

再生可能エネルギーによる 原子力発電代替の可能性

倉阪 秀史

千葉大学法経学部教授

再生可能エネルギーに対する三つの誤解

3月11日に発生した東日本大震災によって福島第一原子力発電所の冷却設備機能が失われ、1号炉から3号炉までがメルトダウンを引き起こすという事態が発生してしまった。広範な地域の人々の生活基盤が失われるとともに、放射性物質が広域に撒き散らかされる状況となり、未だ事態は収束されていない。このことに伴い、原子力発電のリスクが改めて認識され、地震国において原子力発電を維持していくかどうか議論の俎上に上っているところである。

脱原発を進める場合、化石燃料に依存することは避けなければならない。第一に、温暖化対策の観点から適切ではない。第二に、化石燃料価格の上昇が見込まれる中、化石燃料依存は日本経済の費用を増加させ、経済を脆弱にしてしまう。このため、脱原発は、再生可能エネルギーの大量導入とセットで語られなければならない。

くらさか ひでふみ

1964年生。東京大学経済学部経済学科卒。専門分野は、環境政策論、環境経済論。1987年-1998年環境庁勤務を経て現職。

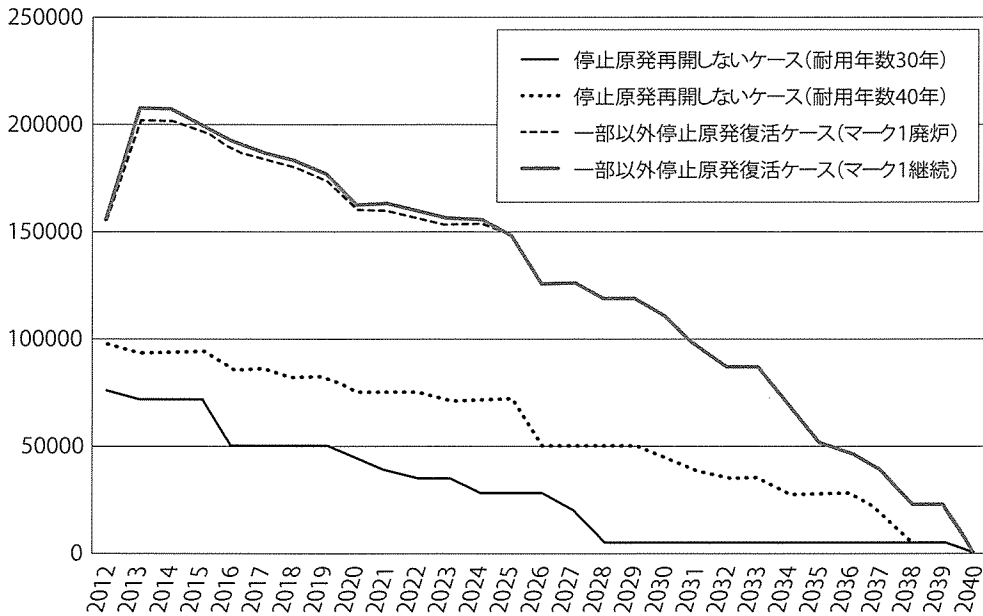
著書に、『環境政策論 第二版』信山社、『環境を守るほど経済は発展する』朝日選書、『環境と経済を再考する』ナカニシヤ出版、など。

しかし、再生可能エネルギーについては、さまざまな誤解がはびこっており、依然として、脱原発に踏み切れない人々が存在する。

再生可能エネルギーへの第一の誤解は、日本は資源小国であるという誤解である。実は、日本は再生可能エネルギーという側面では資源が豊かな国といえる。地熱資源はインドネシア、アメリカについて世界3位であり、降水量は世界6位である。地熱や流れ込み式水力発電という、24時間発電でき、原子力発電をまさに代替できる再生可能エネルギー種が豊かであるという事実はもっと強調されるべきである。また、日本は国土の7割近くを森林で覆われている国であり、木質系のバイオマス資源を利用できる。さらに、海で囲まれており、洋上風力や波力、海洋温度差なども使える。太陽光技術も世界トップレベルである。このように、日本は、再生可能エネルギー資源大国なのである。

再生可能エネルギーへの第二の誤解は、再生可能エネルギーは不安定であるという誤解である。再生可能エネルギーが不安定だという議論を行う人は、決まって太陽光と風力をイメージして議論を行っているが、地熱は24時間安定的に発電できるベースライン電源である。流れ込み水力も比較的安定的に発電できる。風力もたくさん送電網につなげば「均し効果」が起こって比較的安定的になる。太陽光発電については、供給のピークが需要のピークとずれる場合があり、全体としての需給調整が必要となるが、

図1 原子力発電所による電力供給量 (単位: GWh [ギガワットアワー])



(出所)筆者作成。

わが国の情報技術をもってすれば十分対応が可能であろう。

再生可能エネルギーへの第三の誤解は、再生可能エネルギーはコスト高だという誤解である。再生可能エネルギーは、バイオマス以外燃料供給が要らず運営費が安い。一方、化石燃料は原材料を輸入し続けるといけない。再生可能エネルギーを大量に導入することが、日本経済を強くするというを理解しない論者が多いのはなぜだろうか。原子力発電は(安定的に発電している限りにおいて)少数の者に大きな利潤をもたらし、大きな利権を生み出したが、再生可能エネルギーは、多くの人に地域密着型の雇用を生み出すだろう。将来の日本経済を強くして、エネルギーも雇用も生み出す支出は「費用」ではなく「投資」として考える必要がある。

このようにわが国にとって再生可能エネルギーは、導入可能性も大きく、技術も十分実用レベルに達しており、経済政策としても合理的なものと考えられる。以上のような議論を根拠づけるために、再生可能エネルギーによって原子力発電がこれまで賄ってきた

電力量を供給するためには、どの程度の再生可能エネルギー設備を設置する必要があるのか、その設置・運営のためにどの程度の費用がかかるのかを概算してみたところである¹⁾。その結果を順次紹介することとしよう。

原子力発電所による電力供給の見通し

まず、原子力発電所の新設を今後行わず、既存の原発を耐用年数に応じて順次終了させた場合に、原子力発電所による電力供給量の推移がどのようになるかを4つのケースで把握した。

はじめに、1) 福島第一原発、福島第二原発は再開しない。2) 柏崎刈羽、女川、東通は2年目から再開し、耐用年数40年で終了させる。3) 建設中、計画中の原発は停止させる。4) 浜岡原発は2011年に停止・終了させる。5) 2040年に、耐用年数を迎えない原発についても終了させる、という仮定で今後の原子力発電所による電力供給量を試算した。その結果は図1の一番上の実線のとおりである。

また、福島第一発電所1号炉から5号炉と同じマークI型格納容器を採用している発電所を即時に停止・終了させる場合（マークI廃炉ケース）、新たに女川1号炉と島根1号炉が廃炉の対象となるが、その場合の供給量見通しは図1の破線の線である。マークI廃炉による追加的影響はさほど大きくない。

さらに、現在定期検査などによって停止している原子力発電所を再開しない場合（耐用年数40年）、図1の点線のようになる。耐用年数40年という仮定を置く限り、この場合においても、脱原発の目標年次は2040年となろう。

一方、2030年を脱原発の目標年次とする場合、耐用年数30年で順次停止するというシナリオを採用するという選択がある。この場合、原子力による電力供給量は図1の下の実線になる。

いずれのシナリオを採用するとしても、日本経済に必要なエネルギー量はなんらかの形で確保しなければならない。この場合、冒頭にのべた理由から、化石燃料への依存度を高める選択肢も避ける必要がある。このため、脱原発は、再生可能エネルギーの大量導入を図りうる時間的視野で行われる必要があろう。

再生可能エネルギー設備の必要導入量

では、2009年の原子力発電による発電量に相当する電力量を再生可能エネルギーによって供給しようとしたら、どのような設備をどの程度設置しなければならないのだろうか。この点については、さまざまな解があり得るところであるが、たとえば、表1に示す量の再生可能エネルギー設備を導入すれば、目標が達成できることとなる。

まず、水力発電については、環境省が本年4月に公表した再生可能エネルギーのポテンシャル調査²（以下「環境省調査」という。）では1400万kWの設備を導入可能としている。ただ、環境省調査は、河川から取水して水路で落差を得ることができる地点を集計したもので、農業用水など水の流れの中で発電する水力発電を想定していないため、若干過小評価になって

いるものと考えられる。本試算では、ダムを使わない流れ込み式の水力発電（小水力発電）として、1044万kWを導入することを目標としている。これは、現状（約955万kW）を約2.1倍にしようというものである。本試算では、3kW級を8万カ所、30kW級を4万カ所導入する計画である。わが国には1942年に7万8482カ所の農事用水車があった³。このような水車を今度は発電用（3kW）に復活させるとともに、たとえば、土地改良区管轄の農業用水延長26万kmの6.5kmごとに30kW級の流れ込み式水力発電を1基新設すれば、3kW・30kW級の導入目標は達成できる。また、本試算では、100kW以上の設備を900万kW分導入する目標としている。経済産業省では、100kW以上の未開発水力が1212万kW存在すると試算している（2004年3月調べ）。このうち、3/4を実現する目標である。

次に、地熱発電については、環境省調査では、1400万kWのポテンシャルがあるとされている。本試算では、このうち430万kWを追加的に実現する計画である。これは、現状（53万kW）の設備量を約9.1倍にするものである。なお、経済産業省の地熱発電に関する研究会中間報告⁴では、産業総合研究所による地熱資源量評価を掲載しているが、国立公園特別保護地区と特別地域以外に425万kWの資源量が見込まれるとしている。

前記研究会の中間報告では、発電コスト20円/kWhのとき348.6万kW、同30円/kWhのとき819.6万kWの設備量の導入が見込まれるとされている。現在、国会に提出されている固定価格買取制度が成立し、地熱資源について20円/kWhの買取が実現すると、民間投資のみでほぼ目標量を達成できる計算となる。また、本試算では、50kWクラスの温泉発電を6000カ所導入する目標である。これは、温泉源泉数（2009年3月）2万3886カ所の約1/6に設置する計算となる。

風力発電については、環境省調査では19億kWの設備を設置できるポテンシャルがあるとされているが、現状での設備容量が219万であることにかんが

表1 再生可能エネルギーの種別ごとの導入目標量

	出力 (kW)	稼働率	箇所	総出力 (万 kW)	発電量 (MWh)	構成比
原子力発電所 (2009)	48847000	65.7	54	4884.7	277,470,149	99.87%
福島第一原発					32,948,357	11.86%
水力発電				1044	63,089,520	22.71%
水力発電所 (3kW 級)	3	80	80,000	24	1,681,920	0.61%
水力発電所 (30kW 級)	30	80	40,000	120	8,409,600	3.03%
水力発電所 (100kW 級)	100	75	10,000	100	6,570,000	2.36%
水力発電所 (1000kW 級)	1000	70	2,000	200	12,264,000	4.41%
水力発電所 (10000kW 級)	10000	65	600	600	34,164,000	12.30%
地熱発電				430	28,294,800	10.18%
地熱発電所 (中規模)	3000	70	500	150	9,198,000	3.31%
地熱発電所 (大規模)	50000	80	50	250	17,520,000	6.31%
地熱発電所 (温泉発電)	50	60	6,000	30	1,573,800	0.57%
風力発電				3850	90,666,000	32.63%
風力発電所 (1000 kW 級)	1000	20	6,000	600	10,512,000	3.78%
風力発電所 (2000 kW 級・陸上)	2000	24	5,000	1000	21,024,000	7.57%
風力発電所 (2500 kW 級・洋上)	2500	30	9,000	2250	59,130,000	21.28%
太陽光発電				7429	88,417,330	31.82%
太陽光発電所 (一般住宅)	3.47	13.6	7,000,000	2429	28,909,099	10.41%
太陽光発電所 (共同住宅・オフィス・工場)	10	13.6	2,000,000	2000	23,803,293	8.57%
太陽光発電所 (メガソーラー)	3000	13.6	10,000	3000	35,704,939	12.85%
バイオマス発電				120	7,358,400	2.65%
バイオマス発電 (中小規模)	3000	70	200	60	3,679,200	1.32%
バイオマス発電 (大規模)	12000	70	50	60	3,679,200	1.32%
水力+地熱+風力					182,050,320	65.53%
水力+地熱+風力+太陽光+バイオマス					277,826,050	100.00%

(出所) 千葉大学倉阪研究室「再生可能エネルギーによる原子力発電代替プランver.2」2011年5月

みて、本試算では、3850万kWを追加的に導入して、現状の約18.6倍に達するという案としている。仮に30年間で上記の設備量を導入する場合には、年平均の必要伸び率は、約10.4%となっている。筆者の研究グループが実施してきた「永続地帯」研究⁵で把握された国内風力発電の伸び率は、2007年度対前年比13.6%、2008年度12.6%となっており、この伸び率が継続できれば目標に十分到達できることになる。なお、山がちなのが国では陸上での適地は限られているため、目標達成には洋上風力の実用化が欠かせない。すでにノルウェーで2300kWの浮

体式洋上風力が稼働しており、日本でも2016年からの実用開始に向け、環境省が2000kW級の実験を長崎で実施することを2010年12月に公表しているため、本試算では2016年から洋上風力が実用化されるものとしている。

太陽光発電については、環境省調査では1億5000万kWのポテンシャルがあるとしている。本試算での到達目標は7429万kWであり、現状(263万kW)の約29.2倍に達する目標である。30年間で導入する場合の年平均の必要伸び率は、約12.2%である。これは、2007年度伸び率14.0%、2008年度

伸び率13.6%を下回る。なお、2009年11月に住宅の余剰電力を対象とした固定価格買い取り制度が導入されて以来、この伸びを遙かに上回る率で太陽光は増加している。なお、環境省検討会では、太陽光発電の設備容量が7900万kWを超えると、習熟効果が働きコストが火力発電なみの7円/kWhまで低下する見込み⁶とされている。

バイオマス発電については、環境省調査では記述がされていない。現状で、3万kWの設備があり、本試算では120万kW（現状の約40倍）を目標値とした。バイオマス活用設備については、熱供給と合わせて、さらに小型の設備を、特に寒冷地のコミュニティに配置していくことも考慮すべきである。

以上のように環境省調査で把握されたポテンシャルの十分範囲内で原子力発電の代替を行えることがわかった。冒頭に指摘したように、日本は再生可能エネルギーの面では資源が豊かにあるのである。また、再生可能エネルギーは不安定であるという指摘については、本試算においては、地熱、小水力（流れ込み式水力）、風力といった、比較的安定的に、24時間発電することができる再生可能エネルギー比率が、65.5%に上ることとなった⁷。ただし、太陽光発電のように供給のピークが需要のピークとずれてしまう電源も入るため、IT技術を活用した需給調整を進めることも重要となる。

導入費用の試算

仮に2040年を目標年次として、以上の設備容量に到達することとした場合の導入費用はいくらになるだろうか。この点を把握するために、2040年の目標設備量に現状の設備量からなだらかに到達するように、シグモイド曲線を適用して、中間年の設備量を仮定し、毎年度の事業費を試算した。その際、設備の導入までにリードタイムがかかる再生可能エネルギー設備（地熱発電）、実用化までに時間がかかる再生可能エネルギー設備（洋上風力）については、それぞれその期間を見込んだ。事業費の試算に当たって

は、生産量が2倍になれば生産コストが8割に低下するという習熟効果を、再生可能エネルギー種ごとに一定の仮定の下に適用した。

この結果、今後30年間にわたって毎年平均で2兆3612億円の事業費が必要となることがわかった。最大年間事業費は2033年の3兆188億円である。この事業費は、十分な額での固定価格買取制度を導入できれば、多くの部分が民間投資によってカバーされるものと考えられる。年間の民間投資額は約100兆円あるので、3兆円弱の事業費は十分確保できると考える。ただ、バイオマス発電や小水力発電については、民間事業で採算の合わない箇所も多く、建設業や林業の雇用の受け皿ともするべく、既存の公共事業予算を振り向けて新しい公共事業を立ち上げることを検討すべきである。本試算での小水力とバイオマス関係事業費は、平均年間4788億円、最大年間事業費5592億円（2029年）である。この額は、たとえば、2011年度の年間道路事業費（3兆982億円）と比較しても支出可能な額ではないか。

目標年次を早める場合にはこの事業費が増加することとなるが、再生可能エネルギーの大量導入を実現しつつ、原子力発電所依存から脱していくシナリオは、十分に実現可能性があるものと考えられる。

再生可能エネルギーによる原発代替のために

最後に、再生可能エネルギーの大量導入を実現するために行うべき三つの方策を提言したい。

第一に、地域の風土に適した再生可能エネルギーを開発できるように、地方自治体の再生可能エネルギー政策を立ち上げることである。再生可能エネルギーといっても、それ自体が新たな問題を引き起こすことがありうる。風力発電は、低周波公害や渡り鳥への影響が懸念されるし、地熱発電は温泉源への影響が懸念される。小水力発電についても本流から取水して管路で落とす形のは本流が枯れてしまう可能性がある。このような問題を引き起こすことはないように、地域の住民が参画しながら、地域主導で開

発を進めるべきである。このため、国は、再生可能エネルギー交付金を創設し、再生可能エネルギーの導入量に応じて資金面での支援を行うとともに、都道府県ブロックごとに地域エネルギー事務所を設置して、技術情報、支援情報、業者情報などが得られるようにすべきであろう。

第二に、再生可能エネルギー設備に対する民間投資を引き出すことができるように、制度的にインセンティブを与えるべきである。具体的には、事業リスクと初期投資額を軽減するため、国は、長期にわたる手厚い固定価格買取制度を導入すべきである。また、現在は、再生可能エネルギー電源の設置者の側が、再生可能エネルギー電源の送電網への接続費用を負担することになっているが、この負担がかなり大きい状況となっている。このためドイツなどの制度にならって、送電網を管理する会社の側に、再生可能エネルギー設備の接続義務を課すべきである。

第三に、再生可能エネルギーへの公共投資を推進すべきである。流れ込み式の水力発電、バイオマス発電、公共施設への太陽光発電設備の設置、再生可能エネルギーを活用した地域冷暖房などについて、関連設備を公共投資として推進していくことが必要である。このような支出は、建設業の雇用の受け皿になり、バイオマス利用は農林業支援にもなる。

産業革命以来、エネルギー源のほとんどを化石燃料に依存してきた人類社会は、地球温暖化に直面し、過去200年あまりのエネルギー供給システムを全面的に見直さざるを得なくなった。また、原子力発電事

故は、原子力発電に依存することの問題点を広く認識させた。そもそも原子力は、ウランという枯渇性の資源に依存するエネルギー源である。このため、原子力は、超長期的に見れば「つなぎ」のエネルギー源でしかなかったのである。つまり、人類の社会の持続可能性を確保するためには、枯渇性資源から更新性資源に転換することが必要不可欠であり、再生可能エネルギーの導入は避けては通れないものである。このことにかんがみ、再生可能エネルギー導入ができる限り速やかに進められなければならないであろう。■

《注》

- 1 試算に当たっては、費用の仮定の面において、千葉大学人文社会科学研究所後期博士課程の馬上丈司君の助力を得た。
- 2 株式会社エックス都市研究所・アジア航測株式会社・パシフィックコンサルタンツ株式会社・伊藤忠テクノソリューションズ株式会社「環境省委託調査 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」2011年4月。
- 3 出水力『水車の技術史』思文閣出版、1988年。
- 4 資源エネルギー庁電力基盤整備課「地熱発電に関する研究会中間報告」2009年8月。
- 5 千葉大学倉阪研究室・NPO 法人環境エネルギー政策研究所「持続地帯報告書2010」2010年12月 (<http://sustainable-zone.org/>)。
- 6 環境省「低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会」2009年2月。
- 7 風力は、稼働率は低い(20-30%)ものの、多くの風力発電を送電網につなげば、均し効果が生じて、安定的な電源となる。