

わが国のエネルギー問題と研究開発

展 望

吉 田 邦 夫*

Energy Issues of Japan and R & D

Kunio YOSHIDA

1. は じ め に

石油需給関係に逼迫感が薄れるにともない話題にのぼることが少なくなっていたエネルギー問題が、再び騒がしくなっている。イラクのクウェート侵攻によって、中東に大きく依存する石油供給の不安定さを再確認させられたためと、エネルギーの大量使用が引き起こす環境汚染が一国の問題に留まらず、地球規模の問題となるまでに深刻化してきたためである。いわば短・中期的問題と長期的問題が一挙に噴出したとも言えるわけで、大変に難しい状況下ではあるが考えるところを述べることにしたい。

2. エネルギー需給見通しと問題点

去る6月に通産省より久しぶりに、エネルギー需給見通しが発表された。わが国のエネルギーの現状と将来を考える上で大いに参考となる（表1）。ここには、実績として1988年のみが表示されているが、89年は4.99億klであり、エネルギー別内訳は、石油57.9、石炭17.3、天然ガス10.0、原子力8.9%となっている。

全エネルギーに占める石油割合は、1986年に56.9、87年56.9、88年57.3、89年に57.9と、オイルショック後一時期見られた石油需要の落込みは消えて毎年増加しており、2010年に46.0%まで下げることは容易なことではない。エネルギー消費全体も、1986年には対前年比でわずか0.4%増に過ぎなかったものが、87年4.8%、88年には5.7%、89年には3.4%と高い値となっている。対GNP弾性値は、1988年に1.04と1を上回ったのに対して0.72と低下したとはいえ、高水準を維持している。

エネルギー消費を部門別にみると、89年で産業部門が52.8、民生部門24.2、運輸部門22.9%であり、暖冬もあって産業、民生両部門の伸びは低かったが、景気拡大による活発な物流により運輸部門が大きく伸びている。

話題のCO₂排出量は、1989年で約3億4000万t（炭素換算）にも達するが、一次エネルギー消費単位量あたりでみると、石炭に換わって天然ガス割合が若干増えることで、88年の0.672が0.671に低下したとされている。

表 1 長期エネルギー需給見通し

(1990.6.6発表)

年 度 項 目	1988年度（実績）		2000年度		2010年度	
省エネルギー目標			6.0%		11.2%	
エネルギー別 区分	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)	実 数	構成比 (%)
新エネルギー等	620万kl	1.3	1740万kl	2.9	3460万kl	5.2
水	860億kWh (2030万kW)	4.6	910億kWh (2270万kW)	3.7	1050億kWh (2620万kW)	3.7
地 熱	40万kl	0.1	180万kl	0.3	600万kl	0.9
原 子 力	1790億kWh (2890万kW)	9.0	3300億kWh (5050万kW)	13.2	4740億kWh (7250万kW)	16.7
天 然 ガ ス	4610万kl	9.6	6500万kl	10.9	8000万kl	12.0
石 炭	11460万t	18.1	14200万t	17.4	14200万t	15.5
石 油	2.76億kl (1740万t)	57.3	3.08億kl (2200万t)	51.6	3.06億kl (2300万t)	46.0
(うちLPG)						
合 計	4.82億kl	100.0	5.97億kl	100.0	6.66億kl	100.0

平成2年12月19日受付 (Received Dec. 19, 1990) (依頼展望)

* 東京大学工学部教授 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo 113)

Key words : energy issues ; R & D of energy ; global environment ; greenhouse effect ; countermeasures ; energy saving ; hydrogen energy.

表1で注目すべきは、このような実績よりも、2000年および2010年のエネルギー内訳にみる原子力と新エネルギーの異常な伸びである。わが国の発電用原子炉としては1965年に臨界に達したコールドーホール改良炉が最初であり、以来約40基の軽水炉が建設されている。この25年間の実績に相当するものを今後10年ごとに増やしていこうとするもので、反原子力運動の高まりを考えると、ほとんど不可能な数値といってよい。新エネルギーも全体に占める割合こそ低いものの、やはり倍々の増加を考えており、相当に実現が難しい数値である。なぜ、このような数値となるのであろうか。理由は、ひとえに炭酸ガスを中心とする地球環境問題への配慮にある。先進国の一員として、エネルギー需要の伸びを石炭や石油に求めることが許されないため、炭酸ガスを排出することのない原子力と太陽エネルギーを主とする新エネルギーに需要の伸びを押しつけた結果が、このような非現実的とも批判されるような見通しとなっている。

さらに深刻なのは、2010年にいたるまでのエネルギー需要の伸び率を1.6%にしか想定していないことである。前述したように、この数年間の伸び率は3%を大きく超えている。一方、これから先の経済成長率も予測機関によって若干の違いはあるもののすべて3%を上回っている。すなわちエネルギー弾性値を0.5に留めないかぎり、エネルギー需給が、この数値でバランスがとれることがないことを知らねばならない。もし、いままでのように経済成長率3%の下で、エネルギー弾性率も1に近い値であるとすれば、原子力や太陽エネルギーへの依存度をいっそう上げないかぎり、炭酸ガス排出量制限下でのエネルギー増大はあり得ないとも言えることを認識した上で、今後の研究開発の有りようを考えていかなければならない。

3. 規模の経済の限界と分散型エネルギー源

つぎにエネルギーシステム構成上の問題に移ろう。近年、ガスタービンやガスエンジンを用いる小型の電源、そして熱を併給するコージェネレーションが大きく普及したことが目立っている。わが国では、従来から産業用に自家発電所が普及しているが、近年は民生用のコージェネレーションの設置の伸びが図1に示すように著しい。

アメリカでは略称PURPAといわれる電力などユーティリティに関する規制法案により、小型エネルギー源の開発が促進された。しかし、それ以上にスケールメリットを追及して大型化してきた電力設備が、送配電をはじめとする諸設備も巨大化してコスト高をひき起こすことと、実質稼働率の低下により、やはり必ずしも経済的でないことが目立ってきたことが大きな原因となっている。

そして、これと相呼応してガスタービン、ガスエンジ

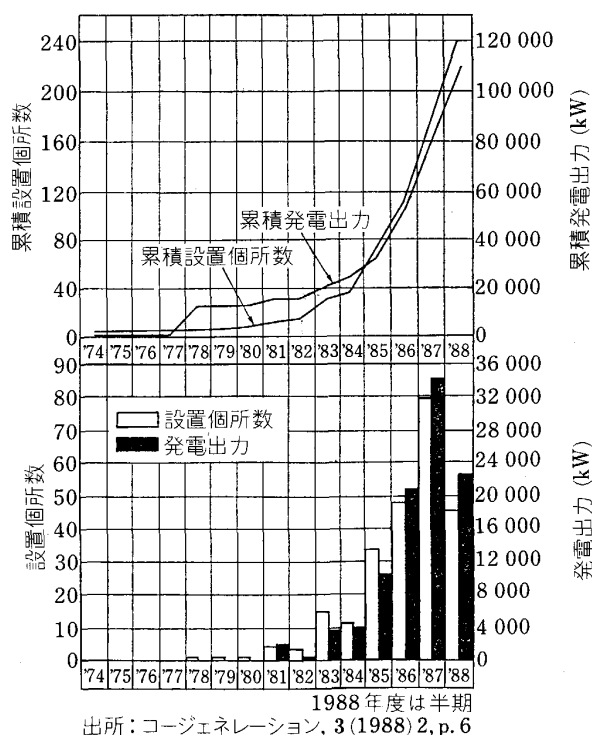


図1 民生用コージェネレーション施設の年度別推移

ンを利用したコージェネレーション技術が急速に進歩してきたことが急激な普及をもたらした理由といえよう。

1990年は好景氣に加えて猛暑が続いたため、冷房による電力需要が急増し、東京電力では8月23日に4930万kWという記録的な出力となり、予備率が5%を割るところまでいったという。このような年間および一日を通じての負荷変動の揺れ幅は図2と3に示すようにますます増大して、本来ベースロードであるべき原子力発電でも負荷調整実験が行われるにいたったことは周知のとおりである。

1980年に通産省の援助を得て、都市ガスエネルギー源とするガスエンジンヒートポンプの開発組合が組織され、1987年に2, 5, 7.5馬力の機器が商品化に成功した。以来、生活向上にともなう冷暖房の普及、人手不足の中で職場環境改善の必要度の増大という追い風に恵まれて

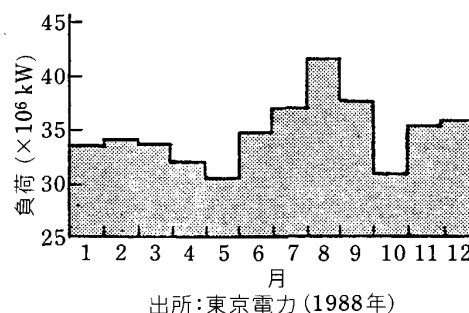


図2 年間の需要変動

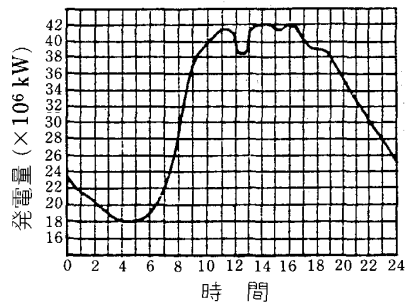


図 3 1日の負荷変動

累計 5 万基以上売れたといわれている。

職場の OA 化, 社会の高齢化の進展といった要因は, 今後ますます昼間の電力需要と冷房率の増大をもたらすものであり, わが国全体のエネルギー源のバランスを考えると, ガス・LPG・油によるコージェネレーションやヒートポンプの果たす重要性は高まることとなろう。しかし, 一方, エンジンやタービンから排出される騒音や窒素酸化物をどのようにして制御するかは大きな問題であり, 焼燃技術と触媒の進歩が求められている。また新しい高効率分散電源としての燃料電池に対する期待も大きくなる一方であり, 千葉県五井の 11 MW りん酸型

燃料電池発電所の成果が注目される。

ガスヒートポンプ, 吸収式冷凍器, ガスエンジンや燃料電池によるコージェネレーションは, いずれも単なる発電設備ではなく, 排熱回収やエンジン部の冷却によって温水や蒸気を得ることができるものである。したがって熱効率を最大にするには, 熱(暖房・冷房)と電力をともに使い切ることが必要であり, 両者の需要形態に応じた適正なサイズと結合システムが求められている。図 4 に, 最も小型分散システムであるガスヒートポンプ(GHP)を核とする最適組合せを例示したが, 今後, このような考え方が, ビルや住宅の設計段階から取り込まれていくことが必要となろう。

4. 省エネルギー技術

先進諸国では生活が豊かになり, 個々人の要求が多様化してエネルギーの利用形態もますます高度で複雑になるようとしている。従来のエネルギー技術開発がもっぱら量の問題のみを論じて, それを満たすための供給技術に偏してきたのに対して質的側面をも考慮することが必要となっている。電力会社が一方的に電力を消費者に供給するのではなく, 消費者が小型電源において熱と電力の供給システムを運転するようになったコージェネレーションは, このような変化の象徴ともいえるもので, 今

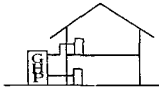
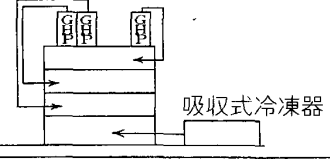
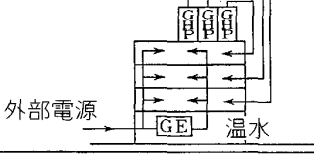
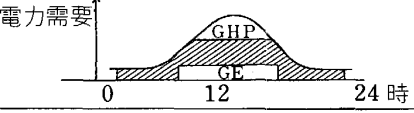
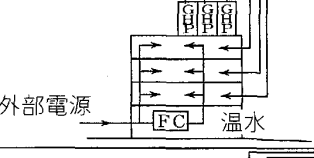
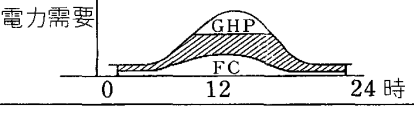
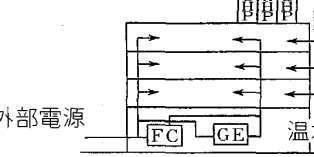
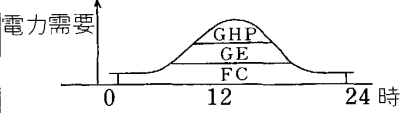
	システム	応用例	註 記
ガスヒートポンプ (GHP)	単一  分岐 	住宅 店舗	小型システム
吸収式		事務所ビル	吸収式は共通スペース, GHPは個別スペース
ガスエンジン (GE)		ホテル 病院 レジャー施設	
燃料電池 (FC)		大型事務所ビル	
GE+FC		大型事務所ビル	GE は日中のピーク用 FC はベースロード用 

図 4 ガスヒートポンプ (GHP) を核とするエネルギーシステム

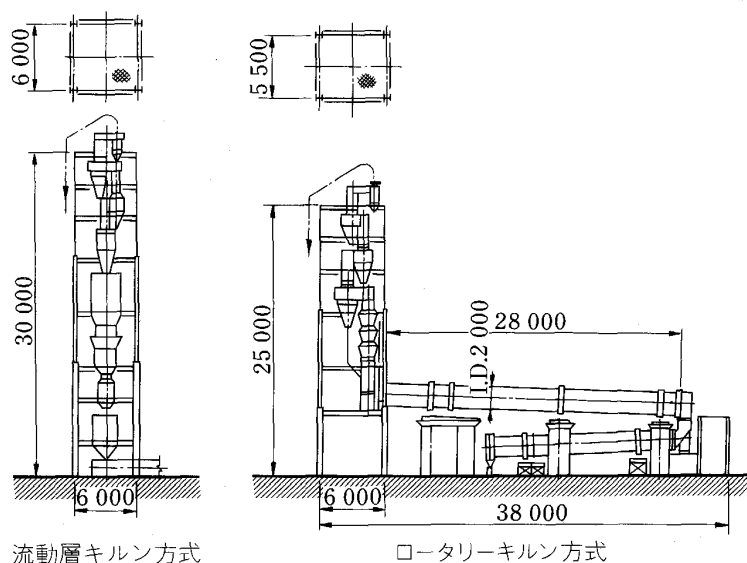


図 5 両方式の規模比較 (100 t/日)

後は消費者の立場に立って、安全で使いやすいエネルギー利用技術を考える視点を加えることが大切である。このような需要側の視点も加えた主要な開発課題は文献 1) にまとめているので参照していただきたい。

ここでは、短期的にも重要な省エネルギー技術について述べよう。石油危機に直面した際のわが国の対応は極めて素早いものであった。エネルギー多消費の重厚長大型の産業構造から、軽薄短小型へと構造転換がなされ、また今まではほとんど未利用のまま捨てられていた熱や動力の回収が積極的に実施された。その結果として達成された省エネルギー率は先進諸国中でも高く、省エネの優等生との評価も得た。

しかし、もはや省エネはやり尽し、回収できる熱や動力も利用しつくしたとの声も高い。また多くの産業が後進国の追上げにあって、新たな設備投資意欲に欠けるところも問題である。古い設備を騙し騙し使い続けて、優れた工程管理によるコストダウンで乗り切ろうとする気運も強い。そうは言っても省エネルギー技術は、単にエネルギー利用効率を向上させるばかりでなく、環境に対する負荷を軽減させることを考えると、まだまだ頑張らねばならない分野である。

セメントにおいて、流動層を用いた小型で高効率の焼成技術が通産省の支援の下に開発中である。20 t/日のパイロットプラントが住友セメントの葛生工場で同社と石炭技研、川崎重工の共同で運転中である。図 5 に示すように、ロータリーキルン方式に比較して極めて小型となり用地面積が小さくなるばかりでなく、低品位炭が使用でき、また燃料消費率が半分近くまで低減できるといわれている。窒素酸化物や亜硫酸ガスの発生量も大幅に減少することはいうまでもない。このようにエネルギー多消費の代表的業種においても、新プロセスの開発による省エネルギーの余地はまだ大きいものがあることを強調

調したい。

化学産業の特徴は、ポリプロピレンの気相重合技術の開発に見られるように、触媒の開発で製造プロセスが単なる改善から全く新規なものへと飛躍する可能性があるところにある。この意味で、超微粒子触媒やゼオライト系触媒などの進歩に期待したい。

省エネルギー技術の根幹となるものは熱回収である。その中で最も利用が困難であるためほとんど捨てられたままになっているのが 200°C 以下の低温熱エネルギーである。大気との温度差が小さいため熱回収率も低く、利用分野も限定されるので、再度、高温度レベルに汲み上げることが望ましくヒートポンプ技術の開発が期待される。中でも、化学反応を用いるケミカルヒートポンプは、熱エネルギーを化学物質に変換して貯蔵することも可能なため、排出量変動する系でも準準化ができることから注目されるべきである。いくつかの反応サイクルが提案されているが、代表的なものを図 6、7 に示そう。詳しいことは文献 2) にゆずるが、80°C 近傍の熱エネルギーを 200°C レベルで反応熱として取り出せる。このサイクルが実現すれば、工場排熱ばかりでなく、太陽温水器の温水の高度利用など自然エネルギーの利用にも

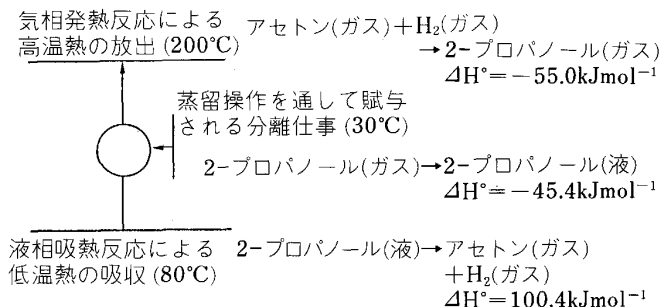


図 6 ケミカルヒートポンプ原理図

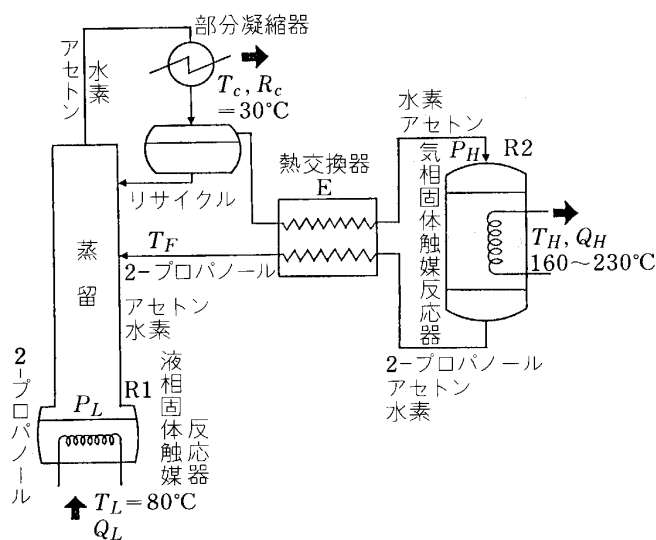


図7 アセトン-水素-2-プロパノール系ケミカルヒートポンプの流れ図²⁾

新しい展開が可能となろう。

この分野で忘れてならないものに各種廃棄物の利用がある。わが国は、今日までアメリカやヨーロッパの豊かさを追い求めてきた。そこで理想としたものは、品物が山積みされたスーパーマーケットに象徴される豊かな消費文明であり、その結果として極端な使い捨ての生活スタイルを生み出した。東京をはじめとする大都市では埋立て地もなくなろうとし、また焼却処分しようとするればダイオキシンに代表される汚染物質が排出されると警告されている。

消費を美德とする通念から脱却し、企業においても製造するところまでという従来の責任範囲から、製品の最

終的処分までを責任範囲とする考え方に変えていくことが必要であろう。過剰包装の廃止はいうまでもないが、電池や缶、瓶などにも回収・処分に要する費用をあらかじめ上乗せしておくことを生産者・消費者の双方が認めあうことが必要であろう。その上で、処分や再利用技術の開発が行われることが大切と考える。

都市ごみ燃焼による発電技術などが見直されようとしている。灰の処分を考えれば、溶融化・固化する方向へと費用は嵩んでも処理技術は進むことになるだろう。

省エネルギーの究極は、生体の日々の営みを工業的規模で実現することにある。食糧を取り込み、ほとんど常温近傍で燃焼反応が進行し、各種の運動あるいは老廃物の分離と排出が行われている。この生体系の反応を解明し、バイオミメティックな工業技術を生み出していくことが、科学者、技術者にとって究極の目標である。

環境保護の観点からも、省エネルギー技術には特別な助成策を導入し、究極の目標まで開発が円滑になされていくことが必要であろう。

5. 石炭の利用技術

エネルギー源として石炭は、賦存量が大きいことと、地域的に偏在することなく、広く分布することから常に重要性が強調されてきた。しかし、後述の地球環境への影響の大きさから考えると、消費が拡大するのが難しい状況にある。

しかし、輸送や貯蔵が容易で、窒素酸化物などの排出量が抑制される方向で技術開発は進められている。表2に、石炭を流体化する技術として注目されている CWM (石炭・水スラリー) のわが国の主要プロジェクトを示す³⁾。今後は、中国炭の利用が、この分野で重要となる

表2 日本の CWM 技術開発主要プロジェクト³⁾

燃焼 P/J グループ	実証テスト場所	実施時期	燃焼設備メーカー (ボイラメーカー)	ボイラ容量	設備・仕様	CWM使用量	CWMの製造・供給
日本 COM/常盤共火 (東京電力)	勿来発電所 4号ボイラ	'85~'86	三菱重工	75MWe	石炭焚き設計 バーナのみ取替え	56 000t	日本 COM (常盤・勿来) 15t/h × 2
	勿来発電所 8号ボイラ	'86	三菱重工	600MWe	石炭焚き設計 バーナのみ取替え	11 000t	日本 COM (常盤・勿来) 15t/h × 2
	勿来発電所 8号ボイラ	'88.2~	三菱重工	600MWe	石炭焚き設計 バーナのみ取替え	70 000 ~1000 000t	日本 COM 小名浜 15t/h × 2 (小名浜より 10tローリー にて供給)
関西電力	姫路1号発電所	'86~'87	石川島	33MWe (150t/h)	石炭焚き設計 バーナのみ取替え	7 500t	日揮カーボゲル (IH1相生) 4t/h → 20t/h CWM灰分 8% 石炭揮発分 22.4%
クボタ/日立造船	住友金属 南海工場	'88.2 ~ '89.3	日立造船	34t/h	石炭設計 テストボイラ (スラグタップ 3段燃焼)	16 000t	クボタ (住金・和歌山) 石炭灰分 8~9% 5t/h
宇部興産/タクマ	タクマ 播磨工場	'87.4 ~ '87.8	タクマ	10t/h ↓ 4.5t/h	石炭設計 改造 (炉底の改造 なし)	150t	宇部興産・沖の山 0.3t/h 脱灰 CWM, ローリーにて 供給
日本 COM/出光興産 三菱重工/ライオン 上野運輸商会	出光興産 北海道 (製) 2号ボイラ	'90.8 ~ '90.10	三菱重工	110t/h ↓ 80t/h	石炭設計 改造 (炉底の改造 なし)	13 000t	日本 COM 小名浜 15t/h 脱灰 CWM, 石炭灰分 1.5% 2 000t タンカーにて苫小牧 へ輸送
宇部興産	宇部化学 2号ボイラ	'90.8 91年度末	(三菱重工) バーナ 自社技術	95t/h ↓ 80t/h	微粉炭・重油混 焼を CWM 専焼	60 000t	宇部 15t/h 湿式二段分砕 (ロッドミル+ボールミル)
テイカ (実用運転)	岡山工場	'92.1~ (ボイラ '91.5~ 重油焚き)	タクマ	45t/h	CWM・重油混 焼, 炉底灰 乾式抜出法	50 000t/年	中国石臼所 日揮・日商若井 G 250t/年

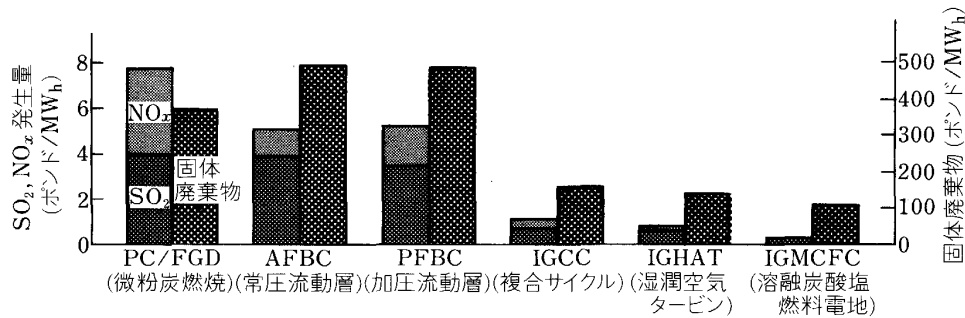


図 8 石炭利用発電技術の公害物質と固体廃棄物

う。

石炭燃焼が発電用として広く用いられている。蒸気を用いる限り、最高温度は約 600℃ となり、効率はランキンサイクルとして 40% 以下に留まる。排煙脱硫などにより効率はいっそう低下し、また公害防止設備が投資額の 40% にも達する。そこで、高効率と低公害性を求めて加圧流動層燃焼が開発されている。常圧燃焼は既に実用化されたが、加圧方式も 70 MW プラントがアメリカで実証運転され、330 MW へのスケールアップが計画されている。しかし、加圧燃焼ガス利用による効率上昇分を加えても上記のランキンサイクル 40% の限界を大きく変えるものではない。

筆者はかねがね石炭利用技術としては石炭ガス化を中心とするべきであると考えてきた。ガス化して得られた一酸化炭素と水素を主成分とする合成ガスを得ることにより、複合サイクル発電によりランキンサイクルの効率を大きく超えられること、公害物質発生の抑制が容易なこと、そして発電用と各種化学原料用と用途が広く柔軟性に富んだシステムが組めるためである。最近、総合効率面からもガス化を中心として、複合サイクル、ガスタービン排ガスの熱を回収して湿潤空気を得て、再度タービンに戻す湿潤空気タービンおよび溶融炭酸塩型燃料電池発電といった先端技術を開発すべきとの主張が、アメリカの電力中研より発表された⁴⁾。そこでは、図 8 に示すように流動層方式では、石膏など固体廃棄物の発生量が大きく、全体のコストを大幅に引き上げることが指摘されており傾聴に値する。

6. 地球環境問題

今日、地球環境問題といわれるものは大別して

- (i) 熱帯林の減少：焼畑農業、薪の採取
- (ii) 砂漠化の進行：過放牧、乾燥地の移動
- (iii) 海洋汚染：石油・石炭などの輸送、重金属
- (iv) 酸性雨：化石燃料の燃焼
- (v) オゾン層の破壊：フロンガス
- (vi) 温室効果：CO₂, CH₄, N₂O, フロンガス

の六つから成り、模式的に描けば図 9 が得られる。この結果として、オゾン層の破壊による皮膚ガンの増大、酸

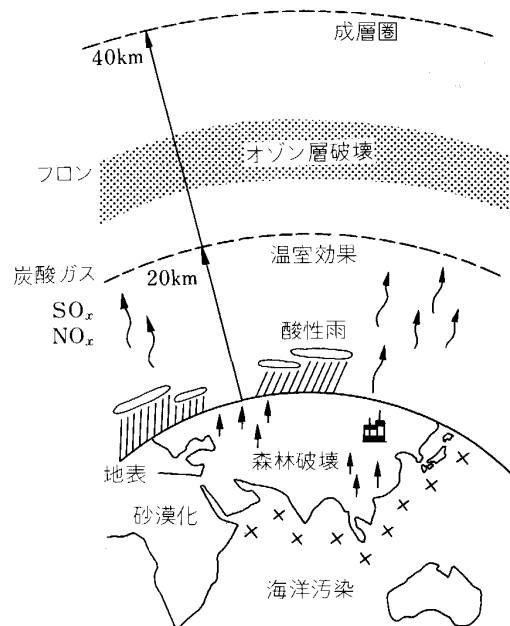


図 9 地球環境問題

性雨による森林破壊・湖沼生物の死滅、および温室効果による 1.5~4.5℃ の気温上昇と、南極の水が溶解することによる 0.2~1.4 m の海面上昇が憂慮されるというのが、その内容である。

このうちエネルギーが深くかわるものは (i)(iii)(iv)(vi) であるが、中でも (iv) と (vi) は化石燃料の大量使用によって引き起こされると考えられるため、エネルギー問題に深刻な影響を与えることとなった。

前者の酸性雨は、化石燃料に含まれる硫黄と窒素、そして空気を用いた燃焼過程から生ずる亜硫酸ガスと窒素酸化物が原因とされ、わが国では脱硫、脱硝技術として多くのプロセス開発がなされてきた。アメリカでは目下 Clean coal 技術と称するプロジェクトが進行中であるが、その内容は石灰投入や触媒還元などが主だっており、この分野に関しては、発展途上国ばかりでなく先進諸国に対しても、わが国の技術を積極的に供与していくことが必要であろう。

後者の温室効果についてはまだ因果関係が明確に把握

されているとは言い難い。地球の温度には周期的変動があり、現在は温暖化の時期に相当するとも言われ、変動をもたらす要因として太陽黒点の変化や地軸の変動があるといわれる。しかし、図 10 に示すように、産業革命を契機として増大した化石燃料消費にともない、大気中の炭酸ガスは疑いもなく増大し続け、また変動しながらも大気温度が最近 100 年間で 0.1°C 以上上昇したことも否定し難い事実である。

炭酸ガスの発生量を考える上で、重要な統計を図 11, 12, 13 に続けて示そう。各国のエネルギー状況と、ここに見られる炭酸ガス発生量の相違から、本問題に対する各国政府の対応は現実派、急進派および発展途上国の三つに分かれる。現実派の代表はアメリカであり、化石燃料資源国として、また最大炭酸ガス排出国として、温室効果の十分な科学的根拠を究明することが先決であると主張する。急進派の代表はヨーロッパ諸国であり、低地国のオランダ、原子力国のフランスやスウェーデン、

水力のノルウェー、酸性雨被害が大きく、また人口急減によるエネルギー抑制可能なドイツなどである。発展途上国は経済発展にともなう炭酸ガスなどの発生増大は当

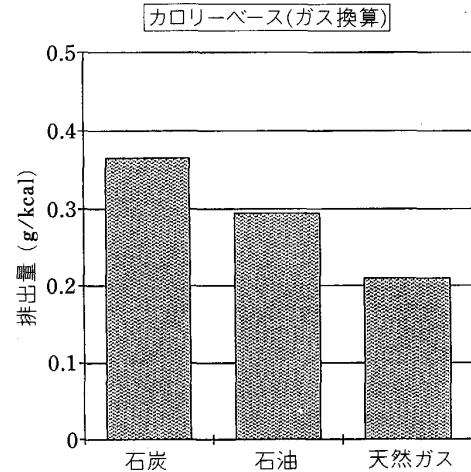


図 11 炭酸ガス発生原単位

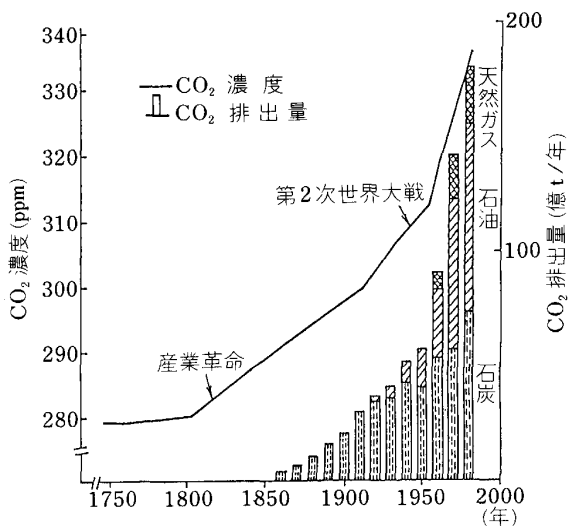
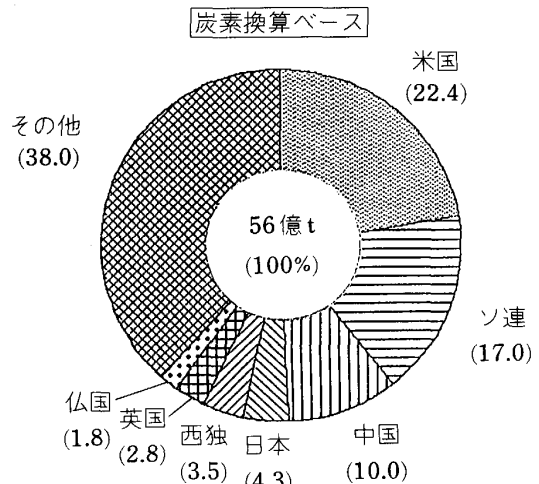
図 10 CO₂ 排出量と大気中 CO₂ 濃度変化

図 12 各国の炭酸ガス排出量 (1987 年)

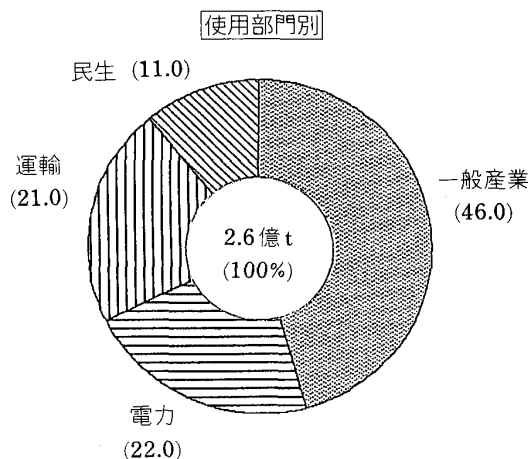
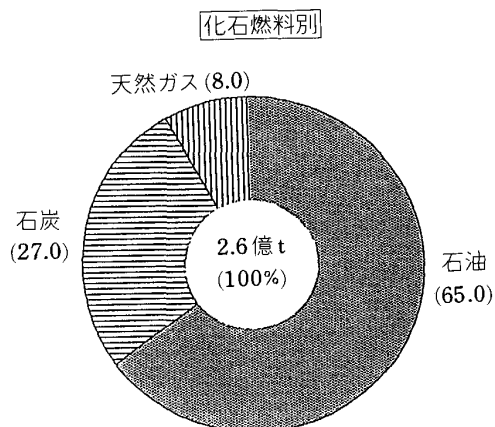


図 13 わが国の炭酸ガス排出量 (炭素換算) (1986 年)

然許されるべき権利であり、技術開発・移転に対する先進国の援助を希望している。わが国は、化石燃料の大消費国として現実派に属さざるを得ず、実現可能な措置を講ずることで、持続的経済発展と両立させようと主張している。モントリオール議定書の提出以来、これら各国の利害がぶつかり合って容易に抑制のための条約が締結できないでいるのは周知のとおりである。

しかし、手をこまねいているのみでは遅きに失する可能性もあり、炭酸ガス対策技術の研究開発も先進国においては始められている。既に数多くの解説書がブームとなって発刊され店頭に並べられており、また多くの調査報告書がまとめられている。ここでは主要な報告書三つを文献5)～7)として示すに留める。

主たる炭酸ガス対策技術をまとめて表3に示す。燃料転換や省エネルギーによる発生の抑制、分離回収、そして再利用に大別されるが、この他にも非化石エネルギーが豊富な地域へ積極的に工場を移転することや、エアロゾル噴霧による地球冷却化技術、宇宙空間太陽熱遮蔽装置の開発など気宇壮大な将来技術の提案もある。ここでは、しかし、二つの主要な技術開発の方向を記すこととしたい。なお、化石燃料が温室効果の主要な原因であるとしても、一方的な炭酸ガス濃度の増大は資源の賦存量から考えてあり得ず、現状の消費拡大が続くときには頭打ちになるとする出光グループの主張があり、考慮に値するものであることを付記しておく。

6.1 統合エネルギーシステム

茅ら⁷⁾は炭酸ガス問題の短中期的対応を考えるために、炭酸ガス発生を支配する要因として、一次エネルギー消費/国内総生産および炭酸ガス発生量/単位エネルギーの二つを取り上げ、世界各国の過去数年間の変遷を調べた。前者は省エネルギー努力の尺度であり、後者は非化

石燃料への燃料転換を示す尺度である。

省エネルギー努力の尺度については、前述したようにわが国はオイルショック直後こそ大きな成果を挙げたが、先進国の長期傾向をみるとほぼ1%前後と低い。断熱材の普及、自動車燃費の向上など省エネルギー余地があっても社会的に実現するか否かは別問題である。人々はむしろ加速性や乗り心地の良さなどを求めるのであって、税制などよほどの省エネルギー推進策を必要とすることは先に述べたところである。また発展途上国では、むしろ逆に増加するのが一般的である。

一方、後者の燃料転換についてみると、図14に示すようにスウェーデンやフランスのように水力や原子力を多く利用する国を除くと低減のテンポは遅々としている。

こうしてみると、単純な省エネルギーや燃料転換による炭酸ガスの低減は極めて難しく、新しい統合型システム構築による長期的展望に立った対応策が提案されている。そこでは化石燃料をそのまま燃焼させるかわりに、

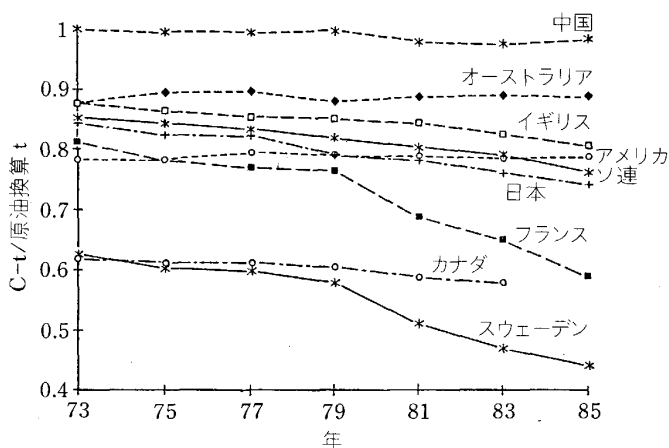


図 14 CO₂ 発生量 (C 換算)/単位エネルギーの変遷⁷⁾

表 3 主要な炭酸ガス対策技術

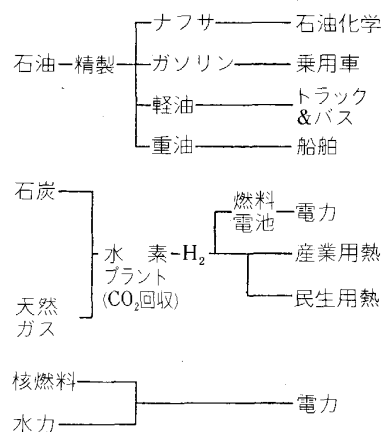
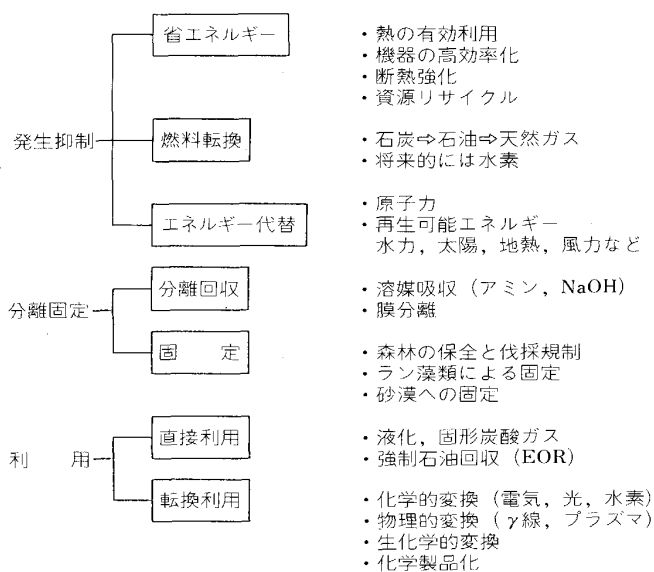


図 15 2030 年における柔構造統合エネルギーシステムの構成例⁷⁾

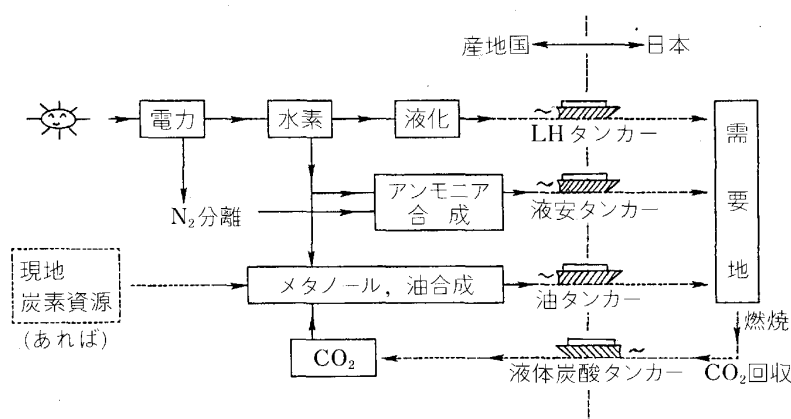
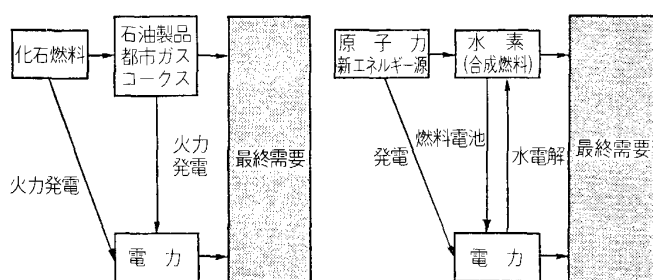


図 17 地球的能量・リンクシステムの選択肢



(a) 現在のエネルギーシステム (b) 将来のエネルギーシステム

図 16 現在および将来のエネルギーシステム

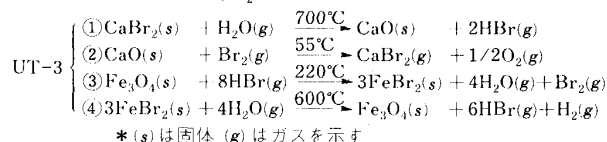
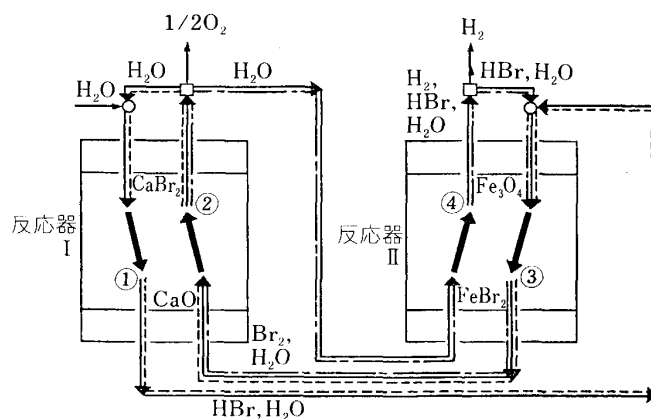
いったん CO と H_2 という共通の2次エネルギー源に変換することによって脱硝・脱硫を行い、水素中心の燃料にして炭酸ガスも低減しようとするものである。彼らの柔構造統合システムの構成例を図 15 に示す。回収した炭酸ガスは海洋投棄されることとなっている。いずれにせよ、供給面、需要面ともに同一設備で2種以上のエネルギー源の転換や燃料需要に対応できる柔軟なシステムの下で電力とメタノール、あるいは電力と水素間の相互変換を行うことの可能性が検討されることになる。

6.2 水素エネルギーシステム

水素は新エネルギー源開発計画として通産省より提出されたサンシャイン計画の中で取り上げられてから大きく注目されているものである。

元来は図 16 に示すように、いずれ枯渇するであろう化石燃料に代わって原子力などが主要なエネルギー源となったとき、都市ガスやガソリンに相当する2次エネルギーとして考えられたものであった。しかし、地球環境問題が世界的課題となるに及んで、亜硫酸ガスや窒素酸化物のみならず炭酸ガスをも排出しない最もクリーンなエネルギーとしてたいそう大きな関心と呼ぶところとなった。

図 16 (b) の実現のためには、熱化学分解水素製造法の確立を必要とする。しかし、それ以前に水素を大量に入手する方法として、電力が過剰な国において電解水素を得て、わが国に輸入することが検討されようとしてい



* (s) は固体 (g) はガスを示す

図 18 UT-3 サイクルとその作動原理

る⁹⁾。図 17 にシステムを示すが、輸送するには液化水素以外にアンモニア、ペンタン、メタノールなど常温で液体のものも考えられている。炭化水素にするには、わが国の発電所で回収された炭酸ガスの輸出利用も考えられ、最適なシステムは何か、効率や用途面から検討が加えられていくことになる。

水から水素を得る熱化学分解法は、イスプラ研のマーク I プロセスの提案以来、100 をこえる反応サイクルが発表されて実験的な検討による淘汰を経て今日ではわずかに、東大で研究中の UT-3 サイクルと原研の IS サイクルの二つが残るのみとなった。この中で、UT-3 サイクルは図 18 に示す四つの気固反応から成り、世界で唯一水素の連続製造に成功しているものである。現在も原理図にもとづくベンチスケールプラントによる連続運転を行うとともに、腐食性ガスに対する材料開発や高温膜分離技術による水素分離など、材料や膜の専門家を加えた共同研究により工業化を目指して着々と成果を挙げつつある¹⁰⁾。最も困難と考えられた装置材料についても、

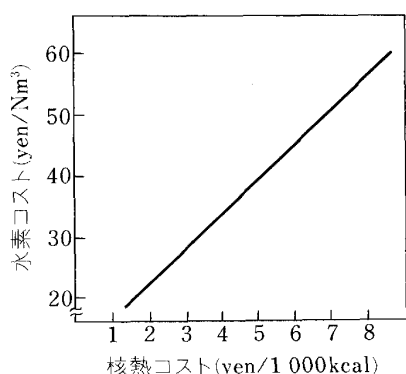


図 19 水素コストの核熱コストへの依存性

セラミック系被膜の形成による解決等が見出されている。

既に工業プラントの概念設計に基づく水素コストの試算も行われて図 19 の結果となっている。高温ガス炉から排出されるヘリウムの有する熱をいくらかに見積もるかはまだ確かではないが、通常 3 円強とされており、それを適用すれば水素 1 m³ あたり約 30 円ということになり、天然ガスから製造される水素と十分に競合し得る。高温ガス炉の建設が 1990 年末より茨城県大洗で始められ、5 年後には臨界に達する予定となっている。実際に水素製造プロセスが結合されて、技術的・経済的可能性が実証されることを期待したい。

UT-3 サイクルに必要な最高温度は 700°C である。熱交換を考慮しても 800°C の熱源があれば十分である。溶鉱炉や転炉からは依然として高温スラグや転炉ガスの持つ熱エネルギーが未回収のまま捨てられている。この熱を回収して、水素を製造して鉄鉱石の還元用いることが真剣に考えられるべきであると強調したい。

炭酸ガスの発生源としては、発電所、製鉄所およびセメント製造が 3 大元凶である。この中で発電については燃料電池のような新技術と炭酸ガスの回収・固定技術の開発が既に始められている。セメントについても前述のように省エネルギー性に富んだ新技術が開発中である。製鉄に関しては溶融還元法が開発中であるが、溶鉱炉に比較して需要変動に対応が容易なこと、鉄鉱石も石炭も微粉が使用できること、低品位炭も使えること、合成ガス発生炉としても使用できることなど多くの優れた点はあるが、炭酸ガスの低減という観点から見ると本当に優れたものになるかは大いに疑問である。

鉄鋼業の規模から見て、鉄還元を水素ガスのみで行うことには無理があろう。固体炭素を使用するにしても、しかし、より水素リッチな方向に向かって炭酸ガス排出量の減少を図ることは考えられてしかるべきである。転

炉ガスのような間欠的な排ガスの回収も、熱化学水素プロセスのように化学物質に変換する蓄熱プロセスにおいては全く問題がない。

水素エネルギーシステムにとって一番の難問は、人々が水素に抱く恐怖である。この恐怖感を除くためにも、小規模にせよ水素を得て、自動車や厨房に水素を利用するような実験が必要と考えている。現在、ハワイ大学と共同で、太陽エネルギー利用による水素製造プロセスの可能性を研究中であり、ぜひとも良い結果を得て、ハワイ諸島を利用する水素島実験構想を実現したいと考えている。

7. お わ り に

エネルギーに関して現状を概観し、研究開発すべき事項を短中期と長期にわけて見てきた。石油が枯渇に向かいつつあるという恐怖から発したエネルギー問題が、エネルギーの使用にともなう環境破壊という新しい曲面に立って違った観点から、やはり使用の抑制を求められている。中国やインドのように大人口を有する多くの途上国では、しかしエネルギー消費の拡大と、それに伴う経済発展を強く求めており、エネルギー問題は日本の利害のみでは考えられない状況にあることを認識することが必要である。

わが国が、今後とも先端技術の開発に努めるべきことはいくまでもないが、一方で 3% の経済成長率を求め続けることが本当に必要なかを問いただしてみても重要ではないかと思うがどうか。働きづめの中で幸せな生活が得られているのか。電源の小型分散化ばかりでなく、都市機能の分散化を進めるべきではないのか。住宅、道路などの充実を主目標に、1% 程度の経済成長を目指すとするれば、エネルギー需給のありようもずいぶんと変わるのではないか。その方向が地球環境問題に対しても最も有用なのではないかとも思うのだが、どうか。

文 献

- 1) エネルギー・R&D (茅 陽一編) 第二節 (吉田分担執筆) (1989) [省エネルギーセンター]
- 2) S. SAITO, H. KAMEYAMA and K. YOSHIDA: Int. J. Energy Research, 11 (1987), p. 549
- 3) 前畑康三: コール・ジャーナル, 4 (1990), p. 7
- 4) EPRI J., 15 (1990) 8, p. 4
- 5) 地球環境技術研究委員会: 地球環境技術の現状と対応の可能性 (1989) [地球産業文化研究所]
- 6) 住化技術情報センター: 化学・バイオ応用関係技術調査 (1990) [NEDO]
- 7) 地球産業文化研究所: 地球環境技術に関する予測及び評価研究委員会報告書 (1990)
- 8) 茅 陽一: 応用物理, 59 (1990), p. 2
- 9) 佐野 寛: サンシャインジャーナル, 11 (1990) 1, p. 13
- 10) 吉田邦夫: エネルギー・資源, 11 (1990), p. 107