

気候ネットワーク レポート

世界中で失敗が続く IGCC（石炭ガス化複合発電）

高コストで、大量の CO₂を排出

2016 年 11 月 14 日

[要 約]

- 石炭ガス化複合発電 (IGCC)は、「クリーンコール(Clean Coal)」と銘打って推進されているが、太陽光や風力などの再生可能エネルギーと比べると比較にならない大量の CO₂を排出する“汚い”発電方式である。
- IGCC 技術は、通常の石炭火力発電技術と比べ、35%ほど割高となる高コストの技術である。これに、二酸化炭素固定貯留技術(CCS)を備え付けるなら、更にコストはかさむ。アメリカにおける事例では、CCS を備えた IGCC 発電所の電力は、風力や商業規模の太陽光発電の電力の約 2 倍にも上っている。
- IGCC は新しい技術ではなく、しかも失敗を重ねてきた技術である。IGCC は、最初に 1990 年代に実験が始められたが、IGCC 発電所を建設する試みは、遅延、失敗に直面し、多大なコスト超過を招いてきた。
- IGCC は、大量生産に足る技術ではない。現在入手可能なデータによれば、世界中で運転中なのは 8 基であり、過去 5 年間に、少なくとも 18 基の計画が廃止、遅延、または延期されている。
- IGCC は、無駄な出費である。アメリカの例では、過去 10 年間で IGCC 事業に 200 億ドル(約 2 兆円)の投資が見込まれていたが、これまでに建設されたのは 1 基のみで、それも技術的な課題を抱え、遅延によりコスト超過に直面している。
- 国際社会は、パリ協定で気温上昇を 2℃未満～1.5℃の水準に抑制することに約束した。新規の石炭火力発電はこの目的と整合しないため、IGCC 技術は、仮に財政的に運転可能であったとしても、技術的に行き詰った技術になる。

IGCC とは何か？

石炭は世界の発電の 4 割を占めている¹。石炭産業は、化石燃料部門からの CO₂排出の 42%を占めており、大きな課題を抱えている²。国際社会はパリ協定で、産業革命前の水準から気温上昇を 2℃未満に抑制し、さらに 1.5℃に抑制するよう努力する国際目標に合意したところである。この目標を達成するためには、現在のまま世界の石炭を燃やし続けることは不可能である³。

世界の石炭産業は、“高効率、低排出(high efficiency, low emissions (HELE))”の石炭火力発電所をその解決策として推進している。世界石炭協会(The World Coal Association)は、HELE の技術を用いれば、従来型の石炭火力発電と比べると発電量あたりの排出量が抑制でき、政府は石炭を開発しながら同時に排出を削減できるという議論を展開している⁴。

IGCC は HELE 技術の一つであり、石炭をガス化し、生成ガスをタービンの動力として用い、発電する⁵。IGCC は、石炭を直接燃焼するよりも効率が良く、汚染もその分少ない⁶。国際的に標準的な石炭火力発電所の発電効率は約 38%だが、IGCC の場合は 45～50%まで向上する⁷。日本の産業界のデータによれば、IGCC 発電所は通常の石炭火力発電所よりも約 2 割の CO₂削減になる⁸。

しかし IGCC は欠点がある。

第 1 にコストが高い。米国情報庁の試算によれば、100 万 kW 級の IGCC 発電所の建設には 44 億ドル(約 4400 億円)がかかり、通常の石炭火力発電所よりも 35%ほど割高となる⁹。

第 2 に、IGCC 発電所は複雑で建設が困難であり、成功裡に運転できると証明することは簡単ではない。実際に新設された IGCC 発電所の多くは、技術的課題に直面している¹⁰。

第 3 に、IGCC 発電所はたとえ従来型よりも高効率だとはいえ、非常に汚い。石炭火力は天然ガスの約 2 倍、風力や太陽光などの再生可能エネルギー源と比べれば少なくとも 10 倍以上の CO₂を排出する¹¹。CO₂を通常の石炭と比べて約 2 割削減するという水準はこれらと比べるとささやかなものである。

IGCC と CO₂ 排出

新規の石炭火力はそれだけで、気候目標を達成する可能性を閉ざしてしまう。世界全体では、14 億 kW の新規の火力発電設備が現在計画なか認証手続中、または建設中である。もし全ての発電所が建設されれば、他の発電方式の排出をゼロにしたとしても、2°C 未満の達成は不可能となる¹²。これは、全ての新規石炭火力発電所が HELE の最高技術水準であったとしても、同じである。つまり、全てが IGCC 技術であっても、新規の建設が危険な気候変動の世界を招くことは変わらない。

CCS(二酸化炭素固定貯留)技術は、理論的には、CO₂排出を更に減らすことが出来る。IGCC は、通常発電所よりも容易に CCS 技術を備えることが出来る技術であるとされ、回収準備は整っていると言われる¹³。そして、もし全ての新規石炭火力発電所の計画が、最も高効率の HELE 技術を用い、かつ CCS も備えるなら、気温上昇は 2°C に抑制できる可能性がある¹⁴。しかし、これは全く非現実的なシナリオである。IGCC と CCS の組み合わせの発電所は特に高コストの事業であり、困難さが伴うからだ。最近行われた、オーストラリアにおける IGCC と CCS の組み合わせ事業の事前評価では、「商業規模における、CCS 付きの低排出の石炭火力発電所の事業は、今日、経済的ではない」と結論付けている¹⁵。アメリカでも、CCS 付きの IGCC は、陸上風力及び商業規模の太陽光発電からの発電コストの約 2 倍である¹⁶。

IGCC: 行き詰まる技術

IGCC は新しい技術ではない。1960 年代に開発され、IGCC を用いた石炭火力発電所の最初の実験は、20 年以上前の 1990 年代に行われている。その間 IGCC は、様々な政府や専門家に支持され、「石炭の最後のチャンス」¹⁷あるいは「クリーンコールの最後のよりどころ」¹⁸などと言われた。2000 年代には IGCC はイギリスで石炭火力における新たな波を起こすはずだった¹⁹ 2013 年時点で米国エネルギー庁長官は、IGCC 発電所について「おそらく 100 以上の事業が必要になるだろう」と言っていた。²⁰

このような熱狂にもかかわらず、建設された IGCC 発電所はわずかである²¹。CoalSwarm、米国情報庁、その他の入手可能な情報によれば、世界中で現在 8 基のみが運転中であり、1 基が商業運転をまもなく開始するところである²²。うち 3 基は 1990 年代に建設され、過去 10 年で運転開始したのは 4 基のみ(中国 2 基、アメリカ 1 基、日本 1 基)である²³。国際エネルギー機関(IEA)は、「多数の IGCC 事業が発表されたが、その進展に失敗した」と発表している²⁴。入手可能な情報に基づけば、少なくとも過去 5 年間に世界中で 18 基の IGCC 発電所の計画が廃止、遅延、延期されている²⁵。

現在世界には少なくとも 20 の事業が準備中であり、情報が限定される中国では更にあと 10 基ほどが追加されるかもしれない²⁶。しかし、これらの事業に投資が行われるかは不確かである²⁷。世界的には、ほぼ全ての IGCC 事業が、過剰なコストや遅延、実行可能性に対する疑念に直面している²⁸。

各地の事例

スペイン

スペインの The Elcogás Puertollano 発電所は 1997 年に運転開始した。発電所は、低品位炭を汚染排出の少ない電力源に転換できる能力を示すはずであり、当時の報道は、「クリーンコールへの技術的な賭け」と報じていた²⁹。30 万 kW の発電所は、従来型の石炭火力よりはまだ小さいものの³⁰、IGCC として当時最大規模であり、欧州委員会の資金供与も受けていた³¹。

運転開始から最初の 10 年間に、Elcogás 発電所は、多数の技術的な問題に直面し、設計に 6000 以上の修正が加えられた³²。2014 年 7 月には、1 億 9000 万ユーロ(約 250 億円)の負債を抱え、閉鎖許可を申請した³³。スペイン政府の救済パッケージ(Elcogás は環境に良いということを基礎にした提案)は、欧州委員会に却

下された。スペインの財産査定人もまた、競争力がないと判定した。発電所は 2016 年 1 月 31 日に閉鎖された。以来、スペイン政府が IGCC 石炭火力発電所を支援する計画はない³⁴。

アメリカ

アメリカは、IGCC 技術に対し世界の中でも最も高い期待を寄せていた国である。合計 2000 万 kW に上る多数の IGCC 発電所が 2000 年代初頭に提案されたが、そのほとんどは、計画段階止まりとなった。CoalSwarm によれば、2007～2009 年に、14 の IGCC 事業計画が廃止された³⁵。多くは、シェールガス産業の隆盛でガス価格が下落し、IGCC が価格競争力を失ったことを機にしている³⁶。現在、北アメリカで運転中の IGCC 発電所は 3 基だけで、うち 1 つは電力ではなく化学肥料の生産に転換される予定である³⁷。

インディアナ州にある世界初の商業規模の IGCC 発電所は、2013 年 6 月に運転を開始した。当初、20 億ドル(2000 億円)と見積もられていた建設費は、遅延等により 35 億ドル(3500 億円)に跳ね上がった。発電所は運転開始以来、激しい地元の反対を受け、技術的課題にも悩まされ続けている³⁸。

ミシシッピ州のケンパー郡にある、サザン・カンパニーの 58 万 kW の発電所は、現在建設中である。世界初の商業規模の CCS 付き IGCC として提案されたこの事業は、当初予算は 22 億ドル(約 2200 億円)だったが、現在 66.6 億ドル(6660 億円)にまで上昇し、最も高コストのエネルギー事業となっている³⁹。今年に入ってサザン・カンパニーは最近、政府の補助金へのアクセス権を守るために事業費を故意に隠していたことで告発されている⁴⁰。発電所は 2016 年 11 月に稼働する予定であるが、当初計画からは 3 年遅れている⁴¹。

テキサスのオデッサ近くに位置するテキサスグリーンエネルギー事業(TCEP)は、先の事例と同様に CCS 付きの IGCC が計画されているが、2014 年 6 月の運転開始見込みだったが、今もなお計画段階止まりである。事業費は当初の 19 億ドル(1900 億円)から 39 億ドル(3900 億円)へと倍増した。最近の米エネルギー省の報告によれば、本事業にアメリカの納税者が支払ったコストは 1160 万ドル(11.6 億円)である⁴²。

CCS 付きの IGCC の複雑な設計は、新規発電所が多くの技術的な問題に遭遇することを意味している。それがコストを向上させ、遅延を発生させ、ひいては投資家の関心を損ね、融資を得ることも困難になる⁴³。アメリカでは、過去十年余で、少なくとも 200 億ドル(約 2 兆円)の公的及び民間資金が IGCC 発電所で約束されたが⁴⁴、その結果はたった 1 基の発電所の建設に止まり、それも技術的な課題及び、遅延によるコスト超過に直面している。

中国

中国は、世界の石炭ガス化技術の最大の市場であり、化学薬品の製造、天然ガスの代替製品の製造、輸送用液体燃料の製造のために石炭ガス化技術を利用している。それらのガス化技術と比べると、政府の IGCC 技術に対する投資は限定的である。おそらく他の発電方式と比べ、発電方式としては高コストであることが考えられる⁴⁵。公表データによれば、中国では現在 2 基の IGCC 発電所がある。一つは“ポリジェネレーション”発電所で、化学薬品製造を中心にしたガス化プロセスに、小さな一部として発電も統合して行うものである⁴⁶。

“グリーンジェン”という名で知られる石炭火力発電所は(25 万 kW)は、中国で最初の大規模な IGCC 発電所である。この事業の 2 つの拡張計画は、発電所をさらに 80 万 kW 追加して拡大させ、CCS 技術も備えるというものである。最初の拡張は 2015 年に計画されたが、報道によれば 2020 年に延期された。超過コストは公表されていない⁴⁷。

地元の報告書では、中国では更に 10 基の IGCC 発電所計画があるとされる⁴⁸。しかし中国政府は最近、15 地域で石炭火力発電所の建設を延期しており、他の地域でも石炭火力発電の認証を削減している⁴⁹。今後、これらの発電所が何基建設されるのかは不確かだ。

IGCC の未来

IGCC 発電所が、今後 10 年で、石炭火力発電の国際的な成長の主要な役割を果たすことはないだろう。IGCC 技術よりも安価な超臨界圧(SC)石炭火力発電所は、2011～2014 年の間、いわゆる“クリーンコール”技術の設備の 5～6 割を占めているが、世界石炭協会は、IGCC 発電所よりも効率の悪い超臨界が今後も主流であり続けるだろうと見ている⁵⁰。しかし協会は、IGCC もまた 2015～2025 年に、特に中国とアメリカで大幅に増加するという見通しを示している。さらにアジアをクリーンコールの最大の市場と見ており、多くの専門家はアジアにおける計画が IGCC 発電技術の最後のチャンスだと見ている⁵¹。

韓国

韓国は、2035 年までに新規の再生可能エネルギーで 11%を占めることを目指しているが、2014 年の法律では IGCC はこの目標に算入され、風力や太陽光の再生可能エネルギーと並んで政府の支援を得ている⁵²。

韓国では、ソウルから約 100 マイル南西に、IGCC 発電所が建設中だが⁵³、2015 年 4 月、韓国の会見監査理事会は、発電所が当初期待されていた効率と排出削減を達成できないという警告を発表している⁵⁴。

これらの問題にもかかわらず、韓国では他にも 2 基の IGCC 発電所計画が進められている。2015 年 12 月、アメリカと韓国の会社は、セマングム工業研究地域に、新たに 100 万 kW の IGCC 技術の発電所を建設する方針を発表した。もし建設されれば、世界最大の IGCC 発電所となる。アメリカ側のパートナーは、アメリカ国内のケンパー郡で IGCC を所有するサザン・カンパニーであり、韓国でも同じ技術を用いることを提案している⁵⁵。

日本

日本は、G7 の先進国の中で唯一石炭火力発電設備を大幅に増加させる計画を持っている国である⁵⁶。2014 年に策定されたエネルギー基本計画では、2030 年までに電源構成の約 4 分の 1 を石炭でまかなう見通しを示している⁵⁷。

日本は、2030 年に 2013 年比で 26%の温室効果ガス排出削減を約束している。気候関係のシンクタンクであるクライメート・アクション・トラッカーは、この目標を「不適切」と評価し、世界の気温上昇を3-4℃上昇させるシナリオの水準であるとしている⁵⁸。ある分析によれば、排出削減目標を達成するためには、現在ある 48 基の新規の石炭火力発電所の新設の 1 基ごとに他の削減技術で対応しなければならないと指摘する⁵⁹。

エネルギー基本計画では、環境負荷を低減する手段として高効率の石炭火力発電を推進し、その中で政府は、IGCC 技術の利用を支持している⁶⁰。現在日本は、1 基の中型の IGCC 火力発電所を運転しており、3 基が建設中である⁶¹。25 万 kW の勿来発電所は、2007~12 年の実験運転を経て、2013 年 4 月より商業運転を開始した⁶²。最初の新規の事業は 2009 年に始まった大崎クールジェンプロジェクトである⁶³。この事業は政府の補助金を受けており、計画は 3 段階に分けられる。第1段階では酸素吹 IGCC 実証試験運転を開始すること、第2段階では、CO₂分離・回収装置を追設したIGCC実証試験をすること、第3段階では、燃料電池を組み合わせた CO₂分離・回収型IGFCの実証をすることである。現在、本格試運転が開始され、第1段階の最終段階にある。第 2、第 3 段階のスケジュールは公表されていない。他の 2 基の IGCC 事業は、福島に建設予定の三菱及び日立による事業である。これらの発電所は 2020 年からの運転開始が目指されており、福島復興支援事業として政府の支援を得ている。

日本政府が取りまとめた資料によれば、IGCC 発電所は 50%の発電効率で運転できるとされている⁶⁴。これらの計画の全コストは一般に公表されていないが、ある専門家によれば、IGCC 発電所は通常の石炭火力発電所と比べると 20%ほど割高であるという。IGCC の高コスト、新規建設や運転にかかる問題、商業開発までまだ初期段階にあること、コスト低減に関する経験値の欠如、などを考慮すれば、IGCC が、経済性を獲得することはなさそうである。

新規の石炭火力発電所の建設は、気候目標の達成もさらに困難にし、電力会社や企業が将来に不必要な資産を保有するリスクを生み出す。オックスフォード大学の研究によれば、大気中の CO₂ 排出許容量が 2℃目標の達成に対して厳格に設定されれば、日本の新規の石炭火力発電所の建設計画は、約 6 兆円の座礁資産リスクを生み出すという⁶⁵。さらに言えば、新規の火力発電所は不必要である。日本の電力需要は、経済成長の鈍化と省エネにより5年連続減少している⁶⁶。コンサルタント会社 IEEFA によれば、2016 年から 2020 年の間、日本の LNG と石炭の需要は年率2~3%の割合で減少していくのではないかと予測されている⁶⁷。

“座礁資産”としての IGCC 石炭火力発電所

本レポートで紹介した様々な事例は、CCS 付きの IGCC の普及拡大が全く現実的ではないことを指し示している。しかし、CCS を備えていない発電所も、将来性は不確かである。新規の石炭火力発電所は、少なくとも 25 年間は稼動することになる⁶⁸。IEA によれば、2℃の気温上昇を回避するということは、2015 年から 2040 年までの間に CCS の設備のない石炭火力発電の 90%を停止する必要がある⁶⁹。

今後脱炭素経済への転換のペースが速まり、気候目標が強化されれば、それらの発電所が、運転寿命を終える前に廃止に追い込まれるリスクが高まる。CCS 技術の備えのない石炭火力発電所は、たとえ“高効率”であっても「座礁資産」になる⁷⁰。CCS 付きの IGCC 発電所は、排出量は少ないが、それがサクセスストーリーとして待っているというシナリオは予想できそうにない。

【連絡先】

気候ネットワーク

京都事務所 〒604-8124 京都市中京区帯屋町 574 番地高倉ビル 305 号
TEL. 075-254-1011, FAX. 075-254-1012 E-mail. kyoto@kikonet.org

東京事務所 〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-7 一番町村上ビル 6F
TEL. 03-3263-9210, FAX. 03-3263-9463 E-mail. tokyo@kikonet.org

- 1 <http://www.worldcoal.org/coal/uses-coal/coal-electricity>
- 2 <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/15/hl-compact.htm>, http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/global_coal_risk_assessment.pdf
- 3 <http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7533/full/nature14016.html>,
http://climateactiontracker.org/assets/publications/briefing_papers/CAT_Coal_Gap_Briefing_COP21.pdf
- 4 <https://www.worldcoal.org/high-cost-divestment>
- 5 石炭ガス化は、産業用の化学製品製造や直接生成ガスの燃焼にも利用される。また石油も IGCC 発電所でガス化することもできる。本レポートでは、石炭を利用しガス発電をする目的の IGCC 発電所に焦点をあてる。
<http://www.worldcoal.org/reducing-CO2-emissions/gasification>, <http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc>
- 6 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHighEfficiencyLowEmissionsCoalFiredPowerGeneration_WEB_Updated_March2013.pdf, https://www.mhi-global.com/discover/earth/technology/gtcc_igcc.html
- 7 <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2016-incompatibility-of-hele-coal-w-2c-scenarios.pdf>,
http://www.iea.org/media/etp/etp2012_tech_overview_01_coal.pdf
- 8 <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-29/japan-s-coal-hunger-poses-costly-challenge-to-emissions-icp9aioh>,
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/003_03_00.pdf,
http://www.hitachi.com/rev/pdf/2013/r2013_01_105.pdf
- 9 2013 年の値 <http://www.eia.gov/forecasts/capitalcost/>
- 10 www.parliament.uk/briefing-papers/POST-PN-253.pdf
- 11 http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/public-benefits-of-renewable.html#.V0WKOpMrLBJ
- 12 <http://www.ecofys.com/en/publications/the-incompatibility-of-hele-coal-technology-with-2c-scenarios/>
- 13 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2_Capture_Ready_Plants.pdf
- 14 <http://www.ecofys.com/en/publications/the-incompatibility-of-hele-coal-technology-with-2c-scenarios/>
- 15 <http://www.uq.edu.au/energy/docs/ZeroGen.pdf>
- 16 https://www.lazard.com/media/1777/levelized_cost_of_energy_-_version_80.pdf
- 17 <http://www.power-technology.com/features/featureigcc-the-future-of-coal-power-4583854/>
- 18 <http://spectrum.ieee.org/energy/fossil-fuels/cleaner-coals-last-stand>
- 19 <https://www.cps.org.uk/files/reports/original/111026192029-cleancoal.pdf>, www.parliament.uk/briefing-papers/POST-PN-253.pdf
- 20 http://www.power-eng.com/blogs/power-points/2014/02/a_remarkable_proje.html
- 21 <http://www.iea-coal.org.uk/documents/83195/8792/Recent-operating-experience-and-improvement-of-commercial-IGCC.-CCC/222>
- 22 別添のエクセルシート参照。出典 <http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasification-plant-databases/china-gasification-database>
- 23 別添のエクセルシート参照
- 24 <http://www.iea-coal.org.uk/documents/83195/8792/Recent-operating-experience-and-improvement-of-commercial-IGCC.-CCC/222>
- 25 別添のエクセルシート参照
- 26 別添のエクセルシート参照
http://www.canon-igs.org/event/report/report_141115/141115_ryuu_presentation.pdf p.7
- 27 http://www.sourcewatch.org/index.php/Galilee_Power_project, <http://energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/OIG-SR-16-02.pdf>
- 28 <http://www.powermag.com/does-igcc-have-a-future/?printmode=1>
- 29 http://elpais.com/diario/1996/05/29/sociedad/833320826_850215.html, http://elpais.com/diario/1996/05/29/sociedad/833320829_850215.html
- 30 <http://www.elcogas.es/en/igcc-technology/desing-technology>
- 31 <http://www.elcogas.es/en/igcc-technology/further-developments/closed-projects>
- 32 https://www.usea.org/sites/default/files/082013_Recent%20operating%20experience%20and%20improvement%20of%20commercial%20IGCC_ccc222.pdf
- 33 http://www.eldiario.es/clm/Elcogas-fracaso-apuesta-renovables_0_478053006.html
- 34 <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/18/pdfs/BOE-A-2015-10073.pdf>, <https://www.boe.es/boe/dias/2015/11/13/pdfs/BOE-A-2015-12279.pdf>
- 35 [http://www.sourcewatch.org/index.php/Integrated_Gasification_Combined_Cycle_\(IGCC\)](http://www.sourcewatch.org/index.php/Integrated_Gasification_Combined_Cycle_(IGCC))
http://www.sourcewatch.org/index.php/Polk_Power_Station_Unit_6, http://www.sourcewatch.org/index.php/Buffalo_Energy_Project
http://www.sourcewatch.org/index.php/Bowie_IGCC_Power_Station
- 36 <http://www.iea-coal.org.uk/site/2010/news-section/news-items/southern-duke-push-us-coal-gasification-others-quit>
- 37 <http://www.stamfordadvocate.com/business/article/Stamford-firm-to-convert-clean-coal-plant-7677695.php>
- 38 <http://www.indystar.com/story/money/2015/06/13/problems-pile-edwardsport-power-plant/71042726/>, <http://www.powermag.com/edwardsport-igcc-project-start-marks-delayed-costly-milestone/>, <http://ieefa.org/dukes-edwardsport-igcc-still-dealing-with-technical-problems/>,
<http://ieefa.org/edwardsport-future-coal-fired-power-not-bright-future/>,
https://myweb.in.gov/IURC/eds/Modules/Ecms/Cases/Docketed_Cases/ViewDocument.aspx?DocID=0900b6318016d045
- 39 <http://www.bloomberg.com/news/articles/2014-04-14/coal-s-best-hope-rising-with-costliest-u-s-power-plant>, <http://www.powermag.com/kemper-county-igcc-costs-rise-and-delays-loom-again/>, <http://d1lge852tjqow.cloudfront.net/CIK-000092122/abe60225-48c6-4c94-8a41-4cbc056c55bb.pdf>

40 <http://www.nytimes.com/2016/07/05/science/kemper-coal-mississippi.html? r=0>

41 <http://www.powermag.com/kemper-county-igcc-costs-rise-and-delays-loom-again/>

42 <http://energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/OIG-SR-16-02.pdf>

43 <http://www.powermag.com/does-igcc-have-a-future/>

44 別添のエクセルシート参照

45 <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=00000003002001511>

46 <https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Feature%20Article%20Advancing%20Carbon%20Capture%20and%20Sequestration%20in%20China%20A%20Global%20Learning%20Laboratory.pdf> p.110

47 <http://www.powermag.com/does-igcc-have-a-future/?printmode=1>

48 http://www.canon-igs.org/event/report/report_141115/141115_ryuu_presentation.pdf

49 <http://energydesk.greenpeace.org/2016/04/13/china-continues-crackdown-new-coal-power-plants/>, <http://www.reuters.com/article/us-china-power-coal-idUSKCN0WQ0ZD>

50 <http://www.worldcoal.com/special-reports/13072015/Cleaning-up-the-coal-power-market-2551/>

51 <http://www.powermag.com/does-igcc-have-a-future/?printmode=1>

52 <http://english.motie.go.kr/?p=5444>, <http://www.innovasjon Norge.no/Documents/old/PageFiles/4014/Energy%20report%20NEA%20v3.pdf>

53 <http://www.gasification-syngas.org/uploads/downloads/2015-presentations/2015-9-2-Seungmin-Doosan.pdf>

54 <http://www.bai.go.kr/bai/groupreport/auditResults.do?mdex=bai225&rpstOrgCd=0000000340&audYr2=2014&audNo=137&dspRqSno=7&isSearch=1>

55 <http://www.prnewswire.com/news-releases/south-korean-company-signs-first-letter-of-intent-to-explore-deployment-of-kemper-technology-300195757.html>

56 https://www.e3g.org/docs/Japan_G7_Analysis_September_2015.pdf

57 http://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/pdf/4th_strategic_energy_plan.pdf

58 <http://climateactiontracker.org/countries/japan.html>

59 https://www.e3g.org/docs/Japan_G7_Analysis_September_2015.pdf

60 <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-29/japan-s-coal-hunger-poses-costly-challenge-to-emissions-icp9aioh>

61 http://sekitan.jp/plant-map/en/v2/table_en

62 http://www.joban-power.co.jp/nakoso_power_plant/igcc/

63 <http://www.osaki-coolgen.jp/>

64 <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-29/japan-s-coal-hunger-poses-costly-challenge-to-emissions-icp9aioh>

65 <http://www.smithschool.ox.ac.uk/research-programmes/stranded-assets/satc-japan.pdf>

66 <http://ieefa.org/wp-content/uploads/2016/03/Japan-Energy-Brief.pdf>

67 <http://ieefa.org/wp-content/uploads/2016/03/Japan-Energy-Brief.pdf>

68 <http://www.iea-coal.org.uk/documents/81405/5990/Life-extension-of-coal-fired-power-plants>

69 Ecofys による引用

70 <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2016-incompatibility-of-hele-coal-w-2c-scenarios.pdf> p.8

71 <http://www.carbontracker.org/report/unburnable-carbon-wasted-capital-and-stranded-assets/>