

シリーズ

再生可能エネルギーと省エネルギーを読み解く

第4回

再生可能エネルギーの課題

不安定で限りある自然を相手とする高コスト技術

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

新エネルギー・国際協力支援ユニット

新エネルギーグループ

研究主幹 柴田 善朗氏

再生可能エネルギーは無限に存在し、それに比べて我々が消費するエネルギーの量はかなり小さいのですが、なぜ今のところ再生可能エネルギーでエネルギー消費の全てを賄うことができないのでしょうか。例えば、地球の表面が1時間に受ける太陽光エネルギーは人類の1年間のエネルギー消費量に匹敵します。太陽エネルギー以外にも、風力、水力、バイオマス、地熱、海洋エネルギーがあります。

その理由には、再生可能エネルギーは化石燃料など従来型エネルギーと比べてエネルギー密度が低いこと、利用可能な場所が限られていること、不安定なこと、貯蔵・輸送が困難なこと、などが挙げられます。これらの再生可能エネルギーの特徴と課題を見ていきましょう。

◆再生可能エネルギーはフロー型

化石燃料は主に地中に蓄えられており、存在する量は多いのですが補充される早さが非常に遅いため、使えばなくなりやすい。つまり、ストック型（貯蓄型）のエネルギーです。使えばなくなるといふ欠点がありますが、使いたいときに必要な量だけ使えるという長所があります。

一方、再生可能エネルギーは、長い間使い続けても枯渇しない自然由来のエネルギー源です。枯渇しないということは、量が非常に膨大であるために使ってもなくなるまでに相当の時間がかかるという意味ではなく、エネルギーが常に循環している、または、使用しなくても再生される（renewable）という意味です。つまり、再生可能エネルギーは基本的にはフロー型なのです。その点で、太陽エネルギー、風力、水力、海洋エネルギーは再生可能エネルギーで、これらは全て太陽からのエネルギーによるものであり、太陽がなくならない限り供給され続けます。

バイオマスは少し例外で、太陽光線による植物の光合成、植物を食べる動物の糞尿、と

いう意味で部分的・間接的に太陽エネルギーがもたらすものなのでフロー型ですが、同時に、貯蔵されるのでストック型としての特徴も持ち合わせます。

ほとんどの再生可能エネルギーがフロー型であることが、まず大きな問題になります。貯蔵がしにくいのです。つまり、晴れている時、風が吹いているとき、波が高いときにしか、利用できないのです。再生可能エネルギーをいつでも利用したいときに必要な量を利用するためには、一度電気に変換して蓄電池などに貯めなければなりません。そうすると費用がかさみます。

◆密度の小さい再生可能エネルギー

ほとんどの再生可能エネルギーは、エネルギーの密度が小さいという短所があります。石油などの化石燃料は1リットルや1キログラムあたりでエネルギーの量が計られますが、太陽光や風力は1平方メートルあたりで計ります。これは先述のように、フロー型だからです。したがって直接の比較は難しいのですが、発電所という単位で比較すると非常に分かりやすくなります。

例えば、原子力発電所1基（100万kW級）は0・6km²の敷地が必要ですが、この

原子力発電所が年間に発電する電力量（約70億kWh）を他の発電所で生産する場合に必要な面積は、火力発電ではほぼ同程度ですが、太陽光発電では約58km²とほぼ山手線の内側の面積が必要になります。また、陸上風力発電の場合は約214km²も必要になります。

これは、再生可能エネルギーの密度が低いことに加えて、利用できる時間が限られていることも原因です。太陽光発電は日中や晴れているときにしか発電できませんし、風力発電は風が吹いている時しか発電できません。

現在の太陽光発電の発電効率は15%程度ですが、60%に上げるための技術開発も実施されています。効率が4倍になるので必要な面積は4分の1に減少しますが、それでも原子力発電所や火力発電所と比べて広大な面積が必要になります。次に、自然は限りがあるものですから、際限無しに再生可能エネルギーに利用できるわけではないという問題を見えていきましょう。

◆自然は再生可能エネルギーのためだけにあるのではない

日本で1年間に消費される電力は約1兆kWhですが、これを太陽光発電で賄う場合には約1万km²が必要で、なんと青森県の面積に相当します。もちろん、電力消費量の全て

を太陽光発電で賄うというのは非常に極端な例ですが、このように非常に大きな土地が必要になります。

そもそも、日本は国土の7割が森林地帯、6割が山岳地帯であり、風力発電や太陽光発電を無理なく建設できる土地は限られています。国立公園や自然公園内での地熱発電や風力発電の建設に対して規制緩和が進められていますが、変わらず制約が多いことは確かです。また、日本に数多く存在する耕作放棄地にメガソーラーを建設するという動きもありますが、景観や生態系への影響が懸念されたり、食糧自給率の低い日本が、本場に農地を再生可能エネルギーのためにだけに利用してもいいのかという課題も残ります。住宅では、耐震基準の問題で、1981年以降に建てられた住宅にしか補強工事無しに太陽光発電を設置することができません。

洋上ではこのような土地利用の制約はないかと思われがちですが、漁業権の問題があり、洋上風力発電や海洋エネルギーの開発の障壁の一つとなっています。バイオ燃料は、クリーンな自動車用燃料として期待されていますが、食物生産用の農地を奪ってしまうという問題もあります。

このように、様々な用途に利用される限りある自然を再生可能エネルギーのためだけに無制限に利用することは現実的ではありませんので、自然との共生や我々の社会・経済生活の維持などを踏まえた利用計画が必要になるのです。

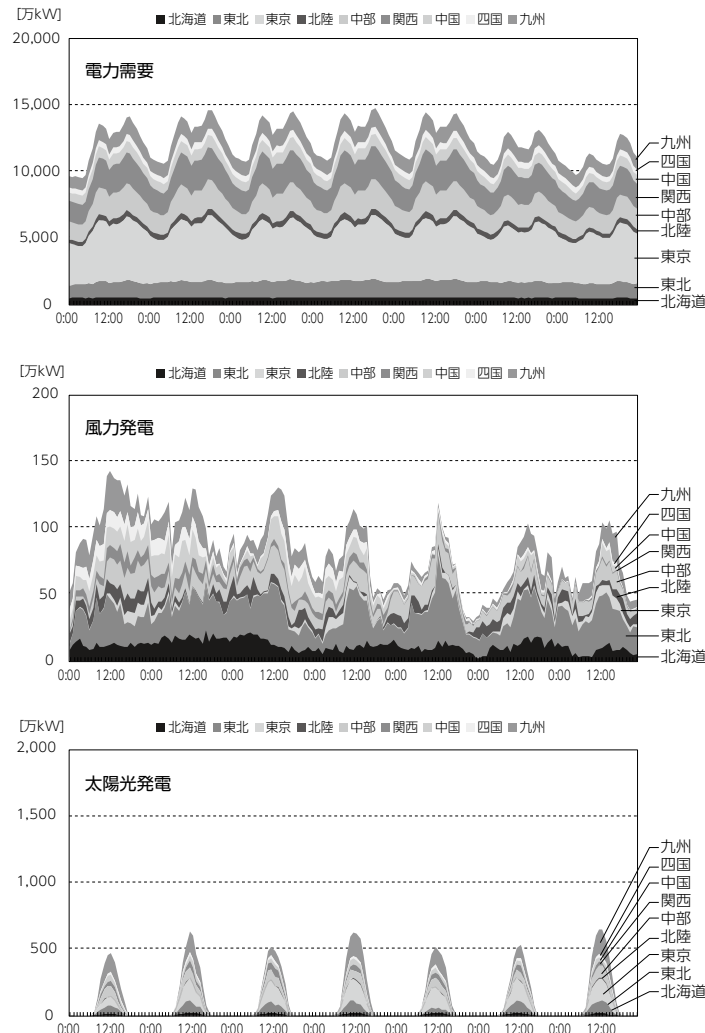
◆再生可能エネルギーはどの程度不安定か

太陽光や風力は「自然まかせで不安定」とよく言われますが、どの程度不安定なのか見てみましょう。我々の電力の使い方と比較すると分かりやすくなります。

資料①（63ページ）は、日本全国の冬のある1週間の電力需要、風力発電出力、太陽光発電出力の毎時の変化を比較しています。我々人間は好きな時に好きなだけ電力を使用しています。使う量も時間も、家庭、事務所、工場によって様々ですが、日本全体で見た図が一番上の図です。朝から電力需要が増加し、昼食時に少し減少し、夕方に向けて増加します。その後、早朝に向かって減少していきます。平日と週末の差や季節による差はありますが、おおよそ規則的な動き方をします。

一方、風力発電の変動には規則性は見られないことがわかります。また、電力需要と比較するとかなり小刻みに動いていて変動が激しいことがわかります。太陽光発電は比較的規則正しい変動をしています。当然のことながら夜間の発電は見込めません。

資料① 変動性：電力需要・風力・太陽光



(注) 冬期の1週間の例。電力需要は2012年、太陽光発電と風力発電は2014年末の累積導入量

電力需要は常に需要と供給が一致していません。変動性の大きい再生可能エネルギーが大量に導入されると電力系統の不安定性が大きくなり、電力の需要と供給のバランスが崩れ、停電を引き起こす可能性もあります。

我々が使用する電力は、一般的に、原子力発電、石炭火力発電、水力発電など安価で安定的な出力を維持するものと、電力需要の変動に対応する天然ガス火力発電や石油火力発電によって賄われています。この構成の中に大量の太陽光発電や風力発電が入ってくるとどうなるでしょうか。停電が起こらないまでも出力の変動が大きいため、電力需要の変動に合わせるためには、主に火力発電の出力調整の頻度が多くなり負担が増えます。

また、再生可能エネルギー発電量が電力需要を下回る時には、火力発電など他の電源を稼働させることで電力需要を満たさなければなりません。反対に上回る時は、余分な再生可能エネルギーの発電を抑制したり貯めたりしなければなりません。このような対策が必要になることから余分なコストが増えます。

◆地域偏在性も再生可能エネルギー特有の課題

不安定であること以外にも再生可能エネルギー特有の課題があります。それは、地域に

資料② 陸上風力の導入ポテンシャル分布図



出所: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、環境省

※上記報告書に色分けした分布図があります。

右のQRコード(<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/>)から調査報告書に入り、第4章. 風力発電の賦存量および導入ポテンシャルの97ページをご覧ください。



よって、資源量が大きく異なることです。風力を例にとると、日本では、北海道、東北、九州で風況が優れています(資料②・66ページ)、これらの地域に大量の風力発電を建設しても、地域内の電力需要が小さく、風力発電からの電力を使い切ることができないような状況が発生します。その場合、地域外に送電するという考えがあります。

欧州(ヨーロッパ)では、広域で送電網が発達しており、大量の風力発電や太陽光発電を導入しても、地域間や国の間で比較的容易に電力のやり取りが可能のため、ドイツの大量の風力発電からの電力を他地域や他国に送ることが可能です。一方、日本は外国と送電線は接続されていませんし、地域間でも送電網の接続度が小さいため、風力発電や太陽光発電の発電電力を他地域に送ることが難しい状況です。北海道と東北、東北と関東などを接続する送電線の増強は検討されていますが、土地収用に長い時間や膨大な費用がかかるという課題があります。

◆導入拡大に向けた技術的対策…どのよう不安定性を制御するか

低密度で不安定な再生可能エネルギーを大量に導入させるために、様々な方法が検討されています。まずは、出力抑制と言われるものです。先述のとおり、大量の再生可能エネ

ルギーが導入されると調整しきれない余分な電力が発生します。これを余剰電力と呼びます。この余剰電力は行き場のない電力ですので、捨ててしまうという方法が出力抑制です。捨てるというともったいない感じもしますが、余剰電力が僅かしか発生しない場合は、設備費用の高い蓄電池などをわざわざ導入するのではなく、捨ててしまった方が経済的なのです。ちなみに、日本の現在の再生可能エネルギー導入レベルではほとんど余剰電力は発生していませんし、ドイツでも2012年の太陽光発電の出力抑制量は買取電力量の0・06%に過ぎません。

ただし、あまりにも大量の余剰電力が発生する場合は、話は異なります。その場合、電力を貯蔵することが対策として考えられています。現在もっとも広く使われている電力貯蔵技術は揚水発電です。日本は揚水発電が多い国で、世界の揚水発電の設備容量1億4000万kWのうち2割にあたる2700万kWが日本にあります。ですので、揚水発電は有力な余剰電力対策の一つとして考えられています。再生可能エネルギーからの余剰電力を揚水発電で水をくみ上げて貯蔵し、電力需要が小さい時間帯に放水することで貯蔵した電力を放出します。蓄電池も余剰電力対策の一つですが、高コストや自己放電などのデメリットがあることから、現在は、長期間の電力貯蔵には適さず、再生可能エネルギーの数秒～数十分レベルの出力変動への対応が期待されています。電気自動車も蓄電池の一つとして考えられます。また、貯湯槽付き電気温水器（電熱ヒーター型とヒートポンプ型）は、電力を熱に変換するもので、再生可能エネルギーの余剰電力をこれらの機器に投入することで熱を作り、貯湯槽に蓄えることもできます。

再生可能エネルギーから電気分解で水素を製造したり、その水素と二酸化炭素を反応させてメタンをつくる試みもなされています。これらは、“Power to Gas”と呼ばれ、ドイツを中心に多くの実証試験が実施されています。水素は、燃料電池（定置用コージェネレーションや自動車）、水素タービン発電、燃焼機器等のエネルギー用途のみならず、化学合成用原料としても利用することができます。水素の利点は、蓄電池と比較して長期間貯蔵のロスが小さいことであり、したがって、風況の良好な冬期に風力発電の余剰電力から水素を製造し、その水素を貯蔵し、風速が弱まると同時に電力需要が増加する夏期に燃料電池で発電することができます。ただし、電解装置、水素貯蔵・輸送設備、水素利用機器を含めた水素利用システムを新しく構築することが必要になり、その経済性が課題となります。一方、水素を二酸化炭素と反応させて天然ガスの主成分であるメタンを生成する場合は、メタンをそのまま天然ガスパイプラインに注入することも可能になり、電力システム

と天然ガスパイプラインをつなぐことができ、再生可能エネルギーの変動性に対する対策をエネルギーシステム全体で請け負うことが可能になります。

その他に、不安定性を制御する技術ではありませんが、太陽光発電や風力発電の発電予測も重要な技術です。予測が立てられれば、火力発電などの調整電源の運転計画が立てやすくなります。

◆導入拡大に向けた技術的対策…どのように不安定性と付き合うか

再生可能エネルギーは自然条件任せであり、現代社会で利用しようとする、どうしても現在の経済や生活を前提として導入拡大の可能性が論じられることが多く、上述の通り、再生可能エネルギーを如何にコントロールするかに焦点を置いた技術開発が多く見受けられます。これらの試みは非常に大事なことです。違った視点からの取り組みも見られます。それは、我々消費者が、再生可能エネルギーの変動に合わせて電力の使い方を変えるという試みで、デマンドレスポンスと呼ばれています。デマンドレスポンスは、元々は、ピーク電力需要を削減する目的で米国を中心に開始されました。ピーク時間帯に、電気料金を高くすることで電力使用量の削減を促したり、電力使用量を削減した需要家に金銭を

支払ったりする制度です。この仕組みを利用して、再生可能エネルギーからの発電出力が大きい時間帯に電力消費量を増加させて、発電出力が少ない時間帯には減少させます。現在のところ、このような取り組み例は少ないものの、スマートグリッド技術の導入とともに自動制御が可能になり、可能性は広がると考えられます。ただし、電力需要がどの程度の量・速度で反応できるかを特定する必要があり、また、需要家の経済性や利便性を損なわないような制度設計が必要になります。

◆電力だけではない…熱利用の拡大も重要な課題

近年、再生可能エネルギーと言えば、太陽光発電が主流となっています。太陽光発電は新しい技術でハイテクです。ところが、元来、再生可能エネルギーはローテク技術によって利用されてきました。例えば、太陽熱温水器です。もちろん、温度や流量の制御などはありませんが、基本は太陽エネルギーによって水を温めるというだけの非常にシンプルな技術です。それでも、例えば家庭におけるエネルギー需要の半分を占めている熱需要に適応させることで、大きな省エネ効果や二酸化炭素排出削減効果を得ることができるようになります。さらに、熱は電気と異なり容易に安価に蓄えることができます。再生可能エネルギーの電

力利用のみが注目されがちですが、熱利用の拡大も非常に重要な課題であることを忘れてはいけません。

◆おわりに

以上見てきたとおり、再生可能エネルギーは密度が小さく、不安定であり、貯蔵にコストがかかり、我々の現在のエネルギーの使い方にはマッチさせることが非常に困難なのですが、技術開発によって長期的には低コストで完全に制御できるかもしれません。再生可能エネルギーの導入拡大に向けて、今後も技術が果たす役割は非常に大きいことには変わりありません。発電効率が60%以上とも言われる量子ドット太陽電池、藻類バイオマス、人工光合成など新しい技術や蓄電池の低コスト化など現在も研究が続けられており、このような研究開発は今後もベースとして非常に重要です。ただ、革新的な技術はいつ形になるか予想できないものです。したがって、基礎技術の研究開発と並行して、フロー型の再生可能エネルギーをいかに上手に使うかという発想も必要ではないでしょうか。

そのためには、今のエネルギーの使い方を見直すということも必要になってきます。密度の小さい不安定なエネルギーへの依存を少しでも高めるためには、当然のことながら利用する側の姿勢も変えなければなりません。再生可能エネルギー利用に係る課題は、先端技術だけの問題ではなく、我々人々のエネルギーに対する考え方の問題でもあるのです。

(了)

講師略歴

●柴田 善朗

(しばた よしあき)



一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
新エネルギー・国際協力支援ユニット
新エネルギーグループ 研究主幹

1994年3月 東京大学大学院工学系研究科
航空宇宙工学専攻 修了

1997年9月 バリ鉱山大学大学院 エネルギー工学 修了
東芝、住環境計画研究所を経て2010年4月に(財)日本エネルギー経済
研究所入所。

エネルギー需給分析・予測、再生可能エネルギー・系統対策技術分析、
省エネルギー技術分析を専門とする。