



石炭ガス化複合発電 (IGCC) プラント

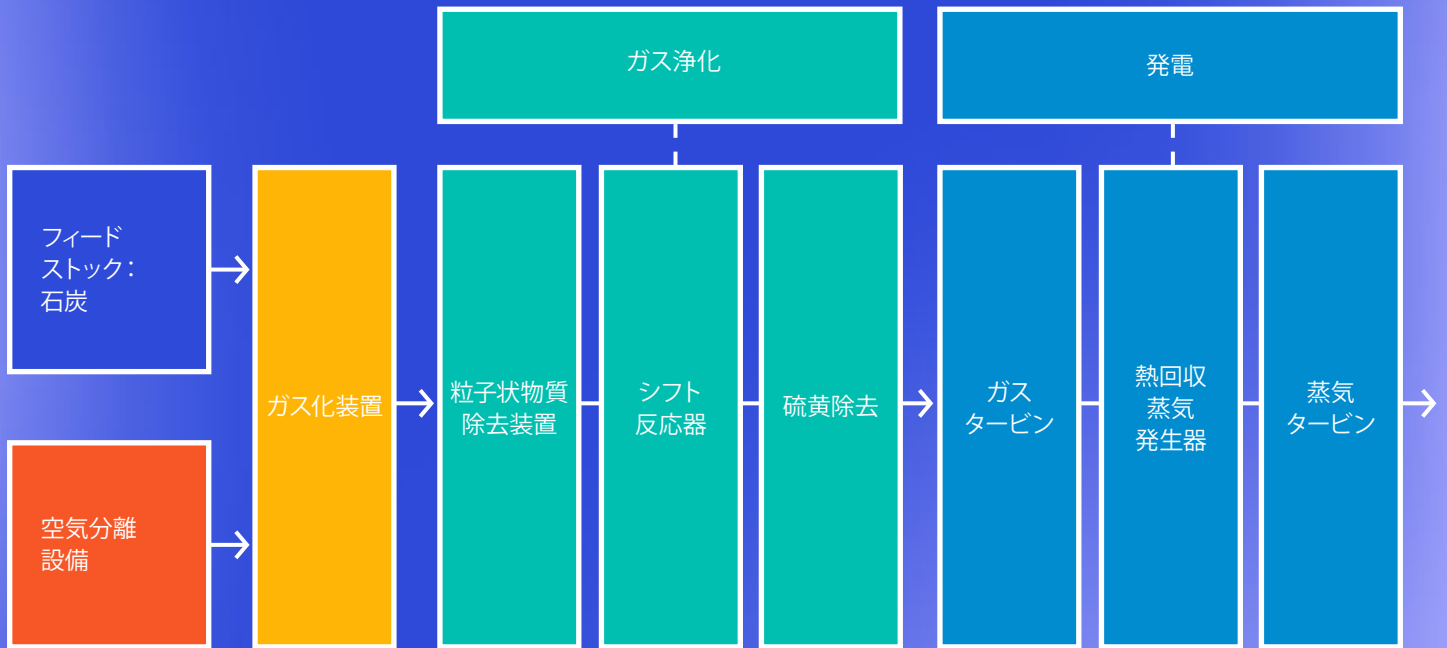
要旨

- 1 日本の電力会社の間で、IGCC などの石炭新発電技術、特に日本初の商用 IGCC プラントの稼働に対する関心が再燃している。しかし、IGCC が経済と気候の両面で期待に応えられるという保証はほとんどない。
- 2 IGCC には曲折の多い過去があり、頻繁なコストの激増が発生した。その結果、世界的に多数の事業案がキャンセルされており、続行された事業では、しばしば資本コストが予期した経費の倍に膨張している。
- 3 準備コストが高く、著しいコスト超過リスクがあることにより、IGCC プラントの経済的な魅力が低下する。将来を考えると、IGCC の低コスト化の可能性も不透明である。IGCC プラントは設備容量の規模拡大の問題に直面しており、事業の設備容量が増大するにつれ、設備容量単位あたりの資本コストが低下せずに、むしろ上昇する。
- 4 CCS を導入しない限り IGCC プラントの二酸化炭素排出削減効果は低い。CCS を導入した IGCC プラントはこれまで存在せず、このことから低炭素潜在力を有する IGCC を実現するには相当の経済的・技術的ハードルがあることが窺われる。
- 5 IGCC に CCS を後付けすることは技術的に実現性がなく、IGCC への投資は新設石炭火力発電所を意味するが、それは日本のネットゼロという目標に見合わず、将来的に座礁資産化することも考えられる。
- 6 また、IGCC には数々の課題があるが、中でも運転段階で技術上・運転上の課題に直面する。

理解のための基礎知識

石炭ガス化複合発電 (IGCC) プラントは原料を合成ガスに変換し、洗浄後に発電のために合成ガスをガスタービンで燃焼する。IGCC プラントの原料として使用可能なのは、石炭、バイオマス、製油所の残油 (石油コークス、アスファルト、タールなど)、都市ゴミなどである。簡易 IGCC システムは主にガス化炉、ガス精製装置、発電機という3つの「システム」で構成される (図 3.1)。

図 3.1 IGCC プラントの基本構成



引用元: TransitionZero

石炭を使う IGCC プラントには石炭火力発電所と比較していくつかの優位点があり、例えば大気汚染の低減、熱効率の改善、石炭の品質の柔軟性向上、安い/容易な燃焼前 CCS の併用可能性などである⁴⁵。最初の IGCC プラントは 1970 年代にドイツで建設されたが、1990 年代に初めて、汚染物質を排出する石炭火力発電所を生存させることができる潜在力ある技術として商業的に関心を集めるようになった。当時、石炭火力発電所は二酸化硫黄、窒素酸化物、水銀、粒子状物質などの有害汚染物質を大量に排出し、それらすべてが局所的な大気汚染とそれにより

誘発される健康被害を引き起こすというネガティブなイメージがあり、IGCC はそのイメージを覆すための石炭業界の対応の一部であった。しかし、バックエンドの代替汚染除去技術と比較して技術的に複雑であり、コストが高いことから、この技術が軌道に乗ることはなかった。2010 年代初期に気候変動に関する懸念が増すにつれ、燃焼前の炭素回収と両立可能性という点で、この技術が再び注目を浴びるようになった。それ以来、数件の新規事業が展開されている。

囲み 3.1 世界の IGCC プラント開発：失敗に終わった一連の実験

1990年代に一連のIGCCプロジェクトが提案され、欧米各地で建設された。IGCCの急増は石炭火力発電所の大气汚染に関する懸念により促進された。米国では、エネルギー省のクリーンコール計画の支援を得て、ウォバッシュ川プロジェクト、ポーク郡IGCC、パインIGCCの3基のIGCCプラントが建設された。3件のプロジェクト全部が運転面での課題を抱え、石炭ガス化の技術上、商業上の実行可能性を実証するという期待には応えられず失敗し⁴⁶、IGCCはほぼすべてが失敗に終わった実験と見なされた。



米国： エドワーズポート IGCC (2013)

デューク・エナジーは2006年に初めてエドワーズポートIGCCを計画し、618 MW規模のプラントで見積額20億ドル弱で始まったが、プラント竣工までに値札は35億ドルに膨張し、80%以上のコスト超過になっていた。運転段階にも問題は残った。エドワーズポートのプラントの運転状態は、在来の火力発電所で当然想定される安定で信頼できる状態とはほど遠いもので、典型的なガス火力発電所と比較して3倍以上の予定外の運転停止が発生し、米国で最も運転コストがかかるプラントの1つとなった。



中国： GreenGen IGCC (2011)

GreenGen IGCCは中国初の商業規模のIGCCプロジェクトである。2004年に最初にこのプロジェクトを立ち上げたのは中国華能集団である。ほぼ5年に及ぶ準備期間を経て、プロジェクトは2009年によく本格始動した。当初の事業計画は、

- 1 250 MW IGCC プラントの建設、
- 2 炭素回収の実証試験、
- 3 燃焼前炭素回収を導入した450 MW IGCC プラントの建設⁴⁷の3段階で構成された。

2011年に、GreenGenプロジェクト第1段階の運転が開始され、プロジェクトの第2段階を2016年に開始したが、最終段階であるCCS完全導入IGCCプラントの運転は、技術的・経済的課題により、結局完了せずに終わった。



韓国： 泰安 IGCC (2016)

韓国は知識経済部の後援を受け、2006年に独自のIGCC実験に着手した。数年間の研究開発を経て、2011年に韓国西部発電の既存の4 GW 泰安火力発電所内で300 MWの実証プラントが計画された。当時、韓国ではIGCCに対する関心が高まっており、想定された環境上の効果により、IGCCプラントは韓国で歓迎され、10年以内に15基の石炭ガス化プラントを建設し、10 GWを発電するという思い切った計画が立てられていた。しかし、2016年に実証プラントを開始すると、予算を大幅に超過し、効率と主張された環境効果の両面で期待を裏切る結果となった。この実証プラントの失敗により、韓国におけるIGCCプラントの期待は大幅に減退し、それ以降、新たな開発は進んでいない。



米国： ケンパー郡 IGCC (2017)

ケンパー郡IGCC是最悪のIGCC失敗例の1つとして知られる。この824 MWプロジェクトは、当初、約29億ドルのコストで2014年に開始を予定していた。しかし、ガス化装置システムの運転に関する問題により次々とコストが追加され、プラントの試運転が遅れ、2017年にはプラントの資本コストは75億ドルに達し、石炭ガス化を完全に放棄する決断が下された。現在、ここは天然ガス火力発電所に切り替えて稼働している。

46 パイン IGCC は安定生産を達成できず、3年間の立ち上げ期間中に運転された累積時間はわずか128時間であった。ポーク IGCC では5年間の実証期間後に供給原料を石油コークスに切り替え、ウォバッシュ川プロジェクトは運転初期の数年に信頼性をめぐる問題と取り組むという重い課題に直面した。

47 Phillips, Booras and Marasigan (2017)

発電における IGCC に関する日本の経験は、酸素吹き IGCC と空気吹き IGCC の 2 種類の異なる技術方向に分類できる。空気吹き IGCC は酸素吹き IGCC よりも 2～3% 高い熱効率を達成する。後者は空気分離設備を必要とし、そこで大量の補助電力が消費され、プラントはエネルギー面で大きな代償を払うことになる。勿来 IGCC プラントなどの既存の商用プラントは空気吹きモードで運転されている。

近年、費用対効果が良い燃焼前の炭素回収と両立可能性という観点で、空気吹き IGCC が注目を浴びるようになった。初期

調査により、下流での炭素回収に伴う高コストを根拠として、将来、燃焼前回収を導入した酸素吹き IGCC が商業的に魅力を持つようになるという予測が示された。すでに他の技術を放棄した日本政府は、日本で IGCC の技術開発を始動するために多額の立ち上げ資金を拠出した。空気吹き IGCC プラントの研究開発は 1983 年に最初に開始され、その後 1991 年から 1996 年に、主に政府補助金を資金としてパイロットプラント試験が実施された。日本の IGCC プロジェクトの詳細を以下にまとめる。

空気吹き：勿来 10 号機 IGCC 実証プラント

2007 年 9 月、日本は勿来発電所で空気吹き IGCC の実証試験を実施した。実証プラントの発電容量は 250 MW で、商用プラントのサイズの半分であった。この 5 年間の試験では商業的な成功が証明され、正味熱効率 42% を達成し、さまざまな運転上および環境上のパラメータに関して標準以上の性能を示した。実証プラントの成功により、2013 年から商用プラントとしての運転継続が可能になった。

空気吹き：勿来／広野 IGCC 発電所

実証から商用に進んだ勿来 IGCC プラントの成功後、実証プラントと同じ敷地内に 2x543 MW IGCC 施設が建設された。勿来 IGCC プラントは 2021 年 4 月 16 日に運転を開始した。この発電所は 600℃クラスの超々臨界圧発電方式 (USC) 石炭火力発電所よりも効率が 10～15% 高いと言われており、排出量の目標値は炭素 650 g/kWh である⁴⁸。

酸素吹き：多目的石炭ガス製造技術 (EAGLE) 事業

EAGLE 事業は電源開発株式会社 (J-Power) が NEDO と共に資金を拠出し、酸素吹き石炭ガス化技術を試験する初期研究計画として 2002 年に開始され、同年に IGCC の運転を中心とする実証試験が始まった。それ以降、2007～2013 年に CCS 関係の試験も実施された。

酸素吹き： 大崎クールジェンプロジェクト

EAGLE 事業に続き、実証試験の規模拡大事業として大崎クールジェンプロジェクトが構想され、これには CCS や水素経済創出を支える水素製造などの新たな要素も含まれた。大崎クールジェンプロジェクトは 166 MW 酸素吹き IGCC プラントの設計、施工、運転で構成され、3 段階で実施される。

- 第 1 段階 (2016～2018)：酸素吹き IGCC 商業化の実証試験
- 第 2 段階 (2019～2020)：CCS を導入した酸素吹き IGCC の実証試験
- 第 3 段階 (2021～2022)：石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGCC) 技術の実証試験

IGCCのコスト 波乱に富む過去

表 3.1 IGCC プラントの推定資本コスト

引用元	元論文での単位	元論文での金額	2021年のドル価値/kW	説明
Wang and Stiegel (2015)	\$/kW (2011年のドル価値)	3,339	3,910	
Wang and Stiegel (2015)	\$/kW (2011年のドル価値)	3,461	4,053	
Wang and Stiegel (2015)	\$/kW (2011年のドル価値)	3,820	4,474	
NREL (2019)	\$/kW (2017年のドル価値)	3,893	4,184	
Pichardo et al (2019)	\$/kW	5,999	6,182	
Pichardo et al (2019)	\$/kW	7,140	7,358	
Xia et al (2020)	\$/kW	2,133	2,292	
Xia et al (2020)	\$/kW (2017年のドル価値)	3,540	3,805	韓国の泰安 IGCC に基づく
Rosner et al (2020)	\$/kW	5,136	5,228	
Xia et al (2020)	\$/kW (2017年のドル価値)	5,663	6,086	
Kim (2021)	\$/kW (2017年のドル価値)	4,820	5,180	米国のエドワーズポート IGCC に基づく
Szima et al (2021)	€/kW	2,245	2,657	
Adnan et al (2021)	\$/kW (2011年のドル価値)	4,872	5,706	

引用元: TransitionZero および表中で引用した種々の文献⁴⁹

注: 論文でコスト推定の基準年を特に示していない場合は、コストは出版年の物価指数に従いスライドさせた。

資本コストの高さとは別に、コスト超過のリスクは IGCC プラントの商業化にとり重大である。IGCC プラントの技術的な複雑さにより、数々の有名な IGCC プラントにおいて、最終設計仕様が具体化するにつれ、修正の繰り返しやプラント設計のさらなる複雑化により、重大な予算超過に直面してきた。IGCC プラントの技術的な複雑さは主に、個々の「システム」とプロセスの組み込んだ事情、そして複数のシステムを確実に統合する必要性に起因する。

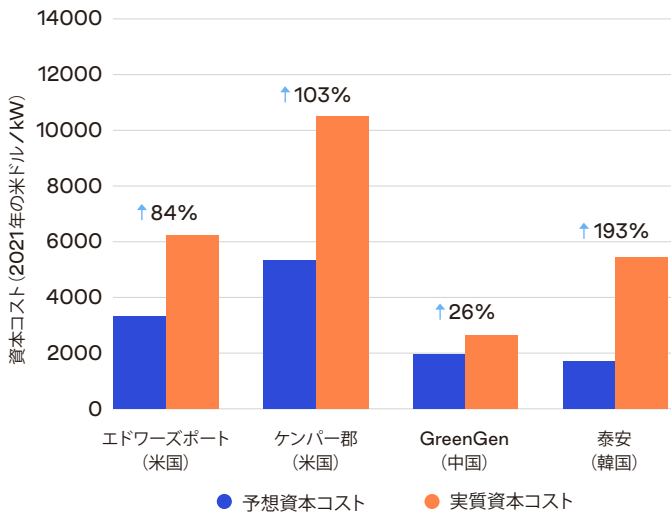
ガス化装置の性能と経済的実行可能性は、IGCC プラントの商業的成功の評価の基準であるが、ガス化装置は IGCC に関して周知のさまざまな失敗例の根本原因であり、IGCC プロジェクトの主な問題点となっている。ガス化装置は 1 つのシンプルな装置であるように書かれているが、基礎となる複数の設計パラメータにより、各ガス化装置は他に類のない独特のものである。選択する技術（固定床ガス化装置、流動床ガス化装置、循環流動床のいずれか）、石炭供給条件（スラリーフィードかドライフィー

ドか）、酸化剤（空気吹きか酸素吹きか）、その他多数の要因を設計時に検討する必要がある、各ガス化装置は個々のプラントに合わせてカスタマイズしなければならない。

加えて、複数のシステム間での統合の必要性により、IGCC プラントに伴う技術的課題がさらに増大する。より高い効率を達成し、滑らかなプラント運転を確保するには、主な 3 つのサブシステム間の高度な同期を必要とする。しかし、これほどのレベルの調整の達成は難題である。未解決であれば、設計上の欠陥により、プラントの保守作業の増加、利用可能性の低下、信頼性の低下につながることも考えられる。早期段階で IGCC プラントへの投資を評価するにあたり、そのようなリスクも考慮に入れるべきである。シンプルなプラグアンドプレイ方式のプロジェクト開発が可能なレベルにまで技術的に洗練された在来型石炭火力発電所と比較し、典型的な IGCC プラントは何度も技術設計をやり直す必要がある、さらにその後も、プラントの安定運転を達成するまでに、同期のためのリードタイムに直面する。

49 Xia et al (2020)、Szima et al (2021)、Wang and Stiegel (2016)、NREL (2019)、Kim (2021)、Rosner et al (2019)、Adnan et al (2021)、Pichardo et al (2019)

図 3.2 一部の IGCC プロジェクトに関するコスト超過



引用元: TransitionZero

注: ケンパー IGCC は、CCS との統合により資本コストが高い。GreenGen IGCC は既存の購入可能なガス化装置を輸入するのではなく、自社開発のガス化装置を使用することにより、資本コストの引き下げを達成したと主張しているため、その結果を反復することは難しい。GreenGen はサクセスストーリーとして宣伝されているが、中国はその後新規 IGCC プラントを建設しておらず、それはこの技術の人気がなくなったことを示唆するとも考えられる。

注目を浴びた一連の IGCC プラントが失敗に終わった主な要因の1つは、IGCC プラントの技術的な複雑さによるコスト超過である。ケンパー IGCC 以外にも、米国の FutureGen プロジェクト、オーストラリアの ZenGen プロジェクトなど、今や悪名高い数件のプロジェクトは、收拾不能な急騰するコストが原因で停止した。2000 年初期に米国で提案された 25 件の石炭ガス化プロジェクトのうち、完成までこぎつけたのは 2 件 (エドワーズポートとケンパー郡) に過ぎず、双方ともかなり高いコストを伴ったにもかかわらず (表 3.2)⁵⁰、最終的には炭素回収技術を取り入れなかった。高コストを原因とする問題、プロジェクトの大幅な長期リードタイム、技術的問題により、プロジェクトの大部分が停止された。韓国では、泰安 IGCC で明らかになった問題の後、野心的な規模拡大目標は勢いを失い、歴史が繰り返された結果となった。

2000 年初期に米国で提案された 25 件の石炭ガス化プロジェクトのうち、完成までこぎつけたのは 2 件に過ぎない

韓国ソウル市の大気汚染は石炭のせいだとよく言われる。しかし、日本では石炭火力発電所における排出基準が厳しいため、そのような問題はほとんどない。



表 3.2 一部のキャンセルされた IGCC プロジェクト

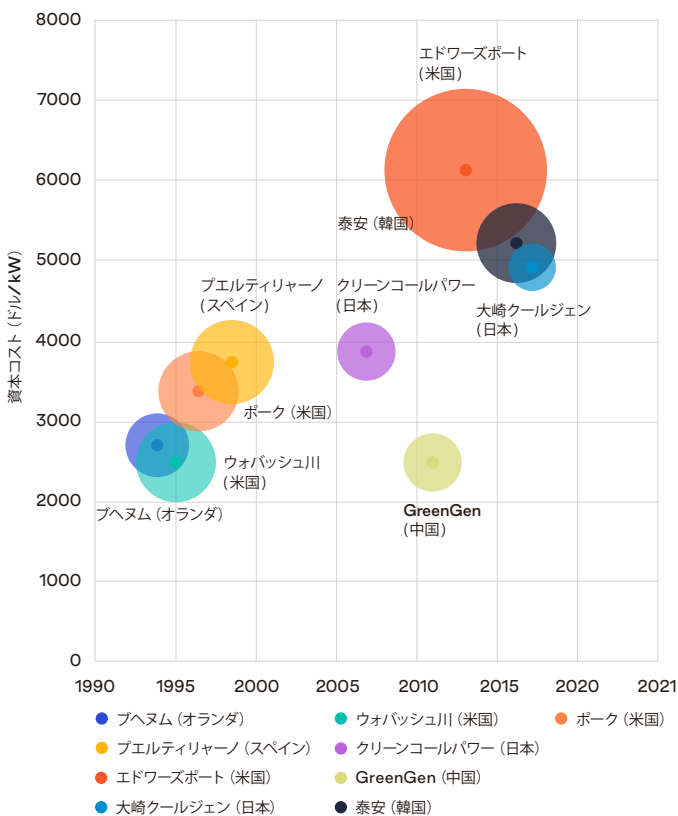
キャンセルされた IGCC プロジェクト	キャンセルされた年	国	サイズ (MW)	技術
アシュタブラ IGCC	2006	米国	830	IGCC
ポーク発電所 6 号機	2007	米国	630	IGCC
イリノイ州南部クリーンエネルギーセンター	2007	米国	600	IGCC
パシフィック・スウィートウォーター・プロジェクト	2007	米国	450	IGCC
スタントン・エネルギーセンター	2007	米国	285	IGCC
ニューエセス IGCC プラント	2007	米国	600	IGCC
ボウイー IGCC	2007	米国	600	IGCC
ハントレー発電所	2008	米国	680	IGCC
バッファロー・エネルギープロジェクト	2008	米国	1100	IGCC
フューチャージェン	2008	米国	200	IGCC/燃焼前回収
クイナナ発電所	2008	オーストラリア	500	IGCC/燃焼前回収
グレートベンド IGCC	2009	米国	629	IGCC
河北省 Chaohua IGCC	2010	中国	800	IGCC
ゴールデンベルグウェルク IGCC	2010	ドイツ	450	IGCC/燃焼前回収
メサバ・エネルギープロジェクト	2011	米国	603	IGCC
ZeroGen	2011	オーストラリア	500	IGCC/燃焼前回収
マグナム IGCC	2011	オランダ	1311	IGCC
マウンテニア IGCC	2011	米国	629	IGCC/燃焼前回収
テイラーヴィル・エネルギーセンター	2013	米国	770	IGCC/水素同時製造
Lianyungang IGCC	2014	中国	1300	IGCC/燃焼前回収
ティーズサイド IGCC	2015	英国	850	IGCC/燃焼前回収
テキサス・クリーンエネルギープロジェクト	2017	米国	400	IGCC/燃焼前回収
ノースキリングホルム IGCC	2017	英国	470	IGCC/燃焼前回収
リマエネルギー IGCC	2018	米国	600	IGCC

引用元: TransitionZero

LCOE の評価

今後の、IGCC の低コスト化の可能性は不透明である。既存のプロジェクトはわずか数基のみであり、本稿で IGCC プラントの低コスト化の可能性に関する確固たる分析を行うことは不可能である。しかし、商用 IGCC プラントの統合事業コストから推定すると、IGCC プラントの低コスト化の可能性は低いことが伺える(図 3.3)。それどころか、1990 年から 2020 年までの IGCC 資本コストに関する全体的傾向は上昇しているように見受けられる。技術上の複雑さ、また、各 IGCC プロジェクトのカスタマイズ性を考慮すると、この事実は納得がいく。

図 3.3 IGCC の資本コスト



引用元: TransitionZero

注: 円のサイズは IGCC プロジェクトの規模に対応する。ケンパー郡 IGCC は IGCC プラントとしてではなくガスプラントとしてのみ運転されるため、プロジェクト一覧から除外した。

加えて、過去の事業の資本コスト推定値から、数年にわたり事業規模が拡大するにつれ、設備容量単位あたりの資本コストは、低減するどころか増大するという別の傾向も見受けられる。これは将来的に IGCC プラントが大規模に配備される際、深刻な問題となる。既存 IGCC プラントのほとんどが 200 MW から 300 MW の間であり、通常の石炭およびガス火力発電所よりもかなり小規模である。これまで最大の IGCC は 618 MW のエドワーズポート IGCC プロジェクトであるが、このプロジェクトは設備容量の kW あたりのコストが最も高い IGCC プラントでもある⁵¹。前述のさまざまな個別システム間におけるシームレスな統合を確保する必要性により、IGCC の運転の規模拡大が困難になったとも考えられる。

失敗に終わったエドワーズポートおよびケンパー郡 IGCC プラントでの事例証拠から、学習曲線が横ばいである原因が明らかになる可能性がある。両プラントは既存のプロトタイプからの規模拡大を試みたものである。エドワーズポートはポーク郡 IGCC の 2 倍の規模拡大、ケンパーは米国の同等の実証プラントからの規模拡大である。両プロジェクトの目的は、以前のプロジェクト設計パラメータの再資源化を含め、以前のプロトタイプから学習経験を得ることであったが、どちらのプロジェクトでも設計上の重大な欠陥がすぐに明らかになり、当初の設計に対してかなりの修正を加える必要が発生し、建設段階でそれらの誤謬を正すために、コストがさらに追加された⁵²。エドワーズポートとケンパー郡の両 IGCC の開発者らが、この技術の複雑さを大幅に過小評価した結果、両プラントは設計通りの性能を達成することができなかった。それどころか、ケンパー郡 IGCC においては一度も石炭ガス化複合発電での運転に至らなかった。

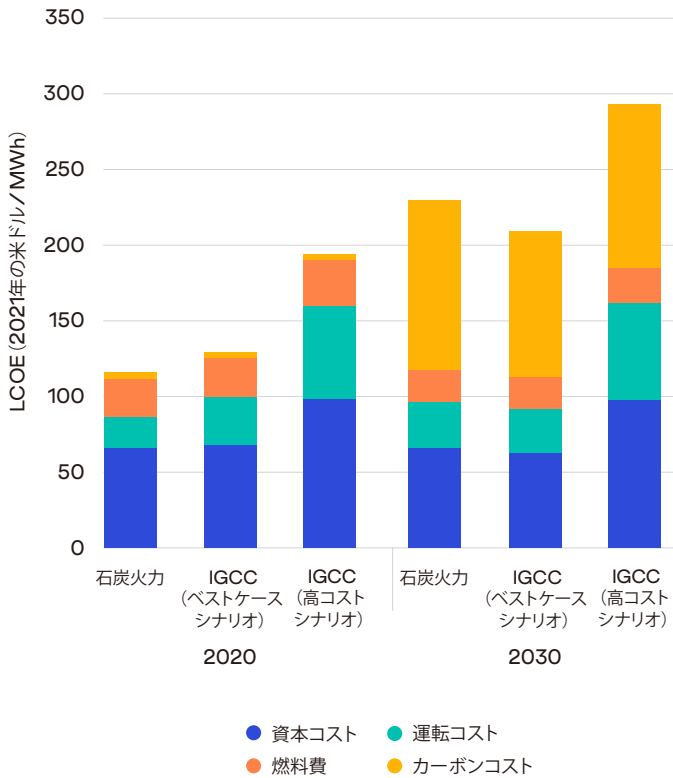
エドワーズポートとケンパー郡の IGCC に関する経験から明らかになったことは、IGCC プラントにおける異なるプロジェクト間では学習内容を共有できないという点である。その結果、技術の学習曲線は横ばいのまま、配備が進んでも、コスト低減のレベルは低い状態にとどまる。とはいえ、運転レベルでは、ある程度の学習とコスト低減を達成可能である。IEA クリーンコールセンターの調査によれば、既存の商用 IGCC から、特にプラント管理分野においては、いくつかの教訓を、運転中の節約に活かせる可能性がある⁵³。しかし、上記のケーススタディーでは、プロジェクト開発者と出資者はどちらも、IGCC プラントに関する学習曲線によるコスト節約を過大評価しないよう注意すべきであることが証明されている。

51 540 MW の勿来 IGCC プラントが、それに次ぐ規模の IGCC のプラントになる。TransitionZero は実質資本コストを確認できないため、勿来 IGCC のコスト推定値はこの分析には含まれないが、予備推定値では 1,500 億円 (13 億ドル) という見積もりが提示されている。

52 Xia et al (2020)

53 Barnes (2013)

図 3.4 IGCC 発電所に関するコスト内訳



引用元: TransitionZero

注: 炭素コストとは、日本における発電に伴う炭素コストを意味し、2020年に5ドル/tCO₂、2030年に130ドル/tCO₂である。2030年の推定炭素価格はIEAのNZEとほぼ一致する。

見落とされがちであるが、運転コストはIGCCプラントのLCOEの上下に重大な影響を与える。運転コストは、石炭火力発電所では17%であるのに対し、石炭ガス化プラントでは総LCOEの24～31%を占める。この運転コストの上昇は監視、特に故障しやすいガス化装置とタービンでの監視の必要性の増加における直接的な結果である。そうした装置の故障はプラントの運転中断につながり、プラントの利用可能性とプラントの財務利益を引き下げる。これらの問題と取り組むために、監視取締システムに対する多額の投資が必要になる。

ベストケースシナリオでコスト推定の最低値を想定した場合、IGCCプラントは在来石炭火力発電所よりも若干コスト高になる。しかし、このシナリオを実現するには、プロジェクト開発に関してほとんどエラーの余地がなく、全く誤謬のないプラント設計、設計・調達・建設(EPC)請負業者間の協力、プラントの存在期間を通じた円滑な運転が必要である。経験上、過去の貧弱な成績から、それが現実になる見込みは低い。

より現実的な高コストシナリオとして、既存プラントのコスト推定と一致する数値を想定すると、LCOEは190ドル/MWh以上という値に跳ね上がり、これは134ドル/MWhである日本の2021年現在の平均電気料金を上回る。ベストケースシナリオと比較し、設備費の増大およびEPC請負業者のリスク・プレミアムに加え、他の金融および関連費用により、資本コストの加算分の発生が見込まれる。現実的に見れば、日本のIGCCプラントのコストは、おそらくベストケースシナリオと高コストシナリオの間であろう。

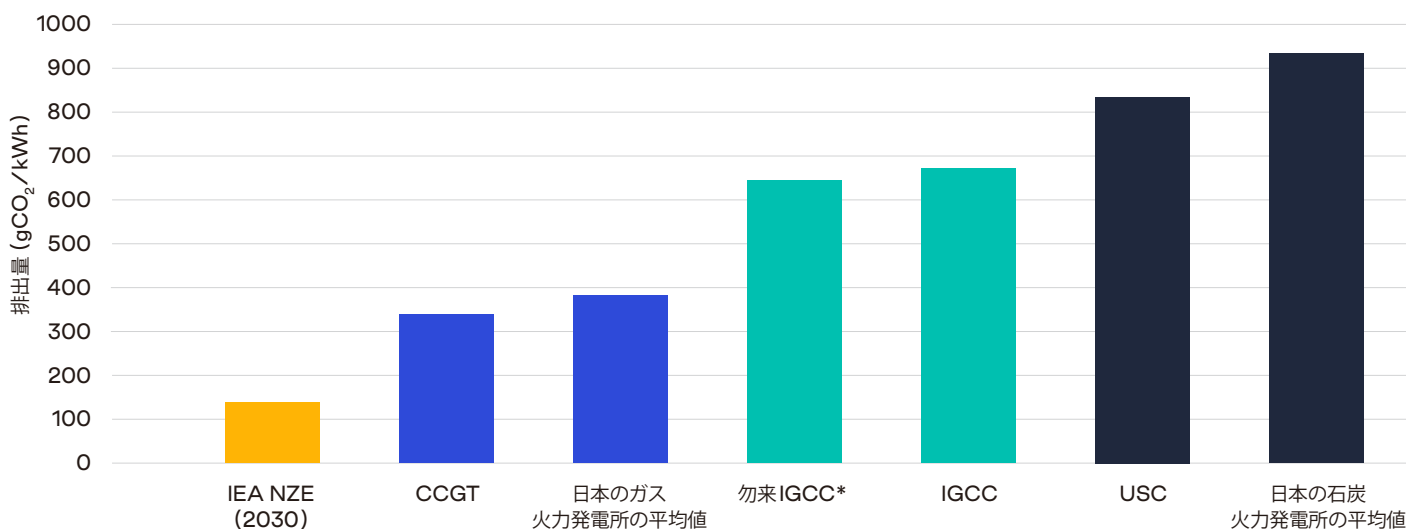
IGCC プラント建設 (サウジアラビア)



IGCC の二酸化炭素削減能力

IEA の NZE によれば、日本などの先進国では 2030 年までに、世界的には 2040 年までに、CCS 対策なしの石炭火力発電は段階的に全廃される。既存の文献では、IGCC プラントは約 670 g CO₂/kWh を排出すると報告され、これは超々臨界圧発電方式 (USC) 石炭火力発電所から 22% の低減を意味する。IGCC による排出量削減の潜在的可能性は、高い熱効率により石炭火力発電所での石炭消費量が減少することによる。

図 3.5 IGCC プラントの排出削減性能



引用元: TransitionZero

注: 勿来 IGCC については、勿来 IGCC プラントが達成したと主張する排出係数を意味し、それは通常の IGCC プラントの業界推定値よりも低い。今のところ、プラントは 2021 年 4 月に運転を開始したばかりであるため、これが本当に達成できたという確証はない。CCGT はガスタービン・コンバインドサイクル発電を意味する。USC は超々臨界圧発電方式石炭火力発電所の排出係数を意味する。USC 発電所は最高効率の石炭火力発電所と考えられている。

さらに重大な点として、既存の石炭火力発電所では IGCC 技術を導入することは不可能である。既存の石炭火力発電所を利用可能なアンモニア混焼とは異なり、既存の石炭火力発電所を IGCC に改修するには法外な費用がかかる。つまり、IGCC への追加投資は、日本における新設石炭火力発電所の設置に等しい。これは日本の全体的な気候関係の目標と矛盾し、日本をネットゼロの方向へもっていくために排出削減効果が皆無であるだけでなく、将来的には膨大な座礁資産になりかねない。座礁資産リスクが最も如実に示されるのは、2030 年の新設 IGCC プラントの発電コストを考えた場合である。炭素価格を IEA NZE に従う 130 ドル/tCO₂ と仮定すると、IGCC プラントの LCOE は 200 ~ 300 ドル/MWh (図 3.4) となり、これは日本の電気料金の 2 倍に近い。

低位発熱量 (LHV) 基準で 42% という平均 USC 熱効率に対し、IGCC は 46 ~ 50% の効率を達成できる⁵⁴。これは同じ発電量を得るために燃焼される石炭量が減少することを意味し、従って、単位発電量あたりの排出量が減少する。潜在的な排出量削減効果が見込まれるにもかかわらず、図 3.5 に詳しく示すように、IGCC プラントからの排出量はやはりガス火力発電所の倍近くにとどまり、IEA の NZE で構想するネットゼロに向けた経路からは大きくはずれることになる。このため、燃焼前 CCS を導入しない IGCC は電力部門の脱炭素化を目的とする選択肢のリストには入らない。

さらに懸念されるのが IGCC のライフサイクルの影響である。石炭ガス化の重要な利点の 1 つが、多様な石炭品位、特に低品位の褐炭と亜瀝青炭を利用する能力である。さらに、IGCC プラントにおいて灰の融点は低いため、低品位の石炭は IGCC プラントに適している。褐炭は一般に世界で最も汚染がひどくエネルギー効率が低い燃料と見なされている。さらに、褐炭に関しては、局所的大気汚染、鉱山付近の土壌品質問題、上流でのメタン漏洩をはじめ、その他の多数の環境的外部要因をめぐる懸念がある。近年、気候変動防止運動に広がり、最終利用者がよりクリーンな代替燃料を求めるようになり、この燃料の需要が低下している。しかし、電力部門で石炭ガス化が主流の地位を獲得した場合、この業界が再活性する可能性があり、有害な褐炭のバリューチェーン全体で炭素排出量が急増する恐れがある。この動きは世界的な気候変動防止運動に対する打撃になりえる。

54 酸素吹き IGCC の熱効率が 46% と推定されるのに対し、空気吹き IGCC は 48 ~ 50% の熱効率を達成できる。酸素吹き技術を利用した大崎クールジェン実証プラントで 42.5% (LHV) の効率が記録されたのに対し、空気吹き IGCC を採用した勿来 10 号機実証プラントでは 42% (LHV) の効率が達成された。これは USC 石炭火力発電所と比較して特に排出削減効果はないことを示唆する。これらの実証プラントでの効率低下は縮小された規模が原因だという説がある。実際、勿来 IGCC では、商用規模の酸素吹き IGCC は LHV 基準で 48% の効率を達成できたと主張している。

IGCC に関する他の課題

過去に石炭ガス化 IGCC プラントでは、安定した利用可能性を達成するために 3～5 年を要した。安定運転に達する前に、発電所のパラメータを同期させるための「デバッグ」期として、長期の立ち上げ期間が必要になる。2011 年の GreenGen プロジェクトの立ち上げ期間中、プロジェクトは安定性をめぐるさまざまな問題に直面し、プラント事業者は装置サプライヤーと協力して相当の微調整作業と取り組む必要に迫られた。この問題はプラントシステムの調整を繰り返した後に解決したが、最適条件に達するにはさらに 3 年を要した。後続の新しいプラントでは、この微調整期間を約 1～3 年に短縮することができたが、他の発電技術と比較すると、やはり長過ぎると考えられている。

立ち上げの遅さとは別に、IGCC プラントは信頼性の問題にも直面している。エドワーズポートでの運転問題は同プラント固有の問題ではなく、他のさまざまな IGCC プラントが信頼性に関する同様の問題を経験してきた。第二世代 IGCC プラントの 1 つ、ウォバッシュ川 IGCC はガス化装置をめぐる問題により何度も発電所の運転停止に直面し、オランダのブヘナム IGCC では、統合の問題が運転の重荷になっている。発電所が停止すると、発電の中断および修理と保守の高コストにより IGCC プロジェクトのコストが上昇するため、電気料金に直接影響する。

それぞれの IGCC プラントでの運転障害はそのプラント独特であるが、装置の故障はガス化装置とタービンの機構で何度も起きており、そういったいくつかの共通点も存在する。世界的にガス化装置の商業適用例は少なく、この技術はまだ大規模展開に必要な成熟度を達成していない。天然ガスと合成ガスの異なる燃焼特性により、ガスタービンメーカー側も、合成ガスタービンの安定した運転を確保するには至っていない。利用可能性を改善するために、一部のプラントは予備燃料として天然ガスを燃焼するか、または追加のガス化装置を設置している。これらの仕組みの追加は、IGCC のコストの一層の上昇という結果にしか至らない。新たなガス化装置または空気分離設備などの新たな設備の追加も、プラント自体のエネルギー消費量の上昇につながり、プラントの収益性をさらに低下させる。

結論

石炭ガス化 IGCC はすでに数十年前から存在しているにもかかわらず、証明済みの確実な成績例はいまだに存在していない。50 年の存在期間中に、IGCC 技術に対する関心は盛衰を繰り返しており、まず 1990 年代に汚染物質制御の可能性が、そして再び 2000 年代に排出削減の可能性が関心を浴びたが、石炭ガス化がメインストリームの注目を浴びたことは一度もない。これは本稿で注目するこの技術をめぐる技術上・経済上のさまざまな課題を象徴する点である。IGCC は新しい技術ではない。業界はすでに二度、この技術を諦めている。商業化の試験に二度も失敗している時代遅れの技術を後押しすることに日本が自信を持っているという事実は、まことに憂慮される。さらに、スタンドアロンの IGCC の排出に関する成績は、石炭火力発電所をわずかに上回るのみであり、気候問題に関する目標に有意義に貢献をする可能性は低い。他の発電施設と比較して特に明瞭な優位点があるわけではなく、IGCC は日本の電力部門で効果的に競争することはできない。その結果、風力や太陽光発電などのコスト競争力を持つゼロカーボン代替技術が存在する中で、IGCC プラントは時代遅れになる。



参考文献

IGCC

Adnan et al (2021). Thermo-economic evaluation of integrated gasification combined cycle co-generation system with carbon capture: a Pakistan's perspective. [文献入手先](#)

Barnes (2013). Recent operating experience and improvement of commercial IGCC. [文献入手先](#)

IEA (2012). Technology Roadmap – High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation. [文献入手先](#)

IEEFA (2017). Using coal gasification to generate electricity: a multibillion-dollar failure. [文献入手先](#)

Kim (2011) Overview of IGCC R&D project in Korea in Gasification Technologies

NREL (2019). 2019 Annual Technology Baseline: Electricity – coal. [文献入手先](#)

Phillips, Booras and Marasigan (2017). The history of integrated gasification combined-cycle power plants. [文献入手先](#)

Pichardo et al (2019). Technical Economic Analysis of an Intensified Integrated Gasification Combined Cycle. [文献入手先](#)

Power Magazine (2021). Japan Ushers in New Era for IGCC Coal Power. [文献入手先](#)

Rosner et al (2019). Thermo-economic analyses of IGCC Power plants employing warm gas carbon separation technology. [文献入手先](#)

Szima et al (2021). Techno-economic assessment of IGCC power plants using gas switching technology to minimize the energy penalty of carbon capture. [文献入手先](#)

Wang and Stiegel (2016). Integrated Gasification combined cycle (IGCC) technologies. [文献入手先](#)

Xia et al (2020); Prospect of near-zero-emission IGCC power plants to decarbonize coal-fired power generation in China: Implications from the GreenGen project. [文献入手先](#)



Jacqueline Tao
Jacqueline@transitionzero.org
transitionzero.org
+44(0)71234567

注意事項

本調査報告書（以下、「報告書」とします）では一般情報のみを提供します。報告書の内容は随時変更される場合があります。報告書に含まれる情報と意見は信頼性が高いと当団体が判断した情報源に基づくものであり、また、それらの情報源は一般に公開されており、報告書の所見を確認するために閲覧することができます。報告書の正確さ、完全性に関しては明示的か暗示的かを問わず、当団体はなんら表明も保証も行いません。本書に含まれる情報と関連するいかなる性質の賠償請求または損失に対しても（法律によって許容される範囲内で）、逸失利益または間接的もしくは結果的損害を含め、ただしそれらに限定せず、当団体は賠償責任を負いません。本書の編纂に使用した情報はパブリックドメインの複数の情報源および当団体のライセンサーから収集されています。情報の一部が当団体またはそのライセンサーに帰属する独占的な知的財産である場合があります。当団体は投資アドバイザーではなく、いかなる司法管轄区域内においても、特定の企業、有価証券、投資ファンド、その他の投資手段への投資を勧める表明を行いません。そのような投資または他の金融コミットメントに関し、本報告書に依拠した決定を下すことはおやめください。