



エネルギーと原子力

長山 泰介*

1. ま え が き

第3回原子力平和利用会議は、1964年9月ジュネーブで開かれた。9年前にはじめて開かれた会議では、原子力という悪魔の力が、平和利用というバラ色の夢に変わり、無限に広がる可能性に来会者は酔った。それから3年後の第2回の会議では、原子力発電の道のりは思ったより遠いという反省で、重苦しい空気につつまれた。1964年の第3回の会議では、科学技術者の地道な努力が実を結び、原子力発電は実用化の段階に入ってきた。原子力発電の必要性は、やはりエネルギー政策から見るのが妥当で、どのような位置をしめているのか、原子力の開発はなぜ急がれているのか、そして原子力発電の見とおしについてのべて見たい。

2. エネルギーの問題

人類は文化の進展にともなって、エネルギーの消費量が次第にふえてきている。エネルギーの量を表わすのにQという単位を考える。

$$Q = 10^{18} \text{ BTU} = 2.52 \times 10^{17} \text{ kcal}$$

(ここでいう BTU は、British Thermal Unit の略で、1ポンドの水を 1°F 高めるに要する熱量、また、1Q は良質の石炭 370 億 t の熱量に相当する)

現在人類が用いているエネルギー源にはいろいろあるが、化石燃料が大きな部分を占めている。化石燃料の埋蔵量がどれだけあるかという点、いろいろの説がある。パトナムの報告によれば、経済的に採算可能な燃料として表-1 のようになる。

表-1

燃料	石炭	石油・天然ガス	オイルシエール・ほか	計
熱量(Q)	32.0	5.0	1.0	38.0

このほかに、直接太陽熱、燃材、農産廃物、水力、風力、熱帯海水の温度差、潮力、天然蒸気、地熱などが考えられるが、これらを合計しても 8 Q 程度で、エネルギー

* 正会員 日本原子力研究所 東海研究所

源の主力とはなり得ない。

一般に、資源の埋蔵量は年月を経るにしたがって調査がくわしくなり、推定量もふえてくる。最近の調査では化石燃料の推定量は 80 Q** とされている。このうちの大部分は石炭である。これらの化石燃料を主体とするエネルギー源を、人類が消費したとして何年間持つてであろうか。需要エネルギーについても仮定によって推定も異なってくる。いま、エネルギーの年間のび率を 4% (約 20 年で倍増)、世界人口が 50 年で倍となると仮定すると、エネルギーの需要量は表-2 のようになる。

表-2

紀元 0	~1950	13Q
1950	~2000	16Q
2000	~2050	187Q

そこで、需要エネルギーと化石燃料を主体とする埋蔵エネルギーの関係は、図-1 のようになる。図-1 でも

わかるとおり、パトナムは 2000 年から 2025 年の間に、在来エネルギーは涸渇し、新しいエネルギー源を開拓する必要があるといている。多少楽観的に見ている

表-3

(1) ウラン埋蔵量

酸化ウラン 1 ポンド当りのコスト (ドル)	U-235 のエネルギー (Q)		全エネルギー (Q)	
	確定量	全推定量	理論確定量	全推定量
0~10	0.8	2.0	440	1000
10~30	0.85	1.5	480	800
30~100	25	50	14000	28000
100~500	1100	1800	600000	24000000

(2) トリウム埋蔵量

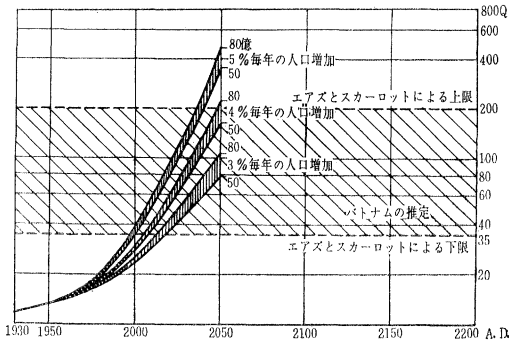
ThO ₂ 1 ポンド当りのコスト	全エネルギー	
	理論確定量	全推定量
0~10	120	500
10~30	120	260
30~100	14000	44000
100~500	1260000	3800000

注: 1. アメリカ AEC のコスト データ (1962 年) と核燃料関係統計集 (1963 年) とから推定した。

2. ウラン酸化物の現行価格はポンド当たり 8 ドル

** 総合エネルギーをめぐる最近の資料「アトム」Vol. 9, No. 7, p. 13

図-1



エアズ、スカーロットにしても、2050年ごろには底をつくといっている。長い人類の生存の歴史から見ると、化石燃料を使う期間は短いもので、新しいエネルギー源として原子力が登場してくるわけである。ソ連のエメリヤノフ教授の言によれば、化石燃料は燃やすより、化学工業の原料として用いるべきで、なるべく早く原子力に切り変えるのが有利であると説いている。

原子力の原料となるウラン・トリウム資源の埋蔵量はどれほどあるであろうか。Qに換算すると表-3のようになる。現在の採掘費は酸化ポンド当り8ドルで、埋蔵量自体としては多量にあるが、経済ベースで考えると必ずしも無限というわけにはゆかない。現在実用に供されようとしている原子炉は、いずれもU-235を燃やすもので、U-235だけを考えれば寿命は短い。そこで、いずれもU-235の140倍もあるU-238をプルトニウムに換えてこれを燃やすことを考えている。現在の型でもできるだけ燃料転換率のよい原子炉が考えられ、長期的には転換率が1という増殖炉が目標である。1962年

アメリカのAECが大統領への報告にも「現在行なわれている原子力開発は、揺籃期と成熟期の橋渡的存在であり、長期的展望において増殖炉が本命である」とのべている。増殖炉の実現には困難な問題が多いが、1980年ごろには実用化されるのではあるまいかという見とおしが行なわれている。増殖炉の実用化により、人類はどんなに小さく見積っても数百年は大丈夫ということになる。究極の目標としては、核融合によってエネルギーが取り出せれば、人類は無限のエネルギーを享受できることになる。

3. 日本のエネルギー事情

今までは資源論の立場に立つ長期的な見とおしであるが、経済評価を第一とする短期的な見地に立って、日本のエネルギー事情は論ぜられる。

1963年末に、通産省の産業構造調査会の総合エネルギー対策部会の報告による一次エネルギー供給の見とおしは表-4のとおりである。表-4を見ると、今までエネルギーの主力を占めてきた石炭が大幅に後退し、水力も比率が減少し、石油の占める割合が多くなっていく。1972年には、原子力もようやく顔を出して1%程度占めることになる。原子力の部分を今少しくわしくのべてみよう。

1961年に策定された長期計画によれば、1970年から80年の10年間に、600~850万kWの原子力発電が開発されるものとし、その準備として1970年ごろまでに100万kWの開発を行なう必要があるとしている。現状ではやや予定どおりといっておく、現在建設、または計

表-4 一次エネルギー供給の見とおし

年度 品目	数量単位	37年度			42年度			47年度		
		実数	換算	構成比	実数	換算	構成比	実数	換算	構成比
水	10 ⁶ kWh	62 372	37 423	20.2%	82 800	49 680	16.5%	93 300	55 980	12.7%
原子力	t	—	—	—	58	580	0.2	400	4 000	0.9
石炭	10 ⁸ t	68 220	61 722	33.3	79 230	72 483	24.1	81 282	74 740	16.9
石油	10 ⁸ kl	55 277	79 046	42.6	118 104	168 889	56.2	206 980	295 981	66.9
国産原油	"	876	1 253	0.7	1 100	1 573	0.5	1 110	1 573	0.3
輸入原油	"	47 261	67 583	36.4	109 926	157 194	52.3	196 375	280 816	63.5
製品輸入	"	7 140	10 210	5.5	7 078	10 122	3.4	9 505	13 592	3.1
L P G	10 ⁸ t	127	217	0.1	272	465	0.2	272	465	0.1
天然ガス	10 ⁶ m ³	1 586	2 147	1.2	3 115	4 279	1.4	5 400	7 454	1.7
小計		—	181 179	97.7	—	296 826	98.8	—	438 970	99.3
薪炭	10 ⁸ t	—	4 350	2.3	—	3 693	1.2	—	3 220	0.7
合計		—	185 434	100.0	—	300 519	100.0	—	442 190	100.0
うち輸入分		—	89 942	48.5	—	186 544	62.1	—	319 313	72.2

注：換算単位：8 000 kcal/kg, 石炭換算 10⁸t

画中の発電炉は 表-5 のとおりである。

表-5 日本の原子力発電所建設計画

	形式	規模 (万 kW)	予定地	着工予定 (年月)	完成予定 (年月)
日本原子力 発電 1号炉	天然ウラン 黒鉛	16.6	茨城県 東海村	34.12	40.3
" 2号炉	濃縮ウラン 水	30	福井県 敦賀市	40	43
関西電力 KK	軽水型	30	福井県 美浜町	41.3	47
中部電力 KK	軽水型	25	三重県 南部	41.4	45.10
"	(未)	50	(未)	未	未
東京電力 KK	軽水型	35	福島県 大熊町	41.4	45.10

報告書には、エネルギー政策を検討するについて考察すべき点として3つの点をあげている。第一がエネルギー低廉の原則であり、第二はエネルギー安定供給の原則である。第三は国際収支の問題とか、炭鉱離職者問題といったような国民経済的利益との調整の問題である。第一と第二が、原子力の問題についてどのようになっているか、世界のすう勢から見た日本の立場についてのべてみたい。

4. 原子力発電の一般状勢

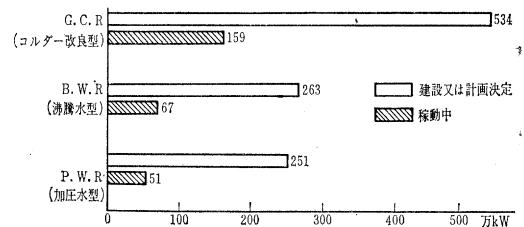
1954年、ソ連で5000kWの試験発電が成功してから10年の間に、170万kWの原子力発電所が稼動し、建設、または計画が決定しているものは1000万kWを越えている。原子力発電の実用化はもう緒に付いているといっても過言ではない。

現在開発中の原子力発電所を大きく分けると、イギリス、フランスでもおに開発されているマグノックス型(天然のウラン・ガス冷却型)と、アメリカでもおに開発されてきた軽水型(濃縮ウラン・軽水型)にわけることができる。この軽水型はさらに加圧水型と、沸騰水型にわけることができる。加圧水型というのは、原子炉で発

生した熱を圧力を加えた密閉サイクルで循環させ、できるだけ高い温度で二次回路の蒸気を温ため、これで発電する方式である。一次ループの圧力は2200psi、出口温度は300°C前後である。沸騰水型というのは、炉を循環する蒸気を直接タービンを回す力として利用する方式である。これは、加圧水型にくらべて多くの利点を持っているが、反面、不利な点もある。

3つの形式がどのように開発されているかは、図-2に示した。このほかにも、カナダで力を入れている重水冷却方式などがあるが、実用としてはこの3つにしばらく

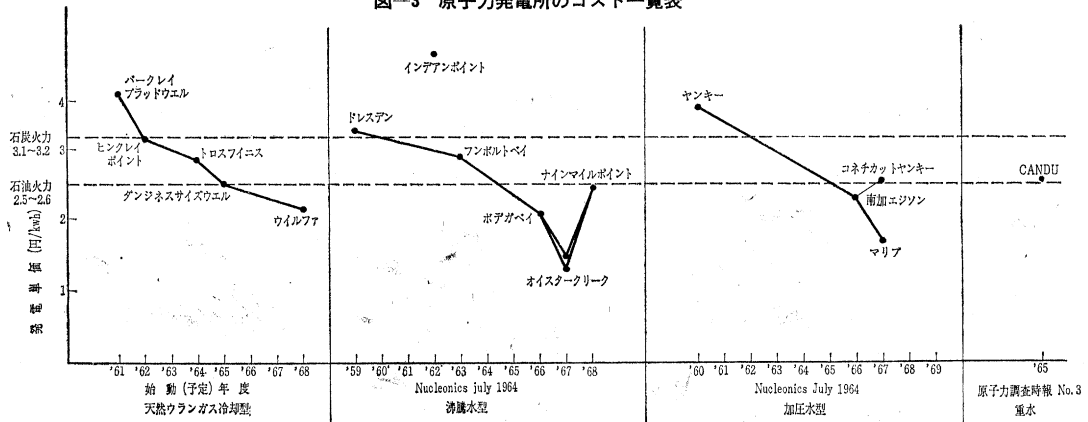
図-2 原子力発電所の3つの型の開発状況



エネルギー供給の第一の原則は、低廉の原則であった。原子力発電は、コストの面でどのような段階にあるのか。3つの型を完成(予定もふくむ)年代別にkWh当たり円に換算したのが図-3である。年ごとに、また、一基あたりの容量も大きくなると同時に、コストも下ってくる。いずれも火力の線を下回る値が予定され、3つの型の優劣はまだつけがたい。

イギリスは、マグノックス型といわれる型を9カ所に500万kW建設中であるが、一応これで打ち切り、第二次計画として別の型を考えている。せっかく今まで開発したのであるから、この型を発展させたAGR(Advanced Gas-cool Reactor)が第一の候補に上っている。これは燃焼度を高めるために、燃料を2酸化ウラン・被覆にステンレス鋼を使っている。一方では、重心炉にし

図-3 原子力発電所のコスト一覧表



たほうが経済的ではないかという考えかたと、アメリカ型の軽水炉のほうが低廉ではないかという動きもあり、中央電力庁と原子力公社の政治問題もからみ、今後の方針決定はかなり複雑である。

一方、軽水型は 1964 年春、アメリカのオイスター・クリーク発電所の計画と積算が発表され、重油専焼火力を大幅に下回る値段で、しかも信頼性が高いということで、軽水型の地位が高まっている。ジャージー・セントラル電力会社が発表した、オイスター・クリーク原子力発電所と、火力発電所の経済比較表は表-6のとおりである。これを見ても、容量を大きくするほど建設のコストは低くなっている。大容量にするためには、土木の分野でも構造上で寄与する面も少なくない。イギリス型では、圧力容器を P S コンクリートを使うことにより、大容量とすることを可能にした。この技術は最近アメリカにも渡り、将来トリウム資源を使う高温ガス炉 (HTGR) の建造に一役買うことになった。

日本では、一応 2 つの型を併存させる方針ではあるが、どちらかにきめざるを得なくなるであろう。コストの問題はいろいろな仮定があり、外国と日本という立地条件にも関係があり、一概にいけないが、資源論から見た燃料の問題が大きなウエイトを持つことはたしかである。

5. 核燃料の問題

エネルギー供給の第二の原則は、安定供給ということであった。いま、エネルギーの主流を占めている石油は大部分輸入であり、核燃料の場合も大部分輸入にまたねばならない。表-7 が日本のウラン埋蔵量であるが、品位も低く、最も世界の推定量の 1% 以下である。燃料の輸入としては、天然ウランと濃縮ウランの二つおりの形がある。濃縮ウランは軽水型に用いられ、濃縮工程に膨大な設備が必要である。供給元としては、アメリカに限ら

表-6 オイスター・クリーク原子力発電所と火力発電所の経済比較

火力発電所			原子力発電所		
	炭鉱地 〔西ベンシ ルベニア〕	オイスター ・クリーク	51万 5 000 kW の場合	56万 5 000 kW の場合	62万 kW の場合
初年度発電コスト (ミル/kWh) (1ミル=36銭)	3.98ミル	4.34	4.25	4.02	3.79
kWh 当り建設費 (+送電線)	105 ^F _μ /kW (+30)	110/kW (+3)	135 ^F _μ /kW (+4)	120/kW (+4)	110/kW (+4)
〔前提〕	石炭17セント /MBTU	石炭26セント /MBTU	濃縮酸化ウラン 現行 AEC 価格 Pu 買戻 10 ^F _μ /g	"	"
燃料価格	88 %	"	"	"	"
設備利用率	30 年	"	"	"	"
耐用年数	10.39 %/年	"	"	"	"
固定費率					

(ジャージー・セントラル電力会社発表)

表-7 日本のウラン埋蔵量

鉱山別		確定	推定	予想	計
人形峠 鉱山	鉱量 (t)	662 000	760 000	427 000	1 849 000
	品位 (U ₃ O ₈ %)	0.062	0.064	0.042	0.058
	含有量 (kg)	411 000	484 000	178 000	1 073 000
東郷 鉱山	鉱量 (t)	94 000	105 000	810 000	1 009 000
	品位 (U ₃ O ₈ %)	0.096	0.060	0.082	0.081
	含有量 (kg)	90 000	63 000	666 000	819 000
小国 鉱山	鉱量 (t)		80 000	110 000	190 000
	品位 (U ₃ O ₈ %)		0.030	0.030	0.030
	含有量 (kg)		24 000	33 000	57 000
計	鉱量 (t)	576 000	945 000	1 347 000	3 048 000
	品位 (U ₃ O ₈ %)	0.066	0.060	0.065	0.064
	含有量 (kg)	501 000	571 000	877 000	1 949 000

(原子力白書) (昭和 38 年 3 月 31 日現在)

れ、供給の多面化をはかるためには、天然ウランのほうに鉱石の形で輸入して日本で精練できるので有利ではある。今までの考え方としては安定性、供給の多面性をはかるために、天然ウランを主体として考えるべきだという主張が、原子炉開発の底流を流れていた。しかし、アメリカは濃縮ウラン供給の安定をはかるための政策を打ち出しており、日本としてもまだ決めかねる問題であり、現実には低廉の原則が先行して、濃縮ウラン型の発電所が計画されている。このために、日本でも濃縮工場を持つ可能性も検討されてはいるが、実現は困難である。

燃料の問題には、発電所の価格に影響する再処理の問題がある。ある程度燃えた燃料は、再処理して再使用すると同時に、プルトニウムを取りだし、さらに廃棄物はいろいろのレベルに応じて処理することになる。いま、各国ではプルトニウムは政府が買上げており、軍時以外では、将来増殖炉である高速中性子の原子炉での燃料になる。これらの燃料政策は世界状況によって変化するので、資源を自給できない日本での悩みは多く、複雑な問題となっている。

原子力は未知の要素を数多くふくみながら、確実にエ

ネルギーとしての位置をしめつつある。原子力発電所の設計をやる場合には、どうしても燃料がコアとなって出発して行く。しかし土木工学の分野から出発して解決された問題もないことはない。P S コンクリートによるプレッシャーベッセルの問題はマグノックス型の原子炉を発展させる一つのモメントになった。いろいろな分野からの知恵と協力によって原子力発電は進展してゆくであろう。

(1964.11.7・東京文化会館にて講演)