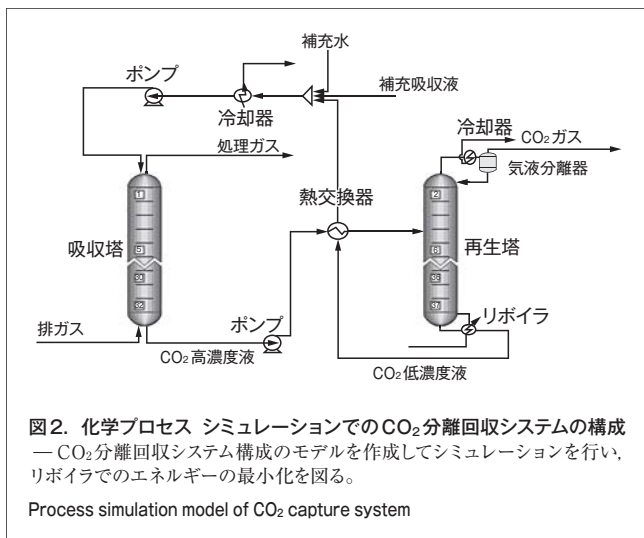
3 各種化学吸収液の比較評価

吸収液としては、以前は熱カリ法と呼ばれる炭酸塩を用いる方法が多く使われていたが、CO₂分離時の必要エネルギーがより少なく済むことから、アミン系水溶液を用いるのが現在の主流となっている。もっとも多く使われているのはモノエタノールアミン（MEA）の水溶液であるが、最近2級アミンを複数混合した水溶液が注目され、必要エネルギーがMEA水溶液より更に少ないと言われている。

当社は、前記アミン系水溶液と独自に複数のアミン系水溶液から探索した候補液について、CO₂分離回収エネルギーの観点から比較評価を行った。

化学プロセスのシミュレーションを行うソフトウェアを用い、これに各水溶液の物性データを組み込んで、**図2**に示すシステム構成でCO₂を90%回収するときの分離回収エネルギーが最小となるような条件を見いだした。

その結果、CO₂ 1t当たりの分離回収に必要なエネルギー



は、従来もっとも使われてきたMEA水溶液では4GJ/tCO₂以上になった。これに対し2級アミン系水溶液は、**図3**に示すように、分離回収エネルギーが約15%低下し、更に、当社が見いだしたアミン系水溶液は25%以上低下した。最終目標として、MEA水溶液での分離回収エネルギーの50%を目指している。

4 CO₂分離回収模擬ループによる試験

3章で述べたアミン系水溶液について、**図4**に示すような模擬ループを組んで実証試験を行った。吸収塔は内径約150mm、高さ6m、再生塔は内径約200mm、高さ3.6mである。リボイラから再生塔に供給する熱量を徐々に絞ってCO₂吸収率が低下しない下限の条件を求めた。

吸収塔の高さを装置の制限からこれ以上にできなかったため、試験データから分離回収エネルギーを類推したところ約15%低下し、2級アミン系水溶液のシミュレーション値と同等の値が得られた。今後、試験条件の最適化などを図れば、更に小さくできると考えられる。

5 吸収液の劣化特性の把握

燃焼排ガスからのCO₂分離回収では、排ガス中に数%程度の酸素が必ず存在しており、吸収液の酸化と劣化によるCO₂吸収能力の低下が懸念される。そのため、**図5**に示すような試験装置で、吸収液に酸素あるいは空気を吹き込み、時間経過とともに生成される物質の特定と生成速度の測定を行った。その結果、いくつかの有機酸が検出されており、今後、これらによるCO₂吸収能力への影響、並びに対策を検討していく。

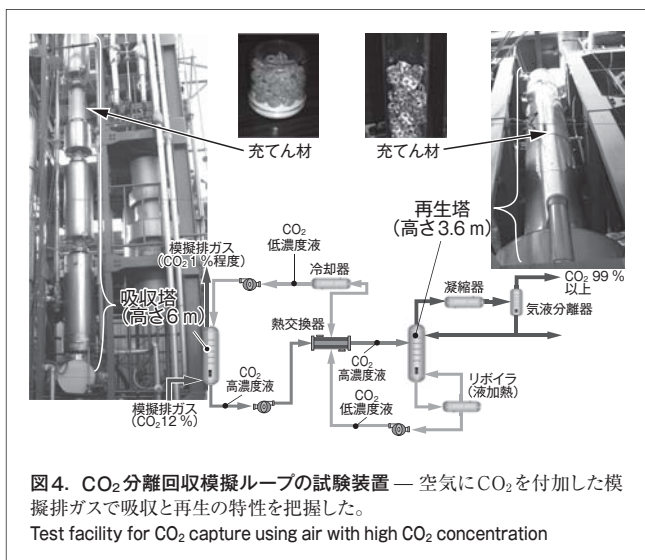


図4. CO₂分離回収模擬ループの試験装置 — 空気にCO₂を付加した模擬排ガスで吸収と再生の特性を把握した。
Test facility for CO₂ capture using air with high CO₂ concentration

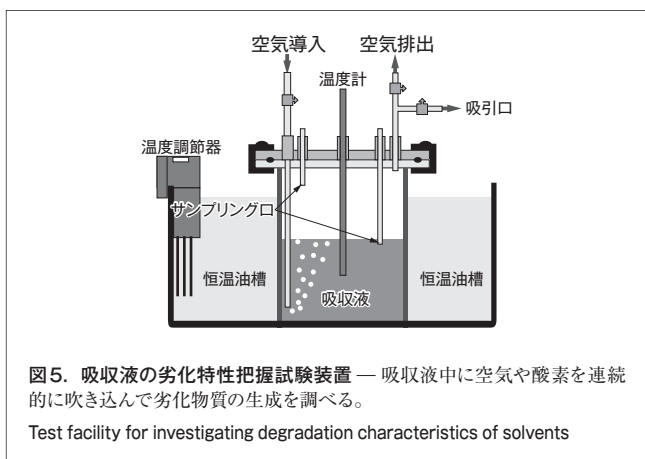


図5. 吸収液の劣化特性把握試験装置 — 吸収液中に空気や酸素を連続的に吹き込んで劣化物質の生成を調べる。
Test facility for investigating degradation characteristics of solvents

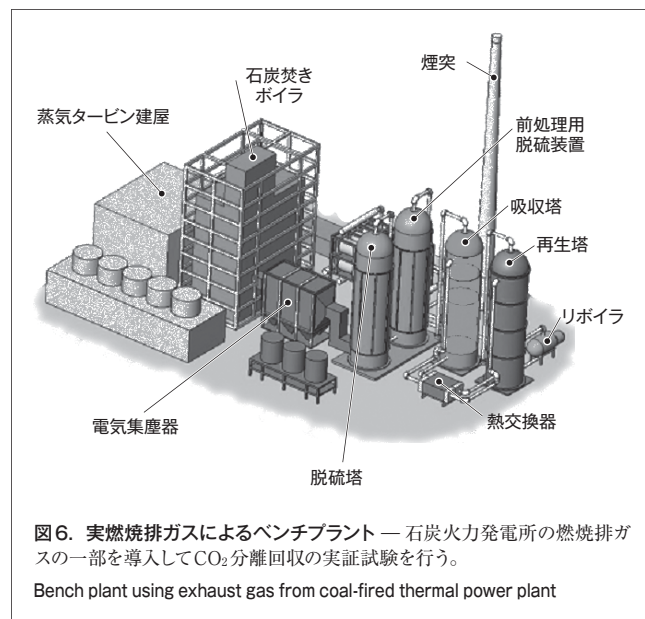


図6. 実燃焼排ガスによるベンチプラント — 石炭火力発電所の燃焼排ガスの一部を導入してCO₂分離回収の実証試験を行う。
Bench plant using exhaust gas from coal-fired thermal power plant

7 あとがき

化学吸収法を中心に開発を進めており、シミュレーションと模擬ループでの試験によって、CO₂分離回収エネルギーの小さなアミン系吸収液を見いだした。更に、石炭燃焼の実排ガスを用いるベンチプラント検証によって、この技術の確立を目指していく。

6 石炭燃焼の実排ガスによるベンチプラント検証

これまで述べたような要素研究を実施しているが、最終的には実際の石炭燃焼排ガスを用いた試験を行い、システム全体での開発課題の抽出と解決が必要と考えられる。

そのため、当社が保有する石炭火力発電所内にベンチスケール試験装置を建設し、実燃焼排ガスを用いての実証試験を実施することを計画している。システム構成を図6に示す。従来設備の石炭焚(だ)きボイラ、電気集塵器、及び脱硫塔に加え、その下流の燃焼排ガスダクトから燃焼排ガスの一部を引き出して、SO_x濃度を更に下げられるための前処理用脱硫装置、吸収塔、再生塔、リボイラ、及び熱交換器などを配置し、CO₂分離回収試験を行う。このとき、CO₂を分離回収した後の排ガスとCO₂は、再び排ガスダクトに戻して煙突から排出する。

2008年度にベンチプラントを建設し、2009年度から試験を開始する予定である。燃焼排ガスからのCO₂分離回収システムの設計、製作、及び運用のノウハウを蓄積することによって、スケールアップした実際の火力発電所にも適用できるようにする。



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 回転機器開発部主幹。火力発電システムの新技術開発に従事。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



小川 斗 OGAWA Takashi, D.Eng.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター エネルギーソリューション開発部主査、工博。CO₂分離回収システムの開発に従事。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



山中 矢 YAMANAKA Susumu

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 回転機器開発部主査。燃焼機器、CO₂分離回収機器の開発に従事。日本ガスタービン学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center