

## &lt;特集&gt;

## 分散型エネルギーシステムの技術展望

Future Prospects of Distributed Energy Systems

浅野 浩志

財団法人 電力中央研究所 経済社会研究所\* 上席研究員 工学博士

HIROSHI ASANO

Director, Economic and environmental impacts of distributed generation penetration  
Socio-Economic Research Center  
Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

## 1 分散型エネルギーシステムへの期待

1990年代以降、kWオーダーから数百kW程度の中小規模分散型発電技術が実用化され、同時に保安規制の緩和やITによる遠隔監視システムの導入を背景に新たなビジネスモデルであるオンサイトエネルギー供給サービスの市場が急速に成長してきた。ユニバーサルサービスとして電力系統は既に全国津々浦々まで行きわたっていたが、都市ガス等発電用に電力と代替可能な燃料のインフラも整備されるにつれて、需要家サイトでエネルギー変換とエネルギー利用を同時に行うオンサイトエネルギー供給が中小規模でも技術的・経済的に可能になってきた。

また、電気事業者に対して、新エネルギーによって発電された電力を一定量利用することを義務付けるRPS (Renewable Portfolio Standard) 制度が、2003年度から全面施行され、新エネルギー導入の契機となりつつある。この日本版RPS導入などに代表されるようにCO<sub>2</sub>排出削減のため、太陽光発電(PV)や風力発電、バイオマスエネルギーなど再生可能エネルギー、いわゆる自然エネルギーを活用する分散型エネルギーシステムの普及加速も図られている。特に廃棄物・副産物を利用するバイオマスエネルギーは循環型社会を構成する不可欠な要素として注目され、政府も技術実証を支援している。

本稿では分散型エネルギーシステムの内、分散型電源(distributed generation)に焦点をあてる。分散型電源は、原子力発電所や大型火力発電所など集中型電源(centralized generation)と対比され、おおむね100MW以下の

容量で、集中的に計画されず、個別需要家・事業者が自律的に導入し、運用する<sup>1</sup>設備をさす。分散型電源は、利用するエネルギー源により大きく自然エネルギー利用型と化石燃料投入型(オンサイト型)に分けられる。自然エネルギー利用型にはPV、風力、中小水力、バイオマスなどが含まれる。化石燃料投入型には従来型のディーゼルエンジン(DE)、ガスタービン(GT)、ガスエンジン(GE)等のモノジェネ、コージェネレーション・システム(CGS)の他、今後普及が期待されている燃料電池が含まれる。その他に、廃棄物発電、電力貯蔵技術も分散型電源として位置付けられる場合がある。

また、最近瞬時電圧低下などに対応するため電力品質維持にナトリウム硫黄電池などの電力貯蔵装置を利用する動きが見られる。そして分散型電源に加え、SMES(超電導エネルギー貯蔵システム)やフライホイールなどの電力貯蔵装置を加えた分散型発電装置をDistributed Powerと称し、さらにこれに直接負荷制御や需要反応プログラムなど系統側から給電可能なデマンド・サイド・マネジメント(DSM)を加えた資源を分散型エネルギー資源(Distributed Energy Resources: DER)と総称する。DERは自由化市場での有効利用が期待され、国内外で活発に研究されている。これらDERは従来の系統電源による供給の一部を代替し、電力供給の一端を担うことになる。PVやCGSは、環境負荷低減、輸入エネルギー資源削減に加えて、その需要地近接性から、送電損失の削減効果、送配変電設備の節減効果も期待される。

一方で、PV、風力の出力は本質的に不安定であり、さらにその短周期変動が電力の品質確保に与える影響が懸

<sup>1</sup>一般には中央給電指令の対象とならない。通常は配電系統あるいは2次系統に連系されるか、独立型である。

\*〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1  
TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2805  
E-mail:asano@criepi.denken.or.jp

念されている。また、燃料投入型のような制御可能な電源でも、自家用など系統管理の対象とならない場合は、電力系統全体での需給バランスを維持する観点からすると、系統電源に比べて供給力としての確実性は低いと考えられる<sup>2</sup>。電力の品質や供給の安定性を確保し、電力供給システム全体として効率化をはかるためには、こうした特性を踏まえて適切にその価値を評価することが求められる。

このように多様な技術が分散型電源に含まれるが、エネルギーコスト削減、環境負荷低減、不確実性への対応など導入目的が異なる。分散型電源を導入する供給サイド、需要サイドのメリットは以下のように要約される。エネルギー供給側：

- 1) 大型電源に比べて、運転開始までのリードタイムが比較的短く、今後競争導入や経済見通しが不透明な中、需要等の不確実性への対応が容易になる。
- 2) 需要地近接型の場合、流通設備投資を削減できる。
- 3) ローカルな混雑管理や系統大での需要反応プログラムに活用できる。
- 4) 将来、需要地系統による分散型電源の出力、無効電力が実時間で制御可能になった場合、アンシラリーサービス<sup>3</sup>を供給できる可能性がある。

需要側：

- 1) 需要家が求める信頼度とコストのバランスにしたがって、自家発や電力貯蔵装置を設置できるようになりつつある。
- 2) 排熱を有効利用できれば、エネルギー効率化、エネルギーコスト削減が可能である。  
一方、後述するように本格的に普及した場合、さまざまな技術的課題を生じる。

## 2 国内外の分散型電源普及状況

### 2.1 オンサイト型電源の設置状況

分散型電源に関する公的な定義および統計はないため、コージェネレーションセンター、火力発電協会、日本電設協会等の公開データを参考に、オンサイト型を中心に地域別・規模別の設備容量など基礎的なデータを電力中央研究所独自に推計している。Fig.1 に近年の発電規模別容量の新増設の推移を示す。

1000kW 未満の発電設備は経済産業局への届け出が必要ないため、正確な統計がないため、過小評価となっている

<sup>2</sup>負の負荷として、負荷の一部とみなされる

<sup>3</sup>周波数や電圧制御などの系統運用維持サービス

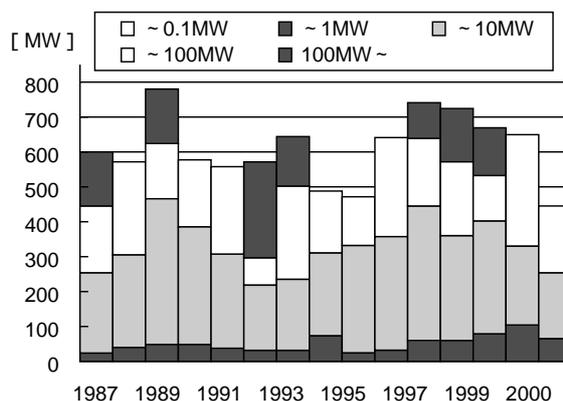


Fig.1 自家発新設の推移 (電力中央研究所調査)

る。自家発全体で約 3000 万 kW の内、一事業所あたりの出力が 1 万 kW 未満の分散型電源に相当する自家発の総容量は 2 割以下の 600 万 kW 程度であるが、伸びは比較的大きい。最近の経済状況による設備投資削減と電気料金値下げによる自家発の経済性劣化を反映し新増設は減少傾向にあるが、中小規模のシェアが相対的に増加している。CGS は 1985 年以降本格導入が始まり、着実に増加してきたが、景気低迷や近年の電気料金の大幅な値下げにより 1990 年代後半伸びは鈍化している。オンサイト型では、GE のシェアは低く、DE、GT が高い。特に近年の DE のシェアは大きく、平成 9-13 年度に導入された常用自家発容量の 6 割を占める。

その他、総容量のシェアはまだ小さいが、小規模業務用ガスエンジン自家発が販売されている。家庭用 1kW クラスの CGS も 2003 年 3 月から国の補助金が適用され、販売開始された。

### 2.2 自然エネルギー利用型の導入状況

PV の導入規模は 2002 年 3 月末で 45.2 万 kW に達し、世界で最も普及が進んでいる。国内では PV 設置住宅が 10 万軒を超えたとの推定もある。初期設置コストは kW あたり 77 万円と 8 年前の 1/5、発電コストも 54 円/kWh と料金水準の 2.3 倍まで低下してきた。国の系統連系ガイドラインの整備も米国等よりも早く、国の設置費用補助と電力会社による自主的な余剰電力買取制度 (販売価格と同額で電力会社が買取) が普及支援に寄与してきた。

風力発電は技術的には実用段階に達している。国の設置補助などの支援制度や電力会社による長期契約等により、近年導入が急速に進み、2003 年 3 月末で 41 万 kW を越す勢いである。出力 1 万 kW 以上のウインドファームが国内総出力の過半を占めており、ある程度スケール

メリットが働くことを示唆している。現行の政府長期エネルギー需給見通しでは温暖化防止の政策ケースで 300 万 kW (2010 年度) を目標とし、北海道など地域によっては電圧や周波数などの電力品質に悪影響を及ぼすことが懸念されている。このため、特に早期に問題が顕在化する北海道を対象に電力系統影響を解明している。

2002 年の法改正によりバイオマスエネルギー利用が新エネルギーとして公式に位置付けられ、政策支援の対象になった。現在、食物残渣や畜ふん、下水道汚泥など廃棄物系バイオマスの利用が進んでいるが、農林水産系、栽培作物系のバイオマスエネルギー利用は技術開発段階にあり、本格的な商用化には至っていないのが現状である。わが国は急峻な山地など地理的条件や高コストのため、木質系バイオマスの利用が遅れている。そのため、国は木質ペレット製造施設など設備面や残材の効率的な収集・運搬機材の整備などようやく利用機運が高まってきた。廃棄物からバイオガスを発生させ、MCFC (熔融炭酸塩形燃料電池) で発電利用するシステムが愛知万博での実証運転を目指しているなど技術的にはより高級なシステムもある。また、一層のエネルギー効率向上を図るため、MGT (マイクロガスタービン) と MCFC や SOFC (固体酸化物燃料電池) などさまざまなハイブリッド方式の発電方式も研究されており、その成果が期待される。

### 2.3 国外の動向

わが国と異なり、暖房需要が旺盛で、自治体営エネルギー企業が主要な地位を占める北欧などではコージェネレーション型の地域熱供給システムが普及している。近年、CO<sub>2</sub> 排出削減のため、木質系バイオマスなど再生可能エネルギーを混焼利用している。例えば、フィンランドでは、木質系バイオエネルギーは同国の一次エネルギー消費 3130 万 TOE (1999 年) の 20%、発電用燃料の 11.8% (総発電量は 779 億 kWh, 1999 年) を占め、主要な燃料として位置づけられる。木質系バイオエネルギーを燃料とする発電所は全国で 21 カ所、1700MW の発電容量があり、発電量は 8TWh/年 (総発電電力量の 1 割) を発電している。同国政府は CO<sub>2</sub> 排出量抑制のため、再生可能エネルギーのシェアを 97 年の 6.8 百万 TOE から 2010 年には 9.2 百万 TOE、さらに 2025 年には 12.6 百万 TOE へと大幅に増加させる目標を設定している。

EU 全体では、2001 年に採択された再生可能エネルギー指令において、電力消費量におけるシェアを現状の 14% (大型水力含む) から 22% まで増加させるため、加盟諸国が系統連系の保証など必要な措置をとることを定めてい

る。これにより、風力、特に洋上風力の開発が進み、バイオマス発電、とりわけ木質系バイオマス発電所が増加する模様である。2002 年末の EU 域内の風力総設置容量は、前年比 33% 増しの 2306 万 kW に達している。ドイツ、スペインでの増加が著しく、デンマークとあわせた上位 3 国で 85% を占め、英仏の大国で設置が進まないなど大きな偏りがある。これは風況や技術的問題というより環境政策、電力政策の違いによるものであろう。

また、ガスパイプラインが整備されている地域では、オンサイト電源も増える可能性があり、わが国と同様に分散型電源の統合制御を目指した研究プロジェクトも英独で進んでいる。

米国政府は、燃料電池自動車および定置用発電システムの開発に 2004 年 2.7 億ドルとわが国同様に大きな予算を付けている。米国では家庭用は 3-10kW、乗用車用は 50kW 以上を開発中である。現状、エネルギー省は kW あたり 1 万ドルと評価しているが、年産 50 万台の量産段階では kW あたり 500 ドルに引き下げられるとしている。

連邦レベルでは法案はあったものの、RPS 法は成立していない。一方、州レベルでは 13 州で RPS が施行され、相対的に競争力のある風力が急速に建設され、カリフォルニア州で 182 万 kW、テキサスで 110 万 kW など全米で 469 万 kW (American Wind Energy Association) が設置されている。これまで風力発電設置補助として大きな役割を果たしてきた税額控除措置は、埋立ガス発電やコージェネレーションシステムにも適用されるようである。

分散型電源は電力系統の発達した先進国より、むしろ、系統が未整備な途上国で大量に導入される余地がある。中国は系統に連系しない独立型の分散型エネルギーシステムで電力需要の 15% をまかなっているとみられる。全世界で 2010 年までに 1 億 kW の分散型電源が普及するとの見方もある (World Alliance for Decentralized Energy)。

## 3 分散型電源の課題と展望

### 3.1 新エネルギー利用型電源の普及課題

わが国で今後、2010 年程度までの視野において自然エネルギー利用型電源の普及に最も影響を与えるのは、RPS 法および将来導入されるグリーン電力証書の価格であろう。二義的には自主的な取組みであるグリーン電力制度と、将来、全面自由化された場合に導入される可能性のあるグリーン料金制度であろう。

2001 年度に策定した新エネルギー導入の政府目標は、目標ケースにおいて、PV482 万 kW、風力発電 300 万 kW、廃棄物発電 417 万 kW、バイオマス発電 33 万 kW

である。これには官民で最大限の努力が前提とされ、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)が規制的措置として目標達成を支える形になった。2010年度において122億kWh(販売電力量の1.35%程度)を目標量としている。我々の試算(西尾, 浅野, 2003)によれば, RPSにより最も普及が加速されるのは風力であり, 毎年20万kWで増加する見通しである。廃棄物発電で約6割がバイオマス起源とされ, 当面はRPSのもう一つの主力電源である。平成13年度末で廃棄物発電の合計発電出力は117万kWである。2010年度での義務量の内, 風力が45億kWh, 一般廃棄物が30億kWhと大宗を占めることが予想される。この義務量達成には最終需要家にとって販売電力量当たり0.1円/kWh(2010年度)の追加的負担となる。これまで一般電気事業者は環境価値相当も含むかなり優遇した電力価格で余剰電力を購入したり, 長期契約を結んでいた。電力各社は, RPS法施行により, これまでの余剰電力購入メニューを大幅に見直し, 電力のみ買取る方向に転換した。この際, 風力の電力価値はkWhあたり3円程度とされている。証書価格に関する当所の試算をもとにすると, 電力価値が3円台のとき, 証書価格は6円台と推定される。新エネルギーも電力自由化時代には今以上の経済性を求められよう。

PVおよび風力などのグリーン電力に対する一般国民の期待は大きく, これを現実の導入に結びつけるグリーン電力制度など自主的な取組みを一層充実させることも規制的措置に加えて, 重要である。電力中央研究所では, グリーン電力に対する一般世帯, 業務用需要家の支払い意思額を推定しており, 総額では年間1000億円のオーダーに達するものと考えられる(高橋, 浅野, 2002, 馬場, 田頭, 2002)。

全国に40万kW程度のポテンシャルがあると推定される上下水道などの未利用水力資源を用いたマイクロ水力発電事業に乗り出す新エネルギー事業者も電気事業のグループ企業として現れた。

欧州では地形上資源が豊かで立地もそれほど難しくないため, 洋上風力は珍しくないが, わが国は好風況でかつ水深の浅い適地が少なく, 漁業補償等が高額のため, 実用化されていない。日本海洋開発産業協会の試算では, 陸上建設に比べて建設費用は1.8倍であるものの, 設備利用率を高く見積もることができるため, 発電原価は9.8円/kWhと陸上設置より安価になるとの見通しを出している。

### 3.2 自由化時代のオンサイト電源の価格競争力

オンサイト電源はその経済性が固定費よりもっぱら燃料費等の可変費に支配されるため, エネルギー産業の自由化・競争激化によるエネルギー価格の低下, とりわけ, 電気料金の引き下げ傾向であろう。電力自由化による電気料金低下は競合する分散型電源の経済性を厳しく問う。例えば, 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムがCO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯システムに競合するためには, 少なくとも25-30万円/kWhまで容量コスト(固定費)を下げる必要がある。また, 中小業務用マイクロタービンコージェネレーションシステムが蓄熱式空調システムと競合するためには, 現状より少なくとも2割以上は容量コストを下げる必要がある。同時にこれらのコージェネレーションは都市ガスを主燃料とし, その本格的な普及には大幅な価格低下が求められる。

また, 自由化が極端に進行していくと, 自己利益を追求する市場参加者の割合が増え, 短期的・長期的に電力供給信頼度が低下していくことが懸念される。一方, デジタル社会化により瞬低さえ許さない高信頼度供給を求めるユーザも増えていくことが見込まれる。半導体工場やデータセンターなどシステムの停電に対応するため, 電力貯蔵装置を含む分散型電源の導入が加速する可能性がある。

## 4 需要地系統による分散型電源の協調

分散型電源を既存の集中型電源・系統と協調して運用することにより, 社会全体の環境負荷を削減し, エネルギー供給の安定性を確保し, 経済性を向上するという観点が必要である。

分散型電源の大量導入時においては, 供給系統内に分散する多数の分散型電源の出力変動による配電線の電力潮流輻輳, 電圧変動の増大, および事故時の制御・保護の困難化が生じ, 従来の運用管理方法では電力品質や供給信頼度が確保できなくなると考えられる。

そこで, 分散型電源の大量導入時でもこのような問題点の発生を防ぎ, 分散型電源のフリーアクセス化を図るとともに, 分散型電源の特長を活かし, 電気, 熱エネルギーの効率利用を行い, 負荷平準化や省エネ, 環境保全に寄与する新しい電力供給システムとして「需要地系統」が電力中央研究所より提案されている。Fig.2は, 2変電所からの配電線をループ化, ネットワーク化し, 運用管理システムの下で需要地系統を構成した例を示す。

同様の概念は米国ではマイクログリッドと称し, 官民で実証研究が進みつつある。

需要地系統は, 規模的には現在の配電系統と二次系統

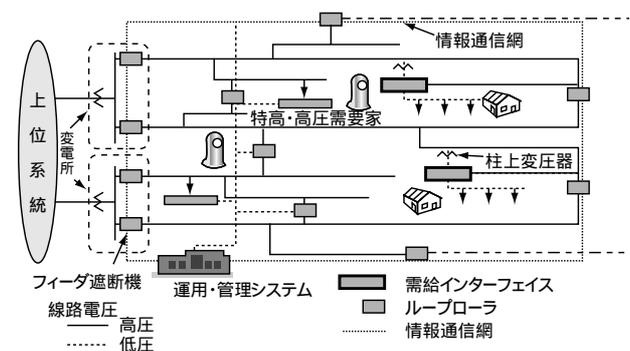


Fig.2 需要地系統の概念図

(負荷供給系統)を包含した単位となると考えられる。電圧については、需要や分散型電源の導入量が特に大きい地域を対象に、60kV級、20kV級、400V級といった現状より高い階級が適用される。需要地系統では系統の形状はループを基本運用とし、面的供給力の向上によって、更なる需要増加の下でも変電所数の減少が図れるなど設備構成面での簡素化が達成される。また、需要の特に大きい地域などでは一部メッシュ状構成も採用される。これら系統設備は極力単純化されるとともに、既存設備が徹底利用され、低コスト化が図られるが、ループ間のフレキシブルな潮流制御を行う装置(ループコントローラ)の活用も考えられる。ループコントローラは、直流リンクされた交直変換装置であり、同一バンクの他、位相や電圧が異なる異バンク間、異変電所間のループ化も可能にし、ループ化された回線間の潮流制御と両端の電圧制御を同時に達成する。また、回線事故時には、交直変換装置の特徴を生かし、電流瞬時値制御等により事故電流の通過を防止する。これにより、ループ化による短絡容量の増大、事故停電区間の拡大を防止する。

運用・制御面では、高度に発達した通信ネットワークを活用し、ユーザー、系統サイド双方のニーズを満足するように需要地系統とのエネルギー需給を効率よく行うための機能が必要である。これは電力中央研究所が提案している「需給インターフェイス」と称するもので、これにより、自身の所有する分散型電源からの電力のほか、系統サイドから時々刻々送られてくる料金メニューや系統情報を配慮しながら、系統からの電力、小売業者からの電力、さらには熱、ガスといった多様なエネルギーを高効率で安定にコストミニマムで利用する。

将来は、需要家設置の分散型電源からアンシラリーサービス供給が可能な統合制御を目指している。

## 5 終わりに

本稿では分散型電源を中心に動向と課題を論じたが、最後にその他注目すべき技術動向に触れる。電力貯蔵関係では、電力品質対応のフライホイール、系統制御用マイクロSMESが欧米で実用化されている。また、ハイブリッド自動車や将来の燃料電池自動車向けにスーパーキャパシタの長寿命化・高エネルギー密度化の研究開発が進んでいる。

エネルギー新時代に向けて、分散型エネルギーをより活用するためには、政府、開発機関、ユーザの積極的な取り組みが不可欠である。資源エネルギー庁は新電力ネットワークシステム研究会を設置し、分散型電源の普及進展による電力流通システムへの効果、課題を整理し、分散型電源の統合制御システムのシミュレーション評価、新電力システム実現に向けた技術開発計画の策定に取り組んでいる。

RPS法導入等により、系統電源との競争以上に分散型電源同士の競争も激化する。分散型電源を停電時のバックアップ、電力品質の改善、系統の過負荷や混雑管理、ピーク需要削減など主に電力供給信頼度向上に活用する動きが米国で見られる。わが国では既に十分な信頼度水準に達しているため、もっぱらCO<sub>2</sub>排出削減の観点から分散型電源導入支援が語られる。ただし、真にCO<sub>2</sub>排出削減最小化に寄与するかはエネルギーシステムの使用実態に基づく検証が必要である。

現段階では燃料電池など新しい分散型電源には長寿命化やコストダウンのための材料開発・システム開発、燃料供給などのインフラ整備、各種保安規制の緩和、電力系統影響緩和など多くのハードルがある。しかし、長期的には環境制約の下でより効率的でクリーンなエネルギーシステムが志向されるとき、分散型エネルギー技術の進展に大いに期待されているのも事実である。

### [参考文献]

- 1) 西尾, 浅野 (2003): RPS下における新エネルギー導入量と対策費用の分析, 電中研研究報告 Y02014
- 2) 高橋, 浅野 (2002): 業務用需要家のグリーン電力への支払意志額のCV調査と数量分析, エネルギー・資源, Vo1. 23, No.4, pp.288-294, 2002年7月
- 3) 馬場, 田頭 (2002): グリーン電力に対する家庭用需要家意識の分析, 電力中央研究所研究報告 Y02003
- 4) 小林, 他 (2002): 21世紀の電力系統—需要地系統の構築—, オーム, 2002年3月