

# 複合エネルギー総論

平田 賢

## 1. 複合エネルギー時代の到来

通商産業省資源エネルギー庁では、昭和61年11月「21世紀エネルギービジョン」を発表した。このビジョンは「複合エネルギー時代の幕明け」という副題の示すとおり、産業構造の転換、情報化の進展、価値観の多様化、ライフスタイルの変化など予想される社会の変革に伴って、需者側側の快適な生活への欲求は増大し、ニーズの多様化時代がくることを予測している。

供給者側はその多様なニーズに柔軟に対応してゆくことが求められるであろう。従来のように、セキュリティとコストだけを念頭においたエネルギー政策では不十分で、利便性、クリーン性といったニーズ適合性を配慮した政策を展開しなければならないと唱えているが、21世紀は供給側も需要側もまさにハイブリッドなエネルギーシステムの構築が求められるようになるだろう。一例を挙げれば、高齢化社会の進展に伴って、厨房には安全、利便性の点ですぐれた電磁調理器の普及が進むだろうが、その電源には、遠隔の原子力発電所から延々と運んできた電圧変動、周波数変動の少ない「高級、高品質」な電力が果たして必要だろうか。電圧、周波数も100V、50Hzより、もっと電磁調理器に適した値があるのではないか。

現在の系統電力は、定電圧、定周波数(CVCF)の最も進んだものであり、コンピュータに要求される程度の高品質のものであるが、世の中には可変電圧、可変周波数(VVVF)の需要も多々あるであろう。たとえば、空調の搬送動力などは、低負荷時には低速回転で駆動したい。所要動力は回転数の3乗に比例するから、低負荷時に低速で運転すればはるかに省エネになる。また、集中暖冷房は気に入らぬ、個別の部屋ごとに電動ヒートポンプで空調したいと考える人がいたとする。そのような電源も原子力電所から送られてきた高級な電力である必要

は必ずしもない。そのほか用途によっては、直流電源の方が適していることも多いだろう。

とにかく、現在の系統電力は電圧、周波数に消費者の選択の余地のない、ほかの経済社会から考えれば、きわめて珍しい商品なのである。いずれにしても、需要家が快適な生活を求めて、供給されるエネルギーの選択をするアメニティ優先の時代がくることを想定して、供給側も準備を進めておかねばなるまい。

## 2. 集中と分散—ホロニックシステム

わが国のエネルギーシステムは、昭和30年代の後半から40年代の高度成長期に、スケールメリットと称して巨大化の道をたどった。当時テレビコマーシャルでもてはやされた「大きいことはいいことだ」という言葉のとおり、発電所の単機容量は100万kWを越え、熱の需要地である都市部からはるかに離れた遠隔の地に立地せざるを得なくなった。電力の方は福島や新潟から延々と送電線で運んでくるのが可能でも(もっともその送配電に伴う損失は馬鹿にならないが)、発電所から発生する排熱を都会地に運んでくるわけにはいかない。コスト的に成り立たないのである。都市部で必要とする暖冷房、給湯、厨房などの熱は、改めて都市ガスや石油を焚いて別途作り出さざるを得ない。つまり、高度成長とともに、都市へのエネルギー供給は、必然的に電気、ガス、石油とばらばらにならざるを得なかったのである。少なくとも数年前までは、エネルギー供給側については電力、ガス、石油業界がそれぞれ適当にシェアを分担しあってあまり激しい競争もなく、それなりに秩序が保たれてきたように思う。

しかるにオイルショックを契機として、省エネルギーが叫ばれるようになり、省エネルギー技術開発の切り札として、この特集号の主眼とする分散、小型、高効率のコージェネレーションシステムが注目されるにおよんで、巨大集中システムに対する反省が生まてきた。夏のピークに原子力に対応することが本当に望ましいことなのか。スケールメリットは神話ではなかったか。熱の需

ひらた まさる 東京大学 工学部

〒113 文京区本郷7-3-1

要地に密接して、熱を供給しながら発電もするコージェネレーションシステムの高効率性に着目すべきではないか。

“全体”を表わすギリシャ語 Holos と、中性子(neutron)や電子(electron)のように“子”を表わす~onを合成して、Holon(全体子)という語を作り出したのは日本人と聞いている。人体のように、中枢神経系(全体)と自律神経系あるいは末端の細胞(子)の関係が、最もうまく機能しているときには、まことに柔軟でしなやかな動作が可能となるが、そのバランスが崩れればたちまち痛となってしまふように、巨大集中システムと小型分散システムとが有機的に結合して、機能をうまく分担しあったときには、はじめて理想的に柔軟でオプティマムなシステムが構築されるのではないか。

このようにしなやかで過不足のないシステムが「ホロニックシステム」である。コンピュータシステムでも、大型のホストコンピュータとパソコンとの機能分担がうまく働けば、最も経済的で高速な計算が可能となるであろうが、どのあたりが最適な組合せなのか、いまだに明らかでないものと見え、学生諸君はずいぶん無駄な計算をしているようである。エネルギーシステムも原子力や石炭火力発電所のような巨大集中システムでベースロードを担い、コージェネレーションのような小型分散システムでピークロードをまかなうような配分で、日本全体として最もオプティマムで柔軟なシステムはいかにあるべきかを早く見出し、その目標に向かって努力を進めてゆく必要があろう。目標を誤り小型分散システムが普及しすぎて、仮に原子力発電所が遊休化するような事態が発生したとしたら、国民経済的に見てマイナスである。

ベースロードは巨大集中システムで、ピークロードは小型分散システムで、ということを別の言葉で言えば、原子力、石炭火力など小型分散システムにもともなまじまないシステムは、都会から遠隔の地に置いて、厳重な管理の下に運転すべきであるが、石油、LNGといった高級燃料を、巨大システムで焚いてしまうのはあまりにももったいないということである。これら高級燃料は、コージェネレーションのような高級、高効率な使い方をすべきである。

現在、輸入されている石油の22%、LNGの75%は電力向けであり、それらは大型火力発電所で焚かれてしまい、そのうち2/3の熱は大気や海水といった環境中に無駄に捨てられてしまう。一方、民生用の暖冷房、給湯、厨房用の熱は、まったく独立に都市ガス、灯油などを焚

いて供給されるわけであるが、わが国における民生用熱需要の総量は、上記大型石油およびLNG火力発電所の65%排熱の程度である。つまり、民生用として必要とする熱量は、大型石油火力あるいは大型LNG火力発電所の排熱で充分まかなうことができることになる。産業用の中でも、食品、紙・パルプ、繊維、石油化学などといった比較的低温の熱で間に合う業種では、通常、ボイラーで石油や都市ガスを焚いて必要な熱をまかなっているが、その部分の熱量も上記の発電所排熱の残り35%でまかなうことができる程度の量であろう。つまり、現在発電だけの目的で、大型火力発電所で焚いてしまっている石油、LNGの総量を、もしもコージェネレーションで使用したら、発電をしたあと現行の民生用の総需要のすべてと、産業用熱需要のかなりの部分をまかなうことができるのである。つまり、コージェネレーション時代がくると、民生用、あるいは産業用の一部の熱需要のために使用される石油およびLNGの総量は、在来発電用として用いられてきた石油とLNGの量で充分まかなわれることになる。そうなると、供給側に熾烈な競争が起こることが予想される。発電後の排熱で、暖冷房、給湯、厨房などがまかなわれれば、そのぶん都市ガス、灯油は不要となるし、逆に熱を供給する在来のボイラーの代わりにエンジンを導入して、エンジン冷却水や排気からとった排熱で熱の供給を行ないながら、“ついで”に電力を供給すれば電力を系統から購入する必要がなくなる。電力会社が主導権を握れば、ガス、石油会社はシェアを失うし、ガス、石油側が主導権を握れば、電力側がシェアを失う。現状では、電気事業法によって電力の供給は電力会社の独占となっている(注：後述のように昭和62年11月より民生用についても、電気事業者以外の者が1建物内に限り第三者に電力を供給することが可能となった)から、電力会社が主導権を握り、電力も熱も供給する方が障害が少ないことが予想されるが、その場合もプラントまでの燃料供給が問題であり、たとえば都市内にLNGをもちこむためには、ガス会社のパイプライン網を利用させてもらう方が便利であろうから、どうしてもエネルギー供給者間の協調が必要となる。電力、ガス、石油といった供給者間の健全な競争と緊密な協調によって国民経済的な視点に立った省石油、省エネルギーが図られなければならない。

### 3. コージェネレーションの目標と課題

わが国は、高価な代金を払って石油、石炭、LNG(液化天然ガス)、核燃料などを輸入し、これをすべて“燃や

してしまい、高温の「熱」にしてから利用をはじめる。燃料を完全燃焼させたときに得られる熱は、 $2,000^{\circ}\text{C}$ 前後の高温の熱であるが、日本全国で作り出された全熱量のうち、約半分が「熱機関」のインプットであり、動力に変換された発電機や自動車を駆動し、「電気エネルギー」や「機械の仕事」を発生する。残りの半分は熱の形のまま産業用および民生用の「加熱」に用いられている。

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」、さらには光・電波などの「電磁波エネルギー」に形をかえても、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、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、高温の熱にはじ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法則にもとづき、温度の高い方から低い方へ方向に、不可逆的に流れ、自分では決して元に戻らない。最近よく“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、墓場に到着する常温まで下がってくる間に効率よく使いつづかなければならない。わが国の場合、熱の総合的な利用率は半分以下で、最初に作り出した熱の半分以上は使いきれずに大気中かあるいは海水中へ捨ててしまっている。この効率の悪さの大半の原因は、高温の熱にはじまって常温の熱で終わる「熱」の利用技術の“まずさ”による。したがって「省エネルギー」とは庶民に我慢を強いることではなく、技術開発によってこのロスをせめて半分にするのである。

化石燃料の燃焼や核燃料の分裂によって生成された高温の熱エネルギー、すなわち同じ熱の中でもポテンシャルの高い高級な熱エネルギーを、そのまま熱として使うプロセスは鉄鋼、セメント、窯素など産業界でも限られているから、高温の熱はまず熱機関によって可能な限り効率よく他の利用しやすいエネルギー形態に変換しておき、最後にどうにもならない低温の熱エネルギーをプロセス、暖冷房、給湯などの熱源として利用するのが理想である。最近まで、そのような総合的な利用システムは開発されていなかった。省エネルギーというとすぐ“廃熱

回収”という。 $200^{\circ}\text{C}$ 以下程度の低温域の熱の回収も大切ではあるが、意外に見過ごされているのがこのような“高温部の熱の回収”なのである。

山の上にダムを作り、水が海面まで流下してくるまでに、高度の高いところから順々に水力発電所を仕掛けて、水の落差を使いつくすことは誰でも考えることである。熱の方の落差は温度差であるが、不思議なことに熱の方は温度の高いところから次々と使っていくことが行なわれていない。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は $1500^{\circ}\text{C}$ 以上の高温であるが、 $46^{\circ}\text{C}$ の風呂のお湯や $25^{\circ}\text{C}$ の室温を得るために $1500^{\circ}\text{C}$ 以上の熱を直接投入しても誰もあまり不思議に思わない。廃熱回収も水の流れでいえば、もはや河口近くになっ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回収せずに直接流してしまって、中流から河口のあたりをせおうと努力しているのがこれまでの多くの場合の熱利用の姿であった。

燃料に火を点けたらまず熱機関を駆動し、動力を発生して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、給湯などに用いればよい。たとえば各家庭でも、都市ガスを燃やすなら、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。高温部は動力に、低温部は加熱にという熱エネルギーの合理的利用を基本目標としたシステムが「コージェネレーションシステム」である。このようなシステムの普及を図ることが省エネルギー技術開発の最も重要なポイントである。このようなシステムは、必然的に熱の需要地に密接した電気出力1万kW程度以下の小型システムとなる。

コージェネレーションシステムの高効率性、経済性は最近になって急速に社会に認められつつあるが、図1および図2はわが国の普及状況の進展を示す。コージェネレーション普及の初期に当り高性能化、高信頼性、長寿命化、保守の簡素化、ユニット化、小型パッケージ化、複数システムの集中制御、低コスト化など技術的開発課題も数多いが、なかでも重要な課題は低公害化である。コージェネレーションシステムは都市部に導入される場合が多いであろうから、大気汚染、騒音、振動等環境に与える影響を極力小さくしなければならない。特にディーゼル機関の $\text{NO}_x$ およびばいじん対策は、今後の大きな技術開発課題である。

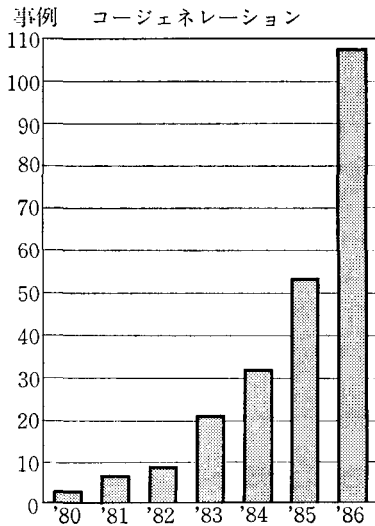


図1 日本におけるコージェネレーション事例数の推移

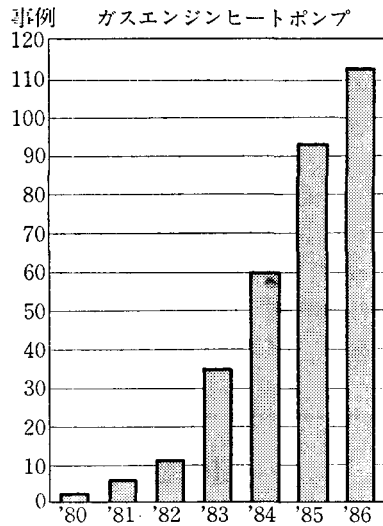


図2 コージェネレーション事例数比率と設備容量

環境庁は昭和63年2月から大気汚染防止法施行令の一部を改正し、コージェネレーションのような定置型内燃機関の排ガス規制を行なうこととした。

一方、昭和62年8月、通商産業省資源エネルギー庁が設置したコージェネレーション問題検討委員会の結論が発表された。内容の主要なポイントは、これまで制度的制約の最大の問題点であった電気事業法第17条の特定供給規定の緩和である。すなわち、在来、たとえば貸しビルのオーナーがコージェネレーションシステムを導入し、発生した電力をテナントに配分して、使用電力量に比例した料金を徴収することは認められていなかった。電気の供給は、供給義務とひきかえに、電力会社の独占とされてきたのである。産業用には、特定の資本あるいは人的につながりのある事業所間の電力のやりとりは在来も認められてきたが、このたび一般民生用にも、一建物の中に限り供給可能としたのである。一建物の定義、解釈がむずかしい場合も想定されるが、東京赤坂のアーキルズのような都市再開発のケースなどは可とされており大きな前進である。建設省、住宅・都市整備公団では、この結論を受け、都市再開発型のプロジェクトにコージェネレーションの導入を検討している。このようなケースでは、建築基準法にもとづく建物容積率制限に対し、省エネルギーを促進するための優遇措置が適用されるなど大きなインセンティブが与えられている。

#### 4. むすび

以上のように、技術面、制度面において、コージェネ

レーションをめぐる周辺整備が進展してくると、普及に一層の拍車がかかるであろう。21世紀へ向けて、住居の面積は増大してくるであろうし、高齢化社会の進展とともに、厨房の電化率も進む。一方、最近の若い人々は、朝シャンプーをして出かけるそうで、給湯の需要も増すであろうし、快適な暖冷房への欲求もますます増大する

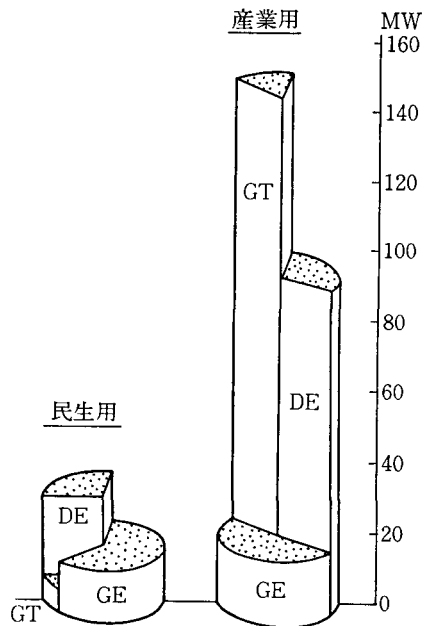


図2 コージェネレーション事例数比率と設備容量 (1987年3月, DE:ディーゼルエンジン, GE:ガスタービン)

であろう。アメニティ、快適さへの要求の増大とともに、少なくとも民生用のエネルギー需要は質、量ともにますます増大してくるだろう。電力に対しては、電圧、周波数の多様化が要求され、熱に対しては温度と量に対する要求が多様化してくることが予想される。そのようなときに、在来型のエネルギー供給システムだけでは、とても対応しきれぬものではない。先述のように日本に輸入されるLNGの3/4は電力向けであるが、このような大量のLNGを巨大発電所でやみくもに焚いてしまうことをやめ、ガス会社のパイプライン網、さらには新た

に日本縦貫幹線パイプライン網を敷設して、全国にLNGを供給し、末端で、民生用、あるいは産業用のコージェネレーション設備で焚いて、電力を発生しながら熱を供給する。巨大システムと分散システムがハイブリッドに組み合わせられ、多様化されたエネルギー需要に質、量ともに効率よく柔軟に適應してゆくことが21世紀「複合エネルギー時代」の理想の姿ではなからうか。そのためには、在来の電力、ガス、石油といった業界が既存観念を捨て、柔軟な発想で、健全な競争と協調を進めてゆくべきときであろう。

## JORSJ 編集委員会からのお知らせ

JORSJ というのは、本学会の論文誌 *Journal of the Operations Research Society of Japan* の略称です。学会の誕生後まもなく創刊された邦文誌「経営科学」および現在と同名の英文論文誌を母胎とし、当機関誌（オペレーションズ・リサーチ）と姉妹関係にあります。昨年30巻目を迎えたのを機会に、守備範囲の拡大・投稿から掲載までの期間の短縮をめざして、大幅な増ページと編集委員会の拡充・機能強化を行いました。これらの詳細につきましては、当機関誌の1987年7月号の483ページをぜひもう一度ご覧ください。今期の編集委員会もこれらの編集方針を継承し、理論的論文だけでなく、応用論文、サーベイやショート・ノート等もできるだけ掲載して、皆さまに親しみ

を持っていただけるジャーナルを育てるべく努力してゆきたいと考えております。また学会創立30周年を記念して策定されました（第2次）長期計画において提案されました方策につきましても、実現方を検討していくつもりです。

JORSJ の一層の発展のために、皆様の積極的なご投稿とご購読をお勧めするとともに、編集方針および将来のあるべき姿等につきましても、建設的なご意見をお寄せくださいますようお願いいたします。なおご参考までに近日発行のVol. 31, No. 2の掲載論文リストを以下に示します。（本号の論文は、たまたますべて英文のものですが、もちろん和文論文のご投稿も歓迎いたします）

### • Optimal Stopping Problem With Uncertain Recall

生田誠三（筑波大学）：リコールが不確実な最適停止問題

### • DISTRIBUTION PROPERTIES OF DISCRETE CHARACTERISTICS IN M/G/1 AND GI/M/1 QUEUES

木島正明（東工大）：M/G/1 と GI/M/1 における離散特性量分布の性質

### • Deterministic scheduling in computer systems : a survey

川口 剛（琉球大学）、喜屋武盛喜（琉球大学）：計算機システムにおける決定性スケジューリング問題

### • OPTIMAL SPLITTING OF RENEWAL INPUT PROCESS TO A QUEUEING SYSTEM AND ITS APPLICATION TO A NETWORK

森 雅夫（東工大）、白川 浩（東工大）：待ち行列系への到着流の最適な振り分けとネットワークへの応用について

### • Mean Sojourn Times in a Multistage Tandem Queue Served by a Single Server

片山 勁（NTT）：単一扱者により巡回サービスされる多段タンデム型待ち行列における平均系内時間

### • Continuous Review (s, S) Inventory Model with Limited Backlogging Levels and Stochastic Lead Times

Chang Sup Sung Seong Min Yang (KAIST)