

石炭の高度利用発電技術の進展

Progress of Advanced Coal Power Plant Technology

技術本部 徳田君代*¹ 橋本 彰*²
 藤岡 祐一*³
 原動機事業本部 金子祥三*⁴

石炭だき火力発電プラントのプラント効率向上は、地球環境保全と我が国のエネルギーセキュリティ確保に大きく貢献する。既に商用化された超臨界圧微粉炭ボイラでは発電効率が41%に達している。PFBC（加圧流動床複合発電）は最近商用化階段を迎えた。次世代発電技術であるIGCC（石炭ガス化発電プラント）は実証プラントを経て、1500℃級ガスタービンとの組合せによりプラント効率48%の達成を目指して実用化を進めている。さらに将来技術としてはA-PFBC（アドバンスドPFBC）、SOFC（固体電解質燃料電池）発電技術開発に取り組んでいる。

Increasing thermal efficiency of coal fired power plants can greatly contribute to the conservation of the global environment and the energy security of our country. Ultra-supercritical pulverized coal fired power plants have been already used commercially, and their thermal efficiency has attained 41%. The PFBC (Pressurised Fluidized Bed Combustion) has recently reached commercial stage. The IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle) is now being developed in a demonstration plant and IGCC will accomplish a thermal efficiency of 48% with a 1500°C class gas turbine. Also the A-PFBC and the SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) are under development as future advanced coal technologies.

1. はじめに

供給安定性に優れた石炭エネルギーの消費量増加に対応するために、当社は石炭だき火力発電プラントの発電効率向上やNOx, SOx, ばいじんなどの環境汚染物質の低減などの技術開発を推進し、電力供給と環境保全の調和を図ってきた。

平成9年12月の気候変動枠組み条約第三回締約国会議(COP3)で課せられたCO₂など温室効果ガス削減目標達成のために、長期的には原子力、新エネルギー、天然ガスの導入によるエネルギー供給構造の変革が提言されている。しかし、短期的には、エネルギーセキュリティや経済性などの観点から、CO₂発生量のより少ない信頼性や環境適合性に優れた新しい石炭だき火力発電プラントの早期実用化が強く望まれている。

石炭の可採埋蔵量は天然ガスの3倍以上あり、高度利用技術による高効率化を図ることにより、石炭だき火力発電プラントは原子力発電プラントと並んで、我が国の安定な電力供給とエネルギーセキュリティ確保に貢献できる。

以下にこれからの石炭高度利用発電技術の開発状況について紹介する。

2. 石炭高度利用発電技術の現状

2.1 USC（超々臨界圧蒸気利用発電技術）

現在石炭火力発電プラントの主流である微粉炭だきボイラと蒸気タービンの組合せによる発電方式では、蒸気条件の超々臨界圧(USC: Ultra Super Critical)化により表1に示すように発電効率(高位発熱量: HHV ベースの送電端, 以下同様)が41%に到達している。

蒸気条件の高温高圧化による高効率化は高温高強度材料の面で限界があり、経済性のある発電効率の更なる向上のためには、以下に述べる蒸気タービンによる発電方式と他の発電方式を組合せた複合発電方式を指向していくことになる。

表1 石炭火力発電システムの開発状況とプラント効率

Status and thermal efficiency of various coal power plants

| 発電方式 | 検討仕様 | 送電端効率 (HHV 基準) | 開発段階 |
|-------------|----------------------------------------------------|----------------|------------|
| 従来石炭火力 | 246 kgf/cm ² G 538/538°C | 38.5 % | 商用機 |
| 石炭だき USC 火力 | 246 kgf/cm ² G 600/600°C | 41 % | 商用機 |
| PFBC | 830°C 級 G/T 169 kgf/cm ² G 593/593°C | 41 % | 商用機 |
| IGCC (実証機) | 1300°C 級 G/T 湿式脱硫 | 42 % | 実証段階 |
| IGCC (商用機) | 1500°C 級 G/T 乾式脱硫 | 48 % | 計画段階 |
| A-PFBC | 1300°C 級 G/T 炉内脱硫 | 46 % | PDU 段階 |
| SOFC | 加圧 G/T 複合サイクル | 55 % | SOFC 素子開発中 |

2.2 PFBC（加圧流動床複合発電技術）

石炭は硫黄分、窒素分、灰分を含むために、ガスタービンとの組合せを考えると、石炭燃焼ガスのクリーンアップ工程が必要となる。現在、石炭火力発電プラントの高効率化を目的として、従来の蒸気タービンによる発電にガスタービンによる発電を組み込んだPFBC (Pressurised Fluidized Bed Combustion) が商用化されている。

PFBCの特徴は、石炭火力発電プラントが複合発電化され発電効率が向上したこと及び石灰石による炉内脱硫でクリーンアップが乾式化されたことである。当社が建設した電気出力が85 MWのPFBCである北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機は平成10年3月9日に官庁試験に合格し、世界初の高温精密脱じん用セラミックフィルタを備えたPFBC商用プラントとして、現在順調に稼働中である⁽¹⁾。

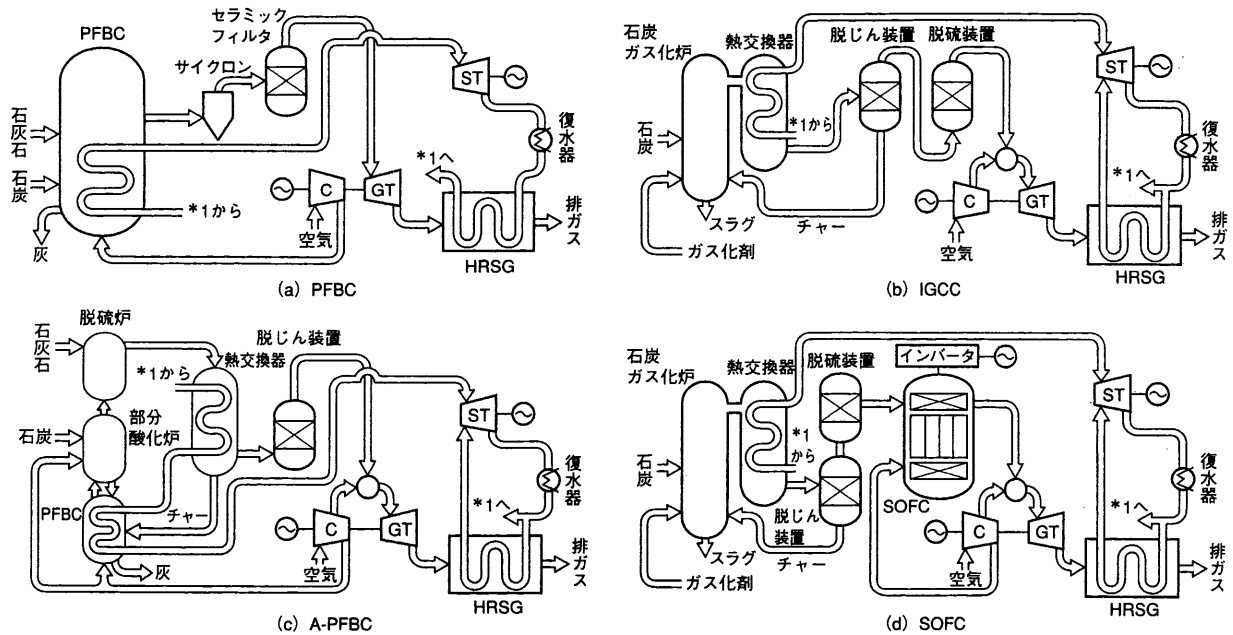
PFBCの開発により石炭利用加圧プラント技術、ガスタービン発電技術、高温、高圧下での脱硫、脱じん技術などが実証された意義は大きく、石炭ガス化複合発電への開発の礎が築かれた。

*1 長崎研究所次長

*3 長崎研究所化学研究室長

*2 長崎研究所火力プラント研究推進室長

*4 原動機技術センターボイラ技術部長



ST: 蒸気タービン, GT: ガスタービン, C: 空気圧縮機, HRSG: 排熱回収ボイラ

図1 石炭火力発電システムの構成 プラント高効率化をねらった石炭を利用する新しい発電プラントのシステムフローを示す。
Flow schemes of various coal power plants

3. 次世代石炭高度利用発電技術 —IGCC (石炭ガス化複合発電)—

IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle) は海外で 2 000 t/d 級の実証機の開発が進められている。

国内では平成 13 年度から実証機を建設し平成 16 年度に実証運転を実施予定である。

当社が取組んでいる IGCC は、石炭ガス化炉として空気吹き加圧二段噴流床方式を採用し、高いガス化効率と効果的なガス冷却を同時に実現することを特徴としている。プラントの構成を図 1 に示す。空気吹き加圧二段噴流床ガス化方式は、常磐共同火力(株)勿来発電所で平成 3 年から 8 年まで 200 t/d パイロットプラントの運転研究を行ない、さらにその成果をベースに実証機へのスケールアップを検討中であり、高圧ガス化反応試験、加圧バーナ試験、石炭高濃度搬送試験等の基礎・要素試験及び三次元の反応・伝熱・流動シミュレーション等の開発を実施している⁽²⁾。

ガス化ガスの脱硫方式は低温での湿式脱硫と、450°C 以上の高温で脱硫する乾式脱硫があり、プラント効率的には乾式脱硫が高い値を期待できる。湿式脱硫は化学プラントでの実績があり、発電用の石炭ガス化プラント用に直ちに適用が可能であるが、将来はプラント効率向上の観点から乾式脱硫の開発が望まれる。1 500°C 級のガスタービンと組合せると、IGCC では送電端発電効率 48 % が実現可能である。

4. 将来石炭利用発電技術の開発

4.1 A-PFBC (アドバンスト加圧流動床複合発電)

A-PFBC (Advanced PFBC) とは PFBC を高効率化するために、通商産業省サンシャインプロジェクトで開発した夕張 40 t/d 流動床石炭ガス化炉技術と商用化を達成した PFBC 技術とを発展させたガスタービンコンバインドサイクルである。

現在基礎研究中であり、電源開発(株)が国家プロジェクトとして平成 13 年から 15 t/d 級の PDU (Process Development Unit) での実験を開始する予定である。これに先立ち当社では石炭ガス

化ガスの脱硫に石灰石を使用し、950°C の高温還元雰囲気中で硫黄を除去し、石こうとして固定する技術の開発に取組み、世界に先駆けて原理的な検証を行った。

4.2 SOFC (固体電解質燃料電池複合発電)

SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) は固体電解質である YSZ (イットリウム安定化ジルコニア) が高温で酸素イオンを通すことを利用した発電方法で、燃料の化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換することが可能である。SOFC とガスタービンの複合サイクルにより、石炭をガス化し燃料とした場合で、発電効率 55 % が達成可能である⁽³⁾。

SOFC は多層のセラミックスで構成されているために温度変化に対して敏感であったが、SOFC セルを構成する各セラミックス層の熱膨張率を近づけることにより、耐久性を向上させることができた。現在 SOFC は素子の量産化技術の開発段階であり、当社は基体管、燃料極、固体電解質、インタコネクタを一体成形し、焼結させる技術を世界に先駆けて開発を完了し、経済性に優れた SOFC 生産技術を確立しつつある。

5. ま と め

石炭をクリーンで高効率な燃料として高度利用する技術は、次世代のエネルギーと環境保全のキー技術の一つと考えられる。

今後とも、ますます単体機器の開発とシステムとしての最適化・簡素化を図り、顧客のニーズにこたえられる技術開発を強力に推進し、豊かな社会の発展に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 金子祥三ほか、加圧流動床 (PFBC) 複合発電プラントの開発、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998) p.48
- (2) 金子祥三ほか、噴流床石炭ガス化炉のスケールアップ、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998) p.44
- (3) 久留正敏ほか、21 世紀の高効率発電技術—燃料電池複合発電技術の開発—、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998) p.38