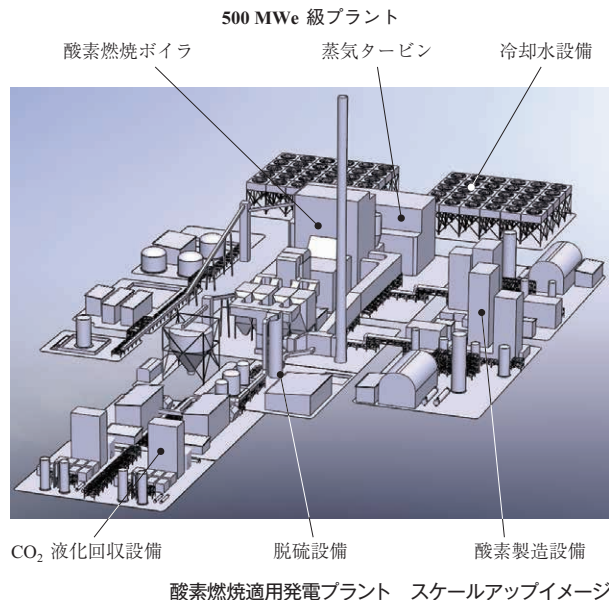


発電プラントゼロエミッション化へ大きく前進

石炭火力発電所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二酸化炭素 (CO₂) が大量に排出されており、急激な気候変動の要因の一つとなっている。石炭火力発電所からの環境汚染物質の排出を効率的にゼロにすべく、長年にわたり研究開発を続けてきた。カライド (オーストラリア) での実証試験を果たし、酸素燃焼は次のステップに向けて動き出す。

オーストラリア・カライド発電所 (30 MWe 級)



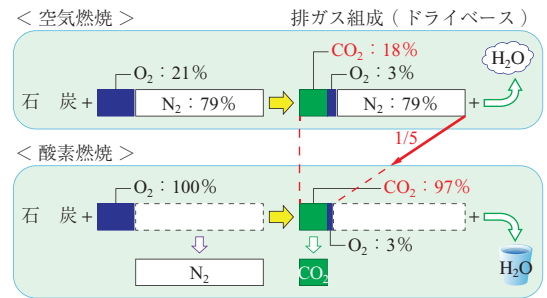
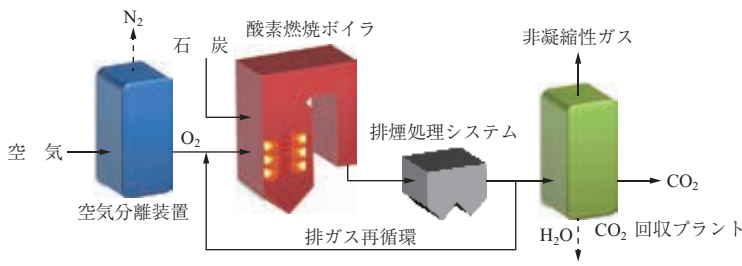
CO₂ 排出抑制と安定電源の確保

急激な気候変動の主要因といわれている CO₂ 排出は増加の一途をたどっており、2015 年 3 月には、世界の大気中 CO₂ 濃度が月平均で 400 ppm に達している。世界の平均気温を産業革命以前から 2℃ 上昇に抑えるには、大気中 CO₂ 濃度を 450 ppm 程度に抑える必要があるとの報告があり、そのためには、ここ 10～20 年のうちに大幅な CO₂ 排出削減を成し遂げる必要がある。近年、CO₂ 排出削減を推進していくための法制化が進められており、アメリカやカナダでは、石炭火力発電所から排出される CO₂ の原単位 (kg-CO₂/MW・h)

を規制する動きがある。

周知のように火力発電所からは CO₂ を大量に排出しており、特に石炭は単位発電量当たりの CO₂ 発生量が高い。一方、電源構成に占める石炭火力発電の割合は、世界の主要各国において 25～80% と高く、主要な電源となっている。

そこで、石炭火力発電所からの CO₂ 排出削減が考えられており、その一つとして CO₂ 回収貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage) 技術の開発が進められている。CCS 技術は世界的に実用段階に入っており、大規模発電所において着工、実運用が開始されている。2014 年には、カナダの Boundary Dam 発電



左：酸素燃焼技術による CO₂ 回収プロセス、右：空気燃焼と酸素燃焼の排ガス組成の違い

所において、燃焼後回収による CCS が運用を開始した。現在、CCS 技術は普及に向けて機運が高まりつつある。

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) で石炭などの化石燃料を燃焼させる技術のことである。酸素で燃料を燃焼することにより、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、そのほかの不純物を取り除くことにより 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。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は、既存の技術・機器の組み合わせにより構成される技術であり、新設はもちろん、既存の空気燃焼発電プラントにも適用できる。また、既存のプラントに適用する際に、ボイラ耐圧部、蒸気タービンの改造を必要としない。また、従来の空気燃焼ボイラにおける機器設計技術を活用することから、空気燃焼と同等の伝熱性能を確保するため、酸素に再循環した排ガスを混合し燃焼する。さらに将来、酸素燃焼に特化したボイラを新設する際は、再循環ガスを減らし、ボイラが小型化する可能性がある。

酸素燃焼ボイラシステムは、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こと、総排ガス量が空気燃焼の約 1/5 と少なくなり、CO₂ 回収プロセスのガス処理システムをコンパクトにできる、などの特長がある。一方で、排ガスが高濃度 CO₂ 雰囲気となること、水分や腐食性ガス成分が濃縮されること、また排ガスを回収することなどから、以下のよう

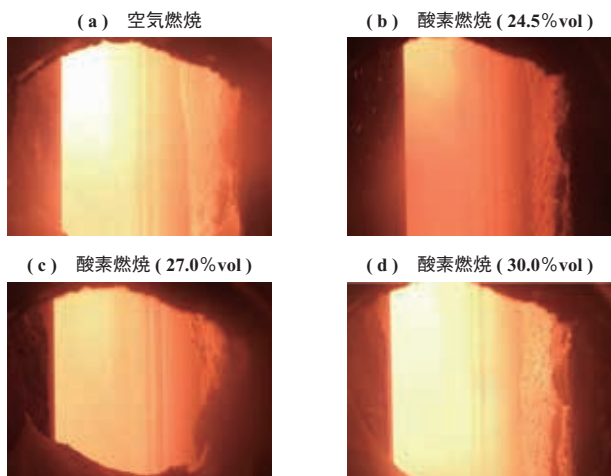
な事項を考慮したうえでボイラや全体システムの設計を進めなければならない。

- (1) ボイラプロセスにおける、燃焼・伝熱特性の把握、CO₂ 濃度や性能の確保、酸素燃焼特有の制御方法、長期間運転における信頼性
- (2) プラント安定運用を考慮した、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、緊急停止時の動作、および酸素の安全な取り扱いなど
- (3) 酸素燃焼によって発生した排ガスからの輸送・貯留・利用に適した不純物の除去、高純度 CO₂ を回収するためのプロセスの構築
- (4) 腐食性ガス、H₂O が濃縮することに対する、低温腐食への考慮

カライド酸素燃焼プロジェクト

IHI では、1989 年より取り組んできたさまざまな基礎研究、燃焼試験、運用性の検討を経て、実際の石炭火力発電所に酸素燃焼を適用すべく技術を積み重ねてきた。そして、オーストラリアのカライドにて、石炭火力発電プラントに酸素燃焼を適用した、CO₂ 回収技術の一貫したプロセスの実証プロジェクトを実施した。商用運転を経験した既設発電プラントを改造し、CO₂ 回収型酸素燃焼プラントになり得ることを実証する、世界初の試みであった。

カライド酸素燃焼プロジェクトは 2008 年より開始され、日豪両政府の支援のもと、日豪の企業が参加し進められてきた。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、さらに一般財団法人石炭エネルギーセンターが技術的支援を行ってきた。本プロジェクトは発電所での酸素燃焼からの CO₂ 回収、発電所から回収された CO₂ を輸送し地中



空気燃焼・酸素燃焼の火炎の比較（数値はボイラ持ち込み O₂ 濃度）

へ注入する、二つのステージで実施された。

第 1 ステージでは改造工事，試運転を経て，2012 年 12 月より酸素燃焼および CO₂ 回収実証運転を開始し，2015 年 3 月に運転を終了した。累積酸素燃焼運転は 10 000 時間以上，CO₂ 回収プラントは 5 500 時間以上の運転を達成した。また，酸素燃焼運転におけるプラントの性能，機器信頼性に関するさまざまなデータを取得してきた。以下に主な成果を示す。

- (1) 既設ボイラプラントへの酸素燃焼適用に際し，要求される空気燃焼と同等の性能で運転されること。また，空気燃焼と酸素燃焼との間を自動切り替えすることを確認した。空気燃焼とボイラ持ち込み O₂ 濃度を変化させた，酸素燃焼運転における火炎を写真に示す。火炎輝度は異なるが，一定負荷においては空気燃焼と同等の性能を満足している。
- (2) 改造部，既設流用部それぞれについて，長期間運転における機器健全性を確認した。

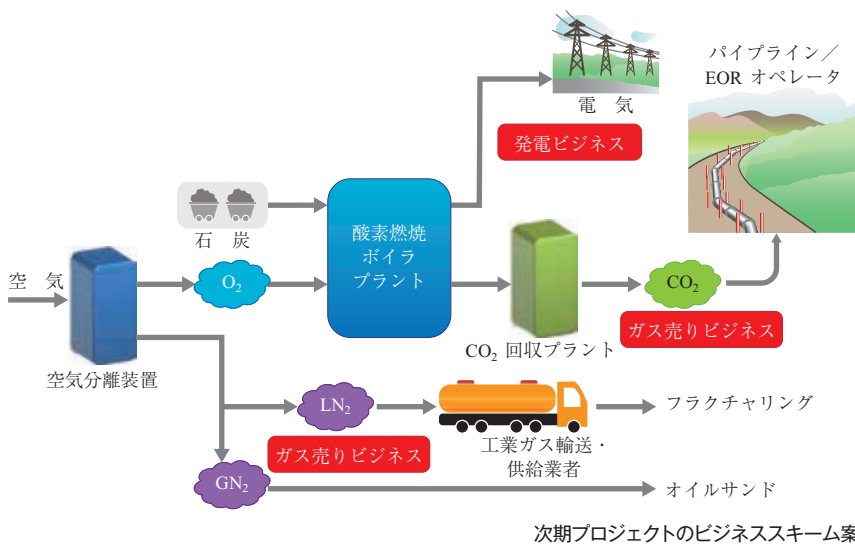
- (3) 大規模商用機において重要な要素となる低負荷運転，負荷変化，制御性，非常時のプラント動作（安全な停止，急速減負荷），低負荷での酸素燃焼への切り替えを確認した。
- (4) CO₂ 回収プラント（CPU）により，回収された CO₂ 濃度はほぼ 100% の純度を確保できた。また，装置の運転性能，排ガス中の大気汚染物質の除去特性，微量成分の挙動を確認することができた。

第 2 ステージでは，第 1 ステージで回収した CO₂ の一部を，2014 年 10 月から 12 月にかけてビクトリア州に陸送し，CO₂CRC（Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies）の Otway Project サイトの地下に圧入した。注入設備は CO₂CRC によって既に建設されていたものであり，圧入した CO₂ は貯留層内における地球化学および地球物理的な挙動の評価に使われた。これは，石炭火力発電所の酸素燃焼ボイラで回収した CO₂ が世界で初めて地下に圧入されたものであり，火力発電所から回収した CO₂ のオーストラリアで初めての地下圧入となった。またこれにより，プロジェクトの目標とした CO₂ の回収から圧入までの一貫実証が達成された。

既存のボイラプラントを改造し酸素燃焼を適用するに当たっては，ASU，CPU の仕様決定のための性能設計，レイアウトに制約があるなかでの機器追設が求められた。そのため，改造前に既存設備の状態点検，性能確認のための試運転を実施し，設計に必要なデータを集めたうえで改造を進めてきた。また，改造後運転時のプラントの制御において，設計時に意図しなかった動作が度々発生したため，試運転や実証運転中も試行錯誤のなかで安定運転のための調整が逐次な



回収した CO₂ の地中への圧入サイトでの圧入の様子



れた。さらに、発電所の人員がボイラに加え ASU や CPU といった、通常の発電所で馴染みのない装置の運転、保守をするため、習熟のための苦労も大きかった。このようななか、機器供給者のバックアップ、発電所側の努力の末、酸素燃焼プラントの長時間運転、CO₂ 回収が達成された。

次期プロジェクトに向けて

現在、酸素燃焼プラントからの CO₂ 回収システムの次期商用機実現を目指した、プロジェクト創出に向けた活動を実施している。

本技術の適用先は発電プラントであるが、近年では CO₂ を回収するだけでなく、CO₂ 自体を工業的に利用する CO₂ 回収・利用・貯留 (CCUS: Carbon Capture, Utilization, and Storage) が考えられている。CCUS は、回収 CO₂ の価値を高め、経済的にも効果的な CO₂ 回収を実現させるものである。一例として、生産量が減少した油田の石油を増産する EOR (Enhanced Oil Recovery) に利用することが挙げられる。さらに酸素燃焼では、ASU で分離された窒素も得られることから、この利用も経済性向上に寄与することが考えられる。窒素の利用としては、シェールガス生産 (フラクチャリング) や肥料生産などが考えられる。これらの生成物の利用による売却を含めて経済性を高めていくことにより、酸素燃焼による CO₂ 回収技術の可能性が広がる。

現在、次期案件として、カナダのアルバータ州にあるサンダンス発電所で、300 MWe 級の既設石炭火力

発電所の酸素燃焼適用改造について検討している。これは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の支援のもと、進めているものである。

カナダでは CO₂ 排出抑制のための法規制の整備が進み、2015 年には 420 kg-CO₂/MW・h 以下の CO₂ 排出量規制が適用された。これにより、新たな従来式石炭火力発電プラント建設が困難となり、さらに利用年数 50 年以上のプラントは使用停止を迫られている。一方、アルバータ州では、産業分野からの CO₂ を

利用する大規模 EOR プロジェクトが計画されている。そこで、石炭火力発電に酸素燃焼を適用した場合、回収した CO₂ を利用することにより経済性を高められる。また、ASU から生成された窒素を工業利用のため売却することで、経済的に有利な CCS システムを提供できるものと考えている。

おわりに

酸素燃焼ボイラシステムは新設はもちろん、既設のプラントを CO₂ ゼロエミッションプラントへ生まれ変わらせることができる、重要な技術であることを確信している。カライド酸素燃焼プロジェクトの実証を通じて得られた、プラント運転における数多くの経験を活かし、実運用規模での信頼性のある CO₂ 回収発電システムを実現していく。また、プロジェクトごとに異なるプロセスの最適化、さらに効率的なシステムの構築を進めていくことも重要な課題である。

今後も、経済的に有効かつ高効率な CO₂ 回収システムとして実現できるよう、早期の実用化とさらなる高度化を進めていく。

問い合わせ先

株式会社 IHI

エネルギー・プラントセクター

営業・マーケティングセンター 国内営業部

電話 (03) 6204-7414

URL: www.ihico.jp/