

原子力発電のすうせいについて

中国電力K K原子力調査課長 豊 島 銃 二

ま え が き

日本における原子力発電もいよいよ本格的な段階に入り、明年中には日本原子力発電の敦賀発電所をはじめ、東京電力福島発電所第1号機、関西電力美浜発電所第1号機の3基計112万キロワットが営業運転を開始する予定で、目下工事も順調に進んで現在は最終工程に入っている。

またこの他福島発電所2号機、美浜発電所2号機の2基計128万キロワットが続いて建設中であり、さらに今年中には4基計257万キロワットの工事が始められる計画である。一方世界の原子力発電の状況を眺めてみても本年6月末現在で、すでに運転しているものが82基計1,275万キロワットもあり、建設中および計画の決つたものは合せて151基計9,770万キロワットと違っている。これを見ても、原子力発電がいよいよ実用化の段階に来ていることが分るであろう。

1. 我が国のエネルギー事情と電力開発計画

最近の日本の経済成長は著るしく、昭和42年度の国民生産は43兆円を超え、米国、独逸につぐ規模となつたが、経済の進展に伴つてエネルギー需要も急増し、昭和42年度では石油換算で年間1億9,000万キロリットルに達し、過去10年間で約3倍強に達し、年平均増加率は約12.5%である。

このような、すう勢はここ当分続くものと考えられ、昭和60年度には石油換算で実に5億5,000キロリットルに達する見込みで国民1人当りのエネルギー消費量でみると今日の米国なみとなるものと予想される。

エネルギー需要のなかで特に電力の増加率が高く、電力の比重が大きくなる傾向にあるが、これは石炭や重油などに比べて使い易いという特徴による結果だと考えられる。

電力界でたては本年1月の長期計画で見ると昭和43年から昭和48年の前期6ヶ年間の年平均の電力量の増加率は約9%であり、昭和49年から昭和52年までの後期4ヶ年間では約8%と想定している。この率は欧米諸国の増加率4~5%に比較してほぼ2倍の数字となつてゐる。また上記10年間に運転を開始する電源設備は約6,000万キロワットでこれに伴う送電

線や変電設備を加えて総工事費は7兆6,000億円と見積まれている。

電源設備の内訳をみると水力1,000万キロワット、火力3,800万キロワット、原子力1,200万キロワットが開発され、昭和52年度末の発電設備の容量は1億キロワットとなり、昭和42年度末設備容量4,300万キロワットの約2.3倍強となるものと見込まれる。(第1表参照)

第1表 発電設備容量比較

	42年度末設備容量		52年度末設備容量		増 加 容 量	
	万キロワット	%	万キロワット	%	万キロワット	%
水 力	1,600	37.4	2,600	25.5	1,000	16.6
火 力	2,653	62.2	6,500	62.8	3,847	63.7
原 子 力	17	0.4	1,200	11.7	1,183	19.7
計	4,270	100	10,300	100	6,030	100

2. エネルギー源としての核燃料の登場

電源開発の傾向を歴史的にみると、昭和20年代は水力と石炭火力時代、30年代は重油火力時代、40年代は重油火力と原子力時代、50年代は原子力時代といえる。

このように年代とともに依存するエネルギー源が変つていくが、要するに経済の原則によつて左右されるのであるが、これは即ち低廉なエネルギーの供給、安定なエネルギー源の確保ということが重点となる。

国内のエネルギー源としては水力と石炭がある。しかし水力発電は有利な開発地点は減少しており、石炭についても経済的に限界があり、年間5,000万トンを下廻つており、勢い石油に依存せざるを得なくなり現在は重油火力が主役となつている。

しかし石油はほとんど海外からの輸入に仰がねばならず、輸入量はエネルギー消費の伸びに伴い年々高まつて行き、国際収支の上で外貨の支払いの中に占める比重(現在約20%)が増大する。(第2表)

第2表 輸入エネルギーへの依存度変化

年 度	総エネルギー中に占める輸入エネルギー比率
昭和30年	24%
40年	66%
45年	76%
50年	82%
60年	90%

石油は大部分のものを中近東に依存しているので、その政治不安や価額や質の変動の要素が多く、しかも輸送の膨大な大型タンカーを建造する必要がある、港湾施設、貯油施設など関連投資も莫大である。一方最近に至り燃焼排ガスによる公害の問題が起りつつあり、今後の脱硫能力、低硫黄燃料入手とも関連し原子力への依存を高める要因がある。原子力発電に必要な核燃料資源も同様に海外から輸入するが、輸送も備蓄も容易で、外価負担もはるかに軽減される。

資源もカナダ、米国、オーストラリア、南アフリカその他と広範囲にわたる。

軽水炉、ガス炉などはウラン資源の1%を利用するに過ぎないが、今後開発が予想される新型転換炉が3~4%、高速増殖炉が開発されると80%位が利用可能となり、一層安定した供給が確保でき燃料問題を抜本的に解決できると期待される。

3. 発電炉の種類

世界ではじめて原子力発電に成功したのはソ連で、1954年電気出力5,000キロワットのオブニンスク発電所を建設した。それ以来今日まで全世界で運転中の発電炉は82基1,275万キロワットでこれに建設中、計画中のものを加えると233基計1億1,000万キロワットで現在日本の全発電設備容量が約5,000万キロワットであるから、その約2倍の原子力発電が近いうちに世界で建設運転されることになる。

これまでに実用化した発電炉を大別すると軽水炉、ガス冷却炉、重水炉の三種である。

- (1) 軽水炉：米国で完成された原子炉で燃料として2~3%の濃縮ウランを使用して、高速中性子を減速して連鎖反応を行う熱中性子とするため減速材と炉内の熱を外部へ取り出す媒体として冷却材に普通の水即ち軽水を用いるものである。
 - 沸騰水型 (BWR) 常圧で蒸気を発生させて直接タービンに導く。
 - 加圧水型 (PWR) 炉内の圧力を大きくして蒸気温度を上げ、一度蒸気発生器を通して、そこで生じた蒸気をタービンで使用する。
- (2) ガス冷却炉 イギリスで完成されたもので、わが国第1号炉である東海発電所はこのタイプで、燃料には天然ウランを用い、減速材として黒鉛、冷却材として炭酸ガスを用いる。この型はその後改良され、今日では燃料に数パーセントの濃縮ウランを使用する改良型のガス冷却炉や、さらにその先の高温ガス炉（燃料として濃縮度90%以上トリウム）と冷却材ヘリウムに発展しつつある。
- (3) 重水炉 カナダで開発されたもので、天然ウランを燃料として用い、減速材、冷却材とも重水を使用する。カナダは豊富なウラン資源を持っているので、最初から天然ウ

ランを用いる炉型一本にしぼつて研究を進めてきた。重水は核反応を起させる性質として非常にすぐれているが、高価なので商業用として使うためには、冷却材として軽水、ガス等を使用するよう改良が加えられている。

第8表 炉型別原子力発電設備容量

炉 型	運転中の設備容量	建設計画中設備容量	計
	万キロワット	万キロワット	万キロワット
軽 水 炉	4 8 7	7.7 7 9	8.2 5 7
P W R 型	2 6 5	4.7 4 4	5.0 0 9
B W R 型	2 1 3	3.0 3 5	3.2 4 8
ガス冷却炉	5 7 5	9 5 6	1.5 3 1
ガス冷却型(GCR)	5 6 6	3 9 5	9 6 1
改良ガス型(AGR)	4	4 9 6	5 0 0
高温ガス型(HTGR)	5	6 5	7 0
重 水 炉	4 4	7.4 9	7 9 3
重水冷却(圧力容器)	6	1 9	2 5
" (圧力管)	2 2	6 0 2	6 2 4
沸騰軽水冷却	9	7 3	8 2
ガ ス 冷 却	7	5 5	6 2
そ の 他	1 6 8	1 5 7	3 3 5
F B R	9	1 2 0	1 2 9
合 計	1.2 7 5	9.7 7 1	1 1.0 4 6

4. 原子力発電の開発状況

世界中で今年6月現在運転中の原子力発電所は82基1.275万キロワットであるが、この中英国が413万キロワットと最大の規模となつている。つづいて米国の333万キロワットであるが、今年中に米国の実用規模の大容量機ナイン、マイル、ポイントやドレスデン2号、ギネなどが運転に入る予定であり、米国が運転量でも首位となるであろう。また建設計画中のものまで入れると、米型は6.777万キロワットに及び世界の半分以上を占めることになる。現在運転中のものは各国とも小ユニット容量のものが多く、50万キロワット級のは数基にすぎないが、建設中、計画中のものは大体50～110万キロワット級の大ユニット容量のもの

が多い。また将来の開発見通しは第4表の通りと見込まれている。

第4表 自由世界の原子力開発見通し

年 国	1970 (昭45年)	1975 (昭50年)	1980 (昭55年)
	万キロワット	万キロワット	万キロワット
西 欧	1,060	2,860～4,310	8,800～11,800
北 米	1,310 #	6,580～7,410 #	12,800～18,400 #
そ の 他	190 #	670～800 #	1,800～2,600 #
計	2,560 #	億 10,100～億 12,520 #	億 22,400～億 32,800 #

一方わが国でも昭和42年4月に策定した原子力委員会の長期計画では、昭和50年に600万キロワット、60年に3,000万キロワット～4,000万キロワットとなるものとしている。電力会社で構成する中央電力協議会の最近の電力長期計画第5表によると、昭和50年には863万キロワットと原子力委員会の長期計画を上廻っており、60年には4,000万キロワットに近い設備容量になるものと期待せられる。

第5表 日本の電気事業者の原子力発電計画

年度末基数および設備容量

年度	基 数	総 容 量
	基	万キロワット
44年	1	16.6
45年	4	128.8
46年	4	128.8
47年	5	182.3
48年	7	310.7
49年	10	510.1
50年	16	863.5
51年	18	988.5
52年	21	1,208.5

このことは原子力発電技術がほぼ確立したこと、安定した低廉なエネルギーの供給を満足するためと火力発電の場合に発生する亜硫酸ガスによる公害が問題になつて来ているなどの理由によるものと考えられる。

原子力の採り入れ方は、その国情によつてそれぞれ異つている。

- (1) 英国では1956年のスエズ動乱で石油の輸入が不安となつたことなどから大規模に原子力を開発した。大量の濃縮施設のない英国では天然ウラン燃料の使えるガス炉マグノックス型の大量開発に踏み切つた。ガス冷却炉の技術に立脚し、より経済的なAGR型へ改良型に移行しつつあるが、このAGRの技術はさらに高温ガス炉へと発展して行くと考えられる。

英国では、1957年政府が原子力発電計画を発表し、10年間に合計500万キロワットのガス冷却炉を建設することとした。これは1969年中には達成される見込みである。1964年に第2次原子力発電計画が発表せられ、70年から75年までに重ねて800万キロワットを建設することとした。第2次計画で建設される炉型は今の処濃縮ウランを使用する改良型ガス炉で占められる予定である。

- (2) 米国は自国内に化石燃料資源が豊富で、原子力開発を急ぐ必要はないので、いくつかの炉型を並列に研究し開発を進めて来た。米国で現在動いているものはその間に建設された小、中容量のものが多し。その結果軽水炉が当面経済的で実用化し易いとしてオイスタークリーク発電所やナイン・マイル・ポイント、ドレスデン2号が火力に十分匹敵するものとして建設されることとなつた。これに刺激された多くの電力会社が原子力発電所の建設に乗り出し、このため1966年から67年にかけて、米国では一大原子力発電ブームとなり、米国における建設中計画中にある約6400万キロワットの大部分はこの時期に計画が固つたものである。しかし66年から67年に発注されたものは現在建設が数ヶ月から2年も遅れているといわれ、これもあつて68年、69年には発注量が激減している。これら遅れの原因は米国AECの当局が相つぐ安全審査に応じ切れなくなり、またメーカーの一部に労働争議や熟練工不足が起きて来たことなどによる。また工期遅延のため建設利息が累増し、物価上昇も伴つて、原子力発電所の建設費がこつ増した。その結果、原子力発電に対する反省が生れ、発注量の激減と火力発電への切り換えとなつたものとも考えられる。今後の原子力は火力とのコスト競争のうちに着実に地歩を固めるであらう。

- (3) カナダは自国内に豊富に存在する天然ウランをそのまま使用出来る重水減速、重水冷却炉を独自で開発し、現在2万キロワットの動力試験炉と20万キロワットの動力炉1基が実動しており、なおこの型の炉4基からなる総出力210万キロワット原子力発電所が建設中で、1975年には260万キロワット、1985年には1450万キロワットの完成が予定されている。

- (4) フランスもイギリスと同様ガス冷却炉の開発に努力して来た。現在ガス炉を主力として160

万キロワット程度の発電を行っている。1966年から1970年までの5年間に最低250万キロワットの発電所の完成を目標にしている。

(5) 西ドイツはアメリカから軽水炉の技術を導入し、軽水炉を3基、140万キロワットを国内のメーカーによって建設しており、1基115万キロワットの軽水炉を計画している。また高温ガス炉、重水炉を独自で開発中である。現在総計84万キロワットが運転中で、同国の第3次原子力開発計画では1980年には2500万キロワットが完成することとなっている。

(6) スウェーデンでは計280万キロワットの軽水炉建設計画を進めている。

また先進諸国では高速増殖炉や新型転換炉など新型炉の研究開発に力を入れておりこれら原型炉と少量開発量としてすでにあがっている。

第6表 日本の原子力発電所の建設概要

運転中の別 建設中	施設者名	発電所名	施設 番号	発電所位置	出力(メ ガワット)	形 式	着 工 年月日	運 用 (予定) 年 月
運 転 中	日本原子力 研 究 所	J P D R	1	茨城県那珂 郡東海村	125	軽水減速 軽水冷却 沸騰水型	S 35-8	S 38-10
	日本原子力 発 電	東 海	1	同 上	166	黒鉛減速 炭酸ガス 冷 却 型	34-12	41-7
建 設 中		敦 賀	1	敦賀市明神 町	322	軽水減速 軽水冷却 沸騰水型	41-4	44-12
	東京電力	福島原子力	1	福島県双葉 郡大熊町双 葉町	400	同 上	41-12	45-10
		福島原子力	2	同 上	784	同 上	43-3	48-3
	関西電力	美 浜	1	福井県三方 郡美浜町	340	軽水減速 軽水冷却 加圧水型	41-12	45-10
		美 浜	2	同 上	500	同 上	43-5	47-6

5. 原子力発電の発電コスト

日本で現在建設中の原子力発電所の発電コスト試算値はいづれの発電炉についても、耐用年間平均では2円台となつている。一方新鋭火力発電所の場合は2円台であるが原子力発電の方がやや高い。原子力発電の発電コストは火力発電に比べて建設費が高く燃料費が安いのが特徴である。このための建設費をいかに安くして行くかが今後の経済上、問題である。その方法としてユニット容量の増大、設計の規格化、単純化が必要となる。

わが国の場合、耐震設計が海外よりきびしい条件となるので発電コストの建設費が割高となるなど不利な点がある。

今後の発電コストの見通しについてアメリカ、エジソン電気協会が発表したものによると、今後標準化が進み大量生産に移つて行くことおよび容量が大きくなつて行くことなどを考え合せて1985年頃には、キロワット当り建設費が現在の150ドル(5万4000円)から135ドル(4万9000円)と10%程度は安くなり、従つて発電コストは現在の4.8ミル(1円73銭)から3.8ミル(1円37銭)くらいになると予想される。

第7表 原子力発電所の発電原価

会社名	発電所名	出力 メガ ワット	利用 率(%)	建設費 (百万円)	発電原価(初年度)(円/キロワット)						
					資本費	直接費	関連費	燃料費	保険費	合計 発電端	送電端
日本原子 力発電	敦賀	322	80	29,965	1.72	0.80	0.13	0.85	—	3.00	3.15 (2.62)
東京電力	福島原子力 1号	400	80	40,627	1.74	0.17	0.06	0.85	—	2.82	2.98 (2.55)
	福島原子力 2号	784	80	51,047	1.86	0.15	0.05	0.88	—	2.44	2.52 (2.21)
関西電力	美浜1号	340	80	29,750	1.62	0.25	0.06	0.80	0.07	2.80	3.00 (2.50)
	美浜2号	500	80	36,000	1.42	0.16	0.05	0.82	0.05	2.53	2.70 (2.34)

第8表 重油専焼火力発電所の発電原価

会社名	発電所名	施設番号	出力 (メガワット)	利用率 (%)	熱効率 平均 (%)	重油価格 (円/キロリットル)	建設費 (百万円)	発電原価 (初年度) (円/キロワット)						運開 予定年月
								資本費	直接費	関連費	燃料費	合計	送電端	
東京電力	姉崎	2	600	70	38.7	6,100	16,882	0.70	0.09	0.05	1.36	2.20	2.26	44-12
	"	3	600	70	38.7	6,100	18,200	0.75	0.09	0.05	1.37	2.26	2.33	46-10
	鹿島	1	600	70	38.7	6,100	26,400	1.09	0.12	0.06	1.36	2.63	2.71	46-1
	"	2	600	70	38.7	6,100	16,000	0.68	0.09	0.05	1.37	2.19	2.25	46-12
中部電力	西名古屋	1	220	70	38.5	6,000	12,650	1.33	0.26	0.11	1.36	3.06	3.25	45-8
	"	2	220	70	38.5	6,300	7,480	0.79	0.10	0.08	1.43	2.40	2.55	45-6
関西電力	海	1	450	70	39.4	6,119	20,260	1.03	0.12	0.05	1.35	2.55	2.63	45-4
	"	2	450	70	39.4	6,119	13,590	0.70	0.07	0.05	1.35	2.16	2.22	45-8