

バイオマス発電所の排ガスを処理する世界初の 大規模CO₂分離回収設備

World's First Large-Scale CO₂ Capture Facility Using Flue Gas of Biomass Power Plant

北村 英夫 KITAMURA Hideo 岩浅 清彦 IWASA Kiyohiko 藤田 己思人 FUJITA Koshito

地球温暖化対策の一つとして、化石燃料や、バイオマス、ごみなどの様々な燃焼で発生する排ガス中の二酸化炭素 (CO₂) を分離回収し、地中に隔離・貯留するCCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) 及びCO₂を有効利用するCCU (Carbon Dioxide Capture and Utilization) が注目されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、CO₂分離回収技術の開発を推進しており、化学吸収法を用いたパイロットプラントを(株)シグマパワー有明三川発電所内に設置して性能の検証とともに、運転性・運用性・保守性の評価を実施してきた。蓄積した知見を基に、バイオマス火力発電所の排ガスからCO₂を分離回収する世界初^(注1)の大規模設備を建設・運用し、600 t/日以上の上安定したCO₂回収及び吸収液由来のアミン成分排出量の更なる削減を実証した。

As measures against global warming, demand has been growing for carbon dioxide capture and storage (CCS) technologies that can separate and capture carbon dioxide (CO₂) emitted in the flue gas of various sources and isolate and store the captured CO₂ underground, as well as carbon dioxide capture and utilization (CCU) technologies for the effective utilization of captured CO₂.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has been promoting the research and development of CO₂ separation and capture technologies using chemical absorption. We have already applied these technologies to a pilot plant constructed at the Mikawa Power Plant of SIGMA POWER Ariake Corporation, and have been verifying the performance, usability, operability, and maintainability of this approach. Based on the knowledge accumulated through the operation of the pilot plant, we have newly constructed the world's first large-scale CO₂ capture facility for the treatment of flue gas emitted from the biomass power plant at the Mikawa Power Plant, and evaluated the demonstration facility through test operation. From the results obtained, we have confirmed that this system makes it possible to stably capture more than 600 tons of CO₂ per day and to further suppress atmospheric emissions of amines used in CO₂ absorption solvents, thereby improving environmental performance.

1. まえがき

地球温暖化への対策として、火力発電所や産業分野で発生する排ガスに含まれるCO₂を、分離回収して地中に隔離・貯留するCCSの早期実現が期待されている。また最近では、このCO₂を有効利用するCCUも注目されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、これらCCSやCCUで重要な役割を果たす、排ガスからのCO₂分離回収技術の開発と実用化を進めている。ここでは、CO₂分離回収技術の開発、及び環境省の委託事業である「環境配慮型CCS実証事業」の一環として実施しているCO₂分離回収実証設備の建設と運用の結果について述べる。

2. CO₂分離回収技術の開発

火力発電所を対象とした場合のCO₂分離回収方式は、燃焼後回収方式、酸素燃焼方式、及び燃焼前回収方式の三つに大別され、当社は、煙突手前の排ガスからCO₂を回収する燃焼後回収方式を採用している。この方式は、①排ガス発生源の設備が新設でも既設でも適用できる、②火力発電だけでなく産業分野に幅広く適用できる、③排ガス中のCO₂の一部だけを回収するような柔軟な運用ができる、などの多くの利点を持っている。

2.1 化学吸収法による燃焼後回収方式

燃焼後回収方式には幾つかの種類があるが、当社は、CO₂濃度が比較的低く、常圧の排ガスからの回収に適した化学吸収法を採用し、主にCO₂と選択的に反応してCO₂を吸収するアミン系吸収液を用いている。

化学吸収法のCO₂分離回収フローを、図1(a)に示す。CO₂を含んだ排ガスを吸収塔の下部から導入し、吸収液を上部から供給する。両者は、吸収塔内で対向流として気液接触し、低温でCO₂を吸収するアミン系吸収液にCO₂が吸収されて液相に移行する。CO₂を含んだ吸収液を途中の再生熱交換器で昇温し、再生塔に移送する。

再生塔では、高温で放出反応が起こるアミン系吸収液の特性により、CO₂が放出されて気相に移行する(図1(b))。

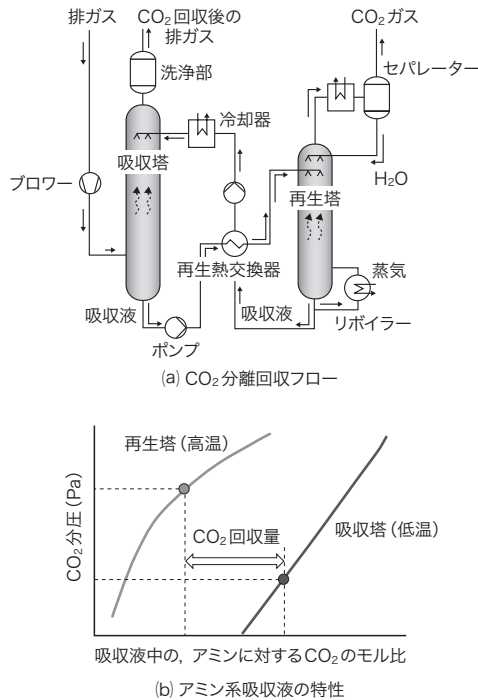


図1. 化学吸収法によるCO₂分離回収フローとアミン系吸収液の特性
 吸収液がCO₂分離回収システム内を循環し、吸収塔でCO₂吸収反応が、再生塔でCO₂放出反応が、連続的に発生してCO₂の分離回収を行う。
 Flow diagram of CO₂ capture system and characteristics of amine solvent

この反応は吸熱反応なので、反応熱を供給し続けるために蒸気などの熱源が必要であり、リボイラーという熱交換器を介して蒸気から吸収液に熱伝達を行う。CO₂を放出した吸収液は、再生熱交換器で冷却されて吸収塔に送られる。

このように、吸収液はプラント内を循環し、CO₂の分離回収を連続的に行う。回収したCO₂は、再生塔の上部から送出された後に冷却されて、含まれていた水分が凝縮し、セパレーターで分離される。

2.2 開発・検証・適用のフロー

CO₂分離回収プラントには、低エネルギー消費や、機器のコンパクト化、低コスト化などの要求がある。CO₂分離回収プラントは、吸収塔、再生塔、再生熱交換器、及びリボイラーの四つが主要機器で、主要機器やプロセスの最適設計と吸収液の性能向上により、これらの要求に応える。

CO₂分離回収技術の開発・検証・適用のフローを、**図2**に示す。ラボスケールからベンチスケール、更にはパイロットスケールへと、プロセスシミュレーションや数値流体解析を適宜活用しながらスケールアップし、得られた知見を反映して実機規模のプラントの設計を行う。この中で特に重要なのは、福岡県大牟田市にある(株)シグマパワー有明 三川発電所(出力50 MW)内に設置したパイロットプラントでの

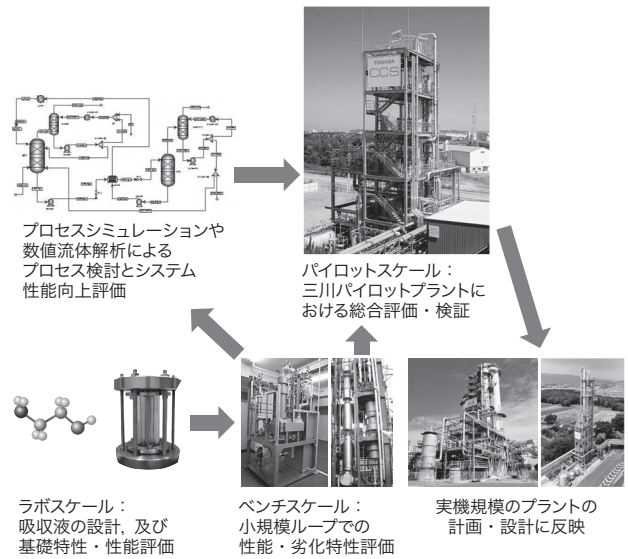


図2. CO₂分離回収技術の開発・検証・適用フロー

プロセスシミュレーションや数値流体解析を活用しながらスケールアップし、三川パイロットプラントでの検証を経て、開発した技術を実機規模のプラント設計に展開する。

Flow of processes for development, verification, and application of CO₂ separation and capture technologies

検証である。

このパイロットプラントは、2009年に設置したものであり、発電所の排ガスの一部を処理して10 t/日のCO₂を分離回収する能力がある。このパイロットプラントを用いて、システム性能や、実排ガスの状態や含有される不純物が吸収液性能に及ぼす影響、運転性・運用性・保守性などを検証し、その結果を実機規模のプラントに適用している⁽¹⁾。

例えば、再生塔での反応に必要な熱を供給するために、一般には、熱源として発電用蒸気の一部を抽気するが、処理する排ガス量が膨大な場合は、必要な供給熱量も非常に大きく、発電効率を低下させる原因となる。これを抑制するため、反応熱の小さい吸収液を開発するとともに、熱回収プロセスの採用や再生熱交換器の最適設計によって、プラント内での回収熱量の増加を図っている。

また、アミン系吸収液を用いた化学吸収法では、吸収塔から大気へ排出されるCO₂回収後の排ガスに吸収液由来の微量のアミン成分が含まれ、これが環境に影響を与える可能性が指摘されている。そこで、この排ガスの実態調査及び排出されるアミン成分量を削減する技術の開発も行っている。

3. CO₂分離回収実証設備

当社は、三川発電所の隣接地に、この発電所の排ガスからCO₂を分離回収する大規模実証設備(**図3**)を建設した。2018年2月の着工後に機器の納入・据え付けを行い、試



図3. CO₂分離回収実証設備

バイオマス火力発電所の排ガスからCO₂を分離回収する、世界初の大規模設備である。

CO₂ capture demonstration facility attached to biomass power plant at Mikawa Power Plant

運転を経て2020年10月に運用を開始した⁽²⁾。この実証設備と三川発電所との関係を、図4に示す。

これは、みずほ情報総研(株)(現 みずほリサーチ&テクノロジーズ(株))を取りまとめ機関とする複数の法人で採択された環境省の「環境配慮型CCS実証事業」の一環として実施したもので、CO₂分離回収実証設備の設計・建設・運用を当社が担当している。

この実証設備の特徴は、以下の2点である。

- (1) 回収するCO₂の量が、火力発電所から排出されるCO₂量の50%以上と、世界的にもまれな高い値である。このような高い回収率でCO₂を分離回収する際は、必然的に発電用蒸気をかなりの割合で抽気することになり、火力発電システムへの影響が大きい。

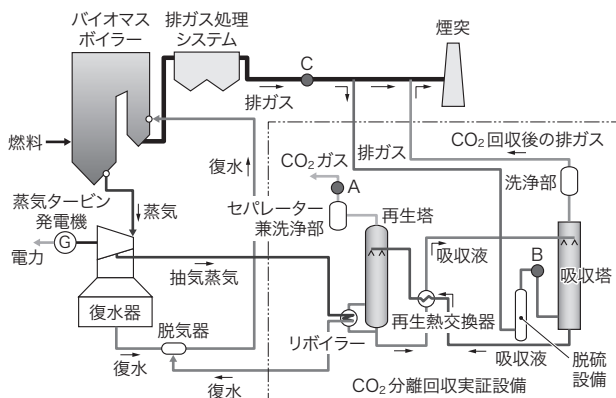


図4. 三川発電所とCO₂分離回収実証設備の全体フロー

三川発電所の隣接地に設置したCO₂分離回収実証設備に対し、この発電所から排ガスと蒸気が供給される。

Outline flowchart of operations at Mikawa Power Plant and CO₂ capture demonstration facility

- (2) 三川発電所は、パームやし殻(Palm Kernel Shell)を燃料としたバイオマス発電を行っているが、このバイオマス火力発電所の排ガスからCO₂を分離回収する、世界初の大規模設備である。

化石燃料である石炭などの燃焼に伴って発生するCO₂を分離回収して貯留することは、地中に存在していた炭素成分が燃焼で気相中に一旦移行し、これを回収して地中に戻すことになるので、炭素循環の観点からは“カーボンニュートラル”になる。

一方、大気中のCO₂を光合成で固定化したバイオマスを燃焼し、これに伴って発生するCO₂を分離回収して貯留すれば、大気中に存在していた炭素成分を地中に隔離することになり、過去に排出されたCO₂を除去する“ネガティブエミッション”を実現することになる。この手法は、BECCS(Bio-Energy with CCS)と呼ばれ、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)が発行した第5次評価報告書では、地球温暖化抑制のために重要な役割を果たせる技術の一つとして位置付けられている。

この実証設備の設計では、2.2節で述べた三川パイロットプラントなどで得られた知見を、十分に反映している。

3.1 運用結果(CO₂の安定回収)

この実証設備を運用した際の、CO₂回収量とCO₂回収効率の48時間推移を図5に示す。CO₂回収量は、再生塔出口(図4のA点)で得られた計測データから算出した。またCO₂回収効率は、吸収塔入り口(図4のB点)での計測データから実証設備に流入する排ガス中のCO₂量を算出し、式(1)により求めた。

CO₂回収効率

$$= \text{CO}_2 \text{回収量} \div \text{実証設備流入CO}_2 \text{量} \quad (1)$$

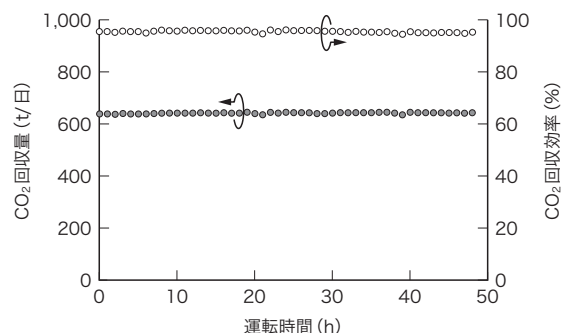


図5. CO₂回収量及びCO₂回収効率の推移

48時間の運転時間において、三川発電所の排ガスから、平均して640 t/日のCO₂を、回収効率95%で安定して回収できることを確認した。

Changes in amounts of captured CO₂ and CO₂ recovery efficiency over time

各プロットは1時間の平均値で、例えば、回収量が600 t/日の場合は、1時間当たり25 tのCO₂を回収していることになる。この48時間では、平均して640 t/日のCO₂を三川発電所の排ガスから安定して回収できていることや、CO₂回収効率が平均で95%に達していることを確認した。前述の三川パイロットプラントや、当社が納入した佐賀市清掃工場向けCO₂分離回収プラント⁽³⁾での10 t/日の回収量に対し、約60倍のスケールアップを達成できた。

また、式(2)で算出されるCO₂回収率は、平均で54%となり、火力発電所から排出されるCO₂量の50%以上を回収するという当初の目標を達成できた。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{回収率} \\ = \text{CO}_2\text{回収量} \div \text{発電所排ガス中CO}_2\text{量} \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、式(2)の発電所排ガス中CO₂量は、図4のC点で得られた計測データから算出した。

3.2 運用結果（アミン成分排出量の削減）

2.2節で述べたように、吸収塔から大気へ排出されるCO₂回収後の排ガスに吸収液由来の微量のアミン成分が含まれ、これが環境に影響を与える可能性が指摘されているが、この量を削減するため、一般的には、図4のように、吸収塔の出口に洗浄部が設置される。

この実証事業では、アミン成分排出量削減の技術開発も行い、これを実証設備の洗浄部に組み込んだ。運用結果を、三川パイロットプラントの場合と比較して図6に示す。三川パイロットプラントでは、排ガスが洗浄部を通過する際、アミン成分濃度が入り口の60%程度にしか低下しないのに対し、実証設備では、10%以下にまで低下することが分かった。

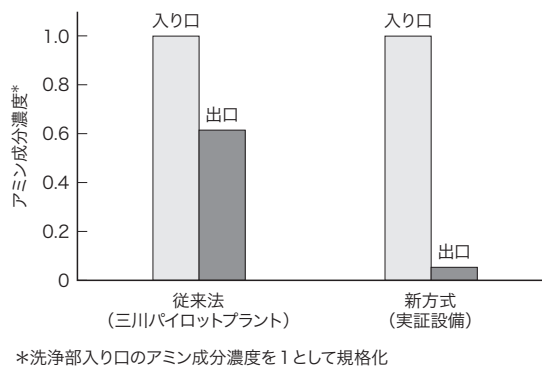


図6. 洗浄部の性能比較

実証設備では、大気へ排出されるアミン成分濃度が、三川パイロットプラントに比べて大幅に低減していることが確認できた。

Comparison of performance of washing sections in pilot plant and demonstration facility

4. あとがき

CO₂分離回収技術の実用化に関する取り組みを、環境省の委託事業で建設した実証設備を例に挙げて述べた。昨今では、火力発電所から排出されるCO₂の分離回収はもちろん、これ以外の産業分野で排出されるCO₂への対策についても、その必要性が広く認識されつつある⁽⁴⁾。

今後も、地球温暖化を抑制するためのCCSやCCUの早期実現に向け、当社が開発した化学吸収法によるCO₂分離回収技術をこれらのCO₂排出源に適用していくとともに、更なる技術開発・実証を進めていく。

文献

- (1) 北村英夫, ほか. 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. 東芝レビュー. 2010, 65, 8, p.31-34.
- (2) 東芝エネルギーシステムズ, “大規模CO₂分離回収実証設備の運転開始について —バイオマス発電所向けに世界初、ネガティブエミッションに貢献—”. プレスリリース&ニュース. <https://www.toshiba-energy.com/info/info2020_1031.htm>, (参照 2021-01-21).
- (3) 北村英夫. 様々な排ガス源に対応可能なCO₂分離回収技術. 東芝レビュー. 2019, 74, 3, p.35-39. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2019/03/74_03pdf/a09.pdf>, (参照 2021-03-25).
- (4) Global CCS Institute, 2020. The Global Status of CCS: 2020. Australia, 2020, 80p. <<https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>>, (accessed 2021-01-21).



北村 英夫 KITAMURA Hideo
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 ヒートサイクル計画・技術部
化学工学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



岩浅 清彦 IWASA Kiyohiko
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 ヒートサイクル計画・技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



藤田 己思人 FUJITA Koshito
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーシステム技術開発センター 化学技術開発部
化学工学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.