

環境に優しい石炭グリーンテクノロジー - 石炭高効率発電技術 -

Sophisticated Use of Coal Energy with Green Technologies for Thermal Power Plants

中村 眞二*1
Shinji Nakamura

松田 秀雄*2
Hideo Matsuda

太田 一広*3
Katsuhiko Ota

岡本 英男*4
Hideo Okamoto



近年、環境問題への関心が高まり、地球温暖化効果に大きな影響を与えるCO₂排出量の低減が要求されている。これに対し、火力発電所では発電効率の改善等によりCO₂排出量低減が可能である。当社は、これまで同効率向上として、従来型石炭火力では、蒸気条件の向上を行っており、さらに、ガスタービン及びガスエンジンの適用による効率向上に取り組んでいる。本報では、石炭及び石炭起源の燃料を使用する高効率発電技術として、最新の石炭焼き超々臨界火力、石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated Gasification Combined Cycle）、高炉ガス焼きガスタービン複合発電、炭鉱メタンを燃料とするガスエンジン発電について、報告する。

1. ま え が き

京都議定書が2005年2月16日に発効し、日本は2008～2012年のCO₂排出量を1990年度比で6%削減する必要があり、原子力、新エネルギー、天然ガスの更なる導入並びに省エネルギー等の対策が提言されている。一方、石炭は世界中に広く分布し、廉価なエネルギーであり、エネルギーセキュリティや経済性などの観点から、日本の一次エネルギーの約20%を担っており、発生発電量の約20%が石炭火力発電所によるものである。

国内電力会社のCO₂排出原単位は、1990年度が約0.42 kg-CO₂/kWh、2001年度時点で約0.38 kg-CO₂/kWhであり、電気事業連合会は2010年度のCO₂排出

原単位の目標を0.34 kg-CO₂/kWhと1990年度から20%低減を目指している。

一方、石炭の発熱量当たりのCO₂発生量は、天然ガスの約1.5倍であり、石炭火力のCO₂排出原単位は、0.88 kg-CO₂/kWhと高く、CO₂発生量のより少ない石炭高効率発電技術が重要となっている。

当社の火力発電技術の取り組みを図1に示す。蒸気条件の向上、燃料の多様化、ガスタービン及びガスエンジン技術の適用により、高効率発電技術に鋭意取り組んでいる。

2. 超々臨界圧石炭火力プラント

従来型火力発電方式では、単機容量の増大と熱効率の向上を目的として、図2に示す通り蒸気条件の高温

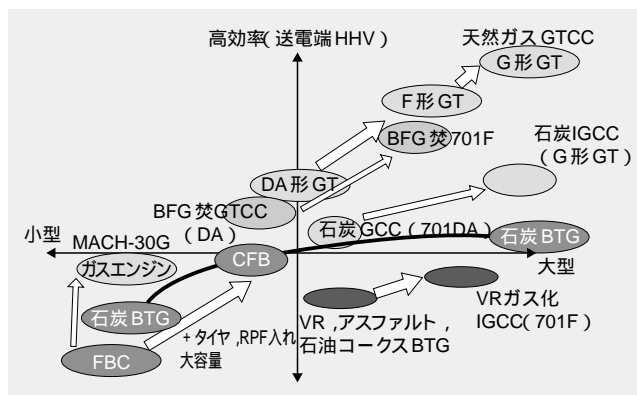


図1 火力発電技術の取り組み

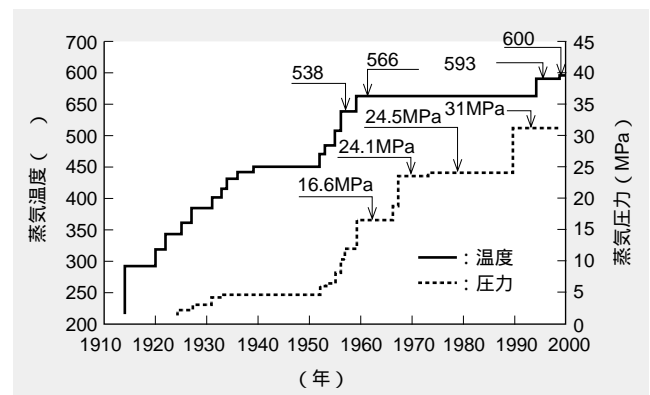


図2 火力発電プラントの蒸気条件の変遷

*1 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術一課長

*2 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術二課長

*3 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術一課主席

*4 横浜製作所原動機技術部ディーゼル設計課長

高圧化が進められてきた。

超々臨界圧条件を採用した最新の石炭火力の効率は、図3に示す通り、発電端で45%以上(LHV基準)であり、従来に比べ、CO₂排出原単位を3%低減可能である。

図4に2004年7月に商用運転を開始した東京電力(株)広野火力発電所5号機を示す。同プラントの蒸気条件は24.5 MPa x 600/600の世界最高水準である。図5に示す同プラントの蒸気タービンには、高蒸気条件に対応するための高温材料・冷却構造を採用し、600 MWクラス初の2車室タービン、スチール48イ

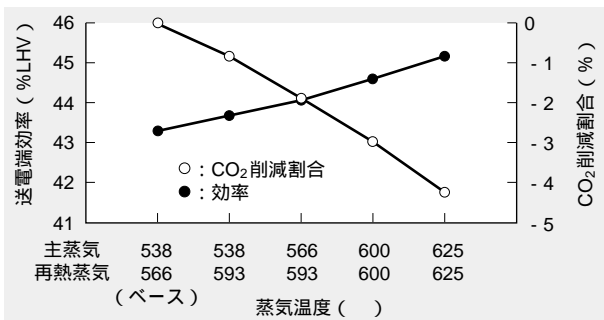


図3 蒸気条件と効率・CO₂低減割合



図4 東京電力(株)広野火力発電所5号機全景



図5 広野5号機600 W蒸気タービン外観

ンチISB翼、新型復水器・一胴式脱気器等の最新技術を適用している。また、ボイラには、高温化対応材料、ライフル管を使った垂直管型火炉の他に、A-PMバーナ及びMRSミル適用による低NO_x・低未燃分燃焼技術を採用している。

3. 石炭ガス化複合発電プラント

ガスタービンの燃焼温度の高温化により飛躍的に熱効率が向上し、燃焼温度1500級のガスタービンによる最新の発電所では既に50%を超える熱効率を達成している。しかし、大容量発電用として実用化されているガスタービンの燃料は、LNG等のガス燃料や軽質の油燃料等清浄度の極めて高い燃料のみであり、灰やアルカリ金属類を多量に含む石炭をそのまま使用することができない。

石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle)は、石炭をCO及びH₂等の可燃成分にガス化し、ガスタービンで燃焼する技術であり、海外では既に300 MW級の酸素吹きIGCCの大型プロジェクトが進められている。これらはいずれも化学プラント用に開発された酸素吹きガス化方式で、発電用設備としての信頼性は必ずしも十分ではない。我が国では、より高効率、高信頼性の空気吹きIGCCの確立に向けて、開発を進めている。

空気吹きIGCCは酸素吹きに比べて酸素製造に必要な補機動力が少ないため送電端効率が高く、石炭火力と同じく粉体で供給するため、石炭スラリーによる湿式給炭方式に比べ水分の潜熱ロスが少ない特徴がある。

空気吹きガス化炉の原理を図6に示す。

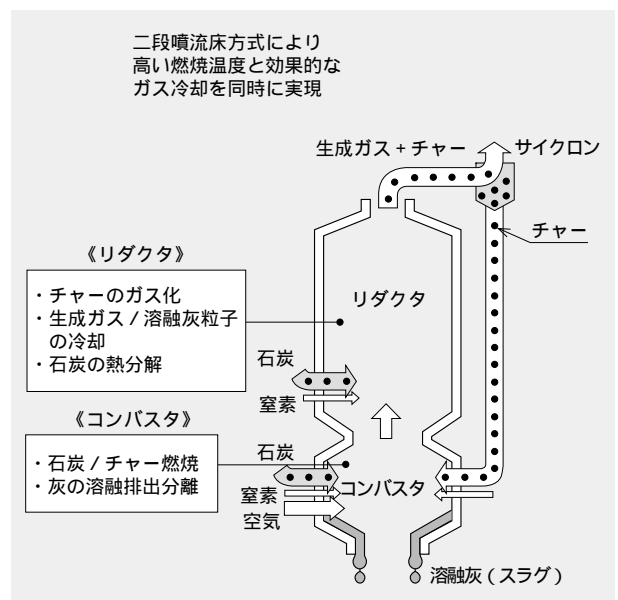


図6 空気吹きガス化炉の原理

現在，我が国では，電力会社が共同で設立した(株)クリーンコールパワー研究所が国の補助を受けて，図7に示す250 MW級IGCC実証機を常磐共同火力(株)勿来発電所構内に建設中である．当社は，土工事を含め，本プラントのガス化炉，ガス精製設備，ガスタービン，蒸気タービン及びHRSG等の機器を供給している．同プラントは2007年から実証試験が行われる予定である．

1500級G形ガスタービンを適用したIGCCの送電端効率は48～50%（LHVベース）であり，送電端当りのCO₂排出量を従来型石炭火力に比べ，15～20%低減でき，CO₂排出原単位が油焼き火力並となる．

4. 高炉ガス焼きガスタービン複合発電プラント

当社ガスタービンの燃料として，図8に示すとおり，天然ガス以外に製油所の副生ガス，製鉄所の高炉ガスなどの実績がある．今後，エネルギー有効利用のために副生ガスの利用がますます拡大するものと予想される．国内に輸入された石炭の約40%は，コークスの

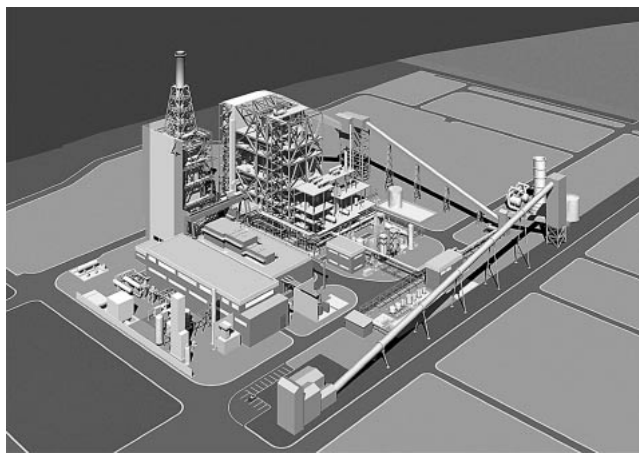


図7 250 MW級IGCC実証機鳥瞰図

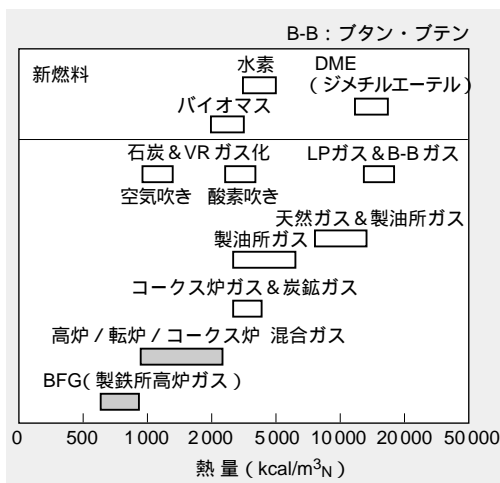


図8 ガスタービン用燃料の多様化

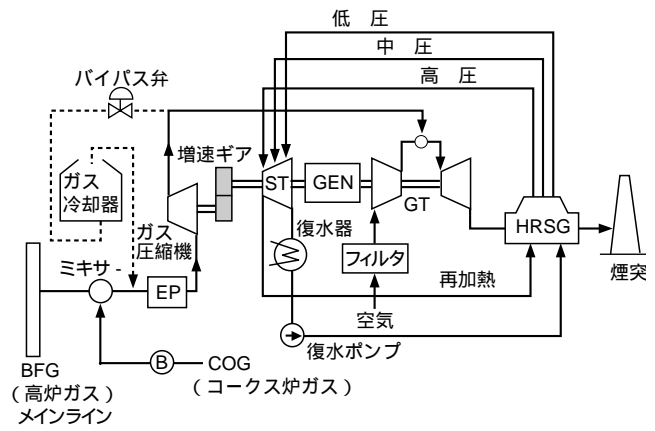


図9 高炉ガス焼きコンバインドシステム

製造を含め製鉄所で消費されており，製鉄所のエネルギー効率の向上はCO₂の排出量削減に大きく寄与する．

当社では，高炉ガス焼きF形ガスタービンを開発し，図9のとおり1300クラスの世界最大容量の高炉ガス焼き複合発電プラントを実用化，2004年7月に商用運転を開始した．これにより，従来型火力発電プラントに比べ，同一出力でのCO₂の排出量を約25%削減できる．

また，中国の製鉄所における単位製鉄当たりのエネルギー消費量は，日本の製鉄所の約1.5倍と言われ，地球環境の保全のためにも中国の製鉄所の省エネルギー化は重要な課題であり，当社は高炉ガス等の副生ガスを燃料とするガスタービン複合発電プラントの普及に積極的に取り組んでいる．

5. 炭鉱メタン利用ガスエンジン

近年，発電用エンジンにおいて，NO_x，ばい塵及びCO₂等の排出量の少ないガスエンジンの需要が伸びている．当社では世界最高の発電効率を目標に新技術を適用した低NO_xリーンバーンガスエンジンを開発し，図10に示す5000kWクラスでは微量液体燃料を着火源としたマイクロパイロット着火方式のMACH-30Gをすでに実用化している．さらに，このマイクロパイロット着火方式のガスエンジンで炭鉱の石炭採掘時に発生するメタンガスを利用できる様，開発を進めている．炭鉱メタンガスはメタン濃度が30～50%程度で，かつ，濃度が変動するため，全発生量の約90%が未利用のまま大気放出されている．メ

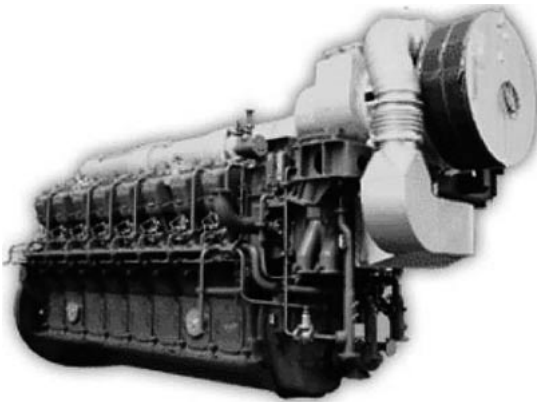


図10 MACH-30G 概観図

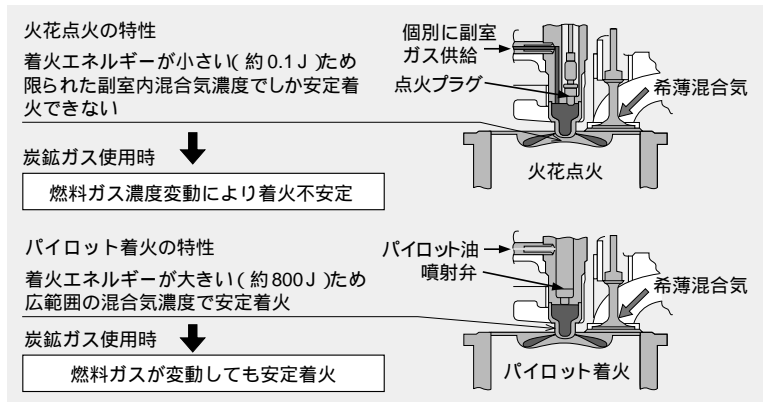


図11 ガスエンジン着火方式の比較 パイロット着火方式の採用によりガス濃度変動に対応できる。

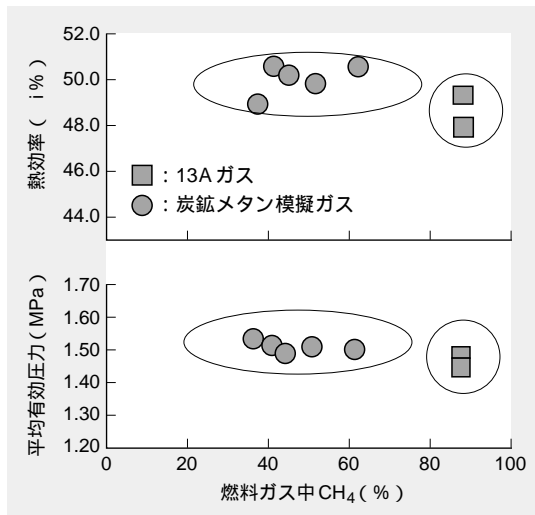


図12 炭層メタン模擬ガス試験結果 燃料中メタン濃度と熱効率，出力の比較を示す．炭鉱メタンガスでも都市ガスと同等の燃焼性能となる見通しが得られた．

タンガスの温室効果はCO₂の約21倍と大きく，全世界での放出量はCO₂換算で約5億t/年と，日本全体のCO₂年間排出量の約40%に相当し，炭鉱メタンガスの有効利用は地球温暖化防止対策に大きく寄与できる．

従来のガスエンジンは，火花点火方式を採用し，副室内に理論空燃比付近の混合気を供給するため，燃料ガスの濃度が変動すると着火が不安定となる．これに対し，マイクロパイロット着火方式は，着火エネルギーが大きく，希薄混合気への安定着火が可能である．つまり，炭鉱メタンガスのように燃料ガス濃度が変動する場合でも安定した着火が可能となる．パイロット着火方式と火花点火方式の比較を図11に示す．

図12の示すとおりマイクロパイロット着火技術の採用により炭鉱メタンガスでも都市ガスと同程度の高出力かつ高効率で安定的な運転ができる見通しを得ており，当社は実用化に向けて開発を継続している．

6. ま と め

京都議定書の発効により，日本は更にCO₂排出量を低減する必要がある．石炭からの発熱量当りのCO₂排出量は他の化石燃料に比べて高い．しかし，石炭は日本を含め世界の一次エネルギーの約23%を担っており，引き続き，主要エネルギーの一つとして利用される見通しである．日本の石炭利用技術は，世界のトップレベルであり，当社は，資源の有効利用及びCO₂排出量低減を含めた石炭利用技術の効率向上に今後も積極的に取り組むとともに，世界に広くこれらの技術を普及させる所存である．

参 考 文 献

- (1) 門馬ほか，最新鋭石炭焚き600 MW 発電プラント“東京電力(株)広野火力発電所5号機”の営業運転開始，三菱重工技報 Vol.41 No.5 (2004)
- (2) Sato et al, Highest Efficiency IGCC and The 250MW Demonstration Plant in Japan, Coal-gen 2005 (2005)
- (3) 福泉ほか，発電市場をリードする大容量高効率ガスタービン，三菱重工技報 Vol.41 No.5 (2004)
- (4) 新井ほか，温室効果ガス削減のための高効率ガス機関の開発，三菱重工技報 Vol.41 No.4 (2004)



中村真二



松田秀雄



太田一広



岡本英男