

ECOFYS

sustainable energy for everyone

高効率の石炭技術は
2°Cシナリオと矛盾する



高効率の石炭技術は2°Cシナリオと矛盾する

Lindee Wong, David de Jager and Pieter van Breevoort

2016年4月

プロジェクト番号 : ESMNL16513

© Ecofys 2016 : WWF ヨーロッパ政策オフィス (WWF EPO) より受託。日本語訳は WWF ジャパン監修によりエコネットワークス社。

【本文中で使用している単位について】

Gt : 1Gt (ギガトン) = 10 億トン / Mt : 1Mt (メガトン) = 100 万トン

GW:1GW (ギガワット) = 100 万 kW / TWh : 1TWh (テラワットアワー) = 10 億 kWh

要約

2015年12月、パリの国際会議で各国政府は、地球の平均気温上昇を産業革命前と比較して2℃より十分低く保つとともに、1.5℃未満に抑える努力を追求することを約束した。この約束を果たすには、世界は低炭素経済に移行する必要がある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の排出シナリオの評価によれば、これは**2050年までに世界の電力部門が脱炭素化する必要がある**ことを意味する。高効率低排出（HELE）石炭火力発電所の展開が、石炭産業と一部の政府により気候変動対策技術として提示されている。彼らは、もう一つの別の技術である炭素回収・貯留（CCS）と組み合わせれば、ゆくゆくは排出量ゼロ、さらには排出量がマイナスになるだろうと主張している。HELE 石炭火力発電技術を用いれば、現在運用されている石炭火力発電所では 1,000 gCO₂/kWh を超える排出量を、将来の最も高効率な石炭火力発電所では 670 gCO₂/kWh へと削減できる可能性があるが、これに対して天然ガス火力発電所は 350~490 gCO₂/kWh、風力および太陽光発電の直接排出量は 0 gCO₂/kWh である。

本報告書は、HELE 石炭火力発電が、気温上昇を 2℃未満に抑える目標と矛盾することを示している。世界のカーボン・バジェット（炭素予算）や温室効果ガス排出量を削減するために残された時間を考慮すれば、老朽化した石炭火力発電所をより高効率の新しい石炭火力発電所に建て替えたり、ましてや設備容量を増加させたりする余地などそもそもない。現在、設備容量 1,400 GW の石炭火力発電が計画されているが、これは気温上昇を 2℃に抑えることと矛盾する。もし仮に同計画容量をすべて HELE 石炭火力発電所にしたとしても、やはり 2℃目標は達成できない。

この結論は、IPCC の第 5 次評価報告書（AR5）で示されたシナリオと、国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギー展望（WEO）2015』のシナリオにおける石炭火力発電所の位置づけ、および、現在計画中・建設中の石炭火力発電所のデータを評価することで導き出された。

目次

1	はじめに	1
2	2°Cシナリオにおける HELE 石炭火力発電の位置づけ	4
2.1	2°Cシナリオが石炭火力の発電量および電力部門の排出量に対して意味するもの	4
2.2	IEA『WEO 2015』と IPCC 2°Cシナリオの比較	7
2.3	2°Cシナリオにおいて、石炭火力の容量追加計画が意味すること	11
3	結論	15

1 はじめに

長期的な地球の平均気温上昇を産業革命前と比較して 2℃より十分低く保つには、世界は 2050 年までに低炭素経済および完全に脱炭素化した電力部門へと移行する必要がある。2015 年 12 月にパリで開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）で、締約国は「気温上昇を産業革命以前に比べて 1.5℃に抑えることが、気候変動のリスクと影響を大きく低減するという認識のもと、努力を追求する」ことを約束し¹、2℃の目標が強化された。温室効果ガス緩和の解決策の一つとして提案されてきたのが、高効率低排出（HELE）石炭火力発電である。本報告書は、気温上昇を 2℃未満に抑える排出経路における HELE 石炭火力発電の位置づけを検討するものである。

高効率低排出（HELE）石炭火力発電とは、どのようなものか

HELE 石炭火力発電は、従来の亜臨界圧の石炭火力発電所²よりも変換効率³が高く、二酸化炭素（CO₂）排出原単位が低い発電所で発電するものを指す。このような特徴のため、エネルギー部門における CO₂ 排出量の緩和に向けた重要な手段の一つとして、石炭産業および一部政府は HELE 技術の開発と展開を促進している⁴。さまざまな変換効率および排出量レベルをもつ多様な HELE 発電技術があり、超臨界圧（SC）、超々臨界圧（USC）、先進超々臨界圧（A-USC）、石炭ガス化複合発電（IGCC）プラントとして知られている。これらのプラントのプラント効率、CO₂ 排出原単位、石炭消費量を表 1 に示す。

2011 年には新設石炭火力発電所の約 50%が HELE 技術、主に SC と USC の微粉炭燃焼ボイラーを使用していた⁵。現状で最高効率の HELE 技術は USC 石炭燃焼で、変換効率が 45%に達しているものもあり、排出原単位は 740 gCO₂/kWh である。A-USC 技術の展開が 2020 年代に始まると予想され、排出量は 670 gCO₂/kWh に下がる可能性がある。

¹ パリ協定 <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

² 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2012）『High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation Technology Roadmap（高効率低排出の石炭火力発電技術ロードマップ）』

³ 石炭火力発電所のエネルギー変換効率は、投入した燃料（すなわち石炭）のエネルギー含量（低位発熱量）に対する（正味の）有用エネルギー出力（すなわち電力）の比率である。

⁴ 出典：同上、World Coal Association（世界石炭協会）、『High efficiency low emission coal（高効率低排出の石炭）』
<https://www.worldcoal.org/reducing-co2-emissions/high-efficiency-low-emission-coal>

⁵ 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2012）『High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation Technology Roadmap（高効率低排出の石炭火力発電技術ロードマップ）』

表 1 石炭技術の変換効率、CO₂ 排出原単位、石炭消費量^{6,7}

技術	変換効率 ³	CO ₂ 排出原単位 (gCO ₂ /kWh)	石炭消費量 (g/kWh)
亜臨界圧	最大 38%	880 以上	380 以上
超臨界圧 (SC)	最大 42%	800~880	340~380
超々臨界圧 (USC)	最大 45%	740~800	320~340
A-USC/IGCC	45~50%	670~740	290~320

HELE 石炭技術に関して、留意すべき点がいくつかある。

- HELE 石炭技術の「高効率」と「低排出」とは、従来の亜臨界圧石炭火力発電所の特徴を基準にしている。他の技術はもっと効率が高く（例えば、天然ガス火力発電は最大 60%）、直接的な CO₂ 排出係数も低い（例えば、天然ガス火力発電は 350~490 gCO₂/kWh、風力および太陽光発電は 0 gCO₂/kWh）⁸。
- 表 1 に示した指標は、石炭火力発電所を一定かつ高い設備利用率で稼働したときに達成できる数字である。実際の市場では発電所の設備利用率がこれより低く、頻繁に出力を変動させなければならないため、これらのパフォーマンス指標は悪化する。将来の電力システムでは、変動型再生可能エネルギーによる電力のシェアが大きくなり、このような状況が顕著になるであろう。
- 表 1 に示した CO₂ 排出係数は、発電所レベルでの直接排出量を表す（幅は、投入される石炭の品質差による）。ライフサイクルでの排出量（採掘、加工、運搬など、石炭のバリューチェーン全体を通じた排出量を含む）は約 40~70 gCO₂/kWh 多くなる⁸。

炭素回収・貯留（CCS）付き石炭火力発電は、排出原単位のみならず変換効率も下げる

炭素回収・貯留（CCS）付き石炭火力発電も、温室効果ガス排出量を削減する可能性のある措置として別途提案されており、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）および国際エネルギー機関（IEA）の 2℃シナリオで極めて重大な役割を担っている。CCS は、CO₂ を工業・エネルギー関連の排出から分離し、貯留場所に輸送し、長期にわたり大気から隔離するプロセスである⁹。

⁶ 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2012）『High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation Technology Roadmap（高効率低排出の石炭火力発電技術ロードマップ）』。

⁷ CO₂ 排出原単位は石炭種によって異なる。凝青炭、亜凝青炭、褐炭の順に大きくなり、これが幅として表されている。

⁸ 出典：Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）（2014）『Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Annex III)（気候変動 2014：気候変動の緩和：IPCC 第 5 次評価報告書の第 3 作業部会報告書《付録 III》）』

⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）（2005 年）『IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage（二酸化炭素回収・貯留に関する IPCC 特別報告書）』

本報告書では、CCS 付き石炭火力発電所の排出原単位を約 100 gCO₂/kWh（控えめな見積もりと考えられる）¹⁰と仮定しているが、これは最も高効率な HELE 発電所の排出原単位の 20%に満たない値である。

しかし、CO₂回収プロセスではエネルギーを消費するため、HELE 石炭技術場合と同様、現実の排出係数はもっと高くなり、変換効率は低くなる。CCS のライフサイクル排出量は、文献で報告されている 95~150 gCO₂/kWh の幅よりも 70~110 gCO₂/kWh 多くなる¹¹。

本報告書は、2℃目標を達成する上で HELE 石炭火力発電の果たす役割を吟味する

本報告書ではまず、IPCC が検討した 2℃シナリオと、これらのシナリオが電力部門の排出量および石炭火力発電にとって何を意味するのかを示す。

次に、国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギー展望（WEO）2015』報告書のシナリオを分析する。この分析ではモデルの仮定に着目し、その結果と IPCC 2℃シナリオとの比較を行う。

最後に、実際の石炭火力の計画容量に対して、IPCC と IEA のシナリオを評価する。この部分の分析では、予測される排出量を検討した上で、それが 2℃未満に抑える排出曲線に沿っているかどうかを考察する。また、計画容量のすべてが HELE 発電所である、あるいは CCS 付き発電所である、という 2 つの異なる仮想事例も検討する。

¹⁰ IPCC は、新設の CCS 付き微粉炭火力発電所の排出原単位の幅を 92~145 gCO₂/kWh、代表値を 112 gCO₂/kWh とする一方、新設 IGCC プラントの排出原単位の幅を 65~152 gCO₂/kWh、代表値を 108 gCO₂/kWh としている。これらの代表値を考慮して、本研究では排出原単位を 100 gCO₂/kWh と仮定する。
出典：同上

¹¹ Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）（2014 年）『Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Annex III)（気候変動 2014：気候変動の緩和—IPCC 第 5 次評価報告書の第 3 作業部会報告書《付録 III》）』

2 2℃シナリオにおける HELE 石炭火力発電の位置づけ

2.1 2℃シナリオが石炭火力の発電量および電力部門の排出量に対して意味するもの

気温上昇を 2℃未満に抑えるため、電力部門は 2050 年までに脱炭素化する必要がある

地球の気温上昇を産業革命前と比較して 2℃より十分低く保つには、全部門の温室効果ガス排出量を今後数十年間で大幅に削減する必要がある。

図 1 は、IPCC の第 5 次評価報告書（AR5）のシナリオ（これらのシナリオの説明は Box 1 を参照）を示しており、電力部門の年間排出量を現在の水準（2013 年に 13.4 GtCO₂）¹²から 2050 年にはほぼゼロ¹³に削減しなければならないことを表している。このシナリオでは 2050 年以降、電力部門からの排出量をマイナスにする必要があるが、これは例えば炭素回収・貯留（CCS）付きバイオエネルギー（BECCS）により、あるいは再植林、空気回収、鉱物固定など電力部門以外で（さらに）炭素隔離を進めることにより、実現しうると考えられている。

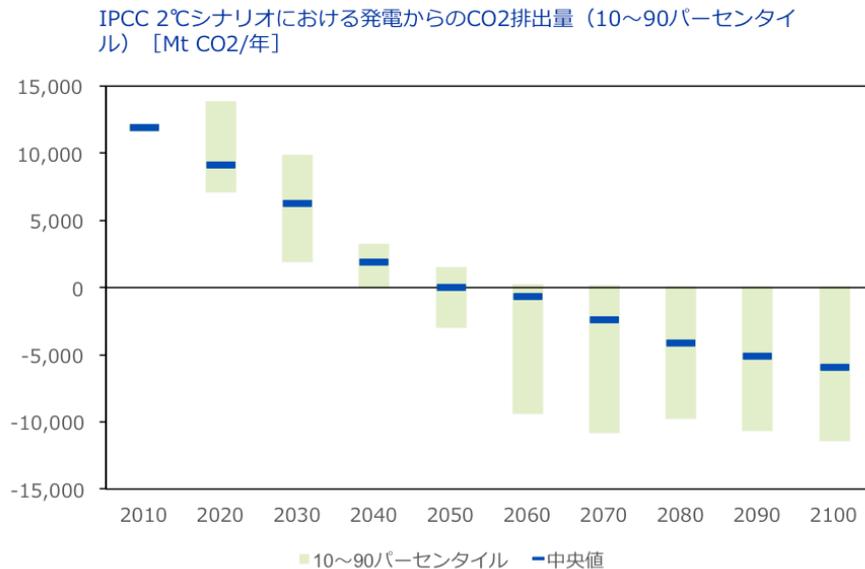


図 1 IPCC AR5 の 2℃シナリオにおける発電からの CO₂ 排出量。緑色の幅は 10～90 パーセンタイルを表し、青い線は中央値を示す¹³

¹² 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2015）『World Energy Outlook（世界エネルギー展望）』。

¹³ 出典：Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）（2014）『Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動 2014：気候変動の緩和。IPCC 第 5 次評価報告書の第 3 作業部会報告書）』。

Box 1 IPCC シナリオ¹³

IPCC は、今世紀末までの最大濃度が 430~480 ppmCO₂e となるような排出経路であれば、2100 年までの地球の気温上昇を 2℃未満に抑える確率は 66%となるという結論を出している。本研究では、この 430~480 ppmCO₂e という閾値が満たされている限り、450 ppm のシナリオは 2℃未満に抑える水準に沿うと仮定する。本研究で除外した排出シナリオは、次のいずれかに該当するものである。(1) 少なくとも 66%の確率で気温上昇を 2℃未満に抑えることができない。(2) 2010 年時点の世界排出量の中位推計から 5%以上逸脱する。(3) 今世紀末までに 20 GtCO₂/年という極端なマイナスの CO₂ 排出量を仮定している。(4) 緩和行動に「意図的な」遅れを伴う¹⁴。

これらのシナリオは、異なる研究チームのさまざまなソフトウェアを用いて計算されている。従って、排出量など数値の定量化では幅がある。本報告書では、中央値と 10~90 パーセントイルの幅（すなわち推定値の中央 80%をとらえたもの）を示す。

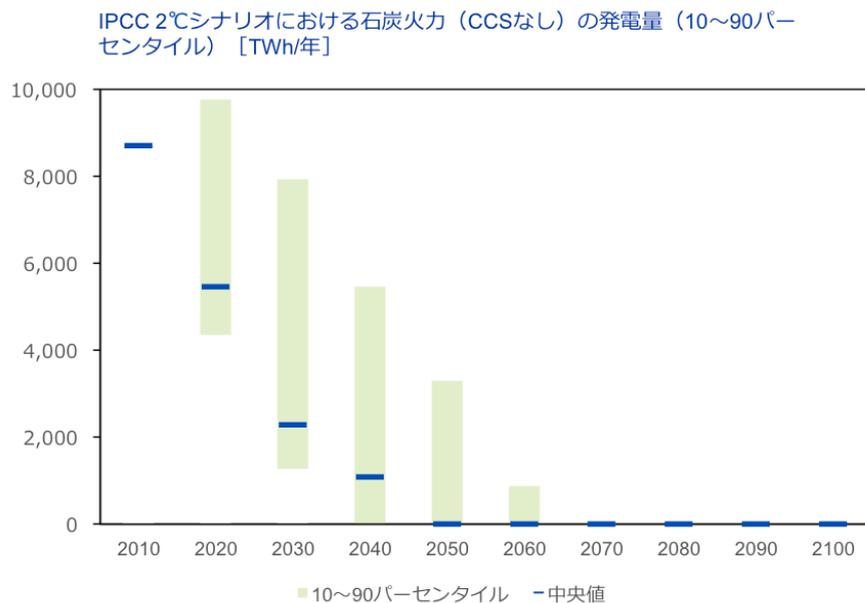


図 2 IPCC AR5 の示す 2℃シナリオにおける石炭火力（CCSなし）の発電量。緑色の幅は 10~90 パーセントイルを表し、青い線は中央値を示す¹³

¹⁴ 出典：Climate Action Tracker (2015) 『The Coal Gap: planned coal-fired power plants inconsistent with 2°C and threaten achievement of INDCs (石炭のギャップ：計画中の石炭火力発電所は 2℃目標に沿わず、INDC の達成を脅かす)』
http://climateactiontracker.org/assets/publications/briefing_papers/CAT_Coal_Gap_Briefing_COP21.pdf

削減対策なし（*訳注）の石炭火力は 2050 年までに段階的に廃止する必要がある

2050 年までに電力部門の脱炭素化を行う必要があることを考えれば、削減対策なしの石炭火力発電（すなわち CCS なし石炭火力発電）を大幅に削減する必要があるというのは驚くには当たらない。IPCC 2℃シナリオの中央値によると、削減対策なしの石炭火力発電は、2050 年までにほぼ完全に廃止する必要がある（図 2 参照）¹³。

図 3 は、1.5℃シナリオの場合¹⁵、2050 年までの削減対策なしの石炭火力発電の減少がさらに急速になることを示している。2℃シナリオより厳しい 1.5℃シナリオでは、削減対策なしの石炭火力発電をさらに早い時期に廃止することが求められる。1.5℃シナリオで削減対策なしの石炭火力発電を廃止する速度は、2010～2020 年の年率約 5%から、2030～2040 年には年率 8%へと増していく（2℃シナリオの場合はそれぞれ同時期に 4%から 5%へ）。1.5℃シナリオの場合も 2℃シナリオと同様、削減対策なしの石炭火力発電を 2050 年までにほぼすべて廃止する必要がある。

*訳注：本報告書では、CCS が実装されている発電所のことを「削減対策あり（abated）」発電所と呼び、CCS なしの発電所のことを「削減対策なし（unabated）」発電所と呼んでいる。

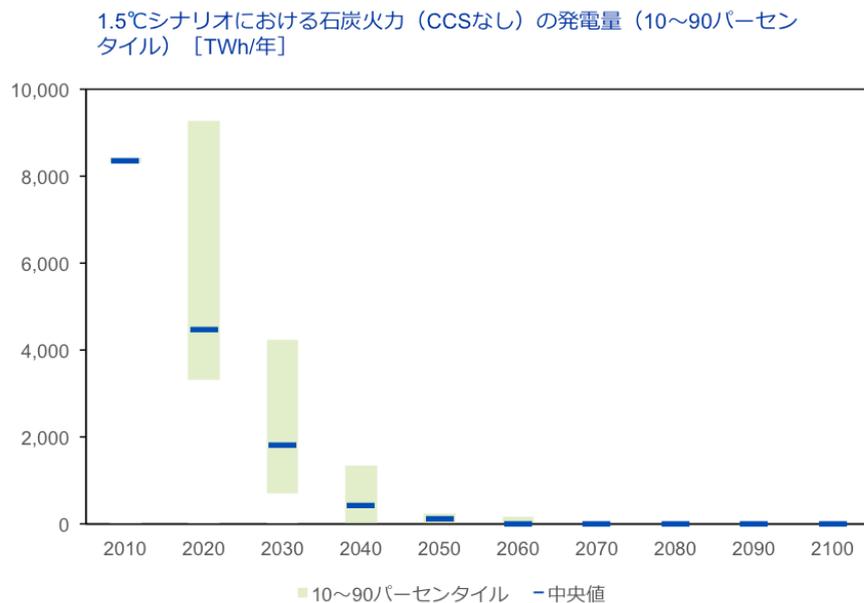


図 3 1.5℃シナリオにおける石炭火力（CCSなし）の発電量。緑色の幅は 10～90 パーセンタイルを表し、青い線は中央値を示す¹³

¹⁵ 出典：Rogelj, J., G. Luderer, R. C. Pietzcker, E. Kriegler, M. Schaeffer, V. Krey, K. Riahi (2015) "Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5°C (世紀末の気温上昇を 1.5℃未満に抑えるためのエネルギーシステムの転換)", *Nature Clim. Change* 5(6): 519-527.

2.2 IEA『WEO 2015』とIPCC 2℃シナリオの比較

IEAの450シナリオも、削減対策なしの石炭火力発電は急速に減らすべきことを示している

国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギー展望（WEO）2015』は、2040年までの3つのエネルギーシナリオを示している（Box 2 参照）。このうち、450シナリオ（450シナリオ）は、2℃の上限に沿うように作られたものである（Box 2 と Box 3 参照）。このシナリオの化石燃料によるCO₂排出量の合計は、2040年にIPCC2℃シナリオのパーセンタイルの幅を20%上回っている。

Box 2 WEO 2015 シナリオ¹⁶

450シナリオ（450シナリオ）では、50%の確率で長期的な地球の平均気温上昇を目標の2℃未満に抑えられるような、エネルギー起源の温室効果ガス排出曲線をもたらし一連の政策を仮定している。このシナリオでは、大気中の温室効果ガス濃度が今世紀半ば頃までに450 ppm（気温上昇を2℃未満に保つ許容閾値）を超える水準でピークを迎えるが、2℃目標を最終的に不可能にするほどの高さにはならない。温室効果ガスの濃度は2100年以降、450 ppm前後で安定する。このシナリオの仮定についてのさらなる詳細は、Box 3を参照のこと。

「**現行政策シナリオ（CPS）**」は、2015年半ばの時点で実施措置が公式に採用されている政策のみを考慮し、これらの政策が強化されずに持続すると仮定するもの。（以前は「基準シナリオ」と呼ばれたもの。）

「**新政策シナリオ（NPS）**」は、2015年半ばの時点で採用されている、エネルギー市場に影響を与える政策措置を含み、さらに、これまでに発表された他の関連するエネルギーや温室効果ガス削減施策を示唆するものも、厳密な実施措置がまだ完全に定められていない段階でも考慮に入れている。ここには、2015年10月1日までに提出された国別目標案（INDC；約束草案）のエネルギー関連の部分も含む。このシナリオでは、今世紀末までの地球の平均気温上昇が2.7～3.6℃となる¹⁷。

石炭に関して450シナリオは、**石炭火力発電からのCO₂排出量**を2013～2040年の間に84%削減し、年間1.5 GtCO₂にする必要があることを示している（図4参照）¹⁶。この排出曲線自体は、IPCC 2℃シナリオにおける2040年までの電力部門の中央値曲線に沿っている（図5参照）。しかしシナリオの重要な仮定の一つに、CCSの展開を支援する政策措置が整っているということがある。2040年には削減対策なしの石炭火力発電が約1,000 TWh（IPCC 2℃シナリオの中央値とほぼ同じ）へと減少する一方で、石炭火力の総発電量はそれよりはるかに多い4,100 TWhとなる。450シナリオでは、電力部門においてCCSが、中国で2020年頃から、インドでは2025年頃から展開され、日本の石炭火力発電にも導入され、米国とEUでは支援が拡大すると仮定している。その結果、石炭火力の総発電量の4分の3（3,100 TWh）がCCS付き発電所によるものとなっている。

WEOでは、450シナリオで仮定された高効率低排出（HELE）石炭火力発電所の数を明示していない。しかし、450シナリオではかなりのCCSが必要とされていることや、石炭火力発電所の排出原単位が低くなっていること（Box 3参照）を考えると、HELE石炭火力発電所の展開だけで気温上昇を2℃に抑えられないことは明らかである。

¹⁶ 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2015）『World Energy Outlook（世界エネルギー展望）』。

¹⁷ <http://climateactiontracker.org/>

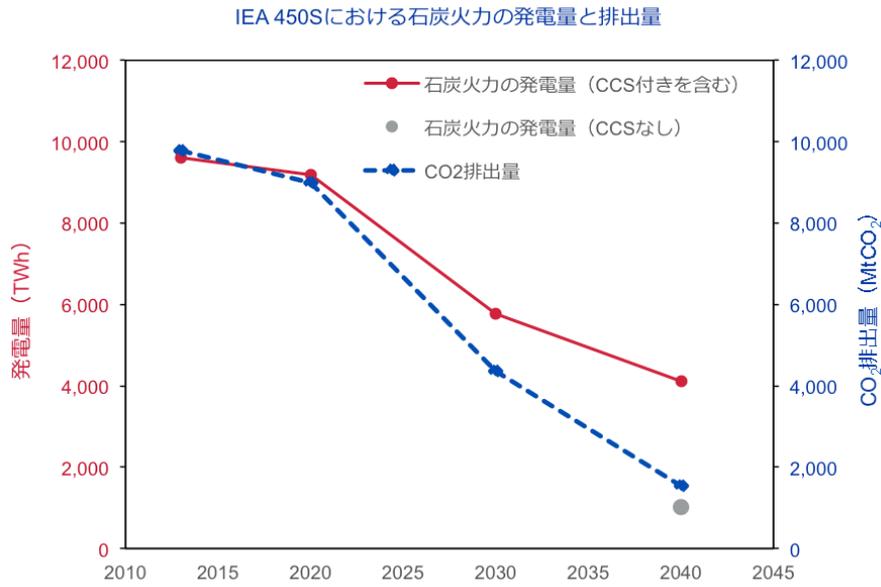


図 4 削減対策なしの石炭火力発電量（灰色の印）、CCS 付きを含めた石炭火力発電量（赤い線）、CCS 付き発電所を含めた IEA 450 シナリオ¹⁸における CO₂ 排出量（青い線）

¹⁸ 出典：International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2015）『World Energy Outlook（世界エネルギー展望）』、International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2016）私信。

Box 3 石炭火力発電に関する IEA 450 シナリオの仮定¹⁸

450 シナリオにおいては、石炭火力発電の設備容量は、2020～2040 年間に 2,000 GW から 1,250 GW へ減少する。WEO 報告書は、このシナリオで廃炉となった既存の発電所の数を明示しておらず、石炭火力の新設容量の仮定も明確にしていない。しかし、排出原単位の傾向から、稼働している石炭火力発電所の種類を推定することができる。排出原単位は、2020 年の 978 gCO₂/kWh から 2030 年には 756 gCO₂/kWh、2040 年には 374 gCO₂/kWh¹⁹へと減少している。この傾向を見ると、450 シナリオでは 2020 年にまだ亜臨界圧プラントがかなりの割合を占めていることがわかる。しかし 2030 年には、排出原単位が USC プラントに相当する値となっているため、亜臨界圧の割合は減っている（表 1 参照）。この原因は、実際に使われている CCS 付き発電所の増加や、HELE 発電所の展開にあるといえる。ここで示されている 2040 年の値まで、排出原単位が下がるのは、CCS 付き発電所が大規模に展開されること（新設および改修を含む）を示唆している。

450 シナリオにおいては、2020～2030 年の石炭火力発電所の変換効率率は 36% で一定であり、2040 年に 34% に下がる²⁰。この変化は、450 シナリオで CCS の割合が大きいことからくる可能性もある。CCS はエネルギーを消費するため、発電所の変換効率全体を下げるからである。それ以外にも IEA は、水ストレスのある地域での乾式冷却技術の利用や設備利用率の低下も、可能性のある原因の一部として触れている（WEO 2015 でははっきりとは言及されてはいない）。

450 シナリオにおいて、石炭火力発電所の設備利用率は、2020 年の 53% から 2030 年には 43%、2040 年には 37% に下がっている²¹。この低下の原因は、再生可能エネルギーの展開のほか、炭素の価格付けや CCS のコストにある可能性がある。このために石炭火力発電のコストが上がり、より排出量の少ない発電との競争力が失われる。

以上からまとめると、WEO に明記されたりそこから推論できたりする仮定は理にかなっており、450 シナリオの定義に沿っている。HELE の展開についてはほとんどが不明であるが、IEA の 450 シナリオで気温上昇を 2℃ に抑えるには、電力部門にとって HELE 技術よりも CCS 技術のほうが不可欠であることが明らかである。

IEA の現行政策シナリオ（CPS）と新政策シナリオ（NPS）は気温上昇を 2℃未満に抑える経路と一致しない

WEO 2015 の現行政策シナリオ（CPS）と新政策シナリオ（NPS）はいずれも、2℃の上限と矛盾する。これらのシナリオにおける石炭火力発電からの CO₂ 排出量は、2040 年には IPCC 2℃シナリオにおける全化石燃料による発電からの CO₂ 排出量の中央値より、少なくとも 8,000 MtCO₂/年多くなる（図 5 参照）。

¹⁹ 出典：IEA の WEO 2015 に記載されている石炭火力発電所の発電量および排出量データを基に独自に計算。

²⁰ 出典：IEA の WEO 2015 に記載されている石炭火力発電部門の発電量および TPED（一次エネルギー総需要）を基に独自に計算。

²¹ 出典：IEA の WEO 2015 に記載されている発電量および設備容量を基に独自に計算。

IPCC 2°Cシナリオにおける発電部門からのCO₂排出量とIEAシナリオにおけるCO₂排出量の比較 [MtCO₂/年]

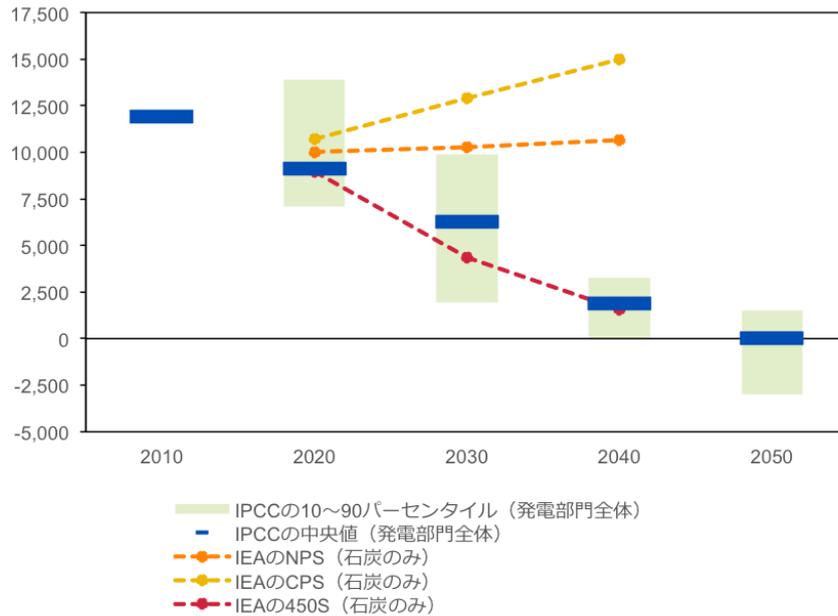


図 5 IPCC 2°Cシナリオにおける発電部門全体からの CO₂ 排出量と IEA シナリオにおける石炭火力発電からの CO₂ 排出量の比較 [MtCO₂/年]。いずれも CCS の展開を仮定している²²

現行政策シナリオおよび新政策シナリオにおける 2020～2040 年の石炭火力発電量も、IPCC 2°Cシナリオの幅を上回っている(図 6 参照)。この比較において一つ不整合が生じるのは、IPCC 2°Cシナリオが削減対策なしの発電量を検討している一方で、IEA シナリオは CCS 付きを含めていることによる。WEQ 2015 は、CCS 付き石炭火力の発電量を、2020～2040 年の全期間について明記していない。しかし、終点である 2040 年時点のデータを見ると、現行政策シナリオも新政策シナリオも 2°C目標と整合していないと結論付けることができる。

- WEQ では新政策シナリオについて、「2040 年には CCS 付き発電所の総発電量が約 470 TWh に達し、うち石炭火力発電所からが 90%を超える」(従って約 420 TWh)と述べている。
- 2040 年の現行政策シナリオおよび新政策シナリオの石炭火力の総発電量はそれぞれ 16,500 TWh と 11,900 TWh であり、IPCC 2°Cシナリオにおける削減対策なしの石炭火力発電量(中央値)と、それぞれ 15,500 TWh および 10,800 TWh の隔たりがある。

²² 出典：International Energy Agency (国際エネルギー機関) (2015) 『World Energy Outlook (世界エネルギー展望)』；International Energy Agency (国際エネルギー機関) (2016) 私信；Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル) (2014) 『Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動 2014：気候変動の緩和。IPCC 第 5 次評価報告書の第 3 作業部会報告書)』

- 従って、CCS 付き石炭火力発電を除外すると、現行政策シナリオも新政策シナリオも 2℃未満の経路と完全に矛盾することは明らかである。

IEAシナリオおよびIPCC 2℃シナリオにおける石炭火力発電量の比較
[TWh/年]

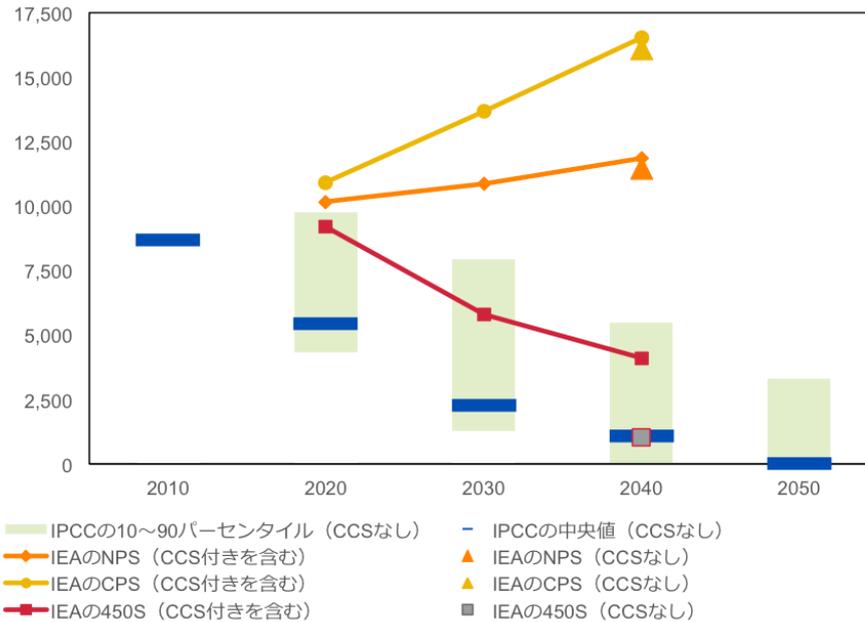


図 6 IEA シナリオおよび IPCC 2℃シナリオ (10~90 パーセントイル) における石炭火力発電量の比較。IPCC のデータは CCS なしである一方、IEA のデータは CCS 付きを含む場合と CCS なしの場合が示されている。IEA の新政策シナリオ (NPS) と現行政策シナリオ (CPS) については、CCS 付き石炭火力発電量の上限值 (420 TWh) を仮定して、CCS なしの発電量を計算している。

2.3 2℃シナリオにおいて、石炭火力の容量追加計画が意味すること

石炭火力の計画容量 1,400 GW は、気温上昇を 2℃に抑えることと矛盾する

Global Coal Plant Tracker (世界石炭火力発電所トラッカー) によると、世界では 1,400 GW の石炭火力の新設容量が計画中で、設備容量を追加するものもあれば、老朽化した発電所を建て替えるものもある²³。この総計のうち 350 GW はすでに建設中であるが、1,050 GW は他の段階 (計画中、許可申請中、許可済み) にある。これ

²³ 出典 : Global Plant Tracker (世界石炭火力発電所トラッカー) (2016) 『Proposed Coal Plants by Country (MW) - January 2016 (提案されている石炭火力発電所《国別》《MW》——2016年1月)』 <http://endcoal.org/wp-content/uploads/2016/01/Global-Coal-Plant-Tracker-December-2015-Countries-MW.pdf>

らの計画中の石炭火力発電所がすべて **2030** 年までに稼働すると仮定すると²⁴、それ以降は 2℃未満の排出経路にとどまることは不可能となるであろう。また、計画中の石炭火力発電所の年間 CO₂ 排出量 (6,100 MtCO₂^{25,26}) は、IPCC 2℃シナリオで許される全電力部門 (すなわち全化石燃料) の年間排出量の中央値 (2030 年に 6,300 MtCO₂/年、図 7 参照) をわずかに下回るのみであろう。つまり、石炭火力の計画容量を稼働させながら気温上昇を 2℃に抑える経路にとどまるには、既存の石炭火力発電所をほぼすべて廃止したうえで、削減対策なしの天然ガス火力発電は 2030 年にはほとんど許可されないことになる。

この石炭火力の設備容量 1400 GW を、IPCC 2℃シナリオの経路における石炭火力発電量の中央値 2,300 TWh (図 2 参照) と照らし合わせてみると、設備利用率はわずか 20%にしかなりえない (全負荷相当運転時間 1,600 時間) ことが結論づけられる。このようなシナリオは、コスト効率性の面からも低炭素化の途上で石炭から天然ガスへ燃料転換が予測されることから、極めて非現実的である。したがって、このことは、2030 年までの石炭火力の新設計画容量が 2℃未満の経路と矛盾することを示している。

2040 年までには、この状況がさらに顕著になる。計画中の石炭火力発電による排出量は、IPCC 2℃シナリオで全電力部門に許される全排出量を上回る (図 7 参照)。これは 2040 年以降、石炭火力の計画容量が、2℃未満の経路と一致しない可能性が極めて高いことを示している。

さらに、この石炭火力の計画容量は、IEA 450 シナリオに照らし合わせてみると、2040 年までに気温上昇を 2℃未満に抑える経路で許される世界全体の石炭火力の設備容量 (CCS 付き発電所を含む) より大きい。2℃未満の道筋にとどまるには、計画容量を石炭火力発電所の技術的な寿命である 50 年よりはるかに前に急速に廃止するか²⁷、できる限りすべての発電所を CCS 付きに改修する必要がある (このシナリオについては後で詳細に論じる)。あるいは、追加的な排出量を回収するために、BECCS を広範に展開する必要があるであろう。これらの対策は非常にコストがかかるため、財政的に成立するためには高い炭素価格が必要となると考えられる。したがって、石炭火力の計画容量は 2℃未満の経路と一致しないという結論が再確認できる。

もし仮に計画容量のすべてが HELE 石炭火力発電所だったとしても、やはり 2℃目標は達成できないであろう

計画容量の平均排出係数 (830 gCO₂/kWh)²⁸ は、これらの発電所すべてが HELE 石炭火力発電ではないことを示している。もし、計画容量すべてが排出原単位 670 gCO₂/kWh の (最も効率の高い) A-USC プラントであるという仮想ケースを用いたとしても、この計画容量から生じる排出量は 5,000 MtCO₂ になるであろう。これでもやはり、**IPCC 2℃シナリオ**における 2030 年の電力部門 (全化石燃料) 年間排出量の中央値の 80%にのぼる (図 7 参照)。

²⁴ 石炭火力発電所の典型的な工期は 5 年間⁸、準備期間 5~10 年間であるため、これは現実的な仮定である。

²⁵ 出典：Global Plant Tracker (世界石炭火力発電所トラッカー) (2015) 『Proposed Coal Plants by Country: Annual CO₂ in Million Tonnes (December 2015) (提案されている石炭火力発電所《国別》：年間 CO₂ 排出量《百万トン》《2015 年 12 月》)』 <http://endcoal.org/wp-content/uploads/2016/01/Global-Coal-Plant-Tracker-December-2015-Countries-Annual-CO2.pdf>

²⁶ 実際には計画容量すべてが建設されるわけではない可能性が高い。Shearer ら (2015) の研究によると、環境問題や再生可能エネルギーとの競争などにより、石炭火力発電所の計画が中止される件数が増えていることがわかっている。出典：Shearer C., N. Ghio, L. Myllyvirta, T. Nace (2015) 「Boom and bust - Tracking the Global Coal Plant Pipeline (活況と不況——世界で進行中の石炭火力発電所の追跡)」 <http://endcoal.org/wp-content/uploads/2015/05/BoomBustMarch16embargoV8.pdf>

²⁷ 出典：International Energy Agency (国際エネルギー機関) (2015) 『World Energy Outlook (世界エネルギー展望)』

²⁸ 出典：Global Coal Plant Tracker (世界石炭火力発電所トラッカー) で仮定された設備利用率 59%を基に独自に計算。

2040年以降においては、この排出量水準は、電力部門の排出量の10～90パーセントの幅を上回り続けることになる。したがって、先の議論を再びなぞり、もし仮にすべての発電所がHELEの最高効率の特性を備えたとしても、この石炭火力の計画容量を前提とすれば、気温上昇を2℃に抑えることは不可能である。

図7では、IEAシナリオにおいて、HELE発電所が削減対策なしの石炭火力発電量の予測にどのような影響を与えるかも検討している。2030年にも削減対策なしの石炭火力がすべてA-USCプラントで発電されても、現行政策シナリオと新政策シナリオでこれにより生じる排出量は、IPCC 2℃シナリオで許される全化石燃料による電力部門の排出量レベルの中央値を上回る。2040年には、現行政策シナリオと新政策シナリオの排出量レベルは、IPCC 2℃シナリオにおける電力部門の排出量レベルの中央値の少なくとも3倍高くなる。

削減対策なしのHELE石炭火力発電所からのCO₂排出量と、IPCC 2℃シナリオにおける発電部門全体からのCO₂排出量の比較 [MtCO₂/年]

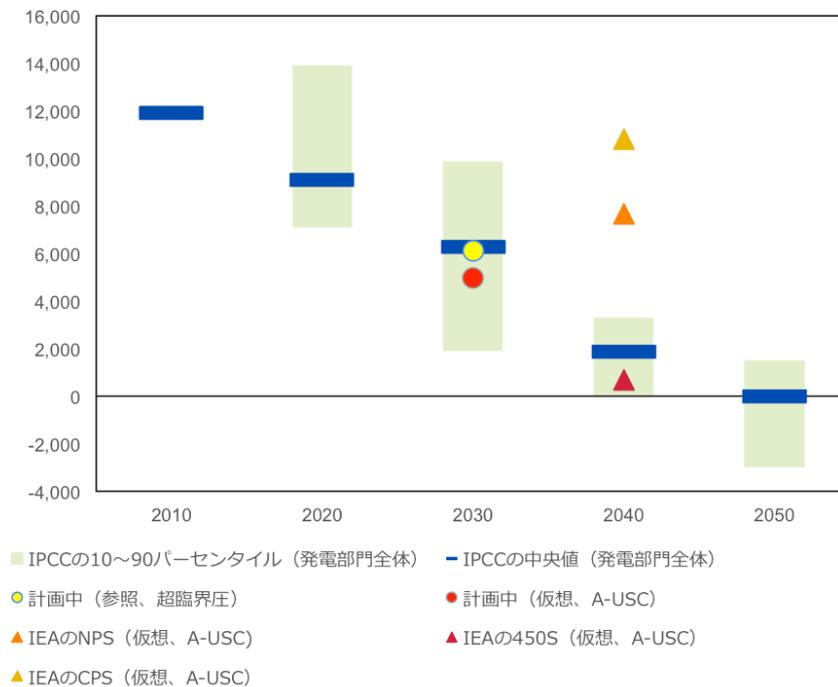


図7 削減対策なし（CCSなし）のHELE石炭火力発電所からのCO₂排出量と、IPCC 2℃シナリオにおける発電部門全体からのCO₂排出量の比較。「計画」は、Global Coal Plant Tracker（世界石炭火力発電所トラッカー）で確認されている1400GWを指す。IEAの新政策シナリオ（NPS）、現行政策シナリオ（CPS）、450シナリオは、IEAのWEO 2015の3つのシナリオを指す（Box 2参照）。「参照、超臨界圧」については、全追加容量が従来通りの超臨界圧（SC）プラントであると仮定する。「仮想、A-USC」は、全新設容量が先進超々臨界圧（A-USC）技術を用いると仮定する²⁹。

²⁹ 出典：独自の計算；Global Coal Plant Tracker（世界石炭火力発電所トラッカー）（2016）『Proposed Coal Plants by Country (MW) – January 2016（提案されている石炭火力発電所（国別）《MW》——2016年1月）』 <http://endcoal.org/wp-content/uploads/2016/01/Global-Coal-Plant-Tracker-December-2015-Countries-MW.pdf>、International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2015）『World Energy Outlook（世界エネルギー展望）』、International Energy Agency（国際エネルギー機関）（2016）私信、Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間

もし仮に計画容量のすべてが CCS 付きであったとしても、2℃目標が達成される保証はない

計画容量を全て CCS 付きにすれば、2050 年まで気温上昇を 2℃未満に抑える経路に沿うことが、理論上は可能になる。CCS 付き発電所からの排出量は 740 MtCO₂/年となり³⁰、気温上昇を 2℃に抑えるのに必要な 2050 年までの排出曲線に内側に収まる（図 7 参照）。このシナリオでは、石炭火力発電所からの 5,400 MtCO₂ が、毎年回収・貯留されることになる。しかし、現在稼働中の大規模 CCS 発電所は 1 カ所しかなく、回収量が最大 1 MtCO₂/年であることや³¹、コストが比較的高いため他の低炭素技術と深刻な競争にさらされていること、さらに電力市場のダイナミクスの変化や、貯留場所および関連インフラの開発、規制面・社会面の課題といった要素を考えると、このような CCS の大規模展開が 2030 年までに（15 年以内で）起きる可能性は極めて低い。

2050 年以降、電力部門ではマイナスの排出量が求められる（図 1 参照）。CCS 付き石炭火力の設備容量 1,400 GW がそもそもこの長期的なマイナスの排出経路に沿うかどうかは疑わしい。

パネル）（2014）『Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動 2014：気候変動の緩和。IPCC 第 5 次評価報告書の第 3 作業部会報告書）』

³⁰ 排出係数を 100 g/kWh と仮定。

³¹ 出典：Global CCS Institute（グローバル CCS インスティテュート）、『Large Scale CCS Projects（大規模 CCS プロジェクト）』
<http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>。

3 結論

長期的な地球の平均気温上昇を産業革命前と比較して 2℃より十分低く保ち、さらには 1.5℃に抑えるには、世界は低炭素経済に移行する必要がある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による排出シナリオの評価は、このために **2050 年までに電力部門が脱炭素化する必要がある**ことを示している。石炭産業および一部政府は高効率低排出（HELE）石炭火力発電の展開を、炭素回収・貯留（CCS）という別の技術も導入することで、ゆくゆくは排出量ゼロ、さらには排出量をマイナスにする気候変動対策技術として提示している。HELE 発電技術には、超臨界圧（SC）、超々臨界圧（USC）、先進超々臨界圧（A-USC）、石炭ガス化複合発電（IGCC）プラントがある。個々の排出量は、現在の（旧式）発電所の 1,000 gCO₂/kWh を超える値から、新技術を備えた将来の発電所では 670 gCO₂/kWh へと下がる可能性があるが、比較としていえば天然ガス火力発電所は 350~490 gCO₂/kWh、風力および太陽光発電の直接排出量は 0 gCO₂/kWh である。

本報告書は、HELE 石炭火力発電の位置づけを検討した結果、2℃未満の経路と矛盾するという結論に至った。世界のカーボン・バジェット（炭素予算）や、温室効果ガス排出量を削減するために残された時間を考慮すれば、老朽化した石炭火力発電所をもっと高効率の新しい石炭火力発電所に建て替えたり、ましてや設備容量を増加させたりする余地などそもそもない。そもそもの排出量が依然多すぎて、脱炭素化の経路になじまない。

この結論は、IPCC の第 5 次評価報告書（AR5）に示されたシナリオと、国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギー展望（WEO）2015』のシナリオにおける石炭火力発電所の位置づけ、そして、現在計画・建設中の石炭火力発電所のデータを評価して導き出された。

IEA の 450 シナリオ（450 シナリオ）は、IPCC 2℃シナリオと同様、削減対策なしの石炭火力発電を急速に（2013~2040 年の間に 84%）減少させなければならないことを示している。しかし、全電力部門の排出量は IPCC の幅を上回っている。IEA の 450 シナリオは、HELE 石炭火力発電よりむしろ CCS の広範な展開が、気温上昇を 2℃に抑える上で不可欠であると予測している。そして 2040 年には石炭火力発電の 4 分の 3 が CCS 付き発電所となると予測している。WEO で検討された他のシナリオ（現行政策シナリオ《CPS》と新政策シナリオ《NPS》）は、2℃シナリオと一致していない。

現在、石炭火力の新設容量約 1,400 GW の建設が今後数十年間に予定されている。この石炭火力の計画容量は、IPCC 2℃シナリオとも IEA 450 シナリオとも矛盾する。2040 年以降、計画容量による排出量は、IPCC 2℃シナリオにおける全電力部門の排出量を上回る。もし仮に計画容量のすべてが HELE 石炭火力発電所であったとしても、この結論は変わらない。

もし計画容量すべてが CCS 付きであれば、2050 年まで気温上昇を 2℃未満に抑える経路に沿う。しかし、2050 年以降、電力部門では排出量をマイナスにする経路が求められる。本報告書全体を通して、変換効率や展開のスピードについては楽観的な値を使用した。

しかし、1,400 GW もの CCS 付き石炭火力発電が 2030 年までに稼働すると仮定するのは現実的ではなく、排出原単位を 100 gCO₂/kWh（これは低い推定値であると考えられる）まで下げる上で必要な高い回収効率を実現するには、高いコストがかかる可能性がある。このように、石炭火力の計画容量 1,400 GW が、長期的に 2℃未満に抑える曲線に沿う可能性が低い。

HELE であれ CCS 付きであれ、石炭火力発電所の立場をさらに悪くする要素はほかにも存在する。これらの先進技術の開発と展開は既定路線ではない。ほぼ間違いなく、技術・経済・社会の障壁によって、これらの選択肢の展開や理論上のパフォーマンスが制限されることになるであろう。一例が、将来のエネルギー市場における石炭火力発電所の運用のあり方であろう。設備利用率は低下すると予測されており、出力変動が頻繁になると相まって、変換効率の低下と個々の石炭火力発電所の排出量の増加をもたらすことになる。さらに、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は、稼働段階の直接排出量より 40~110 gCO₂/kWh 多い可能性もある。

ECOFYS



sustainable energy for everyone

ECOFYS



sustainable energy for everyone



ECOFYS Netherlands B.V.

Kanaalweg 15G
3526 KL Utrecht

T: +31 (0) 30 662-3300

F: +31 (0) 30 662-3301

E: info@ecofys.com

I: www.ecofys.com