

論文・報告

サステイナブル社会の実現に向けて今すべきこと

～エネルギー生産性の向上による地球温暖化対策～

Measures Against Global Warming by Improving Energy Efficiency

勝俣 盛 *1

KATSUMATA Mori

平井 博彦 *2

HIRAI Hirohiko

川田 太郎 *3

KAWADA Taro

中世以降、化石燃料を手に入れた人々は、産業革命を期に、物理的に豊かな社会を獲得してきた。しかし、その過程でスクラップ&ビルドが繰り返され、モータリゼーションの浸透や大規模な森林破壊も相まって、経済発展と引き換えに地球温暖化が顕在化してきた。この問題は、二酸化炭素濃度などと相関があり、人為起源由来である説が有力である。これによって何が起きるか確定していないが、想定されるリスクを回避するためには二酸化炭素の排出抑制あるいは削減の対策を施すべきである。とりわけ排出量が多い電力分野では、国際的に化石燃料から太陽光や風力などの再生可能エネルギーへのシフトが急がれており、わが国も追従している。しかし、国内にはこれらの適地が限られており、エネルギー安全保障を確保しつつ、多様な電力源を組み合わせる必要がある。自由主義経済では、いかに素晴らしい技術であっても経済的に成立しなければ続かない。本報では、二酸化炭素排出を抑制しつつ、経済発展が可能なエネルギー生産性の向上について述べる。

キーワード：サステイナブル社会、地球温暖化、再生可能エネルギー、エネルギー安全保障、エネルギー生産性

1. はじめに

近年、地球温暖化や気候変動問題において、“座礁資産”という言葉が使われるようになった。座礁資産は、不測または時期尚早の償却、評価切り下げ、または負債への転換に見舞われる資産と定義される¹⁾。この言葉は、英国シンクタンクのカーボントラッカー²⁾が2011年に提唱したもので、長期金融市場における新たな概念である。化石燃料を活用して利潤を得る固定資産は、エネルギー転換にともない規制強化されると、廃止措置や使用制限が設けられ、耐用年数前であっても当該資産を減損処理することになる。この結果、貸借対照表がマイナスになると資金調達が困難になると忠告している。

2019年2月に、米国民民主党は環境政策で経済成長を促す“Gree New Deal”下院決議案³⁾を提出した。結果的に上院で否決されたが、この案で注目されたのが今後10年以内に国内電源を太陽光や風力のような二酸化炭素排出量ゼロの再生可能エネルギーに100%切り替える目標であった。これに対して、米国シンクタンクのマンハッタン政策研究所のマーク・マイルズ氏は、この目標を実現することは当面不可能だと批評した⁴⁾。米国内で昼間に微風かつ曇天で、あるいは夜間に微風で設備利用率の計画値に達しないと想定される日が過去100年間で10回以上発生しており、太陽光発電や風力発電を組み合わせたとしても、現在の技術では大規模な蓄電池設備が

必須になる。2日間分の電力需要を想定すると、蓄電池の原材料の調達や生産に要する時間およびその費用などを鑑みると、非現実的であると指摘している。

地球温暖化によって何がもたらされるか確定していないが、地球温暖化は二酸化炭素を主とした温室効果ガスの濃度との相関が認められる⁵⁾。その主因が、人為起源由来の説が有力である以上、その排出量を抑制、あるいは積極的に削減すべきである。

サステイナブルな社会とは、取り組みによって皆が利益を享受できるものでなければならない。地球温暖化を抑制しつつ、経済成長を促す取り組みは、エネルギー生産性の向上である⁵⁾。本報では、主要国の地球温暖化や発電コストの現況、再生可能エネルギーの動向などを整理するとともに、温室効果ガス削減と経済発展が可能な取り組み方法について述べる。

2. 地球温暖化に対する主要国の動向

石油スーパーメジャーの一つである英国BP社は、毎年6月に“BP Statistical Review of World Energy (以下、BP統計)”を公表している。BP統計は、世界的なエネルギー需給などを、主要国別、地域別に集計しており、近年は再生可能エネルギーや二酸化炭素排出量なども網羅している。同2020年版⁶⁾によれば、燃料燃焼に由来した二酸化炭素排出量は全世界で合計34169百万t(100%)であった。2019年のシェア上位国は、中国9826百万t(28.8%)を筆頭に、米国4965百万t(14.5%)、イン

*1 川田工業(株)橋梁事業部工事部東京工事部 次長
*3 川田工業(株)事業企画部 部長

*2 川田工業(株)事業企画部ECO事業室 室長

ド 2480 百万 t(7.3%), ロシア 1533 百万 t(4.5%), そして日本 1123 百万 t(3.3%)の順であった。1980 年から 2019 年までの推移を, EU 加盟国も併せて **図 1** に示す。

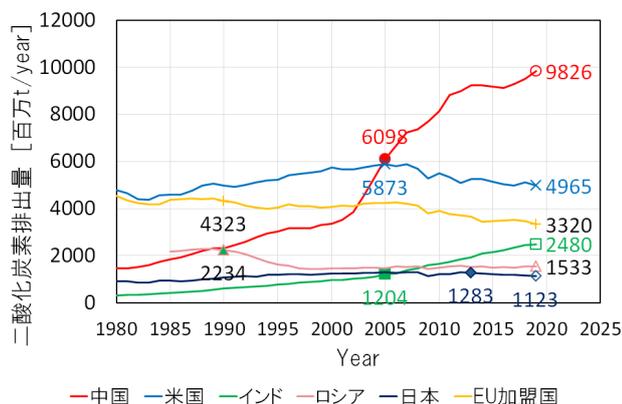


図 1 主要国の二酸化炭素排出量⁶⁾

国際社会は, 1992 年に国連下で, 大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目標とする“気候変動に関する国際連合枠組条約(以下, 気候変動枠組条約)”を採択して, 地球温暖化対策に世界全体で取り組むことに合意した。1995 年より, 気候変動枠組条約に基づいて, 気候変動枠組条約締約国会議(COP)が毎年開催されており, 2016 年に発効した“パリ協定”に基づいて, 各国は自国の事情に合わせた温室効果ガスの削減, 抑制目標を策定している。主要国の約束草案を **表 1** に示す。なお, 中国は自国が新興国であると主張して, 総量規制ではなく国民総生産(以下, GDP)当たりの削減目標を申告している。

表 1 主要排出国の約束草案⁷⁾

国名	削減目標	削減基準年
中国	2030 年までに 60~65%*削減 (2030 年前後に CO ₂ 排出量のピーク)	2005 年比
米国	2025 年までに 26~28%削減	2005 年比
インド	2030 年までに 33~35%*削減	2005 年比
ロシア	2030 年までに 70~75%に抑制	1990 年比
日本	2030 年までに 26%削減 (2005 年比では 25.4%)	2013 年比
EU 加盟国	2030 年までに 40%削減	1990 年比

*GDP 当たりの二酸化炭素排出量

図 1 より, 排出量は中国, インドが増加, それ以外が減少している。2018 年 3 月に, 中国気候変動事務特別代表の解振华氏は, 「国内の排出量取引システムにより, 予定より 3 年早く 2020 年の二酸化炭素排出削減目標を達成した」と発表した⁸⁾。GDP 当たりの二酸化炭素排出量(1990~2017 年)を見ると, 各国とも, 削減目標に向けて経年的に減少している。しかし, 国民一人当たりの二酸化炭素排出量で整理すると, 中国は 4.148kg/US\$から 6.678kg/US\$に増加している。その値はニュージーランド 6.673kg/US\$やノルウェー 6.587kg/US\$といった先進国よりも多い。ドナルド・トランプ米大統領がパリ協定

からの離脱を表明した理由はここにあり, 同氏の政策を一概に否定できない。

3. 再生可能エネルギーの動向

(1) 主要国の発電量

2019 年の発電量は, 世界計 27004TWh(100%)であった⁶⁾。この電源構成と中国 7503TWh(27.8%), 米国 4401TWh(16.3), 日本 1036TWh(3.8%)および欧州 3993TWh(14.8%)の内訳を **図 2** に示す。中国は石炭火力, 米国は天然ガス火力が主力であることがわかる。欧州は国毎にエネルギー政策が異なるため, バランスよく分散している。送電網の補強により, 国間で融通できることから, 一部の国が石炭火力を全廃して再生エネルギーに置換すると宣言できる一因でもある。

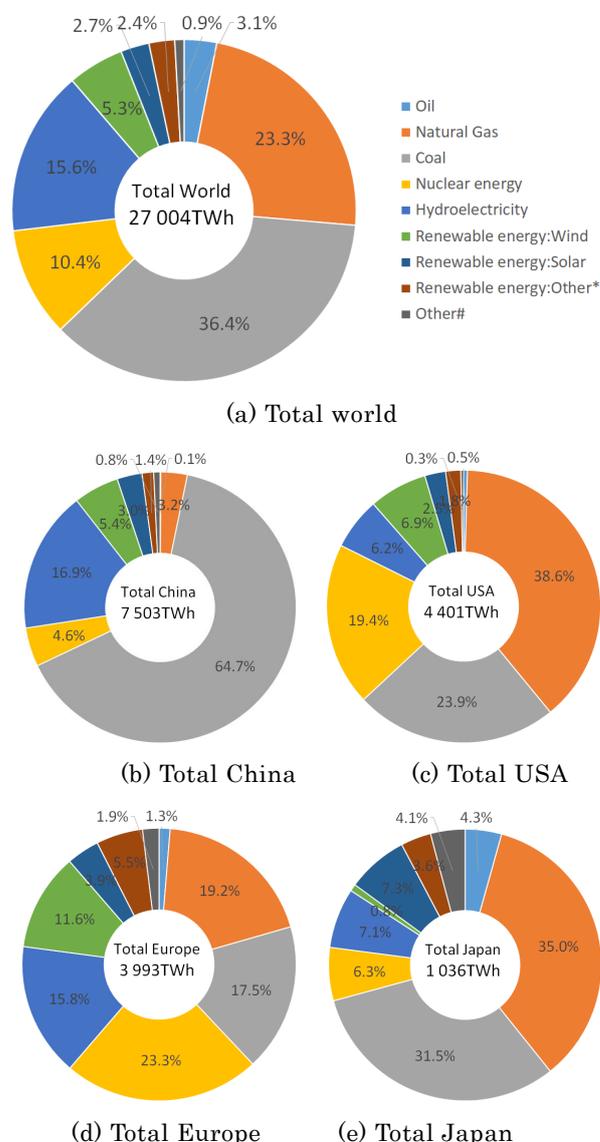


図 2 2019 年の電源構成(世界計 27005TWh)⁶⁾

また, 2018 年の値と比較すると, 中国+337TWh, 米国-56TWh, 欧州-74TWh および日本-20TWh であった。中国は全ての電力源を増やしている。石炭火力の削減分を, 米国は天然ガスに, 欧州は天然ガスと再生可能エネ

ルギーに置換している。わが国は、石油火力と天然ガスを減らし、再生可能エネルギーと原子力を増やしている。

(2) 原子力発電

全世界で、原子力発電力量の推移を図3に示す⁶⁾。2019年における発電量は2796TWh(100%)で、シェア上位国は、米国852TWh(30.5%)を筆頭に、仏国399TWh(14.3%)、中国349TWh(12.5%)、ロシア209TWh(7.5%)、韓国146TWh(5.2%)の順であった。わが国は66TWh(2.3%)であった。東日本大震災前が292TWhであったことを鑑みると、2019年にはこの差分226TWh相当を天然ガス、石炭および再生可能エネルギーなどに置換したことになる。

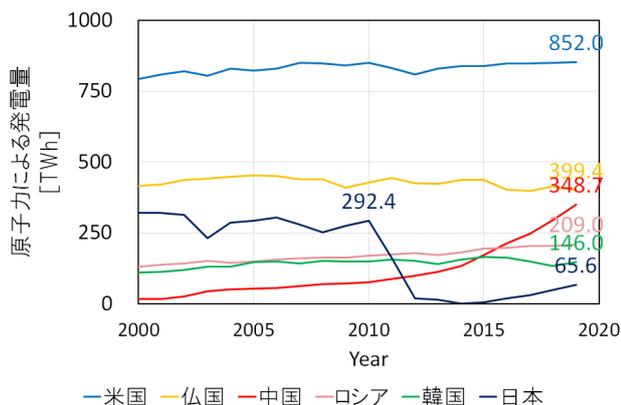


図3 原子力による発電量の推移⁶⁾

米国と仏国における原子力発電所の建設コストを分析した結果がある(図4)⁹⁾。縦軸左側が米国(赤い四角が平均値、単位:2004年時のUS\$)、右側が仏国(青い三角形が平均値、単位:1998年時のFF)の建設コストを表す。

横軸が当該年の発電容量(GW)である。これより、経年的に発電容量が大きくなっているにも関わらず、建設コストが上昇していることがわかる。一般的に、研究開発によって新しい製造方法が開発されると生産工程の改善や促進によって、コストは低下する。また設備の大型化やプレハブ化でも低下する。

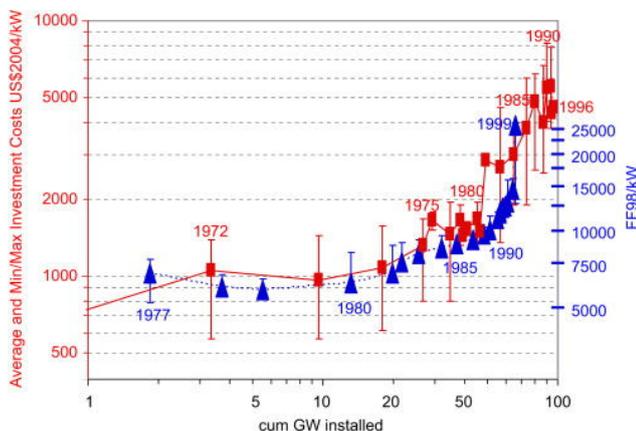


図4 原子力発電所の建設コスト⁹⁾

しかし、米国と仏国の原子力発電所では時間とともに設備費用が高くなるという逆転現象が観察された。これを“ネガティブ・ラーニング(負の学習)”という¹⁰⁾。これは経年的に安全規制の強化などにより、その対策費が嵩むことに起因する。福島第一原子力発電所事故以降は、新たな知見を踏まえた地震、津波対策などが求められるようになった。

ネガティブ・ラーニングを単純化すると図5のように表せる。横軸を時間(年)、縦軸を発電単価(円/kWh)とすると、青線のような右下がりの曲線(学習曲線)が得られる。しかし、国が成熟してくると間接的なコストの負担が増加するので、赤線に移行して発電コストが上昇するようになる。

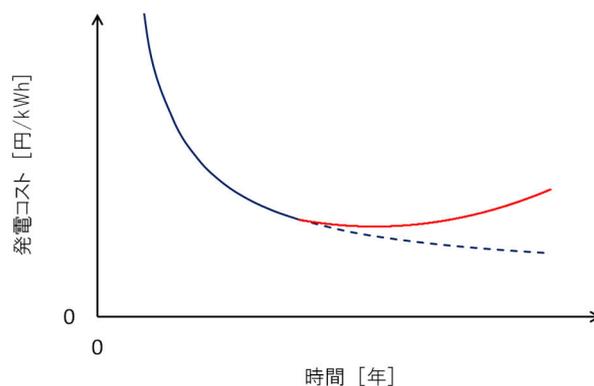


図5 ネガティブカーブ¹⁰⁾

発電所のコストは発電原価と社会的費用に分けられる。発電原価とは、発電施設の建設と運用に関わるコストで、具体的には施設の建設費、燃料費、運転維持費、また原子力であれば使用済みの核燃料を加工して再度燃料として利用する核燃料サイクル費や、廃炉措置をとった場合にかかる費用などを含む。社会的費用とは、賠償費用などの事故リスク対応費用と建設地への立地交付金などのことで、施設の運用に間接的に関わるコストである¹¹⁾。原子力を選択するうえでは、人形峠¹²⁾と同じ放射能汚染問題をウラン生産国の地元住民や鉱山労働者に強いることがないように、今後は“受益者負担の原則”からその処理費用を負担しなければならない。

表2 4Sの3つの特徴¹⁴⁾

項目	既設炉	4S
燃料交換	ほぼ毎年実施	40年間不要
出力制御	原子炉内の制御棒で制御	原子炉外の反射炉体で制御
事故後の冷却	全停電防止対策を徹底	自然対流で冷温停止可能

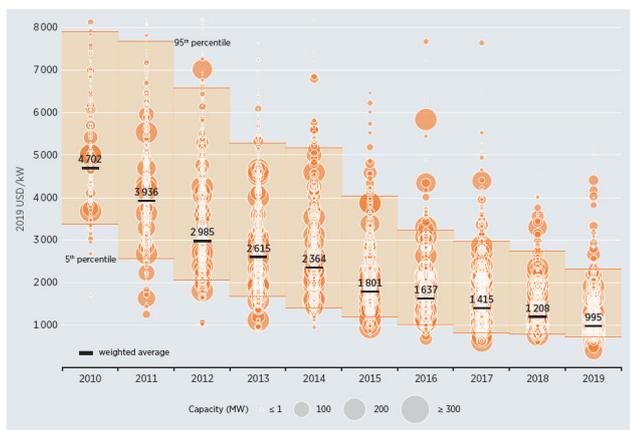
これまでは、イニシャルコストが高額なために、スケールメリットで経済性を高めようと、“より大きく(出力100万kW以上)”が趨勢であった。しかし近年は、小型モジュール化した炉心(出力数万kW)を必要量足し合せ

ることで、目的の設備容量に調整できる。これにより、工場生産が可能で、安全性と品質を向上しつつインシヤルコストを低減できる。例えば、電力中央研究所と東芝が共同開発した小型高速炉4Sは、出力5万kWの場合、炉心の直径が約1m弱で、高さが約4mである¹³⁾。さらに表2に示す通り、安全性を高めるため既設炉とは全く異なる3つの特徴を有している。既設炉と比較して安全性が大幅に改善されるとともに、経済性にも優れている。

(3) 太陽光発電

イタリアでは再エネ導入コストが配電会社の系統利用料金に上乗せされることで需要家の負担増(2012年時点で家庭用電気代の約20%)を招いた。政府は、この再エネ電力支援費用の無制限な膨張を阻止するために、太陽光電力で年間67億€, その他の再エネ電力で同58億€の上限枠を設定した。太陽光電力に関してはすでに限度額に到達しており、2013年7月に新規設備に対する固定価格買取制度(以下、FIT制度)は廃止されている。

2010~2019年に設置され太陽光発電の設置費用を容量で除した加重平均値を図6に示す¹⁵⁾。2010年の4702US\$/kWから2019年の995US\$/kWに、21.2%に低減した。



Source: IRENA Renewable Cost Database.

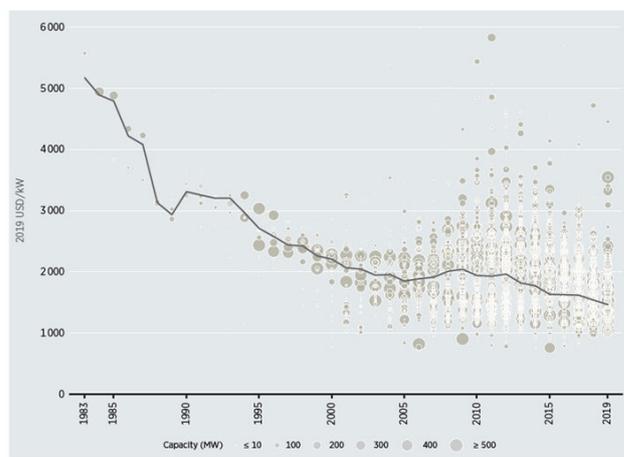
図6 太陽光発電の設備コストの加重平均¹⁵⁾

太陽電池市場は、かつて日本企業の独壇場であった。2000年代半ばになると、日本企業は狭い住宅屋根で経済的なメリットを出すために、発電効率の向上に注力した。一方、中国企業は海外市場を見据えて、既存技術を採用することで、技術面でのリスクを下げて、規模の経済を追求するための投資リスクを取った。中国企業は単結晶シリコンや多結晶シリコンに焦点を絞り、技術開発よりも生産効率化を徹底した結果、生産コストを下げることで安価な製品供給が可能になった。大規模な設備投資を行い、生産コストを下げる戦略は、大きな市場を見込めるからこそ成立する¹⁶⁾。パネルの発電効率に執着した日本企業を、発電事業の収益性に焦点を当てドイツ企業が抜き去った。しかし、それから間もなくすると、太陽光

市場の特性を捉えてグローバル市場に焦点を当てた中国企業が世界を席巻する結果になった。

(4) 風力発電

1983~2019年に設置され陸上風力発電の設置費用を容量で除した加重平均値を図7に示す¹⁵⁾。1983年の5179US\$/kWから、2019年の1473US\$/kWに28.4%に低減した。一見すると、学習曲線に載っているように見える。上記主要国について、2000~2019年を抜粋すると、新興国(中国、インドなど)は経年的に低減しているが、先進国(米国、英国、ドイツなど)はネガティブ・ラーニングにより滞っているように見える(図8)。一方、わが国は、欧米と比べて設備規模が小さく、隣接地での集積効果が乏しくボリューム効果が期待できない。また、僻地や山岳設置が多く、土地造成、アクセス道路の工事なども含まれるために、総じて工事費が海外よりも高くなる¹⁷⁾。



Source: IRENA Renewable Cost Database.

図7 陸上風力発電の設置コストの加重平均¹⁵⁾

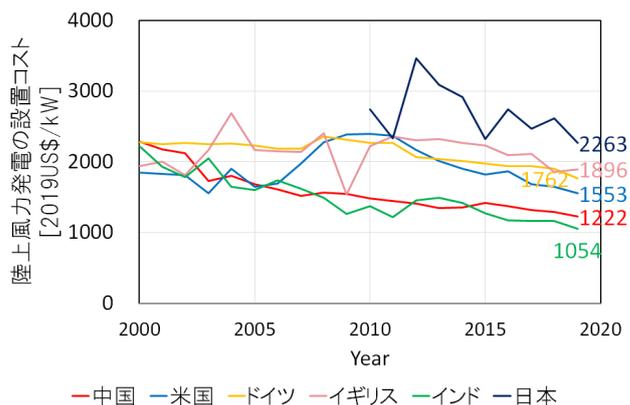


図8 主要国の設置コストの加重平均¹⁵⁾

一般的に、海外の陸上風力は“Wind Farm”と呼ばれ、大規模な集合型なものになると36km²の敷地に320基のタービンを設置している。設置間隔がブレード直径の5~10倍なので壮観である。しかし、かねてより渡り鳥のバードストライクが問題になっており、さらに先進国では景観破壊との指摘もある。ドイツでは送電線の埋設

を求めて住民運動も起こった。また、騒音問題から、居住地域から1km以内に建設できなくなった。このため、これらの対策費が必要になり、設置コストの上昇を招いている。陸上風力の設置場所が限定されるなど、陸上風力のコストが合わなくなり、洋上風力が躍進する一因にもなっている。

(5) 地中熱利用

地熱とは異なり発電に用いることはできないが、ヒートポンプなどの熱源に利用することで、空調や給湯など、化石燃料よりも高効率で熱供給できる。地中熱ヒートポンプは、架橋ポリエチレン樹脂製のパイプ式熱交換器を地中に埋設して、浅層の熱エネルギーを活用するものである。しかし、この熱交換器を埋設する費用が高額で、普及の妨げになっている。このため、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が主体になって、民間企業とともにコスト削減を目的に、研究開発に取り組んでいる。

川田工業では地中熱利用の更なる高効率化や熱交換器の埋設費用の低廉化を図るのでなく、要求頻度とコストバランスを鑑みて、地中熱と空気熱を組み合わせる出力制御する空調システム“GEOneo®ハイブリッド”を構築した¹⁸⁾。空調の要求負荷がピークになるのは、年間に数日しかない。安全率も考慮して地中熱交換器を設計すると、発生頻度が高いピーク負荷60~70%に対しては、過大な設備になる。そこで、ピーク負荷の60%程度を地中熱で賄い、残りを空気熱で充当した。これにより、地中熱のみで構成した設備よりも、イニシャルコストを低減しつつ、ランニングコストを同程度に抑制できる。



図9 GEOneo®ハイブリッドシステム

2020年2月より当該設備(図9)を導入した小城製菓¹⁹⁾の亀岡工場事務所棟の運用実績を図10に示す。機器稼働時間8:00~20:00における電力使用量、平均気温が縦軸、日付が横軸である。電力使用量は、地中熱(10馬力)をWHP、その補機をLP1, LP2, 空気熱(10馬力)をEHPで表す。2月、3月は機器計測データを確認するために手動操作で運用したが、それ以降は自動制御とした。こ

れより、7月中旬から8月中旬まで、WHPがベースロードになり、不足分をEHPで補給していることが確認できる。なお、本設備では工場廃熱を活用しており、暖房時のWHP使用電力が少ない。このように、温熱に限らず、他熱源を足し合わせることで、エネルギー生産性の向上を図っている。

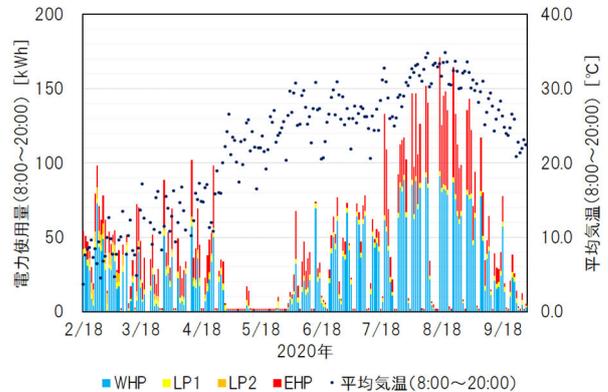
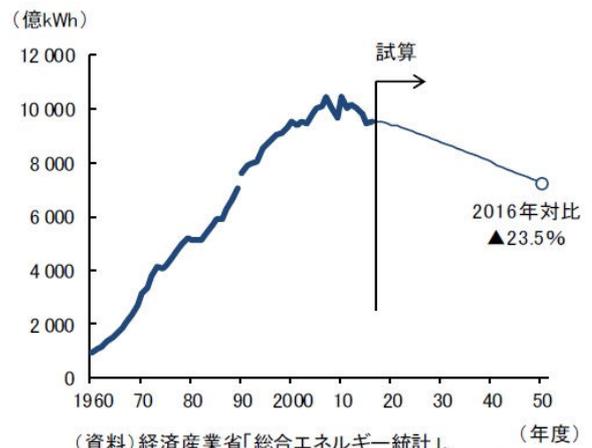


図10 GEOneo®ハイブリッドの電力消費実績

4. 今後の課題

(1) 電力需要の減少

国内シンクタンクの日本総研は、長期的な電力需要を予測している²⁰⁾。このなかで、製造業の電力消費は経済成長に伴う生産の増加が押し上げに作用するものの、生産効率の向上や、機械工業など電力小消費型業種へのシフトが続き、概ね横ばいの推移が見込まれると指摘している。一方で、業務他部門および家庭部門の電力消費は、人口、世帯数の減少や、省エネ機器の幅広い浸透などから、大幅に減少する公算が大きいと考察している。



(資料)経済産業省「総合エネルギー統計」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」などを基に日本総研作成 (注)1990年度以降、統計作成方法が変更されている。

図11 わが国の電力消費²⁰⁾

また、運輸部門では、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)の普及が新たな電力需要押し上げ要因になるものの、わが国の電力消費全体に与える影響は限定的にとどまると予想している。各部門の試算結果を総合すると、わが国の2050年の電力消費は7268

億 kWh, 2016 年対比-23.5%と, 1990 年代初めを下回る水準まで減少する見込みである(図 11)。

(2) 再生可能エネルギー発電促進賦課金の負担増

FIT 制度は, 再生可能エネルギー源(太陽光, 風力, 水力, 地熱, バイオマスなど)を用いて発電された電気を, 国が定める価格で一定期間電気事業者が買い取ることを義務付ける制度である。電力会社が買い取る費用の一部を, 需要家から賦課金という形で集めている。わが国の賦課金の推移を図 12 に示す。



図 12 賦課金の推移²¹⁾

2020 年度の買取総額は 3 兆 8478 億円と見込まれ, すでに第 5 次エネルギー基本計画²²⁾のベースとなるエネルギーミックスにおいて「2030 年度の導入水準 (22~14%) を達成する場合の FIT 制度における買取費用総額を 3.7~4 兆円程度」とした領域に入ってしまったことになる。また賦課金単価も 2.98 円/kWh になり, 家庭用で電気料金の 10%超, 産業用で 20~25%を占める負担となっている²¹⁾。2019 年の二人以上世帯の電気代が, 平均 10825 円/月²³⁾であったことを考慮すると, これまでは広く浅く徴収していたことがわかる。2017 年 4 月には改定 FIT 法が施行されたが, 2030 年度の再エネ比率 24%を実現するためには, 買取総額が約 4 兆 5700 億円に達するとの試算もある²⁴⁾。需要家にとっては, さらなる負担増が見込まれる。

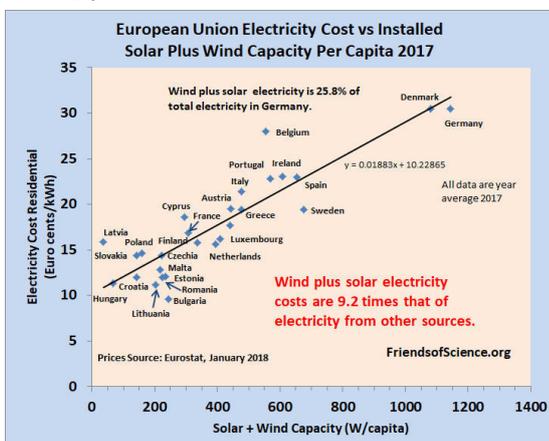


図 13 家庭用電気料金と太陽光+風力の発電容量²⁵⁾

カナダの非営利団体フレンズ・オブ・サイエンスは, 2017 年のデータをもとに, EU 加盟国の家庭用電気料金平均額と国民一人当たりの太陽光+風力の発電容量の相関を調査した(図 13)²⁵⁾。これらを加重平均すると, 右肩上がりの線形に近似できる。つまり発電容量が増えるほど, 電力需要家の負担が増えることを意味する。これらの発電単価は, 太陽光と風力がない場合にバックアップ用のガス発電設備などが必要になるので結果的に 9.2 倍になると主張している。

5. 今すべきこと

(1) マッキンゼー&カンパニーの提言

米国コンサルティングファームのマッキンゼー&カンパニーは, 2003 年に地球温暖化に関する特別研究グループを立ち上げて, 低炭素技術の開発に関する最新の評価やマクロ経済評価, さまざまな地域や業界での削減の可能性を詳細に検討している。コスト見積もりに加えて資金調達や, 削減シナリオなども想定している。これらを取りまとめて, 温室効果ガスの排出を削減する最も効果的な対策と, それらに関わるコストを綿密に計算したレポートを発表した。その中で, 最も有名な分析結果が図 14 に示した“地球の温室効果ガス削減コストカーブ ver2.0”である²⁶⁾。縦軸が“二酸化炭素換算の温室効果ガスを 1t 削減するのに必要なコスト(€/tCO₂eq)”, 横軸が“実現可能な二酸化炭素削減ポテンシャル(GtCO₂eq/year)”で, コストの低い対策を左から順に並べて表現している。削減コストの考え方は文献 27 を参照されたい。

この図は世界全体を対象としているが, その時点における個々の二酸化炭素削減対策のコストおよび規模の比較や全体での温室効果ガス削減見込量の把握などに役立つことができる。例えば, 左端の“家庭用照明を白熱球から LED へ変換”は, LED の投資コストから白熱電と LED のランニングコストの差額を差し引くと, 経時的に正味マイナスになる。つまり, 投資費用よりも差益が上回ることを意味する。温室効果ガス削減ポテンシャルは僅かであるが, ボリュームに比例するので, 数量が集まれば削減コストは相応の金額になる。このように, 削減コストがマイナスの対策は, 二酸化炭素排出量を削減しつつ, 経済的利益を得ることができる。一方, 右端に行くに従い削減ポテンシャルが大きく, 削減コストが高くなる対策は, 投資コストが高額になるので, 研究開発により生産性の向上やコスト低減などが望まれる。

(2) コスト障壁のトンネル効果

システムのエネルギー消費を改善するために, 構成要素単体の効率化を推進すると, ある段階になると費用対効果の限界を迎える。これを図で示すと, 図 15 の青線のとおりになる。縦軸が“効率改善のための限界費用”,

横軸が“削減されるエネルギー量”である。収穫逡減の法則に従うので、効率の向上は拡大するものではなく、次第に減少する。その結果、費用対効果の限界になると改良を停止することになる。しかし、さらにエネルギー量を削減するために、構成要素とそれに付随する要素も加えると、費用は増加するが、あるとき急にまた費用が掛からなくなる。これを“トンネル効果”と呼び、再び十分な費用対効果が出せようになる。

国際的な環境教育団体ナチュラルステップ主宰のポール・ホーケン氏らは「コスト障壁を飛び越えるには、いままでの知識を捨てて、新しい知識を取り入れるのではなく、既にもっている知識を並び替えて新しいパターンを作り出すことが必要である」と主張している²⁸⁾。

例えば、建物を建てる時に、初めから断熱性能に優れた壁材や窓を採用すると、一般的にインシヤルコストは高くなる。しかし、採光を良くして、トップランナーの照明やOA機器などを導入すると、空調設備の容量を小さくできる。結果的に、ランニングコストを大幅に削減できる。また、工場や建物に組み込まれているポンプと配管を設計する場合には、ポンプ本体の効率化を図るのではなく、弁、屈曲や配管径などの配管抵抗を見直すことでポンプの搬送動力を削減する。従来は、配管を決めた後に、必要能力のポンプを選定している。しかし、エネルギー資源が最も貴重になるこれからの時代は、先ずエネルギー効率の最大化を優先することが求められる。

(3) エネルギー管理とレトロフィット

米国実業家のマイケル・ブルームバーグ氏は、著書²⁹⁾の中で「測れないものは管理できない」、また共著者の米

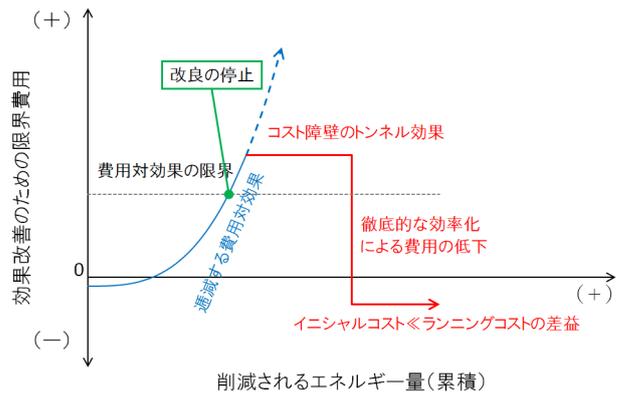


図 15 コスト障壁のトンネル効果²⁸⁾

国自然保護団体シエラクラブ元会長のカール・ポープ氏は「規制なしのイノベーションは成功しない」と記している。ブルームバーグ氏がニューヨーク市長在任時に、市が所有するビルの二酸化炭素排出量を 30%削減すると宣言するとともに、主な不動産所有者にも働きかけた。

エンパイアステートビル(ESB)は、クリントン気候イニシヤチブ(CCI), ロッキーマウンテン研究所(RMI)などと共同で、同ビルの省エネ改修プロジェクトを立ち上げた³⁰⁾。総額約 5 億 US\$超を投じた大規模改修で最も注力したのは省エネ化であった。エンパイアステートビルは、第二次世界大戦前に、当時の最先端技術で建設されたニューヨーク市の発展を象徴する建物である。102 階建て、延べ床面積が 280 万 ft²で、店舗、オフィスなどが入居している。時を経て老朽化し、冬場は熱を逃がし夏場は冷気を逃がすなど、最新のビルに比べてはるかに非効率なビルになった。省エネ改修の内容は、6514 箇所窓ガラスを新素材の 3 層ガラスに更新、ラジエータ断熱

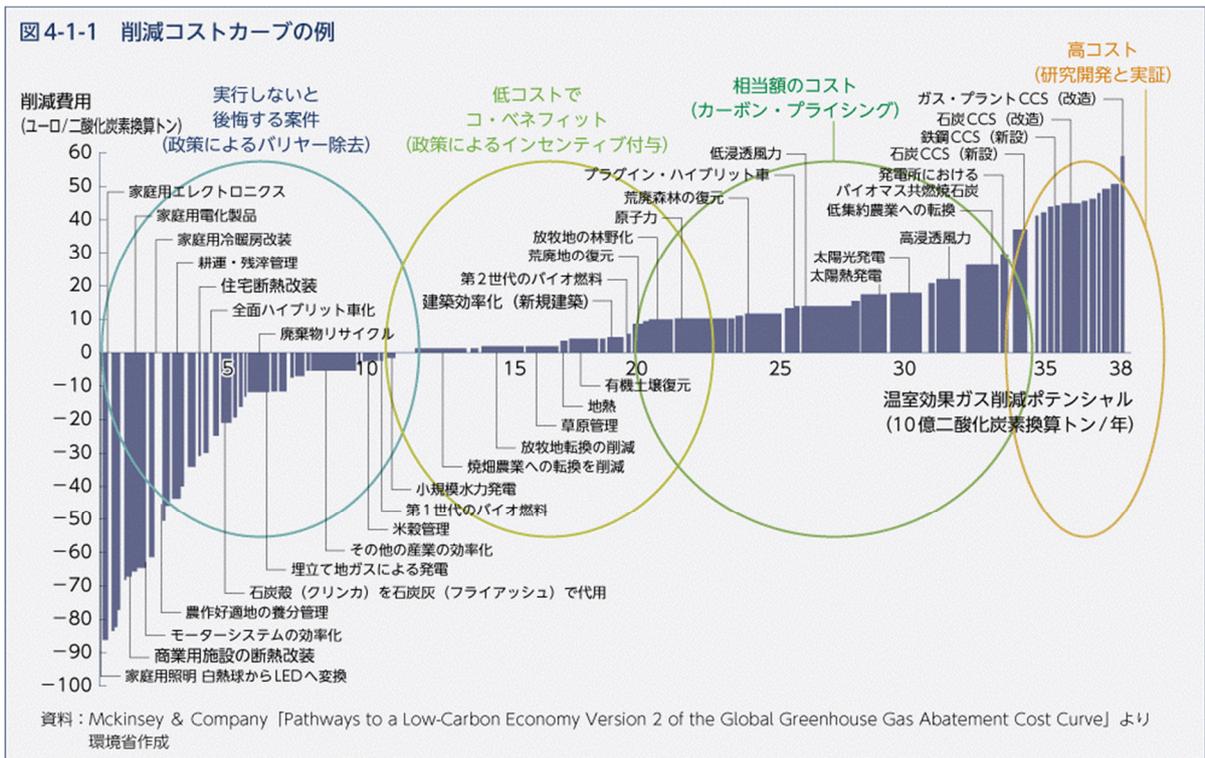


図 14 グローバルな温室効果ガス削減コストカーブ²⁷⁾

によるペリメータゾーンの熱損失削減およびエネルギー管理システムの導入などであった。

大規模改修は2006年に始まり、2013年に完了した。ビル全体の年間エネルギー使用量は費用換算で約750万US\$削減した³¹⁾。省エネ改修にかかった費用は約2000万US\$で、3年余りで回収された。これにより、リノベーションが複雑で費用が嵩みがちな歴史的な建造物でさえ、レトロフィットにより利益を生むことが実証された。

6. おわりに

二酸化炭素排出ゼロの水素エネルギーなどが経済的に自立するまで、今暫くは天然ガス火力が主力となり、原子力、太陽光および風力などの導入が促進されるものと思われる。このため、天然ガス価格の上昇、社会的費用や賦課金負担の増加にともなう電力料金の上昇などが懸念される。持続可能な温室効果ガス削減対策は、エネルギー生産性を向上させることであり、オイルショック時のように我慢する節電ではない。エネルギー変換効率の高い電化製品や空調設備などを選定し、建物断熱の改善(外断熱、屋上緑化など)とともに、電力消費が少ない照明(LED、CCFL など)や生産技術(ヒートポンプ、インバータなど)の積極的な導入である。その際に、要素単位で改善するのではなく、検討対象全体のランニングコストを踏まえたシステム思考で取り組むことが肝要である。

米国実業家のビル・ゲイツ氏は、アトランティック誌の2015年11月号で、地球温暖化に関して“*We need an Energy Miracle*”^{32),33)}と思いを述べている。この中で、風力発電と太陽光発電について、これらの間欠性を補完する送電網規模の経済的な電力貯蔵技術が解決していないこと、発電コストが化石燃料よりも安価になったという発信が誤りであることを指摘している。また、気候変動の問題解決には、時間と費用がかかるので、エネルギー分野へ投資拡大の必要性も語っている。さらに、「10年後には、これまでにない画期的なイノベーションによって、この問題を解決しているであろう」と楽観視しつつ、「これから15年以内にこれを解決できなければ、2℃、3℃、4℃と順次上昇する気候変動の実験に立ち会うことになる」と締めている。

参考文献

- 1) Smith School of Enterprise and the Environment : 日本における座礁資産と石炭火力、環境関連リスク・エクスポージャーの分析報告書, 2016.5.
- 2) <https://carbontracker.org/>
- 3) H.RES.109 : Recognizing the duty of the Federal Government to create a Green New Deal, 2019.2.
- 4) Mark P. Mills : The “New Energy Economy” : an Exercise in Magical Thinking, Manhattan Institute, 2019.3.
- 5) Richard A. Muller : エネルギー問題入門, 楽工社,

二階堂行彦訳, 2014.7.

- 6) BP : BP Statistical Review of World Energy June 2020, 2020.6.
- 7) 久保田泉 : 各国が提出した INDC(約束草案)の合計は2度目標の達成に十分なのか、全国地球温暖化防止活動推進センター, 2015.12.
- 8) UNFCCC : China Meets 2020 Carbon Target Three Years Ahead of Schedule, News, 2018.3.
- 9) Arnulf Grubler : The costs of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing, Energy Policy, 38(9), 5174–5188, 2010.9.
- 10) 杉山大志 : 風力発電は環境コストの増加に耐えられるか、国際環境経済研究所, 2019.9.
- 11) 大島堅一 : 原子力発電の費用と負担, 第21回メタ科学技術ワークショップ, 神戸大学先端融合研究環, 2018.5.
- 12) 小出裕章 : 人形峠ウラン鉱山などの汚染と課題, 京都大学原子力実験所, 第79回原子力安全問題ゼミ, 2000.9.
- 13) 太田裕之, 福家賢 : 小型高速炉 4S と高速炉技術, 東芝レビュー, Vol.65, No.12, 2010.12.
- 14) 諸葛宗男 : 安全性の高い小型炉は将来型原子炉として定着できるのか, GEPR, 2020.1.
- 15) IRENA : Renewable Power Generation Costs in 2019, 2020.6.
- 16) 井熊均, 王婷, 瀧口信一郎 : 中国が席卷する世界エネルギー市場, 日刊工業新聞社, 2019.1.
- 17) 木村啓二, 北島亮 : 日本の風力発電コストに関する研究, 自然エネルギー財団, 2017.6.
- 18) 勝俣盛, 串田勝治, 川田太郎 : GEOneo@ハイブリッドシステムの導入効果(第2報), 川田技報, Vol.39, 2020.1.
- 19) <http://www.koshiroseiyaku.co.jp/index006.html>
- 20) 藤山光雄 : 2050年の電力消費は2016年対比2割減, 日本総研, Research Focus, No.2018-003, 2018.5.
- 21) 再エネ普及政策研究会 : FIT 実績単価に関する一考, 国際環境経済研究所, 2020.4.
- 22) 資源エネルギー庁 : エネルギー基本計画, 2018.7.
- 23) 総務省統計局 : 家計調査報告(家計収支編), 2019年(令和元年)平均結果の概要, 2020.2.
- 24) 朝野賢司, 尾羽秀晃 : 2030年における再生可能エネルギー導入量と買取総額の推計, 電力中央研究所研究資料, No.Y19514, 2020.3.
- 25) Friends of Science : Solar and Wind Power Cost about 9 Times That of Electricity from Other Sources, 2017.
- 26) McKinsey&Company : Pathways to Low-Carbon Economy, Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, 2009.1.
- 27) 環境省 : 環境白書・循環型白書・生物多様性白書(平成24年版), 2012.6.
- 28) Paul Hawken, Amory Lovins, L. Hunter Lovins : 自然資本の経済, 佐藤隆光監訳, 日本経済新聞社, 2001.10.
- 29) Michael R. Bloomberg, Carl Pope : HOPE, 国谷裕子監訳, ダイヤモンド社, 2018.10.
- 30) CCI, JCI, JLL, RMI, ESB : Empire State Building Case Study, 2009.
- 31) Clinton Foundation : Innovative Empire State Building Program Cuts \$7.5M in Energy Costs Over Past Three Years, 2014.8.
- 32) 手塚宏之 : 再エネで脱炭素は幻想である(2), 国際環境経済研究所, 2019.6.
- 33) Bill Gates : We need an Energy Miracle, The Atlantic, 2015.11.