

CO₂回収型 IGCC クリーンコール技術の商用化Commercialization of Clean Coal Technology with CO₂ Recovery

橋本 貴雄*¹
Takao Hashimoto

坂本 康一*²
Koichi Sakamoto

石井 弘実*³
Hiromi Ishii

藤井 貴*⁴
Takashi Fujii

小山 智規*⁵
Yoshinori Koyama

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)が商用化に近づいている。更に CO₂ の回収・貯留との組み合わせも計画されており、CO₂ 排出量低減の切り札として注目されている。本論文では、CO₂回収型空気吹き IGCC の特徴を中心に、豪州 ZeroGen プロジェクト等商用機の計画状況他 CO₂削減にむけての取組みを報告する。

1. はじめに ～クリーンコールテクノロジーへの取組み～

地球温暖化問題に対応して更に CO₂ 削減のため、石炭火力においては更なる効率改善や CO₂ の低減が求められている。表1に石炭火力の技術開発による CO₂ 削減の取組みを示す。STEP1として今後発電効率を改善する技術はIGCCや次世代超々臨界圧発電(A-USC)等が挙げられる。更なるCO₂削減には、STEP2としてCO₂回収が必要になる。これらの技術を石炭火力発電技術のCO₂削減ロードマップとして図1に示す。

効率向上の三技術の中で、超々臨界圧発電(USC)については材料開発や実機での実証試験に長期間取り組み、技術を確認した上で既に実用化されている。1990年代から蒸気温度が600℃級の石炭火力発電所が稼働している。

表1 我が国の石炭火力の技術開発

STEP	CO ₂ 削減技術の内容及び状況
STEP 1 CO ₂ 低減 (発電効率向上)	(1) 超々臨界圧発電(USC) 成熟技術、国内多数実績に裏づけされた火力発電設備 中国・インドメーカへのライセンス供与実施済 (2) 石炭ガス化複合発電(IGCC) 実証段階～商用化直前段階(空気吹き IGCC) 次世代 1700℃級GTとの組み合わせで効率 50%目標 ガス化炉は既存技術を利用 (3) 次世代超々臨界圧発電(A-USC) 700℃超級、Fe-Ni 基管・配管/ Ni 基ロータ等材料開発 平成 20 年度より国プロ(各メーカ参加)開始
STEP 2 CO ₂ 回収	(1) ボイラ燃焼排ガス回収(Post Combustion) (化学プラントの実績あり)・・・Step1(1), (3)との組み合わせ (2) IGCC ガス化燃料ガス回収(Pre Combustion) (化学プラントの大容量実績)・・・Step1(2)との組み合わせ (3) ボイラ酸素燃焼(Oxy-Fuel Combustion) (パイロット規模で建設中)

*1 原動機事業本部プラント事業部技師長

*2 原動機事業本部プラント事業部火力プラント計画部グループ長

*3 原動機事業本部プラント事業部火力プラント計画部首席技師

*4 原動機事業本部プラント事業部火力プラント計画部

*5 技術本部長崎研究所首席研究員

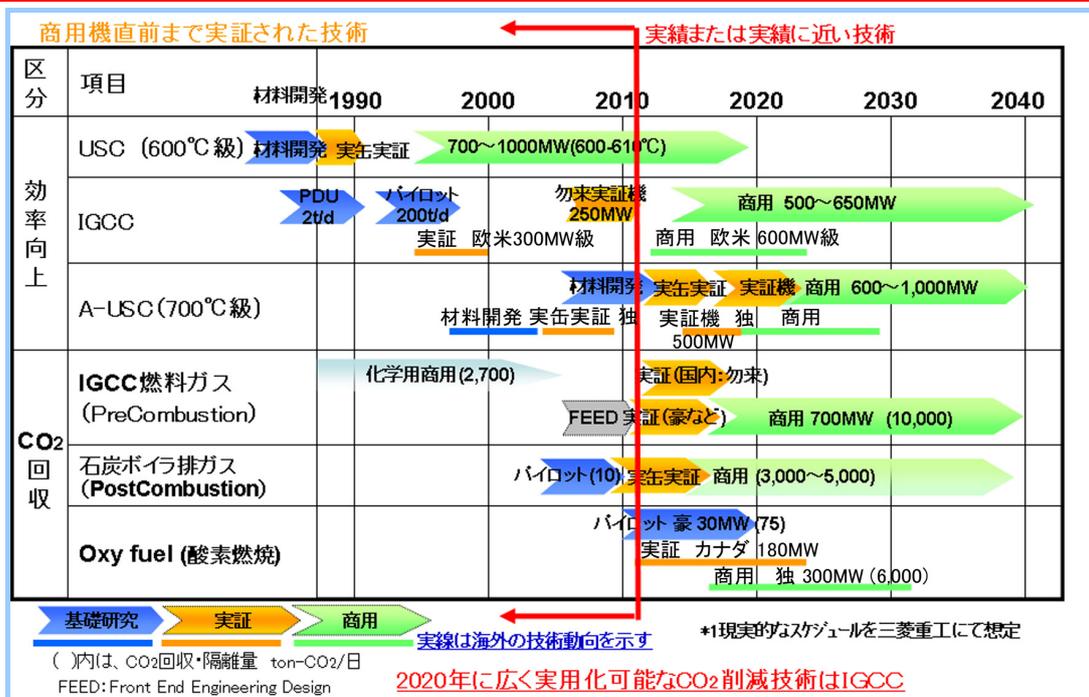


図1 石炭火力発電設備技術のCO₂削減ロードマップ

IGCC については、(株)クリーコールパワー研究所が福島県勿来に建設した空気吹き IGCC 実証機の実証試験が進められており、2008 年夏に電力需要の高い3ヶ月連続運転を達成した。このことから、2020 年までに広く実用化が可能な最も商用機に近い最新技術は IGCC であるとして、国内外で商用機が普及し CO₂ 削減に貢献することが期待されている。

A-USC は蒸気温度を 600°Cから 700°Cに上げ、更に蒸気圧力を上げるとともに1段再熱から2段再熱方式として従来火力システムでの最高効率を目指すものである。欧州での取組みが先行しているが、我が国ではボイラ・タービン・大型弁の材料開発、検証試験や構造・製造性の検証に着手したところである。

STEP2 の CO₂ 回収に関して、IGCC の燃料ガス(石炭ガス化ガス)から CO₂ 回収する Pre Combustion については 50 万 kW 級の IGCC 商用機に組み込んだ実証プラントが、2010 年代後半に稼動する予定である。ボイラ燃焼排ガスから CO₂を回収する Post Combustion は、天然ガス燃焼排ガスで小規模での商用機は稼動しているが、石炭燃焼排ガスについては今後実証を計画しており、2015 年以降に商用化を目論んでいる。Oxy-Fuel(酸素燃焼)は、現在豪州等でパイロットプラントの建設段階にある。

以上のとおりそれぞれ技術面での成熟度が異なり同等に論じるのは難しいが、実証段階を完了しようとしている IGCC が 2020 年代にかなり広く使われる可能性が高く、また CO₂ 回収におけるエネルギー消費が従来火力に比べ少ないという優位性を有することから、当社では他技術とともに次世代火力発電技術として IGCC の開発を鋭意進めている。

2. IGCC の現状と今後の展望

石炭火力での効率向上に関する経緯及び目論見を図2に示す。IGCC の今後の効率改善の見通しを以下に示す。

- ・天然ガス焚きガスタービンはタービン入口温度 1500°C級が実用化、現在順調に商業運転されている。更に高効率を目指して 1700°C級超高温ガスタービンの開発が国家プロジェクトとして進められており、これが完成すると天然ガス複合発電の発電端効率(LHV)は 62~65%となることが予想される。
- ・1700°C級超高温ガスタービンの技術を IGCC に利用することで、発電端効率(LHV)は 55%を超える見通しである。

- ・ さらに, IGCC に SOFC(固体酸化物燃料電池)を組み合わせた IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電)とすることで, 65%を超える発電端効率(LHV)が期待出来る。

1700℃級のガスタービンは国家プロジェクトとして, 2004年頃より要素開発を進めており, 現在は実用化技術開発段階である。2015年以降に実証機の開発設計, 実証運転を行う予定であり, 天然ガス複合発電への適用後にIGCCにも適用可能である。なお, IGCCの石炭ガス化ガス発熱量は天然ガスに比べて低カロリーであるものの, IGCC実証機での燃料ガス性状実績から, 高温ガスタービンへは十分適用可能であることが確認されている。

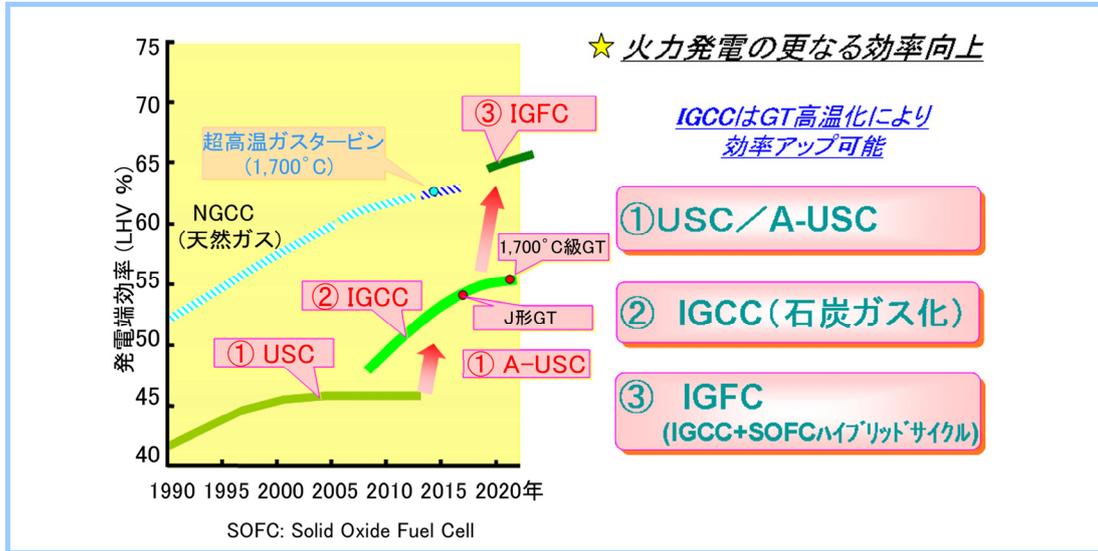


図2 クリーンコール技術による効率の飛躍的向上

3. CO₂回収型空気吹き IGCC

3.1 CO₂回収技術の概要

石炭火力からのCO₂回収方式は, 上述のとおり次の3技術が挙げられる。

- ・ IGCC ガス化燃料ガス回収(Pre Combustion)
- ・ ボイラ燃焼排ガス回収(Post Combustion)
- ・ ボイラ酸素燃焼(Oxy-Fuel Combustion)

Pre Combustion 法は, ガスタービンで燃焼する前に高圧の燃料ガス(石炭ガス化ガス)から, CO₂を回収してIGCCに適用する技術で, CO₂を回収するための蒸気量が少なく, エネルギー消費が比較的少ないなどの理由から, “IGCCはCCSとの親和性が高い。”と言われている。(1)

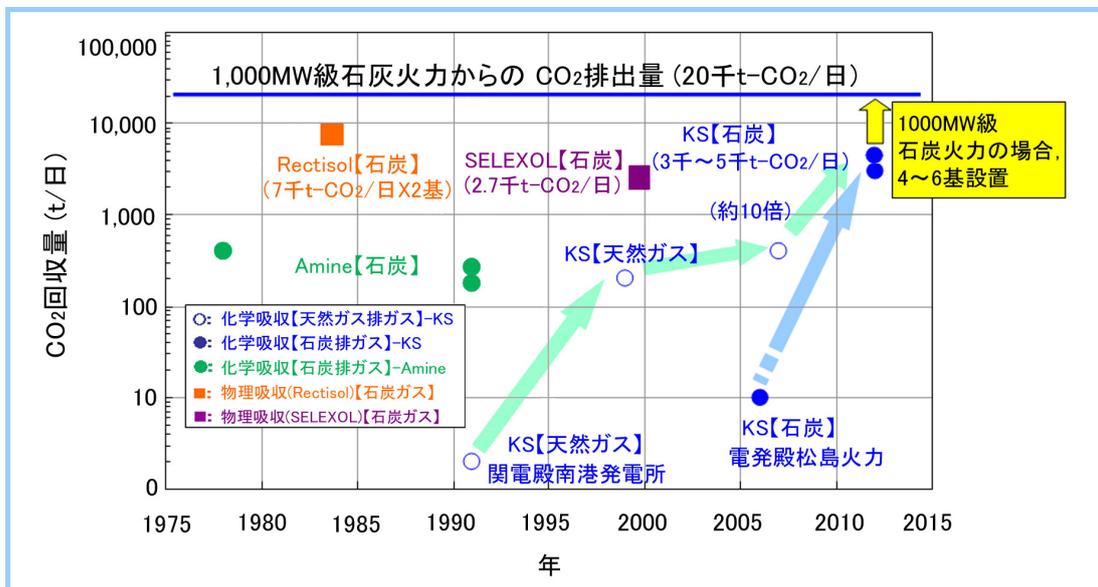


図3 CO₂回収設備容量の実績と開発目論見

Post Combustion 法は、燃焼後のボイラ排ガスから常圧で CO₂を回収する技術で、ボイラ排ガスを対象としていることから、既に運転中の石炭火力への追設・適用が出来る。また、Oxy-Fuel Combustion は、石炭を酸素で燃焼させ、CO₂濃度の高い排気ガスを生成させ、この CO₂を回収する方法である。

CO₂回収技術には、既に実用化段階のものもあるが、CO₂回収のためのコストやエネルギー消費の削減が今後の課題である。図3に示すように、Pre Combustion は化学プラントで数千t-CO₂/日級のCO₂回収量実績があるが、火力発電へは今後の適用となる。

Post Combustion は自社技術の開発に取り組んでおり、国内・海外でのパイロットプラント試験により天然ガス排ガスでは数百t-CO₂/日規模まで実用レベルにある。大型事業用石炭火力へ適用する場合、1万～2万t-CO₂/日規模のCO₂回収が必要であり、次ステップとして数百～千t/日規模の実証を経て大型商用機への実現を目指している。

3.2 CO₂回収型空気吹きIGCCの特徴

(1) CO₂回収に伴う効率低下の要因

Pre Combustion 方式のCO₂回収型IGCCの概略系統を図4に示す。ガス化炉で生成された石炭ガス化ガス中の一酸化炭素(CO)は、COシフト反応器にて、水蒸気(H₂O)とのシフト反応により、CO₂と水素(H₂)に転換され、CO₂はAGR(Acid Gas Removal :脱硫・CO₂回収)設備で分離・回収される。CO₂が回収された高H₂濃度の精製ガスは、ガスタービン燃料として利用され、複合発電設備を構成する。一方、回収されたCO₂ガスは圧縮機にて昇圧され、プラントの外へ輸送・貯留等に利用される。

一般にCO₂回収によりプラント効率が低下するが、その主要因は次の3点による。

①COシフトによる蒸気使用量増

シフト反応に供する蒸気の多くは複合発電設備から蒸気を抽気することにより供給しており、蒸気タービンの出力が低下する。

②AGR補機動力増

従来の湿式脱硫設備に加え、CO₂回収設備内にて、CO₂吸収液の循環ポンプ動力・吸収液の再生動力等が追加となる。

③CO₂圧縮機動力増

CO₂輸送等のため、高圧まで昇圧する必要があり、同圧縮機の動力が追加となる。

これらのことから、CO₂回収型IGCCでは、ベースとなるIGCCとしてのプラント性能・経済性に加え、COシフト反応器やAGR設備プロセスを包括したCO₂回収システムとしての全体最適化が重要である。

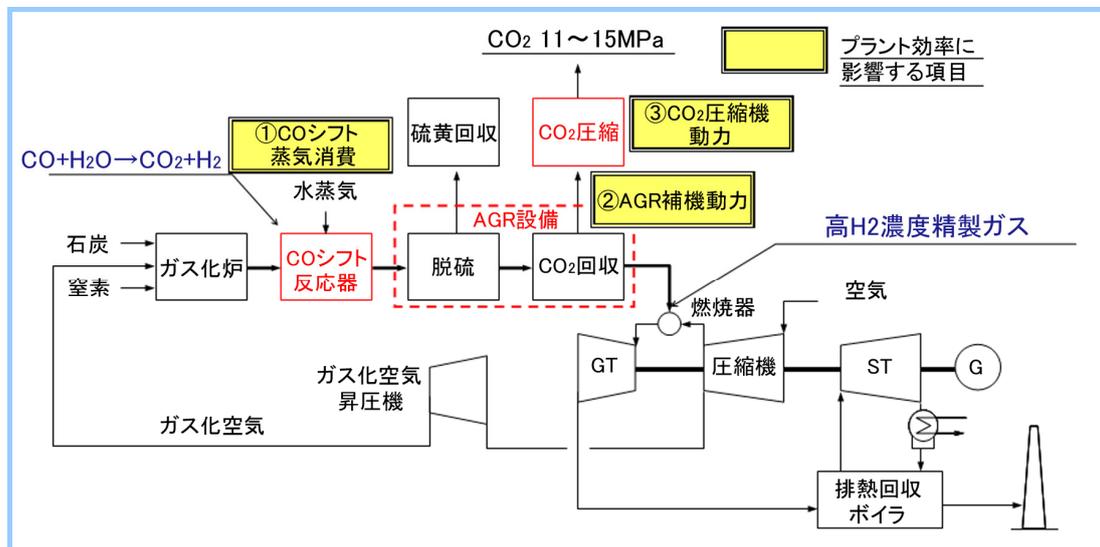


図4 CO₂回収型IGCCの概略系統図

(2) 酸素吹きとの比較

次に、CO₂回収型空気吹き IGCC を酸素吹き IGCC と比較する。プラント効率については、上記低下の要因毎に比較した結果を図5に示す。

①CO シフト反応

CO シフト反応は反応器に充填した触媒を介しての発熱反応であり、CO シフト転換 (CO→CO₂ 転換)の進行に応じ、石炭ガス化ガス温度が上昇する。触媒には作動可能な温度範囲があり、石炭ガス化ガス温度を同温度範囲とするため、通常反応器を多段構成とし、各反応器間に熱交換器を設置する。また触媒反応のために正味シフト反応に必要な量に比べ過剰に蒸気を供給している。

酸素吹きの場合、石炭ガス化ガス温度の上昇が大きいため CO シフトを多段構成としている。一方、空気吹きガス化の場合、ガス化炉で生成される石炭ガス化ガス中に約50%の窒素(N₂)を含んでいるため、シフト反応時の石炭ガス化ガス温度の上昇が少なく、反応器の段数を低減出来る。またガス温度上昇が少ないため、CO シフト平衡が CO₂ 転化側となり、抽気蒸気量を酸素吹きと同等以下に低減が可能となる。このため空気吹きは、プラント性能と設備費の両面において有利となる。

②AGR 動力

図5のとおり、空気吹き IGCC では石炭ガス化ガス中の N₂ 比率が高いため処理ガス量が多く、酸素吹き IGCC に比べると吸収液循環動力が若干増加する。

③CO₂圧縮動力

回収した CO₂ を輸送・貯留に必要な圧力まで昇圧するための動力であり、回収された CO₂ 量により一意に定まることから、空気吹き/酸素吹きで同等となる。

CO₂回収無しと、CO₂回収率90%の条件における、空気吹き/酸素吹き IGCC のプラント効率低下の状況を図6に示す。CO₂ 回収により、空気吹き/酸素吹きともにプラント効率が低下するものの、CO₂回収無しでの空気吹き IGCC の有利性が逆転されことはなく、CO₂回収率90%においてもプラント送電端効率は空気吹き IGCC が優位となる。

一般に空気吹きの場合、石炭ガス化ガス中 N₂ 比率が高く機器体格の増大に繋がり、IGCC の経済性を損ねるとの議論が為されることがある。しかしながらこれは、一部表面的なものであり、一概に論ずることは出来ず、技術の詳細を突き詰めるとともにプロセス全体としての性能・経済性を考える必要がある。

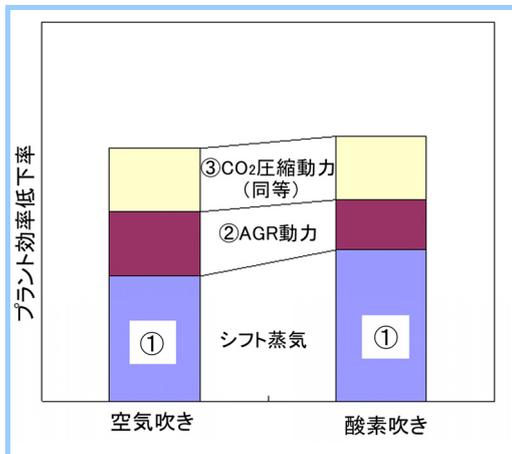


図5 CO₂回収型 IGCC の効率低下の内訳

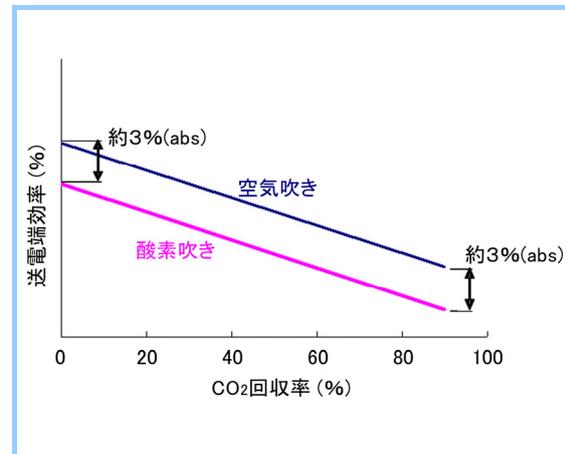


図6 CO₂回収時の空気吹きと酸素吹き IGCC における送電端効率の比較

4. CO₂回収型 IGCC 商用機の計画～豪州 ZeroGen プロジェクトの取組み～

当社はガス化炉、ガス精製、ガスタービン複合発電設備といった個別機器の単なるサプライヤとしての個別最適ではなく、CO₂回収型 IGCC プラントとしての性能・経済性の全体最適を推し進めている。豪州 ZeroGen プロジェクトは当社の取組みを具現化する好例である。

同プロジェクトは、2015 年運転開始を目標に豪州 ZeroGen 社が計画している発電端出力 530MW の CO₂回収型 IGCC プラントであり、石炭から生成される石炭ガス化ガスより CO₂を回収し、H₂リッチ燃料で複合発電を行う一方、回収 CO₂の輸送及び地中帯水層への貯留までを行うものである。当社はガス化炉・ガス精製・CO₂回収・タービン設備・CO₂圧縮機を供給範囲とする IGCC 設備の FS を受注し、現在 FS 作業中である。図7に ZeroGen プロジェクトのプラント外観と概略仕様を示す。

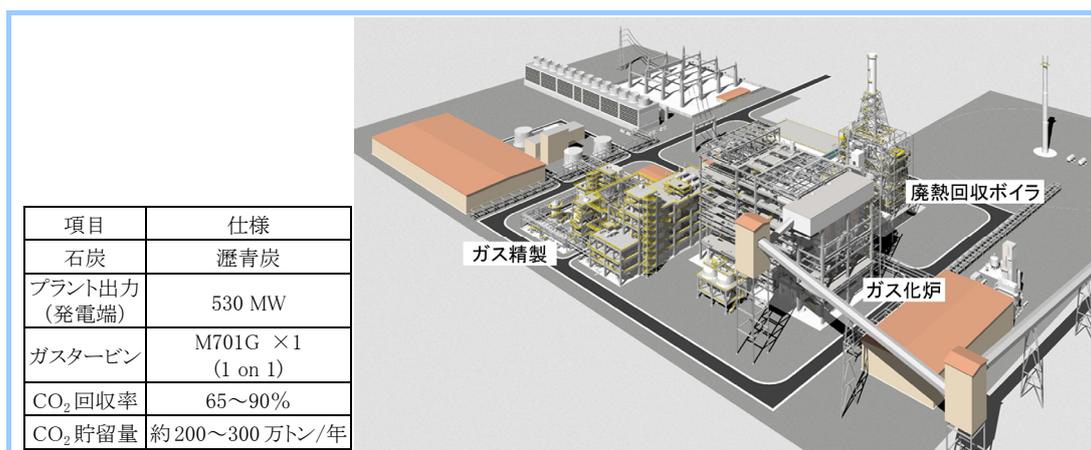


図7 ZeroGen プロジェクトプラント外観と概略仕様

5. まとめ

地球温暖化問題による CO₂削減のため、石炭火力においては従来の取組みである効率改善に加え、CO₂回収の適用が求められている。IGCC や A-USC, Pre Combustion / Post Combustion CO₂回収等、CO₂削減・回収技術の組み合わせの中で、IGCC は次期事業用火力として 2020 年代までの商用機普及、CO₂削減への貢献が期待されている。

空気吹き IGCC は、勿来実証機の運転を通じ、信頼性、成熟度の面で諸外国に肩を並べるレベルにあり、1700℃級の超高温ガスタービンとの組み合わせにより更なる競争力向上が期待される。また CO₂回収型 IGCC においても空気吹きの優位性が保持され、豪州 ZeroGen では発電端出力 530MW のプラントの 2015 年運転開始に向けて FS に取り組んでいる。

当社はガス化炉、ガス精製、ガスタービン複合発電設備といった主要機器を一貫供給出来るメーカーとして、性能・経済性が全体最適化された CO₂回収型 IGCC プラントの納入を通じて CO₂削減に貢献する所存である。

参考文献

- (1) Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Volume1:Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity Final Report (Revision 1, August 2007), DOE/NETL-2007/1281
http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/Bituminous%20Baseline_Final%20Report.pdf (2007-8)