



諸外国における原子力発電開発の現状

—— テンポが早まったというのは錯覚ではないか ——

森 一 久

一昨年末原子力基本法が成立し、昨年はじめ原子力委員会が発足して以来約一年半になる。原子力発電を急ぐべしとする初代原子力委員長正力松太郎氏の政策と諸外国からの原子力名士の相次ぐ来朝によつて、当初設定せられていた原子力基本政策も変更を余儀なくされた形となりつつある。つまり湯沸し型原子炉、CPI型原子炉、国産炉といった一連の研究用原子炉から地道につみあげ、約一〇年といった時間の間に国産の動力炉をつくらうと考えた基本的構想は旗色がわるくなつた。それは、諸外国、就中英米の原子力発電開発のテンポが一年半前に予想されたよりも急激に早まったためだといわれている。もしそうならば、一年半前に考えられた計画をねりなおし、研究用原子炉につながる基礎研究と動力炉開発とを全きりはなし、後者についてはもつぱら外国からの既製品ないし半既製品の動力炉の輸入に頼つてゆこうという原子力計画の改編も一応合理的・科学的なものといふことができるだろう。

だが果して、諸外国の発電開発が近來急激にテンポを早めたというのには真実であろうか。

イギリス——技術の飛躍よりも政策の飛躍があるのみ
まずイギリスに例をとろう。世界で現在稼働中の唯一の工業規模の原子力発電所は、イギリスのコールダーホールである。このことこそイギリスが原子力発電において世界の先進国とせられる所以でもある。そこで、今更いふまでもないことだが、この発電所はその三年半前一九五三年四月に建設が開始されたものであり、工期は最初から三年半という予定であつた。従つてこれが昨年一〇月完成して三万数千KWの電力を生産しはじめる位のこととは四年も前からわかつていたことである。

それではこのイギリスの最初の偉業において、何か技術的に予期しない進歩があつたかといふと必ずしもそうとはいえない。そもそもイギリスでは一九五一年ハイルウェル原子力研究所において原子力発電所の設計が開始され、一九五三年はじめに実施設計が完了していた。この発電用原子炉はPIPPA(ピッパ、プルトニウム生産・発電両用炉の略称)という受称をもつていた。当時イギリスでは、兵器用のプ

イギリスの各段階の発電炉の比較

	PIPPA	コールダー	CEA
原子炉熱出力 MW	143.7	182	550
炉出口ガス温度 °C	350	336	350
炉入口ガス温度 °C	180	140	160
最高被覆温度 °C	400	408	420
炉心容積 ft ³	15,100	15,900	30,400
耐圧容器の厚み in	2	2	3
高圧蒸気: 温度 °C	330	310	320
・圧力 kg/cm ²	28.1	14.7	23.0
低圧蒸気: 温度 °C	330	172	320
・圧力 kg/cm ²	9.1	4.4	5.5
正味電気出力 MW	35	39	150
熱効 率 %	24.5	21.5	27

ルトニウム増産という至上命令が下り、たまたま設計済みであつたこのPIPPAを設計しなおし、発電の効率よりもプルトニウム生産量を最大とするよう変更を加えた。その結果つくられたのがコールダーホール原子力発電所であるが、「発電」という点から技術的にみれば、このコールダーホールは、前のPIPPAよりもむしろ退歩したものであるといつても過言ではないのである。このことは上表をみていただければわかる。

このようにみてくれば、少くとも昨年一〇月までのイギリスの原子力発電技術は、その三年前、一九五三年当時に予測されたよりテンポが早まったということとは全くないのである。ただしイギリスの場合は、

三年前に予想された速度と同じ速度で進んだことはたしかである。はじめての設備の建設が予定通り行われたことは、一つの成果であるにはちがいない。しかしあとでものべるようにイギリスの場合、そのための条件は完備していたのである。だが、もう一度くりかえしていえば、コールダーホールまでは、別にテンポが早まったといふことはない。さてコールダーホール以後はどうだろうか。周知のようにコールダーホールをつくる時、その出力を制限する要素は主として二つあつた。一つは炉心をおさめる鋼製耐圧容器である。黒鉛堆積物中の孔におかれたウラン棒からガスで熱をとりだすには、なるべく高い圧力でガスを流すのがよいことは明らかであるが、そのためには耐圧容器は厚いものでなければならぬ。コールダーホールを設計した当時は、このような直径二〇メートル近くの容器を現場で製作する際、現場で確実に熔接可能な厚みは二インチ(五センチ)であつた。この熔接可能の限界がコールダーホールの設計の一つの制限因子だつた。もう一つの因子は、ウラン棒のさやが耐えうる最高温度だつた。ガスをなるべく高い温度でとりだして蒸気をつくつた方が発電の効率も出力の絶対値も大きくなる。コールダーホールで使われたさや、は、マグノックSCとよばれるマグネシウム合金だが、この合金は摂氏約四二〇度以上で使用すると、とけたり破損のおそれがある。以上二つの因子がコールダーホールの出力を制限する結果となつた。

さて、昨年末イギリス中央電力公社(CEA)では四つの民間工業グループから原子力発電所建設の入札をもとめ、今年はじめ三つを発注している。これらの発電所においては、原子炉一基あたりの電気出

力がコールドホールその三、四倍となり、建設費も火力発電所のその二倍程度まで低下する見込みである。

その技術的進歩はどこにあつたかという点、それは現場で熔接可能な鋼板の厚みが、先の二インチから三インチ（七・五センチ）になつたことに尽きるといつてもよい。そのためガス圧を上昇させ、或いは炉心の大きさを拡大することが可能になり、一基当りの出力が急増することになつたのである。先にあげたさやの最高温度の方にはほとんど改良はみとめられない。（前頁表参照）

ここでまず注意しなければならないことは、これらの進歩は、決して高邁な原子力科学におけるものではなく、単なる熔接技術におけるものであるということだ。確實に、現場熔接できる厚みが一・五倍になつたというだけのことである。二〇メートルもの高さの耐圧容器を現場で火花ととりくみつつ熔接できるその厚さが一・五倍になるということが、そう簡単にできるといふのではないが、従来の技術における進歩が原子力発電の進歩をもたらしつてゐることを忘れてはならない。もう一つ注意したいことは、この進歩がすでに行われてしまつたのではないということである。現に現在稼働中のコールドホールにおいては、一日約一トンの炭酸ガスのもれがあり、その箇所を随時修理しつつある。中央電力公社の原子力発電所の中には、すでに建設を開始しこの耐圧容器の熔接をはじめつてゐるところもあるが、厚さ三インチ直徑三〇メートル近くの耐圧容器がいまだに確実でできるといふわけでもない。一九六〇／六一年頃の発電所の始動時までは確実になるという見込みがあるにすぎない。そしてその見込みが一〇中八、九

現するだろうというにすぎない。

日本は発電炉一つもつてないのだから、まず既製品を輸入してそれをまねるのが近道だ、といった議論は、まことに何もつともらしく、かつ万人の耳に通じやすい。だがいまのべてきたことからわかるように、原子力技術のかんりの部分は従来の技術に関連するものである。原子力で立遅れたわが国が先進国に追いつくために急がねばならぬことは単なる炉の輸入ではない。むしろこういった関連技術の育成にあるべきであり、炉の輸入もそういった観点にたつて行われるのでなければ意味がない。

ここで、はじめに立ちもどつて、日本の原子力計画が改定の止むなきに至つてゐるとすれば、それはどういう理由であらうか。いままでのべてきたイギリスについていえば、原子力発電技術の発展のテンポがここ一年の間に急激にましたという事実はない。しかし何の変化もないのに日本があつてゐるというのでもない。現にイギリスは昨年二月に発表した原子力発電計画（一九六五年までに一五〇万〜二〇〇キロワットの原子力発電所をつくる）を、本年に入つて一挙に三倍に拡大することを決定してゐる。しかしこれを原子力発電技術が予想外の発展を示したためと考えるのは早計である。

イギリスが原子力発電計画を拡大した直接の動機はスエズ問題であり、次に、イギリス経済のウエイトを原子力発電の輸出に移してゆくとする政策のあらわれである。このことはイギリス上下院においてミルズ卿などが言明してゐるところからも明らかであるが、スエズ問題が提起した動機は、イギリスのエネルギー政策における飛躍であつ

たし、原子力発電の輸出という認識は、イギリスの水爆完成と喪失をなす、原子兵器による武装平和の限界がもたらしたものとみるることができるのである。ただここにイギリスにとつて技術的に幸ひしたことがあるとすれば、それはイギリスの原子兵器開発が濃縮ウランでなく（天然ウランからの）プルトニウム生産という経路をとつて行われてきたことであらう。そのため原子力発電の開発がその兵器開発と全くは競合せず、むしろ技術的に相たすけることさえあつたという点である。要するにイギリスでは、技術の予想外な飛躍があつたのではなく、政策の飛躍があつただけである。したがつて日本の原子力計画に飛躍があるべきものとすれば、それは技術的進歩を理由とすべきではなく、別の理由から行われるものでなければならぬはずである。

アメリカ——技術的に計画上に、テンポはむしろおちてきた

さてアメリカの場合はどうだろうか。アメリカの原子力発電開発のすじ道はイギリスのそれとは大分ちがう。エネルギー事情の楽なアメリカでは、原子力開発において軍事と発電とが技術的に結びつく背景が乏しかつた。このことは、アメリカ最初の工業規模原子力発電所が軍艦用動力炉の転用であることに端的にあらわれている。つまりアメリカは戦時中から原子兵器用に濃縮ウランを大量に生産してきており、また一方で戦略上の必要から原子力潜水艦ノーチラスをはじめとする原子力軍艦の開発を手がけていた。英ソが本腰で原子力発電に着手したとき（一九五三年）、アメリカはそのときの手持ちの駒を投入す

ることによつてそれに対抗し、世界市場での優位をも保持しようとした。それが濃縮ウラン加圧水（或いは沸騰水）方式の発電炉である。イギリスの場合のプルトニウム生産と発電といったような連結は、アメリカの原子力発電技術においては、潜水艦と発電といったような末端的な形でしか表われなかつたのである。

そこでアメリカの原子力発電のテンポがここ一年早まつたということがあるだろうか。たしかに昨年来のアメリカ側の原子力発電の売込みはげしいものであり、本年五月日本で行なわれた日米合同原子力産業会議などではかなり露骨なものがあつた。イギリスの議会筋などでは「ころつき」だと酷評してゐるということである。

しかしこの売込みのはげしさの背後に技術的な裏付けがあるだろうか。現在のところ、原子力発電技術の情報のかなりの部分は、商業機密ないし軍事機密であるので、たしかなこととはわからないが、現象としてはこれと全く逆なことがおきてゐる。アメリカの原子力発電が立遅れたとしてAECを追及した両院合同原子力委員会に提出されたAEC資料によると、次頁の表のように、アメリカの原子力発電所の建設計画にはかなり大きな縮小を来しているようにみえる。

これらの中にはAEC自身の計画もあり、またAECと民間合同企業との共同計画もあるが、いずれも完成期日の遅延、建設費の増大を示している。その他の資料を示すまでもなく、アメリカの原子力発電のテンポは早まつたどころかむしろかなり停滞してゐるとみるべきではないか。

アメリカの売込みも、イギリスからのものと同様、これら建設中の

アメリカ原子力発電の近況

(AEC発表 1957.4)

	建設費の上昇	完成予定の延期	実際のKWH当りコスト
SHIPPINGポート(加圧水型炉)	4,775万ドル→7,000万ドル	1957.6→1957.12	20円/KWH
アルゴンヌ(実験用沸騰水型炉)	450万"→610万"	1957.2	19円/KWH
オークリッジ(実験用増質炉)	243万"→363万"	1956.6→1957.12	
サンタ・スアナ(実験用ナトリウム炉)	400万"→772万"	1956.6→1957.7	
アルゴンヌ(実験用増殖炉)	1,550万"→2,910万"	1958.3→1959.6	
ネブラスカ(ナトリウム黒鉛炉)	2,510万"→3,860万"	1959→1962	
ウルバリン(均質炉)	360万"→450万"	1960→1961	
エルク・リバー(沸騰水炉)	620万"→800万"	1959→1961	
コンソリデテッド・エジソン(加圧水型炉)	5,500万"→7,000万"	1960	
ヤンキー(加圧水型炉)	3,450万"	1958→1960	

ものの改良型に関する紙上プランがもたれている。この両者の間にはイギリスのコールダーホール型とその改良型の場合についてすでにのべたのと同じような、かなり技術的に直結した進歩も含まれてはいるが、アメリカの場合はもつと飛躍した技術的進歩がもたらされていることからみて、その確実性はイギリスのものにやや劣るとみられている。

さて何故アメリカの原子力発電はテンポがおそくなったのであろうか。それについてはアメリカ原子力産業会議が行った次の世論調査が参考になるのでここに引用しておこう。それは「原子力発電開発の障碍は何か」という質問をだしてその回答を集めたものである。対象はアメリカの電気事業、メーカー、コンサルタント、学校、など約四〇〇の団体であった。それに対する回答を多い順にならべると、

- (1) 経済的刺戟の不足——つまり電力の豊富低廉なアメリカでは原子力発電のコストがまだ採算にのらないということ。
- (2) 保険または補償措置の不足——原子力発電所の財産保険、および万一の場合第三者に被害を与えたときの責任保険または国家補償について、満足できる方策が示されていないということ。(一件につき五億ドルまでの国家補償を与えようとする「プライス法案」は七月はじめ下院を通過している。)
- (3) 秘密主義と機密政策
- (4) 要員の不足
- (5) 政府の政策とその実施方法

となつてゐる。これには一々説明する必要はないであろうが、アメリカ

つての飛躍でなければならないと考えるのである。

「技術の進歩」とは何か？

最後にやや余談になるが、筆者が最近折にふれて感ずる素朴な疑問について簡単にのべておきたい。

それは「技術の進歩」とは何か」ということである。例を原子力にとれば、コールダーホール原子力発電所で使われているタービン発電機は新鋭火力のそれに比べれば技術的にずっと旧式のものである。勿論だからといってコールダーホールは技術の退歩だなどとはいえない。またコールダーホールでは核分裂エネルギーを使っているから燃焼エネルギーを使う新鋭火力より進歩している、といった議論はなりたないだろう。技術者や科学者の知識慾を満足させるものほど技術的に進歩しているという考えは、少々古すぎる。

産業革命における蒸気機関のように、生産の拡大ということにきわだつて寄与するものについてはわりに議論は簡単であるかもしれない。しかしそういう標準でいくとしても判定のつかぬ場合がでてくるだろう。また生産方法の迂回度を上昇させるものほど進歩したという考えもあるだろう。また労働の生産性を向上させるものほど進歩だという考えもあるだろう。

生産物の生産コストが安いものほど——原子力発電ならKWH当りのコストが安いほど——進歩したものといえるだろうか。しかしそれも原料が無限にあると考えられるときだけであろうし、国単位でみる場合或いは原料の効率を考へる場合などでは、(以下一頁二続ク)

の企業家の考え方は、原子力発電は国内では採算にのらない、だがその開発が国家の要請であるなら協力しよう。但しそのときの見ぬぐいは国家でやるべきだ」といった非常にわりきつたもののようである。ここでアメリカについてしめくろう。アメリカではこの一年の間に技術的に、または計画の上で原子力発電のテンポが早まったということはなく、むしろおそまつたといつてもよい。テンポが早まったのは、原子力発電輸出の緊急性に対するアメリカの政策ではなからうか。

ソ連などの場合 ソ連についてはデータが少ないのではつきりしたことはわからない。最近のマレンコフ等の追放、昨年中に完成予定だった原子力発電所がまだでき上っていないらしいことなど、アメリカと同様、テンポはむしろ下降しているのではないかとみられる節がある。ただ、ソ連圏内でのソ連の原子力輸出が英米に刺激を与えていることは見逃せない。

フランスは原子力発電をそれほど華々しく宣伝してはいないが、その発電実験炉G1(プルトニウム生産の方が主目的。原子炉自体のガス循環のため生産した電力以上を必要とする)も、予定電気出力の五分の一しかでていないといわれている。

このようにみると、米英など原子力の先進国において、この一年の間に技術的に予想外の発展があったという事実はない。したがって、筆者は、日本が原子力発電に猛進するという計画をもつこと自体に全く反対するわけではないが、それはあくまでも国全体の観点にた

原子力発電所はその後も順調に運転されているといい、原子炉はその設置場所によつてそれぞれ有利な型式があると思われるので、各種の型式について研究しているという意味のことを述べ、アメリカと同じ数の型式をあげていた。この際各国の発言のなかで注意しなければならぬと思われたのは原子力利用の研究が主として動力炉に向けられており、放射線障害に対する研究が進んでいない、そして研究がこのように跛行しては実際には使えないのではないかという意見が相当述べられていたことである。コックロフト卿はもう少しすれば動力炉の撰択する範囲は拡大されるであらうといつていた。どこでもまだ動力炉の最終型式といわれるものとはとても決められる段階に達していないのであつて、総合的な研究が要求されている段階であると思われ、その正当な評価が必要なのではないかと思われるのである。

むすび——新しい立場からの日本産業の在り方の検討

イギリスでも昨年夏の話では、今後二〇年経たなければ原子力発電は価格、質の点において全エネルギー消費のなかで商業用の採算に乗るほどの量は入らないだろう、だから今後二〇年位は、今日使っているエネルギー源を拡大してゆかなければならないというので、需要の側と供給する側と両面から種々のことを考えているということだつた。日本の場合を考えてみると、今までのべてきたように、予想した数量の問題があるし、一方、需要そのものが、今までのもので食いつないでゆけるかどうかという問題がある。現在、世界で一番早く原子力が入るのはイギリスと日本だろうということは、日本でも外国でもい

われているけれども、それは要するに従来のエネルギーの価格が高くなるだろうという意味である。そうなると、高いエネルギーを何に使わなければならないかということ十分に考えなければ、競争に勝てないのではないか。大体に於て日本の電力消費の付加価値はイギリスのその三分の一以下である、石炭にしても水力にしても日本にはまだずいぶんあることはあるのだから、これらをどのように使えばよいのか、そのために資本をどういふところに配分してゆけばよいかというような、解決すべき問題がいろいろあるように思う。

イギリスでは動力燃料省という一省があつて、エネルギーの生産面から消費面まで均衡のとれた研究をしている。そのなかで原子力発電の計画が考えられているのであるが、そういうように全般的に考えてゆくものが日本にも必要ではないかと思うのである。

なおこれに関連して少しつけ加えておきたいのは、昨年の第六回世界動力会議において受けた印象である。

一体、日本の今日のエネルギー消費は石炭換算で一億トン位で、カナダ、フランスに匹敵する位大きなものであるが、今迄述べてきたようなエネルギー問題の議論が行われているのは高度に工業化された国々でのことである。ところがそれと逆に未開発地域ではエネルギー源の開発ということが主題として考えられている。われわれ日本の近くだけを考えてみても、一昨年以來、国連のエカフエ事務局で検討しているメコン流域開発計画があるが、これによると五六〇万KWの計画で、KW当り六〇銭前後（日本では約三〜四円）で供給できるだろうということであるし、カナダのキチマットが一二〇万KWの計画

（現在一四〜一五万KW開発）であつて、これは一KW当り発生原価は四〇銭以下というのである。あるいはセレベスのトバ湖、それからフランスとドイツの協力による西アフリカの計画、それから南アフリカに計画中の一つの流域での二、四〇〇万KWの発電などもある。

さらにこの間ソ連から来た電気関係の人と話をしてみると、ソ連ではシベリヤ東部で相当大規模な発電計画をやつていて、非常に大規模であるために安くできるので、これを何に使つたらよいかということの方をむしろ今研究しているところだということであつた。これらは、今まで開発不可能であつたものが、開発可能になつてきたということ——それは大量消化が可能になつてきたということでもある。

とにかくこういう動きが現実起きてきていることを考えると、われわれは日本においても今後取得できるエネルギーに応ずるような産業構造を全般にわたつて考えてゆかなければならぬのではないか。今後どういふ方向へわれわれの資本を配分して行くべきかということを考えなければならないところへこざるを得ないのではないかと思う。

今日西欧諸国が一つの電力系統に繋がれているということは、資源をよりよく利用するということ、高騰してくるエネルギーを十分使ひこなすということから出発したものであり、ヨーロッパ共同市場の基礎をつくつていふものといえるのではないだろうか。私達も新しい立場から日本の産業の在り方を検討しなければならないのではないかと思ふわけなのである。

（東京大学教授）

（本稿は六月一九日経済再建研究会における講演の速記に筆者が加筆されたものである。文体は編集部において書き言葉に改めた）

（三頁ヨリ続く）

すこしずれるだろう。

一例をあげれば、熱効率の上昇は必ずしも技術の進歩ではないかもしれない。

最も常識的な答えは、そのときの社会が要求するものが進歩であるということかもしれない。しかし完全な計画経済の社会ならいざしらず、自由競争の社会では、そういう要求はどういう形で生産構造に作用しうるであろうか。エネルギーを例にとれば、「枯渇」ということが問題となる場合、技術の進歩を方向づける経済的な力はどこから作用するものであろうか。

紙数もなくなつたので、筆者の幼稚な議論もこの辺できり上げるが、原子力発電の開発における種々の議論も、案外こういったことの認識の相違に基因している場合が少なくないようである。何んでもよいから電気をおこしてみたい人、国民全体の利益にならなければ承知しない人、安く電気がおこればよい人、何んでも放射能をこわがる人……これらの人々を合理的に結集し方向づける力が何であるか私は知らないが、テレビや確安の導入とちがつて、原子力発電の導入においては、いやでもこういった問題と対決せざるをえないと思われるのである。

（電源開発KK原子力室）

☆

☆

☆

☆

☆

☆