

都市と省エネルギー

鈴木 胖

1. はじめに

都市の特徴は何といても人口の集積度が高いことにある。人口統計では1 km²当りの人口密度が5000人を超える地域を人口集中地区（Densely Inhabited District 略して DID）と定義しており、一般の人々が漠然ともっている都市のイメージに大体合致している。しかし高密な地区では1 km²当りの常住人口密度は3万人を超えている。

東京、大阪のような大都会の中心業務商業地区（Central Business District 略して CBD）では常住人口は稀薄であるが、昼間の人口密度は1 km²当り10万人以上に達するところがあり、このような地区では高層ビルが林立するという風景が見られる。

人口密度が高ければ、当然のことながら、エネルギー消費密度も高くなる。また交通の発生、集中量も大きいから、それらになう交通機関（特に自動車）の消費するエネルギーも相当な大きさになる。多くの都市は、内部に工業地帯を持っている。工場は住宅やビルに比べると、おおむねエネルギーの大量消費者である。

それゆえエネルギー消費を都市という場で見るとき、まず第1に消費密度の高さがあげられる。そして高密なエネルギー消費が都市のヒート・アイランド化や大気汚染の問題をひき起している。

また大気汚染を軽減するために、本来需要地の近くに立地させるべき発電所をわざわざ遠隔の地に押しやり、その地域の住民との摩擦や電力輸送コストの増大、効率の低下などを招いている。

都市におけるエネルギー消費の増大は、それ自体いくつかの都市問題や立地問題の元凶になっている。これからの都市へのエネルギー供給はこれまでのように需要に応じていくらでも供給するというのではなくて、需要の中身をよく吟味し、需要の増大を極力抑制するとともに、需要の質を充分考慮に入れて最適なエネルギー供給を行なうという姿勢が必要である。

2. 都市におけるエネルギー消費の実態とその問題点

都市活動をエネルギー消費との絡みから家庭、業務商業、製造業、公共、交通という4つのセクターでとらえ、各セクターのエネルギー需要用途別（主要なもののみ）に現在どのようなエネルギー種が使われているかをまとめると表1のようになる。

具体的なイメージを与えるために、昭和50年における大阪市のエネルギー消費の実績を示すと表2のようになる。表では給湯のためのエネルギー消費は厨房のその中に含まれている。また正確なデータ入手が困難なので交通セクターにおけるエネルギー消費は省かれている。表にはこのエネルギー消費の根源である主要な経済指標も示さ

表1 エネルギーの使われ方

エネルギー種 セクター	用途	電力	都市ガス	LPG	重油	原油	軽油	灯油	ガソリン	ナフサ	石炭 コークス
		家庭 (住宅)	照明動力 厨房給湯 暖房 冷房	○ ○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○				○	
業務商業 (ビル)	照明動力 厨房給湯 暖房 冷房	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○	○			○ ○			
製造業 (工場)	照明動力 熱需要*	○ ○	○	○	○			○			○
公共 (道路, 公園, 上下水, 処理, 発電所など)	照明動力 熱需要	○ ○ ○			○	○		○		○	
交通		○		○	○		○	○	○		

* 蒸気・ガス発生, 加熱, 溶解, 乾燥, 焼却, 反応など

表2 大阪市におけるエネルギー消費 (昭和50年)

部門	用途	昭和50年実績値*
家庭	冷房	608 (1.82)
	暖房	2 380 (7.11)
	厨房	1 160 (3.45)
	照明	842 (2.51)
	小計	4 990 (14.9)
業務商業	冷房	1 890 (5.63)
	暖房	3 260 (9.74)
	厨房	643 (1.92)
	照明	2 300 (6.88)
	小計	8 090 (24.2)
工業	熱需要	11 200 (33.5)
	電動	2 750 (8.23)
	照明	5 510 (16.5)
	小計	19 500 (58.1)
公共		936 (2.80)
合計		33 500 (100)

*: 2次エネルギーベースで, 単位は〔×10⁶kcal/年〕
カッコ内は全体に占める比率[%]

指標	年度	昭和50年	単位
	常住人口		2.78
工業生産付加価値額	多消費形	2.42	〔×10 ¹¹ 円/年〕
	中間消費形	5.82	
	寡消費形	6.37	
業務商業用建物床面積		41.5	〔km ² 〕
市民所得		1.02	〔×10 ⁶ 円/年〕

(出典: 鈴木胖ほか: 大都市におけるエネルギー需要予測と最適供給計画モデル, 電気学会論文誌・C, 99巻6号, 1979)

れている。交通を除いた場合、大阪市におけるエネルギー消費の半ば以上が工業で占められている。しかし将来を考えると、工業での消費はほぼ横ばいで推移すると予想されるのに対し、業務商業ならびに家庭での消費が大幅に伸びると予想される。

たとえば日本総合研究開発機構では2000年の家庭エネルギー需要を表3のように想定している。

表 3 1世帯当り用途別エネルギー需要量

(単位: 10³kcal/年)

	1973年	1985年	2000年
照 房 用	3 287(41%)	5 858(46%)	10 295(49%)
給 湯 用	2 316(29%)	4 035(32%)	4 287(20%)
冷 房 用	92(1%)	217(2%)	2 886(14%)
厨 房 用	1 178(15%)	1 177(9%)	1 256(6%)
照明・その他	1 066(14%)	1 340(11%)	2 270(11%)
計	7 939	12 627	20 994

(出典: 向坂正男: 2000年のエネルギー: 日本経済新聞社, 1977)

2000年の需要は1973年の2.5倍であり, その80%以上が冷暖房, 給湯用需要である。これは現在欧米先進国に比べて特に立遅れている住環境の改善がこれからの重点課題であることを考えればあり得る数字である。これからの都市では住宅やビルの空調, 給湯のためのエネルギー消費が大きな割合を占めるようになるという点に注目すべきである。

このことを念頭におきながら表1をもとに現在の都市におけるエネルギーの使われ方の問題点を指摘してみよう。

- (1) 冷房, 暖房, 給湯といった100℃前後の熱源があれば十分な用途に高品位の電力, 都市ガスそして石油系燃料が使われている。
- (2) 製造業の熱需要の中にも比較的低い温度の熱源があればよいものがある。この用途にも石油系燃料が使われることが多い。
- (5) 一方, 発電所, ある種の工場では大量の熱が冷却水や大気中にむだに捨てられている。また, ほとんどのゴミ処理場ではゴミを焼却し, 発生した熱をやはり大気中に捨てている。
- (4) 鉄道を利用してあまり時間が変わらないのに乗用車を利用し, しかもその乗用車には1人しか乗っていないことが多い。そしてその乗用車が大型化する傾向にある。貨物輸送については同じ品物を一方では右から左に, 他方では左から右に輸送するという交錯輸送

が随所に見られる。

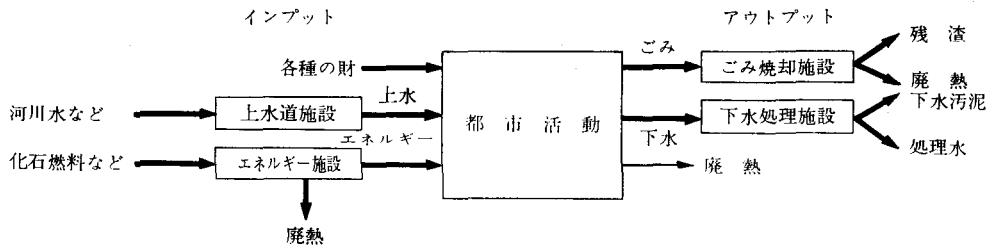
- (5) 用途にふさわしくない高級なエネルギーが使われているうえに, 用途自体にむだが多い。たとえば断熱の悪い住宅で冷暖房を行ない, しかもせっかく暖めた空気を換気のために屋外に放出するなどである。

3. 都市における省エネルギーの基本戦略

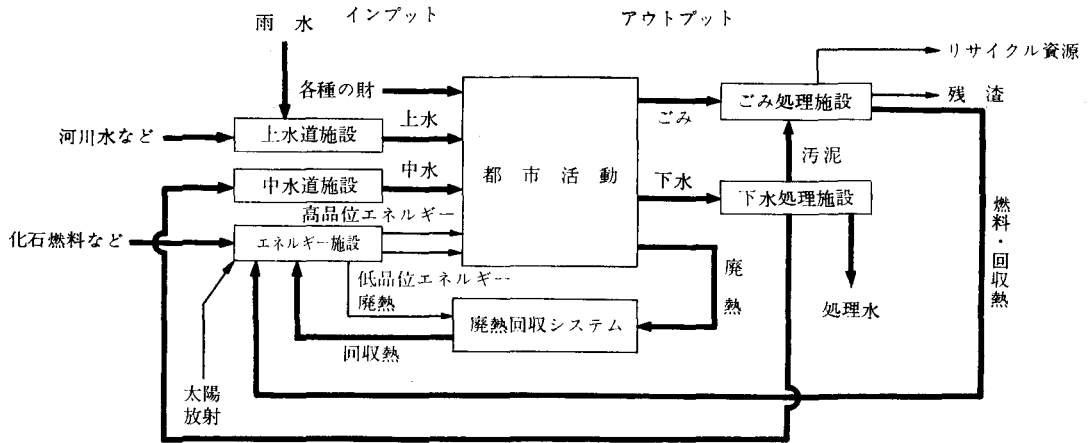
エネルギー消費上の問題点は裏返せば, 省エネルギーのポイントである。すなわち省エネルギーの基本戦略として次のようなことが考えられる。

- (1) エネルギーの使用環境をそれにふさわしいものに改善する。建物を例にとるならば, 断熱を良くする, 日除けなどを適宜設ける, 適正な換気を行ない, さらに全熱交換器などを用いて換気ロスを少なくすること, などがあげられる。
- (2) 温度の低い, 低品位エネルギーでまかなえる用途には, 発電所や工場からの排熱を極力利用する。
- (3) ゴミ(家庭ゴミ, 産業廃棄物, 下水汚泥など)も1つのエネルギー源であり, 焼却熱や熱分解生成ガスの形で有効利用する。
- (4) 都市交通体系を根本的に見直し, 大量(鉄道)ならびに中量(バス, モノレール, 新交通システム)輸送機関の輸送分担率を高める。このためには都市域における乗用車の効用を相対的に減じることでもある必要である。駐車禁止区域の拡大, 乗入れ禁止ゾーンの設定, バス専用レーンの設置などは有効な方策である。貨物輸送については物流情報システムを導入し, 都市内を貨物がむだに移動することをできるだけなくする。
- (5) 住宅, 学校, プラットホームの屋根, ビルの屋上などを活用して太陽エネルギーを収集し, 利用する。

そして長期的には現在の都市の発展形態(職住



(a) 現在のシステム



(b) トータル・クローズド・システム

図1 供給・処理システムのあり方

の分離とその遠隔化の傾向) そのものを見直すことが必要になるかも知れない。なお、製造業の構造転換(たとえば、重化学型から、知識集約型への転換)は、エネルギー商品の大幅削減につながるが、これは都市の問題というよりも、国全体の産業構造の転換の問題であるので、ここでは触れない。

(2), (3), (5)を実現するためには現在のエネルギー供給システム、廃棄物処理システム、上下水道システムを1つに総合化することが必要である。すなわち図1(a)の現在の個別、オープン・ループ・システムを(b)のようにトータル・クローズド・システムにすることである。そのためには現在の供給、処理システムを構成している技術要素を新しいものに入れ替えることも必要である。その1つのやり方が図2に示されている。熱併給発電プラ

ント、ごみ熱分解プラントは、この中でキーになる技術要素である。

5. 省エネルギーを実現するための技術要素についての検討

熱併給発電プラントを例として

熱併給発電プラントは、電力の発生と熱供給を同時に行なうプラントで、この方式を欧米では Combined Heat and Power (略して CHP) Generation と呼んでいる。その基本となっている設計思想は高温熱を発電に、低温熱を熱供給に利用するという熱のカスケード利用である。ヨーロッパではすでにかかなり以前から数多くの地域暖房用の熱併給発電所が建設されている。特に盛んなのはデンマーク、スウェーデン、ドイツ、ソ連である。わが国では残念ながらまだそのような例は

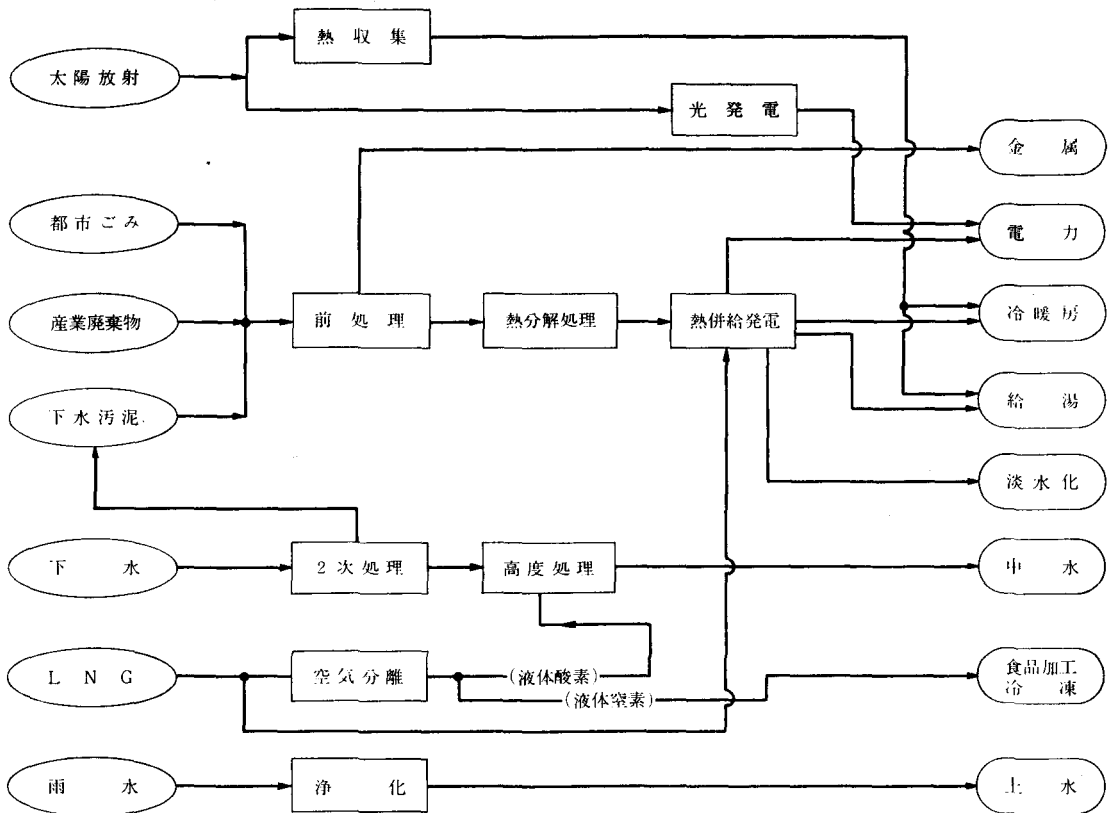


図2 トータル・クローズド・システムの構成例

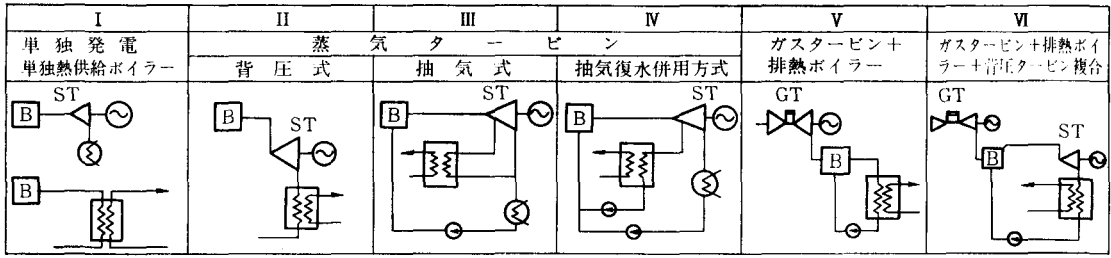
ない。

わが国で熱併給発電プラントを設置するとしたら、それはヨーロッパのように地域暖房だけでなく、夏には地域冷房を行なうことを考えるべきである。現在冷房にはクーラーが主に利用されている。それを運転するための電力需要を見ると、そのピークは夏期のほんの1時期（極端な場合、1週間前後）に集中している。電力は貯蔵がきかないため、このピークに合わせて発電設備容量を確保しなければならないので、電力会社、ひいては利用者の大きな負担になっている。それゆえこのピークがいくらかでも減るとしたら相当の助けになるわけである。熱の供給によって冷房を行なうには、吸収式冷凍機が使われる。吸収式冷凍機はすでにわが国でもビルの冷房や地域冷房に実用されている。ただしそれに供給する熱媒をつくるのに都市ガスや石油系燃料が直接使われており、省

エネルギーという立場から見れば問題がある。

熱併給発電プラントを建設する場合、その方式にはいろいろなものがあるので、どれを採用するかが問題である。最近筆者らは各種の熱併給発電方式をとり上げ、比較研究を行なったのでその結果の概略を以下で紹介しよう。

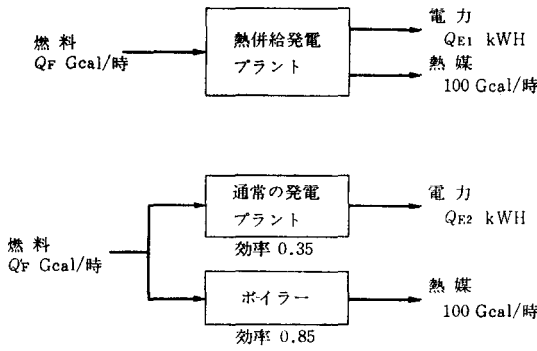
とりあげた方式は図3に示すⅡ～Ⅵの5つの方式である。Ⅰは電力の発生、熱の供給を別々に行なう従来の方式で、比較の基準とするために挙げている。この5つの方式を比較するといっても、各方式はそれぞれ特徴をもっており、一般的にどの方式が一番良いという結論を出すことはできない。そこで筆者らは、熱併給発電プラントの最大熱負荷を100Gcal/時(集合住宅が約1万5000戸、1戸あたり専用床面積が85m²の場合、最大熱負荷に相当する)と設定し、これだけの熱量を供給しながら、各方式でどれだけの電力が発生できるか



記号説明 B: ボイラー, ST: 蒸気タービン, GT: ガスタービン

⊙: 発電機, ⊕: 復水器, ≡: 熱交換器, ⊖: ポンプ

図3 熱併給発電の各種方式



$$Q_{E1} = Q_{E2}$$

$$\text{燃料節減率 } \eta_F = \frac{Q_F - Q_F}{Q_F}$$

図4 燃料節減率を求める原理

をまず調べることにした。そして、その熱と電力を従来の方式で別々につくるとしたら、どれだけの燃料が必要かを計算する。熱併給プラントに投入される燃料もプラントの熱収支によって分かるから、両者を比べて燃料節減率を知ることが出来る。図4はこの燃料節減率を求める原理を示したものである。

表4は図3の各方式について発生電力、燃料節減率を求めた結果をまとめたものである。熱の供給は110℃高温水の形で行なうとしている。この高温水を用いて冷房のための冷水をつくるには1重効用の吸収冷凍機を使う。方式IIとVIではさらに低い温度の90℃高温水を用いた場合の効果も調べている。

表4から発生電力、燃料節減率の大きさから見るとVIのガスタービン-背圧タービン複合サイク

表4 熱併給発電方式の比較

項目	方式 II		III	IV	V	VI	
	90℃	110℃				90℃	110℃
熱供給 (Gcal/時)	100	←	←	←	←	←	←
発生電力 (10 ³ kW)	35.8	23.5	50	50	57.8	124.1	108.2
投入燃料 (Gcal/時)	154	142	213	197	184	281	270
燃料節減率 (%)	25.2	19.8	11.8	18.3	29	33.5	28.9

蒸気タービン入口圧力: 50kg/cm²

熱は110℃高温水の形で供給する。方式II, VIについてのみ90℃高温水で供給するケースも考慮。

ル方式が最もすぐれていることが分る。また供給する高温水の温度を110℃から90℃に下げると、燃料節減率は5%近く向上し、効果は相当に大きい。これはIIの背圧タービン方式でも同様である。しかし、これから90℃のほうが良いと即断することはできない。温度が下れば送る高温水流量が増加し、配管や2次熱交換器あるいは吸収式冷凍機が大型化するからである。

熱併給発電プラントはエネルギー節減の面から見れば確かにメリットがある。しかしそれが実際に採用されるかどうかは1つに経済性にかかっている。需要者側から見れば地域冷暖房に必要な熱媒(いまの場合、高温水)がいくらのコストで供給されるかということである。これが従来の都市ガスや燃料を用いる地域冷暖房よりも高くなるなら、利用者にとってメリットはなくなる。

たとえば表4の場合に熱媒単価はどのようになるであろうか。1つの試算例を次に紹介しよう。熱媒単価を定める主な要因は熱併給発電プラントの建設費、運転管理費および燃料費である。そして熱媒単価を定めるのにもいくつかの前提条件が必要になる。ここでは熱併給発電プラントで発生された電力は通常の火力発電なみの単価で電力会社に売り渡すことができると想定する。そうすると熱媒単価は概略次のようにして算出できる。すなわち、

熱媒単価 = (熱併給発電プラントの建設費・運転管理費の増分を単位熱媒に割り振った分) + 単位熱媒を発生する(このとき同時に電力も発生する)のに要した燃料費 - (同時に発生した電力を通常の発電プラントで発生するのに必要な燃料費)

通常の大型火力発電プラントの建設費は現在10万円/kW前後であり、熱併給発電プラントの建設費はこれを数万円/kW上回ると予想される。少しきつい条件であるがプラントの耐用年数を15年、償却を18%/年の比率で行なうとする。

熱併給発電プラントの建設費、運転費の増分をX万円/kW、燃料単価をY₁万円/Gcalとする。通常の火力発電プラントの燃料単価はY₂万円/Gcalとし、両者に差があるとしておく。

さて、熱併給発電プラントでaユニットの発電を行なった際に、bユニットの熱媒が発生されるとしよう。1kWで年間で7.5Gcalに相当するから、プラントの稼働率をαとすると単位熱媒に割り振られた建設費、運転管理費の増分は、

$$\frac{(0.18/\text{年}) \times (X \text{万円/kW}) \times (a/b)}{(7.5 \text{Gcal/kW} \cdot \text{年}) \times \alpha} \\ = \frac{0.024 \times X \times (a/b)}{\alpha} (\text{万円/Gcal})$$

となる。このとき燃料をcユニット消費したとすると、単位熱媒あたりの燃料費は(c/b) × Y₁(万円/Gcal)となる。またaユニットの電力を通常の火力発電プラント(効率35%, 送変電ロスを含む)で発生するのに要する燃料費は、

表5 熱媒単価(設備利用率0.2)(単位:万円/Gcal)

方式	X(万円/kW)	1	2	3	4	5
		II	90℃	0.42	0.43	0.44
	110℃	0.50	0.52	0.54	0.57	0.60
III		0.63	0.68	0.73	0.78	0.84
IV		0.55	0.60	0.65	0.70	0.76
V		0.41	0.47	0.53	0.59	0.65
VI	90℃	0.33	0.45	0.58	0.70	0.73
	110℃	0.41	0.52	0.63	0.74	0.85

$a \times Y_2 / 0.35$ (万円/Gcal), したがって単位熱媒当たりでは、 $(a/b) \times Y_2 / 0.35$ (万円/Gcal)となる。

ここで $\alpha = 0.2$, $Y_1 = 0.5$ 万円/Gcal, $Y_2 = 0.4$ 万円/Gcalと想定してみる。 $\alpha = 0.2$ は大坂地域で地域冷暖房・給湯を行なった場合に期待できる数字である。 $Y_1 = 0.5$ 万円/Gcalは天然ガス(都市内に立地するゆえ), $Y_2 = 0.4$ 万円/Gcalは重油の使用を想定している。この燃料費はかなり粗い設定であり、またこのような差をつけるのは熱併給発電プラントにとっては酷であるかも知れない。Xをパラメータにとって上記の式により熱媒単価を算出した結果が表5である。通常のボイラーで発生される熱媒単価は、ボイラー効率を0.85とすると、 $0.5 \text{万円/Gcal} / 0.85 = 0.59 \text{万円/Gcal}$, これにボイラー建設費、運転管理費がプラスされる。したがって熱媒単価は0.7万円/Gcal程度と考えてよいであろう。熱併給発電プラントから供給される高温水は通常の場合(150℃ぐらい)に比べるとかなり低いので、熱併給発電プラントから供給される熱媒単価は0.5~0.6万円/Gcal程度が妥当であろう。表5からVIの複合サイクルの場合、建設費、運転管理費の増分を2万円/kW程度に抑えることができればこの条件は満たされる。

太陽熱を併用することは、燃料の節減には役立つが、熱併給発電プラントに対しては苛酷な条件を課すことになる。それは設備の稼働率を低下させるからである。参考のために利用率を0.1として熱媒単価を算出した結果が表6である。この表から見る限り、方式VIの実現はかなり難しく、方

表 6 熱媒単価 (設備利用率0.1) (単位:万円/Gcal)

方式	X(万円/ kW)	1	2	3	4	5
	II	90℃	0.43	0.44	0.45	0.47
110℃		0.53	0.57	0.62	0.67	0.72
III		0.68	0.78	0.88	0.98	1.09
IV		0.60	0.70	0.80	0.90	1.01
V		0.47	0.59	0.71	0.83	0.95
VI	90℃	0.44	0.59	0.94	1.20	1.46
	110℃	0.52	0.74	0.96	1.18	1.40

式IIに実現の可能性が残されている。

6. おわりに

都市と省エネルギーという課題のもとに現在の都市におけるエネルギー消費の現状を示し、その問題点を指摘した。そこから省エネルギーのポイントがどのあたりにあり、省エネルギーを実現するための基本戦略はどうあるべきかを示した。その技術要素のうち特に重要と考えられる熱併給発電プラントをとり上げ、各種の方式について共通の土俵のもとに燃料がどれだけ節約できるか、熱媒の供給コストがどのようになるかを具体的数値を挙げて示した。ここでわざわざかなり詳しい数値を挙げたのは、省エネルギーという課題自体が本来きわめて細かい、まとまって大きな成果が得られない性格をもっているということを示したかったからである。熱併給発電プラントと地域冷暖房を組み合わせるにしても、プラント自体の問題のほかに、需要の地域的広がりあるいは密度がどうなっているかも大きな問題である。また熱供給をどこが主体的に行なうのか、電力会社が第3セクターかあるいは自治体かなど制度上の問題もある。さらに発電所を都市内に(極端に言えば都心に)立地させることについては住民の反発もあり得る。それゆえ都市における省エネルギー問題は単に技術だけではなく、経済、政治にかかわる、なかなか一筋縄ではゆかない問題である。

本稿の後半を記述するに当り、参考文献に挙げた大阪科学技術センター、省エネ・シティ部会の

報告書から多くの内容を引用した。ここに部会のメンバーに対して衷心から謝意を表する。

参 考 文 献

(財)大阪科学技術センター、ニュー・タウンにおける新しいエネルギーシステムをめざして—省エネルギー・シティ部会昭和53、54年度報告書、昭和55年3月。

■ミニミニOR■

品質管理の効用

毎朝、ひげそりに使う両刃かみそりが、近頃急に持ちが悪くなったように感じるがどうだろうか。某メーカーの場合、最初のうちはそり具合がきわめて良いが、4、5回も使うとガタッと切れ味が落ちはじめ、しまいにはなんべんなぞっても切れなくなってしまう。ある日、替刃のスペアを買い置きのを忘れ、残りがなくなってしまったので、古い旅行セットに入っていた10年ほど前のものと思われる同じ銘柄の使いさしを引っぱり出して使った。使いさしだから当然切れ味は落ちているが、なぞれば結構切れてくれる。現在の製品に比べると粘り強いのだ。刃の側面の印刷も、古い製品のほうが鮮明であった。

そこで、幼い頃なにかで読んだ寓話を思い出した。むかしむかし、富士山麓で旅人のためにわらじを編んで売っている店があった。その店のわらじは、丈夫で長持ちするので旅人のあいだで評判になり、たいへん繁昌していた。ところがある日、いまで言う経営コンサルタントを自称する老人が店を訪れ、「品質を落とさない。早く傷むほうが余計売れます。もう信用ができたから、売れ行きが落ちる心配はない。そのほうが余計もうかります」とすすめたそうだ。わらじ店のあるじが老人の言うとおりにしたかどうかは記憶に残っていないが、現代の企業家は、品質管理という武器を使って昔の老経営コンサルタントの故智にならい、確実に品質が良くなり過ぎぬようコントロールしているのではないかと感じさせられたことであった。

(小野勝章)