

## 特集

## 再生可能エネルギーの普及に向けて

### 第2回 再生可能エネルギーの可能性について

三澤友子 (CASA 理事)

福島原発事故以降、再生可能エネルギーが注目されています。しかしその普及に関しては、誤解なども含め、さまざまな課題が挙げられることが多くあります。そこで今回は再生可能エネルギー普及の可能性について、導入ポテンシャルや疑問点、その課題について考えてみようと思います。

#### Q1. 日本の再生可能エネルギーの資源量で電力需要は賄えるのでしょうか？

再生可能エネルギーは、エネルギー源が太陽光や太陽熱、風、水など半永久的に利用可能なものであり、現在技術的に利用可能なエネルギー量については、世界のエネルギー需要の約20倍<sup>\*1</sup>あるとされています。

再生可能エネルギーがどの程度の量供給できるかについては、「賦存量」、「導入ポテンシャル」、「導入可能量」などで表されますが、それぞれの定義は以下のとおりです。

「賦存量」とは資源量のうち設置可能面積、平均風速、河川流量など物理的、理論的に算出された発電可能量のことです。「導入ポテンシャル」は賦存量のうち、自然条件により、現状では事実上開発が不可能と考えられる地域を除いた発電可能量です。「導入可能量」は導入ポテンシャルのうち、採算性を考慮した発電可能量をさします。ただいずれの場合も、表わされる発電量は、いつまでに導入するという制約がないため、遠い将来の可能性も含みうるものになっています。

今後のエネルギー選択を考える際には、「導入ポテンシャル」が、現在の技術水準の下で、自然条件等によって設置不可能なところを除いた発電

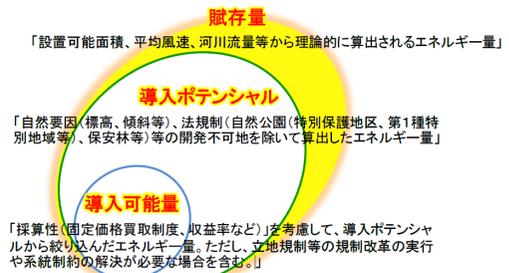


図1 賦存量、導入ポテンシャル、導入可能量の定義

出所：コスト検証委員会報告

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/8th/8-3.pdf>

量というデータであることから、再生可能エネルギー導入量を検討するに適した指標になると考えられています。

表1は環境省が発表した、太陽光、風力（陸上・洋上）、地熱、中小水力発電の日本における1年間の導入ポテンシャルです。太陽光発電では1300億kWh、風力発電では5900億kWh、地熱発電で650億kWh、中小水力で820億kWhとなっています。日本の2007年度の実績は、原子力2638億kWh、石炭火力2605億kWhなので、これらの数字を見る限りにおいて、陸上風力発電だけでも、この2つ電源を

表1 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

	太陽光発電	風力発電 (陸上)	風力発電 (洋上)	地熱発電	中小水力
導入ポテンシャル (億 kWh)	1300	5900	43000	650	820

出所：環境省 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査より作成  
<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/index.htm>  
 地熱発電は53～150℃の熱水資源についての試算。

\* 1 World Energy Assessment(2000)

<http://www.undp.org/energy/activities/wea/drafts-frame.html>

賄えるだけのポテンシャルがあることになりま  
す。さらに現在稼動している大型水力（約 820  
億 kWh）に太陽光や中小水力を含めると、日  
本のすべての電力需要を再生可能エネルギーで  
賄うことは十分可能だと考えられます。

## Q2. 再生可能エネルギーで電力の安定供給はできるのでしょうか？

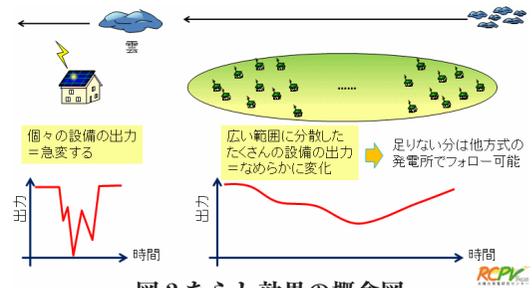
再生可能エネルギーで電力を賄うことが可能  
であることがわかりましたが、次に気になるの  
が、再生可能エネルギーは安定的に供給できる  
かという点です。

例えば太陽光であれば、夜は発電しませんし、  
朝や夕方、また天候によって出力が変動します。  
風力の場合も風の強さによって出力の変動が生  
じます。このように再生可能エネルギーには「自  
然任せ」の部分があるため、出力変動が大きく、  
安定供給に対して不安の声があります。

しかしこのような変動に対する対応は、大量  
普及すれば可能だと考えられています。例えば  
太陽光発電の場合、設置設備が少ないと確かに  
出力は大きく変動しますが、設置地域が分散し、  
設置件数が何十万、何百万軒の規模になると、  
この変動はならし効果<sup>\*2</sup>によって十分なめ  
らかになります（図 2）。このような、ならし  
効果は太陽光発電の場合だけでなく、風力発電  
などについても同様の効果が期待できます。

また数時間から数日といった比較的長い周期  
の変動については、予めその変動予測を行い、  
足りない分を他の電源で補うことで対処ができ  
ます。実際再生可能エネルギーの普及が進む、  
デンマーク、ドイツ、スペインなどでは気象  
データなどをもとに電力需給予測をリアルタイ  
ムで行って出力変動の調整をしています。

例えば、スペイン全土の電力系統の制御に関



しては、REE 社という会社がほぼリアルタイム  
で需給予測を発表しています。風力や、火力  
など各種発電の出力は大きく異なりますが、こ  
れらを足し合わせて需要に合うように出力予報  
を出しています<sup>\*3</sup>。スペインではこのような制  
御システムを導入することで、風力発電が年間  
電力需要の 16.6% を、1 日の供給電力では最大  
43% を賄うまでになっています。このように、  
再生可能エネルギーにおける電力の安定供給は  
可能であり、変動調整のための方法も様々ある  
ことがわかります。

## Q3. 再生可能エネルギーの発電コストは原子力や火力に比べて高いのではないのでしょうか？

まず発電コストはどのようにして計算されて  
いるかについて考えてみましょう。発電コスト  
は、一般に総費用（資本費＋運転維持費＋燃料  
費）を発電電力量（設備容量 (kW) × 365 (日) ×  
24 (時間) × 設備利用率 × 運転年数) で割った  
値として求められ、電力 1kWh 当たりで表され  
ます。またその試算の方法については、大きく  
分けて、

- ① 有価証券報告書をベースとした試算
  - ② モデルプラントをベースとした試算
- の 2 つの試算方法があります。

\* 2 太陽光や風力発電などの分散型電源が、広域に分散設置された場合、個々の電源の発電量の変動が相殺され、分散型電源全体の発電量の変動が緩和され、なだらかになる効果。

\* 3 REE 社では、供給電力についても、CO<sub>2</sub>削減の観点から、風力、他の再生可能エネルギー、原子力、石炭火力などというように優先順位を決めて調整を行っている。

①の試算方法は有価証券報告書にあるデータを元にして、電源ごとの発電費用を総発電量で割って求める方法で、これまでの実績値として評価するのに適しています。

一方②の試算方法は、電源ごとにモデルプラントを想定して試算する、いわゆる予想コストで、これから稼働するプラントのコスト試算などに適しています。

経済産業省から発表される「エネルギー白書」の発電コストはモデルプラントを想定した試算で、その2010年報告書によると、LNG火力が7～8円、水力が8～13円であるのに対して、原子力が最も安く5～6円になっています\*4。また再生可能エネルギーについては、太陽光が49円、風力（大規模）が10～14円、地熱が8～22円と、原子力や火力と比べて高い発電コストになっています。

しかし福島原発事故後に発足した「コスト等検証委員会\*5」では、以下の3つの検討を加えた新たなコスト試算を行っています。

1. これまでの発電単価に社会的費用を追加する。

具体的な社会的費用としては、①原子力については、シビアアクシデントの可能性も踏まえた事故リスクの費用を加える。②化石燃料利用の火力発電については環境対策費として、CO<sub>2</sub>対策費用を加える。③社会的コストとして、国が負担している立地のための交付金や研究開発費などの政策経費も加味する。

これらの社会的費用を加えると、発電コストの計算は以下ようになります。

資本費 + 運転維持費 + 燃料費 + 社会的費用（事故リスク費 + 環境対策費 + 政策経費）

発電電力量 (kWh)

\* 4 エネルギー白書の原子力の発電コストは、設備利用率(80%)や運転年数(40年)の想定が大きすぎるとの指摘もある。また立命館大学の大島堅一氏による、有価証券報告書を元にした実績のコスト及び研究開発や立地コストを含めた試算では、火力が9.9円に対して原子力が10.3円と、原子力が一番高い電源という結果になっている。

\* 5 2011年10月3日にエネルギー・環境会議が新たなエネルギーベストミックスの検討を行うための「コスト等検証委員会」を設置し、12月19日に試算結果を取りまとめた報告書を出している。現在(2012年5月末)までに、9回の委員会が行われている。

2. 再生可能エネルギーなどの技術革新の可能性や火力発電のコスト上昇の可能性などを把握するために、2010年、2020年、2030年にそれぞれ新規に稼働を開始するモデルプラントを用いたコスト試算を基本としつつ、有価証券報告書ベースの試算も参考として示す。

3. コージェネや住宅用太陽光発電による発電、LEDなどによる省エネなど、需要側から見たコスト評価も行う。

そしてこれらの点を考慮に入れたコスト試算の報告書が、2011年12月に発表されました。

表2 各電源別のコスト試算

	2004年	2010年	2030年
原子力	5.9	> 8.9	
石炭火力	5.7	9.5 ~ 9.7	10.3 ~ 10.6
LNG火力(設備利用率80%)	6.2	10.7 ~ 11.1	10.9 ~ 11.4
石油火力(設備利用率50%)	注	22.1 ~ 23.7	25.1 ~ 28.0
住宅用太陽光		33.4 ~ 38.3	9.9 ~ 20.0
メガソーラー		30.1 ~ 45.8	12.1 ~ 26.4
風力(陸上)		9.9 ~ 17.3	8.8 ~ 17.3
風力(洋上)		9.4 ~ 23.1	8.6 ~ 23.1
小水力(設備利用率60%)		19.1 ~ 22.0	19.1 ~ 22.0
地熱		9.2 ~ 11.6	9.2 ~ 11.6
			[円/kWh]

出所：コスト等検証委員会報告書より作成

注：石油火力の2004年データは設備利用率80%で10.7円/kWh、30%で16.5円/kWh。

表2は各電源別のコスト試算結果を表したものです。原子力の発電コストは5.9円から8.9円と大きく上昇しています。しかしこの8.9円は事故の損害額を5.8兆円と見積った、あくまでも下限値で、実際はこれを上回るとされています(1兆円増加するごとに0.1円増加と試算)。

火力発電については、石炭、LNG、石油いづれについても、主に燃料価格の上昇によってコストは大きく上昇すると試算しています。特に化石燃料費の高騰は近年著しく、2008年の10電力会社の燃料費の支出は、2000年前半に比べて約2.5倍の3兆円も増加し、2011年には化石燃料の輸入費が22兆円にも上っています。

これに対して、陸上風力発電は建設コストが安く、系統制約のない2010年モデルプラントで1kWh当たり10円程度、2030年モデルプラントで9円程度と、原子力や石炭、LNG火力と同等のコストになると試算されています。

太陽光発電については、2010年モデルシステムでは1kWh当たり30円以上と他の電源に比べて高くなっています。しかし近年システム価格が大きく下がってきており、2030年には量産効果により、大幅な価格低下が期待され、コストは現在の2分の1から3分の1程度になる可能性があります\*6。そのような状況になった場合は、石油火力よりも安くなることが期待されます。またメガソーラーについても同様の価格の低下が予想されています。

地熱については、コストも9.2～11.6円/kWhと、原子力や石炭火力と同程度と試算されています。

これらの結果から、原子力や全ての火力発電のコストは年々増加し、その一方で、再生可能エネルギーのコストは普及すればするほど安くなることがわかります。今回の試算結果で

も2020～30年にかけて、再生可能エネルギーのコストは原子力や火力と同レベルになり、その後は安くなるという「逆転」も起こりうるということが予測されています。さらに再生可能エネルギーは化石燃料のように価格変動や国際情勢の変化などによって、コストが左右されないという点も大きなメリットだといえます。

#### Q4. 各再生可能エネルギーの可能性は？

次に日本における再生可能エネルギーの可能性について、具体的に風力、太陽光、地熱発電について考えてみたいと思います。

##### 風力発電

再生可能エネルギーの中で、最も普及が進んでいるのは風力発電です。現在世界の電力需要の2.5%は風力でまかなわれています。電力に占める風力の割合が高い国は、デンマーク(20%)、スペイン、ポルトガル(16%)、アイルランド(12%)、ドイツ(7%)で、中国、アメリカも2%を占めています。

特に2010年に世界で新規に設置された発電設備の30%が再生可能エネルギーで、風力発電はその3分の1の10%以上を占めています(アメリカとEUは35%以上が風力)。そして世界における風力の発電量は2010年からの5年間で3倍になるとの試算もあり\*7、さらに電力需要の20%を風力で賄おうという目標を掲げている国が多くあります。

このように再生可能エネルギーの中でも、風力発電が急速に普及している背景には、他の再生可能エネルギーに比べてコストが安く、資源量も豊富にあり、開発から運転までの期間が短いという特徴があるからです。

日本においても風力発電は大きなポテンシャルがあり、普及している国々と同じ割合の電力

\*6 量産効果によるシステムのコスト低下は、累積生産量が2倍になるとコストが20%低下する学習曲線(進捗率80%)をもとに試算されています。

\*7 GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL Cumulative wind power capacity 2009-2030  
[http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/Global\\_cumulative\\_wind\\_power\\_capacity.jpg](http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/Global_cumulative_wind_power_capacity.jpg)

需給は十分可能だと言われています。しかし日本における風力の電力に占める割合はわずか0.4%に止まっています。普及が進まない主な理由は、それを進めるための制度や政策の遅れだと考えられています。

また先にあげた普及が進むスペインは、電力系統の国際連携が弱い点、また風力発電適地と電力消費地域が離れている点など、電力の融通がしにくい日本の系統と非常によく似ており、本来は風力発電の大量導入には不利だと言われていました。しかし、現在スペインでは日本の風力発電量の約9倍もの設備容量を導入しており、それを可能にしているのは、再生可能エネルギーの電力系統制御だと言えます。したがって日本も風力の導入を大きく進めていくためには、発電設備の設置だけでなく、スペインのような電力全体の制御も含めたシステム構築も考えていかなければなりません。

### 太陽光発電

日本では太陽光発電の設備量は賦存量で見れば、日本の年間の電力需要量の数倍あるとされています。したがって太陽光発電の現実的な導入量は、面積よりも、電力需要との整合性やコストで決まると考えられます。また太陽光発電の場合は、昼間の発電ということで電力需要ピーク時の供給に適しています(図2)。

産業技術総合研究所では、例えば1億kW分の太陽光発電を導入した場合、年平均で日本の総電力量の約1割を、さらに夏の晴れた日の昼ごろには、その時間帯の電力需要の最大3~7割前後を供給できるとしています。また太陽光は昼間のピーク需要対応に向いているだけでなく、電力を消費する場所に直接設置が可能のため送電ロスも小さくでき、またピーク時に稼働する火力発電を抑制できることから、CO<sub>2</sub>削減効果も大きいとしています。

世界においても近年太陽光発電の伸びは著しく、それにともない太陽電池の生産量は指数関

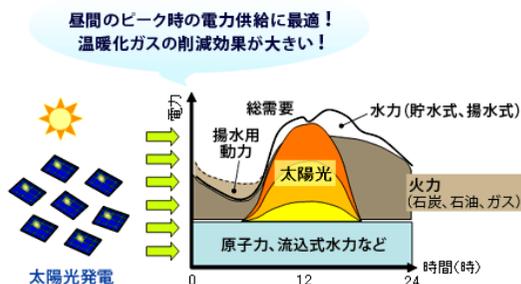


図3 太陽光の電力供給

出所：産総研 太陽光発電工学研究センター  
[http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about\\_pv/output/JPpotential.html](http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/output/JPpotential.html)

数的に増加しています。2010年の生産量は前年に比べて2倍以上の増加で、地域別に見たシェアは、中国・台湾が59%、欧州が13%、日本9%、北米5%になっています(図4)。これに対して地域別の導入量は欧州が約8割を占めています。日本はかつて太陽光発電導入量で世界1位でしたが、現在はドイツ、イタリアに抜かれ、3位になっています。日本の太陽電池生産量についても増加はしているものの、半分が輸出向けになっていることから、日本国内での太陽光発電の普及は近年大きく遅れを取り始めています(図5)。

発電コストは、大まかに製造コスト、流通・工事費・利子がそれぞれ3分の1ずつだと考えられています。このうち製造コストは技術の進

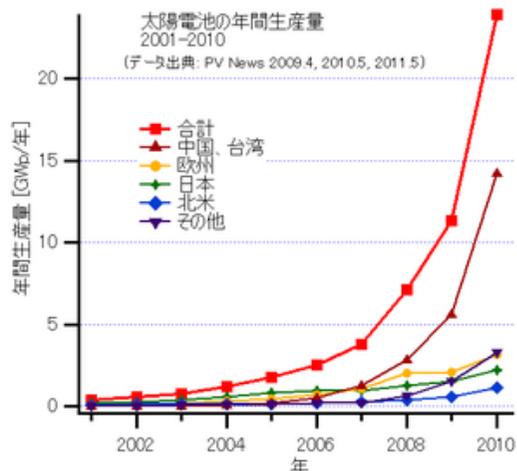


図4 世界の太陽電池生産量の推移

出所：PV NEWS(Greentech Media)

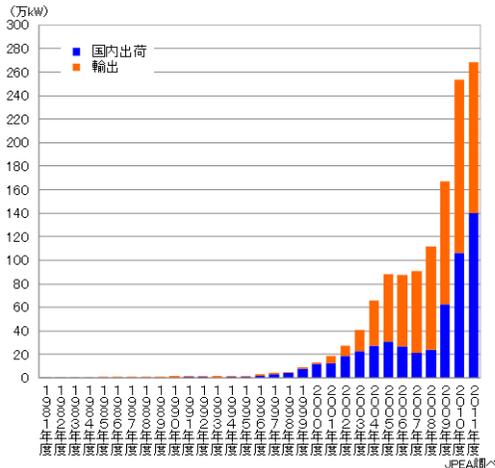


図5 日本における太陽電池生産量の推移

出所: 太陽電池協会 <http://www.jpea.gr.jp/04doc01.html>

歩や量産効果によって世界的に大きくコストを下げています。流通・工事費・利子等については、各国が、国の政策を主体にして、市場の拡大と流通コストの低減、低金利での融資などを図っており、最近では発電コストが一般家庭の電気料金と変わらなくなっている国も現れています。これに対し、日本では政策面におけるバックアップは進んでいません。

### 地熱発電

地熱発電は、地下の蒸気や熱水が溜まっている貯留層から水蒸気を取り出して、タービンを回し発電する蒸気発電<sup>\*8</sup>、地下の温度や圧力が低い場合に、その熱水をアンモニアやペンタンなど水より沸点の低い媒体を用いて沸騰させて発電するバイナリー発電、さらに熱水や蒸気がない高温岩体に水を送り込んで水蒸気にして発電する高温岩体発電などがあります。

一般に地熱発電は再生可能エネルギーの中では、長い年月にわたり安定的な発電が可能で、ベース電源<sup>\*9</sup>の一定部分を担えると期待されています。コストも10円前後と原子力や石炭と

同レベルになると試算されています。

また日本はアメリカ、インドネシアに次ぐ世界第3位の地熱資源国で、日本の地熱プラントは世界市場の7割のシェアを占めており、ポテンシャル面でも技術面でも非常に大きな潜在能力があります。しかし2010年の設備量はおおよそ55万2000kWと、資源量の40分の1程度しか普及していません。その主な理由として、国や地元からの支援が火力や原子力と比べ乏しいこと、資源の大半が国立・国定公園内にあること、温泉地との共存問題などが挙げられます。したがって今後は経済的、政策的支援に加え、国立・国定公園内の設置の緩和や地熱発電と温泉との関係の科学的検証などが必要だと考えられています。

ただ福島原発事故以降は、温泉業者自らバイナリーサイクルを用いた温泉発電<sup>\*10</sup>を始めるなどの事例が増えてきています。また高温岩体発電は、既存の温水資源を使わないことから温泉との競合の心配もなく、また380億kW以上の資源量を有し、コストも9.0円/kWhまで低減するとされている点から、今後の普及が期待されています。

### 日本の再生可能エネルギーの普及の可能性について

日本における再生可能エネルギーはポテンシャル面、技術面共に十分にその可能性があることが分かりました。また今日本が、世界の再生可能エネルギー普及の流れに乗り遅れている主な原因は普及推進のための制度や政策の遅れだということもわかってきました。そこで今回はこの制度、政策面にスポットを当てて、日本における再生可能エネルギー普及制度・政策のあり方を考えたいと思います。

\*8 蒸気発電の場合は貯留層維持のために使用したあとの蒸気や熱水を戻す還元が行われています。

\*9 一般に24時間一定出力を確保できる電源。熱効率が良く、ランニングコストの安いものが適している。

\*10 入浴には高すぎる温度の温泉水を下げる際に出る熱エネルギーを利用して発電する方法で、源泉の枯渇問題もなく、設置コストも安く温泉地でも設置が可能という利点がある。環境省では57億kWの導入ポテンシャルがあると試算している。