

発電プラントの ゼロエミッション化に向けて

石炭火力における酸素燃焼技術を用いた CO₂ 回収システム

石炭火力発電所からは、CO₂ が大量に排出されており、地球温暖化の大きな原因の一つとなっている。もし、石炭火力からの環境汚染物質の排出をゼロにできれば、可採埋蔵量の多い石炭を有効活用できるだけでなく、環境問題の解決にもなる。

株式会社 IHI
エネルギーシステムセクター
電力事業部 開発部

山田 敏彦



酸素燃焼技術が使用されているカライド A 発電所

地球温暖化の抑制が叫ばれるなか、その主要因と言われている CO₂ 排出、その抑制は遅々として進んでいない印象を受ける。世界的に見れば、依然 CO₂ 排出量は増加の一途をたどっており、火力発電所からも CO₂ を大量に排出している。火力発電は、燃料（石油、天然ガス、石炭など）を燃やして得られる熱を利用して水蒸気を発生させ、タービンを回転、電気を発生させるものである。現在のところ蒸気条件向上やガスタービン入口温度の高温化による高効率化が進められ、燃料消費量を極力減らす対応がとら

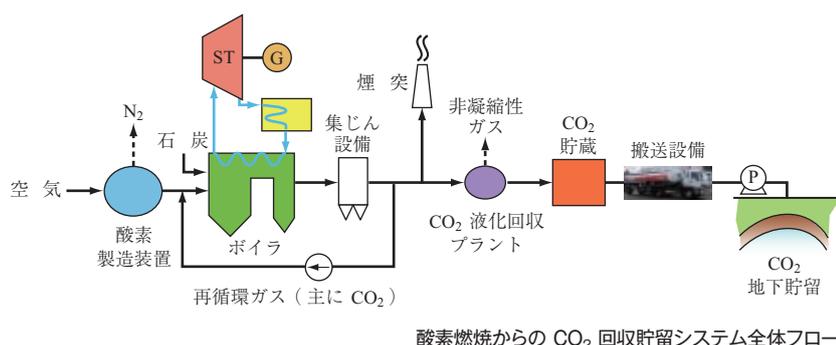
れ、また、単位発熱量当たり CO₂ 排出量の多い石炭から、その CO₂ 排出量がほぼ半分になるガス燃料への転換や、バイオマス、風力、太陽光などの再生可能エネルギーの増強などが行われているものの、根本的な解決には至っていないといえる。一方、電力供給源の構成に占める石炭火力の割合は、最新実績データによると、日本では約 25%であるものの、アメリカ約 45%、ドイツで約 40%となり、中国およびインドに関しては、それぞれ約 80%、約 70%と主要な電源となっている。そこで、単位発熱量当たり CO₂ 発生

量の高い石炭火力からの CO₂ 排出削減が考えられており、現在 CO₂ 回収貯留 (CCS) 技術の開発が、大きな期待のなかで進められている。しかし、本技術を適用した場合、CO₂ 排出原単位 (t-CO₂/kW・h) が、CCS 技術を適用しないプラントに比べ、約 1/10 と CO₂ 排出量を大幅に低減できるものの、その発電単価は現状 40～50%ほど高価であるため、国が主導しての対応がとられている。将来に向けては、CO₂ 排出削減に対する法整備、CCS 技術全体のコストダウンを実現し、商用化を目指しているところである。

このような状況下で、利用拡大が図られてきた石炭火力発電所からの CO₂ 回収技術として、IHI は 1989 年から酸素燃焼に着目して研究開発を進めてきている。本稿では、酸素燃焼の石炭火力への適用について、現在の取組み概要を述べる。

酸素燃焼による CO₂ 回収システム

酸素燃焼とは、空気分離装置 (ASU) で空気から分離した酸素 (O₂) で石炭を燃焼させる技術のことである。しかし、本技術を発電システムへ適用するには、まだ初期段階であり、従来の空気を用いた機器設計技術の活用を考えている。このため、燃料を燃焼させる際には、従来の空気燃焼と同等の伝熱性能を確保するために、O₂ だけで燃料を燃焼するのではなく、O₂ と再循環した排ガスを混合し、燃焼することとしている。これによって、燃焼排ガスは CO₂ と H₂O が主成分となり、排ガス中の CO₂ 濃度を理論的には 90 dry% 以上まで高めることができる。そして、CO₂ を回収する過程において、排ガス中の水分や酸素、窒素を取り除くこと、これにより、CO₂ を回収する方法が酸素燃焼による CO₂ 回収システムである。



本システムで回収された CO₂ は、貯留サイトにて昇圧、地下の貯留層へ注入される。

酸素燃焼ボイラシステムの主な特長を、以下にまとめる。

- (1) 空気燃焼排ガスのような低濃度の CO₂ を分離する必要がない。
- (2) 総排出ガス量が空気燃焼の約 1/5 と少なくなり、ガス処理システムをコンパクトにできる。
- (3) 排ガスを再循環するシステムであり、その再循環排ガス中の窒素酸化物が、再燃焼され大幅に低減する。
- (4) 局所的に酸素濃度を高くすることができ、燃焼改善が期待できる。

このような特長から、本システムは、将来の石炭火力発電所からの CO₂ 回収のための重要な技術として、世界で研究および実証開発が行われている。2011 年 2 月に、株式会社 IHI が取組むカライド酸素燃焼プロジェクトでの試運転が開始された。これは、発電プラントとして稼働していた石炭火力を酸素燃焼に改造して運転実証する初めての試みである。さらに、2015 年をターゲットとしてさらなる大容量化へ取り組んでいる。

一方で、窒素と比熱や放射特性が異なる CO₂ 雰囲気下での燃焼となること、また、水分や腐食性ガス成分が濃縮されることなどから、ボイラや全体システムにおいて検討すべき技術課題がある。

(1) ボイラプロセス

酸素燃焼では、排ガスを再循環することから O₂/CO₂ 雰囲気での燃焼となる。このため燃焼特性 (着火、燃焼温度、灰性状、微量成分の挙動) や伝熱特性 (輻射、対流) を把握することや、酸素燃焼特有の制御方法および計測の信頼性、長期間運転における機器の耐久性 (腐食、摩耗)、排ガス中の CO₂ 濃度やボイラ効率といった性能の確保が課題となる。

(2) プラント運用における技術課題

酸素燃焼時の運用方法、空気燃焼との運転モード切り替え方法、起動・停止方法など、安定した運用性を確保する必要がある。また、緊急停止時の動作の確認や、酸素の取扱いなどにおける安全性を十分に確保する必要がある。

(3) CO₂ 回収プロセス

酸素燃焼によって発生した排ガスから CO₂ を回収することとなるが、その前処理方法、機器耐久性にかかわる微量成分の除去、CO₂ 回収の温度・圧力条件といった、高純度の CO₂ を回収するための最適なプロセスの構築が課題となる。なお、CO₂ の回収条件や純度に関しては、回収した CO₂ の輸送および貯留方法に影響され、効率的な回収を目指すためには、貯留、輸送を考慮した研究開発が必要である。

カライド酸素燃焼プロジェクト

現在実施しているカライド酸素燃焼プロジェクトは、石炭火力発電プラントに酸素燃焼を適用して CO₂ を回収し、地下貯留まで行う一貫したプロセスの実証を目的としている。本プロジェクトでは、商用運転を経験した既設発電プラントを改造し酸素燃焼を適用する世界初の試みで、既存のプラントが CO₂ 回収型酸素燃焼プラントになり得ることを実証するものである。

本プロジェクトは、オーストラリア側からの提案を受け、2004～2005 年度に日豪共同で候補サイトなどを検討した。その結果を踏まえ、2006～2007 年度にプロジェクト化の検討を進め、2008 年 3 月に日豪両政府の支援をベースに、日豪の参加各社で、プロジェクト実施母体である JV (Joint Venture) を組織した。JV には日本から、電源開発株式会社、三井物産株式会社および IHI の 3 社が参画し、さらに財団法人石炭エネルギーセンターが技術的支援を行う体制となっている。

本プロジェクトの第 1 フェーズでは酸素燃焼による CO₂ 回収を実施し、第 2 フェーズにて回収された CO₂ の地下貯留およびモニタリングを実施する。

第 1 フェーズに関しては、現在改造工事が進行中で、順次試運転が行われているところである。2012 年 6 月には試運転が完了し、実証運転が開始される予定である。第 2 フェーズは、今後の具体的なサイト選定、試掘、許認可手続きを経て、発電所から回収された CO₂ をローリーにて貯留サイトまで輸送し注入することとなっている。

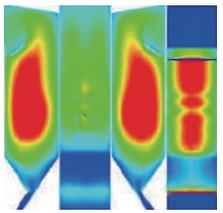
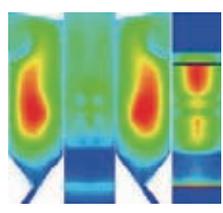
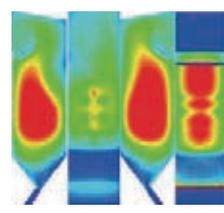
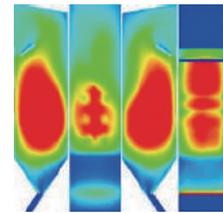
既設設備に酸素燃焼を適用するに当たり、技術検討課題について各種検討を実施した。

(1) ボイラ火炉における熱回収（火炉収熱）

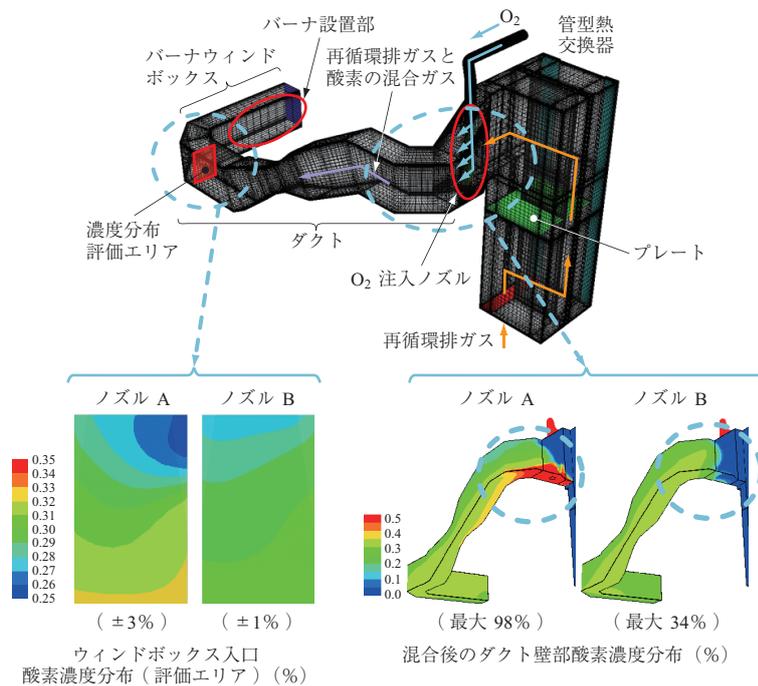
酸素燃焼において、排ガス再循環量は火炉収熱に影響を与え、ボイラの性能を左右するだけでなく、プロセス内機器にも影響を与える。そこで、対象ボイラについて、再循環量を確定するため数値解析によって火炉収熱を評価した。全体の燃焼用ガスに含まれる酸素濃度を 27% 程度にすることで、空気燃焼と同等の収熱量および伝熱性能が得られるものと評価した。

(2) 酸素の混合

プロセス内の再循環排ガスと酸素の混合において、この混合が十分でないと、混合ガスをバーナに分配した際にバーナごとに酸素濃度の濃淡ができたりする。そこで、均一な酸素混合を実現するために数値解析を用いてノズル構造を検討した。結果として、数値解析によってノズルの個数および位置、流速および向きなどの最適化を行い、良好な混合性能を有するノズルを選定した。

項目	単位	空気燃焼ベース	酸素燃焼ケース 1	酸素燃焼ケース 2	酸素燃焼ケース 3
総ガス量	t/h	140	170	140	120
ボイラ入口酸素濃度	%	21	22	27	30
熱流束分布解析結果	kW/m ²				
火炉収熱量		-	ベース	減少	ほぼ同等

火炉収熱解析結果



酸素混合用ノズル解析結果



IHI 相生工場 D&D パーク 縦型燃焼試験設備

(3) 排ガス性状

対象のプラントにおける燃焼特性を確認するため、3種類の豪州炭にてパイロット試験炉で確認試験を実施した。結果からは、 NO_x の大幅な還元が確認され、また、 SO_2 の濃度が高くなるものの、S分の灰による捕捉が認められ、排出量としては減ることが示された。

商用化に向けて

酸素燃焼からの CO_2 回収システムでは、ASU や CO_2 回収プロセスで大きな動力が必要になってくる。現状、 CO_2 回収条件によって、送電する効率が5～10%（絶対値）で低下することが試算されている。そこで、これら装置の効率を高めることは当然であるが、発電プラントとしても、さらなる高効率化を実現すれば消費石炭量を低減でき、酸素製造量および排ガス量の低減につながり、相乗効果的に高効率化が図れる。石炭焚発電プラントでは、超々臨界圧発電システム（蒸気温度 593°C 以上をもつ発電システム）が現在広く適用されている。IHI では、さらなる高効率化として、蒸気温度を 700°C 級まで高温化する 700°C 級先進超々臨界圧発電用ボイラ技術開発に取り組んでいるところであり、酸素燃

焼を適用した CO_2 排出ゼロに向けての適用が将来的に望まれる。

本技術の適用先は発電プラントであり、信頼性のある運用を確保することが必要である。さらに実現のためには、全体および各機器の高効率化・コスト低減に向けた研究開発および商用機クラスへのASUなどの大容量化検討を着実に進めていく必要がある。

本稿では、酸素燃焼に関し、カライド酸素燃焼プロジェクトの概要および本技術の商用化に向けた課題などについて概説した。今後、カライドでの実証を通して本技術の十分な検討、評価を行い、さらに実運用規模での実証によって信頼性のある CO_2 回収発電システムを完成させることを目指している。将来、経済的に有効な貯留と組み合わせた高効率な CO_2 回収システムとして実現できるよう、さらなる研究・開発・実証を進めていく。

問い合わせ先

株式会社 IHI
 エネルギーシステムセクター
 電力事業部 営業部
 電話 (03) 6204-7414
 URL : www.ihj.co.jp/