

最近の原子力産業の展望*

森 一 久**

1. ま え が き

去る昭和38年10月26日午後4時59分、茨城県東海村の日本原子力研究所では、アメリカから輸入建設中だった試験研究用原子力発電所（JPDR）が、わが国最初の原子力発電をはじめた。世界各国では、現在10箇国（アメリカ、イギリス、ソ連、カナダ、フランス、イタリア、西ドイツ、スエーデン、ベルギー、ノルウェー）で合計約250万kWの原子力発電所が運転しているから、日本はこれで11番めの原子力発電所有国になったわけであり、わが国でも原子力を軸とする一種産業革命のとばりが開かれたものとして意義深い。

去る昭和29年日本ではじめて原子力の国家予算が支出されてから足かけ10年、その間にわが国では、このJPDRを含めて8基の原子炉が運転を開始しており、建設中のものを含めれば、13基の原子炉がある。その概要は第1表のとおりだが、そのうち6基は技術的には一応国産といってもいいものである。このような原子炉をはじめとする原子力の研究開発利用のために投入された資金は、政府予算として約500億円、民間産業がほぼ同額、合計では約1000億円にもな

る。原子力関係の技術者も、日本原子力研究所、原子燃料公社などの政府関係開発機関に1500名、民間会社などに約2500名、大学等を合わせて約4500名に及ぶ。

このように原子力の本命といわれる原子力発電が火力発電と経済的に競争できるようになるのは、なお数年先だとはいえ、すでにわが国においても原子力開発のにない手であり、また技術発展の場となる原子力の産業はすでに存在し、現実生命をもっていることはいうまでもない。

しかしながら、原子力ほど関連分野が広くまた社会・政治との関係が深く、その淵源から実用化への行程の長いものはないであろう。在来のいわゆる技術革新と呼ばれたものは、どれ一つをとってみても、それが生れてきたときから、すでに特定の実用分野をはっきり持っており、そこにおける生産・需要の関係を足がかりとして次の分野へ、あるいは徐々にあるいは爆発的に、拡大していくことができた。合成繊維、電子工業など、その実例をあげる必要もないくらいである。ところが、ただ原子力のみは、人類の前に現われ出たときが、原子爆弾という全く破壊的な姿であったのはいたし方ないとしても、その巨大なエネルギーに暗示さ

第1表 日本の原子炉

炉 名	総 出 力 (電気出力)	形 式	所 有 者	主 要 建 設 者	完 成 月 (年)	建設費(燃料を除く) 億円
研 究 炉						
JRR-1	50 kW	ウォータボイラ	原 研	North American 社 (アメリカ)	1957. 8	3.4
JRR-2	10 000 kW	c p-5 形	原 研	A M F 社 (アメリカ)	1960. 10	12.8
JRR-3	10 000 kW	天然ウラン重水	原 研	原 研 (国 内 分 注)	1962. 9	23.8
JRR-4	1 000 kW	プ ー ル	原 研	日 立	1964	6.3
立 大 炉	100 kW	トリガ II	立 教 大	General Atomics 社 (アメリカ)	1961. 12	3.0
関西研究炉	1 000 kW	プ ー ル	京 大	日 立	1964	26*
日 立 炉	100 kW	プ ー ル	東京原子力	日 立	1961. 12	4.5
東 芝 炉	100 kW	プ ー ル	日本原子力	東 芝	1962. 3	4.0
三菱研究炉	30 kW	タ ン ク	三 電 機	三 電 機	1963	3.0
近 大 炉	0.1 W	U T R	近 畿 大	A R S S 社	1961. 11	1.2
武工大炉	100 kW	トリガ II	武 蔵 工 大	General Atomics 社 (アメリカ)	1963. 1	6.0
発 電 炉						
J P D R	45 000 kW (11 700 kW)	沸 騰 水 形	原 研	G.E. 社 (ア メ リ カ) (日本: 東芝・日立)	1963. 10	42.8
JAPCO-1	585 000 kW (157 000 kW)	天然ウラン・黒鉛・ガス冷却形	原子力発電会社	G.E.C. 社 (イ ギ リ ス) (日本: 富士電機)	1965. 3	350

* この項のみ関係研究費を含む。

* 原稿受付 昭和38年11月9日, ** 原子力産業会議(東京都港区芝田村町1の1)。

れるよう
時間を要
はじめて
電気がつ
も、その
は、従来
ための計
の副産物
でに電圧
た存在で
しっかりし
の道程は、
シスを攻
このよう
役割を果し
的な理由
子力発電の
上ついた気
れようと
と問題点を

そもそも
るのだらう
い、電気機
普通の産業
存在しない
かわらず
われるのは
質的に特異
う事業を営
制をとらな
らである。
たとえば
合には“溶
て現われる
スコールダ
m 内田 14
題であり、
かったほど
予定された
が、材質の
精度等にお
のものなら
れている。
は、原子力

れるような広大な利用分野を開拓するには非常に長い時間を要する。原子炉というもの人類の手で世界ではじめて動いてから今年で23年、原子力ではじめて電気がついてからでももう13年という年月をとっても、その長さは想像がつく。その上、原子力の発展には、従来の革新技術におけるような、実用分野開拓のための前進基地がほとんどないように見える。原子力の副産物であるアイソトープの利用はたしかに現在すでに幅広く実用化されてはいるが、それは薄く広がった存在であって、そこをもとにして次に進めるような、しっかりした基地といったものではない。原子力開発の道程は、飛石基地にもない隔離した広大なオアシスを攻略する、巨大な物量作戦に似ている。

このようなところに、原子力開発に国家が先導的な役割を果し、産業のあり方が独特の様相を呈する基本的な理由がある。昨今、エネルギーの総合政策から、原子力発電の地位が再確認され、原子力開発が、一時の上ついた気配でなく、落ち着いた着実なムードで推進されようとしているおりから、わが国原子力産業の現状と問題点を展望するのも意味あることであろう。

2. 原子力産業の基本的性格

そもそも果して“原子力産業”という産業が存在するのだろうか。鉄鋼を生産する産業を鉄鋼産業といい、電気機器を製造する産業を電機産業というような普通の産業分類の意味では、原子力産業というものは存在しないといったほうが正しいかもしれない。にもかかわらず、“原子力産業”という言葉がしばしば使われるのは、原子力の出現によって、産業がきわめて質的に特異な影響を受けるとともに、原子力生産という事業を営むためには、産業の側がそれに対応した体制をとらなければならないという特異の理由があるからである。

たとえば、機械工業にとっては、原子力は、ある場合には“溶接”の問題としてまた“材料”の問題として現われる。日本原子力発電所の東海発電所（イギリスコールドホール改良形）の場合でいえば、直径18.5m内圧14kg/cm²という球形容器の製作が重要な問題であり、その材料・現地製作には、従来の分野になかったほどの重要な問題を提起する。その結果、最初予定されたイギリスColvilles社製Coltuf 28鋼板が、材質の点から国産の日本製鋼のものに切換えられ、精度等において十分な溶接も施工され、今後この程度のものならもっと経済的に国産も可能であろうといわれている。また従来電極を主たる用途としてきた黒鉛は、原子力の出現によって減速材としての新たな分野

を開く可能性をもつに至った。原子炉用の場合は、中性子吸収物質の除去、高密度、非方向性、不侵透性、強度の向上などの新たな要求が加わり、製造工程の高度化を強いられることになる。鋼材等の場合と同じく中性子（あるいは温度等との相関）に対する性質をしらべるには、高中性子束原子炉（材料試験炉）というような巨大な施設を必要とする。

いきなり端的な実例を示す結果になったけれども、“原子力産業”というのは、厳密に言えば原子力の出現によって質的に前向きの影響を受ける産業ということができようであろう。

このような産業としては、従来の産業分類でいえば、電気機械製造業、造船造機業、鋁業、鉄鋼業、化学工業、繊維品製造業といった6業種くらいが最も大きい役割を果している。上記の例でもすでに現われているように、原子力では単なる一業種一会社の範ちゅうに属さない課題が生じやすいことから、会社同士の協力ないしグループ化が促進されることになる。原子力5グループといわれるものがそれであるが、古河-富士系、日立-昭電系はグループ化により共同の研究所をもっており、三菱、三井、住友の3グループでは、さらに窓口となる共同出資会社（三菱原子力工業会社—25億円、日本原子力事業会社—20億円、住友原子力工業会社—16億円）をもつに至っている。これら3社は、いわば原子力専業の会社であるが、原子力分野でのそのウエイトは、さきにあげた6業種のトップ電気機械製造業に比肩するくらい大きなものとなっている。しかしながら、これら専業会社は、原子力だけを業とするという点から、原子力開発の浮沈をもろに受けることになり、いわば人体における扁桃腺のような役割を果すことがしばしばある。

一方電気事業は、原子力産業の中では特異な立場にある。彼らは、原子力産業の中ではあくまでも買い手であり、基本的には原子力による電気が石炭・石油等による電気より経済的になるときにのみに、原子力発電を手がけるべき立場にある。日本の民間電気事業が、地域独占——供給責任という特殊な地位を与えられた公益事業であることと、原子力発電の開発には単なる研究開発以上の実際経験——実規模原子力発電所の建設——の累積が必要であることという二つの事実が開発政策上の二つの大きな課題を形成することとなる。

現在のところ大形原子力発電所のだいたいきまっている建設計画は第2表のようである。

これらの計画がそのとおりに進むか否かは、原子力産業の発展にとって決定的な条件となることはいうま

所、原子
民間会
名に及

発電が火
。なお数
子力開発
原子力の
ることは

くまた社
化への行
る技術革
も、それ
をはっき
係を足が
いは爆発
、電子工
である。
われ出た
ったのは
に暗示さ

建設費（盛
料を除く）
億円

3.4
12.8
23.8
6.3
3.0
26*
4.5
4.0
3.0
1.2
6.0

42.8

350

ary, 1964

でもない。そのためには、これらの計画の意欲的な進行を保証するような諸施策が実施されなければならない。原子力委員会をはじめ科学技術庁、通産省が、思いきった対策を打出すことが望まれている。

電気事業が原子力発電に取り組む上で、いわば障害となるといわれているものは、資金、核燃料、安全問題、災害補償の四つが主要な問題とされている。原子力発電は、コスト構成が水力と似て建設費が高く燃料費が安いので、資金の金利が kWh 当りのコストに非常に敏感にきいてくる。おおざっぱに言えば（総合）金利が 1% ちがえば、火力では kWh 当り 5~6 銭ぐらい違うが、原子力では 12~13 銭もきいてくる。さらに核燃料のウランは現状では海外に求めるほかはないが、その入手には政府間の取りきめを必要とする。原子炉の中で燃やした使用済発電炉燃料は大洋を越えて外国へ運送するには多くの困難があるので、使用済燃料中のプルトニウムとともに、買いもどしなどの国家の措置が明確にならなければコスト計算も最終的にはつきりしない。

安全性については、原爆被災国としての国民感情のもとで、また技術の進歩変動のはげしい原子力の現状のもとで、原子力発電所の安全審査の基本理念をどこにおくかということにきわめてむずかしい問題を伴う。これも結局はコストに反映する問題だけに、はっきりした政策が確立されることがのぞましい。災害補償体制は、万一の災害時の損害賠償制度の問題であるが、現状は、諸外国とちがって、きわめてあいまいな形で、最終的には三方一両損のような制度になっている点は、原子力発電着手に際して一つの精神的障害となりうる。

このような原子力発電の推進策は、いずれもその開発体制のあり方にとすれば触れるような面をもっていることは事実である。最初から述べているように、原子力開発のような長期的で特殊な性質をもっている事業の推進には、政府と産業との息の合った協力がなくてはならない。このようにして、原子力の“買い手”である電気事業と政府との間の有機的協力の成否は、原子力の“売り手”である原子力産業（メーカ）の死命を制するほどの重大事となっているのである。

3. 経済面からみた原子力産業の現況

以上のような意味での“原子力産業”の現況を知るために、それについての統計数字をしらべてみよう。何らかの形である程度原子力に関係をもつ会社の数は約 170 社であり、これは近年横ばいを示し、原子力産業がある程度の固定化と落着きの状況に達しつつある

ことを示すと言えるであろう。しかしそれを業種別にみると、かなりの異動がみられ、たとえば食品工業のように、当初放射線による食品の殺菌保存の面から 10 社近くがその研究開発を手がけていたのに、一昨年あたりは 1 社もなくなっている（対照的なことだが、昨今、外国では食品照射が実用に達する顕著な動きがある）という例もあるし、反対に機械製造業のように、ここ数年の間に原子力を手がける会社数が倍増し、25 社にも達しているという業種もある。

第 2 表

	電気出力	地 点	着 手	完成予定
日本原子力発電	166 MW	茨城県東海村	昭和 35	昭和 40. 3
" "	250~300 MW	福井県敦賀市	39	43. 4
関西電力	270 MW	福井県美浜町	39	44. 10
中部電力	250 MW	(未発表)	41	45. 10
東京電力	350 MW	福島県二葉町	41	45. 10
計	~1 300 MW			

第 3 表 業種別にみた原子力関係雇用状況
(昭和 37.3 現在、原子力産業調査)

業 種	回答数 社	事務系 名	技術系 名	うち 新大卒 以上	工員 名	合計 名
食 料 品 製 造 業	0	0	0	0	0	0
織 維 品 製 造 業	9	3	64	63	34	101
パルプ・紙・紙加工品製造業	5	3	8	8	47	58
化 学 工 業	19	16	100	67	56	172
医 薬 品 製 造 業	2	0	16	16	6	22
石 油 精 製 業	4	4	11	7	3	18
ゴ ム 製 品 製 造 業	3	1	14	14	15	30
窯業・土石製品製造業	5	15	84	51	228	327
鉄 鋼 業	15	54	169	131	265	488
非 鉄 金 属 製 造 業	6	33	85	66	108	226
機 械 製 造 業	21	26	77	71	29	132
電気機械器具製造業	19	361	1 151	594	654	2 166
輸送用機械器具製造業	1	0	1	1	1	2
精密機械器具製造業	2	8	7	5	155	170
造船・造機業	9	42	193	177	380	615
鉄 業	6	10	36	28	59	105
建 設 業	7	25	83	79	117	225
運 輸 業	4	3	15	15	0	18
原 子 力 専 業	5	263	343	221	9	615
そ の 他	1	27	16	5	0	43
合 計	143	894	2 473	1 619	2 166	5 533

第 4 表 原子力予算と原子力関係支出高（鉄工業）

	原子力予算 A 100 万円	鉄工業における支出高 B 100 万円	B A+B %
昭和 31 年度	2 020	1 000	33.1
32	6 000	4 000	40.0
33	7 793	5 500	43.0
34	7 419	7 500	50.3
35	7 726	9 500	55.1
36	7 683	12 300	61.6
累 計	38 641	39 800	50.7

* 出資金、会費・負担金を含む。

原子力産業に
5500 名、うち工
電気機械器具製
系の比率をみると
をもつ在来産業
大学卒以上の率
も述べるように
した人員が、世
野に分散すると
の収穫期までの
はきわめて重大
資金面から原子
現在までに使っ
べてみると次の
原子力の研究・開
は、昭和 36 年度
が研究のための
のための費用）
この額がどの
めに、他の既成
一つのめやすに
密に比較してみ
てこの額はだい
良のために使っ
何千億円という
ぐ後で述べるよ
ない。この支出
っていることは、
この支出高と
出だけで政府予
政府予算と同額
は、世界でも例
会議の調査によ
関係支出額は、
ドル、電力業界
(360 億円)であ
力予算は約 26 倍
力発電の研究開
間原子力産業の
る。他の国では
このような数
な部分が現実
いう点で、日本
ある。それでは
るであろうか。
の売上げとなっ

原子力産業における雇用状況は第3表のごとく、約5500名、うち工員約2000名であり、その約2/5は電気機械器具製造業で占められている。事務系と技術系の比率をみると、1:2の割合で、すでに経済基盤をもつ在来の産業とはちょうど逆に技術系とくに新制大学卒以上の率がきわめて高い。しかしながら、後でも述べるように、せっかく原子力の分野で技術を修得した人員が、仕事の継続的發展がないために、他の分野に分散するといった例が多く、10年後の原子力産業の収穫期までの間に、必要人員を養成し温存することはきわめて重大な課題といえるであろう。

資金面から原子力産業をみるために、原子力産業が現在までに使ってきた支出高と、同じく売上高をしらべてみると次のようになる。すなわち原子力産業が、原子力の研究・開発・利用のために支出している額は、昭和36年度で約120億円、(うち約6割70億円が研究のためのもので、残りの約50億円が製品生産のための費用)である。

この額がどの程度の大きさのものであるかを知るために、他の既成産業の研究開発費と比べてみることは一つのめやすになる。この種の統計数字はあまり厳密に比較してみても意味は少ないが、おおざっぱにいてこの額はだいたい自動車産業が自動車の研究開発改良のために使っている額にはほぼ等しい。自動車は年間何千億円という売上げをもつに対して、原子力はすぐ後で述べるように、その売上げは100億円にも満たない。この支出が原子力産業にとって大きな負担になっていることは、これだけで想像がつく。

この支出高と政府の予算と対比してみると、研究支出だけで政府予算とはほぼ同額である。産業界の支出が政府予算と同額ないしはそれをりょうがするというのは、世界でも例がない。たとえば、アメリカ原子力産業会議の調査によると、一昨1962年の産業界の原子力関係支出額は、原子力産業(メーカ)関係約4064万ドル、電力業界で約5970万ドルで合計約1億ドル(360億円)である。これに対してアメリカ政府の原子力予算は約26億ドルであり、純粋に平和利用の原子力発電の研究開発予算だけでも2億5000万ドル、民間原子力産業の支出額の6倍を越えた額となっている。他の国ではこの関係はもっと顕著なものがある。

このような数字からみると、原子力研究開発の大きな部分が現実に民間産業の負担において進められるという点で、日本は諸外国とは基本的に異なった状況にある。それでは、原子力産業の売上高はどうなっているであろうか。昭和36年度は約60億円が原子力関係の売上げとなっているが、この額は、さきに述べた研

究開発費の額にも足りない。普通の産業で、総売上高の数%を研究開発費にあてている状況とは比較にもならないものであり、従業員1人当りの売上高でみても、約100万円という低額であり、普通産業の約数分の1に足りないものである。原子力研究開発の大きな部分が政府予算によっている国においては、政府予算で進められる計画が、原子力産業にとっては技術発展のための潤滑油としての需要を喚起している。たとえば、アメリカ国勢調査局の報告によると、一昨1962年中にアメリカ民間産業が生産した主要原子力関係製品出荷高は合計で約2億6300万ドル(約930億円)であるが、そのうち約6割の1億6400万ドルは、原子力委員会(AEC)をはじめとする政府関係機関向けのものであった。このような需要と、政府の研究開発予算とにささえられて原子力研究開発が進んでいるのが、諸外国における普通の姿であるといえよう。

さて、この章で述べたような数々の統計数字によって日本の原子力産業の量的な状況はだいたい想像できるであろう。すなわち、原子力に関係をもつ会社数はだいたい固まってきているが、またその人員はかなりの規模に達しているが、原子力関係の需要はきわめてぜい弱であって、必要な研究開発費をねん出するには全く問題にならない状況にある。諸外国とちがい、政府の原子力予算が相対的に少なく、電気事業の原子力発電計画がまだ具体化せず、その方面からの需要が現実化しない現状では、各企業は、原子力以外の部門であげた利潤の中から遠い将来の原子力事業のための研究開発費を支出しつづけているという状況にある。原子力のようなせん端の技術に対する研究開発は、同企業内の他部門の技術に間接的な刺激効果をもたらすという一面はあるとしても、このような状況がつづくのでは、将来の原子力時代を迎えるまでの間に、諸外国との国際競争面においておくれをとる心配があることは、否定しえないであろう。

4. 今後の課題

前章で述べたように、日本の原子力界にはすでに1000億円の経費が投じられている。そして輸入、国産合わせて13基の原子炉が運転中ないし建設中であり、そこで得られた経験の中には、すでにわが国の機械工業をはじめとする重化学工業の中に根をおろしつつあるものもある。最初に述べたように、原子力工業の基本をなす材料部門においてさえ、先進国のそれを質的にりょうがするものさえある。原子力はいわゆる総合技術であり、一、二の分野が進んでも、それだけで原子力全体で諸外国と対等に競争できるとは言えな

いけれども、これらの経験の集積によって十分その線に到達する素地は存在するといっているであろう。そのときまで、企業によっては重い経済負担に長く堪えていけるかどうかという問題は残るけれども、このような経験が有機的に集積されてさへ行くならば、将来は必ずしも暗くないといっているであろう。

しかしながら日本の原子力開発には、以上のような将来へのみとおしを不明確にしている基本的な問題が存在する。それは、日本の開発路線が、諸外国のような一貫性がないという点に起因している。アメリカのような軍事利用を主軸に膨大な原子力計画を進めている国は別としても、イギリスにしろ、フランス、カナダにしろ、ほとんどすべての国は原子炉開発にはきりした路線をもっている。イギリス、フランスはガス冷却形を主軸に、カナダは重水減速形に集中していることは周知のとおりである。ひとりわが国のみ、第1表、第2表にもみるように、炉の開発形式はきわめて多様であり、一つの炉開発で得られた技術的経験を次

の炉に生かすという面がきわめて少ない。イギリスやカナダの資料でみても、一つの炉形式を経済規模のものにまで開発するには、少なくとも100億円~1000億円の資金と10年間の年月を要するのである。

日本において、明確な路線を打出しえないのには、政府、民間の一致した体制と計画の欠除に起因する面があることは否定できないが、わが国が諸外国に10年以上おくらせて原子力開発に着手したという特殊事情による面も否定できない。おくらせて着手したという事情は、先進国の成果を能率よく取入れて、少ない資金と短い年月で効果的な開発を進めようという有利な面も存在する。

ある炉の建設経験からせっかく得られた技術や人員が、その後の開発作業に役立つことなしに死蔵されるようなことをなくするには、原子力研究開発の施設等が一応整備されてきたころあたりで、基本的に開発路線を明確にすることが重要であると思われる。



イギリス原子力公社の業績

イギリス原子力公社の Windscale にある Advanced Gas-Cooled 原子炉は National Grid にすでに 6800 万単位の電力を供給した。今までにこの原子炉に使用した燃料要素は 3 万に達したが失敗は一つもなかった。

また Dounreay にある 高速中性子原子炉の最高能力は 60 MW の熱力 (約 16 MW の電力) に達し、Grid に 450 万単位の電力を供給した。

同公社の原子力計画は第1段階が完了し、現在第2段階にはいったところである。この段階の目標は民間の原子力発電所の高速中性子原子炉系の原形に使用することのできる燃料の照射に原子炉を使用することである。

最近イギリス原子力公社が年次報告書を発表したが、その中で同公社の会長 Sir Roger Makins は、1962 年 3 月 31 日に終わった 1 箇年におけるイギリスの原子力計画の進捗状態を次のように報じている。

「国防上の必要から本年の秋までに核燃料をウラン 235 で濃縮する計画が立てられたので、これに伴って公社の Capenhurst 工場の職員を 2000 人減員するこ

とが考えられていたが、1 人も首を切ったり退職させたりしないで計画の第1段階を無事完了させることができた。」

なお報告書によれば公社の 1963~64 年度の経費は約 6000 万ポンドの予想で、前年度に比べ 767 万ポンドの減少である。核燃料、黒鉛、アイソトープの前年度売上高はその前年度の約 2 倍の 2700 万ポンドであった。また National Grid からは電力代として 750 万ポンド受取った。

また報告書によれば、1962~63 年度のコールダホールおよびチャペルクロスにおける原子炉による発電量は前年度に比べ 13% の増加を示し、燃料補給のために必要な原子炉の休止期間は 19 日間に短縮された。コールダホール原子炉が初めて使用された年にはこの期間が 77 日間であった (C. E. G. B の原子炉は休止しないで燃料の入れ替えができるように設計されている)。コールダホールとチャペルクロスの原子炉はその能力が高まって、現在、発電能力の 92% の出力を維持している。

(Financial Times, 1963-7-11)
(日本科学技術情報センター提供)

ワイヤロープ検査機、カナダで折り紙つき

この記事は本誌 Vol. 66, No. 537 (昭 38-10), p. 1307 に掲載されましたが、その後検査機および検査データの詳報が到着しましたのでお知らせします。径 1 in 前後の各種 Round Strand, Flattened Strand についての実測結果を示しています。著者、タイトルおよび雑誌名は下記のものです。なおこの第 9 号は鉾山

事故防止特集号で、たとえば「1958~62 のオンタリオ鉾山におけるホイスト事故」と言った記事などがあります。

J. G. Lang, *Non-destructive wire rope testing in Ontario, Can. Mining J.*, Vol. 84, No. 9 (1963), 60.

(日本科学技術情報センター提供)