

カーボンニュートラル実現のシナリオ

Scenarios for Realizing Carbon Neutrality

山地 憲治

YAMAJI Kenji

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構(RITE)

理事長

工学博士

President

Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE)

Dr. Eng.



地球温暖化問題は人類全体で長期の時間をかけて取り組むべきグローバルな課題である。単に温暖化問題だけに取組むのではなく、SDGs(持続可能な発展への国連目標)の17ゴールやわが国のエネルギー政策の基本目標である3つのE(エネルギー安全保障、経済効率性、環境の適合)などをバランスよく実現していく必要がある。SDGsの達成に向けた社会イノベーションによってCO₂排出のベースラインを下げ、そこに技術イノベーションによって電気や水素のようなクリーンな二次エネルギーをCO₂排出なく生産し、効率的に利用するシステムを構築すれば、地球温暖化問題を解決するカーボンニュートラル実現へのシナリオが描ける。

Outline of scenarios for realizing carbon neutrality is described. Climate change is a global problem to be tackled with long-term perspectives. Not only carbon neutrality, but also 17 SDGs (Sustainable Development Goals) set by United Nations and 3E (energy security, economic efficiency, and environmental compatibility) targets of Japan's energy policy must be realized. Carbon neutrality scenarios will be realized through wide range innovations, namely social innovations to reduce baseline CO₂ emissions, and technological innovations such as carbon free electricity, hydrogen, and negative emission technologies.

はじめに

2022年2月から始まったロシア軍のウクライナ侵攻は深刻なエネルギー危機を招いている。1970年代の2度にわたる石油危機との大きな違いは、今回の危機は世界全体が地球温暖化対策としてカーボンニュートラル(脱炭素)実現を目指して大きく動き出した中で発生したことである。もちろん、その他にも当時との違いは多くある。石油だけでなく天然ガスや石炭の価格も高騰していること、途上国のエネルギー需要が先進国より大きくなっていることなどである。

ウクライナ侵攻の前にも、脱炭素化の動きや新型コロナウイルス感染拡大による需要減などにより化石資源開発が抑制され、エネルギー価格は上昇基調にあった。そこにウクライナ侵攻である。ロシアは世界最大の天然ガス輸出国であり、石油・石炭でも3位以内に入っている。ロシアへの制裁で、欧州等へのロシアのエネルギー輸出は急減したが、中国やインドなどの新興国が輸入していて複雑な様相を見せている。特に深刻なのは欧州の天然ガスで2022年のス

ポット価格は2年前の10倍の水準になっている。欧州は今後LNG(液化天然ガス)の輸入を増やすと見込まれ、LNGの取り合いが始まっており、LNG価格も急騰している。これは途上国における石炭から天然ガスへの転換を阻み、地球温暖化対策の障害となる。このようなエネルギー危機の中でも地球温暖化対策を止めるわけにはいかない。

地球温暖化問題の解決のためには、最終的には温室効果ガスの正味排出ゼロ(カーボンニュートラル)を実現する必要がある。パリ協定の長期目標では「世界的な平均気温上昇を産業革命前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」とし、そのため、世界の温室効果ガスの排出量を今世紀後半に実質(正味)ゼロにする脱炭素社会、つまりカーボンニュートラル実現が目標とされていた。ただし、IPCCの1.5℃目標に関する特別報告(2018年)では、1.5℃目標達成には2050年までにカーボンニュートラル実現が必要とされ、これが契機となって欧州を先導役として長期目標を2050年カーボンニュートラルに引き上げる動きが始まった。バイデン政権下の米国をはじめ、カーボンニュートラル2050年実現への野心度向上は瞬

く間に世界に広がった。いまやパリ協定の努力目標が本目標になりつつある。わが国の温室効果ガス排出量の8割以上がエネルギー起源のCO₂である。本稿では、エネルギー危機の中でのカーボンニュートラル実現について考える。

イノベーションで実現するカーボンニュートラル

カーボンニュートラルを最適に実現するエネルギーシステムでは、技術と社会の両面の様々なイノベーションを動員する必要がある。中心になるのは、クリーンで効率的な利用ができる2次エネルギー媒体であり、現状では電気、将来的には燃料・熱利用として水素が活躍すると思われる。電気と水素を中心に置き、各種イノベーションを配置したカーボンニュートラル実現の構図をFigure 1に示す。

電気と水素は様々な資源から生産できるので、技術イノベーションによって低炭素化・脱炭素化が可能である。CCUS (CO₂回収・利用・貯留)技術を想定すれば、原子力や再生可能エネルギーの利用だけでなく、化石資源の活用も排除されない。ただし、今後太陽光発電や風力発電のような出力が自然変動する電源が大規模に導入されると見込まれるので、電解水素での貯蔵(PtG)を含め蓄電技術の役割が重要になる。また、自然変動電源を連系する電力ネットワークには柔軟性や強靭性が求められる。

電気の利用は、デジタル社会の進展、運輸部門の電化やヒートポンプによる熱供給の増加によって今後も継続して増大すると思われる。太陽光発電やコージェネなどの分散型電源や電動自動車の蓄電池、ヒートポンプ給湯器の貯湯槽など需要側に置かれたエネルギー設備の活用も進むだろう。

送配電事業の制度も電力システム改革によって大きく変化しつつあり、需要に合わせた電力供給という従来の姿から、需給一体となったネットワーク形成・運用へと変化していくと思われる。デジタル技術の活用がこのようなネットワーク革新を支えていくことになる。

産業部門では更なる電化の促進も需要であるが、水素の活用が期待される。2022年の堀場雅夫賞の対象分野も水素の利活用に貢献する分析・計測技術だった。水素は、燃料電池での利用に加えて、燃料アンモニアとしての利用も含めた燃焼発電や熱利用、さらにはカーボンリサイクルの進展に伴って種々の合成燃料や化学物質合成の原料としての需要が増加すると見込まれる。もちろん、ここで使われる水素はCO₂フリーで製造される必要がある。

また、超スマート社会(ソサエティ5.0)によってシェアリング・サーキュラーエコノミーが実現すれば、情報によるエネルギー・物質の代替によってエネルギー需要の大幅な低減が実現するだけでなく、エネルギーと情報のシステム統合がさらに進み、需要側に置かれた設備等の分散型資源が一層効率よく活用されることになるだろう。スマホのように、アプリケーションソフトによって様々な機能を実現する情報機器は今後も増え続け、情報によるエネルギー・物質の代替は機器レベルでも進むと思われる。結果として、電化とデジタル化による革命的エネルギー節約が実現する可能性が描ける。もっとも、ブロックチェーンなど情報処理に伴う電力需要増大に対応する必要がある、量子コンピュータなど情報分野でのイノベーションとの連携を図る必要がある。

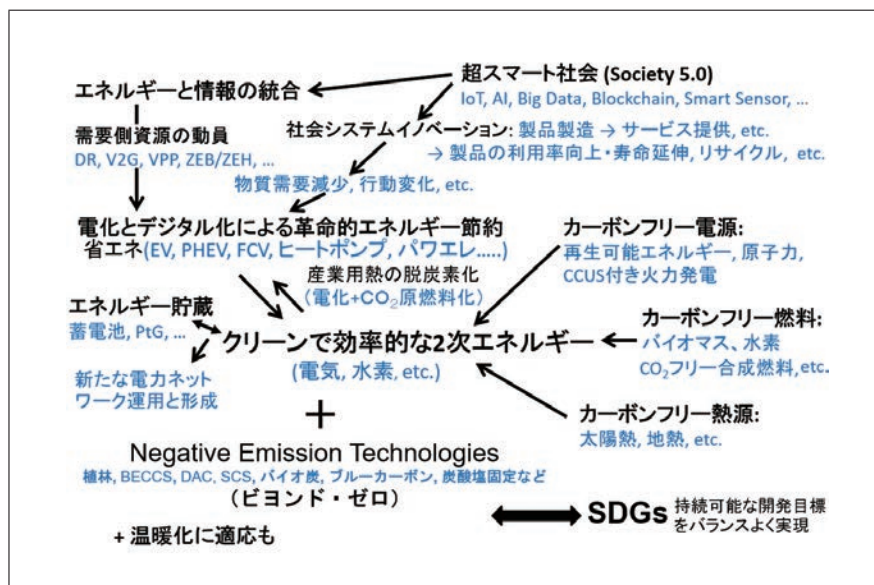


Figure 1 カーボンニュートラル実現の構図

製鉄やセメント製造、化学工業、農業など人間の経済活動全体を俯瞰すれば、以上のような対策をすべて実施しても温室効果ガスの排出ゼロを実現することは困難と思われる。従って、植林やDAC（大気からのCO₂回収）、BECCS（CCS（CO₂回収・貯留）を伴うバイオマスエネルギー利用）、廃コンクリートなどを利用したCO₂の鉱物固定化など、大気からCO₂を回収する技術も備えておく必要がある。

その上で、起こりうる温暖化への適応と、SDGs（持続可能な発展への国連目標）における温暖化問題以外のゴール実現とのバランスを図っていく必要がある。より幅広い視点に立てば、SDGsの達成に向けた社会イノベーションによってCO₂排出のベースラインを下げ、そこに技術イノベーションによって電気や水素のようなクリーンな二次エネルギーをCO₂排出なく生産し、効率的に利用するシステムを構築すれば、地球温暖化問題解決の展望が開ける。

原子力による3つのEの再建

原子力については様々な意見があるが、CO₂を排出しないエネルギーとして温暖化対策に有効な技術であることは確かである。2022年8月のGX（グリーントランスフォーメーション）実行会議で、わが国は原子力の本格活用に向けてリプレイスや新增設を進める姿勢を鮮明にした。国は既設原子力発電所の再稼働を前面に立って進めることを表明し、運転期間延長や次世代炉開発についても具体的に動き始めた。2023年2月には、わが国政府はGX実現に向けた基本方針を閣議決定し、脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律案を取りまとめている。

ロシア軍のウクライナ侵攻を受けて、地球温暖化対策に偏っていたエネルギー政策において、エネルギー安全保障や経済性の重要性が再確認され、エネルギー安全保障、経済性、環境対策の3つのEを同時に達成するという政策の基本方針が改めて認識されつつある。この中で、政治的理由から避けてきた原子力政策について国が積極的に取り組み始めたことは注目される。

しかし、原子力を取り巻く厳しい現実是不変である。リアリズムをもって重点政策を絞り込まないと原子力復活は期待できない。その点では、再稼働や運転期間の延長は当然行うべきと考えるが、次世代原子炉の開発には危うさを感じる。人材開発には新增設が必要なことは確かだが、これは安全性を高めた革新型軽水炉で対応すればよい。次世代炉の議論の中で疑問を感じるのは、相変わらず高速炉や核融合が取り上げられていることである。これらは何れも国家プロジェクトや国際共同開発によって進められてきたが、50年を超える開発を経ても実用化というゴールに届いていない。

1950年代後半から高速増殖炉や高温ガス炉、熔融塩炉など様々なタイプの原子炉開発が行われてきたが、結局60年代に軽水炉が実用化され世界で導入が進んだ。ガス炉を開発して実用化した英国も今後の新設炉には軽水炉を選んでいる。

次世代炉の中で私が注目しているのはSMR（スモール・モジュール・リアクター）である。SMRでは、小型原子炉を量産することで、安全性向上とともに量産による経済性を実現できると期待されている。原子炉を小型化すると容積に対して表面積が大きくなり、大型炉より冷えやすくなる。これを固有安全性が向上するという。一方、モジュールとは、規格が統一された部材一式を工場生産してユニットとして組み立て、現地ではこのユニットをさらに組み合わせて建設する生産方式である。プレハブ住宅をイメージすればよい。従来の原子力発電所は、同じ設計型式でも建設は現場で行う一点ものだった。SMRでは工場生産する部分がほとんどになるので、高い品質管理や工期短縮が期待できる。

SMRというコンセプトは実は昔からあった。いずれも実現しなかったが、私の記憶では1980年代にGEがPRISMという名前のナトリウム冷却高速炉を開発していた。ドイツが開発した高温ガス炉を南アフリカでモジュール炉として建設する計画もあった。しかし、実用化している軽水炉との競合には勝てなかった。

今回再び脚光を浴びているSMRの中でも小型軽水炉を使う構想に将来性があると考えている。というのは、小型軽水炉は潜水艦や航空母艦、砕氷船の動力として既に実用化しているからだ。わが国の「むつ」を含め船用軽水炉開発の歴史は長い。軍用や砕氷船以外で船用小型炉が実用化しなかったのは、原子力への懸念から市場が開けられなかったという社会的理由が大きい。しかし、小型発電炉なら、僻地での利用や移動可能な発電船としての利用も視野に入る。軽水炉のSMR展開に期待している。

視野拡大の重要性

カーボンニュートラル実現のための様々な技術と社会のイノベーションの動員には、視野の拡大が必要である。空間的広がりでは、地域社会の取り組みから国際連携、業界や需要区分を連携するセクターカップリングまで様々な取り組みが必要になる。時間軸では、カーボンニュートラル実現に至る移行期での取り組みも重要になる。カーボンニュートラル実現には、技術や社会、地域経済や国際政治など、幅広い視点から取り組む必要がある。

しかし、現実には厳しい。2021年11月のCOP26については、わが国が化石賞を受賞したことが繰り返し報道されたが、受賞理由は岸田文雄首相が水素やアンモニアを利用した「火力発電のゼロエミッション化」を表明したことだった。その他にもノルウェーはCCS(CO₂回収・貯留)を進めていること、フランスは原子力の新設を表明したことにより化石賞を受賞している。火力のゼロエミッション化もCCSも原子力も地球温暖化対策の重要な手段である。カーボンニュートラルという高い目標の実現には、このように特定技術を排除して選択肢を狭めることは大きな障害になる。

そもそも地球温暖化問題には、対策の負担は地域ごとに発生するが、対策による利益は世界全体に裨益するという構造がある。このような構造を持つ問題に対処するには、世界全体で連携した行動を維持することが極めて重要である。主要国が離脱するような状況を作るとか、特定技術を排除することは、連携を破壊し、地球温暖化対策の自滅を招く。世界の脱炭素実現のような厳しい目標の実現には、技術や文化の多様性を認め、すべての対策を総動員する必要がある。

また、カーボンニュートラル実現には、水素利用やCCUSのようなCO₂削減に直接寄与する個別の革新技術に加えて、デジタル技術やパワーエレクトロニクス、分析・計測技術、バイオ技術、都市管理技術など、一見するとCO₂削減と関係が無いように見える汎用性の高い共通基盤技術の活用も必要である。

GX(グリーントランスフォーメーション) 政策の展開

グリーン成長戦略とか、クリーンエネルギー戦略とか、ここ数年様々なニックネームの付いた政策が提唱されてきたが、これらの流れがGX(グリーントランスフォーメーション)実行会議で束ねられつつある。エネルギー安定供給と共に達成する脱炭素とか、再エネと共に原子力も最大限活用するとか、エネルギー・環境政策が本来持つべき総合的取組みが具体的な政策の姿を伴って見え始めた。政府は20兆円のGX経済移行債を準備してカーボンニュートラル実現に向けて150兆円の民間投資の誘導を図ろうとしている。

国民の支持が高い再エネ主力電源化やカーボンニュートラルを掲げることは政治的に容易だが、エネルギー安定供給実現や原子力活用に言及することには政治的困難が伴っていた。ロシア軍のウクライナ侵攻などを契機とした燃料価格の高騰や供給不安への高まりが後押ししたことは確かだが、当面国政選挙の予定がなく政権の安定性が予見できたことも重要な要素だったはずである。その点で、GX実行会議のとりまとめは政治決断の賜物と言えるだろう。

しかし、多様な内容が含まれていて、GX実行会議とりまとめ案の具体化には困難が予想される。例えば、成長志向型カーボンプライシングの導入、具体的には排出量取引(GX-ETS)と炭素賦課金の導入が提案されているが、導入のタイミングや有償オークションのルール作りなど制度の詳細は大まかにしか示されていない。また、カーボンプライシングの収入をGX経済移行債の償還財源に使うとしているが、具体的な仕組みの規模や導入時期などは示されていない。

一般的に、政策手段はアメとムチに分けられる。今回の例でいえば、カーボンプライシングはムチ、GX経済移行債はアメである。アメとムチをうまく組み合わせたとはいえないが、具体的な政策の中身が確定していない現状では手放しでは褒められない。再エネ電源の導入比率を義務付けるRPS(リニューアブル・ポートフォリオ・スタンダード)やFIT(再エネ電気固定価格買取制度)の制度設計など再エネ政策に関わってきたが、制度の詳細の重要性を痛感している。「神は細部に宿る」と言われるように、多くの利害関係者が複雑に絡まる問題への対応には、政策の具体的な詳細が重要であることを指摘しておきたい。

おわりに

地球温暖化問題は人類全体で100年単位の長期の時間をかけて取り組むべきグローバルな課題である。持続可能な未来を拓くためには、単に温暖化問題だけに取組むのではなく、国連が掲げるSDGsの17ゴールやわが国のエネルギー政策の基本目標である3つのE(エネルギー安全保障、経済効率性、環境保全性)などをバランスよく実現していく必要がある。

本稿で概要を示したように、SDGsの達成に向けた社会イノベーションによってCO₂排出のベースラインを下げ、そこに技術イノベーションによって電気や水素のようなクリーンな二次エネルギーをCO₂排出なく生産し、効率的に利用するシステムを構築すれば、地球温暖化問題解決のシナリオが描ける。