

論 説

## 分散電源の技術戦略

Technological Strategy of Decentralised Energy Technologies

## 1 エネルギー需給構造の変化

戦後から21世紀までの半世紀、我が国は右肩上がりの経済成長を常に遂げてきた。その成長の源は、住宅や都市のビル群といった建築物、道路、港湾施設など社会基盤施設の整備、それに家電製品や自動車など消費財の普及によるものであった。物質的な豊かさを追求する経済発展は、素材や建築といったエネルギー多消費産業によって支えられるため、社会のエネルギー消費も絶えず増大していく。しかし、1970年代に発生した石油危機は、我が国の産業構造を、それまでの重厚長大のハード産業から情報やサービスといったソフト産業へ転換するきっかけを作った。その後、1990年前後の好景気にも支えられて、戦後からの半世紀で社会の基盤施設は一通り整備され、家庭への耐久消費財の普及も進み、我が国は欧米と同じように物質的に成熟化段階に入った。産業のソフト化に伴い、エネルギー、電力需要の伸びも徐々に低下し始めた。

エネルギー需要の伸びの低迷は一過性でなく構造的なものととらえられる。高齢化と少子化は、産業のソフト化をさらに推し進めることになるであろう。また、温暖化を始めとする地球環境問題に対する意識の高まりは、社会の省エネルギー政策を促進しエネルギー需要を抑制していく可能性がある。高度経済成長期に大量に建設された社会基盤施設が更新を迎える2010年ごろまでは、我が国のエネルギー需要は、欧米並みの年率1%前後で推移していくものと思われる。

エネルギー需要の伸びの鈍化は、供給技術の新規設備投資にも影響を与える。特にエネルギー産業の自由化の流れによって、コストの削減と生残りをかけて企業競争の激しさが増しており、経済的にリスクのある大型火力発電や原子力発電への投資が回避されつつある。また政府の省エネ



内山 洋司  
Yohji UCHIYAMA

◎1949年12月生まれ

1976年東京工業大学卒業後、1978年同大学院修士課程修了、1981年同博士課程修了、1981年(財)電力中央研究所入所を経て、2000年より筑波大学教授、現在に至る

◎研究・専門テーマは技術評価、技術経済、エネルギー・環境システム分析、ライフサイクル評価

◎正員、筑波大学 機能工学系

(〒305-8573 つくば市天王台1-1-1/  
E-mail: uchiyama@kz.tsukuba.ac.jp)

ルギー政策が進めば、エネルギー需要がさらに低下するため、新規設備の投資が控えられる可能性もある。エネルギー供給は、当面、既存設備の維持補修とデマンドサイドマネジメント（DSM）、それに投資リスクが比較的小さい分散技術の開発が中心になるであろう。

地球環境問題は分散技術の推進に追い風となっている。世界のエネルギー技術開発の流れは、発電時に二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーや排出量の少ない天然ガスを利用していく方向に向かっている。新エネルギーにはエネルギー有効利用を図っていく小規模・分散技術が多く、環境にクリーンな太陽光発電や風力発電、ごみのエネルギーリサイクル、マイクロガスタービンや燃料電池によるコージェネレーションがある。

エネルギー情勢の変化と環境問題の高まり中で、分散技術は確かに魅力あるように思える。しかし、巷（ちまた）で言われている期待とは裏腹に、実際面ではまだ多くの解決すべき問題を抱えている。ここでは、再生可能エネルギー、ごみ発電、マイクロガスタービン、燃料電池について、その普及に向けた課題について述べる。

## 2 エネルギー供給の三要件

### 2-1 「入手しやすさ」、「使いやすさ」、「受け入れやすさ」

エネルギー供給の要件は、「入手しやすさ」、「使いやすさ」、「受け入れやすさ」でまとめることができる。「入手しやすさ」とは、経済性と安定性に優れていることをいう。エネルギーは多くの人々に使えるようにできるだけ安価に供給されなければならない。いくら資源が豊富にあっても経済的でなければ使うことはできない。また供給に途絶不安があったり価格に大きな変動があったりしては困る。

「使いやすさ」とは操作性と信頼性である。固体である石炭は扱い難いし、燃焼後には灰を処分しなければならない。石油は貯蔵と輸送に優れているが汚れや悪臭が問題である。ガスは汚れや悪臭といった問題はないが輸送と貯蔵が容易でない。エネルギーは電気に変換すれば最も扱いやすくなる。スイッチ一つで、照明、洗濯機、テレビやエレベーターなどが簡単に操作できるだけでなく冷暖房や給湯のエネルギーも供給できる。しかし、電気でも停電したり電圧や周波数に変動があると社会的および経済的な損失が発生するため、供給の信頼性を高める対策が必要となる。

最後の「受け入れやすさ」とは、環境性と安全性である。化石燃料は、燃焼により酸性雨の原因である硫酸化合物や窒素化合物、温暖化の原因である二酸化炭素を放出する。

原子力も放射性廃棄物という厄介な問題がある。また事故や核拡散に対する不安がある。化石燃料と原子力の利用には環境と安全を守るための対策が不可欠で、そのための技術開発や制度づくりを怠ってはならない。

### 2-2 分散技術の特徴

一般に分散技術というと、原子力や大型火力といった大型技術と対比される小規模技術で新エネルギーを指す。政府は地球温暖化などの環境問題に対応するために、1994年12月に総合エネルギー対策推進閣僚会議で、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー、廃棄物発電や黒液・廃材などのリサイクル型エネルギー、それにコージェネレーションや燃料電池といった新しいエネルギーの利用形態を推進するための基本方針である新エネルギー導入大綱を策定した。その後、1998年に「新エネルギー導入大綱」の目標は、「石油代替エネルギーの供給目標」として一部改定が行われた。新エネルギーといっても特に新しいエネルギーではなく、その大半は1970年代の石油危機が発生したころから開発されているものである。それらは技術的には実用化段階にあるが、従来型のエネルギー技術と比べて経済的に競争力がなかったために、商用化され難かったもので新エネルギーと呼ばれている。

#### 2-2-1 再生可能エネルギー

エネルギー供給が満たすべき三要件を分散技術について考えてみよう。最初に再生可能エネルギーを取り上げてみる。再生可能エネルギーには、水力、風力、太陽熱、太陽光、海洋、地熱、温度差エネルギー、バイオマスなどがある。「入手しやすさ」で再生可能エネルギーの利点は、賦存量が多い、資源枯渇の心配がない、また政治的な理由によるエネルギーの途絶がないことである。問題は経済的に高いことである。化石燃料や原子力に比べてエネルギーが希薄であるためエネルギーを集める設備が大掛かりとなる。また出力が気象の影響を受けるため、年間を通して安定したエネルギーが常に供給されるとは限らない。年間でもみた設備利用率は、火力発電や原子力発電のような80%といった高い値は望めない。発電量が少ない分はkWh当たり

の発電コストは高くなる。別の問題は地域性である。我が国の水力開発で経済的な地点が少なくなっていることからわかるように、設備の設置費用は導入先で大きく異なる。風力発電についてみれば、翼、ナセル、発電機といった装置コストは量産化で下がっていくことが期待できるが、装置をサイトに搬入する港湾施設や道路、それに発電した電気を需要地に送る送電線はどこでも整備されているとは限らない。再生可能エネルギーは、資源ポテンシャルとしては豊富であっても、地域に大きく依存しているエネルギーであるために地域別にみた経済ポテンシャルを推計していく必要がある。

太陽光や風力のような間欠的なエネルギーは、発電技術として利用する場合、「使いやすさ」である信頼性と電気の質においても課題がある。電気は貯蔵できないために最大電力負荷に合わせて供給設備を常に確保しておかなければならない。我が国の場合、1年を通してみた最大負荷は、7月あるいは8月の昼間3時ごろに発生する。電力会社の設備計画は、電力需要だけでなく最大負荷の伸びを考えて立てられている。しかし、太陽光発電や風力発電は、その時間に必ずしも電気が供給できるとは限らない。設備としての価値が低い電源に対しては、それを補うために蓄電池や火力発電といったバックアップ電源の確保が不可欠で、経済的な負担が追加される。また太陽光や風力によって発電される電気は、気象の変化で短時間に出力が大きく変動することがある。電気は利用者に悪い影響を与えないようにするには、電圧と周波数の変動を一定範囲に収まるように制御しなければならない。情報化の進展に伴い、変動が小さい高品質の電気を求めるニーズは高く、安定装置の費用負担は避けられない。

再生可能エネルギーの特性として最も優れているのは「受け入れやすさ」である。発電時に化石燃料のような窒素酸化物や硫黄酸化物といった大気汚染物質と地球温暖化の原因といわれている二酸化炭素を放出することはない。原子力のような事故への安全不安や放射性物質の放出もない。再生可能エネルギーは、環境性と安全性において優れている。しかし、環境への影響や安全性の問題が全くないわけではない。太陽光発電は、電力系統の停電時や震災などの事故の時にアイランディングといった感電事故の心配がある。また、半導体シリコンの製造時には洗浄にフロンを使用している。風力発電には、渡り鳥の被害、高調波による電波障害、騒音、落雷といった課題がある。

## 2-2-2 リサイクル型エネルギー

リサイクル型エネルギーである廃棄物は、地方自治体が

収集コストを負担しているために比較的安価に入手できる。ごみの量と質は季節や週によって若干は変わるが、比較的安定している。現在、我が国で年間に発生している一般廃棄物量は約5000万トンであり、それをすべて燃焼してエネルギーに利用すると、その量は我が国の一次エネルギーの約2%を賄うことになる。そのほかに産業廃棄物やパルプ産業からの黒液があるが、エネルギーとして利用可能な資源量は一般廃棄物とほぼ同じと推定される。ごみの最終処分地の確保は難しく、今後は減量化や製品のリユース、マテリアルリサイクルなど政府や地方自治体による廃棄物政策が進むものと思われ、エネルギーとして利用できる量が増えていくとは限らない。一般廃棄物や産業廃棄物のリサイクル型エネルギーは、安価であっても豊富な資源であるとはいえない。

より豊富な廃棄物資源として、穀物残さの農産廃棄物や間伐材など林産廃棄物がある。我が国の食料や木材の消費量を考慮すると、それに伴って発生している廃棄物の潜在量はかなりのものになる。しかし、我が国は食料や木材の大半を輸入に依存しているため、廃棄物の多くは海外で発生している。潜在的に豊富な農林産廃棄物などバイオマスエネルギーとして利用していくためには、海外依存を抑えて農業や林業など一次産業を国内に発展していくことが必要になる。

ごみは「使いやすさ」の点では必ずしも優れているとはいえない。まず収集と取扱いがが大変である。またごみの量と質も季節や週によって異なる。ごみの中にはさまざまな物質が含まれているために、高温で燃焼するとボイラの炉壁や熱交換器が腐食されてしまう。それが障害で廃棄物発電の効率は20%以下になっている。いったん、電気に変換されれば、電気の質は火力発電並みの高さがある。問題は「受け入れやすさ」で、ごみの悪臭や燃焼によって発生するダイオキシンや浮遊粒子状物質の放出に対しては住民の間から強い反対がある。

## 2-2-3 従来型エネルギーの新利用

分散技術の中で、「入手しやすさ」において最も優れているのは天然ガスを燃料とする分散電源である。天然ガスによる発電技術は、他の化石燃料や原子力と同様に、貯蔵されている燃料を使って発電するために需要の変化に合わせて供給できる。天然ガスは、燃料の供給途絶や価格の高騰といった問題もあるが、その不安の大きさは石油に比べて小さく、長期的にみて比較的安価かつ豊富に供給している資源と考えられている。

天然ガスは「受け入れやすさ」においては化石燃料の中

で最も優れている燃料である。硫黄酸化物の排出はなく、二酸化炭素の排出も少ない。需要地でコージェネレーションシステムとして導入すれば、エネルギーの有効利用だけでなく環境保全も図れることになる。安全面ではガス爆発への不安はあるが、防災対策と管理体制の強化によって事故を回避していくことは可能である。

天然ガスを燃料とする分散電源にマイクロガスタービン(MGT)と燃料電池がブームとなっている。これらの特長は小型でも発電効率の向上が期待できることである。また需要地すなわちオンサイトに設置することで送電損失が削減できるばかりではなく、排熱を利用することでエネルギー利用効率を大幅に高めることができる。MGTは、店舗や集合住宅など民生部門の需要家を対象に発電出力が数十kW～数百kW級の分散電源である。従来の分散電源であるガスエンジンやディーゼルと比較して、低NO<sub>x</sub>、振動・騒音が小さい、小型、軽量であるといった特長がある。

もう一つの分散電源である燃料電池は、実用段階にあるMGTに比べるとまだ実証段階である。MGTはタービンによって発電機を駆動する熱機関であるが、燃料電池は水の電気分解の逆反応を利用して、燃料の水素と空気中の酸素とによる化学反応で電気を取り出す化学電池である。燃料電池は、電解質の種類によりさまざまなタイプに分類され、それぞれ作動温度や利用可能な燃料の種類が異なっている。その中で、最近、注目されているのが小型で軽量の固体高分子型燃料電池(PEFC)で、欧米では既にレストランやバスで試験運転が行われている。

PEFCの技術進歩も著しい。電池出力密度の向上、電解質膜の安価な製造、白金触媒量の著しい低減などによって実用化への機運が高まっている。もちろん技術的な課題を、すべて解決したわけではない。残されている最も大きな課題として、副生成物として発生するCO問題がある。それはCOが約100ppm以上の濃度になると白金触媒に影響を及ぼし、発電能力を低下する問題である。燃料電池の原理的な課題もある。電解質中をプロトン(H<sup>+</sup>)が伝導するときにH<sub>2</sub>O分子をとともなうため、水素極(アノード)は乾燥しやすく、逆に酸素極(カソード)は移動水に反応生成水が加わって湿潤化する。この陰極側における過剰な水分は、電解質のプロトン伝導および電極でのガス拡散性に悪影響を与える。さらに別の課題として、信頼性とコスト問題がある。燃料電池の構成要素である白金触媒、カーボンガス拡散電極、ふっ素系電解質膜、チタン(またはカーボン)セパレータの長寿命化など信頼性向上、高価な材料や加工に係わるコスト低減が必要である。

### 3

## 分散技術の普及に向けた戦略 —ニッチ産業の育成—

21世紀の新しいエネルギー政策。それは、これまでのような供給者サイドの「規模の経済性」によるものでなく、環境や安全を考慮した消費者サイドの「範囲の経済性」を重視した政策である。分散技術は、範囲の経済性において優れ、これまでの大型エネルギー技術を補完していくエネルギーである。

分散技術は、その導入において地域と需要家のエネルギー負荷に大きな影響を受ける。普及していくためには経済的に導入可能なニッチ市場(Niche markets)の発掘が必要になる。しかし需要増が停滞している中でニッチ産業を活性していくには、制度、税制、料金において政府や地方自治体の新しいシステム造り、それに国民や企業の環境を守る意識向上も不可欠である。

エネルギーとして優れた特性を持つ石油や天然ガスが安価にかつ豊富に供給されているのは、企業や消費者の努力だけで再生可能エネルギーを普及していくことは不可能である。その普及には資金助成が不可欠である。しかし、商用化している技術に政府の補助金をいつまでもかけていくことはできない。再生可能エネルギーを普及していくためには、国民が支援する新たな助成策が必要になる。その助成策として導入が期待されているものに、次に示す方法がある。

- ① 共同組合方式：風力発電などの発電設備を地域住民や島民が出資して共有し、発電した電気の販売で投資を回収する仕組み。
- ② グリーン電力基金：個人や事業者の自発的な判断で、再生可能エネルギーの発電技術導入にグリーン電力基金として寄付する。
- ③ グリーン証書：再生可能エネルギーによって発電した電気に対して、発電量単位でグリーン証書を発行し、それを顧客に購入してもらい、また顧客間で取引させる制度。

MGTとPEFCの燃料は、天然ガス、灯油、メタノールなど多様ではあるが、将来、主流となっていく燃料としては天然ガスが有望である。MGTとPEFCの普及を小規模需要家にまで拡大していくには、燃料のガス圧に見合った中圧ガス導管の敷設が必要となる。特に、エネルギー需要密度が高い都市部において、天然ガスのパイプライン整備は不可欠である。天然ガスを利用していくインフラ整備は、我が国にとって省エネルギー、地球環境問題、エネルギーセキュリティへの対応だけでなく新しいニッチ産業を育成していく上で大切であり、まだ余裕のある今から実行していくことが望まれる。

(原稿受付 2001年2月14日)