

## ■ 論 説 ■

## 省エネルギーの本質

## A Proposal for Substantial Energy Conservation

平 田 賢\*

Masaru Hirata



## 1. 日本のエネルギー需給見通しと省エネルギーの緊急性

21世紀後半の日本のエネルギー供給は、核融合と、太陽を中心とした自然エネルギーに依存することになる。核融合の燃料は重水であるから、海岸線に恵まれた日本は資源保有国となり、核融合や太陽電池で作られた大量の電力や熱で水を分解し、水素を作って車やコージェネレーションの燃料とすることになるだろう。

問題はそこまでのつなぎである。地球環境問題がクローズアップされた今、そこまでのつなぎは結局、核分裂型原子力と天然ガスに比重が移ることとなる。メタンを主成分とする天然ガスは、同じ発熱量を得るのに石炭に較べて二酸化炭素の発生量が50%、石油に較べて35%減となり、その供給の安定性から見ても、まことに貴重な燃料資源なのである。

図-1は1994年6月に通商産業省総合エネルギー調査会がまとめた日本の長期エネルギー需給見通しを筆者が図に表したものである。石油の輸入量を現状のままに抑える一方で、省エネルギーを徹底し需要の伸びを抑えても、2010年までに天然ガスと原子力への依存量を現状の2倍程度まで伸ばして行かなければならない。天然ガスについてはインフラを整備し、輸入先を確保すれば問題は少ないが、問題は原子力である。現在、日本全国に営業運転中の原子炉は47基、設備容量で約3,900万kWあるが、これとほぼ同容量の原子炉をあと20年ほどの間に建設してゆくことは極めて困難と考えられる。仮に、新規の立地点を考えず、既存の原子力発電所の構内に増設することを主体に考えることとすれば、2010年までにあと15基ほどの建設は可能としても、ここで原子力発電所20基分ほど、つまり2000万kW程度の電源設備の不足を生ずることとなる。

一方、バブルの崩壊によって、このところ数年エネ

ルギー需要の伸びはやや鈍化した。景気が回復すれば'80年代後半の需要の伸びの延長線上に戻る事が予想され、総合エネルギー調査会が想定したような省エネルギーを実現するためには、格別の覚悟を以て規制緩和を進め、エネルギー供給構造を抜本的に変革しない限り、実現は不可能と考えている。他方で原子力発電所の建設が進まないとなると、このまま放置すれば、極めて重大な予測違いを犯すことになる。省エネルギーと電源確保の緊急性は極めて深刻である。

## 2. 省エネルギーの本義

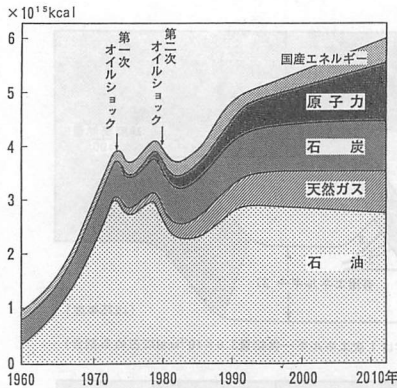
図-2は1975年度及び1992年度の日本のエネルギーフローである。わが国は、高価な代金を払って石油、石炭、LNG（液化天然ガス）、核燃料など1次エネルギーの90%以上を輸入し、これをすべて「燃やして」しまい、1500℃以上の高温の「熱」を発生させてから利用を始める。

熱力学の第1法則によれば、エネルギーは不滅であり、はじめ「化学エネルギー」や「核エネルギー」の形で保有されていた1次エネルギーが、「熱」に姿を変え、さらに「機械の仕事（力学的エネルギー）」や「電気エネルギー」、「光・電磁波エネルギー」に形をかえても、図-2でわかるように、その総和は常に一定に保たれている。そして、人間にとって有用な仕事を終えたあと、図の右端に示したように、すべてのエネルギーは「常温の熱」となって、大気や海水といった環境の中に入り、雲散霧消するが、その総量は最初に作り出された熱の総量と等しい。

このようにエネルギーは、高温の熱に始まり常温の熱となってその一生を終えるまで、熱力学第2法則に基づき、温度の高いほうから低いほうへ一方向に、不可逆的に流れ、自分では決して元に戻らない。よく「再生可能」なエネルギーという言葉が使われるが、エネルギーは、「再生不能」なのである。

したがって、熱は生まれたときの高温から、墓場に

\* 芝浦工業大学システム工学部教授・東京大学名誉教授  
〒330 大宮市深作307



(通商産業省総合エネルギー調査会の数字(1994)を筆者が図にしたもの)

図-1 日本のエネルギー需給見通し

到着する常温まで下がって来る間にしゃぶりつくさなければならぬ。わが国の場合、熱の総合的な利用率は図-2でわかるように、投入された1次エネルギー総量の、3割程度で、最初に作り出した熱の6割以上は大気中かあるいは海水中へ捨てられているのである。この効率の悪さの大半の原因は、高温の熱に始まって常温の熱で終わる「熱」の利用技術の「まずさ」による。熱の本質に対する理解の不足によって、熱を高温から常温まで系統的に使って来ることが行われていないことが主たる理由である。

山の上にダムを作り、水が海面まで流下してくる間に、川の流れに沿って高度の高いところから、黒部第4発電所、黒部第3発電所というように順々に水力発電所を仕掛け、海面までの水の落差を使いつくすことは誰でも考えることである。海面まで下りきってしまった水は、もはやポテンシャルを失ってしまった水であって、これで発電をしようと思えば、揚水発電のようにエネルギーを使ってポンプで水を汲み上げなければならない。水の流れにも熱の流れにも「覆水は盆に返らず」の哲理が存在する。

熱の場合には、「落差」に相当するのが「温度差」であり、「海面」に相当するのが地球の「常温」である。燃料に火を点けると1500℃以上の「高温の熱」が発生する。原子核燃料の場合もウラン235の核分裂によって作り出された分裂断片の運動エネルギーが、原子炉の燃料棒の中で熱に変わり、燃料棒の中心には2000℃にちかい高温の熱が発生している。この高温から常温つまり15℃までの落差を使ってくるのが「熱の利用」であり、常温まで下りきってしまった熱はもはや使いものにならない。ところが不思議なことに、熱のほう

は水力発電のように温度の高いところから順々に使ってくるような、基本的なことが行われていない。

バーナーに火を点けて風呂をわかす。石油ストーブで暖房をする。バーナーやストーブの火炎帯に熱電対を挿入して温度を測ると1,500℃程度の値を示す。46℃の風呂のお湯や25℃の室温を得るために、このような高温の熱を直接投入しても誰もあまり不思議に思わない。極めて日常的な操作だからであろう。よく考えてみると、暖冷房のために投入するエネルギーの熱効率は0である。一度エネルギーを投入して、ある温度に室温が設定されたとすると、部屋が完全に断熱されていれば、それ以降のエネルギーの追加投入は不要の筈である。従って、暖冷房は、焚き火で暖をとると同様に、投入されたエネルギーは、大気中に直接放熱されたものと変わりではなく、熱効率は0と算定される。

省エネルギーというと、すぐ廃熱回収とか未利用エネルギーの有効利用という。これらも大切ではあるが、水の流れていけば、河口近くまで流れ下りてきた水の落差を利用しようとするようなものである。上流の温度の高いところはろくに利用せずに直接流してしまっていて、中流から河口のあたりを使って来たのがこれまでの熱利用の姿であった。日本に於ける「未利用エネルギー」の最たるものは、1500℃から500℃あたりまでの「高温部の熱」なのである。

「省エネルギー」とは暖房温度を18℃に設定させたり、朝シャンをやめさせたりして、庶民にエネルギーの「節減」や「我慢」を強いることではない。国民が本当に必要としているのは、図-2の白抜きで表されている有用エネルギーの部分であるが、節減や我慢を強いる省エネはそれを圧縮してくれというお願いベースの省エネである。真の省エネルギーとは、日本全国で投入した1次エネルギーの6割以上を占めるロス部分を、熱力学の原理に従って、せめて半分にするのである。ロスを半分にするに成功すればその効果は大きい。即ち、図-2において、最初にインプットされる1次エネルギーの総量から、ロスの半分に対応する縦中分を差し引いてしまうことが可能となり、石油の輸入量は現在の半分程度ですんでしまうことになる。これこそが省エネルギーの究極の目標であり、原子力に反対するよりも先に、このことを実現しなければならない。

### 3. 構造的省エネルギーの実現に向けて

前項に述べた真の省エネルギーを実現するには、具

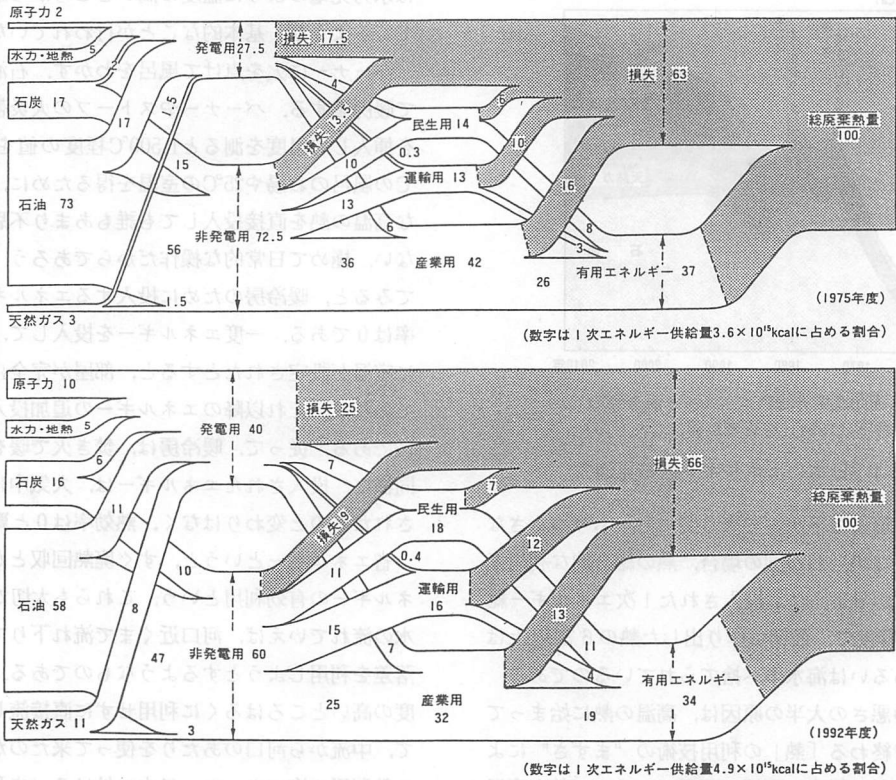


図-2 日本のエネルギーフロー

体的にはどうすればよいだろうか。

図-2において、1975年度と1992年度の対比を仔細に検討してみよう。まず、1次エネルギー供給の総量は、'75年度の $3.6 \times 10^{16}$ kcal ( $1.5 \times 10^{16}$ kJ) から、'92年度の $4.9 \times 10^{16}$ kcal ( $2.0 \times 10^{16}$ kJ) へと、20年ほどの間に30%近く増加している。電力化率、即ち発電のために投入される1次エネルギー量の割合を見ると、'75年度の27.5%から、'92年度には40%と著しく増大しており、その絶対量は約2倍になっている。一方、国全体のエネルギー利用効率、国を挙げての省エネルギー努力にも拘わらず、'75年度の37%から、'92年度には34%と、3%程度悪化しているのである。この効率低下の主たる原因は、図でわかるように電力化率の増大によって、温排水損失が国全体のエネルギー損失に支配的な影響を及ぼすようになってきたためである。

これまでの日本のエネルギー供給構造は、図-2に示されているように、発電用と非発電用とが「並列」に流れる構造であり、前者は電気事業者、後者はガスおよび石油事業者がこれを担当してきた。電気事業者は電気の安定供給が使命であるから、発電だけを目的として燃料を焚き、排熱には関心はない。日本の高度経

済成長期には、スケールメリットと称して発電所は巨大化の一途をたどり、福島、柏崎と辺境の地に立地して、消費地である都市まで延々と送電することが定着した。排熱を利用しようとしても、熱を消費地まで運ぶわけにはいなくなった。一方、熱を売ることを商売としたガス及び石油事業者は、電気を作ることなど露ほども考えずに、FF暖房や石油ファンヒーターを売ってきたのである。両者は全く独立で、相手の領域を侵すことなど全く念頭になかった。

情報化ならびにアメニティ社会の進展に伴って、電力需要の増大、つまり電力化率の増大は避けられないトレンドであろうが、そうなると、この「並列」のままのエネルギー供給構造では、国全体としての効率の悪化は避けられない。省エネルギーは本質的に実現不可能ということになる。これを抜本的に改革するためには、発想を転換して「直列」の構造を取り入れなければならない。直列とは、何を意味するかを考えてみよう。

熱力学の始祖といわれるサディ・カルノー（1796～1832）は、コレラのために36才で夭折したが、その短い生涯でただ1つだけ論文を書いた。その表題は「火

の動力、および、この動力を発生させるに適した機関に関する考察」というもので、数式をほとんど用いずに、極めて文学的に書かれている。その中にたったひとつ、**「動力の発生をとまなわない、熱の高温から低温への移動は、正味の損失とみなさなければならぬ」**という言葉があるが、ここに彼の天才性が遺憾なく表れている。熱を売ることを業としている熱の“専門家”たちはこれまで、このことにほとんど注意を払ってこなかった。カルノー以降170年もの間、動力を発生することなしに、熱の温度を下げてしまうことを、極めて普通のこととして来たのである。

天才カルノーの教えに忠実に従うためには、「燃料に火を点けたら、まずエンジンをまわせ」ということになる。燃料に火をつけて、いきなり風呂を沸かしたり、暖房をするなどは、もってのほかということである。熱や蒸気が欲しいときにこれまではボイラを導入するのが普通であった。これからは熱が欲しかったら、まずエンジンやガスタービンを導入することを考えなければならない。燃料に火を点けたら、まずいったん熱機関で動力に変換し、発電機あるいはポンプ、圧縮機などの駆動に用い、しかるのちその排熱を熱として加熱なり暖房、給湯などに用いる。たとえば各家庭でも、都市ガスに火を点けたら、まずガスエンジンやガスタービンを駆動し、発電機、あるいは圧縮機を回してヒートポンプで暖冷房を行なうと同時に、排ガスやエンジン冷却水の熱を利用して給湯を行なう。筆者の理想とするところは、各家庭の台所や風呂場でエンジンが回っている姿である。高温部の熱は動力に、低温部は加熱にという熱エネルギー利用システムがコージェネレーション (Cogeneration) の基本概念であるが、このようなシステムをエネルギー供給構造の中に取り入れてゆくことが直列の構造への組み替えに他ならない。図-2で言えば、発電用に投入された1次エネルギーの排熱、つまり“温排水”で、風呂に入ったり暖房をしようということになる。そうなれば、民生用の暖冷房・給湯や産業用のプロセス蒸気を作るために、別途焚いていた都市ガスや灯油・重油は不要となる。つまり、ダブルカウントが無くなるわけである。

そうはいうものの、原子力や石炭火力発電所は、集中・巨大化して、厳重な環境管理のもとに置かねばならないから、熱の需要地である都市からは遠隔の地に立地させて温排水には目をつぶらざるを得ないだろう。しかし、石油や天然ガスのような高級燃料を焚く発電所は、可能な限り小型化して、都市の内部に分散配置

し、発電したあとの排熱まで使いきるべきである。高効率のコンバインドサイクル発電所といえども、10万kW級のユニットを10台並べて100万kW、200万kWと巨大化し遠隔の地に立地させる現在の手法は、スケールメリットの幻想に取り付かれた誤りと言わざるを得ない。

以上のような直列構造の導入のためには、電気事業者とガス及び石油事業者が手を結び、緊密な協力体制のもとでコージェネレーションを推進して行く以外に途はない。

#### 4. 規制緩和への期待

電気事業審議会需給部会電力基本問題検討小委員会が'94年6月に取りまとめた中間報告によれば、電気事業に対する画期的な規制緩和が行われようとしている。卸発電事業の自由化、電力購入に際し回避可能原価を上限価格とする入札制度の導入、託送の活性化、特定供給規制の見直し、直接供給に関する新制度の創設などが含まれているが、これらのことが実現すれば、先に行われた非常用発電機との兼用許可、10,000kW未満のガスタービンの型式認定制度の導入などの規制緩和と相まって、コージェネレーション推進のための諸条件は、かなりの程度整えられよう。例えば、住宅・都市整備公団が再開発地域などにコージェネレーションを導入する事例が増えているが、これまでは住宅棟に熱は供給できるが電気の供給は出来なかった。これからは住宅の戸別空調用の電力として、例えば燃料電池で直流を供給しながら、熱は給湯に用いるなどの工夫が出来ることになる。これまで、各方面に要望してきた条件整備が、関係各位のご努力によって、かくも速やかに実現されたことに心からの敬意と謝意を表する次第である。

かくなりし上は、コージェネレーション推進を担う人々に課せられた責任は重い。コージェネレーションシステムの信頼性の更なる向上と徹底したコストダウンに向けて努力を重ねて行く必要がある。欧米のガスエンジンの中には、メジャーオーバーホール間隔が150,000時間、また小型コンバインドサイクル・コージェネレーションでフルターンキーのイニシャルコストが400ドル/kWという例もある。これらのレベルに一日も早く近づけて、コージェネレーションの徹底した推進をはかる以外に日本の省エネルギーを実現する途はないと考えている。