

IGCC 石炭ガス化複合発電プロジェクトの動向

Current Status of Integrated Coal Gasification Combined Cycle Projects



坂本 康一*¹
Koichi Sakamoto

品田 治*²
Osamu Shinada

佐々木 啓介*³
Keisuke Sasaki

流森 文彦*⁴
Fumihiko Nagaremore

横濱 克彦*⁵
Katsuhiko Yokohama

日本における IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle: 石炭ガス化複合発電) の状況は、空気吹きガス化を適用した発電出力 250MW の IGCC 実証機が実証項目をすべて達成し、2013 年 4 月より日本初の商用運転を開始した。さらに福島復興電源プロジェクトとして、大型の IGCC プロジェクトの計画が進んでいる。一方、酸素吹きガス化では EAGLE プロジェクトのガス化技術検証が完了し、2016 年度より大崎クールジェンプロジェクトとして実証試験が実施される計画である。本稿では、三菱日立パワーシステムズ(株)(MHPS)の IGCC システムの開発経緯と最新動向について紹介する。

1. はじめに

世界最高水準のクリーンコール技術として IGCC の開発が国内外で進められている。IGCC とは石炭をガス化し、ガスタービン複合発電 (Gas Turbine Combined Cycle : GTCC) と組み合わせることで、従来型石炭火力発電に比べ発電効率が飛躍的に向上する火力発電システムである。MHPS は、空気吹き・酸素吹き of ガス化技術を有するとともに、IGCC プラントを一社一貫で供給できる世界唯一のメーカーでもある。MHPS における IGCC の開発経緯及び 2014 年に設計受注した福島復興プロジェクトの計画概要、さらに EAGLE プロジェクトの成果及び大崎クールジェンプロジェクトの状況について説明する。

2. 空気吹き IGCC 実証機

IGCC 実証機は、2007 年から 2013 年にかけて IGCC 商用化への最終段階として(株)クリーンコールパワー (Clean Coal Power : CCP) 研究所が実施したプロジェクトである。MHPS は、経済産業省からの補助を受けた CCP 研究所の発注を受け、出力 250MW の実証プラントの設計・製作及び福島県の常磐共同火力(株)勿来発電所構内への据付工事一式を行った。図 1 にプラントの全景写真、表 1 に設備仕様を示す。

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部電力プロジェクト総括部電力計画部 技監・主幹技師

*2 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部電力プロジェクト総括部 主幹プロジェクト統括 兼 ボイラ技術本部ボイラ技術部 主幹技師 兼 ボイラ開発部 主幹技師

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部電力プロジェクト総括部 OCG プロジェクト推進室 室長

*4 三菱日立パワーシステムズ(株)ボイラ技術本部ボイラ技術部 グループ長

*5 技術統括本部総合研究所化学研究部 室長



図1 IGCC 実証機全景

表1 IGCC 実証機設備仕様

出力	250 MW		
石炭消費量	約 1700 t/日		
方式	ガス化炉	空気吹き&乾式給炭	
	ガス精製	湿式(MDEA) + 石膏回収	
	ガスタービン	1200℃級(50Hz)	
目標熱効率	発電端	48% (LHV)	46% (HHV)
	送電端	42% (LHV)	40.5% (HHV)
環境特性 (目標値)	SOx 排出濃度	8 ppm	(16%O ₂ 換算)
	NOx 排出濃度	5 ppm	
	ばいじん排出濃度	4 mg/m ³ _N	

LHV: 低位発熱量基準, HHV: 高位発熱量基準, MDEA: メチルジエタノールアミン

実証試験では、2008年9月の2000時間連続運転後、炭種変化試験、運転最適化試験(熱効率の確認試験)等を行った⁽¹⁾。2010年6月には長期耐久運転試験(信頼性確認試験)で当初目標の年間累積5000時間に到達した。一連の試験により、目標としていた①設備の信頼性、②熱効率、③環境性能、④炭種適合性、⑤プラントの経済性について、いずれもおおむね達成したことを確認した。IGCC 実証機は表2に示すように、すべての試験を完了後、商用機設計に必要なデータはすべて得られたことから2013年3月末をもって実証試験を終了した。

表2 実証試験の目標と成果

項目	目標	成果
システムの安全性	定格出力での安全運転, 異常時の安全停止を確認	定格出力 250MW での安定運転を確認(2008年3月)
環境性	ばい煙濃度(煙突出口) 目標:SOx:8ppm NOx:5ppm ばいじん:4mg/m ³ _N の達成	目標ばい煙濃度以下を確認(/2008年3月) 実績値:SOx:1.0ppm NOx:3.4ppm ばいじん:0.1mg/m ³ _N
信頼性	2000時間(夏季3ヶ月間相当)の連続運転の達成	連続運転2039時間を達成(/2008年9月) 震災復旧後, 連続運転2238時間を達成(2011年11月)
炭種適合性	設計炭(中国神華炭)以外の石炭についても安定運転を確認	北米 PRB 亜瀝青炭, インドネシア亜瀝青炭, コロンビア炭, ロシア炭, カナダ炭 等
高効率性	目標送電端効率42%の達成	送電端効率42.9%を達成(2009年1月)
耐久性	5000時間耐久運転試験後, 設備の開放点検を行い検証	・年間5000時間運転到達(2010年6月) ・開放点検により設備に重大な損傷なしを確認 ・大地震(震度6弱)でも倒壊せず, 耐震性を確認
経済性	商用機における建設費, 運転費, 保守費等を総合的に評価	商用機の発電原価は, 従来型石炭火力と同等以下となる可能性あり
運用性	火力プラントとしての運用性の向上	従来型石炭火力並の運用性を確認(2011年3月) (起動時間15時間, 最低負荷36%, 負荷変化率3%/分等)

2013年4月1日以降は、250MWを電力供給力として活用すること、また運転継続によりIGCC技術をさらに成熟させていくという二つの目的から、常磐共同火力(株)が設備を引き取り、勿来発電所10号機として商用運転を継続し、世界最長連続運転時間を更新して3917時間という記録を達成するとともに、累積運転時間も27000時間を超えるに至った。なお本プロジェクトの商用運転により、環境省・経済産業省の定める“最新鋭の発電技術の商用化及び開発状況”(BAT: Best Available Technologyの参考表)で、20万kW級IGCCが(A)評価、すなわち“経済性・信頼性においても問題なく商用プラントとしてすでに運転開始をしている最新鋭の発電技術”として認定された。また、商用運転によりIGCCの長期信頼性に関する知見を集積するとともに、高度な運転技術や保守技術を導入する等して、IGCCの技術革新を牽引している。

3. 福島復興プロジェクト

福島復興プロジェクトは、東京電力(株)が福島県の産業復興に向けて進める“世界最新鋭の石炭焚き火力発電所プロジェクト”として、500MW級IGCCを東京電力(株)の広野火力発電所(双葉郡)内と、同社などが出資する常磐共同火力(株)の勿来発電所(いわき市)内に建設するプロジェクトである。

MHPSを幹事会社とする共同企業体(MHPS、三菱重工業(株)、三菱電機(株)、三菱重工メカトロシステムズ(株)の4社で構成)は、2014年に東京電力(株)の発注を受け、大規模な石炭ガス化複合発電設備(IGCC)の設計業務を開始した。

本プロジェクトには、IGCC実証機の知見を元にバリューエンジニアリングやモジュラーデザインを適用して最適かつ洗練された500MW級標準商用機ユニットを提供する。図2に福島復興プロジェクトの外観を、表3に主要諸元を示す。

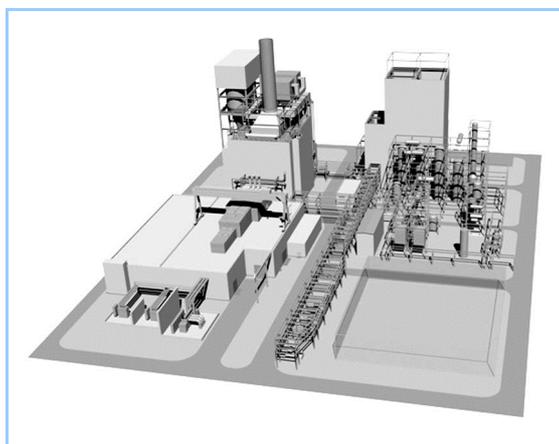


図2 福島復興プロジェクトの外観

表3 福島復興プロジェクトの主要諸元

項目	単位	福島復興プロジェクト
出力(発電端)	MW	540
炭種	—	瀝青炭 /亜瀝青炭
ガス化炉	—	乾式給炭 空気吹き
ガス精製	—	湿式脱硫
ガスタービン	—	M701F4
運用開始年度	—	2020年代初頭

石炭ガス化炉の石炭供給は、IGCC実証機と同様に窒素を搬送媒体とした乾式給炭方式を採用する。福島復興プロジェクトでは石炭搬送に使用する窒素使用量を低減し、窒素製造動力の更なる低減を図る。また、乾式給炭方式は、高水分の亜瀝青炭等低品位炭にも適しているため⁽²⁾、広範囲の炭種が利用可能となり、運転コストにもメリットがある。

さらに、ガス化炉後流の熱交換器においては、IGCC実証機での運転経験を反映した改善型パネル構造の採用により従来に比べて信頼性の向上、大幅なコストダウンが可能となる。この構造はすでにIGCC実証機にて一部適用され、その効果が確認されている。

ガス精製はIGCC実証機と同様に、MDEA(メチルジエタノールアミン)吸収液による化学吸収法の湿式脱硫を採用する。

ガスタービンは、天然ガス焚きで実績のある最新の高効率M701F4型ガスタービンをベースに、高炉ガス(BFG:Blast Furnace Gas)をはじめとする低カロリー焚きの技術を適用した石炭ガス化ガス用燃焼器を採用する。ガス化に必要な空気はガスタービンより抽気するインテグレーション

方式を採用する。最新の高効率ガスタービンを組合せた500MW級IGCCでは、送電端効率の向上により、従来型石炭焼き火力に比べCO₂排出原単位の大幅な低減が可能となる。

前述のとおり、福島復興プロジェクトでは、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る。また、IGCC実証機で冗長性を確認した各部の最適設計を適用すること等によりIGCCの経済性は大きく向上することが期待される。

環境影響評価手続きについては、東京電力(株)及び常磐共同火力(株)により進められており、IGCCの特長として従来型石炭火力発電に比べて発電効率が高く地球温暖化の主要因であるCO₂の排出量を抑えることが可能で、また従来型石炭火力発電では使用困難であった灰融点の低い石炭も適用可能であるというメリットがうたわれている。2015年3月には環境影響評価方法書に係る経済産業大臣通知が出され、手続きが順調に進行中である。

4. 酸素吹き EAGLE プロジェクト

EAGLEプロジェクトは、1998年から2014年にかけて国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization:NEDO)と電源開発(株)(J-POWER)が実施した多目的石炭ガス製造技術開発(EAGLE:Coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity)プロジェクトである。

(1) Step-1((1998年～2007年3月)

MHPSは、設備一式を納入すると共に、J-POWERの試験運転支援を行った。EAGLEは、所期の開発目標のすべてを達成して2007年3月にStep-1の試験運転を終了した⁽³⁾。

(2) Step-2(2007年4月～2010年3月)

Step-2では、炭種適合性拡大及びガス化炉信頼性検証のためガス化炉を改造し、2010年3月まで試験運転を行った。また、世界に先駆けて石炭ガス化ガスからのCO₂分離・回収(化学吸収)実証試験(原料ガス処理量1000m³_N/h、CO₂回収量約24t/日)を行った⁽⁴⁾。

(3) Step-3(2010年4月～2014年6月)

Step-3では、CO₂分離・回収(物理吸収)試験運転に必要な石炭ガスを生成するためにガス化炉を運転するとともに、166MW酸素吹きIGCC実証プラント設計データを取得し2013年11月に11年にわたる試験運転を完了した。図3にEAGLE試験設備の全景を、図4に試験工程を示す。

石炭処理量	150 t/日
ガス化炉圧力	2.50 MPa
空気分離設備	加圧深冷分離
酸素容量・純度	4600m ³ _N /h 95Vol%
生成ガス流量	14800m ³ _N /h
ガス精製装置	MDEA 湿式脱硫
硫黄分回収	石灰石・石こう法
GT発電機出力	8000kW



分類	項目	目標	結果
ガス化	炭素ガス化率	>98%	>99%
	冷ガス効率	>78%	>82%
信頼性	連続運転時間	>1000h	1295h
	運用性	炭種	8
ガス精製	脱硫性能	≤1ppm	<1ppm
	種密脱硫出口	≤1mg/m ³	<1mg/m ³
	脱塵性能	≤1mg/m ³	<1mg/m ³

図3 EAGLE 全景・基本仕様・試験結果

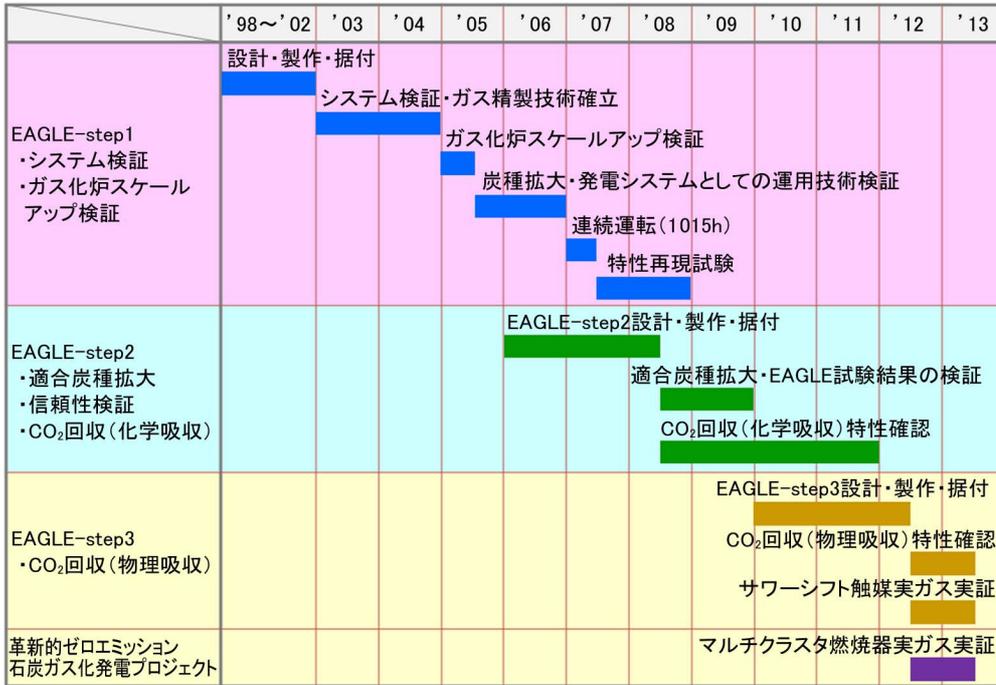


図4 EAGLE 試験運転工程

5. 大崎クールジェンプロジェクト(石炭ガス化燃料電池複合発電実証)

大崎クールジェンプロジェクトは、J-POWERと中国電力(株)が設立した大崎クールジェン(株)が実施する、“酸素吹き石炭ガス化複合発電(酸素吹き IGCC 技術)”“CO₂分離・回収型 IGCC”及び“CO₂分離・回収型 IGFC”に関する大型実証試験(経済産業省補助事業)プロジェクトである。

本プロジェクトは、第1段階として、広島県の中国電力(株)大崎発電所構内に 166MW 酸素吹き石炭ガス化技術の大型実証試験設備を建設し、酸素吹き IGCC システムの基本性能(発電効率、環境性能)、運用性(起動停止時間、負荷変化率等)、経済性、及び信頼性の実証を行う。

その後第2段階として、CO₂分離・回収設備を追設し、システムの基本性能、設備信頼性、運用性、経済性、環境性に係わる実証を行い、さらに第3段階では燃料電池を追設し、高度ガス精製技術及び石炭ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、適切な石炭ガス化燃料電池複合発電(Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle : IGFC)システム実証を行う計画である。実証試験発電所の完成予想図を図5に示す。実証試験計画を図6に示す。



図5 実証試験発電所完成予想図

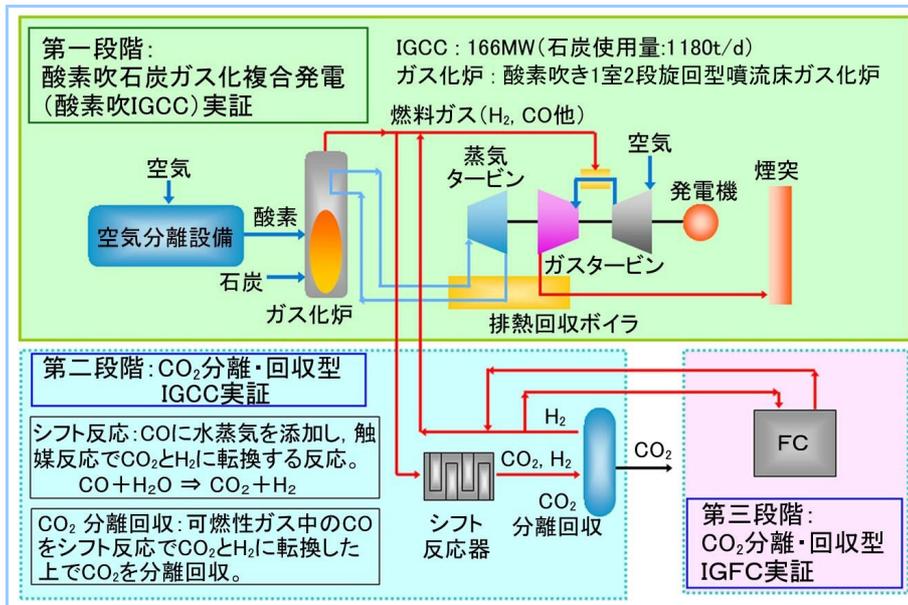


図6 実証試験計画

MHPS は、第1段階の 166MW 酸素吹き石炭ガス化技術の大型実証試験において、石炭処理量 1180t/日酸素吹き一室二段旋回型ガス化炉, 166MW 複合サイクル発電設備, 電気・制御設備の設計・製作・据付・試運転を行うとともに、実証プラント全体取り纏めエンジニアリングを行う。第1段階の実証運転では、ガス化炉スケールアップ技術検証, ガス化炉運用制御技術確立, 酸素吹き IGCC トータルシステム検証を行う予定である。

実証試験設備は、2013年3月に土建着工, 2014年6月には機電着工しており, 2016年度内に実証試験を開始する予定である。ガス化炉水切り状況を図7に, 建設状況を図8に示す。



図7 ガス化炉水切り状況



図8 実証試験発電所 建設状況

6. まとめ

MHPS では、長年にわたり空気吹き及び酸素吹きガス化技術を適用した IGCC の開発を推進してきた。空気吹き IGCC については、250MW 実証機が勿来 10 号機として商用運転を開始し、3917 時間の世界最長連続運転を達成するなど、次期商用機計画に向けての準備が完了している。また酸素吹き IGCC については、166MW 実証機が 2016 年度に実証試験を開始予定であり、こちらも着実に開発が進行しており、今後 IGFC と CO₂ 分離・回収 (CCS: CO₂ Capture and Storage) の組み合わせによる革新的低炭素石炭火力に向けて、実用化の加速が期待されている。MHPS では引き続き IGCC の早期実用化に向けた取組みを進めていく所存である。

参考文献

- (1) 橋本ほか, 空気吹きガス化炉を用いた IGCC 商用機の計画状況, 三菱重工技報, Vol.46 No.2(2009)
- (2) 橋本ほか, 石炭ガス化複合発電(IGCC)による CO₂ 排出削減の展望, 三菱重工技報, Vol.45 No.1 (2008)
- (3) 伊藤, 火力発電における CO₂ 削減技術, 日立評論, 90, 398-403(2008)
- (4) 小俣, 石炭ガス化技術と CO₂ 分離回収, 化学工学, 75, 551-553(2011)