

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



天本 幹夫*¹
Mikio Amamoto

高畑 雅哉*²
Masaya Takahata

藤井 貴*³
Takashi Fujii

熊谷 健志*⁴
Takeshi Kumagai

日本国内における IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle: 石炭ガス化複合発電) の状況は、空気吹きガス化技術を適用した 250MW 発電設備が 2013 年 4 月より国内初の商用運転を開始し、さらに福島 IGCC プロジェクトとして大型 IGCC 543MW×2 基の建設が進んでいる。一方、酸素吹きガス化技術を適用した大崎クールジェンプロジェクト第 1 段階 166MW の実証試験運転が 2018 年 10 月に完了し、第 2 段階で追設する CO₂ 分離回収設備が建設中である。本報では、三菱日立パワーシステムズ(株) (以下、MHPS) の IGCC プロジェクトの最新動向について紹介する。

1. はじめに

IGCC は、コンバインドサイクルシステムと石炭ガス化プロセスを組み合わせることで、従来の微粉炭焚火力発電と比較して高効率化、低炭素化が可能な火力発電システムである。石炭ガス化ガスによるガスタービンでの発電と、ガスタービンの排熱を利用した蒸気タービンでの発電を組み合わせた複合発電により高効率化が図れる。結果、燃料消費量が低減され、CO₂ 排出量削減(低炭素化)が可能となる。従来の微粉炭焚火力発電では利用が困難であった低灰融点炭等の低品位炭が使用可能であること、環境負荷低減として灰の有効利用(セメント原材料等)や温排水の低減ができる等の特長もある。

MHPS は、1980 年代から空気吹き及び酸素吹きの 2 つの石炭ガス化技術による IGCC の開発・実用化に取り組み、効率、運用性(高負荷変化率、最低負荷)、信頼性(高稼働率、連続運転時間)、安全性、環境性能を向上させてきた。IGCC を展開することで、埋蔵量が多く他の燃料と比較して安価な石炭資源の有効活用と、高効率化で実現する CO₂ 排出量削減による環境負荷低減への貢献が期待できる。

2. 大崎クールジェンプロジェクトの最新状況

大崎クールジェンプロジェクトは、大崎クールジェン(株)(中国電力(株)と電源開発(株)にて 2009 年設立)が、2012 年度より経済産業省の補助事業、2016 年度以降は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)の助成事業として実施中である。本プロジェクトは、[図 1](#) に示す 3 段階から成り、第 1 段階は酸素吹き IGCC 実証試験、第 2 段階はこの IGCC に CO₂ 分離回収設備を付加した CO₂ 分離・回収型酸素吹き IGCC 実証試験、第 3 段階では更に燃料電池を組み合わせた CO₂ 分離・回収型 IGFC (石炭ガス化燃料電池複合発電/IGFC) :

*1 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部プロジェクト総括部酸素吹きIGCCプロジェクト室 室長

*2 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部プロジェクト総括部酸素吹きIGCCプロジェクト室

*3 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部プロジェクト総括部電力計画部 グループ長

*4 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ技術部 主席チーム統括技術士(機械部門)

Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle) 実証試験が行われる。第1段階の実証試験が2017年3月より開始され、第2段階の実証試験は2019年12月より開始される予定である。

MHPSは、第1段階の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1180トン/日の一室二段旋回型噴流床ガス化炉、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、実証プラントの全体取り纏めエンジニアリングを行った。

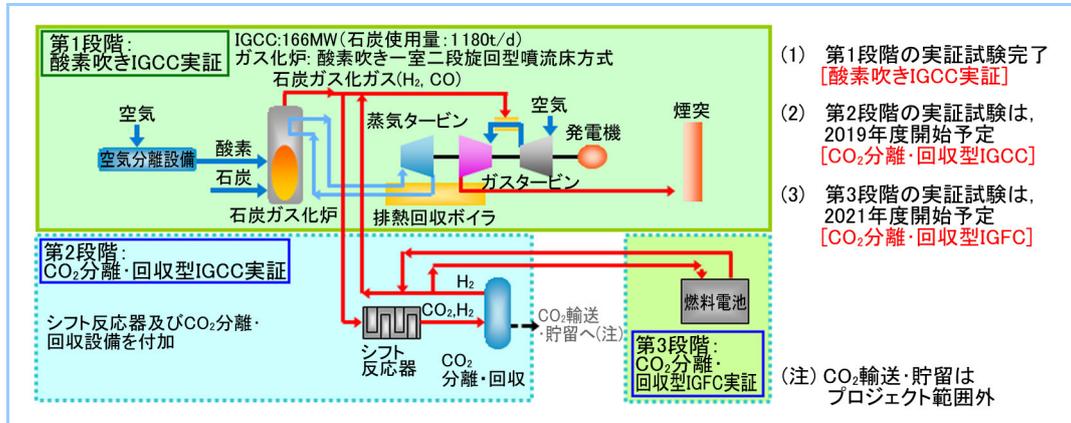


図1 大崎クールジェンプロジェクト設備構成

表1に本プロジェクト第1段階の主な仕様、図2にサイト全景を示す。166MW 級酸素吹きIGCCの実証試験は国内初であり、第1段階では、プラント性能・環境性能に係わる基本性能と、設備信頼性、プラント制御性・運用性、多炭種適用性、経済性の検証が行われ、開発目標の全項目の達成が確認された。基本性能では、送電端効率 40.8% (高位発熱量基準)の達成、環境性能として排ガス性状は酸素 (O₂) 濃度 16%換算で SOx8ppm 未満、NOx5ppm 未満、煤塵3mg/m³N 未満を達成している。長時間耐久試験による信頼性確認では、最大連続2168時間、累積運転時間は5119時間を達成し、2018年10月に実証試験運転を完了している。

酸素吹き IGCC は、石炭ガス化設備、ガス精製設備、並びにガスタービン(1300℃級 H-100形)、蒸気タービン、発電機及び排熱回収ボイラ(HRSG:Heat Recovery Steam Generator)から成る複合発電設備で構成される。

表1 大崎クールジェンプロジェクト第1段階の主な仕様

主な仕様	
定格出力	166MW (gross)
ガス化炉	酸素吹き一室二段旋回型噴流床
ガス精製	湿式化学吸収法 (MDEA)
ガスタービン	H-100形 GT(1 on 1)
発電効率	送電端効率 40.8% (高位発熱量基準・実績値)
スケジュール	
建設開始	2013年3月
実証試験開始	2017年3月(第1段階)



図2 大崎クールジェンサイト全景

MHPS は酸素吹き IGCC の実用化に向けて、**図3**に示すように 1980 年代からガス化方式の開発に取り組んできた。石炭処理量1トン/日の PDU(Process Development Unit)を用いたガス化要素試験に始まり、50トン/日の HYCOL プロジェクト(NEDO 委託事業/HYCOL 組合)、150トン/日の EAGLE プロジェクト(NEDO/電源開発(株)との共同研究事業)に参画し、着実なステップを踏みガス化炉のスケールアップ検証を行ってきた。

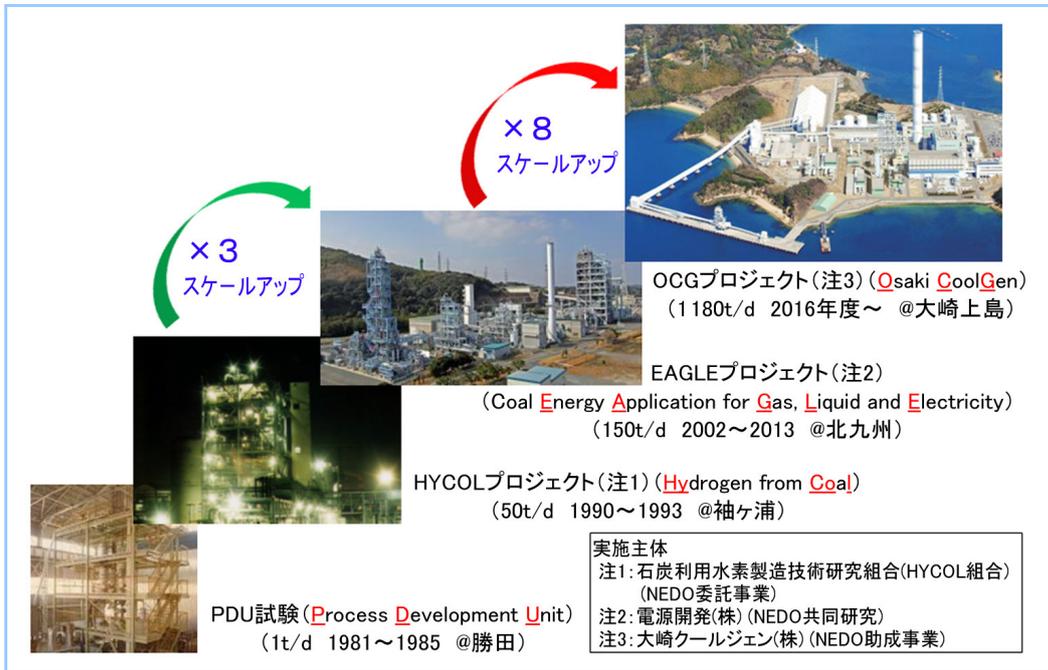


図3 酸素吹きガス化方式開発経緯

酸素吹きガス化炉は、石炭のガス化剤に高濃度の酸素を用いる方式で、**図4**に示すように堅型円筒炉の上下段に複数のバーナを設置した MHPS 独自の一室二段巡回型噴流床を採用している。このガス化炉の特徴は、①炭種に応じて下段部では灰の溶融に必要な温度、上段部では高効率なガス化反応条件になるように上下段の酸素と石炭の比率を適正に配分し、②炉内に旋回流を発生させることで石炭粒子の滞留時間を確保してガス化反応を促進させながら、チャー及び溶融スラグの上方飛散を抑制し、③炉内の高温ガス流れ(自己循環流)で炉底のスラグ排出孔を保温・加熱することでスラグ安定流下を図ることにより、欧米の先行機での技術課題を改善している。冷ガス効率(=生成ガス発熱量/石炭発熱量)は実績値 82.7%と世界最高水準である。さらに、ガス化部出口に供給する冷却用クエンチガスについては、海外他社では生成ガスとほぼ同量を必要としているが、MHPS はこれを約 1/10 に大幅削減して消費動力の低減を達成している。

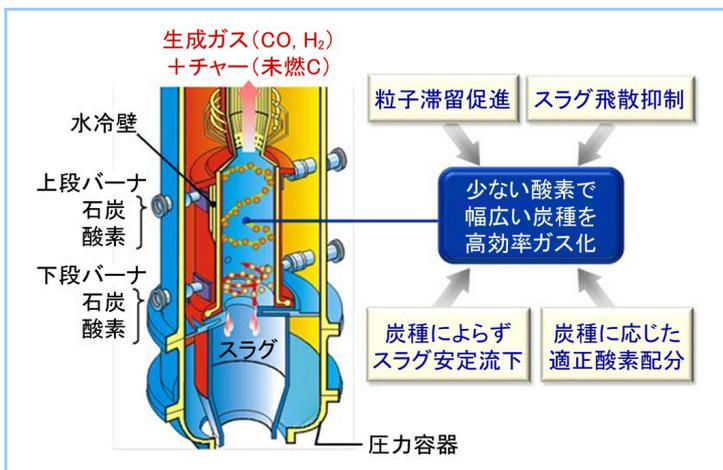


図4 MHPS 酸素吹きガス化炉

ガス精製設備では、ガスタービンで燃焼後の排ガスの環境基準に適合するように石炭ガス中に含まれる不純物(アンモニア、硫化水素、塩酸など)を除去し、精製された石炭ガスを燃料として、ガスタービンで発電を行い、その燃焼排ガスの保有熱を HRSG で回収して蒸気を発生させて蒸気タービンでも発電を行う。

IGCC の特長は、幅広い石炭種が使用可能な点である。ガス化炉で灰を熔融してスラグとして排出することから灰融点が高い石炭に特に適しており、これまで従来型石炭火力発電で使用に制約があった低品位炭(亜瀝青炭や褐炭等を含む)も適用可能である。またシステムの高効率化により、従来型石炭火力発電と比較して発電電力量あたりの CO₂ 排出量が低減される。加えて、用水使用量の削減が可能であるとともに、温排水量の大幅な低減が可能であり、高い環境適合性を持つ。

酸素吹きIGCCの特長には負荷変化率が高く応答性が良いことが挙げられ、天候の変化により電力供給量が変動するため安定性の確保に工夫を要する再生可能エネルギーが普及する昨今の電力事情において、火力発電設備に求められる負荷調整機能の役割を十分に担うことが可能な技術である。本技術を確立することで、老朽化した従来型石炭火力発電設備を酸素吹きIGCCへリプレースすることで環境負荷低減での社会貢献が期待される。

さらに酸素吹きガス化技術は、燃料電池技術と組み合わせることで発電システムのより高効率化を期待できるとともに、パリ協定の実現に向けた地球温暖化対策の一翼を担う CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)における CO₂ 分離回収技術との親和性が高いこと、また化学工業分野への適用も可能であることから幅広い応用と普及が期待されている。未利用資源で可採量が多いものには褐炭もあり、これを活用して産炭国で水素を製造して市場へ供給することは、水素社会を実現する根幹技術ともなり得ることから、将来性の波及効果の高い技術とも言える。

3. 福島 IGCC プロジェクト(勿来, 広野)の最新状況

MHPS を幹事会社とする共同企業体(MHPS, 三菱重工エンジニアリング(株), 三菱電機(株), 三菱日立パワーシステムズ環境ソリューション(株)の4社で構成)は、2016年12月に勿来IGCCパワー(同)及び広野IGCCパワー(同)より、543MW IGCC 設備2基をEPC請負工事契約(土工事込み)で連続受注した。本プロジェクトは常磐共同火力(株)勿来発電所(福島県いわき市)の隣接地に勿来IGCCパワー(同)が、また(株)JERA 広野火力発電所(福島県双葉郡)構内に広野IGCCパワー(同)が、それぞれ空気吹き技術を採用したIGCC各1基を建設するものである。同プロジェクトは“世界最新鋭の石炭焚き火力発電所”を福島で世界に先駆けて建設し、福島県の経済再生と産業基盤の創出に貢献すると共に、クリーンコール技術で世界を牽引することを目指している。表2に福島IGCCプロジェクトの主要諸元を示す。

表2 福島 IGCC プロジェクトの主要諸元

主な仕様	
定格出力	543MW (gross)
ガス化炉	空気吹き二室二段噴流床
ガス精製	湿式化学吸収法(MDEA)
ガスタービン	M701F 形 GT(1 on 1)
スケジュール	
運転開始	2020年 勿来 IGCC 2021年 広野 IGCC

同プロジェクトでは、常磐共同火力(株)勿来 10号機(“噴流床石炭ガス化発電プラント実証事業(経済産業省直轄事業)(1999~2009年度)”)における旧IGCC実証機を2013年度に商用機へ転用の経験を随所に織り込み、信頼性向上を図るとともに、高効率ガスタービンの採用により、大幅な出力・効率の向上を図っている。

ガス化炉は、我国独自の空気吹き石炭ガス化技術 CORE GASIFICATION TECHNOLOGY™

を採用、主にガス中の H_2S ガスを処理するガス精製設備は、勿来 10 号機と同様に、MDEA (Methyl diethanol amine) 吸収液による湿式化学吸収法を採用した。

ガスタービンは、豊富な実績のある高効率 M701F 形ガスタービンに、高炉ガス(BFG: Blast Furnace Gas)をはじめとする低カロリーガス焚きの技術を適用した石炭ガス用の燃焼器を採用している。最新の高効率ガスタービンを組合せた 500MW 級 IGCC では、従来型石炭火力に比べ CO_2 排出原単位の大幅な低減が可能となる。

石炭ガス化炉の製造について、MHPS 長崎工場に“石炭ガス化炉工場”が竣工しており、IGCC の一貫生産体制を構築して量産化に備えている(図5)。高温高圧に対応するために、従来型石炭火力向けボイラ製造により培った溶接などの要素技術に加え、新たに独自開発した自動溶接装置、IT を駆使した生産方式を導入した。石炭ガス化炉は、現地における建設工事を簡素化するため、輸送できる最大重量までモジュール化している。

勿来 IGCC 向けに製作されたガス化炉圧力容器は 2018 年6月から順次出荷され(図6)、小名浜港まで海上輸送されて、建設現地まで内陸輸送された⁽¹⁾。2018 年 12 月にはガスタービン、蒸気タービン、発電機が輸送され(図7)、2019 年4月に大物機器輸送を完了し、現在土木建築工事、機械工事、電気工事が順調に進捗している。2019 年度中には試運転が開始され、2020 年9月の営業運転開始に向けて、関係者一丸となって進めている。広野 IGCC も 2021 年9月の運転開始に向けて建設工事が進められている。2019 年3月末時点の勿来 IGCC の建設状況を図8に、工事エリア全景を図9に示す⁽¹⁾。



図5 石炭ガス化炉工場



図6 ガス化炉圧力容器



図7 大物機器輸送



図8 勿来 IGCC 建設状況

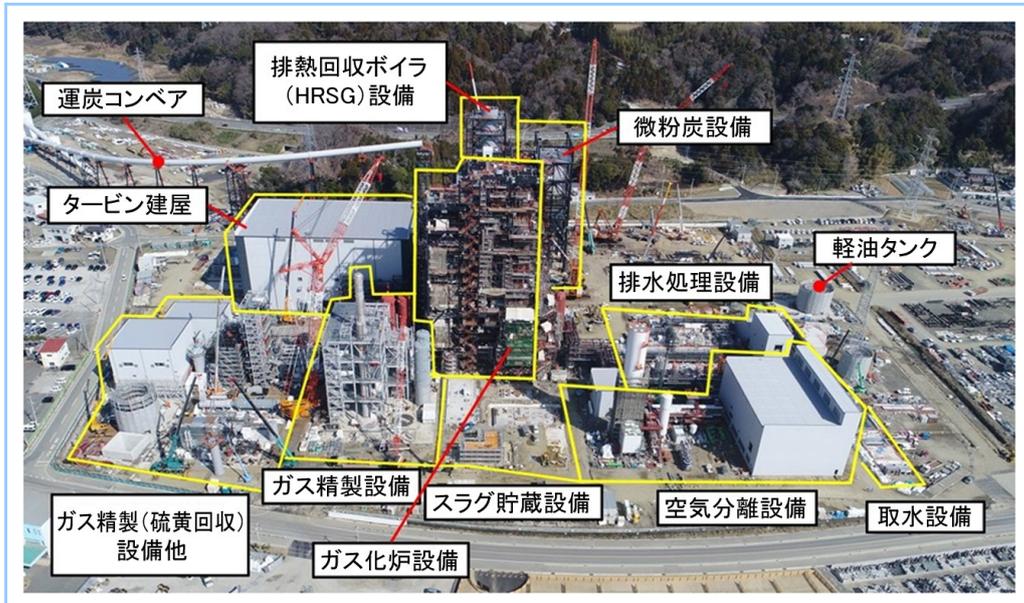


図9 勿来 IGCC 工事エリア全景

4. 今後の展開

MHPSは、国内外にIGCCの普及を図り、世界的な環境負荷低減・CO₂削減ならびに経済発展に貢献していくべく、空気吹き、及び酸素吹きIGCC技術の完成度を引き続き高めていく。

参考文献

- (1) 勿来IGCCパワー合同会社, <http://www.nakoso-igcc.co.jp/>