

小型分散発電の新展開

笠木伸英（東京大学大学院工学系研究科）

1. 世紀の分水嶺に立って

今世紀最後の日本の夏は，史上4位という猛暑であった．8月25日に，電力十社の瞬間電力合計が1億7千万kW，一日の消費電力が31億6千万kWhに達し，95年以来の最高記録更新となった．冷房家電販売の伸びに加えて，景気の回復に伴う電力需要の伸びが窺われる．最近の日本経済の不調は我が国の前途に暗い蔭を落としていたが，皮肉にも，炭酸ガス排出削減策の決め手が見えない我が国にとっては若干の時間的猶予が得られたとも言える．

本年3月，改正電気事業法の施行という，日本の分散発電史上ひとつのマイルストーンが築かれた．大口電力の小売り自由化で，2千kW以上，2万ボルト以上の特別高圧受電に限られるが，電力販売の約3割に相当する市場が自由化された意義は大きい．今夏，通産省の本館・別館ビルの電力に対して一般競争入札が行われ，独立発電事業者(IPP)が落札したことは象徴的である．すでに日本市場に国内外のIPPが参入する兆しが見られるが，不足電力供給や電力託送料金制度などにも課題が残されており，3年後の改正電気事業法の見直しに向けて，小口電力への自由化拡大，そして発電・送配電事業制度について抜本的な検討を冷静に進める時期にある．

一方，電力需要が低水準で推移してきたこと，昨年9月の東海村臨界事故以来原子力に対する慎重姿勢が広がったことなどを受けて，1998年6月に策定された政府の長期エネルギー需給見通しの見直しが始まった．長期的な設備投資の削減を余儀なくされている電力十社が大型発電所の新規計画をゼロとし，また立地交渉が難航する原子力発電所の新設計画を2010年までに20基から最大13基と下方修正した．この不足分を埋めてなお炭酸ガス排出を削減できるかが大問題である．我が国のエネルギーセキュリティの観点からも，石油・石炭から天然ガスへの燃料転換が具体的に構想され始めている．

我が国におけるエネルギー需給の構造改革は過去10年やや停滞気味であったが，世紀の分水嶺にさしかかったこの時期に，上述のような本格的な自由化，改革の兆しが見られたことは望ましい．以下に述べる小型分散発電は，そのような中で有力なエネルギー戦略のオプションとして位置付けられる可能性がある．

2. 分散電源への潮流

1882年に発明王トーマス・エジソンは，33kWの直流電力をニューヨーク・ウォール街の1/4平方マイルの地区に供給し，NY Times社のオフィスビルなどの400個の白熱球を点灯した．彼の装置は，6基の石炭炊きボイラと往復蒸気機関である．そして，J. P. Morganの出資を受けた彼は，シカゴをはじめとする12の都市で分散発電を計画するのである．その後，欧米の主要都市に数千kWの分散電源が導入され，また，100kW程度の小型電源が，小工場，デパート，ホテル，農園などに設置される．20世紀初めに，全米の発電量の半分以上（1907年で59%）は分散発電に依っていたが，これらの多くは地域暖房

や余剰電力の配送を行っていた。しかし、同じ頃から、蒸気タービンの普及と交流の高圧送電技術の開発が始まり、発電所は大規模化してゆく。そして、1920年以降Economy of Scaleを追求する技術開発と各国政府の地域独占発電事業の促進によって、1980年代まで大型集中プラントの開発導入が続けられてきた。

発電所の最大規模は、1920年の8万kWから、1960年に60万kW、1980年に140万kWと飛躍的に増加したが、一方で環境問題や原発事故などの負の問題が顕在化した。この間、一つの事業体が、地域の全ての顧客への独占的電力供給サービス（発電、送配電）の提供を許されると同時に、電力の質や安定供給の義務を負い、また価格設定に対する規制を受けてきた。1970年代、米国ではIPPへの電力市場開放が始まり、カリフォルニア州では50-300kWの風力タービンの設置が開始される。イギリスの経済学者E.F.シューマッハーの著「Small Is Beautiful」が出版されたのは1973年、時代の転換と符合するように、それは第一次オイルショックの年であった。また、A.B.ロビンスのソフトエネルギーパスが出版されたのは1977年である。1980年代以降、より小さく、経済的な発電装置の登場によって、電力事業自由化は加速した。加えて旧東側諸国の崩壊、米国を主導とする産業構造改革は、電信電話、航空、金融、そして電力事業の世界的な自由化への道を拓いてきた。米国の発電所の平均規模は、1980年代の20万kWから1998年に2.1万kWと急減し、これは今世紀初頭の数字とほぼ同じである。IPPや電力会社の一部は、コージェネレーション(CGS)、風力発電などによって、エンドユーザーの近接地でより小規模の分散発電を行う傾向がある。エジソンが120年前に夢見たものが、今改めて現実となってきた。

分散システムは、エネルギーの系統的な利用を可能にし、高い総合エネルギー利用率を実現することができる。我が国のCGSの導入は欧米に比較して少ないが、ガスタービン(GT)、ディーゼルエンジン(DE)、ガスエンジン(GE)などを使って、工場、オフィスビル、ホテル、スーパーマーケット、病院などに実績がある。我が国のCGS発電設備容量は現在約500万kWで、全容量の約2%である。この内、民生用の割合は1/6程度で、産業用に比べて少ない。増加の著しい民生用エネルギー消費を削減するためには、ミニ（電気出力5～200kW）あるいはマイクロ（同0.3～5kW）CGSを優れた技術として育てる必要がある。北欧のデンマーク、オランダ、スウェーデンなどでは、全設備容量の数十%に及ぶCGS設備が導入され、実効あるCO₂削減対策となっている。暖房需要の大きい高緯度地域に位置するという事情もあってCGSの歴史は古いが、エネルギーの合理的利用法を積極的に取り入れる考え方が根付いているといえる。

さて、新世紀には、情報化、ネットワーク化、高速輸送網整備などによるグローバリゼーションが進んで、人、もの、情報の移動に対する国家、国境の障壁は一層低下する。従って、フェアな自由競争を前提にし、地域、文化、宗教、家族、世代や性の差異を認め、個人の尊厳を担保する“個性化共生社会”を実現する必要がある。つまり、個人の価値観、目的意識、生活様式などの相違を許容し、共存させる社会システムを構築する必要がある。エネルギー需給に関しては、技術の提唱する一元的な価値のみならず、自らが学習し、多次元的な座標軸から価値を読みとり、選択する成熟した市民社会に応える必要がある。世帯・地域ごとの顕著な偏差や、大きな日・季節変化を伴う消費を受容できる分散システムが向いている。

表1は、小型分散発電がいかに大規模集中発電を補完するのか、その優位性がどこにあるのかをま

とめたものである。紙面の都合で詳細は省くが、優れた側面が多々あることは明らかである。

表1 小型分散発電の特徴

建設立地・導入条件	1. 建設立地の困難回避 2. 短期間の建設導入 3. 多種燃料対応による地域インフラへの依存度小 4. 比較的簡易な保守管理
電力供給	5. ピークカットを含む時空間的電力需給変動への対応（小型台数制御） 6. 大型発電の設備稼働率の改善への寄与 7. 系統孤立地域，災害緊急時の電力供給
省エネルギー・環境	8. 優れた総合エネルギー利用効率 9. CGSなどの排熱利用のシステム化 10. 送電ロス(>5%)の回避 11. 天然ガス転換によるCO ₂ 排出削減 12. 市民の省エネルギー意識の啓蒙
経済効果	13. 不確定なエネルギー需要見通し下での資本投資戦略 14. 大型設備投資（プラント，送電網）の困難回避 15. 量産化によるコスト削減 16. 事業者・企業家が選択できるエネルギーシステム 17. 燃料多様性による価値創出 18. 電力市場，エネルギー市場自由化への対応 19. ネットワーク技術との融合による新ビジネス創出

3. 分散電源技術の進展

従来の分散発電は千kW以上の産業用や業務用が主であったが，最近家庭用も含めて小型の発電装置が相次いで開発されている。既に，ディーゼル油あるいは天然ガスを燃やすDE，GTは，信頼性の高い技術として育っている。それらのCGSパッケージは広く普及しているが，最近では設備毎の発電容量は小さくなる傾向にある。例えば，1.8kW（本田技研工業）あるいは9.8kW（ヤンマーディーゼル）のGEパッケージが商品化され，いずれも発電効率20%以上，80%のエネルギー利用効率を達成している。

新技術として，マイクロガスタービン(μGT)とよばれる30-300kWの超小型GTが商品化されている。回転数は6～10万rpm程度，タービン入口温度は850～1000程度で，効率は30%程度に達する再生ガスタービンである。ローター直結の永久磁石発電機を採用して，インバータによって50/60Hzに変換する。排ガスは清浄で，また静穏で振動も少ない。天然ガス，軽油など多種燃料が使用可能である。排気温度が250～300で，排熱利用が可能である。GTは，その構造，運動機構，燃焼過程などに元来有利な点が多いが，量産時に5万円/kWを割り込む可能性があり，市場性が高い。米国Capstone社，Honeywell社，英国Bowman社，スウェーデンTurbec社，さらに国内の自動車，重電機メーカーが参入している。

小型の外燃エンジンとして，スターリング・エンジンも，0.5-3kWの孤立分散発電装置として海外で開発されている。小型，低騒音で，保守も少なく，熱源，燃料を選ばず，太陽熱発電への応用も想定されている。ニュージーランドWhisper社，米国Sunpower社，Stirling Technology社が，天然ガスあるいはバイオマス利用のCGSを開発中である。

以上の熱機関に加えて，電気化学反応を経て電気および熱エネルギーを直接取り出す各種の燃料電

池がある。電子伝導体である2つの電極でイオン伝導体である電解質を挟んだ構造をもつ。電解質の種類によって、燐酸形(PAFC)、熔融炭酸塩形(MCFC)、固体電解質形(SOFC)、アルカリ形(AFC)、固体高分子形(PEFC)、直接メタノール形(DMFC)がある。各々作動温度は異なり、使用燃料として水素、CO、メタン、メタノール、ガソリンなどが選ばれる。最近PEFCのイオン交換膜が比較的安価で製作可能になって、日米欧で燃料電池自動車の開発競争が続いているのは周知の事実である。PEFC開発はカナダBallard社が有名で、自動車用で5千時間、定置用で4万時間の寿命を達成し、その価格は、改質器を含めてkW当たりそれぞれ50、1200カナダドルと伝えられるが、その経済性には慎重な見極めが必要であろう。数kWの温水供給の家庭用CGSには向いており、松下電工、三洋電機などの国内メーカーが開発している。PAFCも国内外メーカーで数百kW級の試験機が開発され、CGSとして性能試験の段階である。作動温度が900-1000のSOFCは、現在のところ加工プロセスが高コストで市場性はないが、効率は最も高く、排熱利用にも有利である。

分散発電装置としては、再生可能エネルギーも見逃せない。太陽電池は、単結晶型、多結晶型、そしてアモルファスシリコンを用いた数kWの装置が開発されている。我が国では1994年の政府の新エネルギー導入大綱以来、通産省の補助金制度による逆潮流あり系統連系太陽電池の導入促進が図られ、1997年には米国の10.8万kWに次いで9.1万kW(世界の28%)の全設備容量となった。しかし、設備コストが約150万円/kWと高く、今後、効率改善と一層のコスト削減が必要である。京セラなど日本メーカーやBP Solarex、Astropower、が数kW級の住宅用パネルを供給している。より経済性のある風力発電は、欧米で開発導入が急速に進んでいる。最近では、数百kWから千kW以上の大型機まで製作されるようになって、1998年末で日本の設備容量は約3.2万kWである。自然エネルギーは理想的なシステムではあるが、コスト、立地条件、電力供給安定性に難があり、他の電源との併用を前提にすることになる。

4. 分散電源の課題と展望

新世紀初頭は、世界的な電力市場の自由化と、小規模設備も含めた分散発電新技術の研究開発が相互に加速を促すことになる。近未来に市場性、環境適合性に優れているのは、既存のGE、DEに加えて、 μ GTとPEFCである。 μ GTの効率は30%弱に留まっており、今後2005-2015年に向けて一層の高効率化、小型化、低コスト化が必要である。PEFCは大量生産によるコスト低減が予想されるが、排熱温度が80と低いのが分散システムとしては難点である。定置用としては、作動温度が高く高効率のSOFCに期待が大きい。加えて、発電効率60%を超えるSOFC- μ GTハイブリッドシステムの開発も国家的開発目標として設定すべきである。

分散電源の発電効率の改善に加えて、排熱の有効利用がなくしては大型集中発電に対する真の優位性はないことも銘記すべきである。暖房、給湯、乾燥、殺菌、プロセスなどの温熱、そして冷房、冷凍など、多種の温度レベルの熱需要に適合する排熱利用機器の開発、それらのモジュールを適切にシステム化するソフトウェアの構築も重要である。時空間的な需要変動に対応するための、蓄電、蓄熱、運転制御、系統連系の技術も必要になる。小型高密度の2次電池、優れた蓄熱材などが開発されねばならない。家庭用システムの導入は民生用エネルギーの増加抑止に効果があるが、世代を越えた共感が得られるフレンドリィで協調支援型のシステムの開発を目標としたい。

分散発電の燃料供給インフラも基本的な課題である。灯油やプロパンが適する孤立地域は別としても、多数の分散電源へは天然ガスが向いている。開発が進むロシア、中国の天然ガスを東アジアパイプライン網の建設によって導入すれば、我が国のエネルギーセキュリティ、CO₂排出削減にとって好ましいし、国内パイプラインの整備は将来の水素システムへの移行にも有利である。

電力市場の自由化にとって不可欠なのは、様々な分散電源の系統連系、運転管理、保守の技術の確立と、系統全体の電力安定性の確保である。多数の分散電源が系統電力も含めてどのように相互連携するのかが十分に検討されねばならないし、そのような高度の電力システムを支える情報技術の開発も急務である。小型分散電源に関しては、新技術に対する技術基準、電気主任技術者やボイラ・タービン主任技術者選任制度、技術員常駐・監視義務、系統連系ガイドラインなど関連規則は多数に昇るが、技術の安全性を十分見極めた上でこれらの見直しが必要である。

すでに述べたように、電力供給の基本的な考え方にも今後変化が生まれてこよう。電力網は公共財とし、発電、送配電を切り離してIPPなどに開放することが欧米の趨勢である。しかし、日本の国土と社会は、系統電力網が隔々にまで整備された特殊な条件下にあり、他の社会制度との関係も含めて慎重な検討を要する。それらを含めた、税制、電力・燃料料金体系の再検討が望まれる。

個人の多様な価値観を許容できる個性化共生社会のインフラとして、分散と集中とのベストミックスはどうあるべきか、我が国が東アジアの中で負うべき役割の観点からも、そして地球環境の観点からも一層の努力を集結すべき時代となっている。