

EAGLE (酸素吹き石炭ガス化炉) における CO₂分離回収試験の現状

木村 直和

J-POWER / 電源開発株式会社

〒104-8165 東京都中央区銀座6-15-1

The status of carbon dioxide capture test at EAGLE (oxygen-blown gasifier) project

Naokazu KIMURA

J-POWER (Electric Power Development Co.,LTD)

15-1, Ginza 6-Chome, Chuo-ku, Tokyo, 104-8165 Japan

To reduce greenhouse gas emissions in particular, the EAGLE (coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity) pilot plant test of the coal processing amount 150tons/day has been executed as a joint research of J-POWER (Electric Power Development Co., Ltd.) and NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization). Coal gasification is a key technology of a super-high efficiency power generation system, such as IGCC or IGFC. In addition, this system is suitable for CCS (carbon capture and storage) technology. So from 2008 we installed a carbon capture facility for EAGLE. This paper describes the development status of the EAGLE technology and the carbon capture facility based on more than 6,500 hours of EAGLE operation and 247 hours of the carbon capture facility operation.

Keywords: IGCC, IGFC, CCS, CCT, gasifier,

1. 緒言

石炭は比較的安価で供給安定性に優れる燃料として、発電用燃料をはじめ燃原料として広く活用されている。石炭は灰分・硫黄分・窒素分など多くの不純物を含み、燃焼に伴い煤塵・硫黄酸化物・窒素酸化物などの大気汚染物質を発生させることから、環境対策が主要な課題であったが、これらの環境課題については集塵・脱硫・脱硝設備に代表されるクリーンコールテクノロジー (CCT) の進展により著しく改善が進み、新鋭石炭火力発電所の排ガスは天然ガス火力発電所と遜色のないクリーンさを誇っている。

一方、京都議定書における温室効果ガス削減の「第一約束期間」を迎え、CO₂排出原単位の大きい石炭利用分野においてはCO₂対策の重要性が高まっている。CO₂排出原単位低減に対しては発電効率の向上が有効である。特に石炭ガス化複合発電 (IGCC : Integrated Coal Gasification Combined Cycle) 等高効率発電技術の開発・導入によるCO₂

排出量低減が期待されている。さらに、IGCCとCO₂分離回収貯留 (CCS: Carbon Capture and Storage) 技術を組合せることにより、ニアゼロエミッションのレベルまでCO₂排出を大幅削減できる可能性があり、近年各国で精力的な取組みが進められている。IGCCは石炭ガス化の過程において主成分がCOとH₂よりなる高圧の石炭ガスが生成され、この生成ガスと水蒸気の添加反応により高濃度CO₂のガスを得ることができる。この高圧・高濃度のCO₂ガスは効率的なCO₂分離回収を可能とするものであり、「ガス化発電技術+CCS」システムはCO₂排出の少ない石炭火力発電技術の実用化の有望な選択肢と考えられている。

EAGLEプロジェクトは、高効率IGCC、更にはIGCCに燃料電池を付加したIGFCの開発を主眼に、高効率の酸素吹き石炭ガス化技術の確立を目指すものである。さらに、平成20年度からはCO₂分離回収設備を新たに設置し、CCSを視野に入れた研究開発を進めている。本稿ではEAGLEプロジェクトならびにCO₂分離回収試験の現状について

紹介する。

2. クリーンコールテクノロジー(CCT)について

石炭は他の化石燃料(石油・天然ガス)に比べ、多くの不純物を含み、窒素酸化物ならびに硫黄酸化物の排出が多いことが欠点とされ、国内では1960年代公害問題の深刻化と法規制の強化に伴い、クリーンコールテクノロジー(CCT)として脱硫・脱硝・脱塵技術などさまざまな技術革新(脱硫:石灰石石膏法、乾式脱硫、低NO_x化:NRバーナ、二段燃焼、脱硝:SCR、脱塵:電気集塵器)がなされ、今や世界最高水準の技術レベルにある。

その後、1970年代オイルショックの到来で、省エネの推進や脱石油政策が取られ、褐炭脱水、石炭流体化(COM、CWM)、流動床燃焼(AFBC、P-FBC)、石炭火力の高効率化(USC)の開発がなされ、幾つかの技術が実用化された。

1980年代後半になると、地球規模での環境問題として地球温暖化問題が提言され、CO₂排出削減、エネルギーの有効利用という観点から、高効率発電技術として石炭ガス化複合発電(IGCC)やIGCCに燃料電池を組み合わせた石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)システムの開発が望まれるようになった。図1に石炭利用高効率発電技術の体系を示す。

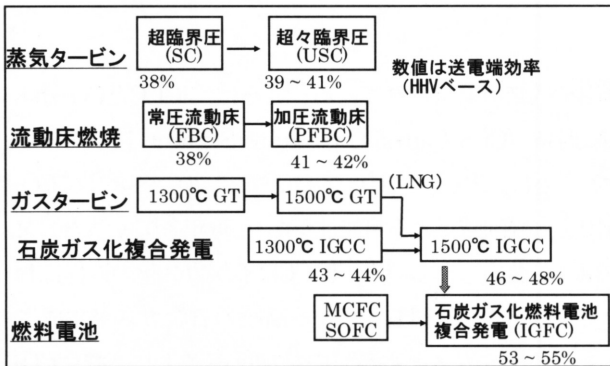


図1 石炭利用高効率発電技術開発体系

微粉炭火力(USC)と比較して1300°C級IGCC、1500°C級IGCCならびにIGFCでは送電端効率の向上が図れる分CO₂の削減が可能となる。近年では更に地球温暖化問題が深刻化し、CCTとしては高効率発電技術のほかに発電システムから直接CO₂を回収する技術の普及が待たれている。海外でも米国のFutureGen、中国のGreenGen、豪州のZeroGen、等さまざまなプロジェクトが進行している。

CO₂を回収する技術として現在考えられているのが、微

粉炭火力の排ガスから化学吸収法を用いてCO₂を分離回収する燃焼後回収(Post-combustion)、微粉炭火力の燃焼空気を酸素とし排ガス中のCO₂純度を高めて回収する酸素燃焼技術(Oxyfuel-combustion)、そしてIGCCとCO₂分離回収を組み合わせた燃焼前回収(Pre-combustion)技術がある。図2に石炭利用発電とCO₂回収技術の組み合わせ例を示す。

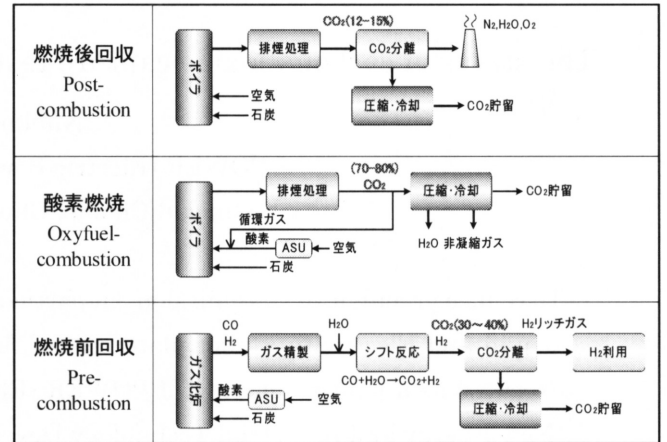
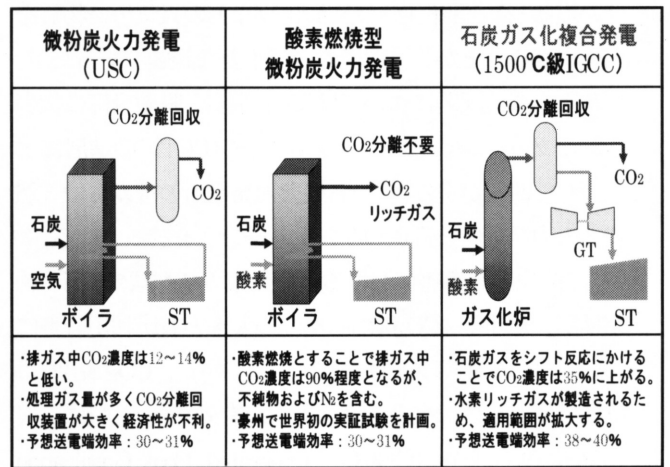


図2 石炭利用発電システムからのCO₂回収技術

いずれのシステムにおいてもCO₂分離回収エネルギー増加に伴う送電端効率低下を招くこととなる。

これからのCCTとしては発電システムの高効率化とCO₂分離回収エネルギー低減化に向けた技術の導入が求められており、上記3つのシステムの中、IGCCとCO₂分離回収を組み合わせたPre-combustion技術は、ニアゼロミッション技術として欧米でも注目を集めている技術である。図3に石炭利用におけるCO₂分離回収技術の例を示す。EAGLEプロジェクトでは世界に先駆けてPre-combustion技術開発に取り組んでいる。



工本総工研:火力発電プラントからのCO₂回収システム調査、1993

図3 石炭利用におけるCO₂分離回収技術

3. EAGLEプロジェクトの概要(STEP-1)

EAGLEプロジェクト(多目的石炭ガス製造技術開発)は、高効率石炭ガス化発電(IGCC, IGFC)をはじめ化学原料や合成燃料製造のためのコア技術となる高効率石炭ガス化技術の確立を目的として、石炭供給量150t/d規模のパイロット試験設備を電源開発(株)技術開発センター若松研究所に設置して研究開発を実施している。主要設備として石炭ガス化設備・ガス精製設備・ガスタービン設備・空気分離設備(ASU)を備え、高効率石炭ガス化炉の開発と高性能ガス精製技術の開発を進めている。図4にEAGLEパイロット試験設備のフローを示す。

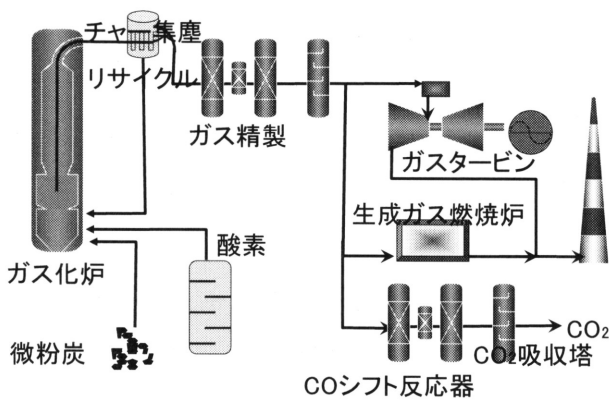


図4 EAGLEパイロット試験設備フロー

EAGLEのガス化炉は酸素吹きの一室二段旋回流型噴流床ガス化炉であり、2.5MPaの加圧条件によりコンパクトなガス化炉を実現すると共に、旋回流により石炭粒子の炉内滞留時間(反応時間)を確保している。また、下段を高温かつ高酸素比とし石炭中の灰分をガラス状のスラグとして安定して排出させると共に、上段を低酸素比としガス化炉全体での必要な酸素量を調整することで高効率石炭ガス化炉を実現している。図5にEAGLEガス化炉のガス化概念図を示す。

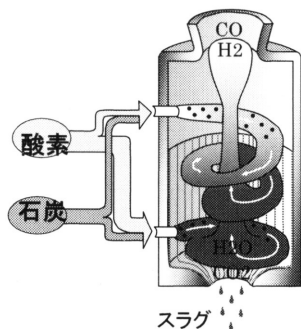


図5 EAGLEガス化炉のガス化概念図

ガス精製プロセスでは石炭の未反応分であるチャーをサイクロンセパレータ、金属フィルタで捕集し回収リサイクルすることでガス化効率の向上を図っている。また、アンモニア、ハロゲン等の不純物は水洗塔で除去されると共に、硫黄化合物については、難処理性の硫化カルボニル(COS)を予めCOS転化器で硫化水素(H₂S)に転換した後アミン吸収液にて除去される。また、燃料電池へのガス供給課題解決に向けた研究のため一部のガスは精密脱硫装置にて更に不純物の除去を行い極めてクリーンなガスを精製している。図6にガス精製の概略図を示す。

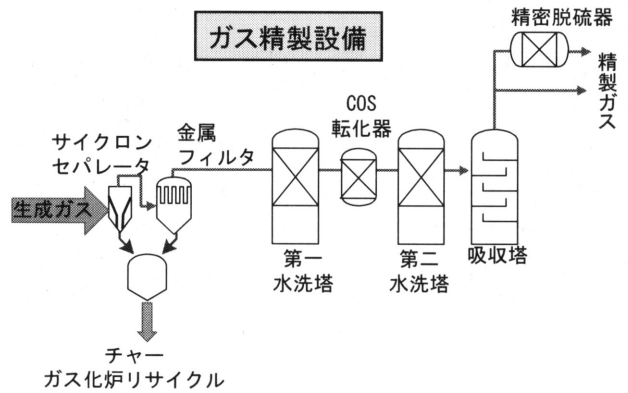


図6 ガス精製の概略図

EAGLEプロジェクトにおける第一ステップ(EAGLE STEP-1, 2002~2006年度)では、ガス化炉の効率的運転、ガス精製設備の安定運転、ガス化炉とガスタービンの協調制御運転の確認、大型化へ向けたデータ取得等を行い、所期の目標を達成し終了した。表1にSTEP-1の目標達成状況を示す。

表1 EAGLE STEP-1目標達成状況

項目	目標	結果
炭素転換率(%)	≥98	≥99
冷ガス効率(%)	≥78	≥82
発熱量(HHV)(kJ/m ³ N)	≥10,000	≥10,100
連続運転時間(hr)	≥1,000	1,015
炭種(種類)	≥5	5
生成ガス (精密脱硫出口)	硫黄分(ppm)	≤1 < 1
	ハロゲン類(ppm)	≤1 < 1
	アンモニア(ppm)	≤1 < 1
	ばいじん(mg/Nm ³)	≤1 < 1

4. EAGLE STEP-2におけるCO₂分離回収設備の概要

EAGLE STEP-2(2007~2009年度)では、STEP-2におけ

る主要研究テーマの一つである石炭ガス化ガスからのCO₂分離回収技術の確立を目指し2008年度下期よりCO₂分離回収試験を開始した。本試験では脱硫装置出口の精製ガスから約1,000m³/hのガスをCO₂分離回収設備へ導入し、石炭ガス化システムへの適用性ならびに運用性に関する検証を行っている。図7にEAGLE STEP-2の設備外観を、図8にEAGLE STEP-2の試験範囲を示す。

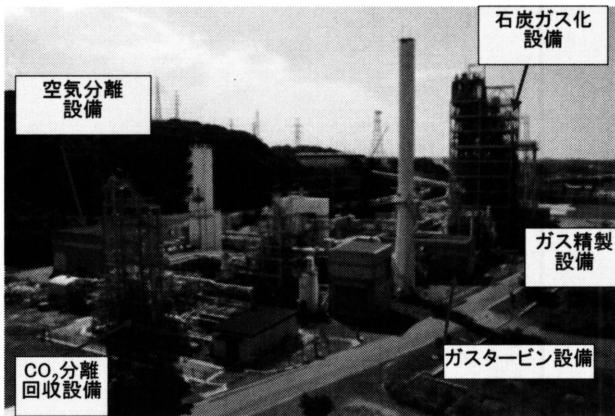


図7 EAGLE STEP-2設備外観

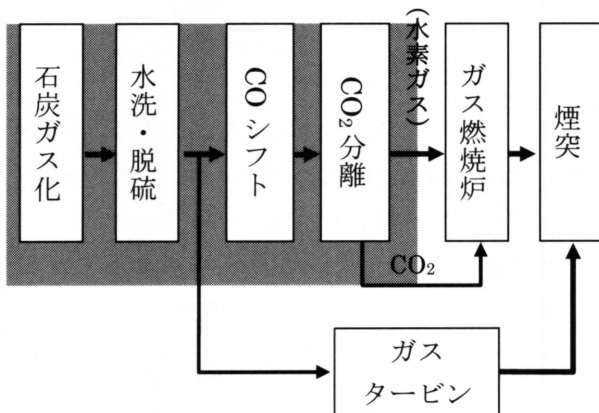


図8 EAGLE STEP-2の試験範囲

CO₂分離回収設備ではCO₂分離回収技術としてアミン系吸収液を用いた化学吸収法を採用している。CO₂分離回収技術としては、他に物理吸収法、高分子膜分離法、PSA(Pressure Swing Adsorption)法などが挙げられるが、膜分離法については開発ステージがラボレベルの技術であること、PSAについては大型化に課題があること[1]から採用を見送った。また、化学吸収と物理吸収の選択においては、物理吸収が3.0~3.5MPa以上の高圧システムにおいて優位性を持つのに対し、中程度(2.5MPa)のプロセス圧力を有するEAGLEでは化学吸収法が適していると判断した。吸収液としては化学工業プロセスで実績のあるMDEA(メ

チルジエタノールアミン)系吸収液を選定した。

図9にCOシフト反応設備系統構成を示す。脱硫装置出口から分岐された原料ガスは、シフト反応に必要な水蒸気が添加され電気加熱器にて加温された後、COシフト反応器に導入される。COシフト反応器は高温シフト触媒が充填されたNo.1・No.2シフト反応器と低温シフト触媒が充填されたNo.3シフト反応器の三段にて構成されている。COは触媒存在下で蒸気と反応して水素とCO₂に変換される。この反応は、COシフト反応あるいはCO変成反応と呼ばれている。



反応の進行は、電気加熱器による温度制御およびリサイクルガス量調整(COシフト反応器出口ガスを一部リサイクルし、反応器の滞留時間やCO濃度を調整することによりCO転化率をコントロールする)により制御される。各反応器の反応分担率を最適化し、反応熱による温度上昇が触媒の耐熱温度以下となるよう調整する。シフト反応後のガスは余剰の水蒸気を除去するため冷却器ならびにノックアウトドラムを通過し、CO₂分離回収系統へ送られる。

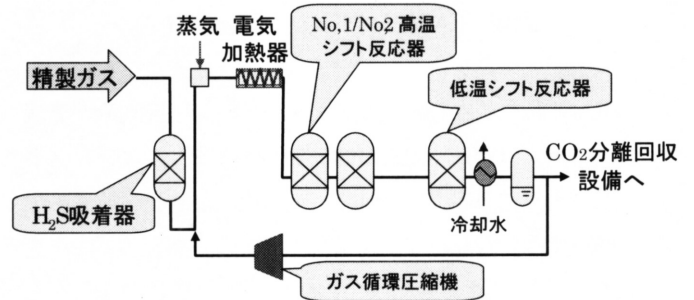


図9 COシフト反応器系統構成

図10にCO₂分離回収系統構成を示す。CO₂分離回収系統へ送られたガス中のCO₂は、吸収塔にてアミン液に吸収され、水素リッチガスが精製ガスとして取り出される。CO₂を吸収したアミン液は再生系統に送られ、CO₂は純度99%以上を目標としたガスとして回収される。一方、吸収液再生工程はフラッシュ再生、加熱フラッシュ再生、加熱再生塔再生の3つのモードがあり、各モード毎のCO₂回収率、純度、所要エネルギー量等の比較検証を行うことができる構成となっている。表2にCO₂分離回収試験装置仕様を示す。

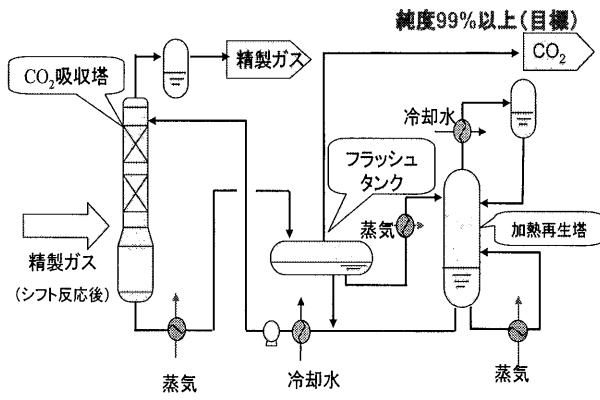


図10 CO₂分離回収系統構成

表2 試験装置仕様

導入ガス量	1,000m ³ /Nh
シフト反応設備	高温シフト反応器×2 低温シフト反応器×1
COシフト率	50~95%以上(可変)
CO ₂ 吸収方式	化学吸収法(MDEA系吸収液)
吸収液再生モード	フラッシュ再生 加熱フラッシュ再生 再生塔再生
CO ₂ 回収率	50~90%以上(可変)
CO ₂ 回収量	最大約1ton/h
CO ₂ 純度	99%以上(目標)

表3 CO₂分離回収試験状況

試験期間	運転時間	主要項目
平成20年9月 ~11月	110h38min	総合試運転 緊急停止再起動試験 定格ガス量(1,000m ³ /Nh)受入れ (Run1~4)
平成20年11月	34h31min	フラッシュ再生時の基本特性確認 (Run5)
平成20年12月	101h52min	シフト反応特性確認、フラッシュ再生運転パラメータ変化試験 (Run6)

5. CO₂分離回収試験の概要

CO₂分離回収試験では以下の4つの観点から様々な試験並びに検証を進める計画である。

- ① 石炭ガス化ガス処理時の基本特性の確認
- ② シフト反応触媒の評価、最適運用条件の確認
- ③ 吸収液の吸収・再生特性確認
- ④ システムの最適化・所要エネルギー低減のための検討

本プロジェクトは石炭ガス化ガスからCO₂分離回収を行うものであり、発電用システムでの検証は世界に先駆けた取組みである。シフト触媒やCO₂吸収液は他産業で実績のある技術を採用しているが、石炭ガス特有の使用条件(高カーボン含有ガス濃度、ハロゲン等微量物質の影響)下での適用性を評価すると共に、発電システムに合った運用性、負荷追従性等を確認することを目的としている。また、CO₂分離回収システム付加による最大の課題である発電効率低下への影響を如何に低減するかという観点から、システム並びに運転条件の最適化を検討する計画である。

6. CO₂分離回収設備運転実績

CO₂分離回収設備は平成20年8月の据付完了後、9月から試験運転を開始した。これまで6回の運転を行い、延べ運転時間は247時間に達している。この間、試験設備運転のための各種初期調整を行うと共に、石炭ガス化ガスに対する基本的な反応特性を確認した。今後は、COシフト系反応特性評価試験、CO₂吸収再生特性評価試験等を行い、最適な運転条件を見極めることとする。表3にCO₂分離回収試験状況を示す。

7. 終わりに

石炭は価格競争力と広範な資源分布からエネルギーセキュリティ上、今後も重要なエネルギー源となると考えられ、電気事業においても電源のベストミックスの観点から引き続き重要な役割を果たすと考えられる。一方、将来に亘って石炭を利用していくためには地球温暖化防止の観点からCCSは欠くことのできない技術と考えられており、実用化にむけた開発の加速化が望まれていることから、来るべき低炭素社会の到来に備え、本プロジェクトを着実に推進していくことと致したい。

謝辞

本技術開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)との共同研究事業として電源開発株式会社が実施しているものであり、経済産業省を始め、関係各位への謝意を表したい。

記号

EAGLE: EAGLEとは、coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricityの略

IGCC : IGCCとは、Integrated Coal Gasification Combined Cycleの略、石炭ガス化複合発電

IGFC : IGFCとは、Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycleの略、石炭ガス化燃料電池複合発電

炭素転換率: ガス化炉に供給した石炭中の炭素量に対する生成ガス中の炭素量の割合

冷ガス効率: ガス化炉に供給した石炭の発熱量に対する生成ガスの発熱量の割合

参考文献

1. 「平成17年度クリーン・コール・テクノロジー推進事業産業間連携に係る石炭ガス化を核とする発電・水素・CO₂分離回収システムに関する調査」NEDO調査報告書(2006)