

温室効果ガス排出実質ゼロに向けて

古山 通久

1. はじめに

2050年の温室効果ガス(GHG)排出の大幅な削減をどのように考えていくのか、人類は大きな命題を突きつけられている。温暖化懐疑論も存在するが、対策をとらなくてよい、と結論づけられない以上は、現代の科学者の英知によって発せられている警告を信じ、どのように地球温暖化に伴うリスクを回避することができるかを考えていくことが重要である。また、この問題は世代間の問題でもある。現在、発言力を持っている世代が責任を持って提案する選択肢は、尊重すべきであろう。しかし、その選択肢が、脱炭素社会に真に資するものではないのであれば、その選択肢を推進することは将来世代に対する無責任につながる。

エネルギーに限定されないが、世界の動きは加速度的に速くなっており、5年前の常識はもはや通用しない場面にも直面する。本稿では、近年の動向を踏まえつつ2050年という長期展望の中で、どのように脱炭素社会の姿を考えていったらよいか、俯瞰的に考える視点を供したい。

2. 一次エネルギーの選択肢

我々の身近な生活から次世代のエネルギーを発想すると、省エネ機器や電気自動車、エネファーム、太陽光パネル、高断熱ガラスなど様々思い浮かべることができる。それらは、我々が最終的に必要とする熱や電気エネルギーをどのように効率的に活用するかという視点で重要であるが、熱や電気は二次エネルギーであり、一次エネルギーから考えることが本質である。



Toward Net Zero Greenhouse Gas Emissions
 Michihisa KOYAMA (正会員)
 2002年 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻博士後期課程修了博士(工学)
 現在 信州大学 先鋭材料研究所 教授
 (株)X-Scientia 代表取締役 など
 連絡先: 〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1
 E-mail koyama_michihisa@shinshu-u.ac.jp

2020年7月21日受理

GHGの大幅削減の実現に向けて、我々が選択できる一次エネルギーは、核融合も含めた原子力のエネルギー、CO₂の分離・回収・利用・貯蔵(CCUS)技術と組み合わせられた化石資源のエネルギー、そして再生可能エネルギーである。

国内の原子力エネルギーについては、今後再稼働や運転期間の延伸が進み、震災前に建設中または計画段階にあった原子炉をすべて考慮しても、電力供給への一定の寄与はあり得るものの主力というレベルまでの増設は見込めない、との見通しに異論はないであろう。国連気候変動に関する政府間パネルが公表する1.5°C特別報告書においては4つのシナリオが主要なものとして示されている。そのうちの1つは省エネによるもので供給力の増強は必要ではないというものであるが、残りの3つのシナリオ(以降、1.5°Cシナリオ)では、世界で現在の3~10倍程度の容量への増設が想定されている¹⁾。しかし、仮にそれだけの増設がなされたとしても、あくまで一定の寄与であると言ってよい。

化石資源とCCUS技術の組み合わせを考える上では、2つの視点が重要である。1つは社会実装の速度である。図1には、世界のCO₂固定量について概略をまとめた。これまでCO₂の利用を想定しない純粋な貯蔵は限定的である。CO₂利用としては、炭酸塩の生産や飲料の用途もあるが、それらは小規模である。大規模なものは原油の増進回収

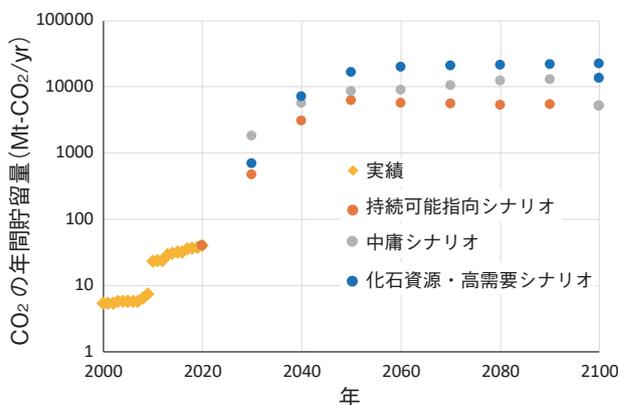


図1 CCUSによるCO₂の固定化能力(2020年2月現在。Global CCS Institute CO₂RE Database³⁾やアメリカのエネルギー省の研究機関であるNETLのCCS Database⁴⁾、および1.5°Cシナリオ¹⁾を参照し、著者集計)

(EOR)を目的とするものであり、大きなものでは年間800万トン以上のCO₂貯留能力を有する。現在、世界における総CO₂貯留能力はおよそ4,000万トン/年と推算される。図1には、1.5°Cシナリオで想定されているCO₂貯留量も示している。2030年までに現在の4,000万トン/年から1桁増やし、2040年までには2桁以上増やすことが想定されている。1桁増やすことは、現在最大級である840万トン/年のサイトを50カ所以上開設し、2桁増やすことは、500カ所以上増やすことを意味する。500カ所のサイトを運用するためには、2040年をターゲットとしたときには年間25カ所、2100年をターゲットとしたとしても年間6カ所以上を開設し続ける必要があり、大きな挑戦である。もう1つの視点として、環境、社会、企業統治(ESG)に基づく経営・投資の潮流がある。2020年に環境省が打ち出した脱石炭戦略は、新設火力発電所への融資引き上げなどのdivestmentの潮流によるものである。この潮流は1992年のリオサミットを機とした国連環境計画・金融イニシアティブに端を発し²⁾、2006年4月の責任投資原則を経て現在につながっている。今後、ESG投資の文脈の中で化石資源とCCUS技術を適切に位置付け、融資を受けられなければ、どんなによい技術が生まれたとしても、社会に実装されることはない。欧州委員会は、持続可能な金融の観点から環境関連の経済活動の分類を進めており、その分類を示すEUタクソノミー⁵⁾の最終報告書を2020年3月に公表した。その中で、CCSを考慮したとしても通常の石炭火力は持続可能な経済活動として分類されていない。EUタクソノミーに強制力はないが、技術的選択肢としての今後に不透明さが呈されていると認知すべきである。また、化石資源は元来枯渇性である。製鉄や化学産業などに必要となる炭素を循環させる視点でのCCUSは別として、主要なエネルギー源としての寄与を期待するよりは、可能な限り寄与を減らすことを考えるべきであろう。

再生可能エネルギーとして大きなポテンシャルを有する

太陽光発電や風力の出力は不安定であり、需要に合わせた供給はできないことは言うまでもない。加えて、年間の稼働率が低い場合、最大需要に対して設備容量は極めて大きくならざるを得ない⁶⁾。しかしそれでも、原子力やCCUSによってGHGの大幅削減を実現する道が不透明である以上は、一次エネルギーとして再生可能エネルギーを主力として活用する以外の選択肢はないのである。不安定な出力である再生可能エネルギーを主力として活用するためには、蓄エネルギーを含めたトータルの経済性が重要である。次節では、再生可能エネルギーの利用における経済性に関して議論する。

3. 国内における原子力、火力、再生可能エネルギー

世界各国における各種発電技術の均等化発電原価(LCOE)はLAZARDの報告書に詳しく示されているが、他の電源種と比して太陽光・風力が現在最も安価な選択肢である⁷⁾。国内に目を向け、分析した結果を図2に示す。図の横軸および縦軸は、それぞれLCOEのうち原子力の発電設備に係る発電原価(横軸)、燃料にかかる経費(縦軸)である。原子力の縦軸の数値は、フロントエンド、再処理、バックエンドコストを含み、関連する固定費も含む。火力の縦軸には、燃料費に加えて、温室効果ガス対策費も含まれる。図1からは、原子力の発電設備に係る発電原価が、東日本大震災後に顕著に増えていることがわかる。石炭と天然ガス複合に関しては、燃料にかかる経費が増加する共通の傾向が見られる。世界と比べて日本における太陽光発電のLCOEは高いが、2012年7月から施行された固定価格買取制度(FIT)により、2013年以降、大幅に低減し続けていることがわかる。

図2から読み取れる原子力の傾向は、燃料に係る縦軸の値はほぼ一定であり設備に係る横軸の値が増加し続ける、

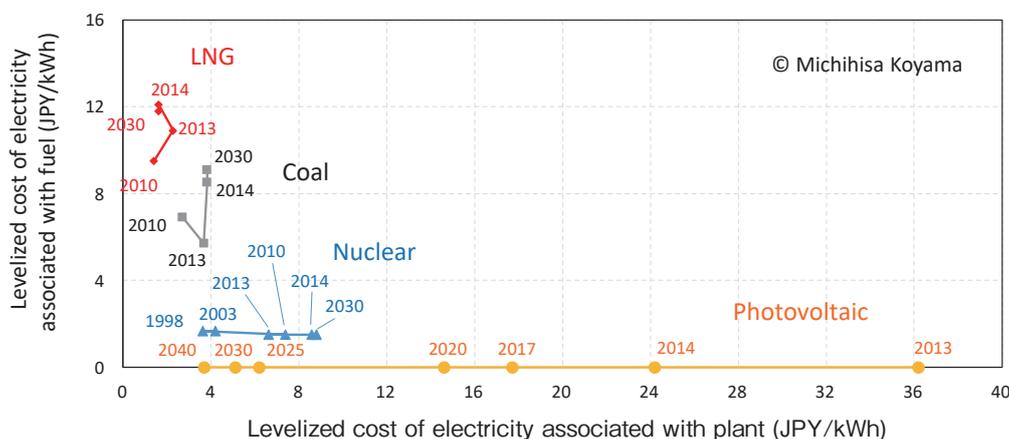


図2 日本における均等化発電原価の比較⁸⁾

というものである。これは、再処理やバックエンドのコストを含めても燃料費は十分に安く、発電効率を向上させるインセンティブが働かない一方、安全が第一義であるため、発電設備に安全対策の経費が必要となるからである。今後、安全基準が緩和されないことを前提にすると、革新的に低コストな安全対策技術が生まれ限りの、発電設備に係るLCOEは増加すると言えるであろう。火力のLCOEが縦軸方向に増加する傾向は、国際エネルギー機関(IEA)の新政策シナリオ⁹⁾などで想定されている、化石資源価格が将来増加するとの前提によるものである。このパラダイムを前提にすると、設備投資をしてでも効率を向上し、燃料費を抑制することが合理的な選択肢である。同時に、GHG排出削減にもつながり、エネルギー安全保障も向上する。太陽光のLCOEの将来展望は、これまでのエネルギーを支配してきた原子力・火力を中心としたパラダイムからの解放を示している。3.11後のエネルギーを考える視点は「S+3E」、すなわち安全性、経済効率、環境への適合、安定供給とされる。

図2中の2014年の数値を参照して原子力、火力、太陽光の3者を比較すると、原子力は最も経済的で、環境への適合や安定供給の観点からも優れているが、安全性に課題を抱えた選択肢と言える。火力は、安全性の問題はなく、経済性は原子力に次いで優れているが、環境への適合および安定供給が課題である。太陽光は経済性で圧倒的に劣っているが、他の観点では全く問題はない。2030年に目を向けてみると、太陽光のLCOEはおよそ5円/kWhであり、原子力、火力に対して圧倒的に安価である。すなわち、2030年段階において太陽光は安全性、経済性、環境への適合、安定供給のS+3Eのすべての観点から最も優れた選択肢となると見込まれ、世界では太陽光の圧倒的な低コスト化が実現されている。エネルギーキャリアを用いて海外の再生可能エネルギーを国内で活用することは有効な選択肢である。同時に、国内再生可能エネルギーの活用も重要であることは言を俟たない。日本国内のトレンドが世界のトレンドと逆行すると考える合理性はなく、タイムラグはあるものの日本のトレンドも世界のトレンドに追随するであろう。

1.5°Cシナリオでは、様々な発電種の設備容量が想定されている。図3には、これまでの太陽光の発電容量と、1.5°Cシナリオで想定されている発電容量を示した。この10年間の太陽光の導入は、1.5°Cシナリオにおける想定よりも速いペースで進んできたことがわかる。CCUSが今後、大きな社会実装の壁を越えないといけないことは対照的である。同様の分析をすれば、風力は実績と想定が同程度、原子力は今後20年間での大きな社会実装の壁を越える必要があることに気づくであろう。ぜひ読者の皆様も自身で

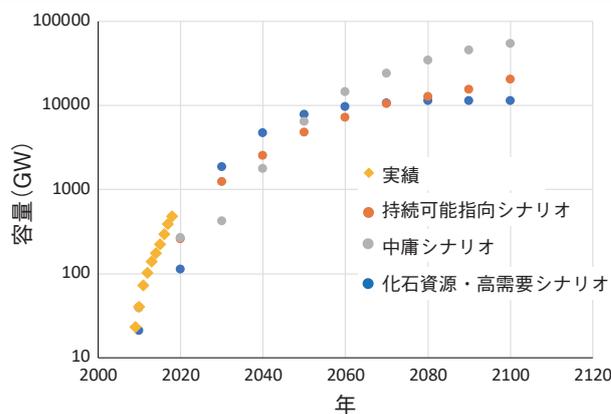


図3 太陽光の発電容量(2020年2月現在。国際再生可能エネルギー機関による統計¹⁰⁾および1.5°Cシナリオ¹⁾を参照し、著者作成)

確認してみてください。

4. おわりに

国内再生可能エネルギーを主力エネルギーとして活用することを考える際には、国内においても、再生可能エネルギーが圧倒的に低コストな選択肢となることを前提に、エネルギーシステムの全体像を考えることが重要である。「安定な原子力と柔軟な火力と高い再生可能エネルギーのベスト・ミックス」という現在のパラダイムに縛られることなく、「主力エネルギー源としての再生可能エネルギー」から全体像を発想することが重要である。国内・海外の再生可能エネルギーを活用し、それでどうしてもカバーできない部分を原子力や化石資源に依存する社会から発想してみよう。

現在のリアリティは重要である。しかし、現在のリアリティを強調するばかりの言説に違和感を覚えたり疑問を感じたりしたならば、問いかけてみよう。「2050年の脱炭素社会につながりますか?」「将来世代は温暖化問題から解放された社会で過ごせているのでしょうか?」。ともに変化を起こすために挑戦する仲間となり得るかどうかが、よいリトマス試験紙になるであろう。

参考文献

- 1) Huppmann, D. et al. : *Integr. Assess. Model. Consort. & Int. Inst. Appl. Syst. Anal.*, doi: 10.5281/zenodo.3363345 (2019)
- 2) 末吉竹二郎 : 学術の動向, **24** (7), 66-70 (2019)
- 3) GLOBAL INSTITUTE : <https://www.globalcsinstitute.com/resources/co2re/>
- 4) <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/CCS-Database.xlsx>
- 5) https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/sustainable-finance-teg-final-report-eu-taxonomy_en
- 6) Izui, Y. and M. Koyama : *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.*, **12**, 453-462 (2017)
- 7) LAZARD's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 12.0, LAZARD, November 2018
- 8) Koyama, M. : Chapter 16. Toward Economically Rational Hydrogen Production from Solar Energy: From Battery versus Hydrogen to Battery × Hydrogen, in *Nanostructured Materials for Next-Generation Energy Storage and Conversion: Photovoltaic and Solar Energy*, T. A. Atesin, S. Bashir, J. Liu Eds., pp. 457-470, Springer (2019)
- 9) World energy outlook 2017, International Energy Agency, November 2017, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>
- 10) Renewable Capacity Statistics 2019, International Renewable Energy Agency, March 2019