

高度加圧流動床燃焼技術 (A-PFBC) の開発

Development of Advanced PFBC Technology

伊藤 克哉 土山 佳彦
鳥居 功 石井 弘実



当社は、加圧流動床燃焼複合発電技術 (PFBC) をベースとして、ガスタービン入口温度の高温化により更なる効率の向上を図る高度加圧流動床燃焼技術 (Advanced PFBC: A-PFBC) の開発を進めている。平成13年度から15t/日級のプロセス開発試験装置 (Process Development Unit: PDU) でシステムの検証・特性把握を目的とした試験が行われ、累積ガス化運転時間約1200時間を達成して、運転試験を平成14年度で完了した。さらに平成15年度はPDUの解体研究が進められる予定であり、今後これらの結果をA-PFBCの実用化に向けて反映していく。

1. はじめに

資源の乏しい我が国では、エネルギーセキュリティのため、埋蔵量が豊富で価格安定性に優れる石炭を利用した火力発電を一定割合で導入することが重要である。一方、石炭は他の化石燃料に比べると発熱量当たりのCO₂排出量が多い。地球環境保全の観点から、石炭火力からのCO₂排出低減には高効率化による排出ガス削減が必須であり、このため高効率発電

技術の早期確立が望まれている。

A-PFBCは、加圧流動床燃焼複合発電技術 (PFBC) をベースとして、ガスタービン入口温度を高めること等により、大幅な効率向上が図られる新しい発電技術である。

本技術開発は、当社提案のA-PFBCシステムをベースに (財) 石炭利用総合センター (CCUJ) と電源開発 (株) が国の補助事業として開始したもので、中部電力 (株) と当社も参画し4社で共同研究を進めている。

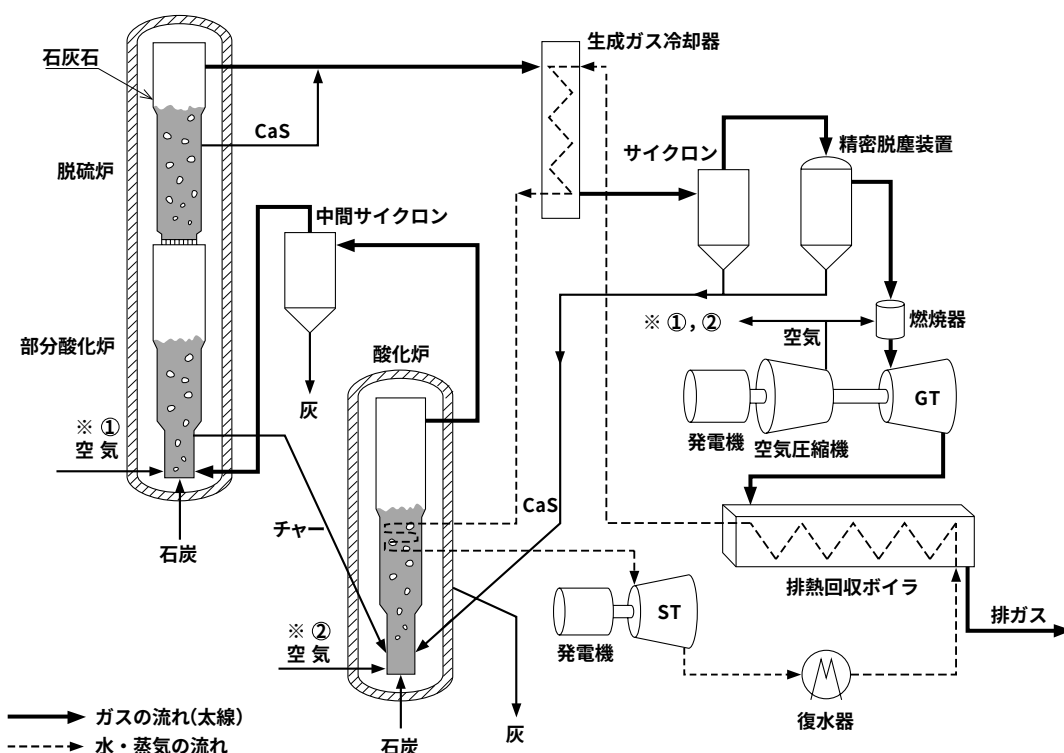


図1 A-PFBCシステム概略フロー

A-PFBCシステムの主要系統を示す。

2. A-PFBCシステムの概要

図1にA-PFBCシステムの概略フローを示す。

2.1 加圧流動床炉

A-PFBCは、部分酸化炉、脱硫炉及び酸化炉の3つの加圧流動床炉からなる。

(1) 部分酸化炉（石炭のガス化）

部分酸化炉では、石炭と空気及び酸化炉からの燃焼ガスが供給され、石炭のガス化により、COやCH₄及びH₂を可燃成分とする燃料ガスとチャー（未燃炭素及び灰分を含む）が生成される。

(2) 脱硫炉（H₂S濃度の低減）

脱硫炉では石灰石を用いて、部分酸化炉で生成した燃料ガス中に含まれるH₂Sの脱硫が行われる。次式に高温乾式石灰石脱硫の反応式を示す。

- ① CaCO₃→CaO + CO₂（カルシネーション反応）
- ② CaO + H₂S→CaS + H₂O

また、CaSはそのまま排出すると大気中では吸湿しH₂Sを発生するため、酸化炉で処理される。

(3) 酸化炉（チャーの燃焼，CaS酸化）

酸化炉では部分酸化炉から供給されるチャーの燃焼及び脱硫炉から供給されるCaSの酸化（石膏<CaSO₄>化）が行われる。燃焼ガスは部分酸化炉へ供給され、石炭灰及び石膏は酸化炉から排出される。

2.2 複合発電設備

(1) ガスタービン（GT）

脱硫炉出口燃料ガスは、サイクロンや精密脱塵装置により脱塵され、GTの燃焼器で燃焼し発電を行う。従来のPFBCではGT入口ガス温度が850℃級であったが、A-PFBCでは石炭ガス化複合発電システム（Integrated coal Gasification Combined Cycle：IGCC）と同様に石炭ガス化ガスを生成し、GTの燃焼器で燃焼させることによりGT入口ガス温度を1350℃級へ高めることが可能となる。

(2) 蒸気タービン（ST）

A-PFBCでは、脱硫炉出口の生成ガス冷却器，GT出口

の排熱回収ボイラ（Heat Recovery Steam Generator：HRSG）及び酸化炉層内管で熱の回収が可能であり、発生した蒸気によりSTで発電を行う。

3. PDU試験設備

A-PFBCの実用化のため、石炭処理量15t／日級のPDUによる試験を実施した。

3.1 主要試験項目

PDU試験における主要試験項目を以下に示す。

- ① 3炉（部分酸化炉，脱硫炉及び酸化炉）連携システム運用の検証
- ② 各炉での性能の確認（ガス化特性，脱硫特性，CaS酸化特性・チャー安定燃焼性等）
- ③ 基本運転方法の確認
- ④ 各種特性確認（アグロメレーション・タール・アンモニア・微量元素の挙動，粉体のハンドリング性，灰の環境適合性，炭種による諸特性等）
- ⑤ スケールアップデータの取得

3.2 PDU設備概要

表1にPDU主要仕様を示す。

PDUは加圧流動床炉及び付属機器に限定して構成されており，GT及びST等は既存のシステムの知見が活用可能であるため設置されていない。また，PDUでは部分酸化炉と脱硫炉を別置きとし，脱硫炉の温度制御を可能としている。

4. PDU試験状況

PDUは平成13年7月末からホット運転調整を開始し，平成15年2月まで，起動・停止を含めて1週間程度の試験運転を1回／月程度の頻度で合計18回実施した。

累積ガス化運転時間は約1200時間を達成した。以下に，これまでの試験によって確認されたプラント運用特性等を示す。

4.1 プラント起動操作

PDUは以下の操作手順により起動する。本起動要領も含め石炭ガス化運転の操作要領を確立した。

表1 PDU主要仕様

設置場所	電源開発（株）若松研究所		
容 量	石炭処理量15t／日級 熱入熱5MWth級		
仕 様	部分酸化炉	脱硫炉	酸化炉
形 式	加圧流動床	加圧流動床	加圧流動床
処理量	石炭処理量 550 kg/h（～620 kg/h）	石灰石供給量 13 kg/h	チャー処理量 65 kg/h（～120 kg/h）
ガス温度 （最高使用温度）	1017℃ （1050℃）	950℃ （985℃）	900℃ （950℃）
ガス圧力 （最高使用圧力）	1.9 MPa （2.5 MPa）	1.8 MPa （2.5 MPa）	1.9 MPa （2.5 MPa）
機 能	石炭のガス化	脱硫（H ₂ S濃度の低減）	チャーの燃焼，CaS酸化
性能目標	炭素転換率85% 生成ガス高位発熱量 1060kcal/m ³ Nwet以上	ガス中全S濃度110 ppm以下 （煙突出口SO _x 50 ppm相当）	石炭未燃損失1%以下 灰中CaS濃度1wt%以下 （Max 3%以下）

表2 部分酸化炉特性試験結果

項 目		計画値	RUN 15
石炭量	部分酸化炉 (kg/h)	550	555
	酸化炉 (kg/h)	0	0
蒸気／石炭 (S/C) (kg/kg)		0.2	0.22
部分酸化炉層温度 (°C)		1017	1021
部分酸化炉層高 (m)		4.9	5.7
空気比 (－)		0.40	0.44
発熱量 (HHV-dry) (kcal/m ³ N)		1060	916

- ① ユーティリティ起動
- ② 昇圧・予熱（運転開始）
- ③ 起動用燃焼器点火（酸化炉・部分酸化炉）
- ④ 流動材張込み・昇温
- ⑤ 酸化炉石炭投入
- ⑥ 部分酸化炉石炭投入・ガス化運転
- ⑦ 部分酸化炉増負荷
- ⑧ チャー及びCaSの搬送系統起動

4.2 部分酸化炉特性

部分酸化炉におけるガス化特性試験の運転データの一例を表2に示す。

PDUでは配管の詰まり防止のためパージ窒素や石炭搬送窒素量を増加させたことにより生成ガスが希釈され、発熱量が低めとなっているが、供給ガス中酸素濃度を計画値にすることにより、目標の発熱量が得られる。

4.3 脱硫炉特性

A-PFBCで採用している高温乾式石灰石脱硫は、脱硫炉で石灰石のカルシネーション反応開始後に脱硫反応が起こることから、脱硫炉の温度を石灰石のカルシネーション反応開始温度以上とする必要がある。

図2にこれまでの試験における脱硫特性を示す。脱硫炉出口の生成ガス中全S濃度（H₂S及びCOS濃度）は入口約400 ppmから出口110 ppm程度まで低減することを確認した。

4.4 酸化炉特性

これまでの試験の結果、酸化炉及び中間サイクロン排出灰に含まれる未燃炭素、CaS量はいずれも目標値の1 wt%以下の0.2～0.3 wt%程度であることを確認した。

4.5 主要確認事項

その他試験運転で確認・調整した主要な項目を以下に示す。

- ① 起動時の酸化炉への石炭投入手順の確認、部分酸化炉への石炭投入手順の確認。
- ② 各炉の層高・差圧の確認、酸化炉と部分酸化炉の層温・層高の挙動確認。
- ③ 酸化炉へのサイクロン灰及びチャー投入要領の確認。
- ④ チャー排出・搬送性の確認、粒子搬送性の確認、ガス及び灰サンプリング要領の確認。
- ⑤ 部分酸化炉における投入蒸気量変化、炭種変化等のガス化特性の確認。
- ⑥ 脱硫炉における温度変化等脱硫特性の確認。

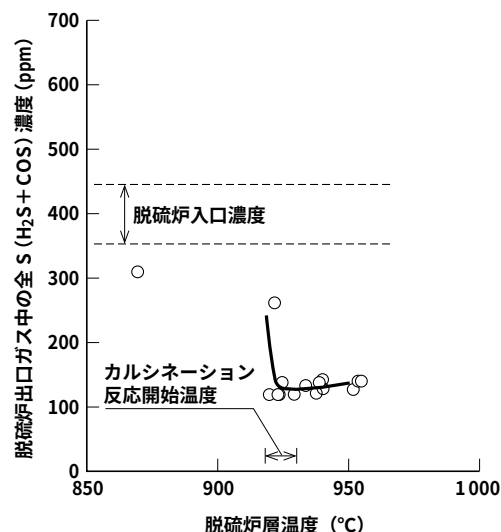


図2 脱硫炉温度と出口ガス中全S濃度

脱硫炉層温度がカルシネーション反応開始温度以上で脱硫反応が起こる

- ⑦ 酸化炉におけるチャー安定燃焼性及びCaS酸化特性の確認。
- ⑧ 総合運転における3炉連携運転特性の確認。

5. ま と め

これまでのPDU試験において、3炉連携システムの確立、部分ガス化特性、脱硫特性、チャー安定燃焼性、CaS酸化特性、起動停止方法を含めたプラントの運転方法を確認した。また次ステップのスケールアップに必要なデータを取得し、運転試験を終了した。今後はPDUの解体研究を行い、A-PFBCシステムの次期段階への可能性評価が行われる。

最後に、本技術開発は石炭生産・利用技術振興補助事業（石炭利用実用化技術開発に係るもの）として、（財）石炭利用総合センターと電源開発（株）、中部電力（株）、当社が共同で実施しているものであり、資源エネルギー庁資源・燃料部石炭課を始め関係各位に対し感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 武藤ほか、高度加圧流動床燃焼技術の開発、石炭利用国際会議2002予稿集（2002-9）J2.2-1～J2.2-7
- (2) 高井ほか、高度加圧流動床燃焼技術の開発、第8回流動層シンポジウム予稿集（2002-12）p.38～p.45



伊藤克哉
長崎造船所
火力プラント設計部
陸用ボイラ設計課



土山佳彦
技術本部
長崎研究所
化学研究室



鳥居功
技術本部
長崎研究所
火力プラント研究推進室



石井弘実
原動機事業本部
ボイラ技術部
ボイラ開発・サービス技術課