

# 今後の電力システムにおける再生可能エネルギー電源の活用策

## How to promote integration of renewable energy generation in the future power grid

あさの ひろし  
浅野 浩志

一般財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事

東京大学大学院新領域創成科学研究科 客員教授

### 要 旨

本稿では、再生可能エネルギー電源の大量連系で先行する欧米の経験を踏まえて、主に太陽光発電など自然変動電源のさらなる活用を目指すために必要な電力系統側の技術課題および電力市場など制度的側面の課題を議論する。これらの課題や障壁を少しでも軽減し、自然変動電源を使いやすいものにする電力技術を開発し、普及させることが不可欠である。地域間連系線の活用により広域での周波数調整や系統用蓄電池の導入による周波数調整の実証事業が計画され、実証試験データに基づき、最適な需給変動対策のポートフォリオが構築されようとしている。火力発電の高負荷追従性、電力貯蔵の低コスト化、需要側資源の統合制御など、いわゆるスマートグリッド化が一つの解決策となる。個別の再生可能エネルギー技術の開発・普及と並んで、コミュニティや地域社会で広く活用していくには、今後、再生可能エネルギーでつくられた電力・熱・燃料などの各種エネルギーをエネルギーネットワークにうまく乗せて、流通させていくことも重要な課題である。

## I まえがき

再生可能エネルギーの利用には電力以外に熱利用、輸送用の用途があるが、現時点で最も期待されているのは、発電分野における再生可能エネルギー電源の割合を増やすことである。我が国では、再生可能エネルギー電源の中では太陽光発電（Photovoltaics: PV）および風力発電の自然変動電源（intermittent renewable generation: 間欠性電源）の導入が進んでいる。これら変動電源の技術的・経済的特性を考慮した電力システムにおける活用策を実施することが望ましい。再生可能エネルギー電源には、サイト依存性<sup>(1)</sup>、資源遍在性が高いことのほか、電力系統運用面では、出力変動性が激しく、正確な出力予測が困難なこと、すなわち、電力系統者からの給電指令<sup>(2)</sup>が不可能なことという基本的な技術特性がある。これが、自然変動電源がこれまでの主力電源に置き換わることのできない本質的な問題点である。まず、これを少しでも軽減し、自然変動電源を使いやすいものにする電力技術を開発し、普及させることが不可欠である。その代表例がいわゆる、スマートグリッドと呼ばれる次世代の電力系統技術である。

さらに、PVおよび風力発電は一旦、設置すれば、保守費用はかかるものの、燃料費に相当する可変費（すなわち短期限界費用）がゼロに近いと、電力市場における価格競争の中で自らが招く低い電力市場価格では固定費回収が難しくなるという経済的特性がある。そこで、普及初期段階では、そもそも既存電源とは競争しないで、公的支援を受けて、費用回収を補助する様々な支援策が講じられている。

(1) エネルギー生産量などその性能が立地場所に依存すること。

(2) 系統運用者から発電機の出力制御を行う指令。

再生可能エネルギー発電事業者にとって、リスクの低い、投資回収の見通しを得やすい固定価格買取制度（FIT）により、収益性の高いメガソーラーを中心に既存電力系統の連系可能容量を超える再生可能エネルギー電源が国の認定設備として建設・運用が計画されている。我が国において持続的かつ円滑に再生可能エネルギー電源を導入し、利用していくには、様々な技術的・制度的課題がある。その解決の一助として、例えば、地域間連系線の活用により広域での周波数調整<sup>(3)</sup>や系統用蓄電池の導入による周波数調整の実証事業が計画され、実証試験データに基づき、最適な需給変動対策のポートフォリオが構築されようとしている。このような背景のもと、本稿では主に電力市場および電力系統運用の観点から再生可能エネルギー導入策の現状と課題について論考を加える。

## Ⅱ 電力制度・市場設計

### 1 欧米における再生可能エネルギー電源導入と電力市場

中長期的に、再生可能エネルギー電源を含むバランスのとれた電源構成を構築し、安定供給を確保していくために必要な電力制度・市場設計について考える。電力市場改革の先行している欧米では、一般に、kWh（電力量、エネルギー）を取引する前日市場、当日市場のほか、需給調整を行う直前市場としてのリアルタイム市場やbalancing market<sup>(4)</sup>が設けられており、これら様々な電力市場の設計が、現在、我が国の電力システム改革の主要な論点ともなっている。米国のISO（独立系統運用者）/RTO（地域送電機関）が運営する卸電力市場は、特にkWhを取引するエネルギー市場を中心に制度設計の共通化が進んできている（図1）。短期の資源配分、すなわち、電力を効率的に生産し、流通させる市場として、主力のエネルギー市場のほか、電力の品質を一定に保って、高い信頼度で安定的に供給するためのアンシラリーサービス市場（ancillary service market）<sup>(5)</sup>、安価な電力を効率よく安定的に送電するために、送電線の利用権を取引する送電権市場などがある。さらに、5年、10年と電力を安定的に供給するためには、中長期の供給力を確保する容量メカニズムが必要であり、米国のいくつかのISO/RTOでは容量市場を運営している。これらの電力市場の中で再生可能エネルギー電力が引き起こす問題に深く関連するのが、エネルギー市場におけるmissing money問題（収入不足問題）<sup>(6)</sup>、および風力やPVの出力変動に対応するためのアンシラリーサービス市場である。

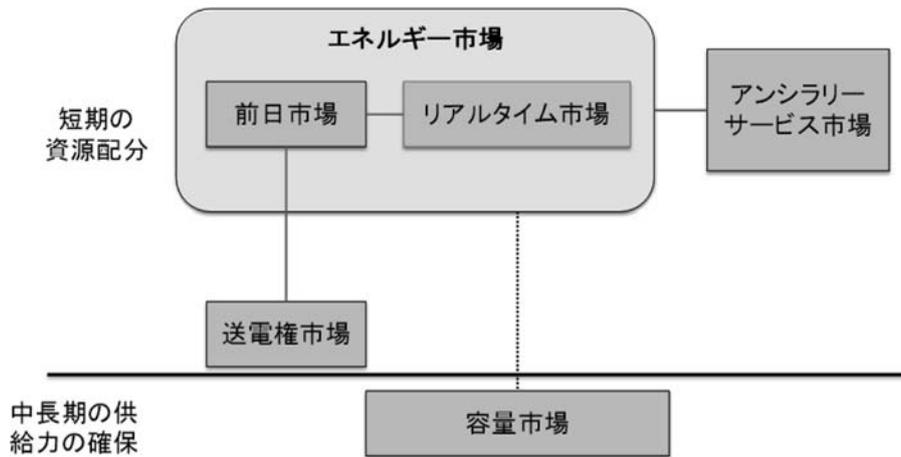
(3) 電力系統の周波数がある範囲内に維持するための制御のこと。

(4) 系統運用者は、時々刻々と変わる需要に対して供給力をコントロールし、瞬時の需給マッチングを行っている。自由化市場の下で、この最終需給調整機能を市場メカニズムを使って行うものをbalancing market（需給調整市場）という。

(5) 送配電ネットワークにおいて必要となる電気の品質維持のためのサービス。ネットワークの周波数維持のための調整力を調達する市場のように、市場メカニズムを活用することもあり、その市場をアンシラリーサービス市場と呼ぶ。

(6) 電力産業は、典型的な設備産業であり、固定費比率が高い。電力市場において短期限界費用で価格形成されると、投資回収に必要な固定費が回収されにくい現象を指す。

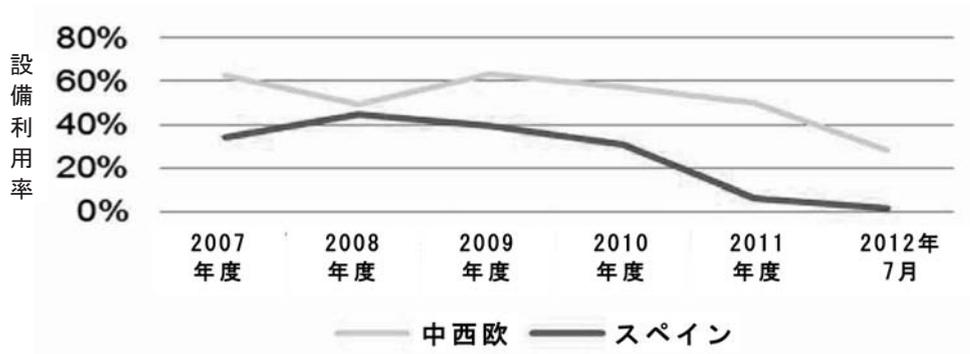
図1 米国ISO/RTOの運営する卸電力市場の構造



(出典) 服部徹「米国の卸電力市場の制度設計と課題－短期の市場の効率性と長期の供給力の確保－」『電力中央研究所報告』2013.5, p.5. <<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/download/71m1YWknRi9a1tZ8n7tm7SMLobIG7Pc/report.pdf>>に基づき筆者作成。

米国の主要な卸電力市場においては、風力発電も火力電源などと同じように、市場に投入される。風力発電は短期限界費用（運転にかかわる増分費用）が極めて安価なため、市場で必ず落札される。欧州では、米国以上に風力発電のシェアが高く、風力発電による発電電力量の増加により卸電力価格が低下している。再生可能エネルギー電源導入に積極的なスペインでは、中西欧（CWE）の中でも特に既存火力発電の設備利用率がほぼゼロに近い水準まで低下している様子を図2に示す。これでは、ミドル負荷プラント<sup>(7)</sup>であり、応答の速い調整力として重要なガス火力への投資が進みにくくなる。既存火力の収益性を悪化させ、変動電源が増加したときの調整力を失い、結果として再生可能エネルギー電源の導入制約になってしまうという問題がある。

図2 低下する火力発電（CCGT）の設備利用率（中西欧、スペイン）



(出典) Eurelectric 講演資料に基づき、筆者作成。

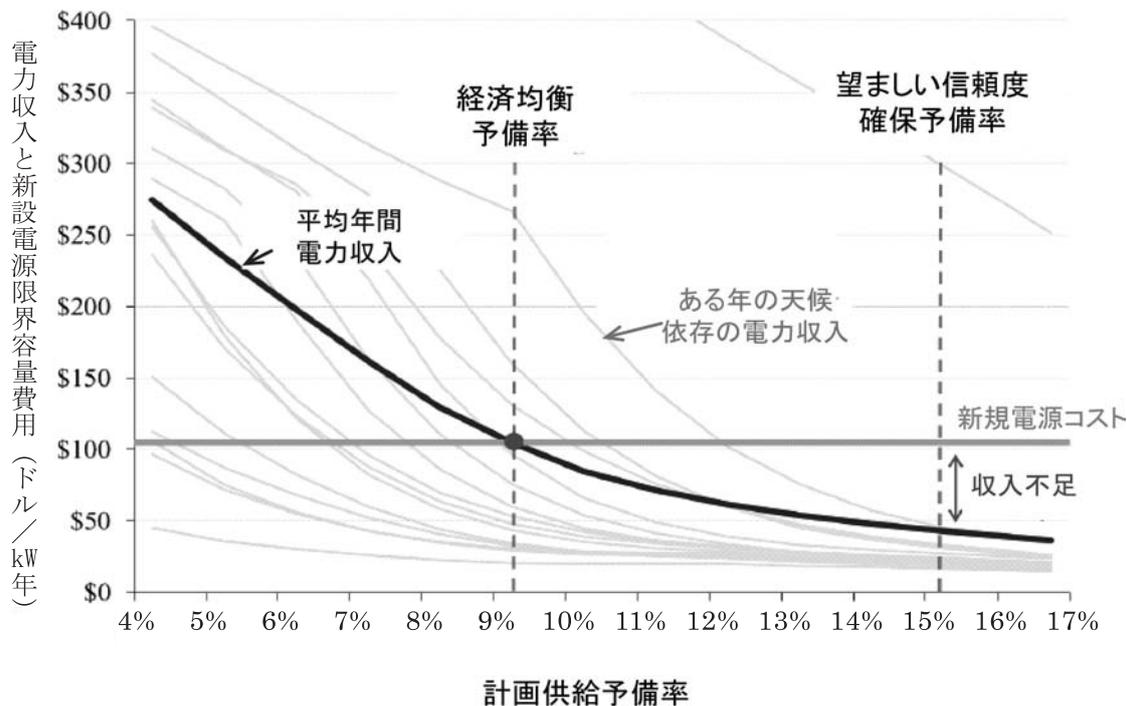
図3は、電力システムの予備率（reserve margin）を上げていったとき、卸電力市場で獲得できる収益性が低下し、新規電源のコスト（Cost of New Entry: CONE）を下回り、結果として電

(7) 電力需要は時々刻々変化し、総費用を最小化するため、固定費と可変費の異なる組み合わせで供給する。中間負荷帯を主な供給分担とするガス火力等をミドル負荷プラントと称す。因みにベース負荷プラントは固定費が高く、可変費の安価な原子力や石炭火力、ピーク負荷プラントはその逆の費用特性を有する石油火力等を指す。

源投資を阻んでしまうメカニズムを示す。風力など変動電源の出力は気象に依存し、電力市場から得られる収益（縦軸）は図のように常に変動する。仮に平均の年間収益性（annual energy margins、右下がりの実線）でみると、需給が逼迫し、電力市場価格が高騰する場合は、高い収益力があり、高コストの電源も競争力がある。市場収益性と新設電源コストが交わる点で、適正な予備率（横軸は予備率を示す）、すなわち経済均衡予備率が決まる（図では9%台）。系統運用者が安定供給を重視し、高い予備率を見込むと、発電事業者は、CONEと収入の差が、missing money（収入不足）となり、固定費など投下資本を回収できなくなる。すなわち、このような市場に任せておくと、将来、必要な新規電源に対する投資が不足するおそれがある。

予備率や容量コストの数值は米国の例であるが、欧州でも同様の問題が生じており、容量市場など新たな容量確保メカニズムを導入すべきか、どのような設計にすべきかが電力制度上の大きな課題になっている。我が国でも仮にPVなど自然変動電源を供給力として本格的に活用するため、再生可能エネルギー電力を電力市場に投入する時代になれば、同様の事態に直面するおそれがある。

図3 再生可能エネルギー電源増加による収入不足問題（missing money problem）

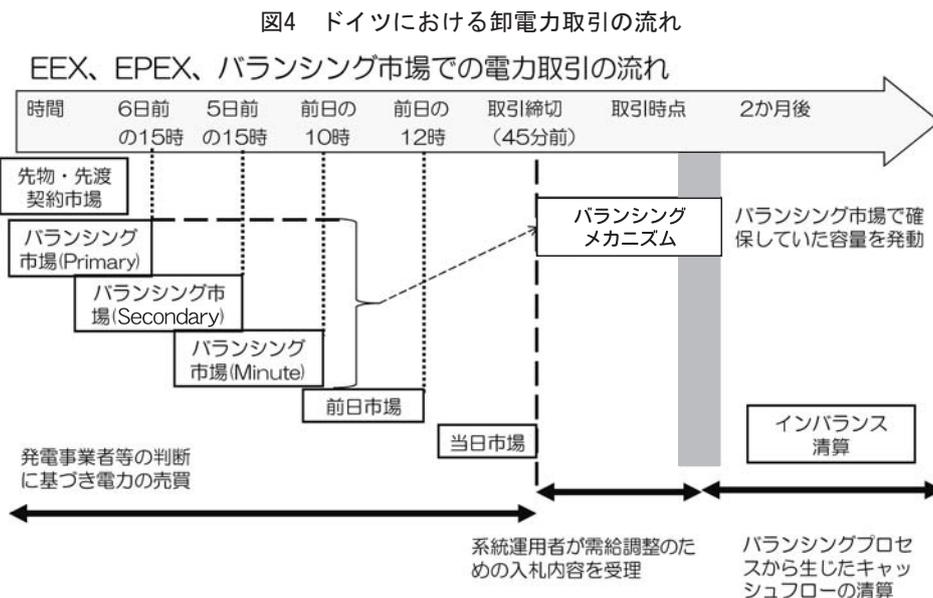


（出典） Kathleen Spees et al., “Capacity Markets - Lessons Learned from the First Decade,” *Economics of Energy & Environmental Policy*, vol.2 no.2, 2013, pp.1-26に基づき筆者作成。

以上のように、欧米で得られた教訓は、風力やPVの急激な大量導入は、気候変動対策には望ましいが、経済的な電力を安定的に供給するための経済負荷配分と電力市場価格形成を歪めるなど市場には悪影響を与えて、中長期的な電力の安定供給に懸念を生じるということである。再生可能エネルギー導入に積極的な諸外国でもいまだ、解決策が模索されている段階である。電力市場の側面からも再生可能エネルギー電源の導入を阻害しない制度設計が求められる。

## 2 バランシング市場の地域間協調（広域化）

ドイツの電力取引の流れを図4に示す。一次（Primary）、二次（Secondary）、三次（Tertiary、ドイツではMinute）の予備力（バランシングメカニズム）があり、それぞれの機能を表1に要約する（我が国も同様の予備力概念がある<sup>(8)</sup>）。変動電源のシェアが大きいドイツの一部の制御地域<sup>(9)</sup>では、再生可能エネルギー電力の出力抑制や再給電<sup>(10)</sup>が頻発してきている。風力発電など再生可能エネルギー変動電源の連系増加に伴い、需給調整の広域化が、ドイツ、北欧、英国でも、新たな取組みとして進められており、欧州での主流になりつつある。



(注1) EEXは、The European Energy Exchange、EPEXはThe European Power Exchange。ともに欧州の電力市場。  
 (注2) Primatyは一次、Secondaryは二次、Minuteは三次の意。  
 (出典) 電力中央研究所作成。

表1 バランシングのための各種予備力

	Primary reserve (一次予備力)	Secondary reserve (二次予備力)	Tertiary reserve (独自の minutes reserve、 三次予備力)
概要	ガバナによる自動制御	LFC による自動制御	電源脱落や需要予測誤差 のための手動制御
時間幅	30 秒以内動作、動作時間 15 分まで	5 分以内動作、動作時間 30 から 15 分	15 分以内動作、15 分から 1 時間

(注) ガバナとは発電機の调速機であり、回転機の入力を調整して回転速度を一定に保つための制御装置である。LFC (Load Frequency Control、負荷周波数制御) とは電力系統の負荷変動に対して、系統内の発電機出力を適切に制御調整し、各地域の周波数変動を許容値以内に収めることである。  
 (出典) 電力中央研究所作成。

(8) 我が国では、それぞれ、瞬動予備力、運転予備力、待機予備力に相当する。

(9) 例えば、TenneT TSOや50Hertz Transmission。いずれもドイツの代表的な送電会社の名称。

(10) 系統安定を維持するため、系統運用者の給電指令に基づき、混雑（送電制約の発生）区間の両端で電源持替を行い、相殺潮流を流すことにより混雑方向の潮流を抑制する方法。

ドイツでは電力制御エリア内で不足している調整力を全国大で調達しようという動きがみられる。これは広域で管理するほうが変動電源の均し効果が効いて、有利なためである。2007年まで各TSO（Transmission grid operators: 送電系統運用者）が、自らのコントロールエリア内のAFC（Automatic frequency control: 自動周波数制御）を行っていた。最終的な需給変動のしわとり<sup>(11)</sup>は、代表的TSOであるAmprionが実施している。ドイツの全国大でのメリットオーダー<sup>(12)</sup>によるコスト低減を目指す観点から、Grid Control Cooperationと呼ばれる二次予備力以降バランスングメカニズムを全国大で調整する方式に移行した。2008年12月より段階的に統合を進め、2010年7月にドイツ大での導入を完了し、さらに、2011年から他国のTSOへの拡大が進んでいる。欧州のTSOおよび政策当局は、最終的には欧州単一市場への統合を目指している。

この欧州における広域運用の考え方は、我が国でも、風力の系統連系が限界に達している北海道で、東北地方、関東地方を含む50Hz東日本系統でより多くの風力発電を利用できないかとの期待と同じ原理である。ただし、そのためには、系統運用ルールの統一やシステムの開発という手間と費用がかかるため、容易ではないことに注意を要する。

### 3 容量メカニズム

再生可能エネルギー電源という給電指令困難な電源容量の比率が高まると、安定供給のための、中長期的な供給力確保をどうするかという問題が生じる。その解決策の一つとして、容量市場や戦略的予備力調達制度（Strategic Reserve）が欧米で導入されている。これらの容量メカニズムは、発電が行われていない時間帯にも、容量価値として設備投資額に一定程度の収益を系統運用者あるいは政府が保証することにより、電源投資を促す仕組みである。供給力確保策は、我が国における電力市場改革の主要な論点となっている。

## Ⅲ 再生可能エネルギー電源大量連系時の電力系統運用のあり方

### 1 スマートグリッドと再生可能エネルギー電源連系の技術課題

住宅用PVシステムなど分散型電源の出力変動電源が配電系統<sup>(13)</sup>に大量に、あるいは集中的に連系されると、配電系統の電圧上昇・変動問題が顕在化する。配電線の長い戸建ての多い住宅地域では、配電線容量のある水準を超えるPVシステムが連系すると単独運転検出問題<sup>(14)</sup>とともに電圧問題の対策が必要になってくる。実際、PVのPCS（Power Conditioning System、インバータと制御装置）により自動的に出力抑制がかかる例も出てきている。将来、導入が検討されている系統運用者との実時間通信<sup>(15)</sup>や大規模な蓄電池による制御（スマートグリッド）は費用が高いため、蓄電池を必要としない限定的な出力抑制策やそれを実時間通信なしで実現す

(11) 需要量に対して発電量の不足分を補うこと。

(12) 短期限界費用の安い電源から順番に供給することにより、最小費用で必要な需要を賄う手法。

(13) 配電用変電所から需要家の引込口に至る間の配電ネットワークを指す。

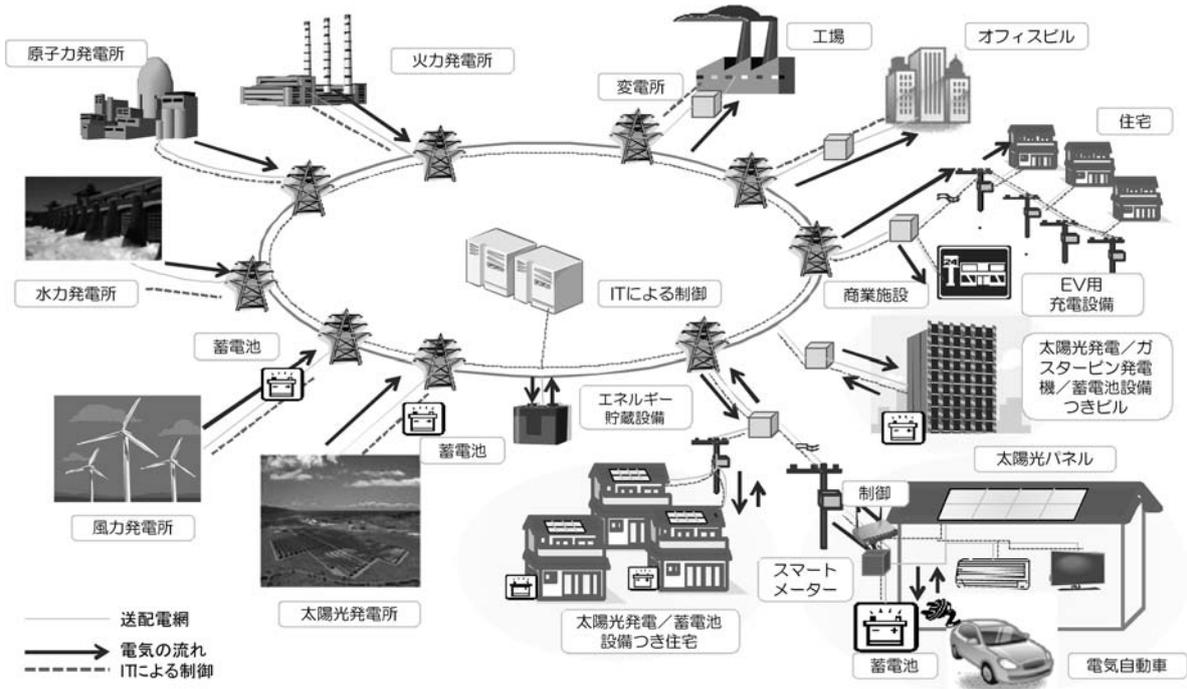
(14) 単独運転とは、発電設備を系統連系した状態で、事故などの理由により、分散型電源が系統から切り離された状態で運転を継続することを指す。感電事故などに至る危険があり、適切に検出する必要がある。

(15) 通信遅れのないリアルタイム通信を指す。

る分散型電源側のローカル制御方式がスマートグリッドへの移行期のために検討されている。

スマートグリッドは、図5に示すように、PVに代表される再生可能エネルギーを活用した分散型電源の大量導入に向けて、従来からの集中型大規模電源と送配電網との一体運用に加え、高速通信ネットワーク技術等を活用し、分散型電源、蓄電池や需要側の情報を統合して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指す次世代電力システムである。図からわかるように上流から末端機器まで電気の流れと情報の流れが一体になっていることが特徴である。

図5 スマートグリッドの概念図



(出典) 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会 (経済産業省)「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」2010.1, p.2. <<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g100129d01j.pdf>>

電圧問題は配電エリアごとの局所的な問題であるが、ウインドファームなど大規模な風力発電所が風況の良い電力システムに系統容量のある一定比率以上連系されると、系統全体の周波数調整力<sup>(16)</sup>が不足してくる。そのため、風力など連系容量に上限を設けることがある。また、出力変動にともなう需給バランスの確保、すなわち、運転予備力の確保は重要な課題の一つである。

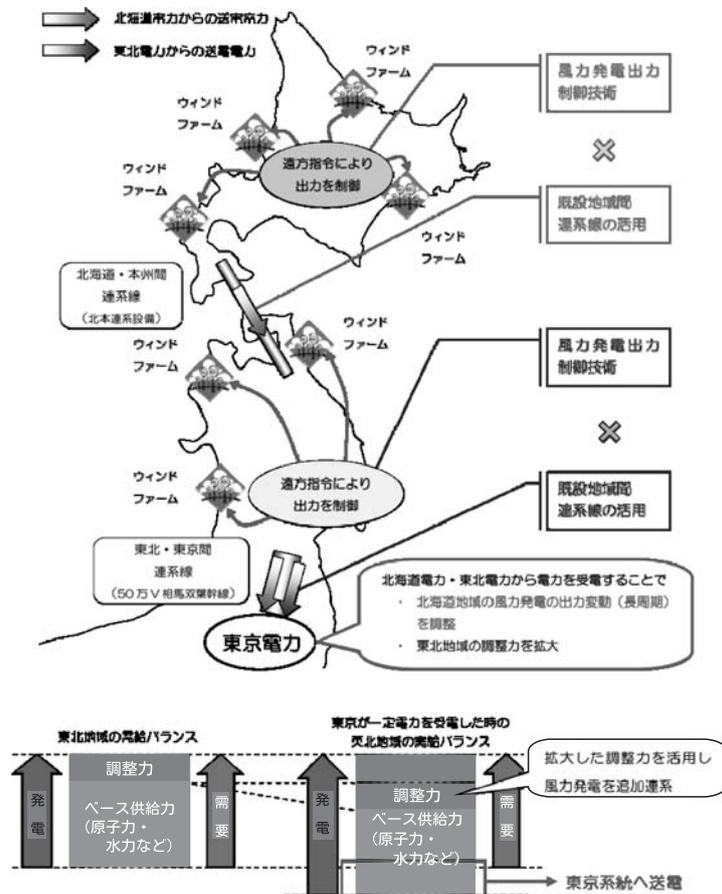
## 2 広域系統運用の拡大と再生可能エネルギーの導入

我が国では、北海道、東北が風力発電の好適エリアであり、導入容量も大きい。これまで風力発電連系の募集枠に対して、応募の合計出力が上回っている。これは、主に周波数調整などの系統運用制約に起因するが、東日本では、電力会社間連系線を用いた広域での調整容量を活用する試みがなされようとしている(図6)。北本連系設備(直流、送電能力600MW)を利用して、大きな出力変動を東京電力側で吸収し、北海道域内で細かい出力変動を調整する。系統運

(16) 周波数調整を行う能力のこと。

用上、必要な場合は、給電指令に従い、風力発電の出力を抑制する。2015年度末から実証試験を行う予定である。

図6 広域系統運用の拡大による再生可能エネルギーの導入支援



(出典) 東京電力「北海道電力と東京電力、東北電力と東京電力の実証試験の概要」(東京電力プレスリリース添付資料) 2011.09.30. <[http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11\\_j/images/110930b.pdf](http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110930b.pdf)>

2013年8月、「広域的運営推進機関の発足に向けた検討会」が設立された。2013年11月に成立した改正電気事業法により、広域的な系統計画の策定や需給調整を行う主体である「広域的運営推進機関」を2015年に創設することが決定された。再生可能エネルギーなど変動電源の増加により、広域での需給調整・周波数調整の必要性が増すことに伴い、これに柔軟に対応した連系線および基幹系等の潮流の管理等を行う広域機関である。2014年初めには、設立準備会に発展させ、その後、国に設立認可を申請し、2015年4月に法人登記する予定である。突発的な電源停止や出力変動に対応するための1時間前市場の開設や再生可能エネルギー電力の利用拡大のため、電力会社間の連系線をまたいだ電力取引は増えていくことになる。

### 3 系統安定化対策

風力については、すでに北海道などで周波数維持が連系上限制約となっている<sup>(17)</sup>。このた

(17) 出力の安定しない風力発電など変動電源が大量に系統連系すると周波数を一定に維持するのが困難になるということ。

め、系統規模の小さい離島で変動電源を大量連系した場合の技術課題を解決する実証事業を行っている。沖縄電力が、経済産業省の補助事業（2010-2013年度）として、宮古島においてPV（合計4MW）と風力（合計4.2MW）を合わせて、系統規模（50MW）の16%に達する間欠性再生可能エネルギー電源を設置して、これらの出力変動が系統運用に与える影響のデータを分析している（沖縄電力マイクログリッド実証事業）。PV出力は、数分間で3MW以上変動することがあり、4MWという大容量のNAS電池で変動抑制を図っている。電池の充放電制御パラメータと出力抑制効果の関係を明らかにしており、次の目標は、いかに少ない電池容量で系統安定化を図ることができるか検証することである。

2000年代半ばからPVおよび風力発電の大量導入に対応する系統安定化対策として、蓄電池（電気自動車など電動自動車を含む）や可制御負荷機器（貯湯式ヒートポンプ給湯機）による系統制御方式が研究されている。

日照、風速など天候急変により、間欠性電源の出力が短時間に大幅に変動したときに対応するため、従前以上に運転予備力を確保する必要がある。主に前日に発電機の起動停止・負荷配分を決めるが、間欠性電源の出力予測には誤差がつきものであり、供給当日、リアルタイムに近い時間帯まで、余分に予備力を保有しておく必要がある。通常、運転予備力（即時に発電可能、あるいは10分以内に起動し負荷に供給できる発電機）は、機動的な火力発電および停止待機中の水力機で確保する。これまで、主に電力需要の変動幅と系統電源の計画外停止ユニット規模に合わせて、需要の数%を運転予備力としてきた。今後は、変動電源の出力予測精度を上げて、必要な予備力を減らすことや、火力・水力の調整力には限界があるため、需要側資源を活用することが求められる。

実際、米国の一部では、高速デマンドレスポンスと呼ばれる需要側資源をシステム柔軟性として活用しようとする動きが見られる。供給側資源（火力発電機）のランプレート（Ramp Rate）<sup>(18)</sup>の制御と同様に、系統の運用効率を改善するために需要側資源（自家発電やエネルギーマネジメントシステム）を活用するデマンドレスポンスが出現しつつある。この背景として、カリフォルニアISO（California ISO）では、州RPS（Renewable Portfolio Standard）によるPVおよび風力の急速な普及で13GW/3hr（16%/hr）という急速かつ長大なランプ<sup>(19)</sup>（2020年、RPS目標年）が必要と見込まれている（図7）。需要の急速な変化に追従する能力、ランププロダクト<sup>(20)</sup>が必要になる。風力発電のシェアが急速に高まりつつあるテキサス州やカリフォルニア州などでは、予備力として大口需要家のデマンドレスポンスを活用する動きもある。これは、風が急に弱くなったり、あるいは強くなりすぎて、停止してしまうことがあるためである。中西部のMidwest ISOでは、LSE（Load Serving Entity: 小売事業者）や需要家が所有する容量資源と負荷調整資源の2種類のデマンドレスポンス資源を運用している。これらデマンドレスポンスは、風力が一斉解列<sup>(21)</sup>したときに短時間で立ち上げる資源（運転予備力）として有用である。我が国でも将来の大量導入時に備えて、予備力や周波数調整のデマンドレスポンスの適

(18)出力変化速度のこと。

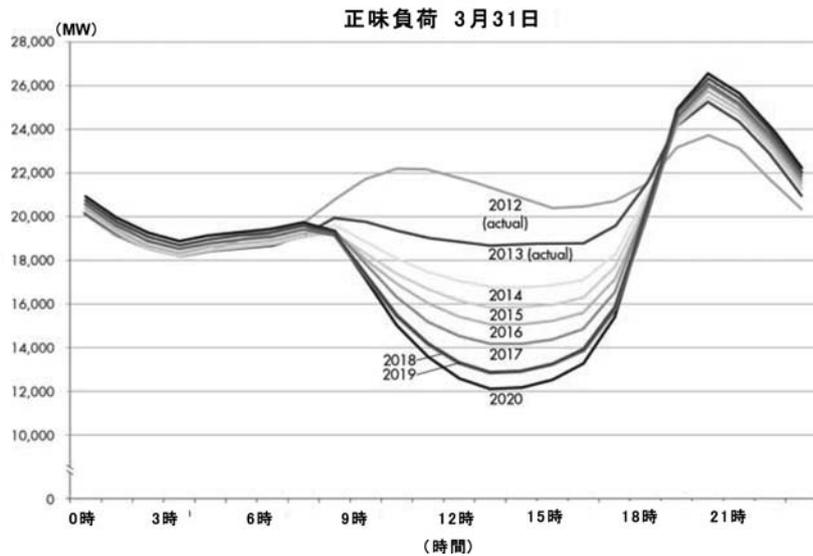
(19)先に示す変化率のこと。

(20)素早い変化率に対応するサービス（米国ではプロダクトと称する）のこと。

(21)太陽光発電や風力発電で発生した電圧が過電圧や不足電圧になったり、周波数上昇や低下が発生したりすると、電力会社の系統全体の品質に悪影響を及ぼし、すべての電力ユーザーに迷惑をかける。電圧や周波数の異常を検出した際に、即座に電力会社系統から切り離す必要があり、これを解列という。広域で強風が吹いたりすると、電力系統から一斉に風力発電機が自動的に系統から切り離されることを一斉解列という。

用可能性を検討しておくことが望ましい。

図7 再生可能エネルギーの急速な普及に伴うランププロダクトの必要性



(注) 太陽光発電や風力発電は予測できない出力変化があり、電力系統を安定的に運用するため、出力変化のスピード（ランプ）に対応する必要がある。特に夕方の日没に向けて、これまで経験したことのない、大きな電力負荷の変化に追従するのが技術課題である。

(出典) Stephen Keehn, *California's Need for Flexible Resource Adequacy Capacity*, EUCI Capacity Markets, November 2013を基に筆者作成。

系統運用者は、これまで、信頼度維持、混雑管理、経済運用を行ってきたが、これから再生可能エネルギー電源比率が高まるにつれて、その出力変動に対応し、信頼度・電力品質を維持するために、米国ではアンシラリーサービス供給にも適用可能な、新しいタイプのデマンドレスポンスを活用しようとしている。電力の品質を維持し、停電を極小化するために、定常時のLFC (Load Frequency Control: 負荷周波数制御)、非常時の瞬動予備力・運転予備力、非常時の電圧管理などが必要である。

#### IV 課題と展望

固定価格買取制度 (FIT) により再生可能エネルギー電源が急速に普及し、電力系統運用上も様々な問題が生じつつある。これからエネルギー供給の柱の一つとして、本格的な再生可能エネルギー利用を進めるならば、適正な電源ミックスのバランスで、すなわち火力や既存水力などの調整力を維持拡大しながら、再生可能エネルギー電源を（ブームではなく）持続的に開発し、革新的な電力技術・予測制御技術により供給力化していくことが肝要である。そのためには、火力発電の高負荷追従性、電力貯蔵の低コスト化、需要側資源の統合制御など、いわゆるスマートグリッド化が一つの解決策となる。

再生可能エネルギーの利用形態は多様である。伝統的にはバイオマスエネルギーによる熱利用やより高度な太陽熱エネルギー利用による建物の空調もあり、長期的には、再生可能エネルギー電源の割合を増やした電力による自動車の電動化（電気自動車やプラグインハイブリッド車）も含まれる。現在は、電力系統という巨大なバッファがあり、電力品質を安定化しやすく、間

欠的な電源もある程度受け入れ可能である。また、電力は計量しやすく取引しやすい利用形態であるため、グリーン電力<sup>(22)</sup>やグリーン証書<sup>(23)</sup>という新サービスにも展開しやすい。

一方、熱利用も計量面や輸送面など様々な工夫の余地があり、グリーン熱証書<sup>(24)</sup>など、広く社会で利用できる仕組みも整いつつある。今求められているのは、個別の再生可能エネルギー技術の開発・普及と並んで、それらを適材適所で使うこと、また、コミュニティや地域社会で広く活用していくには、再生可能エネルギーでつくられた電力・熱・燃料などのエネルギーをエネルギーネットワークにうまく乗せて、流通させていくことであり、業種を超えて、供給者・ユーザーの双方がこれに向けた全国的な取組みを展開することである。そのための情報や知見を共有できる基盤を公的に整備することである。

## 参考文献

- (1) 浅野浩志「再生可能エネルギーの全量買取制度に関する電力システムの課題と対応」『太陽エネルギー』Vol.38 No.2, 2012.3, pp.9-14.
- (2) 浅野浩志「特集解説「出力変動電源の系統連系技術」」『電気学会論文誌. B, 電力・エネルギー部門誌』132巻 4号, 2012.4, pp.297-300.
- (3) 浅野浩志「デマンドレスポンスによる需給安定化」『電気学会誌』Vol.132 No.10, 2012.10, pp.688-691.
- (4) 浅野浩志「電気料金による電力需要の調整と市場機能による需給調整」『電気評論』97 (11), 2012.11, pp.34-38.
- (5) 服部徹「米国の卸電力市場の制度設計と課題—短期の市場の効率性と長期の供給力の確保—」『電力中央研究所報告』2013.5. <<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/download/71m1YWknRi9alITZ8n7tm7SMLobIG7Pc/report.pdf>>
- (6) 古澤健「ドイツの再生可能エネルギー電源普及に伴う影響—卸電力市場の価格と系統運用の再給電指令—」『電力中央研究所報告』2013.5. <<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/download/v6cOyQebLhTUvKizT89GNl9ShfP1DNq3/report.pdf>>
- (7) 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会（経済産業省）「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」2010.1, p.2. <<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g100129d01j.pdf>>
- (8) 東京電力「北海道電力と東京電力、東北電力と東京電力の実証試験の概要」（東京電力プレスリリース添付資料）2011.09.30. <[http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11\\_j/images/110930b.pdf](http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110930b.pdf)>
- (9) Eurelectric, *Customer-Centric Retail Markets: A Future-Proof. Market Design* (EURELECTRIC Policy Paper), September 2011. <[http://www.eurelectric.org/media/26650/customer-centric\\_retail\\_markets-web-2011-321-0002-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/26650/customer-centric_retail_markets-web-2011-321-0002-01-e.pdf)>
- (10) Keehn, Stephen, *California's Need for Flexible Resource Adequacy Capacity*, EUCI Capacity Markets, November 2013.
- (11) Spees, Kathleen et al., "Capacity Markets - Lessons Learned from the First Decade," *Economics of Energy & Environmental Policy*, vol.2 no.2, pp.1-26, 2013.

(22) グリーン電力とは、風力、太陽光、バイオマス（生物資源）などの自然エネルギーにより発電された電力を指す。

(23) 「環境価値」を「電気の価値」と切り離して、「グリーン電力証書」というかたちで取引をすることで、証書の購入者は再生可能エネルギーによって発電されたグリーン電力を使用している、とみなすことができる。環境価値を証書化したもの。

(24) 太陽熱やバイオマス熱などのグリーン熱の環境価値を証書化したもの。