

# 空気吹きガス化炉を用いた IGCC 商用機の計画状況

## Commercialization of Mitsubishi Air-Brown IGCC Power Plant



橋本 貴雄  
Takao Hashimoto

坂本 康一  
Koichi Sakamoto

北川 雄一郎  
Yuuichirou Kitagawa

百武 慎徳  
Yoshinori Hyakutake

瀬谷 典繁  
Norishige Setani

エネルギーの安定供給、及び地球温暖化問題の観点から、石炭をベースとした高効率発電システムである石炭ガス化複合発電(IGCC)、更には発電時に発生した CO<sub>2</sub> の回収・貯留に対応した CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC 商用機の実現が、CO<sub>2</sub> 排出量低減の切り札として注目されている。本論文では、IGCC 商用機の計画状況、及び IGCC による CO<sub>2</sub> 回収技術に関する当社取り組み状況について報告する。

### 1. はじめに

世界的なエネルギー消費量の増大に伴い、化石燃料の中で安価で長期的な安定供給が可能な石炭の消費量は、今後も著しく拡大すると見込まれている。一方で、地球温暖化問題を中心に石炭利用に厳しさが増す中で、高効率化による CO<sub>2</sub> 排出量を低減する技術の確立が時代の要請となっている。また、最近では更なる CO<sub>2</sub> 排出量低減の切り札として、発電時に発生した CO<sub>2</sub> を回収・貯留する技術が検討されており、石炭ガス化複合発電(IGCC)は最も効率的・経済的に CO<sub>2</sub> 回収が可能な石炭利用火力発電技術、即ちクリーン・コール・テクノロジーとして注目されている。本論文では、まず IGCC の開発状況を概観し、次に現在取り組んでいる IGCC 商用機の計画状況、及び IGCC による CO<sub>2</sub> 回収技術について報告する。

### 2. IGCCの開発状況

石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)は、石炭をガス化し、ガスタービンコンバインドサイクル発電と組み合わせることにより、従来型微粉炭火力を超える高効率化を実現する発電システムである。当社では、発電に最適な高効率で信頼性の高い空気吹き IGCC の実現に向けて、国、電力会社9社、電源開発(株)及び(財)電力中央研究所と共同で開発・実用化を進めている。2t/日規模の実験炉から 200 t/日規模(25MW 相当)のパイロットプラント試験を経て、商用化への最終段階として、250 MW 級 IGCC 実証機(以下 IGCC 実証機)を建設した。IGCC 実証機は電力会社が主体となり、2001 年6月に設立された(株)クリーンコールパワー研究所が事業主体としてプロジェクトを進めている。当社はガス化炉、ガス精製、ガスタービン、蒸気タービン及び排熱回収ボイラ(HRSG)などの各主要設備を含む IGCC の全設備を一社一貫で受注し、設計・建設・納入した。

IGCC 実証機は、2007 年9月から実証試験を開始している。試験は予定どおり進捗し、2008 年3月には定格負荷である 250MW に到達し、2008 年9月には 2 000 時間を超える長期連続運転に成功した。図1に欧米の IGCC プラントの運転実績を示す。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炉を採用しており、運転開始から数~10 年以上を経ても、長期連続運転を達成していないものが多い。IGCC 実証機にて運転開始から1年で長期連続運転を達成したことは、当社空気吹き IGCC の極めて高い信頼性を実証するものとなった。

表1にプラント性能計測結果を示す。出力・効率共に計画を十分に満足する結果を得た。スラッグに炭素が含まれず完全にガス化するため、炭素転換効率ほぼ 100%であった。環境値は計画値に対し極めて良好な結果を得ており、従来型微粉炭火力をはるかに上回る環境性能の高さが実証された。IGCC 実証機は、今後 5 000 時間連続耐久試験を通して、商用化へ向けた更なる高効率・高信頼性化試験、及び長期耐久性や保守費の検証を実施していく予定である。

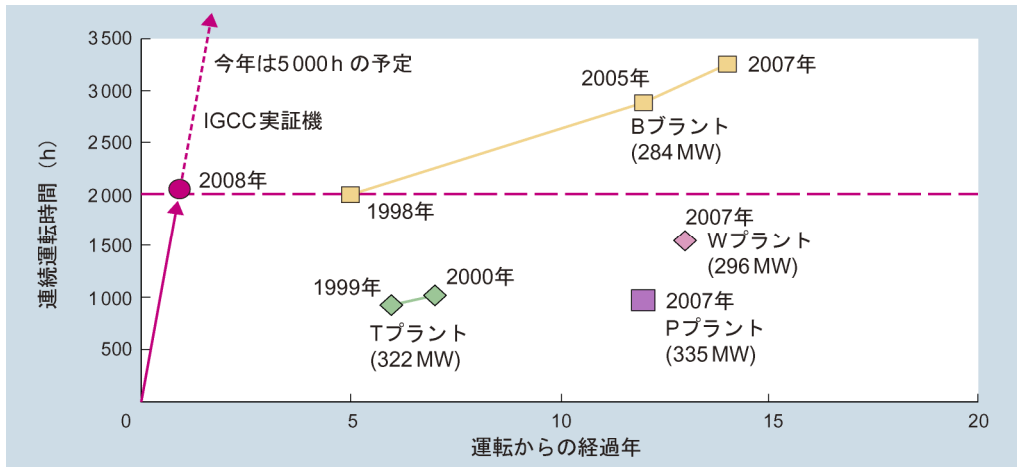


図1 IGCC プラントの運開からの経過年数と連続運転時間

表1 IGCC 実証試験結果

大気温度		13.1 °C
総出力(発電端)		250 MW (計画 250 MW)
ガスタービン出力		124 MW
蒸気タービン出力		126 MW
送電端効率		42.9 % (LHV) (計画 42%以上)
冷ガス効率		77.2 %
炭素転換効率		>99.9 %
生成ガスHHV wet		5.4 MJ/m <sup>3</sup> N (1290kcal/ m <sup>3</sup> N)
生成ガス組成	CO	30.5 %
	CO <sub>2</sub>	2.8 %
	H <sub>2</sub>	10.5 %
	CH <sub>4</sub>	0.7 %
	N <sub>2</sub> & Others	55.5 %
環境値 (16 % O <sub>2</sub> 換算)	SO <sub>x</sub>	1.0 ppm (計画 8 ppm 以下)
	NO <sub>x</sub>	3.4 ppm (計画 5 ppm 以下)
	ばいじん濃度	<0.1 mg/ m <sup>3</sup> N (計画 3.3 mg/m <sup>3</sup> N 以下)

### 3. IGCC 商用機計画概要

#### 3.1 空気吹き IGCC 商用機

表2にIGCC 実証機と商用機の主要諸元比較を示す。商用機ガス化炉技術は、IGCC 実証機と同じ空気吹きを採用し、容量比で約2倍のスケールアップとなる。ガス化炉の圧力容器径は、IGCC 実証機からわずか 20%程度の増加であり、スケール則が十分適用できる範囲内となっている。

表2 空気吹き IGCC 実証機と商用機の諸元

項目	単位	250MW 級実証機	商用機(50Hz/60Hz)
出力 (発電端)	MW	250	600/500
炭種	—	瀝青炭	瀝青炭
ガス化炉	—	乾式給炭 空気吹き	乾式給炭 空気吹き
ガス精製	—	湿式脱硫	湿式脱硫
ガスタービン	—	M701DA 形	M701G/M501G 形
プラント効率 (発電端)	%, LHV	48	53
環境性能 (16%O <sub>2</sub> 換算)	SO <sub>x</sub>	ppm	8
	NO <sub>x</sub>	ppm	5
	ばいじん	mg/m <sup>3</sup> N	4
運開年度	—	2007	最短 2014

ガス化炉の給炭方式は、IGCC 実証機と同じく、窒素などイナータガスを搬送媒体とした乾式給炭方式を採用する。石炭を水と混合しスラリー化し、それをスラリーポンプでガス化炉へ供給するスラリー給炭方式では使用困難な、高水分の亜瀝青炭など安価な低品位炭を含め、広範囲な性状の石炭が利用可能である優れた長所を有すると同時に、高いプラント効率を得ることが可能である。

ガスタービンには、天然ガス焚きで実績のある燃焼温度 1500℃級の高効率G形ガスタービンをベースに、高炉ガス(BFG)を始めとする低カロリーガス焚きガスタービンの実績を十分生かした、高信頼性の石炭ガス化ガス用燃焼器を採用する。最新のガスタービンを組み合わせたIGCC商用機は、送電端効率を飛躍的に向上でき、従来型微粉炭火力に比べ、CO<sub>2</sub> 排出原単位の大幅な低減が可能である。

### 3.2 石炭ガス化炉設計

IGCC向け空気吹き石炭ガス化設備は既に標準機の設計を完了し、商用機への対応がいつでも可能となるように準備を完了している。図2に M501G 形ガスタービン対応の石炭ガス化設備標準機の全景を示す。これによりお客様のニーズに応じて、迅速に設備プランの提供が可能である。

また、IGCC実証機で得られた知見すべてをフィードバックすることにより、信頼性と運用性の更なる向上を図っている。特に現地工事及び試運転中に得られた経験は、全関係者からのヒアリング結果と設計レビューによる改善提案を反映したDFX(Design for X)を行い、製品の信頼性を向上した。

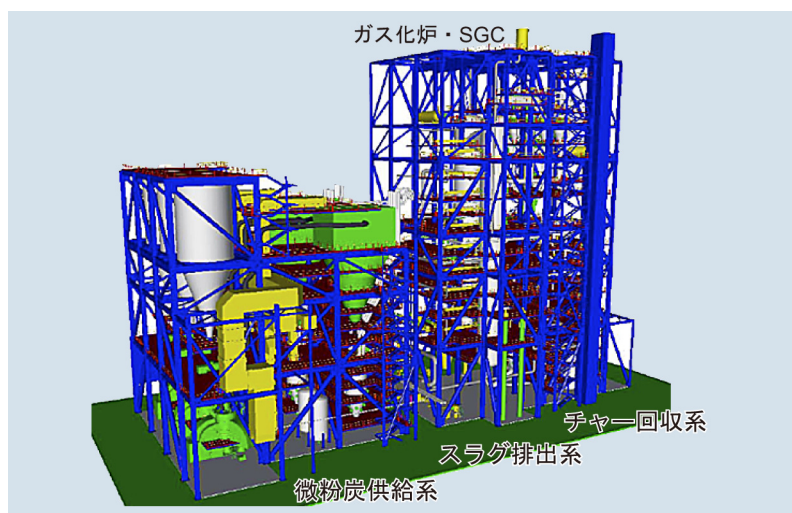


図2 石炭ガス化設備標準機(M501G 形ガスタービン対応機)

## 4. IGCC による CO<sub>2</sub> 回収

### 4.1 国内外における CO<sub>2</sub> 回収プロジェクト状況

現在、石炭火力発電から排出される CO<sub>2</sub> は、世界全体の排出量の 1/3 を占めており、石炭火力の効率を大幅に向上させるとともに、CO<sub>2</sub> の回収・貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Sequestration) を図ることが、短中期的に地球温暖化防止策として最も有効であると考えられている。

2007 年5月、安部元首相がハイリゲンダムサミット(独)にて提案した“美しい星 50”では、2050 年までに世界全体の排出量半減のための長期ビジョンが示されており、CCS はIGCCと組み合わせたゼロ・エミッション石炭火力発電として、“革新的技術開発”の一つに位置付けられている。また、2008 年5月には、電力や石油会社など計 29 社が出資する日本 CCS 調査(株)が設立され、本格的な CCS 調査の実施、及び IGCC と CCS を組み合わせた大規模な実証試験が計画されている。

米国では 2003 年 2 月、米国エネルギー省 (DOE: Department of Energy) が主体となり、90% 以上の CO<sub>2</sub> を回収するゼロ・エミッション IGCC プラントを開発する Future Gen プロジェクトがスタートしたが、2008 年 1 月には、2015 年までに運開する CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC の CCS 設備に対してのみ資金援助するとのプロジェクト方針の変更が発表された。現オバマ政権下では、CCS を始めとするクリーン・コールの実現に政策の重点がおかれ、CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC 商用機の具体的プロジェクトの建設計画が複数進行中である。

欧州では 2007 年 1 月に欧州委員会が発表した“Energy Policy for Europe”の中で、2015 年までに最大 12 件の CCS 実証機建設を促進する計画が立てられており、CCS 関連事業に約 30 億ユーロの助成が行われている。また、世界的に油田からの産油量増産の手段として、CO<sub>2</sub> を注入する EOR (Enhanced Oil Recovery) も商業化がなされており、石炭火力から回収した CO<sub>2</sub> の有効活用法の一つと目されている。

## 4.2 CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム

このように国内外で CCS など CO<sub>2</sub> 回収プロジェクトの実現・拡大機運が急速に高まる中、当社は IGCC 並びに、これに CO<sub>2</sub> 回収を組み合わせた CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC を、今後の大きなビジネスチャンス有する製品ととらえ、商用機の実現に取り組んでいる。

石炭火力の CO<sub>2</sub> 回収方式として、① 燃焼前の燃料ガスから CO<sub>2</sub> を回収する方式 (Pre Combustion 回収) と、② 石炭燃焼排ガスから CO<sub>2</sub> を回収する方式 (Post Combustion 回収) がある。IGCC では Post Combustion 回収に比べ、高圧下の少ない処理ガス量、かつ高い濃度で CO<sub>2</sub> を回収でき、プラント効率が優れる Pre Combustion 回収を採用している。

図 3 に CO<sub>2</sub> 回収設備を組み合わせた空気吹き IGCC システムの概略システムを示す。ガス化炉で生成されたシingas 中の一酸化炭素 (CO) は、CO シフト反応器にて、水 (H<sub>2</sub>O) との化学反応により、CO<sub>2</sub> と水素 (H<sub>2</sub>) に転換され、CO<sub>2</sub> は AGR (Acid Gas Removal : 脱硫・CO<sub>2</sub> 回収設備) にて、シingas から分離・回収される。CO<sub>2</sub> が回収された高 H<sub>2</sub> 濃度の精製ガスは、ガスタービン燃料として利用される。当社のガスタービンは高 H<sub>2</sub> 濃度の燃料ガス向けに数多くの幅広い実績を有している。回収された CO<sub>2</sub> は圧縮機にて昇圧後、貯留先に輸送される。CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC では、必要とされる CO<sub>2</sub> 回収率や回収 CO<sub>2</sub> の純度により、CO シフト反応器及び CO<sub>2</sub> 回収システム全体の最適化を図っている。

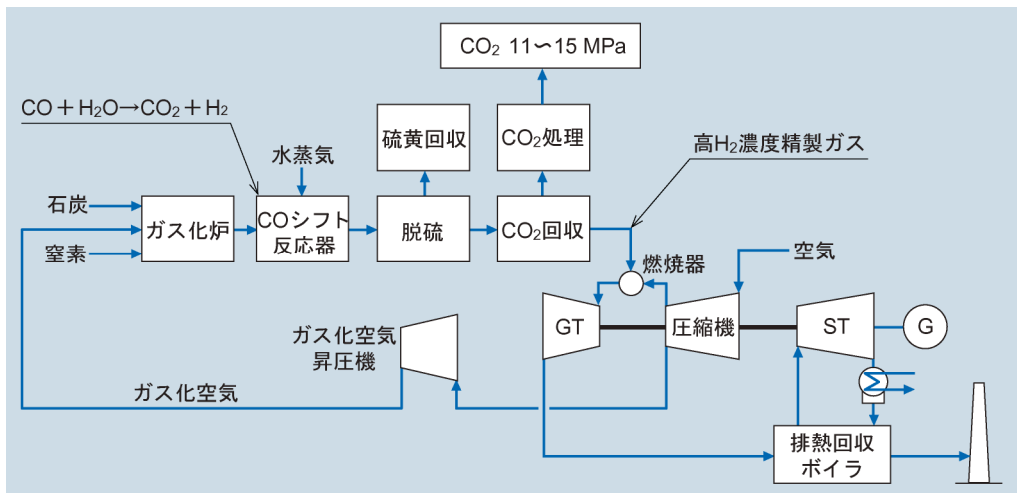


図 3 CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム

図 4 に当社にて検討した CO<sub>2</sub> 回収率と送電端効率の関係を示す。

いずれの回収率においても、空気吹き IGCC は酸素吹き IGCC を上回る高い性能を示すことが分かっている。これは空気吹き、酸素吹き共に、発電端効率はほぼ同等となるものの、酸素吹きでは空気分離装置 (ASU: Air Separation Unit) にて大きな酸素製造動力を必要とするため、送電端効率が大きく低下することによる。また、空気吹き、酸素吹き共に、CO<sub>2</sub> 回収率が高くなる

に従って送電端効率が低下する。これは AGR や CO<sub>2</sub> 圧縮機による補機動力の増加などが原因であるが、酸素吹きに対する空気吹きの優位性は不変であり、4~5%(abs)の効率差がある。

図5に CO<sub>2</sub> 回収時の空気吹き IGCC と酸素吹き IGCC の建設単価(出力当たりの建設費)の比較を示す。双方共に得失があるが、生成ガス量が多い空気吹きよりも、ASUの設備費・補機動力のハンデキャップが極めて大きい酸素吹きの方が、建設単価の面で不利となり、逆に空気吹きが有利という評価が得られている。

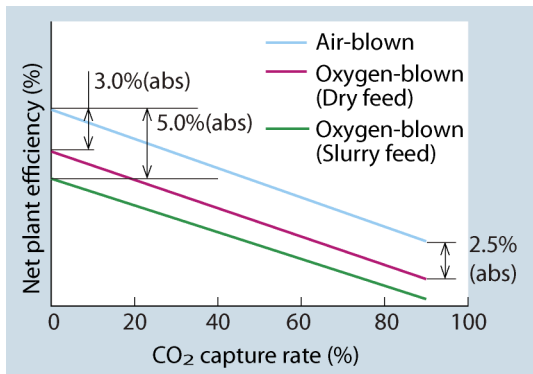


図4 CO<sub>2</sub> 回収時の空気吹きと酸素吹き IGCC における送電端効率の比較

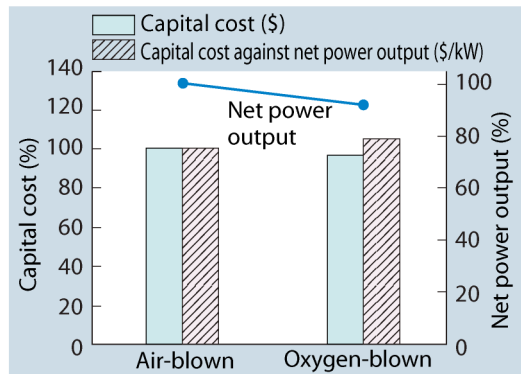


図5 CO<sub>2</sub> 回収時の空気吹きと酸素吹き IGCC における建設費・建設単価と送電端出力の比較

## 5. まとめ

昨今、石炭資源の重要性が一層高まる中、IGCC は21世紀の石炭利用火力発電の主力を担う発電方式である。IGCC 実証機は、プラント性能確認、及び長時間連続運転の成功を通し、当社空気吹き IGCC の高効率、高信頼性を実証した。今後は各種検証試験と運転データの蓄積を通して、より完成度の高い高効率、高信頼性、及び優れた経済性を具えた空気吹き IGCC 商用機の実現を図る。

また、地球温暖化対策の重要な選択技の一つと期待されている、CO<sub>2</sub> の回収・貯留に対応した CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC 商用機の実現も推進していく。CO<sub>2</sub> 回収・貯留は CO<sub>2</sub> 排出量の大幅な低減が可能である一方、エネルギー消費量が大きいことによるプラント効率の低下や建設単価の悪化の課題があるが、近い将来、当社技術を用いた CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC が、地球温暖化対策の大きな柱として世界に貢献できるものと確信している。

## 執筆者紹介



橋本貴雄  
原動機事業本部  
IGCC・ガス化 PJ  
室長



坂本康一  
原動機事業本部  
IGCC・ガス化 PJ  
副室長



北川雄一郎  
原動機事業本部  
ボイラ統括技術部  
ボイラ設計課  
課長



百武慎徳  
原動機事業本部  
プラント事業部  
火力プラント計画部  
ガスタービン計画課  
課長



瀬谷典繁  
原動機事業本部  
プラント事業部  
火力プラント計画部  
IGCC グループ