

新たな石炭利用技術の事業化への取り組み

—酸素吹きIGCC+CCS—

Developments of Oxygen Blown IGCC+CCS

長崎 伸男
Nagasaki Nobuo穉山 徹
Akiyama Toru武田 泰司
Takeda Yasushi熊谷 健志
Kumagai Takeshi

日立グループは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と電源開発株式会社（J-POWER）が共同で進めている多目的石炭ガス製造技術開発（EAGLE）プロジェクトに参画し、J-POWERからの発注により、設備一式を納入するとともに、同社の試験運転支援を行っている。EAGLEは、2007年3月に所期の開発目標をすべて達成し、現在は炭種適合性を拡大するため、ガス化炉を改造し、EAGLE Step2としての試験運転を行っている。また、既設設備の一部を分岐し、世界に先駆け石炭ガス化ガスからのCO₂回収実証試験を実施している。EAGLEおよびEAGLE Step2などの試験結果に基づく170 MW級IGCC（石炭ガス化複合サイクル発電）実証機を用いた総合検証により、IGCC+CCS（CO₂回収・貯蔵）の商用化をめざしている。

1. はじめに

石炭は、価格が低位で安定、採掘可能な埋蔵量が多い、地域偏在性が少ない、産炭地の性状が安定しているなどの理由から、将来にわたって主要な一次エネルギーになるとみられ、世界全体で、経済成長のために今後も利用が拡大すると予測されている。EU諸国、北米、オーストラリア、日本の先進各国は、地球温暖化対策として革新的な中長期CO₂削減目標を設定しているが、他の一次エネルギー源に比べて単位電力量当たりのCO₂排出量が多い石炭の利用を拡大するには、その削減が不可欠である。

日立製作所電力システム社は、基幹事業である石炭火力事業の強化を図るとともに、発電効率向上、CO₂回収などの環境対応技術の開発を促進し、世界規模での低炭素社会構築に貢献する方針である。

ここでは、酸素吹きIGCC（Integrated Coal Gasification Combined Cycle）とCCS（Carbon Dioxide Capture and Storage）を組み合わせた石炭利用技術の事業化に向けた取り組みについて述べる。

2. 酸素吹き石炭ガス化複合発電設備（酸素吹きIGCC）の展望

2.1 酸素吹きIGCCの送電端効率向上

IGCCは、天然ガス焚（だ）きガスタービンの高温化による高効率化技術を適用することにより、送電端効率の向上を図るシステムである。酸素をガス化剤とする酸素吹きIGCCでは、ガス化炉生成ガス中の燃料成分（CO、H₂ほか）濃度が高いことから、燃料電池と組み合わせた究極の高効率発電システムにより、日本の最新鋭石炭火力発電に比べて約30%のCO₂削減が期待できる。また、発電と化学原料併産による総合エネルギー効率向上を図ることができる（図1参照）。

2.2 ゼロエミッション石炭火力実用化への技術開発

酸素吹きIGCCにおいては、2.5～3.0 MPaの加圧で、CO₂濃度約40%の高濃度CO₂を含む原料ガスからCO₂を回収できるので（燃焼前CO₂回収）、ボイラ排ガスからの

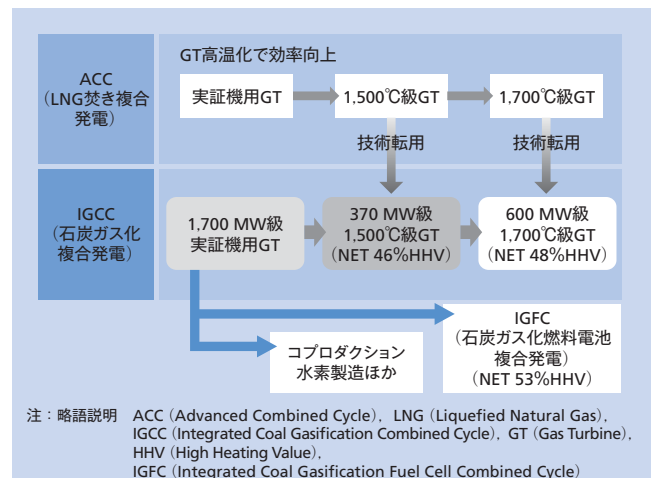


図1 | 酸素吹きIGCCの展望

IGCCは、ガスタービン高温化による高効率技術の適用によって送電端効率向上を図れる。さらに、加圧燃料ガス中の高濃度CO₂を回収することにより、CO₂回収時の送電端効率の低下を抑制することができる。

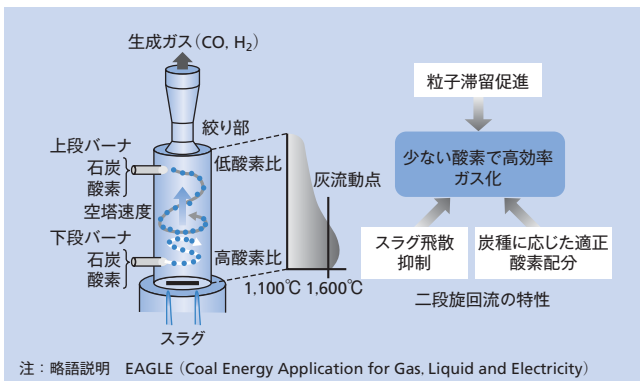


図2 | 酸素吹きガス化炉 (EAGLE炉) の特徴

日立グループが開発した酸素吹きガス化炉 (EAGLE炉) は、酸素吹き一室二段旋回型ガス化方式により、少ない酸素で高効率ガス化を可能とした。

CO₂回収 (燃焼後CO₂回収) に比べて処理対象とするガス流量が少ないため、ボイラ排ガスからのCO₂回収に比べて、CO₂回収装置のコンパクト化が可能であるとともに送電端効率の低下を抑制できる。日立グループは、IGCCとCCSの組み合わせによるゼロエミッション石炭火力実用化に向けた技術開発を進めている。

3. EAGLE炉におけるガス化技術の開発

3.1 酸素吹きガス化炉 (EAGLE炉) の特徴

酸素吹きガス化炉 (EAGLE炉) では、酸素吹き一室二段旋回型ガス化方式¹⁾による粒子滞留促進²⁾、炭種に応じた適正酸素配分により、少ない酸素で高効率ガス化を可能とするとともに、スラグ飛散抑制³⁾による高信頼性ガス化を可能とした (図2参照)。

3.2 酸素吹きガス化炉 (EAGLE炉) の開発経緯

日立グループは、石炭ガス化複合サイクル発電技術の開発を、30年以上にわたって継続してきた。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) とHYCOL (Research Association for Hydrogen-from-Coal Process Development: 石炭利用水素製造技術研究組合) に納入したパイロットプラント (50 t/日) は1,000時間以上の連続運転実績により、酸素吹き一室二段旋回型ガス化炉の基本コンセプトを確立するとともに、灰にかかわるトラブルを実証試験によって解決した⁴⁾。

3.3 EAGLEにおける酸素吹きガス化炉技術開発

現在、日立グループは、NEDOと電源開発株式会社 (J-POWER) が共同で進めている多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE: Coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity) プロジェクトに参画し⁵⁾、J-POWERからの発注により、設備一式を納入するとともに、J-POWERの試験運転支援を行っている (図3参照)。



図3 | EAGLEパイロットプラントの外観

日立グループは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と電源開発株式会社 (J-POWER) が共同で進めている多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE) プロジェクトに参画している。

EAGLEは、所期の開発目標のすべてを達成して2007年3月に試験運転を終了した⁶⁾。現在は炭種適合性を拡大するため、ガス化炉を改造し、EAGLE Step2として2010年3月までの予定で試験運転を行っている。主に一般の微粉炭火力発電で用いられている高灰融点炭3炭種についてガス化性能を取得するとともに、特性を把握した。さらに、石炭ガス化技術への高灰融点炭適用が可能であることを確認し、適合炭種拡大を検証するとともに、EAGLEガス化炉の優位性を確認できた (図4参照)。

3.4 石炭ガス化ガスからのCO₂回収の原理

石炭ガス化ガスからのCO₂回収 (燃焼前CO₂回収) は、石炭ガス (COリッチガス) に水蒸気を添加し、COをCO₂とH₂に転化して行う。CO₂を吸収させた吸収液を再生し、CO₂を分離回収するもので、CO₂回収後の水素リッチガスは、ガスタービン燃料として使用される。回収されたCO₂は、圧縮液化され、輸送、貯留される (図5参照)。

石炭ガス化ガスからのCO₂回収技術、すなわち燃焼前

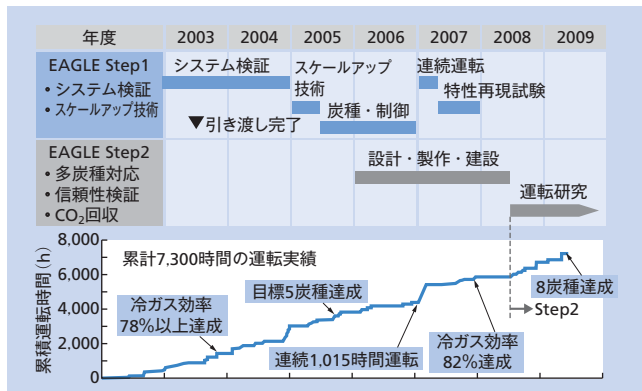


図4 | EAGLE試験運転実績

EAGLEは、所期の開発目標のすべてを達成した。炭種適合性を拡大するため、ガス化炉を改造し、EAGLE Step2として2010年3月までの予定で試験運転を行っている。

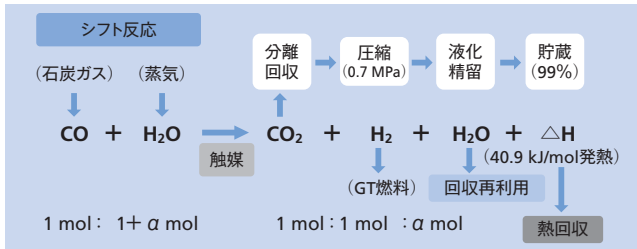


図5 | 石炭ガス化ガスからのCO₂分離回収の概念

石炭ガス(COリッチガス)に水蒸気を添加し、COをCO₂とH₂に転化する。CO₂を吸収して、吸収液を再生し、CO₂を分離回収する。

CO₂回収技術は、天然ガスからのCO₂回収に広く用いられており、各国において火力発電プラントへの適用を検討中である。

火力発電プラントへの適用にあたっては、CO₂回収装置設置時の送電端効率低下を抑制することが重要である。送電端効率の低下抑制のためには、(1)シフト反应用蒸気供給流量の低減による蒸気タービン出力減少抑制、(2)CO₂吸収再生システムでの吸収液循環用動力低減や再生用加熱熱量低減、および、(3)熱回収システム適正化による蒸気タービン出力減少抑制が必要になる。

3.5 EAGLEにおけるCO₂回収実証試験

EAGLE Step2では、既設設備の一部を分岐し、世界に先駆け、石炭ガス化ガスからのCO₂回収実証試験を行っている。CO₂分離回収パイロットプラントの原料ガス処理量は1,000 m³N/h、CO₂回収量は約24 t/日である。

CO₂分離回収パイロットプラントは、シフト反応システムと吸収再生システムから構成される。シフト反応システムは、鉄系と銅・亜鉛系の触媒を組み合わせで使用している。吸収システムは、MDEA(メチルジエタノールアミン)による化学吸収を採用した。再生方式は、天然ガスからのCO₂回収において実績の多い再生塔再生に加え、再生用熱量低減をめざした加熱フラッシュ再生の試験を可能としている(図6、図7参照)。

CO₂パイロット試験設備は、CO₂分離回収技術の石炭ガス化ガスへの適用性を確認するとともに実機適用に向けた開発課題を特定し、IGCC+CCSの実用化への着実なステップとすること、システムの基本諸元(CO₂回収率、ユーティリティ使用量など)を把握し、CCSの経済性検討に必要な基礎データを取得することを目的としている。さらに、火力発電プラント適用にあたっての送電端効率低下抑制を検討する。

3.6 EAGLEにおけるCO₂回収実証試験結果と評価

実証試験では、再生塔再生および加熱フラッシュ再生のいずれの方式においても、CO₂回収率90%以上を確認し



図6 | CO₂回収パイロット試験設備の概要

EAGLE Step2では、世界に先駆けて石炭ガス化ガスからのCO₂回収実証試験を行っている。

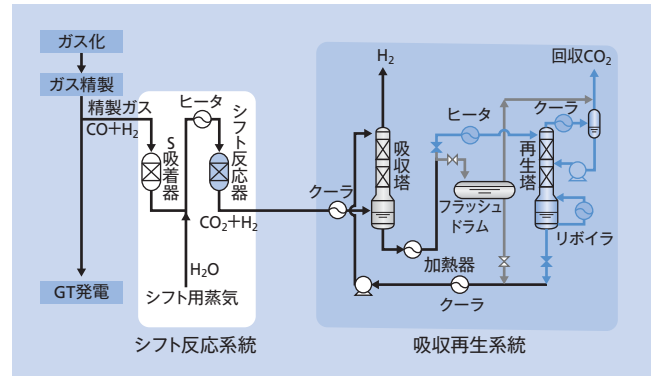


図7 | CO₂回収パイロット試験設備システム構成

CO₂分離回収パイロットプラントは、シフト反応システムと吸収再生システムから構成されている。

た。再生塔再生では、吸収液が十分に再生できることから、低い吸収塔L/G(吸収液循環流量/吸収塔入口ガス流量)でも高いCO₂回収率を達成した。加熱フラッシュ再生では、再生塔再生に比べて吸収液再生の程度が十分でないことから、吸収塔L/Gを増加させることが必要となり、再生塔再生に比べてCO₂回収率は低い、CO₂回収率が90%以上であることが確認できた(図8参照)。

加熱フラッシュ再生は、吸収液再生用の熱量が小さいことに加え、吸収液を加熱再生する際にシフト反応器出口ガス中水分の潜熱を多く利用可能なことから、蒸気タービン抽気からの吸収液加熱用蒸気供給流量を再生塔再生の $\frac{1}{10}$ 以下にできる。この結果、加熱フラッシュ再生方式は、再生塔再生方式に比べて、CO₂回収90%時の送電端効率を約4%(絶対値)向上可能であることがわかった。

加熱フラッシュ再生による運転条件適性化と熱回収システム適性化による蒸気タービン出力減少抑制により、CO₂回収率90%、CO₂純度99%を確保したうえで、石炭ガス化ガスからのCO₂回収時の送電端効率低下を大幅に抑制できることを検証した。

4. 酸素吹きIGCC+CCS事業化計画

J-POWERと中国電力株式会社は、「酸素吹き石炭ガス化複合発電(酸素吹きIGCC技術)」および「CO₂分離回収技

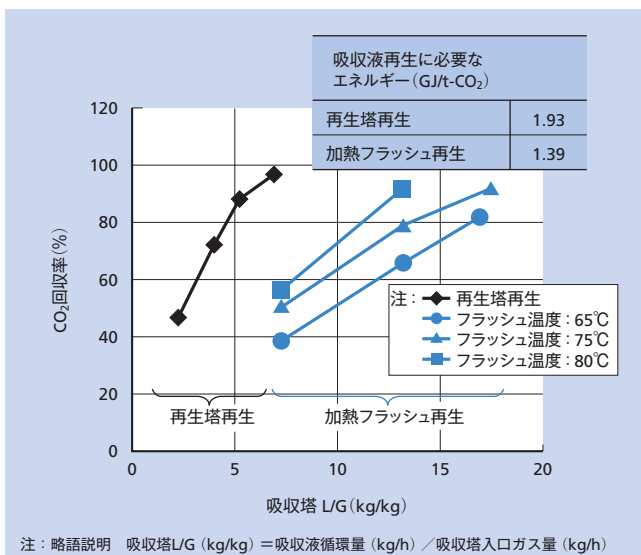


図8 | CO₂回収パイロット試験結果
再生塔再生および加熱フラッシュ再生のいずれの方式においても、CO₂回収率90%以上を確認した。

術」を効率的に進めるために、共同で大崎クールジェン株式会社を2009年7月29日付けで設立した。同社は、170 MW級酸素吹きIGCCの大型実証試験設備の建設を行い、酸素吹きIGCCシステムとしての信頼性・経済性・運用性などを検証し、その後、引き続き最新のCO₂分離回収技術の適用による検証を行う計画とされている⁷⁾。

日立グループは、EAGLEおよびEAGLE Step2などの試験結果に基づき、170 MW級の酸素吹きIGCC実証機による商用化に向けた総合検証により、IGCC+CCS商用化をめざしている(図9参照)。

5. おわりに

ここでは、酸素吹きIGCCとCCSを組み合わせた石炭利用技術の事業化に向けた取り組みについて述べた。

日立グループは、約30年にわたり酸素吹きガス化炉技術開発を行うとともに、HYCOL、EAGLEを経て着実なスケールアップを行ってきた。国内メーカーとしていち早くガスタービン製作を開始、1990年代の国内大型コンバインド化の隆盛期にはシェアトップを維持し、その後もガ

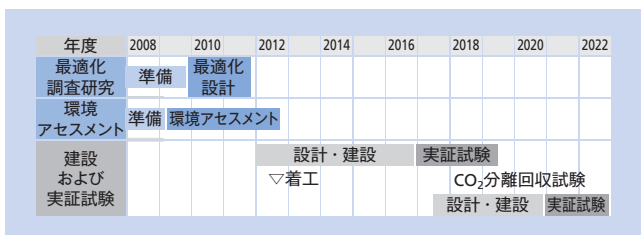


図9 | 酸素吹きガス化に関する大型実証試験
大崎クールジェン株式会社は、170 MW級の酸素吹き石炭ガス化技術の大型実証試験設備の建設を行い、酸素吹きIGCCシステムとしての信頼性・経済性・運用性などを検証し、その後、引き続き最新のCO₂分離回収技術の適用による検証を行う計画である。

スタービンを開発して技術を磨いた。加えて、燃焼器開発では20年以上の豊富な開発経験を有し、酸素吹きガス化に適した燃焼器開発を推進中である。

EAGLEプロジェクトにて、長時間運転による信頼性検証、ガス化炉スケールアップ技術、ガス精製技術、発電システムとしての運用技術を確認した。現在は、CO₂分離回収技術確立に向けたパイロット試験を行っている。

酸素吹きガス化は、CO₂分離回収時の効率低下が低く、燃料電池との組み合わせによって送電端効率50%を超える効率が期待でき、石炭ガス化燃料電池複合サイクル発電(IGFC)へ適用することが可能である。さらに、化学原料用水素、アンモニア製造にも好適である。

今後も日立グループは、技術の適用範囲が広い酸素吹きガス化炉商用化のために、パイロットプラント(150 t/日)と商用機の間規模実証プラントでの実証試験実現に向けて集中的に取り組んでいく。

参考文献など

- 1) 小山, 外: 噴流層石炭ガス化技術, 日立評論, 66, 2, 113~118 (1984.2)
- 2) 森原, 外: 旋回流型気流層での粒子滞留時間, 化学工学論文集, 12, p.427~432 (1986)
- 3) 穂山, 外: 旋回流層石炭ガス化炉内でのスラグ飛散高さの推算, 化学工学論文集, 34, p.477~483 (2008)
- 4) 宮寺, 外: 石炭利用水素製造技術(HYCOL)の開発, 日本エネルギー学会誌, 74, p.691~698 (1995)
- 5) F. Kiso et al.: EAGLE Project for IGFC in JAPAN, 25th International Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, pp.297-305 (2000)
- 6) 伊藤, 外: 火力発電におけるCO₂削減技術, 日立評論, 90, 5, 398~403 (2008.5)
- 7) 中国電力株式会社, 電源開発株式会社: ニュースリリース, 大崎クールジェン株式会社の設立について, http://www.jpower.co.jp/news_release/news090729.html

執筆者紹介



長崎 伸男
1979年日立エンジニアリング株式会社入社, 日立製作所 電力システム社 火力事業部 火力技術本部 所属
現在, 環境対応型石炭火力発電の技術開発に従事
日本機械学会会員



武田 泰司
1981年日立製作所入社, 電力システム社 火力事業部 火力技術本部 所属
現在, 170 MW級の酸素吹きIGCC実証機のプロジェクト統括に従事
日本機械学会会員



穂山 徹
1996年日立製作所入社, 電力システム社 エネルギー・環境システム研究所 火力開発センタ 石炭科学プロジェクト 所属
現在, 石炭ガス化ガスからのCO₂回収の研究開発に従事
化学工学会会員



熊谷 健志
1997年バブコック日立株式会社入社, 呉事業所 プラント技術本部 石炭ガス化システムセンタ 所属
現在, ガス化炉開発およびIGCC実証機取りまとめに従事