

特集  
エネルギー  
効率的な利用の実現に向けて

Special Features  
Energy  
To achieve effective use of it

高率供給の技術  
Technology of efficient supply

## エネルギーの供給面における高効率化

七原俊也

NANAHARA Toshiya

財団法人電力中央研究所/システム技術研究所/  
需要家システム領域/上席研究員



### 1—21世紀のトリレンマ

エネルギー供給で環境問題、資源問題、経済性など多様な目標を満たすことは非常に難題であり、エネルギー供給の問題が「解のない連立方程式を解くこと」に寓されるようになってから久しい。

一方、ここ1年ほどだけを見ても、地球温暖化問題に関する京都議定書が発効する、中国が世界第2位の石油消費国となる、原油価格(WTI)が60ドル/バレルを上回るなど、エネルギー関係では大きなニュースが目白押しである。図1に示すように、発展途上国のエネルギー需要の伸びが予想される中、21世紀のエネルギー供給が諸方面で関心を集めているのは、このような状況では当然とも言えよう。

(財)電力中央研究所(以下、当所)では、これまでエネルギー問題を経済成長、エネルギー・資源、環境の三者の間におけるトレードオフの問題ととらえ、トリレンマ(三者が相いれぬ択一困難の状態)問題と名付けて検討を行ってきた。最近の情勢を見ると、21世紀にはとりわけ、環境面からは二酸化炭素問題に対応可能で、エネ

ルギー・資源面からは大量のエネルギーを確保でき、経済面からは経済性やエネルギー収支の優れた技術が必要と考えられる。

しかし現在、組上にのぼっているエネルギー供給技術には、残念ながら、単独でこれらすべての要件を満たす技術は数少ないように思われる。その中で高効率化技術は、比較的これらの要件を満遍なく満たしている例外の一つである。そのため、ここでは電力供給に主たる焦点をあてつつ、エネルギー供給(一部、利用も含む)の高効率化について述べ、最後に電力システムの観点から考察することとした。

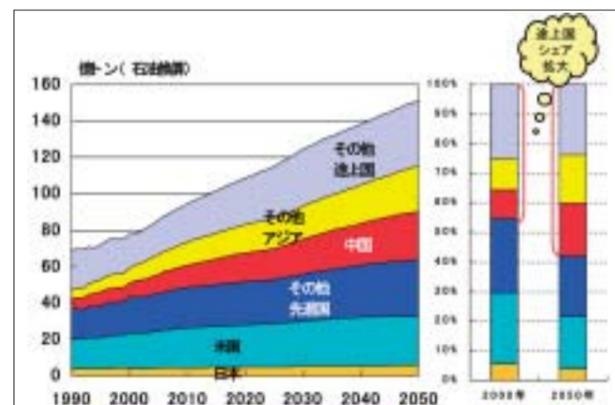
### 2—エネルギーの高効率化

エネルギー供給の高効率化としては、少し広い視野から次の3つに分けて考えてみたい。

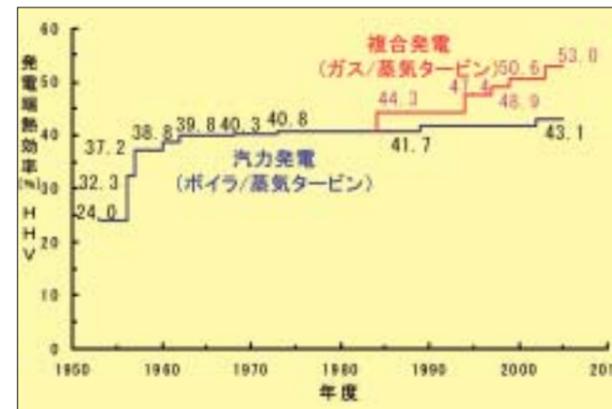
- ・電力等へのエネルギー変換の効率を高めること
- ・従来使っていなかったエネルギーを利用すること
- ・エネルギー利用も含め総合的なエネルギー効率を高めること

#### ●1 エネルギー変換の効率を高めること

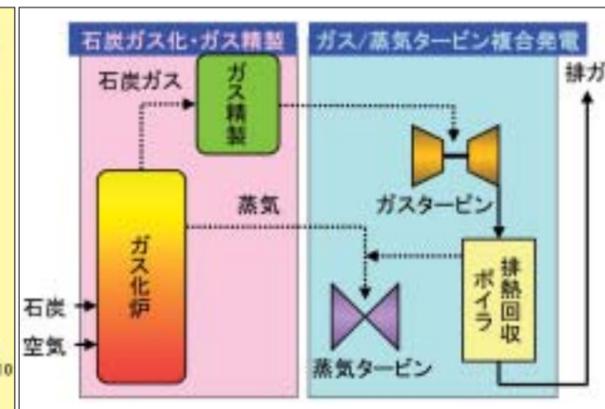
エネルギー変換の効率、特に火力発電の発電効率を高めることは、より少量の化石エネルギー資源から多くの電力を得ることとなり、二酸化炭素の排出抑制にも直結する。このため、これについては従来から多大な労力が払われてきた。図2に火力発電の熱効率の変遷を示すが、同図によれば40%程度で飽和傾向にあった発電効率(発電端)が、1990年代よりLNG(液化天然ガス)複合発電(ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式)でガスタービンの燃焼温度を1500℃程度まで上げることにより50%以上にまで上昇してきたことが分かる。一方、石炭火力については蒸気温度と圧力の上昇



■図1—一次エネルギーの需給展望



■図2—火力発電効率の変遷



■図3—石炭ガス化複合発電の概要

により、発電効率が43%程度に達している。

原油需給の逼迫も取り上げられる中、エネルギー資源の中では、石炭は将来的にも価格、供給安定性の両面で比較的優位にあると予想される。しかし一方、石炭は単位エネルギー当たりの二酸化炭素排出量が大いなどの欠点もある。

世界的に見ても発電に占める石炭火力の割合が大きいことから、石炭火力の発電効率の向上は重要な技術課題である。このため、石炭ガス化複合発電(図3)などに代表される新しい発電方式の技術開発が進められている。同方式は、石炭を人為的に不完全燃焼させて得られた可燃ガスを、ガス精製装置によりクリーンなガス燃料に転換し、複合発電により高効率発電を図る発電方式である。これにより従来型の石炭火力より、発電効率が2割程度向上することが期待されている。石炭をクリーンに利用する技術の重要性は今後とも高いと考えられる。

#### ●2 従来使っていなかったエネルギーを利用すること

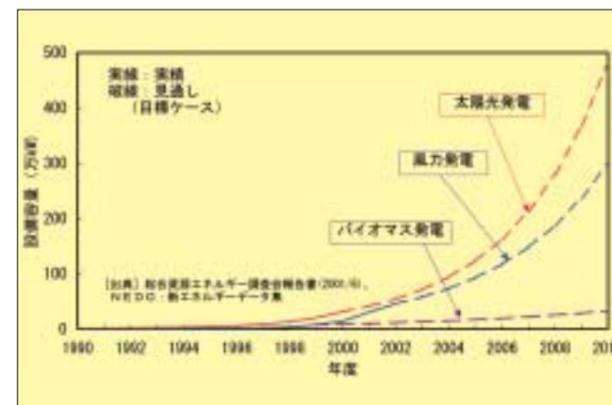
この範疇に入るものとしては、風力、太陽などの自然エネルギー利用、従来捨てていた排熱の利用、さらには

オリノコータル、オイルシェール、メタンハイドレードのような非在来型炭化水素資源の利用などが考えられる。これらのうち、ここでは自然エネルギーに注目する。

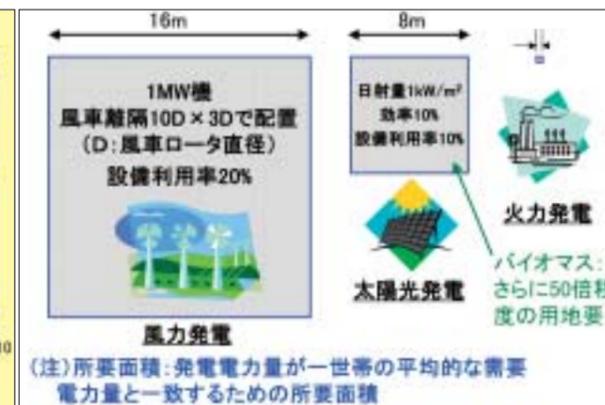
自然エネルギー利用の代表格である風力発電、太陽光発電については、図4に示すように、近年の伸びがめざましい。これは設置に伴う補助金制度が拡充しつつあるとともに、TVコマーシャルでもしばしば目にするなど、二酸化炭素排出量が少ない等のクリーンさが評価されているものと考えられる。

太陽光発電、風力発電のコストは、技術開発や導入量の増大とともに、順調に下がってきている。

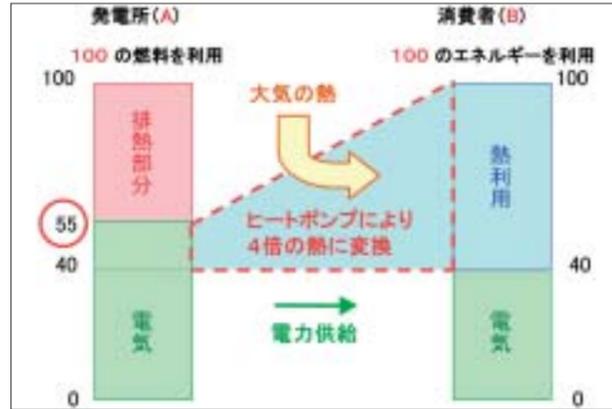
しかし自然エネルギーの根本的な問題はエネルギー密度の低さである。図5に代表的な自然エネルギーで一世帯の電力需要を満たすために必要な面積の試算結果を示す。これらの発電方式では所要用地が圧倒的に大きく、発電コストを押し上げる要因になるとともに、大量のエネルギーを供給しようとする際の障害となる。さらに、地域に分散する一般廃棄物などを収集し、エネルギー源として活用するためには、収集や事前処理のための費用とエネルギーが必要となり、経済性ととともに、



■図4—太陽光発電・風力発電の設備容量の変遷



■図5—代表的な自然エネルギーの所要面積



■図6—高効率燃料電池による電力・熱負荷へのエネルギー供給

エネルギー収支が懸念されることも考えられる。

しかし、エネルギー密度の違いを考えると、当面、自然エネルギーと化石燃料とが同じ土俵で競争することは困難と予想される。二酸化炭素排出等でのクリーンさと発電コストの高さのトレードオフは自然エネルギーにつきまとう課題であろう。

なお自然エネルギーについては、たとえば、森林資源に富み木材産業が盛んであるとともに熱需要の大きいスウェーデンでバイオマスによる熱併給が広く利用されているなど、地域の特性を活かした適材適所での利用がなされている。自然エネルギーは、身の丈のエネルギー源として、個別の事情を考慮し上手に使う知恵が重要と考えられる。

### ●3 エネルギー利用も含め総合的なエネルギー効率を高めること

エネルギーを使う目的は、エネルギーを使うことで得られる便利さ・快適さである。一方、エネルギー供給・消費のための選択肢は、供給サイドでは系統電力以外にもコージェネレーションなど分散型電源がある。需要サイドでは二酸化炭素を使ったヒートポンプ、ガスヒートポンプなど、近年、自由度が増してきている。

このようにエネルギー需給の様相が複雑になると、エネルギー資源をはじめ発電などのエネルギー変換を経て、エネルギー需要に至るエネルギーシステム全体で見て、効率が高い方式、二酸化炭素の排出が少ない方式を選んでいく必要がある。当所ではこの視点を「エネルギーチェーン」と呼び分析を行ってきた。

このようにトータルシステムとしての効率性を追求するには、エネルギーの質に配慮することが重要である。たとえば電気エネルギーは品質の高いエネルギーであるため、成績係数(冷却・加熱に利用する熱量と、外部から与えられるエネルギーとの比)の高いヒートポンプを用

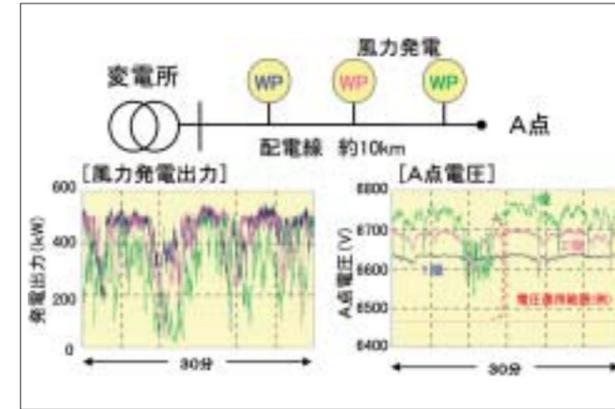
いた場合、高効率での熱エネルギーの供給が可能となる。図6には、55%の高い発電効率を有する燃料電池と成績係数4のヒートポンプを使えば、カロリーベースで見れば元の燃料の有するエネルギーを全て利用できる様相を図示した。最近ではコージェネレーションなど小型の発電装置の導入も進んできているが、コージェネレーションといえども、たとえば高温型燃料電池のように、発電効率の高い方式が望ましいものと考えられる。

一方ここにきて水素エネルギーが注目されはじめている。これは天然ガス、原子力など様々な一次エネルギーを用いて製造できるだけでなく、燃料電池を使い発電に供する、水素自動車を動かすなど多彩な用途が考えられる多様な二次エネルギーである。水素エネルギー技術は揺籃段階にあり、大きく育つことが期待されているが、将来的には、やはり前述のエネルギーチェーンの観点から見て、水素エネルギーが電気などに比べ優位な点が見出されることが必要であろう。しかし現段階では、水素製造等に技術課題が多いように見受けられる。たとえば、化石燃料から水素を製造し発電する場合には二酸化炭素排出が避けられない。また、電力を用いて水素を製造する場合には、たとえ自然エネルギーを用いたとしても発電コストが高価であることから、エネルギーコストの観点から厳しいものと考えられる。すなわち水素エネルギー社会のあり方は、エネルギーチェーンの観点からみた合理的な検討が課題であろう。

### 3—種々の新エネルギーの接点の場としての電力システム

前項では、高効率化の観点から、自然エネルギーやコージェネレーションなど、電力供給における選択肢が増えてきていることを述べた。一方、これらの小容量の電源、いわゆる分散型電源は、多くの場合、電力システムに接続(連系)して利用される。この分散型電源の増加は、電力システムに新たな課題をもたらしている<sup>※1</sup>。

従来の電力システムでは、配電線に電源が連系されることは基本的に想定されておらず、電力は上位系から下位系に向かう一方向で流れていた。しかし分散型電源の普及が進むとこの流れは双方向となることから、従来型の電力運用・制御システムでは障害となる可能性がある。特に風力発電などの自然エネルギー発電は、図7に示すように、出力変動が著しいなど従来型電源と異なる特性を有している。しかもこれらの電源は概して系統の末端に連系される傾向があるため、系統の電圧等が不安定になるなどの要因となる可能性がある。さらに、

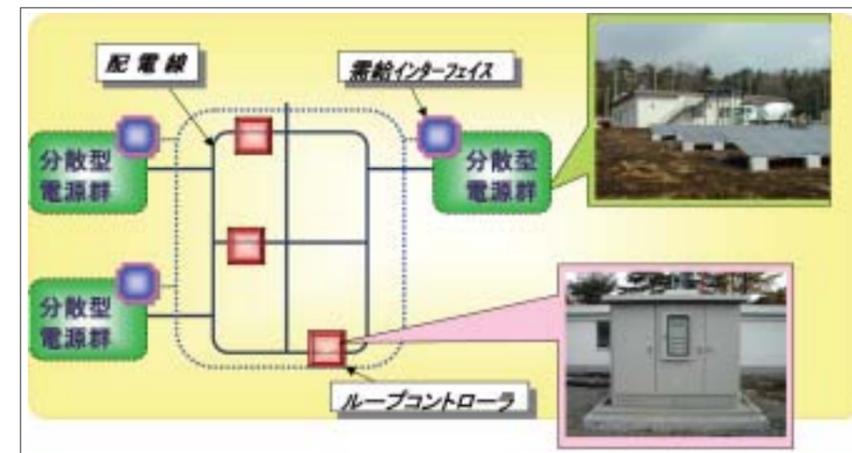


■図7—風力発電による電圧変動

電力システムでは需要と供給は時々刻々一致させなければならない。このため、風力発電や太陽光発電のように電力需要とは無関係に増減する電源については、電力システム側で需給バランスを取る必要がある。特に、風力発電については、その増大による需給バランスの維持が困難となることも懸念されている。

そこで、分散型電源が増えてきた場合の対策として、マイクログリッドと呼ばれる発想が生まれた。これは自律性と自立性を有する小規模なシステムを構築し、分散型電源を上手に利用できないかというものであり、内外で検討が行われている。当所でも分散型電源を多量に連系したうえで、運用可能な系統(「需要地系統」と呼んでいる)はどのような系統であるかの研究が進められている。同研究では、当所赤城試験センターに設置された、実規模配電線と約1,000kWの分散型電源とからなる試験設備によって実験が繰り返されている(図8)。

電力システムが果たしている役割とは、概して言えば、地域格差のある電力の需要と供給の時間的なずれを埋めることである。分散型電源が増えてくると、その供給



■図8—需要地系統の実証試験設備概念図

※1 本稿のメインテーマである効率については、送配電部門での損失率は5.3%程度(2003年度)と低い。

(参考資料)  
(財)電力中央研究所の平成15年度エネルギー未来技術フォーラム「エネルギーの将来を考える」

電力と需要の間の時間的なずれの問題がクローズアップされ、その差を埋めるために電力貯蔵装置が必要となってくる可能性がある。このような電力貯蔵装置としては、現在は風力発電の出力変動抑制用の蓄電池システム等が議論されている程度であるが、前述のマイクログリッドでは貯蔵設備が必須となる可能性もあり、電力貯蔵設備は将来の電力システムの中で注目されるべき構成要素の1つと考えられる。

### 4—おわりに

冒頭に述べたように、エネルギー供給の問題は「解のない連立方程式」である。各エネルギーはそれぞれ得失を有しており、画期的な解決策はなかなか見つからないのが本音である。現実的には「役に立ちそうな方策はできる限りすべてやる」ということになるのだろうと考えている。ただし、その際には、電力システム、エネルギーシステムなど少し外側の視点から見た、短所にも配慮したバランス感覚が必要であろう。

エネルギー問題の本質は「湯水のごとく使っている」ことである。つまり「大量」と「安価」、この2つがキーワードであろう。このうち特に「大量」については、大学時代に第一次石油危機を、就職直後に第二次石油危機を経験した者にとっては、最近の原油等の情勢に多少不安を覚えるだろう。本稿ではエネルギー効率向上の観点からどちらかといえば小規模なエネルギー変換設備を中心に述べてきたが、地球環境問題に配慮しつつ大量のエネルギーをどう確保していくのかも近い将来に大きな課題となるのではないかと感じている。その場合、本稿で述べた石炭に加え、原子力、非在来型炭化水素資源、二酸化炭素の回収隔離などが論点に加わると考えられる。