

退官記念講演

近未来のエネルギー・環境問題における熱工学の役割

What Can Thermal Engineering Do in Solving
Energy-Environmental Dilemma in Near Future ?

棚 澤 一 郎*

Ichiro TANASAWA

現在、日本のエネルギー需給は一見安定した状態にあるが、それは見せかけだけのものに過ぎない。数十年後と予測される石油・天然ガス・ウランなどの一次エネルギー資源の枯渇、世界の人口の急増、低開発国の経済成長などのためにエネルギー供給は逼迫する。一方現在の一次エネルギー源に代わるものはまだ目途がつかない。これから二、三十年を考えて、我々が取りうる選択肢の一つはエネルギーの有効利用（省エネルギー）であり、それには熱工学・熱技術が重要な役割を演ずることになる。

1. はじめに

「衣」「食」「住」がわれわれの生活において不可欠の要素であることは、古来より誰もが認めることである。しかし、現代社会ではこれに「エネルギー」「材料」「情報」という新たな三要素を加える必要があるのではないだろうか。これら三者のバックアップなしには、われわれの生活の快適性は大いに損なわれてしまうことになるであろう。さらに快適性と関連して言うならば、これに「環境」というもう一つの要素を付け加えるべきかも知れない。しかし「環境」は、エネルギー、材料、情報などは若干趣を異にする要素であり、同一のレベルで論ずるには少々違和感がある。エネルギー、材料、情報は、いずれも人間の生産手段あるいは生産活動の結果として得られる製品（商品）といていいものであるのに対し、環境は（住環境・衣服内環境のような小さいスケールのもは別として）、われわれを囲む自然そのもの（最近では、人間の生活行動や・生産活動によって大いに影響をこうむりつつあるが）を指すからである。

「材料」「情報」についてはさて置くことにして、いま「エネルギー」について考えるならば、エネルギー無しの「衣」「食」「住」などとても想像できないような状態にわれわれの文明は達している。われわれの生活を支えているエネルギーの供給に不安が生じるようなことがあれば、われわれがパニックに陥るのは当然であろう。これまで何度か経験した大小のエネルギー危機は、人間生活のエネルギー依存度が極端に大きいことに根ざしていると言える。

しかし、このところいわゆる「エネルギー問題」はしだ

いに変質しつつある。単純化して言えば、従来のエネルギー問題が主として供給の安定・不安定に起因するエネルギー価格の問題であったのに対し、新しい「エネルギー問題」では、エネルギー消費による環境への負荷の大小がもう一つの考慮の対象となっている。

先年、ブラジルで開かれた環境サミットでは、持続的成長を堅持しつつエネルギー・環境問題の解決をはかっているという申し合わせがなされたようであるが、持続的成長と環境負荷の低減とは、本来相対立するものであり、人間の叡知の結集によってさえ、どの程度のことができるものなのか一抹の不安を抱かざるを得ない。

しかし、いたずらに不安がっていても詮方ないことであり、少なくとも現時点で考えうる限りの可能な方策を順次実行していくのが賢明な態度といえるであろう。

2. エネルギー問題の深刻化への駆動力

世界はすでに何度かのエネルギー危機を経験し、そのたびにいろいろな手段で何とかこれを克服してきた。現時点で見れば、日本でも世界でも、エネルギー不安は顕在化していないように思われるが、この安定は見せかけだけのものに過ぎない。「持続的成長」を前提としている以上、エネルギー・環境対策として何か抜本的な手段が講じられない限り、遅かれ早かれ次のエネルギー危機が勃発するであろうことは自明である。

いま世界が抱えているこのようなエネルギー不安への駆動力としては次のようなものが挙げられる。

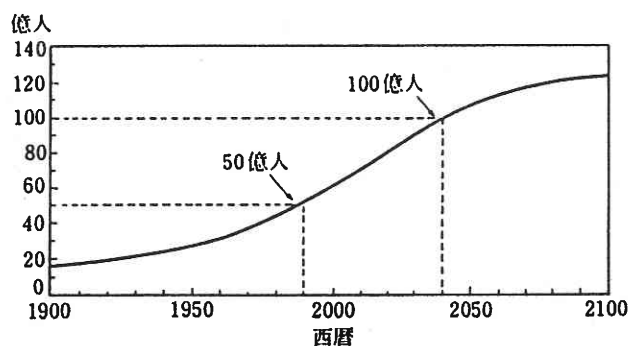
- (a) エネルギー消費の幾何級数的増大
- (b) エネルギー資源の枯渇
- (c) 世界の人口の急増

*東京大学名誉教授

表1 世界の化石燃料・核燃料資源埋蔵量

	石油	天然ガス	石炭	ウラン
確認可採埋蔵量 (R)	9.91×10^{11} [barrel] (1992.1)	1.24×10^{14} [m ³] (1992.1)	1.04×10^{12} [t] (1990.12)	2.32×10^6 [t] (1989.1)
年生産量 (P)	2.19×10^{10} [barrel] (1991)	2.14×10^{12} [m ³] (1990)	4.75×10^9 [t] (1990)	3.4×10^4 [t] (共産圏を除く) (1989)
可採年数 (R/P)	45.3年	57.9年	219年	68.2年 (共産圏を除く)

(1バレル=42米ガロン=159リットル)



世界の人口予測〔国連統計(1989)より〕。予測では、2050年を待たずに世界人口は100億人を突破する。

図1 世界の人口予測

(d) 新エネルギー開発の遅延

(e) 環境問題

これらのうち (a) については、すでに数十年前から各方面で言われてきた。18世紀後半の産業革命を契機とする人類の動力機械の使用開始によって、エネルギー消費の増大が始まったが、二つの世界大戦を経て、増大がさらに加速されたことは周知の通りである。

(b) についても頻繁に話題にされている。世界の化石燃料および核燃料資源の可採埋蔵量については、必ずしも大方の意見が一致しているわけではないようだが、これらの資源に限りがあることは確かである。表1は一つの資料であるが、これによれば、1990年の時点で、石油は約45年、天然ガスは約60年、石炭は約220年、ウランは約70年の可採埋蔵量となっている。すなわち、石炭を除けば、われわれが現在使用している一次エネルギー源は、21世紀半ばにして消滅するか、消滅しないとしてもきわめて高価なものになってしまう。

(a), (b) にさらに拍車をかけているのが (c) である。図1は、地球の人口の年々の変化を示したものであるが、現在ほぼ1年当たり1億人という途方もない割合で人口増加が起っていることがわかる。人口の増加は、当然のことながら必要な食糧とエネルギーの供給量の不足に直結し、さらに、これまで低開発国だった国々の産業の振興と生活水準の向上に伴って、エネルギー需要が加速的に伸長することを意味している。最近、中国が石油輸出国から輸入国に転じたというニュースはその一つの前兆といえよう。

このような状況に対応するためには、現存の一次エネルギー資源以外の新しいエネルギー源を開発することは必須の対策であろう。20数年前のオイルショックの頃から新エネルギーの開発研究が国の内外で活発に続けられてきている。しかし、結論から先に言えば、それらの新エネルギーが現在の化石燃料や核燃料にとって代わる時期はまだまだ来そうにない。

今から約40年程前、ウラニウム235の核分裂を原理とする原子炉による発電の実用化の目途がようやく立った頃、逆に原子量の小さい重水素や三重水素の原子核の融合によってエネルギーを取り出すという新しいエネルギー変換法(制御熱核融合炉)の開発が注目を浴び始めた。これが実現すれば、海洋中に存在する莫大な量の重水素がエネルギー源として利用できることになり、人類は半永久的にエネルギー危機を回避できると言われた。1960年ごろの高名な科学者の予測では、核融合反応の制御が可能になるのは、25年先すなわち1990年頃であろうと考えられていた。この予測は見事にはずれ、現在の核融合研究者はかなりの楽観論者でも、核融合反応が今後の数十年で実現する可能をせいぜい10%程度としか考えていないようである¹⁾。

化石燃料に代替すべきもう一つの新エネルギーとして太陽エネルギーがある。周知のとおり、太陽から地球へは1.36 kW/m²のエネルギーが断えず降り注いでおり、そのうち約45%が地表に到達している。日本全体が1年間に受ける太陽エネルギーの量は、約5×10¹⁴ kWhと推定されており、これはわが国の総発電量の数百倍に相当する。しかし、あいにくなことに、太陽エネルギーはきわめて密度の薄いエネルギー源であり、大量のエネルギーを集めるには広い集光面積を必要とする。現在、太陽電池の一般住宅等での利用を主体とする普及活動が大掛りに進められているが、個々の容量が小さいため、これによる一次エネルギー源の代替効果は当分の間は微々たるものに留まると考えざるを得ないであろう。この他に、地熱・水力・風力・波力・潮汐力・海洋温度差発電などの自然エネルギー源の利用についても開発が続けられているが、立地の問題やエネルギー源としての希薄さなどを考えると、これらの総計が日本の全エネルギー消費の数パーセント以上を賄うことは、当分の間ありそうにないことと考えられる。

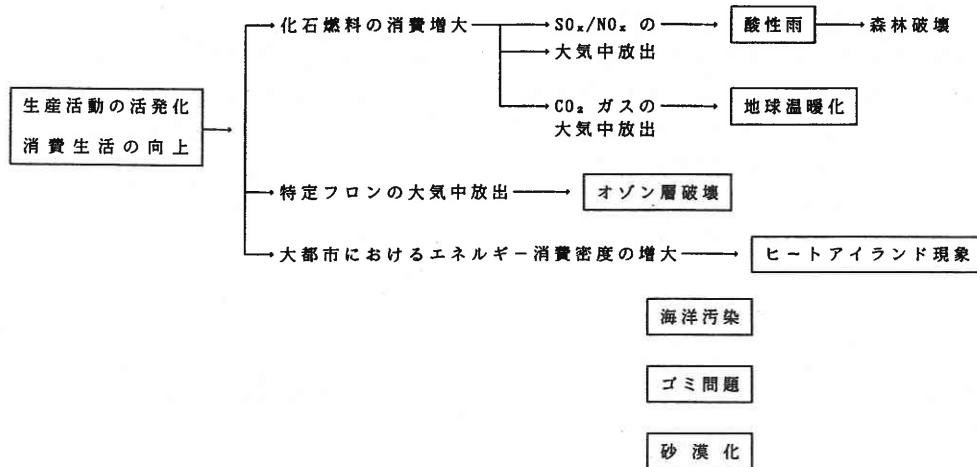


図2 エネルギー消費と環境問題

結局、エネルギー消費の増大によるエネルギー資源の枯渇を新エネルギーによって代替することは、少なくとも来世紀の半ば過ぎまでは望むべくもないということになる。このような悲観的状况にさらに追い討ちをかけているのが(e)の環境問題である。

環境問題自体は何も今に始まったことではなく、人間の集団の密度とサイズの増大とともに顕在化してきたものと言ってもいいであろう。しかし、従来の環境問題が、比較的局地的な空気や水の汚濁の問題であったのに対し、現在問題となっているのは地球全体にまたがるもの、あるいは広い地域に及ぶものであるという点で従来とは性質を異にしている。

図2は、人間の生活あるいは生産活動と環境問題とがどのように結びついているかを簡略化して示したものである。二酸化炭素による地球温暖化にせよ、特定フロンの大気中放出によるオゾン層破壊にせよ、その原因はエネルギー消費にあり、エネルギー消費を促すものは人間の活動の増大、すなわち「持続的成長」であることが問題である。もっと狭い範囲では、都市の温暖化あるいは「ヒートアイランド現象」と呼ばれる環境問題がある。表2²⁾は、日本の5つ

の大都市における年平均気温、12月の平均気温、年平均湿度の変化を示したものである。気温の変化は東京でとくに著しく、年平均気温の変化が0.07℃に達しており、この数値は地球温暖化によって起こると予測されている数値を超えている。ヒートアイランド現象の成因が、都市部における単位面積当たりのエネルギー消費の過大にあることは明白であり、早急に対策を講じなければ、例えば東京の都心部などはやがて生身の人間が暮らせる場所ではなくなってしまうであろう。

3. 近未来のエネルギー・環境対策

人間の能力には限りがあり、50年先や100年先のことを正しく予測することはほとんど不可能である。15年ないし30年後(すなわち、2010年~2025年)をターゲットとして、われわれが今実行しうるエネルギー・環境対策について考えてみると、選択肢は限られている。その主なものを箇条書きにすれば次の通りである。

- (A) 一次エネルギー消費の抑制
- (B) 地球温暖化原因物質・オゾン層破壊物質の大気中放出の抑制

表2 日本の大都市における気温・湿度の変化

都 市	年平均気温の変化 °C/年	年平均湿度の変化 %/年	12月の平均気温の上昇率 (1946~1988) °C/世紀
東 京	0.069	-0.386	5.61
大 阪	0.053	-0.238	2.52
名 古 屋	0.040	-0.316	1.29
京 都	0.040	-0.182	1.06
仙 台	0.044	-0.202	2.99

(C) われわれの生活意識や社会システムの改革など

日本の場合、現在使われている一次エネルギーの約85%が化石燃料、約10%が核燃料、残りの5%が水力および地熱である。したがって、(A)の一次エネルギー消費の抑制とは、とりも直さず化石燃料使用量の削減ということであり、これはCO₂発生量の抑制にも直接結びつく。しかし、化石燃料の使用を抑制した代替を何に求めるかが大きな問題である。すでに述べたように、究極の未来エネルギーと言われている核融合の実現は早急には望めず、太陽エネルギーの大規模利用にも、技術的・経済的に高い障壁がある。核分裂反応による現在の原子力への依存度を高めるのは確かに有効な方策に見えるが、立地上の困難、安全性に関する社会的合意の獲得などの問題が容易に解決できるとは考えにくく、現時点で明確な展望をもつことは難しそうである。プルトニウムの積極的利用には、さらに大きな社会的障壁があるであろう。

こうしてみると、結局のところわれわれが今とりうる途は、陳腐な手段のように見えるが、当分の間既存エネルギーを有効に使っていくということしかなさそうである。既存のエネルギーの有効利用とは、一つには高温化、複合化などによるエネルギー変換効率の向上、負荷平準化などによる利用効率の改善であり、もう一つには後に述べるような熱エネルギーの積極的利用である。なお、このような技術的対応策ばかりでなく、将来のエネルギー・環境問題の解決には、上の(C)に挙げたように、われわれの生活意識を変え、また社会システムを省エネルギー・環境保全型のものに徐々に改革していく努力が極めて重要であると筆者は考えている。しかし、これについては本稿ではこれ以上触れないことにする。

4. 熱エネルギー利用の可能性

上に述べた既存エネルギーの有効利用の中でも重要なのが熱エネルギーの積極的利用である。熱エネルギーの積極的利用が、エネルギー・環境問題の解決の一助となりうることの最大の論拠は、「熱」の賦存量が極めて大きいということである。考えてみればこれは理の当然でもあって、エネルギーの保存則（あるいは熱力学第一法則）と、すべてのエネルギーは最後には熱に変わるという二つの真理からの論理的帰結に過ぎない。エネルギー統計などを見ると、日本で消費される全一次エネルギーの約40%が有効に利用され、残りの60%は熱として環境に捨てられていると書かれている。この60%のいわゆる廃熱は当然ここで言う熱エネルギーの積極的利用の対象となるべきものであるが、実は有効に利用された40%もそのほとんどが最後は熱になってしまうのである。自動車を例にとると、自動車を動かしているガソリン（あるいは軽油）の保有している化学エネルギーのうち10%~25%が車を動かすのに有効に使われて

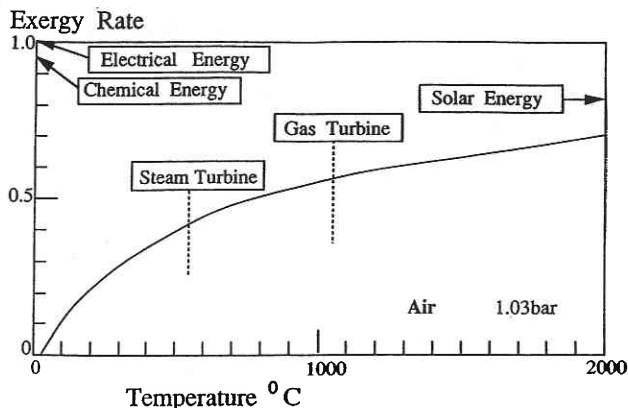


図3 空気のエクセルギー率

いるであろう。しかし、ここでいったん有効に使われた10~25%のエネルギーも、自動車が停止するときにはブレーキに吸収され摩擦熱となり、結局は大気中に放出される。このようなプロセスはほとんどすべての機械や装置で起こっている。そうしてみると、消費される一次エネルギー源のうち石油製品のような「物」として世界に留まる分を除いた全エネルギーが最終的には「熱」としてわれわれの周囲に漂っているということになる。このことは、一昨行われた資源エネルギー庁による未利用エネルギーの賦存量調査の結果からもある程度裏付けられる。すなわち、この調査によれば、わが国の未利用エネルギー（排熱および海水・河川水などが保有する熱）の総量は、一次エネルギー消費量の1.24倍に相当する。賦存量のほうが一次エネルギー量より多いというこの結果に疑問を抱かれる向きもあると思うが、この賦存量の中には各種の廃棄物を燃やしたときに得られる熱や、膨大な量の海水が保有する熱も含まれていることを考えると納得できるのではないかと思う。

このように述べてくると、将来のエネルギー問題はすぐにでも解決されそうな錯覚に陥るかも知れないが実際は全くそうではない。「熱」でありさえすればすぐにどのようなものでも利用できるというわけではないからである。この辺の理屈を明確にしているのが熱力学第二法則であり、言い換えれば熱の「質」を表すエクセルギー（あるいは有効エネルギー）という概念である³⁾。熱力学の第二法則によれば、ある量の熱エネルギーがあってもこれを100%の効率で仕事あるいは熱以外の他の形態のエネルギーに変えることは不可能である。今あるエネルギー源があったとき、それからとり出さる仕事の量によってそのエネルギー源の質の高低を測り、これをエクセルギー（有効エネルギー）と呼んでいる。熱エネルギーの利用において、われわれが必要とする情報としては、エネルギーの賦存量と同時にエクセルギーの賦存量も重要だということになる。エネルギーもエクセルギーも同じ単位（Jあるいはkcal）で

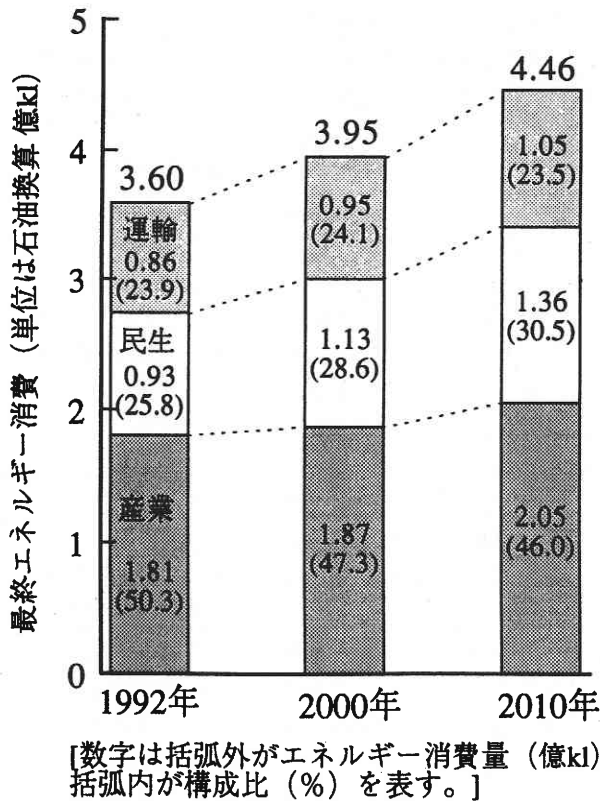


図4 エネルギー需給見通し

測られるので紛らわしいが、両者の区別はきわめて重要である。また、エクセルギーの概念を理解すれば、熱の段階的 (カスケード的) 利用の合理性が納得できることにもなる。

図3⁴⁾は、空気熱源が保有するエクセルギーが熱源温度によってどのように変化するかを示し、また他の各種のエネルギーの保有するエクセルギーと比較したものである。電気および力学的エネルギーは、最も質の高いエネルギーであり (つまり電気も力学的エネルギーも100%仕事に変換できる)、これに対して石油や天然ガスなどのエクセルギーの質は約95%、太陽エネルギーは約82%であることがわかる。一方、空気熱源のエクセルギーは、2000℃では70%とかなり高いが、温度が低くなると急速に下がり200℃以下では極端に低くなる。したがって、このような低温熱源の利用に当たってはかなりの苦心が要ることになる。

しかし逆にエネルギーの需要の方から見れば、低温の熱エネルギーが十分に役立つと考えられる分野がある。

図4は一昨年7月に発表された、エネルギー需給部会による将来のエネルギー消費量の見通しを柱状グラフにしたものである。このグラフでは、2000年および2010年時点での産業・民生・運輸の3部門のエネルギー消費予測値を1992年の実際の消費量データと比較して示している。図か

表3 未利用エネルギー源の種類・温度域・熱量など

	エネルギー源の種類	形態	温度域 [°C]	得られるエネルギー量
生活環境に近接したものの	住宅	温水	5 ~ 20	少
	大型店舗	空気	5 ~ 40	少
	浴場	温水	5 ~ 35	少
	温水プール	温水	10 ~ 25	少
	スケート場	空気	15 ~ 35	少
	地下街	空気	5 ~ 30	少
特殊施設	冷凍倉庫	空気	15 ~ 35	少 ~ 中
	大型計算機センター	空気	10 ~ 35	少 ~ 中
公的な施設	地下鉄	空気	10 ~ 30	中
	変電所	温水	10 ~ 25	中
	地中送電線	温水	10 ~ 20	少
	下水処理場	温水	15 ~ 25	多
	ごみ焼却場	温水 水蒸気	15 ~ 30 110 ~ 150	多
	火力発電所	温水 水蒸気	10 ~ 150 110 ~ 150	多
企業	工場	温水 水蒸気	10 ~ 150 110 ~ 150	多
自然	海水・河川水	温水	5 ~ 20	多

らわかるように、3部門の中では産業部門のエネルギー消費が最も多く、残りを民生と運輸部門で分けあっている。しかし、重要なことは、産業部門の消費が今後減少していくのに対し、民生部門のエネルギー需要が目立って伸びていくと予測されていることである。産業部門の消費の減少は、主として素材産業の停滞と各プロセスでの省エネルギー努力による。一方、民生部門の需要の伸びは、一般住宅やオフィスビルなどでの快適性の追求と情報機器等の使用の伸びにより空調システムの利用が増加することによるものである。将来の都市部におけるエネルギー問題に関しては、このような民生需要への対応が重要であるが、民生用の場合、需要の大部分を占めるのが冷暖房・給湯などのための低質エネルギーであることを考えると、われわれの周囲に豊富に存在する熱エネルギーを有効に利用する対象としてこれ以上好適なものはないと言える。

民生用エネルギー需要が集中している都市部の場合、比較的近い距離で得られる熱エネルギー源 (未利用エネルギー源) を表3に示してある。この表にはエネルギー源の種類とその温度域、賦存量の大小などが示されている。表3によれば、都市に近接した場所で得られる熱源としては、ごみ焼却熱・下水道・海水・河川水などが主要なものであることがわかる。

5. 熱利用における技術的課題

通商産業省資源エネルギー庁が主導し、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)とヒートポンプ技術開発センターが推進役となって平成3年度から開始された、「未利用エネルギー活用負荷平準化技術開発プロジェクト」に代表されるような熱エネルギー利用プロジェクトが現在多方面で進められつつある。これらのプロジェクトでは、海水・河川水・下水道・ごみ焼却熱・地下鉄排熱などを熱源として、地域冷暖房や大型建物の空調を行っている。このようにいわゆる未利用エネルギーあるいは都市排熱を民生用に利用する傾向がしだいに広がりつつあることは、大変歓迎すべきことではあるが、このような状況が実現するに至る経緯を顧みれば途中何の問題もなかったわけではない。

例えば最近、海水や河川水を熱源とする地域冷暖房の計画が国内数か所で実施あるいは企画されているが、このようなプロジェクトの実現に努力してこられた方々からその経験を伺うと、技術的問題もさることながら、大小様々の法的規制によって折角の企画が何度も頓挫しかかったり、大幅に遅延したりしたという事実が明らかになることが多い。これは、海水や河川水をエネルギー源として利用するという考えのまったくなかった時代に作られた規制や慣例が、現在の社会情勢に合致しなくなったのが原因であり、早急な対応が望まれる。このような法規的あるいは社会的な問題に加えて、低温度熱エネルギーの利用においては経済的な問題も重要である。しかし、本稿ではこれらの問題は棚上げして、熱技術的課題についてのみ簡単に触れることにしたい。

低温度の熱源の利用において重要な技術的課題としては次の四つが挙げられる。

- (1) 熱エネルギーの高効率回収技術
- (2) 熱エネルギーの低損失・長距離輸送技術
- (3) 熱エネルギーの低損失(長期)貯蔵技術
- (4) 熱エネルギーの高効率変換・利用技術

これらの課題のうち(1)においては、とくに小温度差熱交換技術が重要である。熱源が低温である場合には、なるべく小さい温度差で熱回収を行わないとシステムの効率が大幅に低下することになるからである。小温度差熱交換に必要な要素技術は伝熱促進であり、これによって熱回収の際のエクセルギー損失を低減することができるばかりでなく、熱交換装置を小型・軽量化することもできるから、ひいては材料の節減、コスト削減、空間占有率の減少などの利得を実現することも可能となる。

熱回収技術でもう一つ重要なものにファウリング(伝熱面の汚損)対策がある。低温度熱源には海水・河川水・下水道などのように取水中に多量の夾雑物を含むものがある。

このような熱源水が熱交換器中を流れると容易に伝熱面を汚損し、熱通過率を大きく低下させることになる。伝熱促進のための高性能伝熱管の場合には、このようなファウリングによる性能低下はとくに著しい。したがってファウリング防止のための熱源水の事前処理、伝熱面のクリーニングなどの手段を十分に講じることが必要であるが、同時にファウリングの発生メカニズムや検知法などについての基礎研究を行い、十分な知見を得ておくことも重要である。

(2)の熱エネルギーの長距離輸送は、エネルギー需給の地域的不均衡の緩和のために重要な技術である。都市部における民生用エネルギーをまかなうための熱源は、できるだけ消費地に近接した場所にあることが望ましいが、実際にはある程度離れていることが多い。現在の熱輸送技術では、たとえ蒸気や氷を使って潜熱を輸送する場合でも、輸送距離は最長数kmにとどまるであろう。もし10kmないし数十kmの熱輸送が技術的にも経済的にも実現できれば、工業地帯で排出されるやや高温の熱を都市部まで搬送することも可能になるから、熱利用の効率は一段と上昇することになる。しかし、このような長距離熱輸送を実現する上での技術的障壁はかなり高く、顕熱・潜熱輸送よりもさらに高密度のエネルギー輸送技術(例えば化学反応利用など)、配管の超断熱技術、管路の流動抵抗の大幅低減技術などといったような未踏技術にチャレンジしなければならない。

熱に限らずエネルギー利用全般について言えることであるが、エネルギー消費においては時間的不均衡が大きな問題となる。電力使用量の昼夜の格差はそのよい例である。このような格差を何らかの方法で緩和することは、エネルギー問題の解決策の一つになりうる。そのためには、エネルギーの余剰時にそれを貯え、必要時に放出するという技術を完成させなければならない。すでに、夜間電力による蓄熱・蓄冷(氷蓄熱を含む)によって昼間消費電力のピーク値を下げるという方策が普及しつつあるが、もっと多様な温度レベル、もっと長期間(たとえば季節蓄熱など)へと技術を発展させていくことが必要ではないかと思う。

(4)の熱エネルギーの高効率変換・利用技術において最近目覚ましい進歩を遂げたのはヒートポンプ技術である。ヒートポンプは一種の温度レベル変換装置であり、これによって低温度熱源から得られた熱を必要な温度まで高めて使用することができる。周知のように、通商産業省工業技術院のムーンライト計画の中で実施された「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム」プロジェクトでは、従来の技術レベルを大きく上廻る成績係数(COP)や高温度出力のヒートポンプシステムが開発されており、これらの技術的成果が実用化される日も近いものと期待される。

6. おわりに

本稿では、近未来のエネルギー・環境問題に対する現実的な対応策として、低温熱エネルギーの有効利用が重要であることを述べてきた。繰り返しになるが、低温熱源はきわめて低質なエネルギー源であり、それから動力をとり出したり、それを発電に使おうとすることは、不可能ではないにせよ相当な無理がある。需要が集中している都市部などで、冷暖房・給湯などに利用するのがもっとも賢い使い方といえるであろう。

前章では、このような熱利用技術において解決すべき四つの課題を示した。これらは、すでに何年にもわたって取り上げられ追究されてきたテーマでもあるが、将来のエネルギー・環境問題の解決のためには、もう一度初心に立返ってこれらの技術に関する過去の研究開発の経緯を再点検し、何とか画期的なブレークスルーを達成する必要がある。工業技術院ニューサンシャイン計画室の立案によって平成5年度からスタートした「広域エネルギーネットワークシステム(エコ・エネルギー都市)」プロジェクトは、このような技術的ブレークスルーを目指すものとして、きわめて注目すべきものである。

すでに述べたように、21世紀の初頭までを視野に入れたエネルギー・環境問題への緊急の対応策を求められた場合、熱エネルギーの有効活用は最も現実的かつ即時的効果の期待できる方策の一つであり、われわれは多くの困難な課題の存在を承知の上で、それらの解決に向かって着実に前進していかなければならないであろう。

最後に、近未来のエネルギー・環境問題に関する本稿での筆者の論旨をまとめて箇条書きにすれば以下のような

(1) 21世紀後半以降のわれわれの生活を支えるべき主要エネルギー源が何になるかについて、現在明確な見通しは立っていない。

(2) 21世紀半ばまでの近未来については、化石燃料・核燃料を主体としつつ、これらの消費を極力抑制するエネルギー技術が必要である。

(3) 現段階で化石燃料・核燃料の使用の抑制に有効な手段と考えられるものは、機器の性能向上、再生可能エネルギー及び未利用熱エネルギーの活用、エネルギーのカスケード的利用などである。また、このような技術面での改善と並行して、経済活動および消費者の意識の面で低エネルギー消費社会への転換が必要である。しかし、残念ながらいずれもエネルギー・環境問題の抜本的解決には結びつかない。

(4) 未利用熱エネルギーの有効活用においては、熱工学・熱技術のさらなる進展を図ると同時に、都市などにおけるエネルギー・資源の循環利用システムの総合的検討が必要である。

(1996年3月22日講演, 1997年1月28日受理)

7. 引用文献

- 1) 田島輝彦：究極のエネルギー源としての核融合、「エネルギーの未来」：第4回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編、クバプロ(1990)、136。
- 2) 斉藤武雄：地球と都市の温暖化—人類は地球の危機を救えるか?—森北出版、(1992)、49。
- 3) JIS Z9204, 日本規格協会。
- 4) 土方邦夫, 熱を制す—地球環境と資源の保全に向けて—, (文献(2)に同じ), 86。