

“リアル クリーン パワー”への礎石 —石炭ガス化発電商業プラント見学レポート(下)—

原 晋一*



図1 常磐共同火力(株)勿来 IGCC¹⁾

4月号(上)では、“勿来商業プラントの見学に基づき、空気吹きIGCCの開発経過と、技術的諸事情を記し、IGCCの意味と、空気吹きIGCCの位置付けにつき述べた。”今月号(下)では、その続きを紹介する。

5. 今後の計画

・空気吹きIGCC 商業化今後の予定

空気吹きIGCC、GT-1,400℃、540MW、送電端効率：48%、灰利用率90%のプロジェクトが、2020初頭スタートを予定し、福島県広野町と勿来にある。この2つのプロジェクトは東京電力にて計画されているが、このプロジェクトの内一つに常磐共同火力(株)が参加する予定である。

・酸素吹きIGCC 技術開発

広島県の中国電力(株)大崎発電所構内に166MWの酸素吹きIGCCの実証化プロジェクトの設備が、大崎クールジェン(株)にて平成29年3月、スタートすべく建設中である¹¹⁾。このプロジェクトは、CCS技術の内のCO₂回収技術の開発、および燃

料電池の併設による発電効率の向上を目指した、IGCCのさらなるクリーン化技術開発の一環であるが、2室2段噴流方式等ガス化炉技術¹¹⁾は勿来の技術を引き継いだものである。

6. 石炭火力発電の意義と空気吹きIGCCの位置づけ、および課題と対応

6-1. 火力発電における比較

表2に火力発電の比較を示す。

火力発電はベースロード電力として発電の中軸であるが、冒頭述べたように石炭火力はその燃料である石炭が安価でありかつ資源の賦存量が多く賦存地域が世界に分散しているため、わが国における火力発電において他の火力発電方式にない強みを持っている(図10、11)。

その中でもIGCCは石炭中の無機化合物の溶解温度が低くても、廃出灰分の減容化や炉内各所での灰分付着等が無く使用できるため、安価な亜瀝青炭が燃料(図5、図12)として使いやすく、ボイラー方

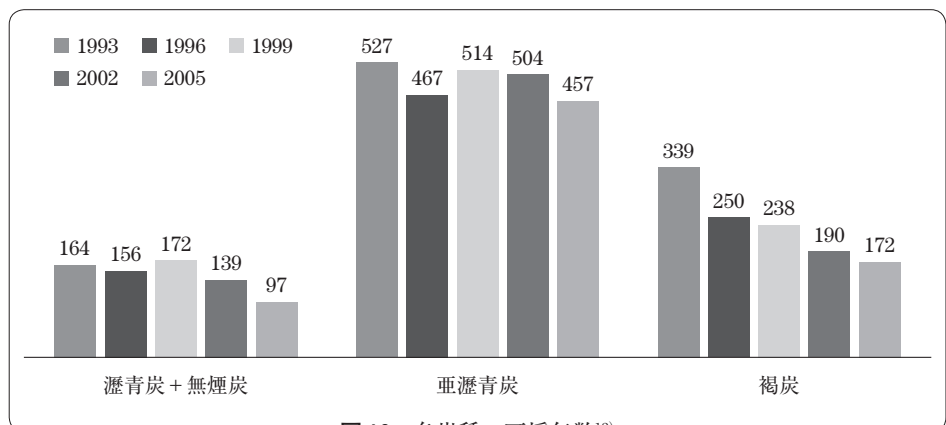


図10 各炭種の可採年数¹²⁾

*Shinichi HARA; 原 技術士事務所(技術士, 化学部門), SEC-Net エネルギー研究会
TEL/FAX: 03-5370-2348
E-mail: sharasetsu@yahoo.co.jp

表 2 火力発電プロセス比較 (開発中を含む)

	空気吹き IGCC		酸素吹き IGCC*4)		微粉炭燃焼ボイラー		LNG ガスタービン (GT)	
	GT1,200℃	GT1,700℃	GT1,300℃	IGFC	USC	AUSC	1,500℃	1,700℃
燃料 (灰融点)	瀝青炭, 亜瀝青炭 (1,200℃~1,500℃)		瀝青炭, 亜瀝青炭 (1,200℃~1,550℃)		無煙炭, 瀝青炭 (1,400℃~1,650℃)		天然ガス等	
プロセス条件	下室 1,800℃ 上室 1,100℃ 2.6MPa		下室 1,600℃ 上室 1,100℃ 2.5MPa		600℃ 24.1MPa	700℃ 24.1MPa	—	—
発電効率(SE)	42% LHV	52% LHV	40.5 HHV	55% HHV	39.5% HHV	46~48% HHV	57% LHV	63% LHV
ガス化効率	75% HHV		82% HHV		—		—	
灰分取扱い	灰分, 対微粉炭ボイラーの半分に減容 舗装用途再利用				主として埋め立て		—	
CCS 対応	GT 燃焼後湿式吸収で CO ₂ 回収		Sour Shift をガス精製系に設置, GT 前にて乾式吸着で CO ₂ 回収		燃焼排ガスから湿式吸収で CO ₂ 回収		GT 燃焼後湿式吸収で CO ₂ 回収	
技術開発		CCS 対応 1,700℃ GT	大崎クールジェンにて実証化 酸素吹きガス化, CCS 対応, IGFC は SOFC 併設		—	蒸気パイプ等 高温材料開発	—	高温対応
排出係数*1) kg-CO ₂ /MWh	807 (瀝青炭)	652 (亜瀝青炭)	848 (瀝青炭)	595 (亜瀝青炭)	817 (瀝青炭)	692 (瀝青炭)	349	316
燃料コスト*2) (円/kWh) (図2)	2.66	2.15	2.8	1.96	2.86 (3.9~4.2)	2.42	7.18 (8.2~8.6)	6.5
設備費*3) (相対値)	1	1.1	1.04	1.15	0.85	1.00	0.65	0.85
全コスト (相対値)	1	1弱 ◎	1.04	1 ○	1.03	1.11	1.36	1.33

- *1) 独立行政法人経済研究所, (RIETI), 「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数—2013 改訂版」を利用し補正・換算実施
- *2) 燃料費は DU : 70\$/B と設定し, 2010 から 2015 間の各燃料の対 DU 相関関係から想定 (図 11), 瀝青炭/亜瀝青炭価格は (図 5, 図 12) を参考かつ発熱量, CEF 補正
- *3) 設備費用は 地球環境産業技術研究機構システム研究グループ, 「電源別発電コストの最新推計と電源代替の費用便益分析」, 平成 26 年 10 月 20 日を参考にして高コスト部補正
- *4) 大崎クールジェン計画および Eagle Project の電子情報による

式の USC や AUSC よりコスト的に優位な方式と評価される。なお, 日本の LNG においてスポット取引が多くなり価格が下がる可能性があるが, もし 2 割半程度安くなるようなら LNG ガスタービン発電が石炭 IGCC と同等となると考えられる。

空気吹き IGCC と燃料電池併設のない酸素吹き IGCC の間では, 未だ同一条件での比較ができる酸素吹き IGCC のデータが得られないので評価は確定的ではないが, ASU による電気消費の差により送電端発電効率において空気吹き IGCC の方がやや高い (図 9) と考えられることや, ASU 設備費用の差等から空気吹き IGCC の方が優位にあると窺える。

6-2. IGCC 課題への対応

空気吹き IGCC の課題は, 石炭という高排出係数燃料を使用する上, CCS 化する場合ガスタービンで燃焼

した後の低濃度 CO₂ をコスト的に高い湿式吸収で回収することであり, そのために多くの内部消費電力を消費する (約 30%) 可能性があるということである。これに対しては, 酸素吹き IGCC において, ガス化されたシingas を GT で燃焼させる前で, CO シフト反応を起こさせる方法 (サワーシフト) により水素濃度を上げると同時に CO₂ 濃度を高くし, コスト的に安い乾式吸着で CO₂ を回収できる方法が可能性としてある¹⁵⁾。

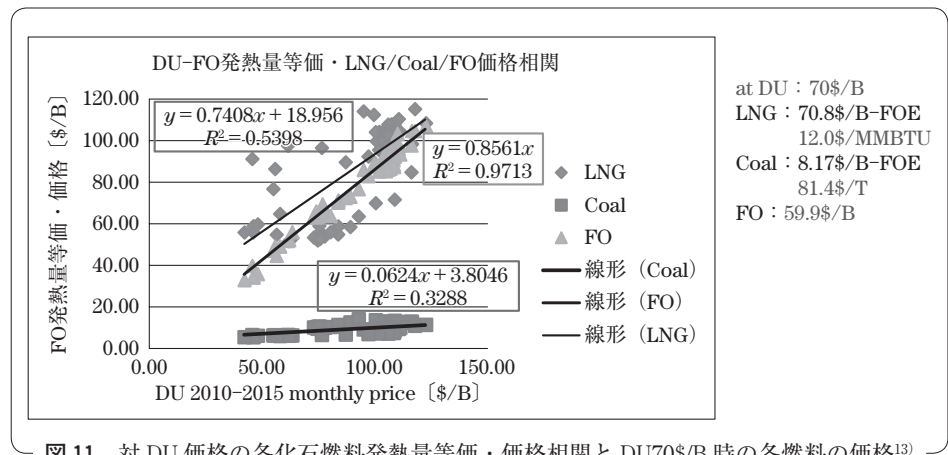


図 11 対 DU 価格の各化石燃料発熱量等価・価格相関と DU70\$/B 時の各燃料の価格¹³⁾

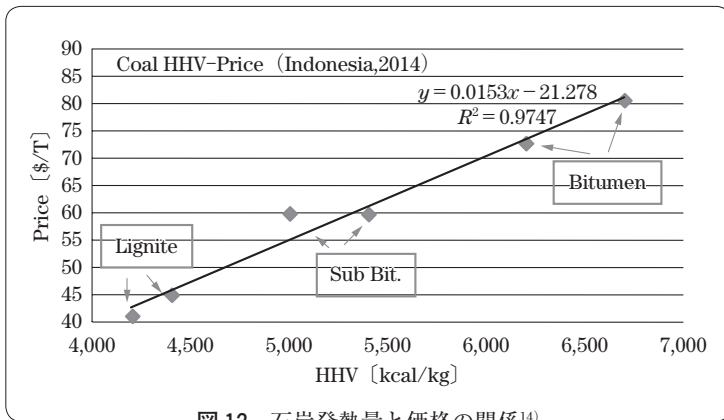


図12 石炭発熱量と価格の関係¹⁴⁾

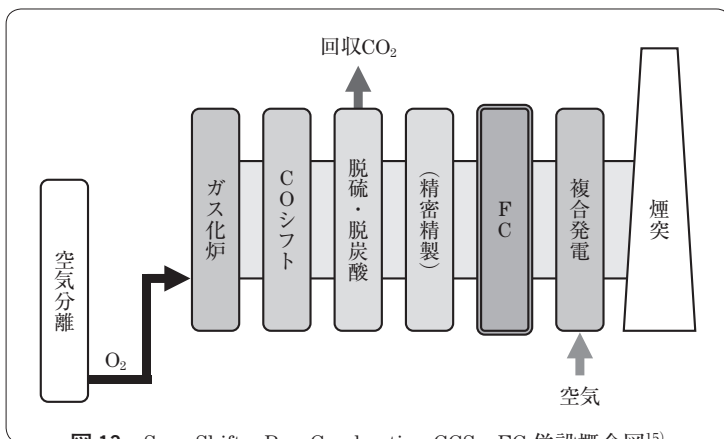


図13 Sour Shift, Pre-Combustion CCS, FC 併設概念図¹⁵⁾

表3 火力発電排出 CO₂ 関係の CCS 技術開発状況¹⁶⁾

分類	テーマ 16)にてA評価されたもの,他 ^{19,21)}	成果, 確認等
CO ₂ 分離・回収	<ul style="list-style-type: none"> ・高分子膜技術 ・CO₂ 吸収液再生省エネ Alumina 膜でのフラッシュ化 ・PSA 改良 	これらの開発および CO ₂ 排出プラントでの技術開発で, 従来 4,000 円/t-CO ₂ が 2,000 円/tCO ₂ の分離回収コストになる
CO ₂ 隔離 陸上隔離 (海底地下含)	<ul style="list-style-type: none"> ・蛇紋岩体(超苦鉄質体)への CO₂ 固定・貯留 ・CO₂ 貯留シール層の安定性評価 	1,000 円/t-CO ₂ , 1,600mill.t-CO ₂ 貯留可能 背斜構造を伴わない帯水層: 陸域堆積盆地: 72,042mill.t-CO ₂ 海域堆積盆地: 15,847mill.t-CO ₂ それぞれ貯留可能
海洋貯留 大規模植林	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂ 含排ガスと水の高湿地中への注入, 地質の炭酸塩化で固定 ・回収 CO₂ 隔離との関係無し ・回収 CO₂ 隔離との関係無し 	2,800 円/t-CO ₂ , 1,180mill.t-CO ₂ 貯留可能
微生物利用	<ul style="list-style-type: none"> ・深地下に存在する微生物を利用し CO₂ の C への還元固を定化 	深地下微生物による C への還元全量 2×10 ¹⁴ t-CO ₂ の 1% で CO ₂ 固定で 2×10 ¹² t-CO ₂ 貯留・固定可能
CO ₂ 有効利用	<ul style="list-style-type: none"> ・回収 CO₂ と水分解水素の FT 反応によるオレフィン生産¹⁹⁾ ・バイオリクターにおける回収 CO₂ による微細藻由来バイオ燃料生産^{19,21)} 	4,600t-CO ₂ /y/11.8ha-受光面積 ²⁰⁾ 105t-CO ₂ /y/1ha-受光面積 ²⁰⁾ , リアクター開発により: 474t-CO ₂ /y/0.9ha-Reactor 敷地面積 ²¹⁾

さらには高濃度化, 高精製化された水素を使いさらなる高発電効率を得るため, 燃料電池 (FC, 個体酸化物燃料電池: SOFC) を併設し発電する方法が考えられる¹⁵⁾ (図13)。

いずれにしても, これら今後の IGCC 技術のさらなる高度化には, 基盤として, 勿来で培われた空気吹き IGCC のガス化技術が具体的姿で寄与してきたし, 今後の実ビジネス環境における技術の進歩が, 引き続き寄与するのは間違いない。

7. CCS 技術

炭酸ガスの捕捉・回収・固定化 (CCS) を行う技術は現在開発途上であるが, 捕捉・回収技術にはアミン吸収液や PSA 等の物理吸着のような従来技術がある。現在は膜分離技術等によるコストダウンが可能な技術開発が行われており, 捕捉・回収においては 2020 年に 2,000 円/t-CO₂ の目標の設定ができた^{16, 18)}。しかし固定化は地中隔離が技術的に確実であるとされているが日本のように地震の多い国土への地中隔離については未だ評価中である¹⁶⁾ (表3)。

ただ米国等では地中への Storage は実証化テストがなされており現在 Leakage 等安全性評価が試みられている¹⁷⁾。いずれにしても石炭火力から排出される年間数億トン規模の CO₂ の有効な隔離技術の開発が急がれている (表3)。

石炭火力からの CO₂ の CCS は今後必須となると思われる, ここでは CO₂ 排出の少ない LNG ガスタービン発電と排出の多い石炭火力について, CCS を伴う場合の発電コストの大小の逆転が生ずるか検討しておく。CO₂ の Storage については, 米国でテストされコスト算出も行われている^{22, 23)}。これに地震の少ない地域への輸送・貯留等日本固有のコストや捕捉・回収コストを加えるように CCS コストを設定した。

捕捉・回収コスト¹⁸⁾: 30\$/t-CO₂

((現状コスト+2020 目標コスト)/2)

輸送・貯留コスト^{21, 22)}: 20\$/t-CO₂

日本固有コスト: 10\$/t-CO₂

合計 CCS コスト: 60\$/t-CO₂

表4 予測 CCS コスト (60\$/t-CO₂) を加味した全コスト相対値

	空気吹き IGCC		酸素吹き IGCC*		微粉炭ボイラー		ガスタービン**	
	GT1,200℃	GT1,700℃	GT1,300℃	IGFC	USC	AUSC	1,500℃	1,700℃
全コスト (相対値)	1	0.93 ○	1.05	0.90 ◎	1.03	1.01	1.00	0.96

* 酸素吹き IGCC は Sour Shift と Pre-Combustion CCS が可能で CCS にかかるコストを低減できる可能性があるが、この推算には含まず。
** 天然ガスの LNG 化には約 10% の天然ガスエネルギーのロスを伴うが、この推算には含まず。

この CCS コストを表 2 に示す各発電方式についてプラスした場合、表 4 のような合計コストと推算される。その結果 IGCC は CCS を付加しても相対的に安い方法と考えられる。

8. 終わりに

政府は、2030 年に向けての電力エネルギー構成計画を策定し、火力発電は 56 % とし、その内 50 % 以下を石炭火力とするとしている。

燃料価格の安い（現状石油発熱量等価・価格：燃料炭：8\$/B, LNG：40\$/B, VR：20\$/B）石炭は、今後さらに高効率発電技術の開発を通し、電力コストの低減の原動力として存続することが必要とされているのは、現実的な政策方向であろう。

その意味で、空気吹きとはいえ石炭のガス化技術が商業環境において実働し、さらに大規模発電の計画が進んでいることは、酸素吹き石炭ガス化プロセスさらにはその酸素吹き石炭ガス化技術を基にした燃料電池併設発電プロセス (IGFC) の実現に向けて、将来の石炭火力の存続の礎を設定したといえる。

一方、地球規模の気候変動に対し、その主要因とされる石炭火力にとっては、高効率化技術開発を行うとともに、CCS 技術の開発は必然であり、IGCC における CO₂ 対策としての Pre-Treatment や乾式分離というプロセス技術の開発とともに、CO₂ の固定化における貯蔵条件の選定や輸送、圧入、リーケイジモニタリングに関する技術開発は非常に重要であるということを実感できた。

CO₂ の捕捉・回収技術を備えかつ CO₂ の固定化環境が確立した暁には、IGCC はコストの安い、安定・安全な電力の柱となると考えられる。

<引用資料>

- 11) 第 1 回石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業中間評価検討会資料 6, 平成 27 年 6 月 22 日, METI
- 12) www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90529b09j.pdf
METI WEC, "Survey of Energy Resources"
- 13) 3) のデータからグラフ化
- 14) 資源エネルギー庁, 資源燃料部, 「石炭をめぐる現状と

課題」, 平成 26 年 5 月 9 日

- 15) METI, 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業費補助金」, 評価検討会 (第 2 回) 資料 1-4
- 16) METI, 「プログラム式 CO₂ 固定化・有効利用技術開発」, プロジェクト事業評価事後報告書, H23 年 3 月
- 17) RITE, 「革新的環境技術開発シンポジウム 2015」, 2015 年 12 月 18 日, 「CO₂ 地中貯留安全性評価技術開発」 薛自救
- 18) 資源エネルギー庁, 「CO₂ 回収・利用に関する今後の技術開発の課題と方向性」, 平成 27 年 6 月, 次世代火力発電協議会第 2 回会合
- 19) METI, 「CO₂ 回収・利用に関する技術開発の現況」, 平成 27 年 6 月, 次世代火力発電協議会第 2 回会合
- 20) METI, 「CO₂ 有効利用技術の特徴」, 平成 27 年 6 月, 次世代火力発電協議会第 3 回会合
- 21) 佐藤徹, 東京大学新領域研究科, 「バイオリアクターの開発プロセスの効率化と性能予測」, lemons.k.u-tokyo.ac.jp/SATO/lecture/Special/microalgae.pdf
- 22) "Report for the Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage", August 2010, DOE, EPA
- 23) J.J. Dooley etc., "On the Long term Average Cost of CO₂ Transport and Storage", March, 2008

■ ミニ用語解説 ■

(1) CO₂ リークージモニタリング:

リーケージモニタリングは、CCS 活動により貯留された CO₂ の潜在的な漏洩を決定するための測定、分析や解析であり、高分解能地震探査、地球化学的土壌調査や地表モニタリング等を使い行われる。地表モニタリングは、井穴ガスのサンプリングと分析の他、飲料地下水のサンプリングと分析などが有り、それらをベースデータとしたシミュレーションを駆使し広範囲に行われる。個別の方法は実験開発中であるが、ガストレーサー、温度・圧力調査、トモグラフィ、重力ベースライン調査研究、微生物調査、4D 地震探査、衛星による地表面撮影および地盤工学的モニタリングなどの技術からなる。

モニタリングの期間は、削減 CO₂ 取引等の取り決めの検討において、約 10 年間の取引期間中はもとより、その後においても 20 年間以上のモニタリング実施の必要性が論議されている。

(2) PSA: PSA は Pressure Swing Adsorption の略であり、CO₂ に対する活性炭素や、合成ゼオライトに対する水分のように、ガスと個体の吸着特性の強さを使い他のガスとの分離を行う方法であり、圧力の高い吸着槽と圧力の低い吸着槽を交互に圧力変換し対象ガスの分離を行う方式である。