



突然のネット・カーボンニュートラル宣言

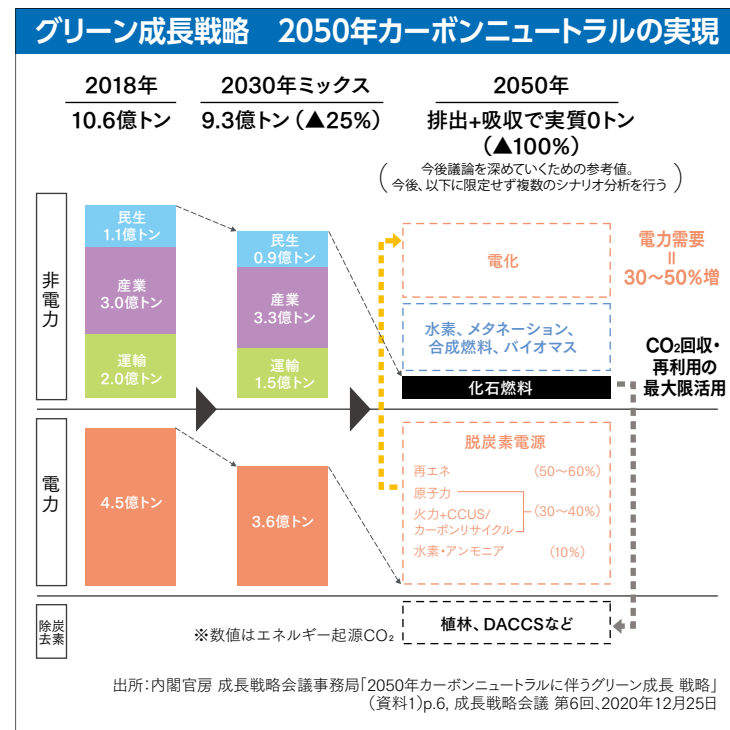
昨年の10月末、菅義偉首相は、臨時国会の冒頭の所信表明演説において、「2050年までに、ネット・カーボンニュートラル(二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量を、森林などによる吸収量を差し引いて全体としてゼロとすること)を目指す」と宣言された。それ以降、実現に向けて、官民あげての準備体制が整えられつつある。

経済産業省は、その2週間ほど前に、第6次エネルギー基本計画策定を準備すべく、基本政策分科会における審議を始めていた。今回は、まず2050年のエネルギー・ミックスを考えて、そこから振り返ってみる手法で2030年のエネルギー・ミックスを見直すとした。2つの動きは、当然呼応したものだといえ、いわば、トップダウンで議論の方向性を定められたことから、議論は速やかに深まりを見せている。

現行の第5次基本計画では、温室効果ガスを2030年度までに2013年度比で26%削減するという中期目標を設定し、長期目標として、地球温暖化対策推進本部において2050年までに80%削減を目指すとしていた。

突然の100%削減となったわけだが、驚くほどに、反対の声は少なく、少なからぬ企業は、これに呼応する形で、自社のカーボンニュートラル計画を公表した。

【図1】

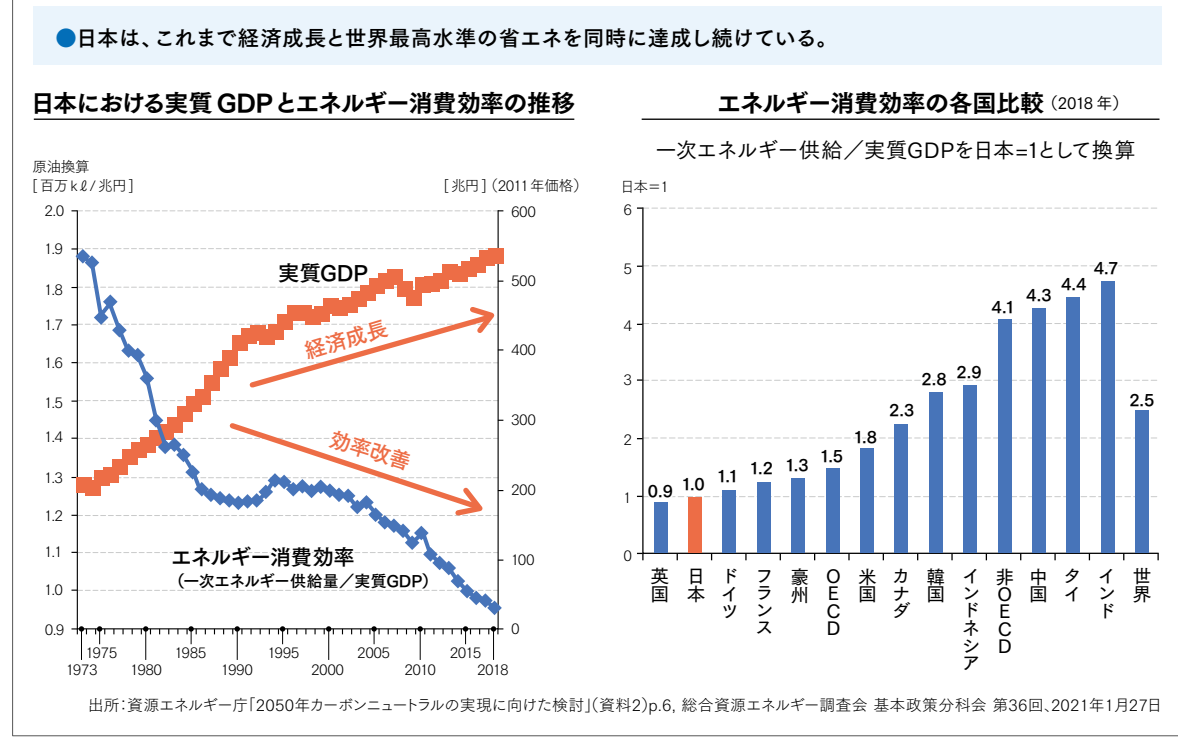
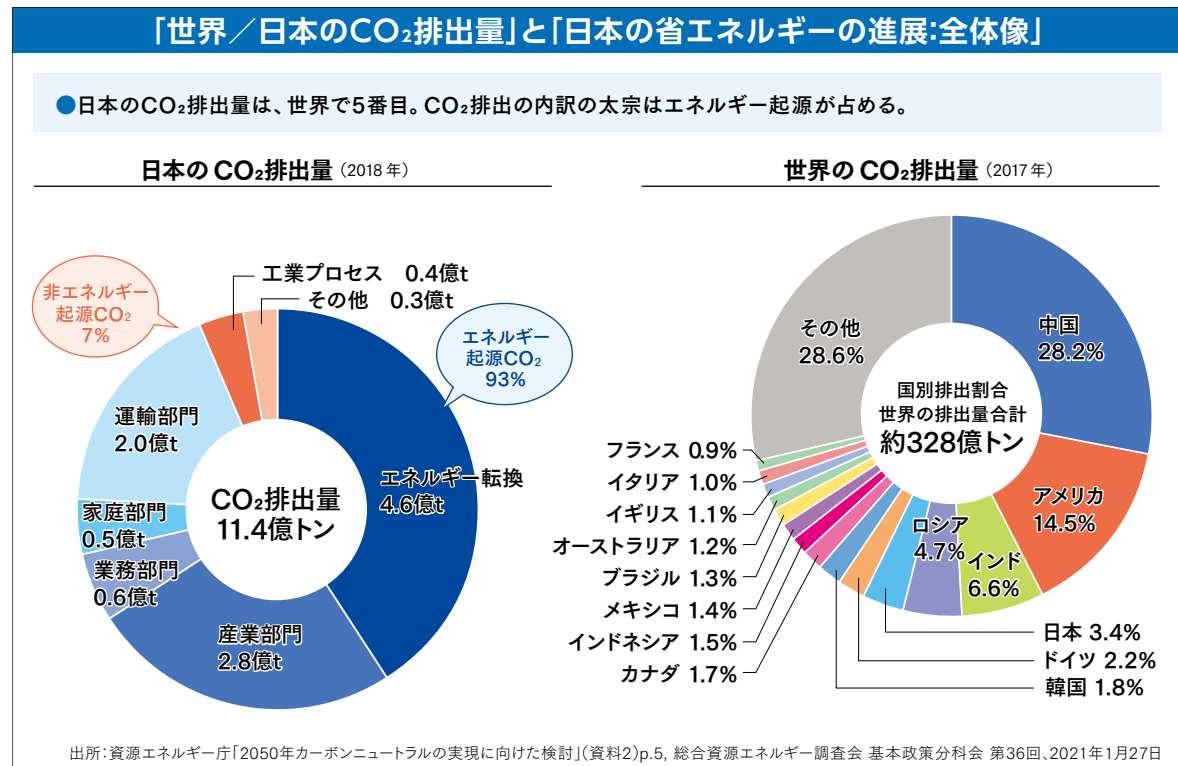


カーボンニュートラル：日本の課題と望ましき対応

とよだ まさかず
 一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 理事長 豊田 正和氏

率直に言っても、簡単ではないと全ての人は思っているだろう。しかし、2050年にネット・カーボンニュートラルを目指すとしていた欧州主要国に加えて、同様の選挙運動スローガンを掲げていたバイデン候補(当時)が今や大統領として、気候変動を最重要事項の一つとして取り組んでおり、中国が2060年までの同様の宣言を9月に公表した中で、日本が宣言することは、自然な流れと捉えたようだ【図1】。日本にわずかに遅れて宣言をした韓国を含め、もはや、120を超える国・地域が、カー

【図2】



4種類の ゼロ・カーボン・エネルギー

カーボンニュートラルを実現するために、4種類のエネルギーを整理してみよう。

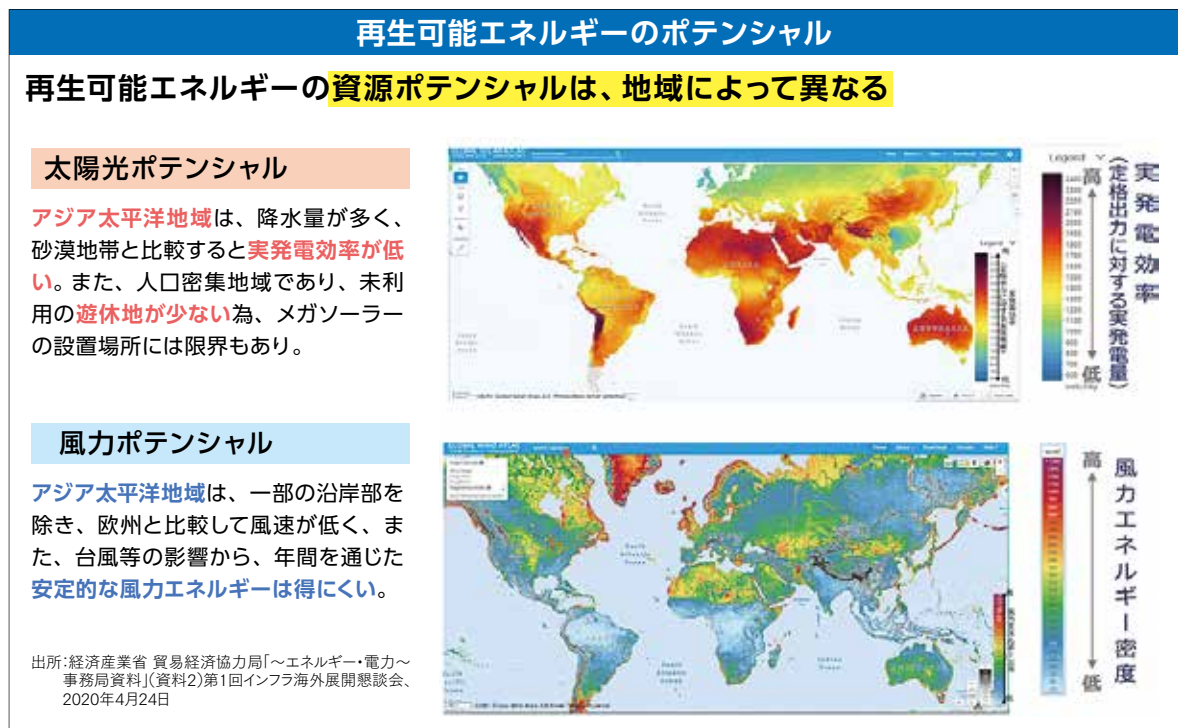
第一が、省エネルギーである。省エネルギーは、エネルギーの使用を削減することではあるが、これを進めれば進めるほど、ゼロ・カーボンを進めやすくなるので、カーボンニュートラルを実現する方策の出発点と位置付けられよう。

ちなみに、現行エネルギー基本計画では、「向こう20年間で35%の原単位の改善」を目指すと言われていた。この考え方は、1973年以降の二度にわたる石油危機後の20年間に実現した省エネルギー努力に相当するものだ。石

油価格が一気に3ドル/バレル程度から、10倍以上となったのちの20年間の努力は、これまでの日本のエネルギー史の中で最大の努力であり、それ以上は困難でも、それくらいは努力すべしとの考えに基づくものだ。向こう20年間の経済成長率を、平均1・7%と想定しているが、絶対量では約7%程度の削減となる。仮に、同様の努力を前提にすれば、さらなる7%の削減が可能となる。もつとも、現実の削減率は、実現した成長率によるわけで、ここ数年の成長率は、0・8%程度(2014～2018年平均)であるため、結果として、より大きな削減となっている。日本は、英国やドイツと並んで、省エネルギーの進んだ国の一つではあるが、近時改善率が、鈍化していることは否定できず、一段レベルの高い省エネルギーが必要となる【図2】。

具体的には、発電部門、産業部門、民生部門、輸送部門などがあり、これまで以上の様々な政策措置がありうる。発電部門では、熱効率の良い発電設備の導入が重要であり、産業部門では、設備のいつそう早い更新が重要である。民生部門では、新設、既設を問わず住宅や、建築物における断熱材の導入、ZEH(ゼロ・エミッション・ハウス)、ZEB(ゼロ・エミッション・ビル)などの建物の省エネルギーと再生エネルギーの組み合わせによるCO₂排出ゼロの建物建設促進が、わかりやすい政策となっており、輸送部門では、燃料電池車、電気自動車を問わず、燃費の良い自動車が望まれる。

【図3】



部門を問わず、共通の課題は、追加コストをどのように低減するかであり、目標の提示の一方で、強力な助成措置が必要だ。この結果として、投資回収期間が早まれば、投資する人々は増えてこよう。近時の期待は、AIやIoT等を活用したデジタルイノベーションにある。この結果、需要抑制や需要の適正化が行われれば、エネルギー供給設備を最小化することも可能であろう。長所は、供給者のみならず、需要者も努力すれば、対応可能な点であるが、短所は一定のレベルを超えると、コスト高になることだ。

二つ目は、再生可能エネルギーである。今後、日本でも、主力電源となることが期待されている。これまでの日本は、水力が専らであったが、もはや、自然環境を破壊するものとして、歓迎されていない。近時大幅に増えているのは、太陽光であり、風力発電である。最大の長所は、どの国にも一定量は存在することだが、欠点は、天気任せであり、稼働率は、日本の場合それぞれ14%、20%程度と、決して恵まれているといえないことだ【図3】。コストは、近時10年ほどで大幅に低下している。買取制度(FIT)の導入の結果、太陽光の場合、メガソーラーを中心に急速に下がってきており、昨年末の入札の結果、10・48円/kWhまで低下した。10年間で、75%近い低減だ。しかし、これら低価格で発電できる場所は、限りがあるのも事実である。また、風力においては、偏

西風に恵まれて安定的な風が吹く欧州と異なるうえ、陸上風力の場合、近隣の住民から反対されることも少なくない。結果として、焦点は洋上風力に向かうが、これまでのところ36円/kWh程度のコストがかかっている。

更に、太陽光にせよ、風力にせよ、短所は、これら間欠性のエネルギーの場合、バックアップ電源が必要であり、一定のシェア(40〜50%)を超えると、バックアップコストに加えて、送電網の拡充も必要となりシステムコストが急速に上昇していくと、当日本エネルギー経済研究所では分析していることである。再生エネルギーの一つとして、日本で期待される地熱は、多くが国立公園の中に存在するうえ、温泉への悪影響を心配する温泉業者などの支持を受けることが困難な場合もあり、日本では伸び悩んでいる。

三つ目が原子力である。原子力は、3つのE(Energy Security, Economic Efficiency and Environment)に優れているながら、福島原子力発電所の事故以来、10年が経とうとしているが、残念ながら、安全性確保に係る懸念のため、信頼回復ができていない。

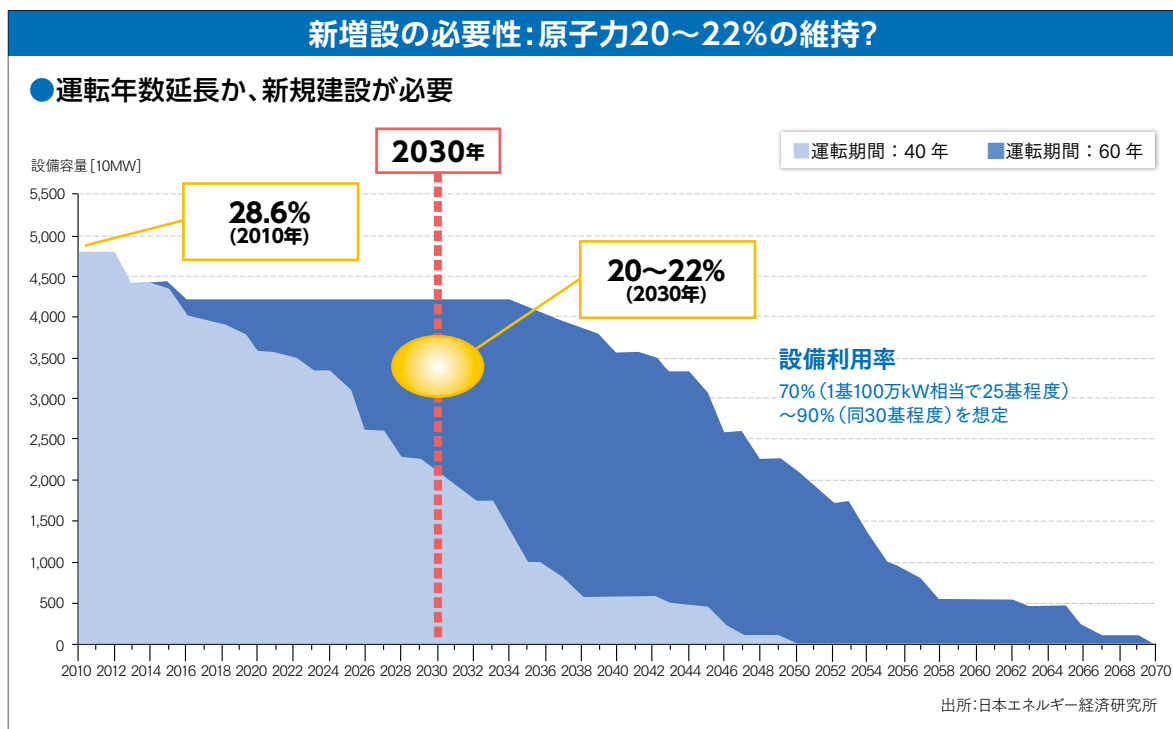
しかし、エネルギー安全保障という意味では、5年ほどの備蓄があるとされ、だからこそ、準国産エネルギーと位置付けられる。ウラニウムは輸入だが、5年程度まで取り換え燃料を国内で保存可能であるからだ。石油は、200日近い備蓄を有するが、ガスは備蓄にコストがかかり、2〜3週間しか在庫が無い。再生エネルギーの期

また、日本の場合、他の電力コストと比較しても、原子力のランニングコストが安く、2030年の時点でも恐らくは、2050年の時点でも最も安価なエネルギーの一つであろう。

しかし、福島では、未だに16万人強の避難された方々のうち、2割程度が帰宅できないとされ、帰宅できる方も、もはや、避難先に生活基盤ができていないことなどから、帰宅をためらわれているようだ。信頼を回復する近道はない。住民の方々と、透明性をもって、正直に、かつ緊密に對話を続けるしかない。人間には失敗はある。しかし、失敗は成功の母でもある。米国において、1986年にスペース・シャトル「チャレンジャー」の打ち上げに失敗して、7人の飛行士が亡くなられたことがある。当時の大統領レーガン氏は「未来は、臆病さに基づくのではなく、勇敢さから招来するものなのです。乗組員たちは、私たちが未来に導こうとしていました。ですから、私たちは彼らの後を追って継続していくべきなのです」と演説し、皆を励ました。

現行、エネルギー・ミックスにおいて原子力発電は、2030年において、20〜22%のシェアを占めるものとされている。そのためには、現在再稼働が許された9基

【図4】



のほか、審査中の7基、そして審査申請済みの11件、計27基の再稼働は、少なくとも必要とされる【図4】。原子力の信頼を早期に回復し、これを維持・継続していくことが望まれる。

なお、2050年において原子力を20%程度維持するには、原子力の新增設は不可欠であることを確認しておきたい。

四つ目が、ガス、石油、石炭といった化石燃料の脱炭素化である。化石燃料は、これを燃やすと、CO₂が出てきてしまう。それが、気候変動をもたらした主要因であった。しかし、考えてみれば、化石燃料が悪いのではない。悪いのは、CO₂の排出なのだ。それなら、CO₂を取り除けばよいのではないか。そうしてできたのが、CCS（炭素貯留技術）により、CO₂を除いた水素やアンモニアだ。当所も、昨年、その実証実験の一角に参加した。サウジ・アラムコ（サウジアラビアの国営石油会社）や、いくつかの日本企業と協力して、ゼロ・カーボン・アンモニアを日本に運び、これをガス火力や、石炭火力と混焼し、かつ、アンモニア専焼の実験を行った。実験は成功し、アンモニアを使用した分だけ、CO₂は減少した。アンモニアは、水素とチッソの化合物であり、炭素を含まないからだ。石炭火力は、一定の改造を行えば、60%まで混焼が可能だそう。ガスは、CO₂の排出量が、石炭の半分というが、石炭火力に60%のゼロ・カーボン・アンモ

ニアを混ぜれば、ガス火力より排出CO₂が少なくなる。当所とアラムコの実証試験で、アンモニアを選んだ理由は、アンモニアであれば、輸送船を含め、既存のサプライチェーンが使えるため、低コストで実現できるからだ。液化して運ぶ方法等もあるが、新しい液化船等を造る必要がある。やがては、実用化も可能だろうが、初期段階では、どうしてもコストが高くなる。水素は、輸送用には、30円/Nm³（ノルマルリューベ。標準状態における気体量の単位）にまで下げる必要があり、発電用には、さらに20円/Nm³にまで下げる必要がある。今の水素のコスト水準を三分の一、ないし五分の一まで下げないといけない。従って、実用化は、2030年前後までかかりそうだ。一方、アンモニアの場合は、インフラさえ整えば、2020年の半ばには、商業化も夢ではない。アンモニアは有毒であるが、発電用なら専門家が取り扱うことになり、安全性も問題は無い。

化石燃料の脱炭素化は、水素、アンモニアに限られたものではない。カーボンリサイクルという技術が注目されている。出てきた二酸化炭素を資源として使い、閉じ込めてしまうのだ。

典型例が、「CO₂吸収型コンクリート」だ。コンクリートは通常セメントから作る。しかし、エネルギー多消費産業とされ、排出されるCO₂は大きい。同技術は、「コンクリート製造過程で石炭灰などの混和材を混ぜて、セメントの量を減らし、加えて、CO₂を硬化剤として吸収さ

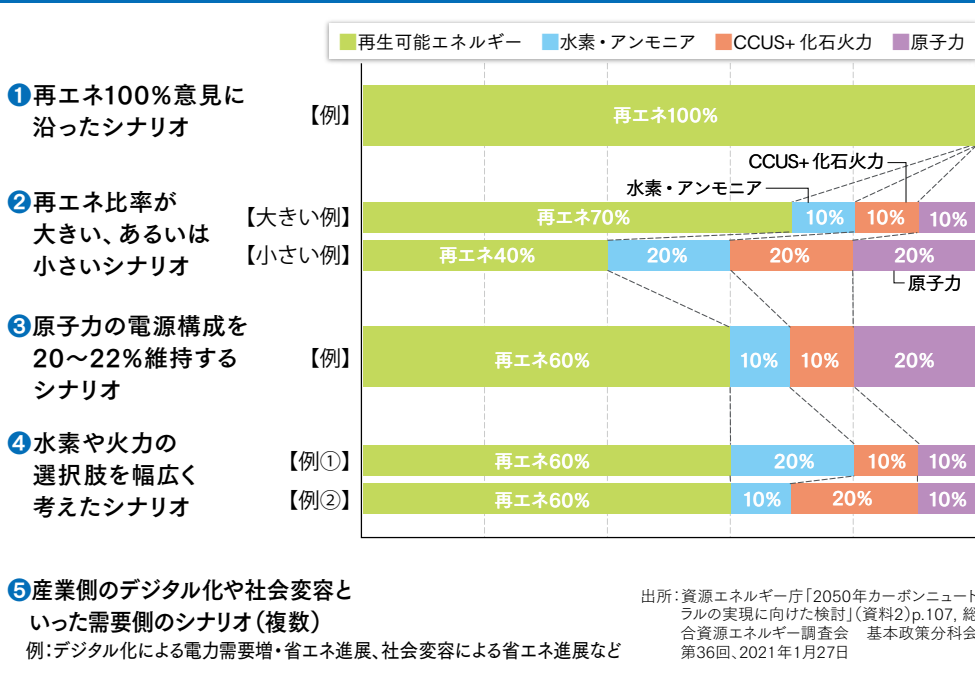
せて、通常より硬いコンクリートを作ることになる。混和材やCO₂を混ぜる比率が高まれば、やがては、セメント製造工程で生じるCO₂よりも吸収CO₂が多くなるとされ、ネガティブ・カーボン技術としても、注目される。なお、現在の「CO₂吸収型コンクリート」は、鉄の酸化をおこしやすく、鉄筋コンクリートに使えないとされるが、これ乗り越える技術開発も進んでおり、その成功を期待したい。このほか、水素とCO₂を混ぜて、合成ガスや合成燃料を作ることでも可能である。化石燃料の脱炭素化の欠点は、現時点では、代替可能エネルギーと比べて、コストが3〜5倍高いことだ。しかし、技術開発により、二酸化炭素捕獲コスト等が低下し、さらに、多くの企業、国で使うことになれば、マーケットが拡大し、スケールメリットからコストダウンが更に進むと期待される。

なお、水素は、再生可能エネルギーの余剰電力を使って、水の電気分解により作ることも可能である。欧州諸国は、恵まれた風力発電等を使い、水素を製造することに熱心だ。

再生エネルギー・ベースの水素をグリーン水素といい、化石燃料ベースの水素をブルー水素という。現時点では、ブルー水素の方が安価であるが、やがてグリーン水素もコストダウンが図られると期待されている。日本にとつては、どちらも輸入になる可能性が高く、「色を問わない。安い方が良い」ということになる。さらに、原子力の余剰電力でも水素は作られる。どんな作り方でもよい。安価

【図5】

「2050年カーボンニュートラル」電源構成シナリオ案(基本政策分科会からの提起)



第三に、原子力を現行エネルギー・ミックスの20〜22%を維持する案として、「再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力20%とする案。

結局は、日本にとっては、省エネルギーをコストを見定めつつ最大限に行い、一つのエネルギーに特化するのではなく、他の3種類のゼロ・カーボン・エネルギーの最適な組み合わせを見つけるポートフォリオ・アプローチが望まれている。

以上4種類のゼロ・カーボン・エネルギーを紹介したが、日本にとってみれば、どれも完璧なものはない。省エネルギーは、すべての部門で可能だが、一定の限度を超えると、高コストとなる可能性がある。再生エネルギーも、ここ10年ほどで、コストは大きく下がったが、日本の場合、そろそろ低下に陰りが出てきている。太陽光、風力も、設備利用率は決して高くはなく、適地にも限りがある。地震、台風など災害対応のため、一般的に建設コストが高い。また、一定のシェアを超えると統合コストにより、コストが上がり始める。原子力は、信頼回復に時間を要する。化石燃料の脱炭素化は、化石燃料は豊富だが、コストダウンに時間を要する。

にできるようになれば、カーボン・ニュートラリティへの大きな貢献が期待される。水素社会が、温暖化防止への突破口となるとされる所以だ。

2050年のエネルギー・ミックスに向けた議論の現状

昨年の10月初旬に議論を開始して、6カ月になる(3月中旬時点)。基本政策分科会のみならず、資源燃料部会、省エネルギー委員会に加え、様々なWGもフル稼働しているといつてよい。新たなゼロ・カーボン技術については、昨年末に、内閣官房の成長戦略会議が「グリーン・エネルギー戦略」を公表し、14種類の技術戦略を明らかにした。

にもかかわらず、最終的な絵姿が見えてくるには、さらに2〜3カ月を必要としよう。将来像のヒントとしては、あるのは、基本政策分科会が昨年末に公表した「2050年の各電源の整理(案)」である。これによれば、再生エネルギーは、2050年の発電電力量の約5〜6割、原子力とCCUSとカーボンリサイクルを合わせて約3〜4割、水素・アンモニアを約1割としているが、あくまでたたき台に過ぎない。

その後、分科会の委員の意見として、5つ以上のシナリオも提起された。

第一に、再エネ100%とする案。

第二に、再エネが大きい比率の案として、「再エネ70%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力10%とする案、さらに、再エネが少ない比率の案として「再エネ40%、水素・アンモニア20%、CCUSと化石火力20%、原子力20%とする案。

第四に、水素CCUS付き火力の選択肢を幅広く考える案として、「再エネ60%、水素・アンモニア20%、CCUS+化石火力10%、原子力10%」、及び、「再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力20%、原子力10%とする案【図5】。

第五に、産業側のデジタル化や、社会変容といった需要側のシナリオを複数設けるべきとして、「デジタル化による電力需要増、省エネ進展、社会変容による省エネ進展など」とする案。なお、原子力比率を20%とする場合は、【図4】で明らかのように、新增設は不可欠となる。

そして、各シナリオについて、「公益財団法人地球環境産業技術研究機構」が分析を行い、その結果を分析の前提、諸元とともに、示してもらったこととなった。4月には、その結果をもとに、2050年に加えて、2030年の議論を深めることになろう。

炭素循環シナリオの意味するもの

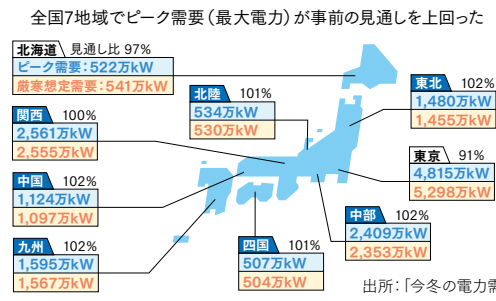
さて、当所は、毎年10月には、2050年までのエネルギー・アウトLOOKを、複数のシナリオとともに公表しているが、昨年は、「炭素循環シナリオ」を併せて公表した。当所は、通常、これまでの政策の延長を想定した「レファランズ・シナリオ」のほか、今の技術(省エネルギー、再生エネルギー及び原子力)を最大限活用してCO₂を減ら

【図7】

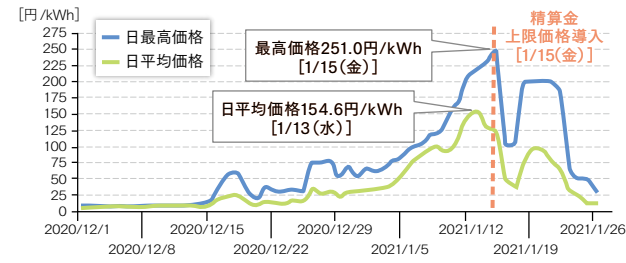
2020年12月下旬から1月中旬における電力需給の状況

- 12月下旬から1月にかけて、強い寒気の影響もあり、電力需要は昨年度の同期間と比べ大幅に増加（約1割）。
- 電力広域的運営推進機関から、発電設備の最大出力運転指示や、電力会社間の融通指示等を行うことにより、安定供給に必要な予備率（3%）を確保。
- 寒波に伴う日中韓等によるLNG需要増加、世界各地のLNG供給設備（米国、豪州、北欧など）のトラブル多発による供給量低下、パナマ運河の通航船の渋滞による輸送日数の長期化などの要因により、昨年末より北東アジア向けのLNG価格が急騰。
- 12月下旬以降、寒さによる電力需要の増加等を受け、スポット市場価格が高騰。一時、最高価格は250円/kWh、平均価格は150円/kWhを超える水準まで価格が高騰。
※2020年度の年間平均は12.1円/kWh。過去には16.5円/kWh（2013年度）等、さらに高水準であった年も存在。
- 高騰が続く市場価格への対応として、1/15（金）に供給力不足時の精算金の上限を200円/kWhとする措置を発表。これに加え、市場関連情報の公開、市場監視等の対策を実施。

1月8日の電力需要実績

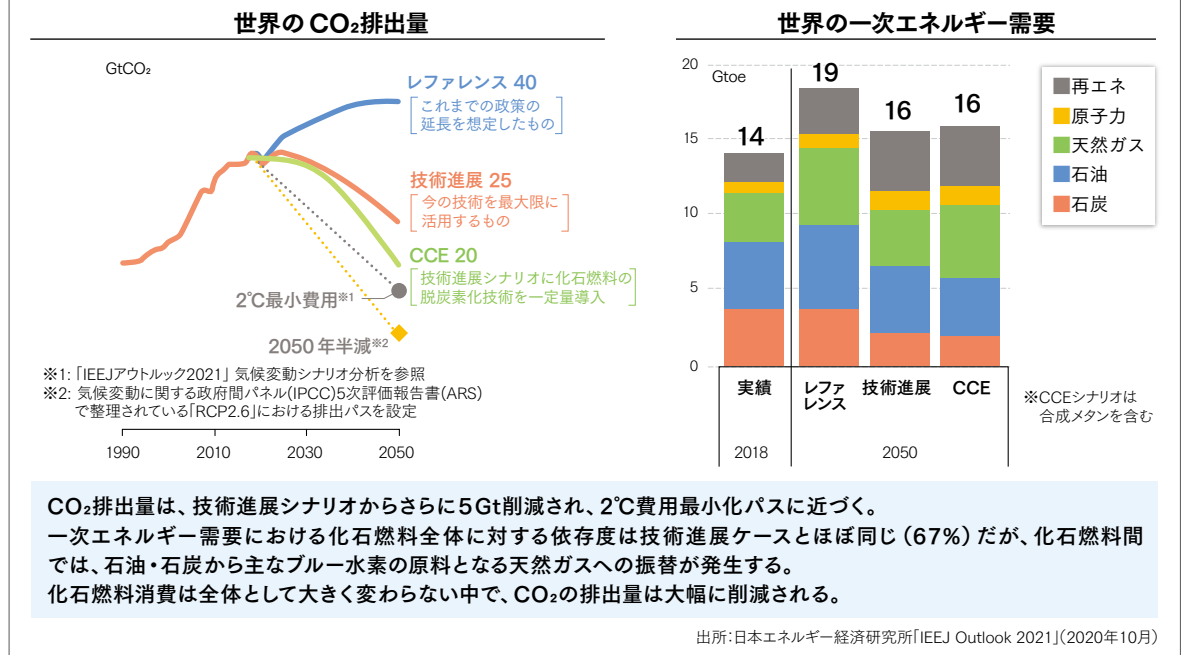


スポット市場価格の推移



【図6】

化石燃料消費量は変わらず排出量は大きく減少



「技術進展シナリオ」を有している。今回発表した「炭素循環シナリオ」は、「技術進展シナリオ」に、水素・アンモニアやカーボンリサイクル技術等化石燃料の脱炭素化技術を一定量導入すると、CO₂はどうなるのか、その場合の化石エネルギーはどうなるかを計量モデルを使ってシミュレーションしたものだ【図6】。「技術進展シナリオ」により、CO₂は現在のレベルから、世界全体で25%減少する。そこに、化石燃料の一定の脱炭素化を加える「炭素循環シナリオ」では、40%まで減少させることが可能だ。つまり、化石燃料の脱炭素化をもう少し加えれば、2°Cシナリオといわれる半減は、不可能ではない。

この場合、実は、化石燃料の構成を大きく減らす必要が無いことが分かる。しかも、水素等の輸出先は、中東であり、これに、米国、ロシアが続くことになる。

興味をもたれる向きは、是非、当所のアウトLOOKをご覧頂きたい(※1)。ここでは詳細は記さないが、メッセージは明確だ。化石燃料の輸出国が、化石燃料の脱炭素化に努めると、気候変動防止に貢献するだけでなく、自国の繁栄にも役立つことになる。ただし、同じ化石燃料を使っても、CCS等の追加コストを吸収しないと競争力が出ないことになる。従って、収益は、一定程度減らざるを得ない。つまり、化石燃料は、座礁資産にはならないが、それだけに頼って国を繁栄させるには十分ではないことになる。現在進めている多角化路線は、ますます重要となる。しかし、化石燃料も相当程度、役立つということは朗報であり、産出国も消費国も、カーボンニュートラル対応は比較的容易となる。産消協力により、気候変動対応と、国家の繁栄を両立させることが可能であろう。

※1 日本エネルギー経済研究所「IEEJアウトLOOK2021」
https://eneken.iej.or.jp/whatsnew_op/20101/01eifeiken.html

日本と米国の電力危機が意味するもの

今回のテーマからは一見離れるが、今冬の日米の電力危機について考えてみたい。厳冬のため、まず、日本において、卸電力価格が高騰し、電力危機が起きそうになり、米国テキサスでは、計画停電の導入を余儀なくされた。

日本では、厳冬が、電力需要を平年と比べ10%程度増加させ、一方で再生エネルギーの発電量を低下させた。慌てて、ガス火力の稼働率を上げようとしたが、厳冬ゆえに、中国等周辺国もガスの調達量を増やしたので、スポットLNG価格が高騰した。卸価格連動型の価格契約を結んでいた消費者は悲鳴を上げ、卸市場からの調達を専らとした一部の小売り事業者は経営の危機に陥った。幸い、一カ月弱で事態は収拾したが、卸価格に上限を設けることなどが、政策の方向性として議論されている。しかし、それでは、小売りの自由化とは何だったのかということになる【図7】。

今回の問題は、第一に、予備率を高めに維持する必要性を示し、第二に、太陽光、風力に依存する再エネと、備蓄が困難なガス火力の脆弱性を示したのではなかったのか。再生エネルギーは蓄電池などの大きな投資をしない限り備蓄できない。ガスも、石油、石炭と違って備蓄には多大なコストがかかる。

まず、予備率についてだが、最低レベルの3〜4%に近づいていることの問題点だ。自由化で競争をしているために、7〜8%という高い予備率の維持は困難である。行うべきは、容量市場を用いて、容量を増やしておくことだろう。ただし、容量があっても、今回のように、ガスのスポット市場からの入手が困難であり、価格が高騰した場合には、大きな助けにはならない。改めて重要性を見直されるのは、原子力ではないだろうか。五年間相当の備蓄があるのだから。短中期の課題としては、再稼働の加速化である。司法が安全審査まで入り込んだ判断は、手続き事項に専念する欧米主要国の考え方にそろえる必要がある。また、特定重大事故対処施設が、猶予期間中に完成しなかった場合には、これも欧米主要国の考え方を見習い、代替措置を認める必要があるのではないだろうか。

米国の状況も、大きくは変わらない。10年に一度以上にまれな厳冬により、需要が増加したうえ、風力用タービンの凍結、ガス供給の支障等が生じたようだ。一方、原子力は、短期間点検のための一部停止はあったものの、基本的にフル稼働を続けたとされている。米国でも、エ

日本の望ましき対応

これまで、カーボンニュートラルに向かう日本の課題について詳細に述べてきた。最後に、日本の望ましき対応について、整理しておきたい。

第一に、日本やアジアにおけるエネルギーの賦存量を踏まえて、現実的なカーボンニュートラル策を考えること。それは、再生エネルギーを最大限導入するが、限界があることも認識することだ。

第二に、ほとんどの資源・エネルギーを海外からの輸入に頼らざるを得ない日本にとっての原子力の重要性を再認識することだ。5年近い備蓄相当を有することを認識し、その安全保障上の重要性を共有するとともに、信頼回復を加速化することだ。

第三に、再エネ、原子力のほかに、化石燃料の脱炭素化という大きなゼロ・カーボンの分野があることを世界に示す必要がある。その場合、気候や、エネルギー賦存状況に共通点を持つインド・太平洋諸国や、化石燃料の産出国たる中東諸国や米国と協力の立場を構築することが重要である。一言でいえば、仲間づくりだ。

第四に、これらを巡っての国際ルールづくりには、大いなるリーダーシップを振るうことだ。それは、日本のためでもあるが、インド太平洋地域のためでもあり、気候変動がグローバルな問題であることからすれば、世界のためでもあるのだから。

エネルギー安全保障の在り方などの議論が改めてなされている。

国際ルール・メイキングの現状と日本のリーダーシップ

気候変動を巡って、投資金融に係る国際ルールづくりが始まっている。欧州が熱心ゆえにタクソノミー（地球温暖化防止の観点から投資行動の適・不適を分類すること）や、天然ガスのメタン規制などが、EUを中心に次々と作られる状況にある。

重要なことは、この分野において日本のリーダーシップが求められることだ。

EUは、気候変動に極めて真摯に対応している。そのことは大いに評価されるべきだが、風力に恵まれているがゆえに、再生エネルギー偏重であり、化石燃料の脱炭素化を軽視している可能性がある。しかし、問題は、EUにあるのではなく、日本を含めた他国の受動的対応にあるのだろう。今後、化石燃料の脱炭素化に関して、特にCCSやカーボンリサイクルについて標準等のルールが定められていくことになる。日本は、インド、ASEAN等インド太平洋諸国、そして中東や米国などとともに、ルール・メイキングに、積極的に参画して行く必要がある。



一般財団法人
日本エネルギー経済研究所 理事長

豊田正和
とよだ まさかず

1949年 東京都出身。

〈職歴〉

東京大学法学部卒業。プリンストンMPA修士。1973年通商産業省入省
2006年通商政策局長、2007年経済産業審議員。2010年より（一財）
日本エネルギー経済研究所理事長。

〈委員等〉

資源エネルギー庁「総合資源エネルギー調査会基本政策分科会」委員等