

エネルギー問題雑感

水 越 達 雄*



まえがき

今日、世界でもっとも基本的な問題として取り上げられなければならないのは、人口問題、資源問題、環境問題の3つだと思ふ。

この資源問題のうち、エネルギー資源の問題に関しては、昨年秋の中東戦争に端を発したアラブの石油輸出削減以来あらゆる方面で取り上げられ、政府の白書、マスコミ、週刊誌に至るまで、にぎやかに報道された。

しかし、昨秋アラブの輸出削減がなされた当時は、わが国にとっては生命線をおびやかされる大変な危機と考えられ深刻な論議の種となったが、その後日本が友好国と認められ、輸入量の確保の見通しがつき、残った問題は価格だということになると、油騒動の残した後遺症の高物価だけが問題視されているが、この価格の問題は二次的のものであり、根本の問題は地球上におけるエネルギー資源の枯渇と、これに今後いかに対処していくべきかであることを忘れてはならない。

日本経済は、戦後の荒廃の中から不死鳥のごとく立ち直り、世界の驚異のままとなった高度成長をなしとげ、GNP で世界第2位という経済大国となったが、これは安くて豊富な資源が、どこからいつでも買うことができるという、日本経済の成長にとって欠かすことのできない条件が、十分に満たされていたからである。

しかし、その条件はいま急速に変わりつつある。エネルギーは、産業の発展、生活の向上のために欠くことのできない光、熱、動力源であり、人類文明はエネルギー消費を基礎として発達してきた。

エネルギー資源が乏しいにもかかわらず、世界でも有数のエネルギー消費国であるわが国にとって、エネルギーの安定供給の確保は、まさに重大な問題である。

1. エネルギーをめぐる情勢

(1) 限りあるエネルギー資源

人類のエネルギーの中心は、これまで、石炭、石油、天然ガスのいわゆる化石燃料であった。

しかし、20世紀後半に入ってこれら在来のエネルギー資源の利用が急速に進み、目に見えて埋蔵量が減少しはじめたことから「エネルギー危機」が肌身にしみて感じられるようになってきた。

世界のエネルギー消費の推移をみると、1960年までは石油換算で年間約30億tであったものが、10年後の1970年には年間約50億tに伸びており、さらに1980年には年間85億tになるだろうとの推定がなされている(表-1)。

表-1 世界のエネルギー需要の推移

(1960~1980年, 石油換算100万t)

区 分	1960年	1965年	1970年	(1980年)
石 炭	1550 (50.7)	1586 (42.1)	1701 (34.6)	2145 (25.3)
石 油	1015 (33.2)	1458 (38.7)	2158 (43.9)	4053 (47.8)
天 然 ガ ス	417 (13.6)	724 (16.4)	924 (18.8)	1696 (20.0)
そ の 他 (水力, 原子力, 地熱発電)	76 (2.5)	106 (2.8)	133 (2.7)	585 (6.9)
計	3058 (100)	3768 (100)	4916 (100)	8479 (100)

注: ① ()内は百分率。

② 1972年6月, OECD 石油委員会報告による。

1960年には、石油がエネルギー全体の約33%、天然ガスが約14%、両方で約47%を占め、その量も小さかった。ところが10年後の1970年にはエネルギーの消費量は飛躍的に増大しており、石油が全体の約44%、天然ガスが約20%と、つまり約64%が石油、天然ガスによって供給されていることになった。

最近世界のエネルギーの消費量の伸びは著しく、年平均で約7%の割合で増加しているといわれるが、この割

* 正会員 技術士 東京電力(株)常務取締役

合で増加してゆくと、エネルギーの消費量は 10 年で約 2 倍になることとなる。

昭和 47 年 1 月、ローマクラブは「成長の限界」において人類の危機レポートを発表した。

世界の人口、食糧生産、工業化、汚染、再生不能な天然資源の消費、という 5 つの要素について分析解明を行ったものであるが、これによると資源の需要が幾何級数的な増加を続けていく場合には、人びとが漠然と考えているより、きわめて短期間に資源の枯渇に直面すること、非常にコスト高なものになることが強調されている。例えば、石油についてみると、1970 年の確認埋蔵量は 4550 億パーレル（約 724 億 kJ）で、同年の生産量が 145 億パーレル（約 23 億 kJ）であったから、可採年数は約 31 年ということになる。

しかし、生産量の年伸び率を仮に約 4% とすると、可採年数はわずか 20 年ということになってしまう。

そして、資源の埋蔵量は調査の進むに従って増大されるのが通例なので、埋蔵量が現在の確認埋蔵量の仮に 5 倍になったとしても、つまり——究極埋蔵量にほぼ等しくなる量であるが——それでもあと 50 年しかもたないという計算がなされている。

あと 50 年で地球上の石油は全く無くなってしまいうわけである。このようにして、同じく石炭はあと 150 年程度、天然ガスはあと 50 年程度で枯渇してしまうという予測がされている（表—2）。

地球の歴史の上で、石炭、石油、天然ガスをつくり出した生物化学的な変化の過程は約 3 億年前にその頂点に達したといわれ、現在においてもこれらの化石燃料は形成されつつあるといわれているが、人類の最近の消費に比べると、まことに遅々たるもので、自然がつくり出すのに 100 万年もかかったものを人類はわずかに 1 年で消費してしまっていることにもなる。

このような緩慢な生成の速度が、化石燃料を回復不可能なものとするゆえんであって、このような面からも、代替エネルギー開発への要請が高まってくるわけである。

（2）石油をめぐる情勢の変化

エネルギー消費の約 76% を石油に依存し、し

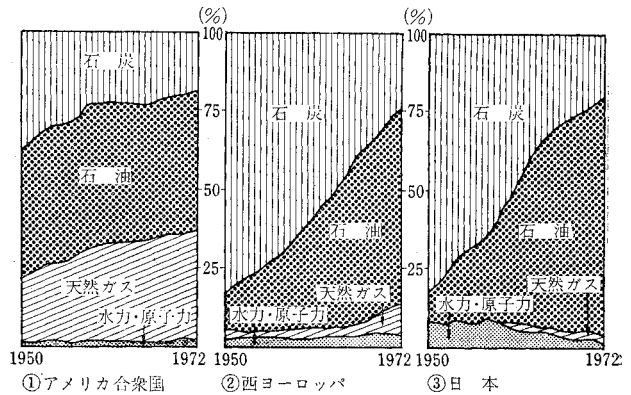
表—2 資源の可採年数

資 源	耐用年数	現在の使用量がそのまま続いた場合	予想される成長率を考えた場合	埋蔵量が現在の 5 倍になったと仮定し、予想成長率を考えた場合
		の可採年数 (年)	の可採年数 (年)	の可採年数 (年)
石 油		31	20	50
石 炭		2300	111	150
天 然 ガ ス		38	22	49
[参 考]				
鉄		240	93	173
銅		36	21	48
アルミニウム	1000		31	55
鉛		26	21	64
錫		17	15	61
亜鉛		23	18	50
クロム		420	95	154
ニッケル		150	53	96

かもそのほとんど全部（99.7%）を輸入に頼っているわが国は（表—3、図—1）、国際的な経済情勢にたえず影響されているわけであるが、このエネルギーの大宗をなす石油についての最近の情勢変化は、大きく次の 2 つに分けて考えられる。

a) 変化の第一は、産油国の強烈な攻勢である。1970 年秋、リビアのパーレル当り 30 セントの公示価格引上げ実現を契機として展開された OPEC（石油輸出国機構）攻勢は、世界の石油市場の形勢を一変させることとなった。

石油の確認埋蔵量のうち、約 2/3 が中東諸国に存在し、中東産油国を主体とする OPEC が自由世界の石油供給体制を制圧しつつあるとも見られ、とくにわが国の



（1950～1972 年、BP 統計による）
図—1 一次エネルギー消費の推移

表—3 主要国の一次エネルギー消費量

（1972 年、石油換算 100 万 t）

国 名	石 油		天然ガス		石 炭		水 力		原 子 力		計	比 率 (%)
	消費量	比 率 (%)	消費量	比 率 (%)	消費量	比 率 (%)	消費量	比 率 (%)	消費量	比 率 (%)		
アメリカ合衆国	776.2	46.1	555.0	32.9	325.0	19.3	22.7	1.3	5.6	0.4	1684.5	100.0
西ドイツ	140.5	58.2	21.2	8.8	77.0	31.9	1.8	0.7	1.1	0.4	241.6	100.0
イギリス	109.3	51.8	26.5	12.6	72.4	34.3	0.4	0.2	2.3	1.1	210.9	100.0
日 本	237.2	76.4	3.8	1.2	61.3	19.7	7.1	2.3	1.0	0.4	310.4	100.0
世界計	2590.0	47.3	984.0	18.0	1779.4	32.5	110.3	2.0	14.3	0.2	5478.0	100.0

注：BP 統計による。

場合には、OPEC 諸国から全輸入量（1972年2億4600万kl）の約95%を輸入しており、また、OAPEC（アラブ石油輸出国機構）の諸国からの輸入量は約43%にも達していることから、その影響はきわめて大きいものがある。

産油国のナショナリズムは猛烈な勢で燃え上がり、石油産業の秩序はメジャー支配型から産油国主導型へと移行しつつある。

すなわち、産油国はあいつぐ石油値上げの実施のみならず、メジャーの現地操業会社への経営参加に成功し、1972年のリヤド協定によって1982年までに51%の支配権を得る権利をもつこととなった。

なお、イランは1973年にイランコンソーシアム会社との協定に成功し、実質的な支配権を確立し、イラクも1972年イラク石油会社の国有化に成功した。

最近では、リビアが51%の国有化を行い、また、クウェートは本年5月、クウェート石油会社に対する60%の事業参加協定を成立させるなど、国際石油資本との間に支配権をめぐる攻防が展開されている。

また、1973年10月以降の中東戦争に伴う石油戦略として、OAPECは石油の供給制限という衝撃を加えてきたが、わが国は、アラブ諸国の友好国と認められたことによって、当面の量的な問題には一応のめどがついたとの見方もされている。

しかし、中東の情勢はなお波乱含みであり、石油情勢もまだ完全には安定していない。

さらに、中東戦争にからむ石油戦略とは別に、産油国の間では生産制限への誘因が次第に強まってきている。

すなわち、アラブ石油戦略の意義は、単なる短期的な政治目的や外貨獲得のための手段にとどまらず、

① 資源の国内加工をてこする自力経済開発と、資源枯渇を見込んでの工業化の早期達成、

② 多国籍企業の手から資源支配権をとりもどす、

③ 先進国から輸入する工業製品価格の上昇を補うため、一次産品価格を引き上げる、

という諸点にあるという指摘もされている。

例え供給制限の緩和が打ち出されても、超高価が残っている限り、供給制限となんら変わらない石油危機が依然として続いていると見るべきであろう。

b) 変化の第二は、アメリカ合州国のエネルギー政策の転換である。

世界人口の6%を占め、世界のエネルギー資源の1/3を消費している合州国は、エネルギー資源に恵まれた国であるが、1970年に石油換算で約16億klのエネルギーを消費したが、そのうち石油、天然ガスの占める割合は約76%（12億kl）で、石油の輸入はそのうち約20%を占めていた。

ところが、このままでいくと、国内資源の消費がはなはだしく、資源枯渇が早くなるので、国内資源の温存をはかるため輸入増大政策に転じ、1975年には石油の輸入は35%に、さらに1980年には約51%を海外とくに中東に依存する方策を打ち出している。

しかも、合州国の石油輸入増大傾向、中東地域への依存傾向はさげがたい見通しであり、このような情勢のもとで、世界の石油消費国の中で石油の安定確保をめぐる競争が激化することは明らかであり、量的な確保のみならず、合州国国内のエネルギー高価格政策とあいまって世界の石油価格の一層の上昇をもたらすことも必至であろう。

国内に豊富なエネルギー資源をもつ合州国の場合はそれでもエネルギー危機のキャンペーンには、未来の危機に対する先行的対処という意味をもつものでもあったことに比べると、資源をもたないわが国の場合は、きわめて深刻かつ重大であるといえよう。

2. エネルギー供給の現況と将来

1972年に世界で生産された石油は、およそ26億t、石炭ならびに天然ガスは石油換算でおおの18億t、10億tであったが、一方、わが国における一次エネルギーの構成は、石油76.4%（石油の約20%を電力が消費）、天然ガス1.2%、石炭19.7%、水力2.3%、原子力0.4%であって、その後も今日に至るまで総エネルギー消費量の増大とともに石油、天然ガスの構成比は増加を続けており、化石燃料が消費エネルギーの大部分を占めていることを示している（表-3、図-1）。

現在利用されている化石燃料は、前述のように資源的に枯渇の時期が近づいてきており、地域的にも偏在しているため、非産油国における燃料の確保は困難化の度を加えつつある現状で、ここに各国がエネルギーの獲得と新エネルギーの開発に、全力を傾けつつあるゆえんである。

新エネルギーとしては、核分裂や核融合を利用する原子力発電や、巨大な潜在エネルギーを持つ地球の地熱利用の発電、循環エネルギーである水力、潮力、風力、温度差利用等の発電や、太陽熱の利用、MHP発電、燃料電池等が考えられるが、試験的利用の道が開かれているものを除いて、現在、経済的に大量のエネルギー源となりうるものは、原子力と水力であろう。

(1) 原子力

原子力エネルギーは、将来に期待しうるエースだといふことは議論の余地のないところである。

世界の原子力開発は、軽水炉を中心に急ピッチで進め

られており、1972 年末では、運転中の設備 124 基・3500 万 kW に達し、建設計画中のものは 252 基・2 億 8000 万 kW にも達するといわれている（日本原子力産業会議）。

わが国でも、石油不足を乗り切るために原子力発電がきわめて有効であるとの考えから、これが開発を強力に進めようとしている。

1973 年末現在の原子力発電設備は、5 基 182 万 kW であるが、資源エネルギー庁はこれを昭和 60 年度に設備出力で 6000 万 kW 程度（総エネルギー量の 20~25%）にふやしたいという目標を設定している。

しかしながら、ウランの埋蔵量にもまた限度があるという点から、燃料のより経済的な使い方として世界各国で高速増殖炉の開発が進められており、ソ連ではすでに 35 万 kW の実用炉が運転されているともいわれ、わが国でも、茨城県に実験炉（常陽）が建設されつつある。

また、高速増殖炉と並んで研究開発が進められているのが、21 世紀のエネルギー供給の主流となることが期待されている核融合炉である。

これが完成すれば、人類は半永久的にエネルギー確保の問題から解放されるであろうといわれている。

しかし、核融合反応の制御等、困難な問題が多く、実現までには、まだかなりの年月が必要であろうといわれている。

(2) 水 力

1968 年、モスクワで開かれた第 8 回世界動力会議の報告によると「世界には 5 兆 kWh の水力資源が眠っている。これは、石炭換算で年産 20 億 t に匹敵する」ということが述べられている。

また、合州国地勢測量部資料によると、世界における理論包蔵水力は約 12 兆 kWh（これは 25~30 億 kW に相当する）といわれており、これによると、世界の現在の全エネルギー消費量のほとん

表-4 世界の理論的包蔵水力

地 域	理論的包蔵水力 (兆 kWh/年)
アフリカ	3.3
南アメリカ	2.5
アジア東南部	1.9
共 産 圏	2.0
北アメリカ	1.3
西ヨーロッパ	0.7
合 計	11.7

注：アメリカ合州国地勢測量部資料による。

どを賄いうることになるが、現在では約 1 兆 3000 万 kWh が開発されているにすぎない。

世界の大きな未開発水力資源は、おもにアフリカ、南米、共産圏など、現在工業化が遅れている地域に偏在している（表-4）。

のみならず、送電技術の飛躍的な革新はなかなか困難であるので、グローバルな観点に立った産業立地を考えるべきである。

エネルギー資源にとぼしいわが国において、現在関係各界が検討し、推進しつつある海外水力エネルギー活用の構想がここに生まれたわけで、エネルギー多消費産業の海外立地計画が、次々に具体化されつつあるゆえんである。

ひるがえって、わが国の水力は、戦前においては水力王国といわれ、産業民生需要の相当の部分を水力によって賄ってきたが、戦後の急激な産業発展についていけず火力がその大部分を占めることとなり、戦前水火の比は 8:2 であったものが、現在では完全に逆転して 2:8 となっている。

わが国の開発可能な水力は、通産省の包蔵水力調査では最大出力 4900 万 kW、年間発電電力量 1300 億 kWh といわれている。

この内訳は、既開発約 2000 万 kW（820 億 kWh）、未開発は工事中を含め約 2900 万 kW（480 億 kWh）となっており（表-5）、最大出力の kW では、包蔵水力の 60% 近くが未開発として残されていることになるが、エネルギーとしての kWh では 35% が残っているにすぎないこととなる。しかしながら、わが国唯一の国産エネルギーであり、かつ循環エネルギーである水力に関しては、われわれは早急にこれが開発を進めるべきであることは論をまたない。

また、エネルギー供給源のうち、火力、原子力はいずれも熱を媒体とするものであり、急速な出力変化に対応することは不適當で、均一な運転をすることが機器の保安上も効率の上からも要求されるのに比し、水力は需要の変化に対する即応性はきわめて優れているので、貯水池式、調整式の開発が要求され、さらには最近揚水式発電が盛んに開発されるに至っている。

表-5 わが国の包蔵水力

区 分	期 間	既 開 発		未 開 発			合 計			
		地点数	出力 (MW)	電力量 (MWh)	地点数	出力 (MW)	電力量 (MWh)	地点数	出力 (MW)	電力量 (MWh)
第一次水力調査	明治 43~大正 2 年	480	480		1906	2940		2233	3420	
第二次水力調査	大正 7~11 年	650	1030		2172	6400		2822	7430	
第三次水力調査	昭和 12~16 年	1064	6566		1707	13474		2771	20040	
戦後の水力調査	昭和 26~30 年	1185	8755		1608	13779		2793	22534	
第四次水力調査	昭和 31~34 年	1541	10816	59178	831	24554	70912	2372	35370	130090
第四次調査後の修正値	昭和 48 年 3 月末	1626	19869	82270	工事中 45 632	4396 25327	4647 43087	2303	49592	130004

注：① 資源エネルギー庁の資料による。 ② 純揚水地点は含まない。

今後、電力エネルギーが大部分を原子力に依存するようになると、これとの組合せにおいて、この揚水式大容量の発電所の建設がさらに重要な意義をもってくる。

むすび

エネルギーの大宗は、これまで見てきたように、石炭から石油、天然ガスへと移行してきており、さらに原子力へと移っていくものと考えられ、わが国においても2000年における電力供給のうち、原子力の比重は約70%を占めるに至るものと推定されているが、当面少なくとも次のような点について積極的に推進を図ることが必要であろう。

- ① 原子力開発の積極的推進と、将来計画の早期具体化を促進すること。
- ② 国内に残存する水力資源の早急な開発を図り、また、ピーク調整用の大容量揚水発電所の建設の促進を図ること。

- ③ 海外の水力資源の開発を進めること。
- ④ 太陽熱、地熱、潮力、風力などといった未利用の新エネルギー源の開発を図るとともに、石炭の液化、タールサンド、オイルシェールなどの活用といった技術開発を推進すること。
- ⑤ 資源探査、ならびに探査技術の開発を積極的におし進めること。
- ⑥ 資源確保のため、その多様化・分散化等を進める必要があること。
- ⑦ 資源の合理的利用を図るとともに、省資源型の産業構造の形成や、消費構造の変革を進める必要があること。

エネルギーの問題を打開し、解決するためには、何よりも総合的・長期的な視野に立ってこれに対処しようとする心構えが必要であり、各界の協力が切に望まれるゆえである。

(昭和49年5月22日・東京市ヶ谷私学会館にて講演)

土木・建築基礎工事と機材の専門誌

月刊 基礎工

定価

1部 480円 千32円
年間 5,760円 千380円

「基礎工」は創刊号からご購読下さい。
1巻1号 ■大径P.C.くいの開発と施工
" 2号 ■地下連続壁工法を探る
" 3号 ■水中ケーソン工法の現状
" 4号 ■地盤改良工法の現状
" 5号 ■鋼くいをを用いた基礎工
" 6号 ■地中構造物と基礎工
" 7号 ■場所打ちくい工法
2巻1号 ■基礎工最近の話題
(以上のみ各号1部350円)
" 2号 ■掘切り工事の諸問題
" 3号 ■最近の基礎工専用機材
" 4号 ■アンカー工法の現状と展望
" 5号 ■既製鉄筋コンクリートくい
" 6号 ■排水工事の諸問題

7月号 特集・地盤調査と現場試験 7月1日発売

巻頭言	地盤調査技術の発展のために	瀬古新助
総説	地盤調査と現場試験	大矢 暁
各論	くいの打込試験とその利用	藤田圭一
	耐震設計法	土田 肇
	建築基礎における地盤調査と現場試験	伊藤幸爾郎
	鉄道盛土における地盤調査と現場試験	室町忠彦
	港湾基礎における地盤調査と現場試験	松本一朗
	シールド工事における地盤調査	渡辺 健
	道路基礎における地盤調査と現場試験	近藤健雄
報文	大阪南港における地盤調査と現場試験	笹戸松二
	新四ッ木橋におけるネガティブフリクションの測定	山本崇史
	洪積世明石層での地盤調査用ケーソンの施工	越智啓登
施工研究	地下鉄・高速道路の建設に伴う根岸線におけるピア基礎の施工	打田富雄

●全国の書店でお求め下さい。書店にないときは直接下記へ

編集委員会

(順不同敬称略)

委員長	高岡 博
委員	浅間達雄
日本国有鉄道東京第二工務局操機部長	小泉安則
建設省道路局道路公団・本四公団監理官室	沢口正俊
建設省建築研究所所長	三瀬 純
運輸省港湾技術研究所土質部基礎工研究室長	鈴木貴太郎
日本道路公団技術部構造設計課長	吉田 巖
官都高速道路公団第三建設部設計課長	渡辺 健
本州四国連絡橋公団設計第二部設計第三課長	吉成元伸
帝都高速度交通営団建設本部計画部長	榎 並
東海大学工学部建築学科教授	古藤田喜久雄
日本大学理工学部建築学科教授	堀井陽三
早稲田大学理工学部研究所教授	藤田圭一
鹿島建設株式会社土木工務部次長	齊藤二郎
徳間組取締役研究開発局長	遠藤正明
㈱大林組技術研究所次長	京牟礼和夫
㈱竹中工務店技術研究所長	白石俊多
㈱鴻池組技術研究部長	
白石基礎工事専務取締役	

申込み先 **総合土木研究所** 東京都千代田区三崎町2-18-5 京三会館 101
TEL (03)264-5208・5298 振替 東京 119965