

日本の原子炉開発

大阪大学工学部 住田 健二

1. 日本の原子力

最近の科学ジャーナリズムの流行語に「巨大科学」という言葉がある。これは英語の big science を直訳した結果こういう言葉が生れたのであろう。所が、この名のもとに種々の角度から議論が行われると、必ずといっていいほど「原子力」とか「宇宙開発」がその例に引き出されている。この言葉は人によって受けとり方が随分異なっている。文字通り「沢山の金を使う科学」という風に解釈して、スケールの大きさだけにその特徴を見出し、その運営上の問題をいわゆる能率的な行政機構論としてのものとすりかえた論議も横行している。たとえば東大におけるロケット開発研究途上に発生した経理面上の不備や若干の行き過ぎをとらえて、一気に国家的行政機関による集中的な研究管理の必要性に飛躍するような新聞論調がそれである。

多くの心ある科学者や技術者がこれにそっぽをむいたのは当然であろう。なぜならば、過去における日本の原子力開発において、政府機関による集中研究や開発の代

表であった原研のあり方が常に問題視され、遂に動力炉開発のために別機関を作るに致ったという例もあるからである。単なる集中化や統合だけではどうにもならぬことはこの例から自明である。また、必要性に対する明確な構想を欠き、多額の国家予算が動く所には必ずといってよい位低次元の政治介入がおこっているようなわが国のことである。本質的に超党政治的な機関として自立しうるような行政機関が確立できるのだろうか。筆者はきわめてペシミスティックな考えを持っている。

問題の本質はスケールの大・小や能率だけにあるのではなく、多分野にまたがる複雑な境界領域を、ある見透しの許に総合して行く過程により重大な問題をはらんでいる。固体物理、核物理、応用数学といった分野から、金属材料、化学工学、熟工学といった分野まで、理・工学で原子力に関係のないものを探す方が困難な位であろう。いわゆる基礎科学ならばすでに確立された方法論にのっとった研究がある程度まで可能であろう。また生産規模の拡大という観点からの技術開発にも吾々は多くの経験を有している。しかし、基礎科学から工場生産までの各分野の力を結集して一つの大目標に向い、しかも有形の物の形でその成果を示さねばならないというような問題については、残念ながら戦時中の軍事研究の若干例を除いては、日本にはほとんどまともな経験はないのではあるまいか。有形の成果を示すためには、かなりの努力の集中化が必要で、当然のことながら開発や研究をある基準から評価して、選択を行なうことになる。この基準設定の方法が非常にむずかしい点こそ、実は巨大科学の特徴の一つであろう。それぞれの関連分野はそれぞれの異なる歴史と方法論を有して育ってきており、急に「原子力」とか「宇宙開発」という目的の下に、これらの諸分野を画一的な一つの方法論で統一推進することは勇壮かつ明解に見えても、実質的な成果が少ない。

また「巨大科学」についてはよく海外における成果が成功例として引用されているが、はたして本当に成功といえるような歴史が原子力の分野であったらうか。規模こそ違え、開発方針の目まぐるしい変更や計画の途中破棄の続出、関係分野のセクショナリズムなど、海外の事情に明るい人ならばいずれの国でもあまり大差はないと知っている。そして、非能率さとか政治の介入のため

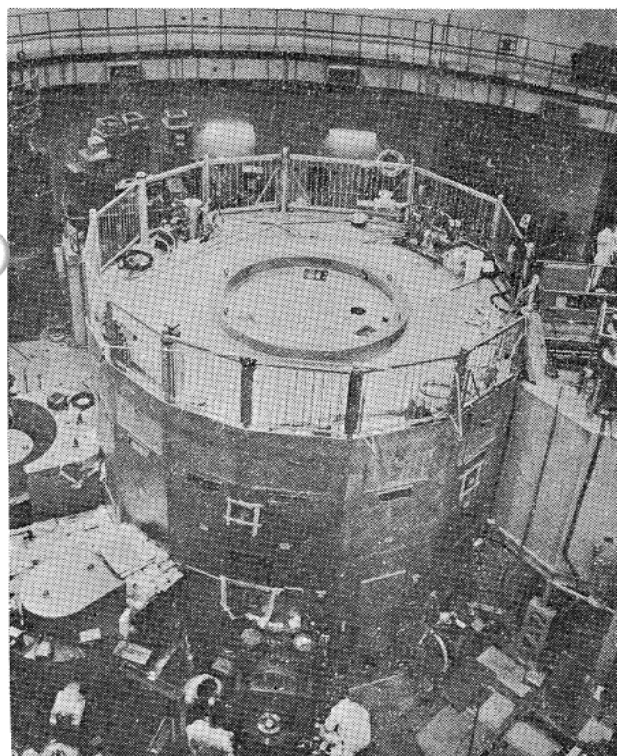


図1 JRR-2

による混乱とかもたえず論議されている。もちろん筆者はここで日本のこれまでの原子力政策が妥当であったとか、良かったという意志は毛頭ない。うまく行っているかに見えるどこかの国のやり方をそのまま真似ても駄目であるといいたいのである。たとえば、米国の初代原子力委員長であったリリエントール（TVA総裁でもあった人である）は、その著書 *Change, Hope, and The Bomb*（邦訳あり）の中で、再三科学者のエゴイズムや思い上りをせめ、さらには無批判に「原子力」と「宇宙開発」という二大事業を提唱して、政治運動までやっていたとあって非難している。この中で、彼は全巻随所に「科学者にだまされるな」という主張をくりかえしている。いったいこの不信はどこからきたのだろうか。

特に「原子力」の場合は不幸にして軍事利用と平和利用が表裏一体となっている場合があり、すくなくともある時期までは核兵器開発の副産物としての平和利用という面も少なくなかったのである。経済採算を度外視したような莫大な国防費の投入によって進められた技術水準を基礎としている米・ソ両国の先進性は簡単に模写することさえできまい。また最近になって核兵器の生産に乗り出した中国やフランスが動力炉開発などの平和利用面ではかなりの遅れを示していることも、国防費負担の少ない日本の経済的繁栄と比較してみると興味深いことである。いずれにせよ海外での「炉開発」の基調を無批判のままに日本へ導入しても、平和利用一本槍で経済的背景の異なる日本では行きづまる可能性が強い。

日本が、重工業国であり、かつ学術的水準も高い自主・独立国とゆうことにこだわらないのならば、将来のエネルギー源や、研究装置としての原子炉開発というような未確定要素の強いものに今すぐ多額の税金を投じる必要はない。他国より少しおくれて、評価が確立しそうな段階で適当なものをその都度輸入して使用し、やがてそれを国産化して行くという在来の方法論で十分であろう。一時は計画ばかりと悪口されていた日本の電力界が最近軽水型動力炉の建設にふみ切って、どんどん建設を行いだしたのは、まさしくこのやり方で見透しがつくまで、待っていたとのである。この流れでは一号機輸入、二号機は輸入・国産の混合、三号機からは純国産とゆうこれまでの大型工業設備の建設史を原子炉にも適用すれば良いのである。この三号機国産主義はわが国ではきわめて成功率も高く、かつ海外技術を消化してより高度のものを編み出すということにかけては世界一の日本むきであろう。なによりもまず独創性を尊重する基礎科学的な立場から見れば毎べつに値する方法論ではあるが、巨大科学の「巨大」という点にだけアクセントをおくならば、成功率が高く、かつ能率的に税金を使うという点でこのやり方は十分考慮する価値がある。たとえば、日本と同じよ

うな時期に原子力研究に着手しかつ平和利用に限られている西独は今日すでに確実に経済採算上にあるとされている軽水型動力炉に対してはほとんど独自の研究を放棄して全面的に技術導入ですますとゆう分りきり方である。

（この分野ではわが日本の方がはるかに真剣に、かなり基礎的な研究から取り組んでいる。）基礎研究に最も熱心とされ、かつ誇り高いドイツ人をしてなぜこうした政策をとらせたかを考えることも無駄ではない。原子力の全てについて必ず基礎から徹底的に研究するとうう方法では非力な中進国にとって力の分散がすぎて、共倒れになってしまう。一部の人のいうような独創と基礎重視だけが唯一の解決策ではない。

しかし、その西独が将来の原子炉ともいうべき高速炉開発のためには基礎的な炉材料の核定数の測定から始めているということこそ忘れてはならぬことである。現在のためなら技術導入主義でよいが、将来の自立を目指すなら、基礎からのつみ上げをはぶいてお手本にたよるようなうまい方法はないと彼らは知っている。核兵器生産と共に原子力にのり込んだ米・英・ソといった大先進国と比して、原子力における中進国ともいうべき日本や西独・イタリー・北欧のおかれた立場は一見安易に見えて、自立とゆうことが非常に難しいのである。将来とも輸入国に止まることを拒まぬというなら話は簡単であるが。

一方、国内に大したエネルギー資源を有しない日本がこのまま経済成長をつづけて行くには、当面石油、さらに原子力という輸入エネルギー源に頼らざるを得ないのは自明である。そのエネルギー源をいかに有効に、かつ国外からの支配の少ない状態で確保するかということとは、単に原子力産業が輸入技術主義で行くかどうかとゆうこと以上の国運にかかわる問題であるといえよう。こうしたエネルギー問題から原子炉を評価することは非常に重要である。同じ「巨大科学」といっても、「巨大加速器の建設」という純粋な学術的研究の立場に終始できる場合と、原子力に課せられた使命とでは自ら方法論が異ってくるのも当然であり、これを同じ巨大科学とゆう名で画一的には取扱えない。

たとえば核燃料としての天然ウラン資源は今日すでに国防政策的な支配をはなれて商業ベースの取引対象になっている。しかし濃縮ウランになれば、現在の供給可能国は米・ソの二ヶ国しかない。経済的な動力炉には濃縮ウランが不可欠という今日の常識からはその入手の保証が問題になる。そこで最近問題になっている核兵器開発禁止のための国際査察に対して、米・ソの二大国が協調して西独・日本などの中進国の平和利用に制約を加えるのではないかという疑念が生れてくる。これら大国が濃縮ウラン供給の保証と引きかえにこの査察を強要して

いるという背景に、市場の独占的確保という濃縮ウラン・カルテルのにおいを感じる人が多い。現在の日本がウラン濃縮の研究にすすむことを、学問的な新鮮さがないだけでなく、戦時中の原爆研究の思い出や核兵器生産へつながる危険性があるという理由で否定することは、易しい。しかし、一見きわめて安全側に見えることが実は将来の日本の自立までを否定することになる。

原子力を「平和利用」に限るとした日本の原子力が置かれた複雑な背景の下に多くの関連分野の力をうまく結集して行くことは容易ではない。しかし、これは実は「原子力」だけの特異現象ではなく、ある程度の規模以上の「総合科学技術の開発」にはつきものの筈である。

「原子力」であるからといって特別なうまい解決策があり、それで全てが一気に片附くべきだと期待する所に無理が生じ議論が空転する。これまでに日本ではこの種の仕事に成功した例がないにもかかわらず、「原子力」開発が急に成功しないからといって個人の責任に全てをおっかぶせたり、労働運動のせいにして、すぐ責任者の首をすげかえるようなやり方ではいつまでたってもまともな原子力開発は進まない。（ちなみに日本原子力研究所は創立後11年間で4人の理事長をむかえており、最近では動力炉開発のための別個の政府機構まで生れた。）原子力だけでなく、共通性の多い「巨大科学」の仲間同志で、お互に日本という風土にふさわしい方法論を探しあててより仕方がないので、海外までを含めて既存の他分野での権威や方法論によりかかって「原子力」問題を一気に解決しようとしても恐らく不可能であろう。今後の「日本の原子力」を指導して行く原理なり方法論は、日本の原子力を押し推めてきた技術者や研究者が試行錯誤をおかしつつ自ら体験しながら生み出してきたものに立脚すべきで、その声なき民の声が原子力行政に十分反映されなければならない。いわゆる学識者や原子力行政担当者上こうした現場との経験の交流が断たれていた所は海外に例のない日本独自の弱点がひそんでいたともいえる。

また皮肉ない方をすれば、これまでの日本の原子力は現時点での必要性とか必然性があいまいなまま、全てが「未来の夢」のためのこととして進められてきたともいえる。そのため「あそび」も可能であった。しかし、現在ではこうした点での見透しはかなり変り、産業界は当面の受注消化に追われ出している。このため一部にはいわゆる基礎研究は会社や原研のような所から次第に姿を消して大学へ移せば良いという意見が出てきた。いわゆるオリジナリティーを第一としてすすめる純基礎研究はたしかに研究の自由の保証された大学で行い易いが、大学の枠の中に入りきれない基礎研究も多数存在する。たとえば炉開発のための核断面積の測定などは、まさしく基

礎的であっても、費用や人員の点とその仕事がいわゆる学術的な基礎研究としては評価され難いという点で今日の日本の大学制度では手におえぬ仕事であろう。

これまでの日本の原子力はこうした中間的な基礎研究を充実しないで、完全な純学術研究と特定型式の炉の開発というような立場の明確な両極端のものばかりを高く評価し勝ちであった。そして、基礎から開発へのつながりになるいわば境界の仕事を系統的に行うこと——実は巨大科学の本質をつく一番むづかしい仕事である——をほとんど評価しようとしなかったといえる。これまでも、原研の開発研究部門などがまさしくこの役割を果すべく努力してきたにもかかわらず、その成果は仲々認められず、最近に致ってはむしろ縮小される傾向さえとっている。またこの段階を受もつべき研究者・技術者層に強い自信喪失の傾向が見られる。これは本質的な困難さを理解していないせいもある。しかしそれを知ってもいわゆる日の当り易い設計や建設か、もしくはそれに背をむけて全く縁のない純基礎研究に傾くか、いずれにせよはるかに安定な立場をとる者の強さに気分的に押されてしまうのであろう。所がこのように見失われ勝ちな科学と技術を結ぶ接点的な役割や総合はまさしく本来の「工学」の使命であったはずである。日本の工学が工学本来の創造的な姿になかったため原子力開発においても指導性を発揮できず多くの混乱をまねいたのである。そのため他の立場にひきずられ勝ちで、工学者の果すべき空間を満してなかったといえる。たとえば手段が科学のある分野のものそのままであっても、目的が工学的なものであれば工学的方法論による指導原理や方法論によるべしという平凡なことを忘れてはいなかったらうか。

2. 原子炉の種類

さて、一般的なおききはこの位にして、すこしづつ各論に近よって行くことにしよう。科学的に「原子炉」という名称の下に一括されている代物は、よく調べてみると随分巾が広い。「中性子による核分裂性物質（ウラン・プルトニウム）の連鎖的核分裂の自己維持が可能なもの」を全部この名でよんでしまうというのだから、大変広いものである。丁度これを吾々が日常使っている例でいえば「石油の酸化による発熱反応が自己維持できるもの」という風におきかえてみるとよく判る。家庭の石油ストーブやスクーターからジェット機や大型船舶用エンジンまでが一つの名の下に含まれてしまうことになるのである。したがって、原子炉といってもこれからもどんな新しい応用が生れてくるか予想できないが、ここでは一応の分類を試みて、その種類別に話をすすめることにしたい。

これまでに作られた原子炉は大ざっぱに言って二つの利用目的に分類できよう。一つは「研究炉」とよんで中性子源（もしくは γ 線源）としての利用を考えるものである。色々な学問的研究や技術的研究には中性子が必要になるが、多くの場合これまでに行なわれてきたように加速器で作り出すよりは、原子炉で作る方が容易で、かつ安価でもある。R.I生産もこうした炉の利用の一つである。後述のような動力源としての炉を開発するために、これらの中性子源が必要なことはもちろんである。もう一つは「動力炉」とよんで、核分裂時に放出されるエネルギーの方を主に利用しようとするものである。目下開発されているのは発電用とか船舶用が中心であるが、将来は地域暖房とか、ロケット用とかいった分野まで拡大されて行くことになるだろう。この他プルトニウム生産のための「生産炉」というものもある。しかし、これは核兵器用のもので、平和利用としての生産炉というのはまだ考え難い。

もう一つ大切な問題として、ある型の「原子炉」という完成したものになる前の基礎的モデルや試作段階の存在を指摘しておきたい。新しい形式の航空機の設計のためには、基本設計の後、模型による風洞試験を行ってから最終設計を行うのは常識であり、また試作機を作ってその結果から量産体制へ入って行くのが普通であろう。

原子炉の場合も、いわば模型段階* ともいうべきものとして、「臨界集合体」が存在する。たゞこの模型は原子炉内の中性子の振舞いについては、本物そっくりに作る必要があるので、連鎖反応が自己維持できるという点で厳密にはまぎれもない「原子炉」である。また原型炉（プロトタイプ）という言葉も耳にされたことがあるかと思う。これは前述の例でいえば試作機に相当するもので、完成品ではなく、開発段階にあることを意味している。要するに正攻法で一つの形式の原子炉を開発するためには、こうした段階を通るのが当然である。所が、海外に強大な市場を持つ米・ソならいざしらず、当面国内市場に限られている日本の原子炉の場合、こうした正攻法的開発に対する投資は経済的に回収される可能性が極めてとぼしいため、これらの段階を極力さけて通り抜けようとする空気もある。ある程度は情報があり、大体的見透しがついているようなものなどは、いきなり動力炉を作ってしまうという意見である。ただでさえ歴史の浅い、未経験の分野でこうした便宜的方法が本当の成功をおさ

* 正確に言えば臨界集合体は、でき上がった設計結果を試験するような模型ではなく、むしろ設計方法の妥当性や設計に使用すべき基礎的な諸定数の検討に使用される。したがって、その結果は模擬する特定の炉型式についてかなり普遍性がある。

めるかどうか疑問であるが、これまでに他産業分野で行われてきた日本お得意の接木法や模倣法が原子炉にも適用できないとはいえない。しかし、方法論の確立という立場からすれば、一度はこうした育ち易い種をまいて苗木に育てて、大樹にするという体験を持った後で、次回省略すべき所を考えるべきであるように思える。手を抜いて作った機械は、うまく働いても偶然かもしれないし、一度つまずくとどこが悪かったか最初まで返って調べるより他に方法がなくなる。これまでの日本の炉建設や開発では時間的に焦ったため、ある木の種をまいて芽が出た頃、同じ木のかかなり大きい苗木を他所から買いこんで育てにかかり、前者を肥料不足で枯らしてしまった。そのため一番むづかしい時期の育て方をいつまでも知らないような点がある。いうなれば現在のための技術のみ育て将来のための工学が不在であった。

3. 研究炉の建設と開発

日本には研究炉建設の歴史はあっても、残念ながら開発史とよべるものはない。というのは輸入と国産の区別はあるにしても、日本で独自の炉型を系統的に研究炉として開発するということには非常な困難を伴うからである。日本のようにある程度高度の水準の国では利用者側の要望は次第に高度なもの、多様なものという風に分化して行くので、ほぼ同一性能を有するような研究炉が数基も同時に必要になるとは考え難い。もっとも教育訓練炉ならば可能性はあり、スイミングプール型のようなものは今後もどんどん増えて行くであろう。結局のところ、表1のように多種多様な形式や出力の炉が必要に応じて作られてきたため、東海村などは原子炉博物館とか展示会場という皮肉をなげつけられてきた。産業界が量産化できない一回きりの可能性の強い研究炉を開発するのに多額の投資を行わず、もっぱら税金をつかったごく一般的な製作経験、建設経験の獲得以上のものを期待しなかったのは無理もない。これを日本的な場当たり主義として非難するのは酷ではなからうか。たださしづめこの多様な炉のお守りを強いられている原研の負担の大きさにこそ無駄がある。A炉の経験がB炉には役立ぬという欠点である。

しかし、これまでそうであったから、今後もそれで良いとはいえない。日本の科学・技術全体の水準が世界第一線に追いつきつつある今日では、研究炉に対する要求も、海外の動向への追従のためでなく、もっとオリジナルな面から生れてくる。すでに固体物理の研究者らがパルス化炉を考えたり、化学畑の人が化学炉を求め出しているが、この段階で研究炉がひきつづき海外からの輸入や模倣を行っていたのでは原子炉を利用する仕事では、日本の研究は常に欧米の追試以上に出れぬということに

表1 日本の現存研究炉

名 称	設 置 者 お よ び 設 置 場 所	型 式	熱出力(KW)	核燃料()内 は濃縮度	臨界(予定)
研究炉					
JRR-1	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン軽水減速冷却 (ウォーターボイラー型)	50	UO ₂ SO ₄ (20) 6.6	32. 8.27
JRR-2**	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン重水減速冷却 (CP-5型)	10,000	U-Al合金 (90) 4.7	35.10. 1 37. 4.17
JRR-3	日本原子力研究所 茨城県東海村	天然ウラン重水減速冷却 (国産一号)	10,000	U金属 (-) 9.3	37. 9.12
JRR-4	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン軽水減速冷却 (タンク付プール型)	1,000 [最大 3,000]	U-Al合金 (90) 2.9	40. 1.28
材料試験炉 (JMTR)	日本原子力研究所 茨城県大洗町	濃縮ウラン軽水減速冷却 (タンク型)	50,000	U-Al合金 (90) 8.0	(43.3)
京都大学研究 炉 (KUR)	京都大学 大阪府熊取町	濃縮ウラン軽水減速冷却 (プール付タンク型)	1,000	U-Al合金 (90) 3.6	39. 6.25
立教大学研究 炉	立教大学 神奈川県横須賀市	濃縮ウラン水素化 ジルコニウム減速軽水 冷却 (TRIGA-II型)	100	U-Zr-H (20) 11.3	36.12. 9
五島育英会研 究炉	五島育英会 (武蔵工 業大学) 神奈川県川崎市	濃縮ウラン水素化 ジルコニウム減速軽水 冷却 (TRIGA-II型)	100	U-Zr-H (20) 11.6	38. 1.30
近畿大学研究 炉	近畿大学 大阪府布施市	濃縮ウラン軽水減速冷却 (UTR型)	0.1W	U-Al合金 (90) 3.4	36.11.11
東京原子力産 業研究炉 (HTR)	東京原子力産業研究 所 神奈川県川崎市	濃縮ウラン軽水減速冷却 (プール付タンク型) パルス運転可能	100	UO ₂ (10) 30.1	36.12.25
東京芝浦電気 研究炉 (TTR)	東京芝浦電気 神奈川県川崎市	濃縮ウラン軽水減速冷却 (プール型)	30 [最大 100]	U-Al合金 (20) 16.0	37. 3.13

** 1次炉心は核燃料濃縮度20%, 臨界欄の上段は1次炉心の臨界。

る。丁度素粒子研究のために大型加速器の開発や研究が多額の費用を投じて行われてきたようなセンスでの研究炉開発というものが今後の姿として考えられる。動力炉が商業採算にのり出した今日、かつては経済的テコ入れをここに求めた産業界からの要望は今後研究炉建設への原動力とはなり得ない。当面の代償を求めない将来に対する研究投資という立場から、純技術的、科学的立場の要求が強くならぬ限り、研究炉の開発はおぼつかないと思われる。端的に言って、動力炉開発は技術的興味より経済的立場を先行して考えるべきであろうが、研究炉開発はその点を無視する気でないと着手できない。表1にあるように、ここ数年間日本で新しい研究炉の計画が全く出てこないのはこうした背景によるものと思われる。

こうした観点から原子力でも動力炉開発だけでなく、研究炉開発をも「巨大科学」として取り上げるべき筈であるが、その声あまり大きくない。これは本来もっと熱心であるべき利用者側が「原子炉」というものに経験がとぼしく、これまでの輸入または模倣主義を暗黙の中に肯定している面があり、このままではこれらの利用者がそれぞれの分野で世界をリードする研究はいつまでたってもできない。加速器が核物理研究者の手で開発されたのは、自らそれを利用して研究成果を上げるからであった。これに比して、原子炉はいわゆる原子炉屋が作って、別の人間が使うという分業制をとっているためか、どうもこの辺の相互理解が不足しているように思える。このまま放置しておけば日本の炉工学の力は動力炉開発にだけ結集されてしまって、良い研究炉を開発する

ことがむつかしくなる。

「巨大科学」の特徴の一つはこうした他分野間の研究者同志の総合的協力という姿でもあるべきだという筆者の主張からすれば、動力炉開発が電力界や産業界中心に進められるのに併行して、たとえ金額は前者の何百分の1であってもよいが研究炉開発計画が学界中心に提唱されて良い時期ではあるまいか。たとえばこの春に臨界を予定されている材料試験炉はわが国における最大の研究炉であり、その完成によって燃料・材料関係の研究は飛躍的な進歩をとげることが期待される。しかし、この程度の大型研究炉の運転、管理上には多くの困難が予想されるのに、あまりそうしたことを予想した論議が斗わされたという話はきかない。この炉に取りつけられる炉内試験ループは動力炉開発の大きな布石ともなる筈であるが、その準備は大丈夫なのであろうか。

また原研が動力炉開発に集中することになった昨今の状態で、次の時代の研究炉ともいべき超高中性子束炉やパルス化炉の開発研究は、いったい誰の手で行うべきなのであろうか。今から真剣に考えておかないと強力中性子源としての炉利用者は、いつまでたっても外国の論文を見て指をくわえるようなことになりそうである。動力炉開発だけが日本の原子力の使命ではないということも声を大にして言っておきたい。

4. 動力炉の建設と開発

ごく一般的な意味で動力炉、特に発電炉に対する種の経験をつむという目的でこれまで建設されたのが、表2の二基の現存動力炉である。この中、原電東海発電所の天然ウラン、黒鉛気体冷却炉は計画段階で、安全性問題に多くの議論が集中した。そして、こうした論議に刺戟されて、炉の安定性解析や耐震設計の面で、多くの成果が上り、これらの分野が一早く世界的水準に迫っていく結果となった。また当初計画では発電原価が火力発電のそれと同程度になるというかなり政策的な発表が行な

われたものの、実際には上記安全性確保のための追加や変更にも原因して、現在ではその原価が当初予定の倍程度に達しそうであるといわれている。またこの炉では、プルトニウムが年間数百kg蓄積されるが、これは世界全体としての核兵器縮少モードに従って、英国が将来に対する引取りを拒むに致って、その利用法が急に問題視され、ここ1~2年間の原子力界における重要課題の一つとなっている。現在の所では、日本における燃料再処理やプルトニウム技術がかならずしも十分に確立していないため、その使用可能開始時期は明らかなではないが、将来における本格的な高速炉燃料としての使用に先立って相当量の蓄積が行なわれるため、なんらかの別途利用を考える必要がある。一部ではこうしたプルトニウム保有量の増加がそのまゝ日本の核武装につながる危険性ありとしている声もあるが核兵器用のプルトニウムは Pu^{239} の純度を要求し、 Pu^{240} の混入をさけるため炉内における燃料照射時間をかなり短くする必要がある。したがって、これは燃料交換の費用などの点で発電炉としての経済性とは相いれない面がある。所が、この炉の原型ともいべき英国のコルダー・ホール発電所の炉は発電とプルトニウム生産の両面への寄与を目的としているため、東海発電所の運転方式はこれをそのまゝ踏襲することができず、(たとえば燃料の使用期間は約2倍)輸入炉でありながら、日本で世界最初の種々の経験をし、その結果の解析に追われるという皮肉な結果となった。この炉などは先進国から動力炉を輸入したならば、研究の必要などは不要で、運転管理費も安く上るはずという安易な期待を持つことが、いかに甘い期待であるかということを示した典型的な例であろう。

経済性を真剣に追求しようとすれば、当然炉の能力の限界までの利用が考えられ、そのためには種々の測定や解析手段が確立されている必要があるにもかゝらず、日本にはそうした技術を正しく育てる気風がない。そして大方の人の目が勇ましい未来の動力炉開発の方へ集

表2 日本の現存動力炉

名 称	設 置 者 お よ び 設 置 場 所	型 式	熱出力(KW) (電気出力)	核 燃 料 種 類 (濃縮度) 装 荷 量	臨 界
動力炉					
動力試験炉* (JPDR)	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン軽水減速冷却 (BWR型)	46,700 (12,500)	UO_2 (2.6) 4,166	38. 8.22 38.10.26 初 発 電
東海炉	日本原子力発電(株) 茨城県東海村	天然ウラン黒鉛減速炭酸ガス冷却 (コルダー・ホール改良型)	595,000 (166,000)	U金属 (-) 186,927	40. 5. 4

られてしまって、こうした地味な努力には正しい評価がなされていないように思える。一般的に日本の独自性ということにあまりこだわりすぎると、こうした量的な改善を過少評価し、中間的なものを排除するという誤ちをおかし易い。かつて原研が「平均質炉開発」をプロジェクトとして取り上げて、その推進上の大きな岐路に立った折、海外の同種の炉と比較して、質的な変化でなく、量的な改善にすぎぬものは取り上げる価値がないという主張が通って、プロジェクトを中止してしまった。所が最近になってみると、そのまゝ続行してさえいれば、今日でも十分欧米と対抗できたことが分ってきて、当時の関係者をくやしがらせている。

原研の動力試験炉は軽濃縮ウラン、軽水冷却沸とう水炉という今日の最も代表的な動力炉を購入し、これに種々の試験を行うということを目的にして建設された。したがって東海発電所が常に経済性という制約の下に、種々の矛盾をかゝえこんできたのに比して、かなり楽な立場から種々の実験が試みられてきたといえる。特にこの種の炉としては珍らしく、臨界集合体を併置しており、核特性を分離して実験することも可能である。

しかし、この最も普及した型の炉ですら、経済効率の向上という点では、まだまだ改善される余地があり、そのための炉内計測実験や燃料その他の国産化についても努力が払われてきている。したがってこの動力試験炉は

本来ならば前述のプロタイプ炉が受持つべき役割をはたしているといえよう。(もっとも残念なことに日本で開発された炉型ではないが。)そして米国では沸とう水炉は開発段階を終えて、最早量産段階に入っており、特に目新しい研究成果は出なくなってきているのに、日本では今まさに成果が次々と発表されているという状態にある。軽水炉だけについていえば、この種の改善研究をさぼってしまった西独流の思い切りの良さと、中間段階をあえて勉強しようとした日本の差は後者の勝となるはずというのが私見である。なおすでに発表されている原電敦賀発電所と東電福島発電所はこの形式の大容量化したものである。また同じ軽水炉で加圧水炉が関電美浜発電所として計画されており、また原子力船第1号の炉もこの加圧水炉である。この他中国電力、中部電力がいずれも軽水型原子力発電所の各1基の建設を内定している。

このように軽水炉がこゝ当分の発電炉の主流を占めることはまず確定的であり、この傾向は世界的でもある。しかし、こうしたいわゆる完成品の炉だけに着目して、原価が火力発電より安いという評価だけから炉形式をえらぶわけには行かない。

一国のエネルギー政策という立場から考えると、日本における動力炉は経済採算性ということの他に次の点から考えて高く評価される。将来の日本のエネルギー需用が次々と増加した場合、石油を買うにせよ、ウランを買

表3 日本の現存臨界実験装置

名 称	設置者および設置場所	型 式	核 燃 料 () 内は濃縮度	設置許可	臨 界	備 考
平均質炉臨界実験装置 (SHRE)	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン黒鉛減速	UO ₂ +C (20) ThO ₂ +C	(34.10)	36. 1.25	
水均質炉臨界実験装置 (AHRE)	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン重水減速	UO ₂ SO ₄ (20)	(34. 9)	36. 6.30	近く閉鎖 予定
軽水炉臨界実験装置 (TCA)	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン軽水減速	UO ₂ (2.6) UO ₂ (2.7) UO ₂ (3.2)	(36. 9)	37. 8.23	
王禅寺臨海実験装置 (OCF)	日立製作所 川崎市王禅寺	濃縮ウラン軽水減速	UO ₂ (1.5) UO ₂ (2.5)	36. 9	37.10. 2	
日本原子力事業臨界実験装置 (NCA)	日本原子力事業 川崎市末広町	濃縮ウラン軽水減速	UO ₂ (1) UO ₂ (2) UO ₂ (3)	37. 7	38.12.11	
住友臨界実験装置	住友原子力工業 茨城県東海村	濃縮ウラン軽水減速	UO ₂ (1.5)	38. 4	40.11	
高速炉臨界実験装置 (FCA)	日本原子力研究所 茨城県東海村	濃縮ウラン	U金属 (20) U金属 (—)	(40. 9)	42.4 .29	
材料試験炉臨界実験装置 (JMTRC)	日本原子力研究所 茨城県大洗町	濃縮ウラン軽水減速	U-Al合金 (90)	(39. 6)	40.10	42年度に 東海林より 移転

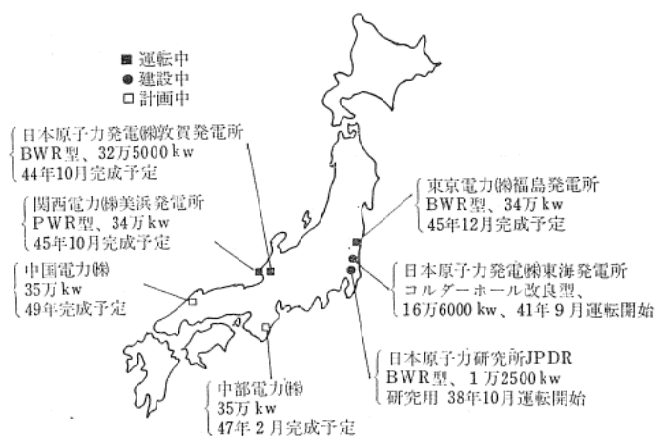


図2 日本における当面の原子力発電計画

表4 原子力第1号計画主要要目

〔船体部〕

用途	途：海洋観測および乗員訓練
航行区域	域：遠洋区域（耐氷構造）
総トン数	数：約6,900トン
全長	長：約125m
幅	：19m
深さ	：10m
満載排水量	量：約9,270t
主機械	械：飽和蒸気タービン 1基
連続最大出力	：10,000PS
最大速力	：17.8ノット
同上航続距離	：約150,000海里
補助動力推進時速力	：約10ノット
同上航続距離	：約3,000海里
最大連続行動日数	：約180日
最大乗員数	：110名（乗組員65，観測員45）

〔原子炉部〕

形式	式：間接サイクル軽水型
熱出力	力：36,000kW
炉心構成	成：低濃縮 UO_2 ，2領域炉心
炉心寿命	命：約9,100h
冷却材，減速材	材：軽水
圧力・温度（1次系）	：圧力110kg/cm ² ，平均温度278℃
圧力・温度（2次系）	：圧力40kg/cm ² ，温度251℃
制御棒	棒：ハフニウム 12本
燃料種類	類： UO_2 ペレット，ステンレス被覆
濃縮度	度：外周領域3.2%（燃料集合体20） 中心領域2.7%（燃料集合体12）
装荷量	量：約3.03t (UO_2)
燃焼度	度：約5,100MWd/t

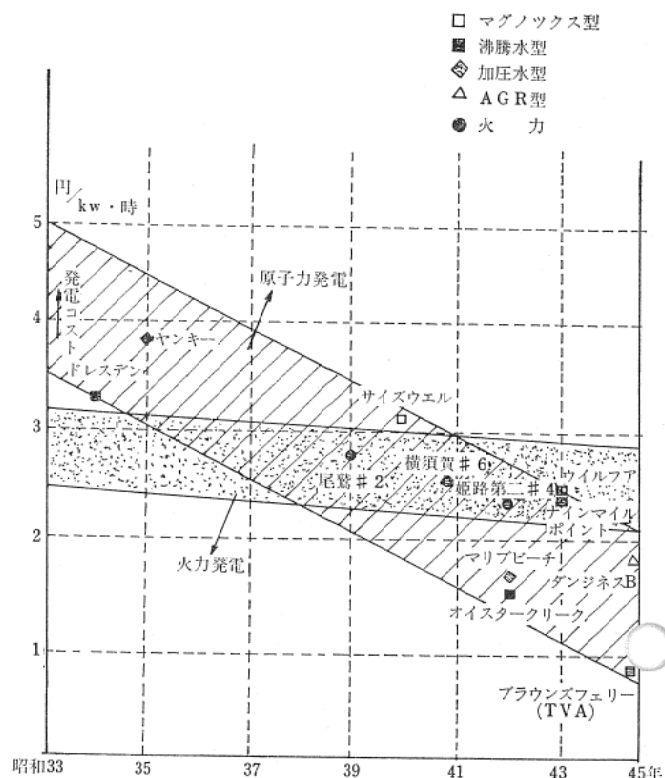


図3 原子力発電コストの年次推移

うにせよ外貨流出はさげえないので一見どちらでも良いように見える。しかし石油は多くの保管場所が必要のため今日の日本でもせいぜい1～2ヶ月程度の使用量しか手持ちができない。このためスエズ動乱の折に手持発電用重油が数週間分を切るという危機に見舞れたように、日本の中立意志にもかかわらず石油によるエネルギー供給には海上輸送の不安がある。この点ウランならば数年分位の蓄積は容易になるのでこの不安からまぬがれる上、運搬費も安価になろう。また原子力の方が重油火力より安価になればもちろん外貨節約にもなる。昭和40年度に日本がエネルギー輸入に費した金額は全輸入額の約20%であったのを考えてみると将来におけるエネルギー輸入費の節約がもつ大きな意味が分ってこよう。

さらに、エネルギー問題という立場で考えると、天然ウランに0.8%程度含まれるウラン-235だけを核燃料としていたのでは、早晩ウラン資源が不足するという心配が生じる。しかし幸にして天然ウランの大部分を占めウラン-238は中性子1ヶを吸収して核分裂性のプルトニウム-239に変化するので、この方法で吾々はウラン全部を核燃料化して使用できる。またトリウム-232も同様にウラン-233に変えて使える。核分裂によって生じた中性子の中1ヶを連鎖反応維持に使い、残りをこうした転換に使うとして、新しく生れる核分裂性物質の割合が1をこした場合は増殖とよんでいる。もし増殖が可

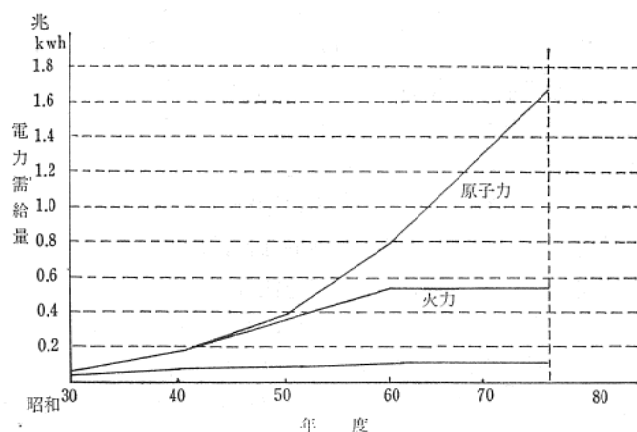


図4 わが国の電力需給の見通し

能ならば、原子力発電を行いつつ、かつ核燃料の増加が行えるので非常に話がうまい。そしてこうした増殖には中性子を核分裂時のエネルギーに近い高速中性子で使った方が分裂時にとび出す中性子数も多く他物質に無駄喰されることも少ないので、有利であることが分っている。したがって将来の動力炉はいずれ高速炉中心になることが予想されており、早ければ15～20年後に実用化すると考えられている。また、現在使用されている熱中性子炉についていえば、減速材を軽水から重水に置きかえて無駄喰いをうんとへらし、転換率を向上させるものや、高温ガス冷却黒鉛減速炉のように主として熱効率の向上

表5 動力炉開発のため昭和50年までに必要な推定資金 (単位億円)

昭和年 炉別	42	43	44	45	46	47	48	49	50	計
高速増殖炉	(26) 11	122	116	106	148	163	147	181	180	1,164
新型転換炉	4	90	42	65	93	142	138	46	—	620
人件費	1	14	18	18	20	22	22	22	15	153
計	(26) 16	226	176	189	261	327	307	249	195	1,937

(注) (i) 人件費は、高速増殖炉関係および新型転換炉関係に、それぞれ2：1の割合で配合される。

(ii) () は債務負担行為限度額

をはかるような改良型炉が軽水炉の次にくるという予想を持っている人が多い。

こうした将来炉のために種々の開発を行うことは極めて多額の費用を要し、数百億を投じてやっと一つの炉型の開発が行いうるという程度である。こうした「将来動力炉開発」計画が代表的な「巨大科学」としてジャーナリズムをにぎやかしている。このためには長期にわたる

一貫した政策による資金投入が必要で、国家資金以外では不可能である。そして、日本の予算制度のように毎年予算金額が決定され、それを繰こしたり繰上げたりして使えぬ所では、非常に支障が多く、機動性の点で便法の必要性が主張されている。

前々からわが国ではエネルギー政策面から、こうした一貫した長期開発計画が必要とされていたが、仲々その結論が出ず、昨年になってようやく次のような大方針が国家政策として定められた。すなわち軽水炉の次には重水減速の改良型を建設して、熱換効率を向上させ、かつプルトニウムも燃料として使う。そして将来は高速増殖炉へつなぐという思想である。前者に対してはあまり基礎的研究は行わず、すでに既存データや資料を中心に設計がある程度まで行えるという判断で、開発の主力は高速炉にそぐ、この両者を原子力委員会と原子力局の管割下にある動力炉核燃料開発事業団が中心となって進めることになった。しかし、この新設法人（法律的には原子燃料公社を改組）の性格は管理、推進のためで、開発や研究の実体は原研、会社、大学等にあるとされ、これらの既存組織との関係があまり明確ではなく、今後おいおい明確化されて行くことになった。一方、数年ごしの難産にあわや沈没かと思われた原子力船第1号も遂に発注が決定し、母港も決定されるという所にこぎつけることができた。

このようにのべると、現時点では日本の動力炉開発は一見全てが計画化されており明確な見通しがあるかのように感じられよう。しかし、実体は第1次机上プランのスタートであって、本質的な困難はこれから始まるわけである。恐らく巨額の予算を投入するための組織としては、東大ロケット問題のような不備をさけうるように十分配慮されたことであろうが、私見では新法人のスタートによって、原研と管理統制部門が2重となり、方針の徹底化がばけるという点ではマイナスとさえ思われる。何故原研を中心に開発体制がつくれなかったのか今なお理解し難い。しかし、そうした管理面でなく、仕事の積極面ではまだなにつ見通しがついていないわけではない。各機関をどう組合せて協力させるのか、それこそ大問題であろう。与えられた紙数がつきたので、スタートしたばかりの動力炉開発計画や原子力船計画に対して、私見を詳しくのべることはできないが、まえがきにもものべたように、実用化ということを目指するならば、中間段階での開発研究をいかにすすめるかで事の成否が支配されるように感じられる。その意味で高速炉計画では、臨界集合体が昨年臨界となってすでに活躍中であるのに併行して高速実験炉という名の許にプロトタイプ段階が計画されているのは、これまでの失敗をさけた賢明な方法

といえよう。恐らくこの段階で、各分野の相互関係が複雑に組合されて出てくるはずであり、ふたたび個々の研究開発へフィードバックすることも可能なことであろう。スケールは小さくても「巨大科学」の本質的な問題点の抽出にはこと欠かぬはずである。個々の方法論の相異もこの段階からさかのぼればお互に理解し易い。

また改良型熱中性子炉についても、臨界集合体から建設する計画ときくが、この場合その成果を本設計に十分生かすことが必要で、これまでのようには全く無関係ということにならぬような時間的スケジュールの調整が必要であろう。

5. む す び

目標を見失った目的究ほどもじめなものはない。個々の分野での成功が、全体へ寄与しないことを味わせることほど従事者に計画不信の念を植えつけるものはない。「ついで」や「申訳け」のための研究ならはじめてから取上げないにこしたことはないのである。小数でも是非必要なことを最後までやりぬくことと共に、それを必ず全体に役立てることこそ大切である。そしてスタートの前になにが必要かという評価をしっかりとおくのが為政

者の責任いというものであろう。しかも、日本ではこれが「原子力」だけの問題ではない所に真の困難さがある。

他分野でもやれなかったことを原子力でやろうとして失敗しかけたからといって、自信を失ってはならない。この経験を生かすことで、原子力のあり方を自ら定めることがより大切であろう。当面の困難の原因は色々あったと思われるが、一つには平衡的な感覚による総合的創造性を本質とする「工学」的な方法論が、日本の原子力には欠けすぎたのではなかろうか。たしかに原子力の起源は科学者の手によって産み出されたが、今日の原子力はそうした基礎科学の方法論では律しきれない段階に入ったという認識が日本では欠けている。一方安易な技術模倣主義が他産業での成功を背景に原子力でも巾をきかしかけている。この両極に安易に走り勝ちな日本の原子力が今や一番困難の多い工学的な段階をようやく必要としてきたことを忘れては動力炉開発や研究炉開発もたゞ予算規模の大きい仕事ということで終わってしまう。日本の工業技術や産業構造の本質的な成長という点で、「原子力」がどうすすみ成功するか失敗するか責任は極めて大きいのである。

なお、本稿に使用した原子炉などの特性表は「原子力十年史」(原子力産業会議編)から、推計、統計値などは科学技術庁発表の資料に拠った。