

■ 論 説 ■

石炭エネルギーと環境問題

Coal Energy and Environment

富 永 博 夫*

Hiro-o Tominaga



はじめに

石炭を取り巻く環境が再び厳しくなった。

第二次大戦後の産業・経済復興の文字どおり原動力として貢献した石炭が、1960年代の初め頃、主としてコスト的理由で石油に追われ、エネルギーの流体化革命が起こって斜陽化の道をたどり、やがて1970年代の半ば前後から、主として地政学的背景から石油危機が起こり、石炭の復権がなったかと思えたのも束の間、1980年代の末、二酸化炭素の温室効果もたらす地球環境の破壊を未然に防止しようという論点から、もう一度、石炭の消費が大きく制約されそうな時代を迎えている。

石炭から見れば、僅か40年ほどの短い(?)期間に、このような有為転変を経験しようとは思わなかったに違いない。人間とは身勝手なものだ、という石炭のつぶやきが聞こえてくるようである。

その石炭エネルギーを環境問題との関連で考えてみたい。

エネルギー供給の中での石炭はどのような位置にあるか

まず初めに、エネルギー供給のなかに占める石炭の位置を振り返っておきたい。表1は世界の一次エネルギーの消費量とその構成の第二次大戦後の推移を示したものである。

世界の一次エネルギー消費量は、1950年から1970年にかけて、4倍近く増加した。この増加の半ばは中東地域の大規模油田の開発によってもたらされた豊富で安価な石油によってまかなわれ、石油消費量は6倍以上の伸びを見せた。このため先進工業諸国の中東の石油への依存度が急激に増大し、世界全体でみても40%を越えたが、これが1970年代の二度にわたる石油危機

表1 世界の一次エネルギー消費構成の推移
(石油換算, 単位百万t)

西暦	固 体 燃 料	液 体 燃 料	ガ ス	電 力	合 計	指 数
1950	1074 (62)	470 (27)	171 (10)	30 (2)	1745 (100)	100
1960	1544 (52)	951 (32)	415 (14)	60 (2)	2970 (100)	170
1970	2418 (35)	2936 (43)	1368 (20)	154 (2)	6877 (100)	394
1983	1894 (32)	2433 (42)	1290 (22)	246 (4)	5862 (100)	336

を招く原因の一つとなった。この間、石炭の消費量も2倍以上に伸びたが、そのシェアは30%台へと大きく低下し、一方でLNGの海上輸送による天然ガスの国際取引が始まり、その消費量とシェアがともに大きく増えた。1980年代にかけては、エネルギー価格の上昇による世界経済の停滞がエネルギー需要の減少をもたらす中で、原子力を含めて石油代替エネルギーの導入が進んだ。そして1983年から1986年にかけて石油のシェアは40%を切り、石炭のそれは33%へと微増した。しかし石油需要の低下はその市場価格の低落をもたらし、世界景気の回復もあって、ごく最近、石油消費量は漸増の傾向を見せている。

さてここで、エネルギーとしての石炭の利用の最近の現状と推移を、我が国について、もう少し詳しく見ておこう。

1988年度の石炭の産業別荷渡統計によれば、鉄鋼6,500万t、電力2,400万t、窯業・土石800万、コークス製造500万t、その他を含めて合計1億1,500万tである。鉄鋼、コークス、ガス用の石炭はいわゆる原料炭であって全体の約の60%を占め、その他は一般炭と少量の無煙炭である。この石炭需要は国内炭約1,000万tの他は、オーストラリア、カナダ、アメリカ、中国などからの輸入炭によってまかなわれている。

我が国の石炭需要が、二度の石油危機を契機として、

* 東京大学工学部合成化学科教授

大きく伸びたことは言うまでもない。第二次危機直前の1978年度に比べ、1985年度の一般炭需要は3倍の3,600万tへ急増した。とくに電力用は石炭火力の稼働率の引き上げ、石炭混焼率の上昇、石炭火力の新設等によって対前年比15~40%の需要の伸びを示した。またセメント焼成用の燃料構成を見ると、石炭が78年度の4%から1981年度には93%へと拡大し、わずか3年間に全面的な燃料転換を遂げた。

エネルギー多消費型の産業にとってはエネルギー・コストが経営の死命を制する要因であるから、このような動きは当然の成り行きであったと云えよう。しかし石炭への転換を可能ならしめたのは、技術的な基盤—例えば燃焼炉、排煙浄化技術、灰分処分法等の環境対策—があらかじめ用意されており、或いは改めて開発されたからでもあった。

石炭はエネルギー源としてどのような問題点を持つか

このように、石炭はそのエネルギー源としての利用を制約する幾つかの要素を内包しており、それらを取り除きあるいは克服することが要求される。

その第一は、石炭が固体であることで、このため採掘、輸送、貯蔵、燃焼等の各段階で石油や天然ガス等の流体燃料に比べて石炭はハンディキャップを負っている。すなわち、採掘の機械化、自動化を進めても、石炭鉱業は労働集約的産業としての制約から完全には脱却出来ず、このため石炭価格は下方硬直性を持っている。採炭後の各段階での石炭でのハンドリングの面倒もまた軽視出来ない。COM或いはCWMのかたちでの流体化はこの面での問題解決に大きく貢献した。

第二は、石炭が5~20%の灰分を持ち、またS, N, Cl, F, Hg, Ra等の不純物を含むことで、したがって脱塵、脱硫、脱硝等の公害防止設備のため投資がかさむだけでなく、これらを運転するための運転費や人件費が必要になる。石炭の硫黄分は重油に比べて多くはないが、パイライト等の無機硫黄分も含めてその脱硫はきわめて困難であるから排煙脱硫が不可欠になる。また石炭は重油に比べて多くの窒素化合物を含み、これが燃焼によっていわゆるfuel NO_xに変換されるだけでなく、固体燃料の燃焼に伴われがちな火炎温度分布の不均一性からair NO_xの発生も多く、排煙脱硝の負担が重くなる。さらにハロゲン系不純物は腐食性が強く、また脱硫、脱硝反応の効率の低下をもたらすおそれがある。大量の灰分の存在は、その微量成分

(炭種依存性が大きい)とともに、脱塵処理技術とその回収廃棄物の最終処分法に大きな問題を提起する。

石油(C重油)に対して石炭が持っているこれらのデメリットを評価した一例によれば、およそ2円/1000kcalといわれる。この値が前提条件如何により変化することは言うまでもないが、第二次石油危機以後の石炭転換は、この値以上の石油-石炭の価格差が生じたときに、本格化したといわれる。

最近、問題視されるようになった第三の制約要因は、石炭の燃焼によって発生する二酸化炭素である。二酸化炭素の発生は化石燃料に共通の問題ではあるが、天然ガスや石油(C重油)に比べて、石炭は炭素含有量が高く、そのため発熱量当たりの二酸化炭素発生量が多い。その試算の例を表2に示した。

表2 化石燃料の二酸化炭素発生原単位

化石燃料	発熱量 kcal/kg	C含有量 wt.%	g-CO ₂ / 1000kcal
天然ガス	13300	76	210
C重油	10500	86	300
歴青炭	8500	83	360

石炭の燃焼効率が天然ガスや石油に比べて一般に低いことを考慮すると、石炭の実効発熱量当たりの二酸化炭素発生原単位は、上表よりもなおかなり大きいと見なければならぬであろう。とすると、石炭から天然ガスへの燃料転換は、二酸化炭素排出量をざっと半減する効果をもたらすものと言えよう。

それでは、どのような施策によれば、燃料転換を促すことが可能であろうか。考えられる一つの方法は、それぞれの化石燃料に二酸化炭素の排出量に見合う課徴金を課することである。そのためには二酸化炭素排出に伴う外部不経済を正しく評価する必要がある。すなわち、二酸化炭素の蓄積による温室効果をもたらす気温上昇、気候変化等の定量的把握とそれらがもたらす社会的費用が、納得の行く合理的な手法によって計算されなければならない。しかしそれは現在の地球環境科学の知識では到底無理であろう。課徴金のもう一つの考え方は、煙道ガスから二酸化炭素を分離・回収し、固定化・処分する費用に準拠することであるが、そのコストはおそらく化石燃料の使用にとって禁止的な高額のぼるであろうし何よりもまず今日現在そのような技術のメドが立っていないことが問題である。納得の行かない課徴金制度は採るべきではない。

石炭をエネルギー源として使わずにすむか

仮に課徴金制によらない、なんらかの政策手段があり得たとしても、石炭から他のエネルギー源への転換はどこまで進めるが可能であろうか。

石炭は最も素朴な燃料の一つであり、産業革命以降いまま世界各国で重要なエネルギー源として用いられている。人口の爆発的増大、そして途上国の経済発展、生活水準の向上をまかなうためのエネルギー需要の増大を勘案するとき、石炭を全く利用することなしにそれを充たすことは不可能に近いのではないか。

石炭は化石燃料資源のなかでも、最大の資源埋蔵量を持ち、その可採年数 (R/P) は歴青炭/無煙炭等の高品位石炭に限っても200年に近い。石炭の地球上の分布はその他の資源に比べて偏りが少なく、アメリカ、ソ連、中国の埋蔵量は大きい、西欧、オセアニアにもかなりの埋蔵量がある。

これに対して、石油、天然ガスの埋蔵量は高品位石炭の1/4ほどで、その分布は石油は中東に、天然ガスはソ連に、それぞれ著しく偏在している。またR/Pはそれぞれ約35、60年である。なお、オイルサンド、オイルシェールの原始埋蔵量は石油に匹敵する規模を持つが、資源が偏在しているうえ、その開発・利用は技術の進歩とエネルギー価格の関数であり、現状での商業生産は微々たるものにすぎない。

ウラン資源の埋蔵量は、ソ連などの共産圏については明らかではないが、自由世界ではR/Pで約60年とされており、高速増殖炉技術の実用化と普及が実現しないかぎり、化石燃料同様に資源埋蔵量の上で限界がある。そして、何よりも原子力エネルギーには社会的受容という困難な問題が伴い、その普及を妨げている。

以上の他のエネルギー資源として、水力、地熱、太陽エネルギー、バイオマス等の自然エネルギーがあり、これらは物理的には無限ともいえる可能性を秘めているが、その利用の現状は特定の自然条件に恵まれた地域に限られている。

結論的に私見を述べれば、現在一次エネルギーの供給の約1/3を占めている、世界の石炭の消費を長期的にわたって効果的に抑制することは實際上殆ど不可能である。しかも巷間伝えられる、2000年までに二酸化炭素排出量を20%削減するという全世界的な努力目標は、仮に石炭を天然ガスへ全面転換したとしても、完全には達成し得ないことは、先に示した簡単な計算からも明らかである。

我が国のような経済大国にとっては、環境保全の責任を果たすためにたとえ割高であっても、石炭に替えて他のエネルギー、例えばLNGを輸入することが可能であろうが、そのような余裕を持つ国は少ない。外貨不足に悩む途上国の場合、国産のエネルギーがあればその活用を優先せざるをえないであろう。もしそれが石炭であれば、途上国は石炭を内需にあてるだけでなく、海外への輸出を望むのは当然である。その期待に応え努めて石炭の輸入に協力するのが世界経済の順調な発展に責任を持つ経済大国の途ではないか、という論理も成立しよう。その場合、環境保全との二律背反にどのように対処したら良いであろうか。

二酸化炭素の蓄積防止のために 何をなすべきか

二酸化炭素排出の抑制は如何にも困難な課題である。さりとて科学者達の指摘するような地球破壊の危険信号を無視して、取り返しのつかない事態を招くことだけは回避しなければならない。

その道はどこにあるのか。

一言で云えば、二酸化炭素の蓄積を防ぐため、直ちに実行可能な対策を総動員して、なし得る最善の努力を続ける他にない。それらを思いつくままに列記してみよう。

- 1) 化石燃料燃焼設備の煙突道ガスの脱硫、脱硝等浄化技術の普及。世界最先端を行く我が国の技術の諸外国への移転。酸性雨を抑止し、森林の保護に役立ち、二酸化炭素の光合成による固定を助ける。
- 2) エネルギー変換・利用の効率の向上。特に火力発電、或いは化石燃料の電力への変換効率の飛躍的向上。すなわちコンバインド・サイクル、熱電併給等の普及、燃料電池の技術の向上と実用化。省エネルギー技術の開発と普及。
- 3) 先進国におけるエネルギー節約、物質文明への反省。
- 4) 途上国における人口調節、焼畑農業、森林乱伐等の抑止。

これらは二酸化炭素の蓄積の抑止のための間接的なアプローチであるが、もとより直接的な二酸化炭素の回収、再利用、固定化等のための技術も研究すべきであろう。ただしその推進にあたっては、開発候補となる技術の効果、実用性等について事前の十分な評価、検討が必要である。

例えば、二酸化炭素を水素化してアルコールや炭化水素に変換し、再利用することは、エネルギー効率や経済性を問わなければ、直ちに実行可能である。問題は、そのために必要な水素の製造法として現在最も安価な方法が化石燃料の部分酸化であって、これを採用すればその過程で二酸化炭素を発生するという矛盾を含むことである。しかもこのリサイクルはエネルギーの生産に全く寄与していない。したがって二酸化炭素を副生しない水素製造法の開発が要求される。この目的に適した理想的な方法は太陽エネルギーを利用する水の電気分解である。太陽電池で電力を発生するも良く、チタニア半導体電極を用いた直接電解も良い。しかし将来これらの技術が実用化された場合も、二酸化炭素は、結局、太陽エネルギーの利用のための媒体と

して機能するに過ぎないことに注意したい。

そうであるならば、太陽エネルギーによって生産した水素を用いて石炭や石油系重質油を加工し、クリーンな液体燃料を生産してはどうであろうか。化石燃料が枯渇するであろう遠い将来は、この水素をバイオマスと、或いはそのアルコール醗酵によって生成する二酸化炭素と組合せて輸送機関用液体燃料を生産すれば良からう。

むすび—地球規模の環境問題には グローバルな対応を

与えられた紙数も尽きたのでこの一言だけでむすびに代えたい。

後援行事あんない

論 文 募 集

第11回原子炉構造力学国際会議

11th International Conference on Structural Mechanics
in Reactor Technology (SMiRT 11)

主催 日本原子力学会

後援 エネルギー・資源研究会ほか20関連学協会（依頼中）

会期 1991年8月18日（日）～23日（金）の6日間

会場 東京・京王プラザホテル（東京都新宿区西新宿）

標記の国際会議がアジアで初めて我が国で開催されることになりました。論文を募集いたしますので、奮って御応募くださるようお願いいたします。

(1) 内 容：原子炉構造に関する工学全般

(2) 論文発表：討論を含め1件20分の予定

(3) 募集日程：サマリー締切 1990年7月30日

著者確定 " 11月30日

本論文原稿締め切り 1991年2月28日

ポストコンファレンスセミナー（8月25日～ 日本、中国、インドで開催予定）

なお、詳細については、1st Announcementに記載されているので、事務局へ御請求下さい。また、今後のAnnouncementを御希望の方も御連絡下さい。

実行委員会委員長 柴田 碧

会議事務局：(201) 狛江市岩戸北2-11-1

電力中央研究所内 SMiRT 11事務局

Tel : 03-480-2111 ext. 480,217,488

Fax : 03-480-2493

なお、1st Announcement 御入用の際は当事務局までお申し越し下さい。