

# 再生可能エネルギー導入とスマートグリッド

東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学研究センター 特任教授 荻本 和彦

3・11の東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故により、日本のエネルギー政策は大幅な見直しを迫られている。2012年6月に、政府のエネルギー環境会議は、エネルギー基本計画の見直しに向けた国民的な議論のため、エネルギー総合調査会基本問題委員会、中央環境審議会、原子力委員会の報告にもとづき、日本の将来のエネルギー需給に関する3つの選択肢を提示した。これらのいずれの選択肢においても、再生可能エネルギーの割合は現在のエネルギー基本計画に比べ大幅な増加が想定されており、その成否は将来の日本のエネルギー需給、ひいては社会経済のありようを左右する。本稿では、そのような再生可能エネルギー導入について考える。

## 再生可能エネルギーへの期待

再生可能エネルギーとは、太陽光・熱、風力、海洋、バイオマス、水力など、太陽や地球のエネルギーを起源とする、人間の時間スケールにおいて持続可能なエネルギー源である。日本の再生可能エネルギー利用はこれまで水力発電が中心であったが、今後は、太陽光、風力、中小水力、地熱など、それぞれのエネルギー賦存量や土地利用の条件による導入が行われると考えられる。

2010年6月に資源エネルギー庁が発表した現在のエネルギー基本計画では、一般水力を含めた再生可能エネルギーによる発電量の約800億kWh（全発電電力量の8%）から、2030年には2140億（同約20%）に増や

す計画である。これに対し、2010年6月に発表された3つの選択肢では、全発電量約1兆kWhにおける再生可能エネルギーの発電量の割合を20〜35%、最大3500億kWhとしており、大幅な増加となっている。

しかし、3つの選択肢が想定している極めて多量の再生可能エネルギーによる発電量の増加を実現するのは容易なことではない。発電量増加の中心となる太陽エネルギー、風力エネルギーは、密度が低く、発電量変動するエネルギーである。そのため、再生可能エネルギーの利用拡大に向けては、今後の技術開発の成果を適用しても、経済性をはじめとして、立地制約、土地利用、地元の理解、送配電網の整備など、解決すべき課題は多い。再生可能エネルギーの導入・普及に向けてはこれらの多

様な課題を解決してゆく必要があるが、本稿では、再生可能エネルギーの発電利用と分散システムの管理に係る課題とその解決の可能性について述べる。

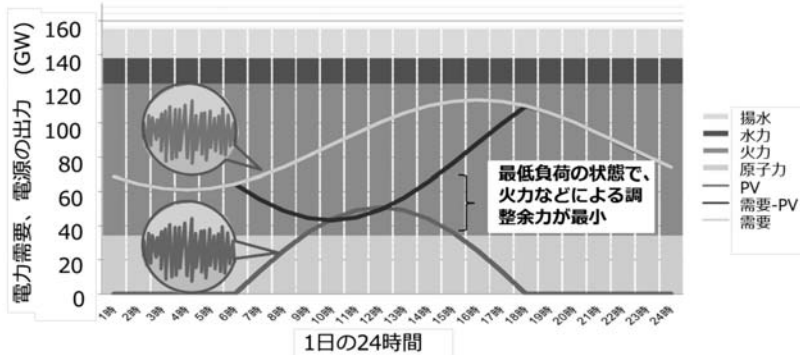
## 再生可能エネルギーの変動の課題

### (1) 再生可能エネルギーの変動特性

日本で大きな導入量が期待される太陽光発電と風力発電は、いずれも電力の形でエネルギーを得る。そしてそれらの発電量は、日射や風速の変化に伴い大きく変動する。太陽光発電は、天候に加えて、時間帯や季節で変動するのに対し、風力発電は地形の影響が加わり発電出力は不規則に変動する。

これらの発電出力の変動は、再生可能エネルギーによる発電を利用する際に、電力システムにおいて、短時間から長時間の様々な時間レンジでの需給調整を困難にし、その対策は再生可能エネルギー導入の究極の課題となる。電力システムではシステム全体での需要と供給が毎時、毎分、毎秒バランスしていることが求められる。

図1 国に大量に太陽光発電が導入された場合の電力システムの需給イメージ



需給の不一致は、供給が需要より多ければ周波数（日本の場合50 Hz、あるいは60 Hz）の増加を、少なれば減少を引き起こす。周波数が本来の値である50 Hzや60 Hzから大きく外れると、発電機やモ

ーターが安定した運転を続けることができず、大停電を引き起こす原因となる。

この電力システムの需給調整の問題は、需要調整を行う単位（例えば各電力システム）全体あるいは連携して需給調整が行われる複数の電力システム全体で対応することが本質的である。このため、太陽光発電など多数の発電システムの個別の変動が相殺する、さらには太陽光発電と風力など異種の合計発電量の変動が相殺するいわゆる「ならし効果」を織り込んで、大きさと速さが相対的に小さくなた変動を前提にした計画、運用が有効である<sup>1)</sup>。

電力システムでは、安定した運転を確保するために、火力発電、水力発電を中心に、ガバナード制御、負荷周波数制御、経済負荷配分などの階層的な制御や運用による需給調整が行われる。しかし、変動性の再生可能エネルギーの導入量が増加すると、図1に示すように、再生可能エネルギー（ここでは太陽光発電を表す）の発電量の変動の増加と、同時に起こる需給調整可能な発電所の運転量の低

下という「2つの理由」により、電力システムの短時間の需要調整が困難になる。さらに再生可能エネルギー発電の導入量が増加すると、より長い周期の需給調整も問題になり、昼と夜、季節といった変動、さらには年によるムラ（水力の場合の渇水年と豊水年など）など、次第に長い時間レンジでの需給調整の課題が顕在化してゆく。

(2) 系統の発電機と発電抑制

太陽光発電や風力発電の発電量の変動による需給調整の課題に対し、先ず、系統の発電所と再生可能エネルギー発電自体による対策について考えてみる。

需給調整の課題を初期段階で解決するためには、従来の電力システムで需給調整を担っている既存あるいは今後建設される水力、火力などの発電所の調整力の向上、調整力を持つ発電所の運用量を増加するための揚水発電所の揚水運転、さらには揚水運転時にその入力を調整可能とする可変速方式の採用などが考えられる。既に風力の大量導入が進み需給調整力の不足に「現実に」悩んでいる欧州で

は、Flexible Generation<sup>2)</sup>などのキーワードのもとで既設および新設の発電所の仕様、設計に関する具体的な検討が行われている。Flexible Generationの実現のためには、火力発電機には、最低運転電力の低下、発電出力の調整幅、調整速度の増加、部分負荷での効率向上、負荷調整による劣化の軽減などが求められる。

さらなる再生可能エネルギー発電の導入への対応としては、貯蔵が最終的な対策となる。しかし揚水発電所の貯水量には限りがあり、バッテリーはまだ高価であり、現状、余剰となる変動性の発電量を経済的に貯蔵することは難しい。このため、余剰分を「抑制する」ことが必要となる<sup>3)</sup>。この抑制とは、太陽光発電の場合はインバーター制御で電流を調整し、風力の場合は羽の角度を調整して風を逃がし、本来発電可能な量の一部を捨てることである。さらに風力発電では、この抑制制御をより積極的に系統の需給制御に活用しようという試みも始まっている。既存の水力の場合でも、梅雨期や台風などによる流量の大幅な増加

の際にはダムに貯水することができず、我が国の水力発電では年間数%の流入量を利用できず放水される。エネルギーを捨てるのは「もったいない」という声も聞くが、水力の場合のダムからあふれる水と同様、太陽光発電や風力発電の電力が余ることはそれ自体が危険であり、適切に管理することが経済的である。

抑制することにより、発電出力の上振れの一部がなくなり、発電量の短い周期の変動を効果的に低減することで、最大出力の一部が利用できなくとも大半のエネルギーを安定的に利用できるという効果もある。今後、抑制電力量を最小にして、電力システムに与える変動影響を最小化する抑制方式の研究、技術開発が重要と考えられる。

### (3) 発電予測

電力システムの運用計画において、需給調整用の電源の効率低下を回避し、再生可能エネルギーの発電量の抑制を最小限にするためには、ニーズに即して数日から数時間後までの様々な時間レンジでの発電予測が不可欠である。

発電予測は、長期に適した気象

予測による方法、短期に適した統計的手法、衛星データによる手法（太陽光発電の場合）などがある。電力システム運用のための発電予測としては、先に述べた「ならし効果」を含めた広域の発電量の予測が重要であり、そのためには広域の発電予測技術が必要となる。広域の発電量の予測については、予測結果を検証するデータが存在しないため、今後、広域の発電量のデータの蓄積・分析と並行した技術開発が必要となる。さらに、安定的な電力システムの運用のためには、寒冷前線の通過などの大きな天気の変化に伴う発電量の急激な変動を予測することも重要である。

発電予測に必要な精度は、電力システムの火力・水力発電所のそれぞれの需給調整力と、太陽光発電や風力発電の導入量の増加による新たな変動の増加、火力・水力発電の部分負荷運転や発電機の起動停止の自由度を反映した運転の確保可能量、それらに伴う経済性などで変化する。

我が国では、電力会社により3

00余地点での日射量、太陽光発電量などのデータ蓄積と解析が行われ<sup>(4)</sup>、これらに基づき2011～2013年度の予定で新たに資源エネルギー庁による太陽光発電の発電予測技術開発が行われている。また、水力、風力を含む再生可能エネルギーの発電予測については、現在電気学会の調査専門委員会<sup>(5)</sup>による調査が行われている。

### (4) 需要の能動化

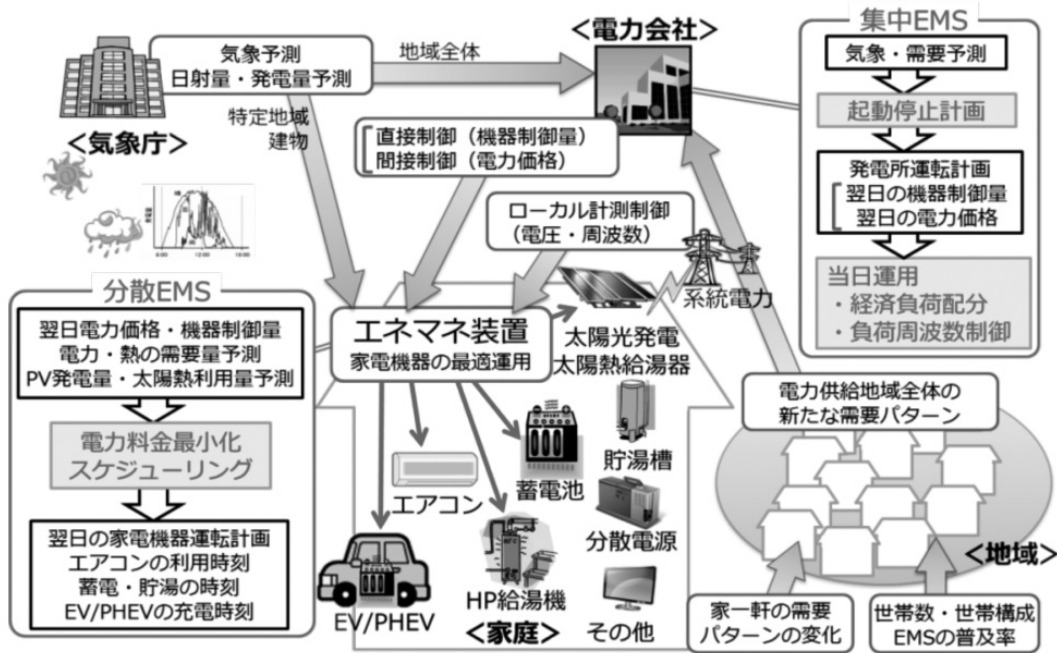
再生可能エネルギーの最大導入を目指して、その発電量の変動の課題を克服するために、バッテリーなどのエネルギー貯蔵技術が注目されている。しかし、調整手段をバッテリーに限らない有効な視点が「需要の能動化<sup>(6)</sup>」である。

需要の能動化とは、需要側の需要そのもの、電源、バッテリーなどを電力システムの需給状況と協調して調整する新たな電力システム運用の考え方である。図2に示すように、電力システムの集中マネジメントシステムから各需要に電力システム全体の需給状況を反映した制御信号、情報を送り、住宅や業務用ビルなどで需要を管理

する分散エネルギーマネジメントシステム（以下分散EMSと呼ぶ）が需要を制御する。例えば、従来電気料金の安い夜間に運転をしてヒートポンプ給湯機による沸き上げや、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車への充電を、電力需給の状況に合わせて夜に限らず行うよう調整することができる。また、太陽光発電や風力発電の出力減少に合わせて機動的に需要を抑制することができれば、需給調整を担う電源の確保量を軽減することができる。需要の能動化は、従来デマンドレスポンスと呼ばれるおり、主として人間が介在した需要調整をICT技術の応用により自動化する、いわゆるスマートグリッドのコア技術である。

需要の能動化の核となる分散EMS技術は、住宅用のHEMS (Home Energy Management System) やビル用のBEMS (Building and Energy Management System)、工場向けのFEMS (Factory EMS)、地域向けのCEMS (Community EMS) などである。東日本大震災後、個別の

図2 需要の能動化による集中/分散エネルギーマネジメント協調の考え方



エネルギー源の確保や節電の実施に向け、HEMSやBEMSへの関心の高まりは大きく、政策的な導入支援も行われ、その技術開発と導入、制度整備が加速している。今後、情報通信の分野を含めた関連分野の規格統一により一層の製品開発と導入普及が進むと考えられる。

(5) 電力システムの運用・設備形成の高度化

電力システムの運用は、現在の火力発電や水力発電など負荷配分可能な発電機を基本とした方式から、変動する再生可能エネルギー発電の割合の増加に伴い、徐々に変化してゆくと考えられる。再生可能エネルギー発電の増加に対応して、出力変動の特性の分析と把握を行った上で、水力発電や火力発電の需給調整力の最大化や発電予測の組み込みを含め、需給調整力の確保に力点を置いた前日の運用計画や当日運用が導入されると考えられる。

さらに、太陽光発電や風力発電の導入の進展に対応して、発電予測技術を積極的に取り込んだ運用が開始され、これらと並行して、

需要の能動化による新しい需給バランスの概念を取り込んだ電力システムの設備計画、運用が行われるようになると考えられる。

**分散型エネルギーシステムの管理の課題**

再生可能エネルギーは、従来の集中電源に比較して一か所あたりの規模の小さな分散型のエネルギーシステムにより導入される場合が多く、管理が行き届きにくいという状況がある。例えば、住宅の屋根などに設置される数kWの太陽電池は、製造や設置工事の不備、経年劣化や飛来物など、様々な原因で故障する可能性がある。故障が発生すると本来の機能が失われるだけではなく、漏電などにより火災が発生する場合も考えられる。また、太陽電池自体は故障していなくても、パネルが火事の際に落下する、強風で飛ばされる事態も考えられる。将来の太陽光発電の国内の設置台数は数千万台という膨大な数になることが想定されることから、導入数が増えた時点でこれらの問題が顕在化するとその対応は非常に難しく、再生可

能エネルギーを含む分散エネルギーシステム全般について国民の信頼を失うことも懸念される。

この問題の解決のヒントは、前節で述べた「需要の電動化」にある。需要の電動化においては、機器がIDと双方向の通信手段を持つ。この仕組みにより、再生可能エネルギーシステムを含む分散エネルギーシステムは運転状態を発信し、何らかの制御信号を受け取ることができる。この、システムを運用するための仕組みを、システムを維持管理する仕組みにも用いることができ、これを分散エネルギーシステムの管理の課題を解決する手段とすることができる。

分散エネルギーシステムが、故障コードを発信し、発信した運転データから劣化や故障管理の一次診断を別システムが自動で行い、この結果にもとづき、詳細な遠隔診断や現地での確認作業、修繕などを漏れなく、効率的に行う体系をつくることができる。エネルギー需給などの単一の目的ではなく、将来の社会システムとして有用な複数の価値を創造することが、分散エネルギーシステムを効

果的に導入する方法ではないか。

## 電力需給の将来に向けて

持続可能という目標に対し、再生可能エネルギーの価値は大きい。2030年やさらなる将来に向けて、再生可能エネルギー導入とそれに必要なインフラは「最大限」の取り組みを行う必要がある、それだけの価値があると考える。しかし「最大限」の意味は、経済性、電力システムの安定性を含め、エネルギー需給のそれぞれの時点での持続可能性、言い換えれば「ベストミックス」として進める必要がある。電力システムの需給調整、社会システムへの分散エネルギーシステム導入の問題が顕在化し、再生可能エネルギー導入の大きな制約とならないようにするために、これらに対する早期の対応が必要である。

さらに視野を広げると、再生可能エネルギーの導入は、持続可能な電力・エネルギー需給の実現の手段であり、それ自体が目的ではない。いつ、どこに、どれだけ導入するかを、エネルギー需要の大

きさ、化石燃料の価格や制約、再生可能エネルギーのコスト、CO<sub>2</sub>の排出量の制約に加え、産業構造、人口構成、ライフスタイルなどの条件の変化のもとで考えていくことが必要である。不確実な環境下の長期のエネルギー需給に対しては、完璧な選択肢はないということを確認し、時間的、空間的に多くの選択肢を組み合わせてすべての時点で持続可能な望ましいエネルギー需給を実現する「エネルギーシステムインテグレーション」の視点が重要ではないだろうか。

### 参考文献

- (1) 荻本和彦、大関崇、植田譲・太陽光発電を含む長期電力需給計画手法、電気学会論文誌、Vol. 130-B, No. 6, p575-583, 2010
- (2) Eurelectric ホームページ：<http://eurelectric.org/RESAP/Generation.asp>
- (3) 荻本和彦、池田裕一、片岡和人、池上貴志、野中俊介、東仁・長期の電力需給計画における再生可能エネルギー大量導入の課題解決の可能性検討、エネルギー・資源学会第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、32-4, 509-512, 2012
- (4) 電気事業連合会・太陽光発電大量導入時の電力系統への影響評価と今後の取り組みについて [http://www.fepc.or.jp/about\\_us/pr/pdf/s2\\_20120420.pdf](http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/pdf/s2_20120420.pdf)
- (5) 電気学会 再生可能エネルギー出力予測技術調査専門委員会 <http://www.ieej-ric.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- (6) 荻本和彦、岩船由美子、片岡和人、池上貴志、八木田克英・電力需給調整力向上に向けた集中・分散エネルギーマネジメントの協調モデル、電気学会B部門大会、8-16 (2011)
- (7) 菅伸介、荻本和彦、大関崇、松山賢五・分散設置された太陽光発電システムのアセットマネジメント、電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会、PE-11-122, PSE-11-139 (2011)