

## 日本の原子力発電の将来

井出野栄吉

### 1 電力利用の発達

600年 B. C. ごろ、ギリシアのターレスは、こはくを摩擦するとこはくに軽い物体を吸いつける作用が生ずることを記載している。しかしその後、電気に関する知識は進展せず、16世紀に至りギルバートが摩擦電気について科学的に研究し、初めて電気という名を用いた。17世紀に入ると、摩擦起電機の発明、18世紀には正負電気の区別の発見やライデンびんなどの発明などがあった。しかし、これらの対象はいずれも瞬間的な摩擦電気に関するものであり、発生する電気量もきわめて少なく、継続的な電気の流れを得ることは出来なかった。

1799年ごろ、ボルタは、亜鉛板と銅板とを、ぬらした布をはさんで重ね、これを何回も繰返えて積みあげたボルタの電堆を作った。続いて、亜鉛と銅とを稀硫酸溶液に浸すと両金属間に電流が流れることを発見し、ここに連続的な電気を得ることに成功した。この電池による電流を使って多くの実験が行なわれ、電気の物理的・化学的性質が次第に解明されていったのである。

1820年にエールステズは、針金に電流を流すと針金の周囲に磁場の生ずることを知ったが、1831年ファラデーは逆に、磁場の中で針金を動かすことにより、針金の中に電流を発生させることに成功した。この電磁誘導現象の発見により、交流発電機が作られるにいたるのであるが、当初は電池から得られる直流と異なるため、実用になるとは考えられなかった。しかしピキン、ジーム

ンス、グラムらによって直流の得られる発電機が作られると、その便利さと大出力とは完全に電池を圧倒した。

発電機から得られる大電力を利用した本格的な電気事業は電灯から始まった。1879年にエジソンは実用的な炭素線電球を発見、ついで、1882年には直流配電方式を実用化して、照明に革命をおこしたのである。同じころジーメンスが発明した電車も実用化された。また電気化学の各種反応は電池の発明以来研究されほとんど知られていたが、発電機による強大な安い電力の出現によって、事業として成立することが可能となった。銅、アルミニウムの電解精練、カーバイド、電解ソーダ、石灰窒素などの工業的製造が、1860年代から1900年ごろまでに続々と開始された。さらに1890年にテスラによって完成された誘導電動機は、きわめて容易に運転できたので、電力は蒸気機関に代って工場動力の分野に進出し始めた。

発電機は最初、蒸気機関で運転されていた。1880年には近代的なペルトン式水力タービンが作られ、またパーソンズにより1884年には蒸気タービンが発明された。長距離送電技術が確立されていなかったため、蒸気機関は発電用動力としては、あまり用いられなかった。しかし、1885年、スタンレー等による変圧器の完成、1886年における長距離送電の実用化、1885年から1888年にかけての三相誘導電動機の発明などによって、高電圧交流による長距離送電がドイツで成功した。すなわち1891年ラウフェン-アム-ネッカーの水力発電所で発電された電気は、110マイルも離れたフランクフルトに送電され電灯がともされたのである。この結果、1890年代には水力タービンや蒸気タービンが発生した機械動力は、発電・送電され、種々のエネルギー源として利用されるようになった。これにより、今まで小規模に分散していた発電施設が集中し、大出力の火力発電所が設けられるとともに、消費地から隔っている山間の水力資源も開発利用できるようになった。

わが国の電気事業は、欧米諸国にはんの少し遅れながら発達してきた。1878年にアーク灯が点ぜられ、1887年に東京電灯株式会社が30馬力の直流発電機を持つ火力発電所から架空線路を通じて一般に電力を供給した。1891年に

は蹴上発電所が竣工し、わが国初の事業用水力発電所となった。以後明治末期から長距離送電時代に入り、それとともに水力発電所の比重が増してきた。電力の利用も、初期は電灯用が支配的であったが、第一次大戦ごろから、動力としての需要が急速に伸びた。

この間、送電技術は著しく進歩した。1891年ラウフェン-フランクフルト間の送電電圧は16kVであったが、20世紀初期には50kVまでに上り、1920年代110kV、1930年代220kV、1956年345kV、1965年には735kVにまでなるに至った。また直流送電技術が考えられるようになり、ソ連では1960年直流の線間電圧800kVの送電線路の完成をみた。最近、わが国では、ソ連が樺太に建設する発電所から100k万Wの電力を500KVの超高压で直流送電し、これを交流に変えて使うことを研究している。

現在では、生産、交通から日常生活の消費面まで電化され、電力事業は最も重要な基礎産業となった。したがって、今後益々増大する需要に対して、安定・良質でしかも安価な電力の供給は、産業および国民経済にとって不可欠な問題である。火力・水力発電は勿論、原子力発電の重要性が考えられる所以である。

## 2 原子力発電の意義

エネルギー消費の形態は、技術的および経済的条件などによって異なるものであるが、現在、世界の一次エネルギー資源の消費構成をみると、石炭のような固体エネルギーに比べて、経済的技術的に有利な条件を有している石油、天然ガス、水力電気などの流体エネルギー消費増加の傾向がはっきりとあらわれている。さらにまた、産業構造の変化につれ、一次エネルギーの二次エネルギーへの加工や変成が行なわれていることがわかる。その主なものは、石炭のコークス化であり、また石炭および石油の電力化である。最近の各国の電力需要は着実な伸びを示し、電気エネルギーは、動力として不可欠であるのみならず、国民生活にとってもなくてはならないものとなっている。

わが国においても、上述のような傾向があらわれている。最近および将来におけるわが国の電力の供給および全エネルギーの供給・需要の模様を第1表お

第1表 電力の供給

エネルギー 一種別	昭和 年度	一次エネルギー供給			二次エネ ルギー転換
		生 産	輸 入	計	電 力
電 力	35	14.328	—	14.328	13.969
	36	16.649	—	16.649	15.700
	37	15.281	—	15.281	19.109
	38	16.945	—	16.945	22.304
	39	16.894	—	16.894	27.106
	40	18.731	—	18.731	28.338
	45	21.4	—	21.4	52.1
	50	30.2	—	30.2	80.1
	60	86.5	—	86.5	141.6
	水 力	35	14.328	—	14.328
36		16.649	—	16.649	—
37		15.281	—	15.281	—
38		16.945	—	16.945	—
39		16.894	—	16.894	—
40		18.722	—	18.722	—
45		19.9	—	19.9	—
50		22.2	—	22.2	—
60		26.4	—	26.4	—
火 力		35	—	—	—
	36	—	—	—	15.700
	37	—	—	—	19.109
	38	—	—	—	22.304
	39	—	—	—	27.106
	40	—	—	—	28.338
	45	—	—	—	52.1
	50	—	—	—	80.1
	60	—	—	—	141.6
	原 子	35	—	—	—
36		—	—	—	—
37		—	—	—	—
38		—	—	—	—
39		—	—	—	—
40		0.009	—	0.009	—
45		1.5	—	1.5	—

日本の原子力発電の将来

(59)

力	50	8.0	—	8.0	—	
	60	60.1	—	60.1	—	
火 力 内	石	35	32.229	6.702	38.931	8.191
		36	33.802	9.281	43.083	8.381
		37	32.695	8.336	41.031	9.471
		38	31.315	9.165	40.480	10.471
		39	31.924	10.766	42.690	10.477
		40	31.637	13.580	45.217	10.150
	炭	45	31.3	20.1	51.4	15.0
		50	31.4	23.7	55.1	15.9
		60	31.4	25.1	56.5	17.0
		35	32.229	—	32.229	8.153
	36	33.802	—	33.802	8.374	
	37	32.695	—	32.695	9.471	
	38	31.315	—	31.315	10.471	
	39	31.924	—	31.924	10.477	
40	31.637	—	31.637	10.150		
45	31.3	—	31.3	—		
50	31.4	—	31.4	—		
60	31.4	—	31.4	—		
力 内	輸 入	35	—	6.702	6.702	0.038
		36	—	9.281	9.281	0.007
		37	—	8.336	8.336	—
		38	—	9.165	9.165	—
		39	—	10.766	10.766	—
		40	—	13.580	13.580	—
	炭	45	—	20.1	20.1	—
		50	—	23.7	23.7	—
		60	—	25.1	25.1	—
		35	0.587	34.782	35.369	4.906
36	0.729	42.316	43.045	5.927		
37	0.823	51.634	52.457	7.524		
38	0.827	66.779	67.606	7.932		
39	0.697	80.700	81.397	11.721		
40	0.740	95.964	96.704	12.408		
45	0.7	161.0	161.7	25.2		
50	0.9	245.3	246.2	45.3		

	60	0.9	446.0	432.7	84.6	
訳	原	35	0.587	30.906	31.493	—
		36	0.729	36.813	37.542	—
		37	0.823	44.425	45.248	0.009
		38	0.827	58.655	59.482	0.315
		39	0.697	69.710	70.407	0.653
		40	0.740	82.368	83.108	0.676
		45	0.7	139.2	139.9	—
油	50	0.9	222.1	223.0	—	
	60	0.9	431.8	—	—	
	重	35	—	3.850	3.850	4.906
	36	—	5.413	5.413	5.927	
	37	—	6.954	6.954	7.515	
	38	—	7.784	7.784	7.617	
	39	—	10.416	10.416	11.068	
	40	—	12.198	12.198	11.732	
油	45	—	18.6	18.6	25.2	
	50	—	19.1	19.1	45.3	
	60	—	9.2	9.2	84.6	

(単位: 10<sup>13</sup>Kcal)

通商産業省大臣官房総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」(昭和43年版), 通商産業研究社。

第2表 国内全エネルギーの供給および需要

昭和年度	最終エネルギー供給合計	国内エネルギー最終需要
35	98.715	84.382
36	113.381	96.494
37	122.450	104.592
38	139.824	119.264
39	157.060	133.533
40	177.812	145.769
45	241.3	219.5
50	340.0	309.2
60	604.0	550.1

(単位: 10<sup>13</sup>Kcal)

通商産業省大臣官房総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」(昭和43年版), 通商産業研究社。

よび第2表に示す。

電力の需要は増加の一途を辿り、需要部門の中では鉱工業部門の占める割合が非常に大である。

さて、電力用一次エネルギー供給源を考えると、従来、わが国は水力が比較的豊富であり、電力は水主火従とされてきた。ところが、第1表に示すごとく電力の需要が増大するにつれ、水力だけではその需要に追いつけなくなってきた。すなわち、水力電気はその開発点がますます奥地に移り、さらに補償

問題、水利権問題等により、経済的な地点が少なくなってきたのである。一方、火力発電は、技術の進歩につれて発電所の建設費も運転費も安くなり、かつまた長距離送電の必要さも水力電気に比して少ないため、昭和 36 年には水力と火力との構成比は略々等しくなり、昭和 37 年度にはついに火力発電量は水力発電量を凌ぐにいたった。この傾向は今後ますます増加することが第 1 表よりうかがえる。

電力に転換する一次エネルギー源は石炭と石油である。昭和 38 年度以前においては、石炭燃焼火力が石油燃焼火力に優っていたが、昭和 37 年度以降の出炭量の減退と国内で産出される石炭は比較的割高なため、海外で産出される比較的割安な石油に経済的に対抗し得ず、さらにまた石炭が石油の流体燃料としての燃焼効率の良さと使い易さなどに抗し切れず、昭和 39 年度より石炭に代って原油・重油（主として重油）が電力転換用エネルギー源となるに至った。

わが国における石油の産出量は微々たるものであって、その必要量のほとんど全部は輸入によるものである。わが国の原油輸入の状況を第 3 表に示す。

第 3 表より明らかなごとく、わが国が輸入している原油は大半がクエート、

第 3 表 日本における原油輸入量

(単位: 10<sup>3</sup>t)

輸出国 輸入国	年	世 界	北アメリ リカ	カリブアメリカ		その他の アメリカ	西ヨー ロッパ	ア フ リ カ	
			計	計	ベネズ エラ	計	計	リビア	
日本	1963	51,320	170	360	360	—	—	—	—
	1964	62,640	130	350	350	40	—	10	—
	1965	70,555	40	450	450	30	—	—	—
	1966	83,490	110	480	480	20	—	—	—

輸出国 輸入国	年	西 ア ジ ア					極 東		その 他の 諸国
		計	イラン	イラク	クエート	サウジア ラビア	計	インド ネシア	計
日本	1963	43,310	7,950	2,430	22,750	9,430	5,450	5,200	2,030
	1964	53,550	12,090	2,950	27,000	10,960	6,080	5,870	2,480
	1965	62,290	14,900	4,620	28,710	13,000	5,430	5,270	2,320
	1966	75,000	23,480	4,410	30,950	14,790	5,100	4,940	2,790

通商産業省大臣官房総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」p. 266 (昭和 43 年版), 通商産業研究社。

サウジアラビアなど西アジア産のものである。この地方に産する原油は硫黄分がとくに多い。前述のごとく、現在電力の供給は重油火力発電所に大きく依存しているため、これらの重油の燃焼により亜硫酸ガスの発生をとまなうという欠点が生ずる。この対策としては、インドネシア産の低硫黄重油の確保、高煙突による拡散、水素による重油からの脱硫、原油生だし、排煙脱硫などが考えられており、また、従来の石油の消費地精製主義を再検討し、原油産地で精製、脱硫する考え方もおきてきた。とは言え、これらの考えの多くはいまだ実用化されず、わずかに実用的な脱硫装置ですら早急に企業全体に設けることは望めないため、公害問題をおこしている。このため電力需要の増大にもかかわらず火力発電所の増設は困難になりつつある。

以上述べたごとく水力の開発に多くを望めずまた火力発電の開発にあたっては発電のために膨大な重油を輸入することによる国際収支上の問題や重油燃焼による公害という難点が生ずるに至った現在、電力用一次エネルギー源の確保という意味からも火力発電に代り得る発電方法の開発推進は重要な問題となってきたのである。

### 3 原子力発電の経済性

1942年フェルミらによって最初の原子炉が造られ、連鎖核反応を制御してエネルギーを特定の割合で発生させることに成功し、続いて1956年英国で世界で最初の営業用原子力発電所の運転が開始されてから原子力発電は世界各国でその建設が積極的に進められている。すなわち、1968年6月末現在、世界で稼働中の発電用原子炉は76基、その総発電容量は1085万kW、建設中および計画が決定したものを加えると、214基、9594万kWに達している。

ことに、米国で開発された軽水炉は経済性の著しい向上と、加えてその核燃料である低濃縮ウランに対する米国の優位性により、世界の原子力発電界をリードしている。このような動向から、わが国においても原子力発電に対し強い関心が向けられ、電気事業者の間に軽水炉による原子力発電所建設についての気運が生ずるにいたった。わが国では、昭和35年、英国より、コールドー

第4表 建設中の原子力発電所一覧

会社名	日本原子力 発電(株)	日本原子力 発電(株)	関西電力(株)		東京電力(株)		
	発電所名	東海発電所	敦賀発電所	美浜発電所 1号 2号		福島原子力発電所 1号 2号	
所在地	茨城県那珂郡 東海村	福井県敦賀市	福井県三方郡 美浜町	同左		福島県双葉郡 大熊町 双葉町	同左
炉型	黒鉛減速炭酸ガス冷却型(コールドホール改良型)	軽水減速, 軽水冷却(沸騰水型)	軽水減速, 軽水冷却型(加圧水型)	同左		軽水減速, 軽水冷却型(沸騰水型)	同左
電気水力(発電端)	166MW	322MW	340MW	500MW	400MW	784MW	
燃料種別(ウラン装荷量)	天然ウラン(約186t)	濃縮ウラン(約61t)	濃縮ウラン(約40t)	濃縮ウラン(約48t)	濃縮ウラン(約79t)	濃縮ウラン(約107t)	
着工年月	34年12月	41年4月	41年12月	43年5月	41年12月	43年3月	
運開年月	(41年7月一部) 42年7月	44年12月予定	45年10月予定	47年6月予定	45年10月予定	48年3月予定	
建設費(初装荷燃料費を除く)	約423億円	約300億円	約298億円	約360億円	約384億円	約510億円	
初装荷燃料費	" 42 "	" 57 "	" 55 "	" 75 "	" 78 "	" 130 "	
発電原価(発電端)	売電単価 約4.7円	3.15円	3.00円	2.70円	2.98円	2.52円	

(注) 発電原価欄の数値は初年度の値である。

発電原価は負荷率80%とし、耐用年数は敦賀、美浜1号および福島1号については20年、美浜2号および福島2号については16年としたものである。

通商産業省大臣官房総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」p.230(昭和44年版)、通商産業研究社。

ホール改良型炉を導入し、東海発電所の建設、運転が進められて以来、現在までに二三の地方において原子力発電所の建設が進められているのである。第4表にわが国に建設中の原子力発電所を示す。

第4表から明らかなようにわが国において建設される原子力発電炉は軽水炉である。ここに軽水炉の経済性についてふれておくことにする。

原子力発電の発展のためには、原子力発電が従来の火力発電に比し、コストにおいて優れていることが必要であることは言うまでもない。初期における原

第5表 2,3の原子炉の発電コスト (円/kWh)

	イギリス型 原子炉	PWR 型原 子炉	BWR 型原 子炉	火力発電所
資本費	2.32—3.67	2.48—2.67	2.49	1.02—1.33
運転費	0.21—0.27	0.41	0.42	0.19—0.24
燃料費	1.25—1.43	1.68—2.43	1.51—1.76	2.50
関連費	0.09—0.12	0.12—0.13	0.13	0.09—0.10
合計	3.87—5.49	4.69—5.64	4.55—4.80	3.80—4.17

尾本義一編「原子力発電」〔I〕(昭和41年), p. 292 電気学会。

子発電のコスト

は、第5表に示すごとく、火力発電のコストに比べて劣っていた。これを費目別にみると、原子力発電は火力発電に比べ、燃料

費は安いが資本費が高くなっている。したがって、原子力発電のコストを火力発電のコストに対抗させるには、第1に資本費を減らす必要があり、第2に燃料費を更に減らすようにすることが考えられる。第1の目的を達成させるには、低金利資本を利用することは当然であるが一方技術的には原子炉の単基容量の大容量化による方法がある。すなわち、第6表にみるごとく原子炉の大容量化

第6表 炉型別発電コスト試算 (円/kWh)

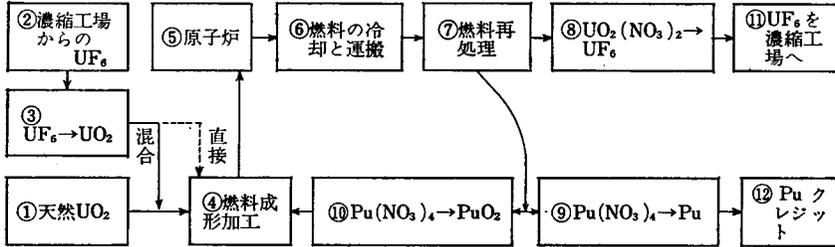
炉型	発電コスト内訳	30万 kW		50万 kW		80万 kW		100万 kW	
		発電コスト	比率	発電コスト	比率	発電コスト	比率	発電コスト	比率
軽水炉	資本費	1.141~1.237	54	0.961~1.040	51	0.813~0.877	47	0.765~0.813	46
	運転費	0.258~0.262	12	0.231~0.234	12	0.214~0.216	13	0.207~0.208	13
炉	燃料費	0.703	34	0.694	37	0.685	40	0.683	41
	合計	2.102~2.202	100	1.886~1.968	100	1.712~1.778	100	1.655~1.704	100

科学技術庁原子力局「原子力ポケットブック」p. 185 (昭和44年版), 日本原子力産業会議。

にともない資本費は減少している。もっともこの原子炉の大容量化による資本費低減のメリットも、容量100万kW以上となると、建設期間の長期化、材料費の値上り、大型原子炉の安全性などからその効果は期待できないと言われている。

第2の問題を考察するに当たって、軽水炉の核燃料サイクルおよびそれら各工

第1図 軽水炉の燃料サイクル



第7表 燃料サイクル各工程の単位経費, 所要時間および回収率

各工程の内容	各工程の経費 (\$/kg. U)	各工程所要時間(日)	各工程の回収率(%)
① 天然二酸化ウラン	~25	0	100
② 六弗化ウラン	AEC 公表値	0	100
③ UF <sub>6</sub> →UO <sub>2</sub> 変換	7~12	365	99
④ 燃料成形加工	45~60	122	99
⑤ 燃料照射	—	—	—
⑥ 燃料の冷却と運搬	13.8	120	100
⑦ 燃料再処理	25	32	98.5
⑧ UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> →UF <sub>6</sub> 変換	{ 5.60* 32	61	100
⑨ Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> →Pu 変換	1.5/g. Pu	61	100
⑩ Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> →PuO <sub>2</sub> 変換	1.5/g. Pu	61	100
⑪ UF <sub>6</sub> クレジット	AEC 公表値	0	100
⑫ Pu クレジット	\$ 10/g. Pu fissile	0	100

\* 濃縮度 5% 以下の U に対して \$ 5.60/kg. U  
濃縮度 5% 以下の U に対して \$ 32/kg. U  
武井満男, 能沢正雄, 下川純一, 日本原子力学会誌 10, 289(1968)

程の単位経費, 各工程の所要時間と回収率を第1図および第7表に示す. また軽水炉の核燃料サイクル構成要素のコストの内訳を第8表に示す. ②はウラン濃縮プラントから得られた濃縮ウラン (UF<sub>6</sub>) で, これは③の工程で二酸化ウラン (UO<sub>2</sub>) に変換されるか, あるいは天然二酸化ウランと混合されて所要の

濃縮度をもつ核燃料となる。これは④の工程で成形加工され、原子炉中に装入される。原子炉⑤で燃焼済みの核燃料は、⑥で約120日冷却され再処理プラント⑦に運搬される。ここで使用済み核燃料は化学

第8表 軽水炉の燃料費  
構成(%)

ウラン精鉱価格	26
分離費	30
加工費	26
再処理費、輸送費	18
小計	100
Puクレジット	-18

武井満男, 能沢正雄, 下川純一,  
日本原子力学会誌, 10, 269(1968)

処理を受け、生成したプルトニウム Pu, 減損ウランおよび核分裂生成物がそれぞれ分離回収される。減損ウランは⑧で再び六弗化ウラン  $UF_6$  の形に変換され、さらに⑩の濃縮プラントに送られ再濃縮される。生成プルトニウムは⑨および⑩の工程で、それぞれプルトニウム金属または二酸化プルトニウムに変換され、その一部はクレジットとして売却されるかあるいは④の成形加工工程に返還される。

さて、核燃料費は、このような各工程の経費の総和とインベントリー費すなわち、燃料サイクルを定常運転状態までもって行くには、濃縮六弗化ウラン購入資金、加工資金、予備燃料費などの多額の資金を必要とするが、それらの資金の金利とで構成される。

したがって、燃料費の低減には新工程による各工程所要時間の短縮などの技術の進歩に依るところが大きいのである。

核燃料サイクル中の各工程における単価推移の見通しおよび1975年頃に運転を開始する軽水炉と石油火力の発電コストの試算例を第9表と第10表に示

第9表 単価推移の見通し

年次	精鉱 (\$/b- $U_3O_8$ )	$U_3O_8 \rightarrow UF_6$ 交換 (\$/lb-U)	濃縮サービス (\$/kg)	加工 (\$/kg. U)	再処理 (\$/t)	Puクレジット (\$/g-fissile)
1970	5.00	1.00	30.00	43.10	41.500	9.00
1975	4.50	0.50	25.00	25.00	41.500	7.25
1980	—	—	20.00	20.00	36.400	7.25
1985	—	—	17.50	17.50	—	10.25
1990 ~2000	—	—	15.00	15.00	—	9.50

中村康治, 日本原子力学会誌, 11, 34 (1969)

す。第 10 表によると、軽水炉による発電コストは、石油火力による発電コストより優れていることがわかる。しかし現在わが国で建設中の第 4 表に示した

発電所では、立地条件や耐震設計および高金利のために米国における場合に比して資本費が割高となり、石油火力より発電コストがや

第 10 表 軽水炉と石油火力発電コストの比較 (50 万 kW)

		軽 水 炉		石 油 火 力	
建設費 (千円/kWh)		54.6~65.7		40.0	
発電 コ ス ト	資本費	0.82—0.98	45%	0.64	30%
	運転費	0.27—0.32	15%	0.16	10%
	燃料費	0.74—0.89	40%	1.24—1.46	60%
	合計	1.83—2.19	100%	2.04—2.26	100%

越川文雄, 通商産業研究, No. 148, p. 72 (昭和 43 年)

や高目になるという。一方、第 4 表に示したごとく現在建設中の原子力発電コストは、第 5 表に示した初期のものに比して著しく進歩しており、近い将来、石油火力発電コストと比肩し得るに至ると思われる。

このほか、核燃料費に大きな影響をおよぼすパラメーターとしては、比出力、冷却材単位量当りの熱出力、燃焼度などがあり、これらを改善することにより、原子力発電コストの経済性を向上させることができる。

#### 4 原子力発電の安全性とその立地

経済性が向上することにより急速かつ本格的に原子力発電が成長することは、わが国にとっても大いに歓迎するところであるが、同時にまた慎重に検討すべき点も少なくない。狭少な国土に数多くの原子力発電所が設置されたときの住民に対する安全性の検討や将来原子力発電を利用する諸産業の振興等を考慮した上での発電所設置場所の選定などである。

原子力発電の進展に対応して、安全対策の一層の充実をはかるため、原子力委員会は、原子炉施設の安全審査における諸指針の整備をはかる等のため、昭和 43 年 10 月、動力炉安全基準専門部会を設置し、同専門部会は、昭和 43 年 12 月からその審議を開始した。また、昭和 44 年 2 月には、使用済燃料再処理施設等から生ずる放射性廃液の海洋放出に際しての障害防止に関する考え方について、内閣総理大臣の諮問にもとづく放射線審議会の答申が行なわれた。

原子力委員会は、これにもとづき、さらに検討をすすめる一方、研究開発の推進とこれに必要な施設の整備をはかった。

また、動燃事業団における再処理施設の安全性について、原子力委員会は、昭和44年3月、再処理施設安全審査専門部会から十分確保し得る旨、報告を受けている。このように法の改正などにより従来より安全対策を強化しているわけであるが、これは国の企業者に対する規制であって、企業者と住民との間によるものではなく、住民に十分な安心感を与えるものとは言えない。幸いにも、44年4月4日、福島県は東京電力と安全確保の協定書に調印している。これは、企業者と自治体とが協力して原子炉施設周辺の放射能測定を行なおうとするもので、住民の安全対策が一步前進したものと考えてよい。

原子力発電所設計上とられている技術面での安全性確保について二三述べてみたい。

原子炉事故の特異点は放射能の存在ということである。原子炉中の核燃料や核分裂生成物が、事故によって外部に出て周囲が放射能により汚染れさしてしまうことである。放射能による障害はまだ研究が十分進んでいない面が多いので、事故に対しては十分な注意が払われなければならない。

原子炉の急激な出力上昇にともなう原子炉の暴走は原子炉の固有の安全性により、かりにおこったとしてもエネルギー的には大きな災害はおこさないといわれる。むしろ、それに付随しておこる燃料の破損散失や内蔵されている放射能の逸散の方が危険である。このため原子炉では多くの放射能漏洩防止の防壁が考慮され、またかりにこれらの防壁をこえて放射能が漏出した時にも早急に対策が行なわれるように常時監視できるようになっている。

また、原子炉容器等の材料は、十分な配慮をもって選定され、またその製作、加工の段階で十分な検査が行なわれている。

わが国において原子炉施設を設置する上で特に注意しなければならぬのは地震に対する配慮である。これに対しては、過去の地震記録を調査して、その土地が経験した地震歴を知り、今後発電所寿命中に遭遇するかも知れない地震の大きさを求め、これを上回る設計をする。また用地の地表の常時微動の測定や、

試掘横坑内に設置した地震計による自然地震、人工地震の測定を続け、地盤のもつ特性を知るなどの対策を施している。

なお、この外、放射性廃棄物の海洋放出、放射線障害防止の研究、防災業務計画の推進などが研究されている。

上述のように原子力発電所の安全性については、法的にも施設面においても十分な安全設計が行なわれており、原子炉の暴走、放射能の散逸、原子力発電施設の崩壊などは、ほとんどおこり得ないと思われるが、万一の場合の安全対策として立地基準がおかれているのである。

これを以下に記しておく。

(1) 原子炉立地審査指針 (39.5.27 原子力委員会決定)

この立地審査指針は、原子炉安全基準専門部会の報告書をもとに、原子力委員会において、今後、安全審査を行なう際には、これによるよう原子炉安全専門審査会に指示したもので、陸上に設置する1万 kW 以上の原子炉について、万一の事故を考慮してその立地条件の適否を判断するためのものである。

イ. 事故の定義

(イ) 重大事故：敷地周辺の気象、原子炉の特性、安全防護施設等を考慮し、技術的見地からみて最悪の場合には起るかもしれないと考えられる重大な事故。

(ロ) 仮想事故：重大事故を超えるような、技術的見地からは起るとは考えられない事故。たとえば、重大事故を想定する際には、効果を期待した安全防護施設のうちのいくつかが動作しないと仮想し、それに相当する放射性物質の放散を仮想する。

ロ. 区域

区域	定義	広さ
非居住区域	公衆が原則として居住しない区域	重大事故の場合、ある距離だけ離れた地点にひとがいつづけるならば、そのひとに放射線障害を与えるかもしれないと判断される距離の範囲。 この範囲を判断するためのめやすとして甲状腺(小児)150 レム、全身 25 レムをもちいる。
低人口	いちじるしい放射線	仮想事故の場合、何らの措置も講じなければ、この

地帯	障害を与えないために適切な措置を講じうる環境にある地帯	範囲内にいる公衆にいちじるしい放射線災害を与えるかもしれないと判断される距離の範囲。 この範囲を判断するためのおよそのめやすとして、甲状腺（成人）300 レム、全身 25 レムをもちいる。
人口密集地帯からの距離		仮想事故の場合、全身被曝線量の積算値が、国民遺伝線量の見地から十分受け入れられる程度に小さい値になるような距離。 この距離を判断するためのめやすとして外国の例（たとえば200万人レム）を参考とする。

即ち、原子力発電所の周辺には非居住区域があり、その外側に低人口地帯があり、発電所と人口密集地帯とは十分離れていることが条件である。また気象に関しては次下の通りである。

(2) 原子炉安全解析のための気象手引 (40.10.2 原子炉安全基準専門部会策定)

この気象手引は、原子炉の安全解析を行なう際の有益な指針となるものとして、今後、安全審査を行なう際の参考とするよう原子力委員会委員長から原子炉安全専門審査会長あて 40 年 11 月 12 日付で送付された。

1. 想定事故時用の気象

安全解析のために想定した事故による影響の評価は、おそらくこれより悪いことにはならないという考え方で行なうものである。これにもちいる気象条件は、次の諸点は考慮して選ぶべきである。

(1) 想定事故による放射性物質放出の様相、たとえば放出の高さ、放出の継続時間等を考慮すること。

(2) 想定事故時の評価は、公衆を対象とするものであるので、公衆の居住する地域に着目すること。

(3) 原子力委員会が決定した原子炉立地審査指針によれば、想定事故として重大事故および仮想事故の発生を仮定し、両者の場合について評価することになっている。重大事故の場合には、従来もちいられた気象状態の出現度を参考とすること。また、仮想事故の場合には、出現度がこれと同等以上のものをもちいること。

なお、拡散の計算には、従来 Pasquill の式（英国気象局法）を採用している。これを採用して当分差し支えないと考える。

#### ハ．平常運転時用の気象

平常運転時の気体廃棄物放出による影響の評価は、一般に周辺監視区域外の年間積算線量について検討するものである。これにもちいる気象資料は、次の諸点を考慮し、現地に関する1カ年以上の期間に及ぶ観測資料にもとづくべきである。

- (1) 気体廃棄物放出の状態、たとえば、煙突の高さ等を考慮すること。
- (2) 平常運転時の評価の場合にも、周辺監視区域外の公衆の居住する地域に着目すること。
- (3) 平常運転時の気体廃棄物放出に関し、施設側において講ずる措置、たとえば、一時貯溜等の放出管理を考慮すること。

科学技術庁原子力局「原子力ポケットブック」p.336（昭和44年版）、日本原子力産業会議

またわが国の原子力発電所の立地概要を第11表に示す。

以上記したごとく、原子力発電の安全性については、法規面および技術面から確保されていると考えられるが、なおここに一言述べておきたい。

現在、わが国で建設中の発電炉はすべて米国型の軽水炉であり、その主建設契約者がGE社、GETSCo.社、WH社であって、国内メーカーが主建設契約者となるのは、美浜発電所2号炉においてであることである。他の発電所においては国内メーカーが一部契約者となつてはいるが、このことはわが国の技術面を評価する上で考慮させられるものがある。軽水炉に関する技術は急速に進歩している反面、わが国の軽水炉技術の立遅れは小さくない。さらに外国からの技術導入は種々の点で不安を感じるのである。原子力発電の将来を考えれば、あきらかに国産技術の向上は必要であるし、それによって安全性の確保が向上して行くのである。原子力発電の国産化を推進する方策が望まれるのである。

原子力発電の立地については、種々の条件が考えられる。原子力発電用資材を運搬するのに便利な港湾、建設用地の地質、地形、気象、取水の容易さ、人口、電力需要地との距離などを考慮する必要がある。

第11表 わが国原子力発電所の立地概要

発電所名 項目	東海発電所	敦賀発電所	美浜発電所 1号 2号	福島原子力発電所 1号 2号
運転開始 (予定)年月	(1966—7)	(1969—12)	(1970—10) (1972—6)	(1970—10) (1973—5)
炉型式	GCR	BWR	PWR	BWR
電気出力	166MW	322MW	340MW 500MW	400MW 784MW
所在地	茨城県那珂郡東海村	福井県敦賀市	福井県三方郡美浜町	福井県双葉郡大熊町および双葉町
敷地面積	約 241,300m <sup>2</sup>	約 1,400,000m <sup>2</sup>	約 500,000m <sup>2</sup>	約 3,000,000m <sup>2</sup>
人口	(1955年現在) 半径1km以内 1,300人 1~5km 24,000 5~10km 77,000 10~20km 390,000 近郊都市 水戸市南西約15km 人口約 110,000人 日立市北西約14km 人口約 131,000人	(1965年現在) 半径1km以内 120人 1~5km 500 5~10km 5,500 10~20km 242,000 近郊都市 敦賀市南約 11km 人口約 54,508人	(1965年現在) 半径1km以内 0人 1~5km 700 5~10km 7,000 10~20km 70,000 近郊都市 敦賀市南東約 11km 人口約 54,508人	(1965年現在) 半径1km以内 0人 1~5km 9,500 5~10km 26,000 10~30km 99,000 近郊都市 原町市北約 25km 人口約 41,000人
地形	太平洋岸沿いの砂丘地帯	日本海岸の敦賀半島の東北端の海底湾にのぞんだ東西を丘陵および山岳地帯にかこまれた平地。 掘削量約 34 万 m <sup>3</sup>	日本海岸の敦賀半島の西北端の丹生湾を形成する岬南部と海面埋立地よりなる。岬南部の西半部は丘陵、東半部は平地。 掘削量約 32 万 m <sup>3</sup>	太平洋岸沿いの標高約35mのほぼ平坦な丘陵地帯で東側は急しゅんな断崖 掘削量約 130 万 m <sup>3</sup>
地質	砂質泥岩	花崗岩	硬質黒雲母花崗岩	泥岩
地震		丹後地震 1927.3 M=7.4 震央距離=約 90km 福井地震 1948.6 M=7.2 震央距離=約 40km 越前岬沖地震 1963.3 M=6.5~7.0 震央距離=約 20km	同 左	塩屋崎東南方沖地震 1938.5 M=7.5 震央距離=約 70km 福島県東方沖地震 1938.11 M=6.5 震央距離=約 70km
取水	復水器冷却水 前面海域に約 500mの取水用鉄管を敷設 淡水 約2km離れた沼(約7km離れた河川より導水)より取水	復水器冷却水 浦底湾より取水 淡水 付近の溪流および池より取水	復水器冷却水 丹生湾より取水 淡水 約 3km離れた河川より取水	復水器冷却水 前面海域に取水・港湾併用の防波堤を構築 淡水 深さ 250mの深井戸数本より取水
需要地までの距離	約 130 km	約 150 km	約 150 km	約 260 km

野口弘太郎, 通商産業研究, No. 148, p. 95, (昭和 43 年).

わが国における原子力発電の建設地は第 11 表にみるごとくすべて海岸に建設されている。これはわが国の地形上より来るものである。すなわち、わが国は、山地が多く、原子力発電所建設資材運搬の道路に乏しい上、冷却水を得る

に必要な流量の安定した河川湖沼が少ないなどによる。また、放射性排水の問題なども考慮すると内陸よりは海岸の方が便利なのである。

ところで、わが国の人口は大部分が海岸地方の平地帯に分布し、また諸工業も臨海地帯に多いため立地基準に照らして適当な発電所建設地の選定は困難な問題となっている。幸いにも、過去十数年にわたる世界各国の原子炉運転実績によりその安全性が認められ、経済性の向上、技術の進歩等によって、原子力発電の評価が高まってきた。これと共に原子力発電と諸企業との結び付きが考えられるようになった。安全性の増加により工業地帯附近への設置が可能となれば、工業地帯に近く、比較的人口密度の低い海岸に建設用地を求める途も開かれるであろうし、また人口の少ない島全体を一大工業地としてその中に原子力発電所を設置するとかの方法も考えられよう。工業地帯より離れて原子力発電所を設置し、送電するための設備や送電損失などを考えれば、このような建設用地の開発をわが国では考慮すべきものと思われる。原子炉格納施設の強化改善、原子炉の耐震設計地盤の補強強化などの研究により原子力発電の安全性をさらに高めることが立地問題を解決する有力な方法なのである。

5 原子力発電の多目的利用

わが国は国土が狭く、エネルギー源や工業用原料の多くを海外に依存している。従って、将来のわが国の経済的发展におよぼす原子力発電の影響は非常に大きい。わが国の部門別電力需要推移と大口電力実績とをそれぞれ第

第12表 部門別電力需要推移

昭和 年度	鉄工業部門			エネルギー 部門	運輸部門	農林水 産部門	民生その 他部門	計
	鉄	鋼	その他					
35	3.654	14.351	18.005	2.016	1.213	0.106	3.968	25.308
36	4.542	16.295	20.837	2.124	1.323	0.112	4.700	29.096
37	4.344	17.174	21.518	2.402	1.426	0.113	5.630	31.089
38	5.214	19.733	24.947	2.426	1.571	0.116	6.614	35.674
39	5.922	21.576	27.498	2.655	1.761	0.138	8.080	40.132
40	5.896	23.556	29.452	2.757	1.921	0.140	8.793	43.063
45	9.0	36.6	45.6	4.9	2.9	0.2	14.5	68.1
50	12.1	56.0	68.1	7.3	4.4	0.2	22.3	102.3
60	14.7	127.1	141.8	14.1	8.6	0.2	47.5	212.2

単位：10<sup>13</sup>Kcal 通商産業省大臣官房総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」（昭和43年版）、通商産業研究社

第13表 大口電力需要実績

(9電力分)

(単位: 10<sup>6</sup>kwh)

産業別		年度別								
		35	36	37	38	39	40	41	42	
鉄業	石炭鉄業	2,689	2,685	2,610	2,513	2,398	2,441	2,457	2,300	
	その他	802	847	860	860	942	1,001	1,264	1,221	
	計	3,491	3,532	3,470	3,373	3,340	3,442	3,721	3,521	
製造業	食料品製造業	621	782	938	1,081	1,286	1,428	1,621	1,864	
	繊維工業	2,165	2,815	2,785	3,053	3,346	3,565	3,757	4,083	
	パイプ、紙、紙加工品製造業	4,546	5,090	5,375	5,902	6,219	6,366	6,970	7,277	
	化学工業	アンモニア系肥料製造業	4,541	4,698	4,363	4,985	5,408	5,750	6,451	5,902
		石炭窒素製造業、電炉工業	3,902	4,808	4,423	5,179	5,628	5,297	5,497	6,083
		ソーダ工業	2,022	2,298	2,269	2,382	2,620	2,667	2,984	3,550
		その他	1,199	1,284	1,274	1,528	18,55	1,908	1,962	2,047
		計	1,4520	16,634	16,405	19,003	21,342	22,067	24,562	25,876
	石油製品・石炭製品製造業	石油製品・石炭製品製造業	319	392	416	410	443	532	640	725
		ゴム製品製造業	441	523	599	668	714	716	791	937
セメント製造業		1,390	1,705	1,958	3,236	2,603	2,738	3,130	3,521	
鉄鋼業	高炉による製造業	2,624	3,444	3,658	3,512	4,118	4,177	5,084	7,083	
	その他	9,815	11,855	10,585	12,978	14,435	13,731	15,743	18,003	
	計	12,439	15,299	14,243	16,490	18,553	17,908	20,827	25,086	
	アルミニウム第一次製錬・精錬業	1,475	1,819	1,956	1,969	2,007	2,223	3,597	2,925	
機械器具製造業	電気機械器具製造業	1,098	1,346	1,451	1,566	1,680	1,650	1,933	2,341	
	輸送用機械器具製造業	1,411	1,666	1,720	2,106	2,556	2,785	3,419	4,335	
	その他	693	858	957	1,096	1,199	1,242	1,477	1,838	
	計	3,202	3,870	4,128	4,768	5,486	5,677	6,829	8,514	
	その他	3,459	4,245	4,587	5,486	6,241	6,788	7,734	9,261	
	小計	45,074	53,174	53,390	61,066	68,187	70,007	80,458	90,069	
	計	48,566	56,706	56,360	64,439	71,527	73,448	84,179	93,590	
国民	国有鉄道業	1,201	1,432	1,670	1,912	2,384	2,942	3,360	3,694	
	公営鉄道業	2,342	2,488	2,667	2,904	3,103	3,227	3,370	3,544	
	その他	1,814	2,062	2,324	2,582	2,818	3,041	3,369	3,911	
	計	5,357	5,982	6,661	7,398	8,305	8,305	10,099	11,149	
	合計	53,923	62,688	63,521	71,837	79,832	82,659	94,278	104,739	

通商産業省大臣官房編総合エネルギー政策課編「総合エネルギー統計」(昭和43年版). p.195, 通産産業研究社.

12表および第13表に示す。第12表に示したごとく電力の多くは鉄工業部門で消費されている。その中では第13表であきらかなように鉄鋼業、化学工業がその多くを占めている。また、アルミニウム産業は全体のエネルギー消費としては少ないが、アルミニウム1トンあたりの電力消費量は17,000kWhと

莫大なるものである。これは鉄鋼一貫工場の粗鋼1トンあたりのその400kWhと比べて非常に大きい。

また、工業地帯においては工業用水の確保が重要な問題である。鉄鋼、化学、繊維などのわが国の経済成長を支えている諸工業はいずれも大量の水を必要とする。わが国の工業用水と飲料水などをあわせた水の年間総使用料は現在約700億トンと言われているが、1980年には約2000億トンに達すると見られ工業用水確保のため何らかの方策を考えねばならない。

この水を従来と同じように河川や地下水にだけ頼ることは不可能であり、海水の淡水化が注目されるのは当然である。わが国での海水の淡水化は水1トン当り約100円かかると言われており、副産物として塩をとるにしても水1トン当り60円程度にしかならないという。工業用水は少なくとも1トンあたり25～30円でないと使用し得ないと言われている、米国では原子力を使って水1トンあたり25円程度にし得るとしている。

原子力発電により、このような問題解決の構想を立てることは容易なことである。原子力発電所を中心として、その周囲に工業用水を確保するための海水淡水化工業や鉄鋼、化学、アルミニウム工業などエネルギー多消費の産業をおく。さらにまた海水からは、電解により生ずる水素によりアンモニアを合成し肥料工業をおき、水や肥料を用いて農耕も考える。それらに要する電力は原子力発電によってまかなうのである。

最近、鉄鋼関係では、粘結炭の不足などから、コークスを使わない原子力製鉄技術の開発を考えている。以前より、わが国は、臨海工業地帯に製鉄所を集約し超大型高炉の採用により、コスト面で大幅な合理化を行ってきた。しかし、製鉄所規模の大型化は有効なエネルギー源である強粘結炭を多量に必要とするのであるが、強粘結炭の国際価格が値上がりし、一方安い重油の使用は亜硫酸ガスの公害をとまなうという困難にぶつかっている。このような状況から、鉄鋼協会は原子力部会を設け、エネルギー源として、原子力を使う問題に取組もうとしている。

## 6 結

以上原子力発電の経済性、安全性、立地および将来の利用方向を論じ、原子力発電は経済性と安全性の向上によって我々に身近な存在となりつつあることを知った。その際、問題となるのは、建設用地である。狭いわが国でこの問題を解決するには住民との話し合いは勿論のこと、原子力発電の経済性を考えるあまり安全性をおろそかにすることのないようにし、建設された発電所の実績によってその安全性を立証して行くという地道な方法が重要であろう。こうした地道な方法によって国民の核アレルギーを除去し、理解協力を得てこそ原子力発電のみならず、原子力という新しい有力なエネルギーを多方面に有効に役立たしめることができるのである。

多くの教示を受けた本学商学部北原三郎教授に感謝する。また「電力利用の発達」の項は商品大辞典（東洋経済新報社昭和 37 年）を参考にした。ここに記して感謝する。

（一橋大学助教授）