

■ 展 望 ■

原子力発電の現状と将来

Present Status and Future Trend of Nuclear Power Generation

大 村 達 郎*
Tatsuro Omura

1. 原子力発電のわが国への導入

昭和 38 年に米国の GE 社から輸入された動力試験炉 JPDR (電気出力 1 万 2 千 5 百 kW) が茨城県東海村の日本原子力研究所で初の原子力発電を行ない、又昭和 41 年には英国から輸入されたガス炉、コールドホール改良型 (電気出力 16 万 6 千 kW) が同じく茨城県東海村の日本原子力発電会社のサイトで発電を開始してから早くも 15 年以上が経過しようとしている。当初は米国で開発中の軽水炉か、又は英国で開発中のガス炉か何れが将来本命の原子力発電を行う炉となるか大いに議論のあったところであるが、この二つの型式が最初に導入されたことにも当時の状況をよく現わしている。しかし後に米国のオイスタークリーク発電所 BWR (電気出力 67 万 kW) が初の商用発電所として登場するや軍配は軽水炉に上った。日本原子力発電会社が敦賀 1 号、BWR (電気出力 35 万 7 千 kW) を、東京電力が福島 1 号、BWR (電気出力 46 万 kW) を米国 GE 社から導入し、関西電力が美浜 1 号、PWR (電気出力 34 万 kW) をウエスティングハウス社から導入したことにより、以後の日本の電力会社の炉型は BWR と PWR の二種類の軽水炉型に絞られることになった。現在各電力会社によって運転中の商用発電所は 21 基あるが、最初の 1 基のガス炉 (東海 1 号) を除けばすべてこの軽水炉である。表 1 にこれら 21 基の発電所を建設中 (11 基) 及び計画中 (3 基) とともに示す。これらの軽水炉の米国よりの導入に当っては日本のメーカーが米国のメーカーとライセンス契約を行ない、東芝、日立が GE 社から BWR の技術を、又三菱がウエスティングハウスから PWR の技術を導入し、

図-1 完成した福島第一原子力発電所
(世界大規模、総電気出力 4,696MWe)
〈東京電力株式会社殿、御提供〉

国産化を図った。そして現在では 100 万 kW 級の発電所も純国産により建設されるところまで来ている。

2. 軽水炉の改良・標準化

米国での原子力の開発は当初かなりの急テンポで行なわれたため、完成した軽水炉にも幾つかの初期故障的トラブルの発生があった。その代表的なものとして BWR に於けるステンレスパイプに発生する SCC (ストレス・コロージョン・クラッキング) や PWR の熱交換器のリーケージが挙げられる。これらのトラブルは初期にわが国に導入されたプラントにもそのまま持ち込まれた為、わが国の各発電所は検査、修復のために停止し、発電所の稼働率、又は設備利用率を一時著しく低下させる原因となった。図-2 に各年度の設備利用率の推移を示す。これで判るとおり、昭和 47 年当時

* 東京芝浦電気(株)原子力事業本部原子力技師長

表1 わが国の原子力発電所

昭和55年11月現在

会社名	発電所名	所在地	炉型	電出力 (千kW)	運転開始 年月日
官 業 運 転	日本原子力発電(株) 東海第2	茨城県那珂郡東海村	BCR	166	41. 7.25
	" " 東海第1	" "	BWR	1,100	53.11.28
	東京電力(株) 敦賀1	福井県敦賀市	"	357	45. 3.14
	" " 福島第一原子力1	福島県双葉郡大塚町、双葉町	"	460	46. 3.26
	" " " 2	" "	"	784	49. 7.18
	" " " 3	" "	"	"	51. 3.27
	" " " 4	" "	"	"	53.10.12
	" " " 5	" "	"	"	53. 4.18
	" " " 6	" "	"	1,100	54.10.24
	中部電力(株) 浜岡原子力1	静岡県小笠原郡浜岡町	"	540	51. 3.17
	" " " 2	" "	"	840	53.11.29
	関西電力(株) 美浜1	福井県三方郡美浜町	PWR	340	45.11.28
	" " " 2	" "	"	500	47. 7.25
	" " " 3	" "	"	826	51.12. 1
	" " 高浜1	福井県大飯郡高浜町	"	"	49.11.14
" " " 2	" "	"	"	50.11.14	
" " 大飯1	福井県大飯郡大飯町	"	1,175	54. 3.27	
" " " 2	" "	"	"	54.12. 5	
中国電力(株) 島根原子力	島根県八束郡鹿島町	BWR	460	49. 3.29	
四国電力(株) 伊方1	愛媛県西宇和郡伊方町	PWR	566	52. 9.30	
九州電力(株) 玄海原子力1	佐賀県東松浦郡玄海町	"	559	50.10.15	
小計	計		21基	14,952	
建 設 中	東北電力(株) 女川原子力1	宮城県牡鹿郡女川町、牡鹿町	BWR	524	59. 6
	東京電力(株) 福島第二原子力1	福島県双葉郡富岡町、葉町	"	1,100	57. 5
	" " " 2	" "	"	"	59. 1
	" " " 3	" "	"	"	60. 6
	" " " 4	" "	"	"	60.12
	" " 柏崎・刈羽原子力1	新潟県柏崎市、刈羽郡刈羽村	"	"	60.10
	関西電力(株) 高浜3	福井県大飯郡高浜町	PWR	870	59. 8
	" " " 4	" "	"	"	60. 2
	四国電力(株) 伊方2	愛媛県西宇和郡伊方町	"	566	57. 3
	九州電力(株) 玄海原子力2	佐賀県東松浦郡玄海町	"	559	56. 3
" " 川内原子力1	鹿児島県川内市久見崎町	"	890	59. 7	
小計	計		11基	9,779	
電 力 審 査 決 定 済	日本原子力発電(株) 敦賀2	福井県敦賀市	PWR	1,160	61. 3
	中部電力(株) 浜岡原子力3	静岡県小笠原郡浜岡町	BWR	1,100	60. 9
	九州電力(株) 川内原子力2	鹿児島県川内市久見崎町	PWR	890	61. 3
小計	計		3基	3,150	
総計	計		35基	27,881	
開発段階	燃 新型転換炉 原型炉「ふげん」	福井県敦賀市明神町	ATR	165	54. 3.20

(注) 1. GCR: ガス冷却型炉, BWR: 沸とう水型炉, PWR: 加圧水型炉, ATR: 新型転換炉
 2. 建設中は工事計画認可(一部認可を含む)がおりたものを対象としている。
 3. 原子力委員会編 昭和55年度版「原子力白書」参照

60%以上稼働していたものが50年では40%近くに落ち込んでいる。しかしそれ以後は各種の対策により再び設備利用率は上昇し55年では60%以上にまで回復していることを示している。通産省の発表によれば55年一年間の平均稼働率は61.2%とのことである。これらの対策及び改良の努力が以下にのべる“改良・標準化”である。従来米国の技術で設計されてきた軽水炉を日本の自主技術により徹底的に見直そうという動きが改良・標準化である。これは通産省が音頭をとり、電力及びメーカーが協力して行なわれている。改良・標準化の最大の目的は導入技術により設計されたプラントを見直し、改良を行うことによりプラントの信頼性を向上させること。更に毎年の定期検査の効率化による期間短縮もはかり、プラントの稼働率(又は設備利用率)を向上させること、また各種の機器の開発により定検時の従業員の被ばく低減も合わせて実施しようとするものである。

改良・標準化は第一次(昭和52年度未完)及び第

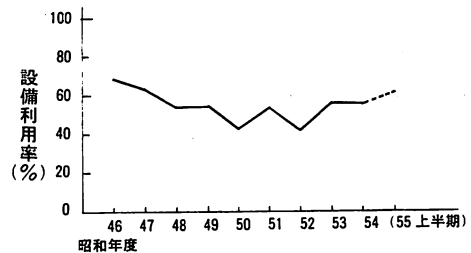


図-2 原子力発電所の設備利用率

(注) 1. 設備利用率 = $\frac{\text{発電電力量}}{\text{認可出力} \times \text{暦時間数}} \times 100(\%)$
 2. 原子力委員会編 昭和55年度版「原子力白書」参照

二次(昭和55年度末目標)として進められているが、第一次の目標はプラントの定期検査日数を85日以下、時間稼働率を75%程度、設備利用率を70%以上にするのであったのに対し、第二次では定検日数70日程度、時間稼働率85%程度、及び設備利用率75%以上を目標としている。具体的には運転中の各プラントで発

生したトラブルの原因を徹底的に追求し必要に応じて新設計新材料におきかえることなどによる信頼性向上の他、定期検査のクリティカルパスを検討し、クリティカルパス上にある作業を新システムの導入などで短縮化をはかるなどの改良が行なわれた。現在福島第二サイトに建設中のプラント以降ではこれらの改良がほぼ全面的に行なわれたため今後一層の高稼働率が期待できる。

このようにして米国に生まれた軽水炉技術は、日本での改良により日本の風土に定着しつつある。政府の方針によれば、今後昭和65年での原子力発電の総設備容量を5,100万kW～5,300万kWと目標をたてているが、この設備は殆どが軽水炉を用いた発電所により計画されることになるだろう。

3. TMI 事故とその影響

昭和54年3月28日、米国のペンシルバニア州のトリマイル島（TMI）原子力発電所に於いて放射能放出を伴う事故が発生した。この発電所にはB&W社の設計したPWR型原子炉が用いられていた。事故は当初、サイトでの管理当局の誤情報なども加わり、世界中に最悪の様相をもって伝えられた。しかし現在ではこの事故は発電所の財産保全と云う意味では極めて大きなインパクトをもつ事故ではあったが、外部環境への影響と云う意味では当初報道されたよりも遙かに軽微であったことが明かになった。この事故は徹底的に分析され検討され、類似の原子炉だけでなく、すべての施設について再検討が行なわれた。現在ではこの事故の原因は第一に設計上の問題があり、これに加えてずさんな運転管理が引き起したものとされている。最近はこの事故の教訓をとり入れた新しい運転支援システムが開発されつつある。この新システムは事故時の状況をコンピューターが分析し、運転員に適切な指示を与えるよう工夫されたものである。

以上がTMI事故の概要であるが、この事故の世界各国の原子力発電の立地推進に与える影響は極めて大きかった。この事故のあった次年度の昭和54年度はわが国では一基も新プラント建設決定がなかったし、ただでさえ核不拡散問題で原子力にブレーキのかかっていた米国では原子力開発推進上大きな障害となり54年度は新規発注がないのみか、既設計画のとり消しも相ついで。TMI事故は原子力開発という巨大科学が進歩する途上で克服しなければならない一つのステップのようなものであったと考えられている。

4. 軽水炉に対する政府の支援

昭和40年当時の政府の方針は次のようなものであった。即ち、「軽水炉は技術導入により民間ベースで開発を進めること。政府は高速増殖炉とか重水炉と云った将来型の原子炉開発に注力すること。」しかしエネルギー問題の重要性から、50年代になると再び政府が軽水炉開発にも注力するようになった。その一つの柱は先にものべた改良・標準化の推進であるが、もう一つの柱は軽水炉の安全研究である。昭和49年に制定された電源三法は電力会社から販売電力量に比例した税金をとり、これを発電用施設周辺の市町村に交付し立地推進をはかる他、軽水炉の安全研究などにも使用するよう定めた法律であり、最近の軽水炉の信頼性向上のため多いに役立っている。

5. 将来型としての高速増殖炉（FBR）

以上の如く、わが国の原子力の路線は今後当分軽水炉であることは間違いないが、更に将来についてはどうなるであろうか？ 軽水炉では核燃料として、通常2～3%程度に濃縮したウランが用いられる。この原料となる天然ウランは百万kWの発電所で年間200トン程度消費される。総合エネルギー調査会によればわが国の原子力発電が順調に進めば昭和65年までに累計126,000トン（ U_3O_8 st）のウランが必要とされる見通しである。一方自由世界におけるウラン資源の確認埋蔵量（ポンド50ドル以下の U_3O_8 ）は約260万トン程度と云われており、このままで行けばウランは枯渇し将来石油の二の舞となる可能性もある。この問題を解決するために開発されているのが高速増殖炉（又は高速炉、FBR）である。ここでは天然ウランが燃焼して生ずるプルトニウムを再び核燃料として利用しようとするものである。高速増殖炉のアイデアは世界各国で

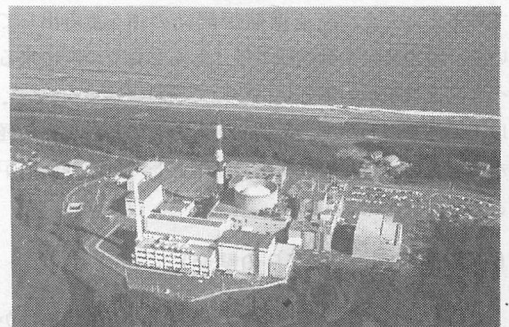


図-3 高速増殖炉実験炉「常陽」
＜動力炉・核燃料開発事業団殿、御提供＞

早くから注目され、多くの国で開発が開始された。図-4に軽水炉と高速増殖炉の原理の違いを示す。この図で判るように高速増殖炉では熱媒体として基本的にナトリウムを用いる構造になっており軽水を用いる軽水炉に較べると基本的に構造が異っており、技術的に新しい問題を伴っている。この高速増殖炉の開発ではフランス、英国及びソ聯が世界で最も進んでおり、すでに30万kW級の原子炉が稼働している。とくにフランスは昭和42年にすでに実験炉ラブソディ（熱出力2万kW）を臨界にさせ、ついで昭和48年には原型炉フェニックス（電気出力25万kW）を臨界にした。更に現在実証炉スーパーフェニックス（電気出力120万kW）の建設が進行しており、昭和58年臨界を目ざしている。フランスでは、この後商用炉（150万kW）の計画も進んでおり着実に高速増殖炉開発路線を歩んでいる。これに反して世界でも最も早く高速増殖炉開発に着手した米国はカーター政権の核不拡散政策の一環としてプルトニウムの流出を防ぐとの観点から原型炉クリンチリバー（CRBRP電気出力38万kW）の計画を中断した。そして基礎研究のみを継続するという方針をとっている。しかしレーガンによる新政権になって再び高速増殖炉の計画を建て直すことが考えられるが、すでにフランスに対しては数年以上の遅れがあり、これは容易に回復できないギャップと見られている。

わが国においては高速増殖炉の開発は日本原子力研究所で開始されたが後に動燃事業団にこの計画は移され、実験炉「常陽」が昭和52年臨界になっている。常陽は当初熱出力5万kWであったが、昭和54年から出力を7.5万kWに上昇し順調に稼働している。図-3

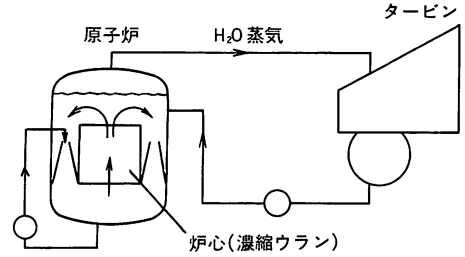
常陽につぐ原型炉「もんじゅ」（電気出力28万kW）は昭和44年から計画が開始され、昭和55年には建設費が計上され、環境審査が終了し、安全審査が開始された。このようにしてわが国も当初の計画よりは遅れているとは云え、高速増殖炉開発の道を歩み出している。電力会社や動燃団では「もんじゅ」の次に来るべき高速増殖炉の実証炉について検討が始まっている。以上の通り、わが国の長期的方針としては、現在の軽水炉とその改良および将来の炉型としては高速増殖炉と云う方針が決っている。

6. 新型転換炉（ATRの開発）

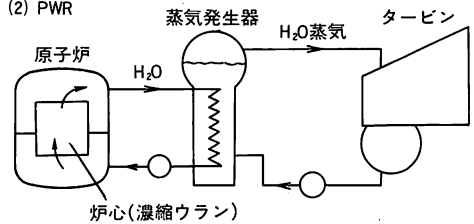
先にも述べたが、高速増殖炉の開発、実用化にはかなりの年月を要するものと見られる。このため軽水炉と高速増殖炉のギャップを補う炉として動燃事業団は

軽水炉

(1) BWR



(2) PWR



高速増殖炉

FBR

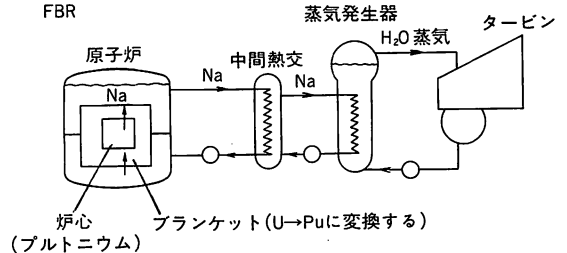


図-4 軽水炉と高速増殖炉の比較

新型転換炉（ATR）を開発しつつある。ATRの目的は軽水炉の使用済燃料から回収されるプルトニウムを効率よく燃やすことにある。即ち将来は高速増殖炉に供給する筈のプルトニウムを高速増殖炉が大量に建設するまで、ためておかないで、積極的にATRで燃して行こうという考え方に立っている。ATRの炉心では従来の軽水炉の炉心と異なり、圧力管を採用し、この圧力管の内部に燃料体を入れ、この部分を軽水で冷却し、圧力管の外側に減速材としての重水を配置した構造になっている。このATRの原型炉、ふげん（出力16万5千kW）は動燃事業団によって敦賀に建設され、昭和54年に臨界になった。

現在2号機としての実証炉（出力60万kW）を建設すべきか否かについて原子力委員会が検討中である。いずれにせよATRの位置づけとしては単に発電コスト的な見方で他の炉（例えば軽水炉）と競争させると云う見方だけではなく、核燃料サイクルの国産化とか核不拡散に関連したプルトニウムの扱い方とか云った別の観点から位置づけられねばならぬと考える。

7. 高温ガス炉の開発

上にのべた高速増殖炉，ATRの他に現在わが国が計画している炉型に高温ガス炉（VHTR）がある。現在原子力研究所で設計が続いている高温ガス炉の実験炉（熱出力5万kW）は将来の製鉄などの高温ガス利用が主目的であり，発電が主眼ではない。このため多目的高温ガス炉として位置づけられるものである。即ちガス炉から得られる1,000℃程度の高温ヘリウムガスを利用し，(イ) CO，H₂などの還元ガスを作り直接還元製鉄を行なうこと。(ロ) 石炭ガス化，液化を行うこと。(ハ) ナフサの分解。(ニ) 水の熱化学的分解による水素の製造の他 (ホ) ヘリウムガスタービンによる発電。

と云った多くの可能性をもつものである。図-5はわが国の1977年度のエネルギーの電力，非電力の割合及び，輸入，国産の割合などを石油換算で示したものであるが，非電力部分が73%もあり，この大半が輸入エネルギーであることを示している。この図から判ることは，もしもこの分野で原子力が利用可能になれば，その効果は著しく大きいものであることが判る。

今後の高温ガス炉の開発に関する問題点としては技術的には材料の問題などが挙げられるが，それより決定的な問題は，やはりエネルギーのコストが他のエネルギー源に較べて見合う線にまで下げられるかどうかと云う点と，立地の問題であろう。ヨーロッパの各国でも高温ガス炉の研究は古くから行なわれているが，現在は西独を除いてあまりアクティブなところはない。また米国でも一時はGA社が発電用プラントを何基も受注し，軽水炉の次に商用プラントとしてガス炉が登場するかに見えた時期があったが，オイルショック後殆んどキャンセルになり現在はフォートセントブレイン（電気出力34万2千kW）一基が稼動しているのみであり，近い将来の建設計画はない。

8. むすび

以上，わが国の原子力発電の現状と将来計画についてのべてきたが，今後の方向を決める重要な課題の一つとして，国が開発したプロジェクトの民間への移行の問題がある。現在，軽水炉の建設は各電力会社が着着と進めており，完全に民間ベースで行なわれている。先にものべた通り，当初は民間が外国より技術導入し，後に国がこれを援助する形になったが，基本的には民間ベースである。一方，後述した各種の新型炉プロジェ

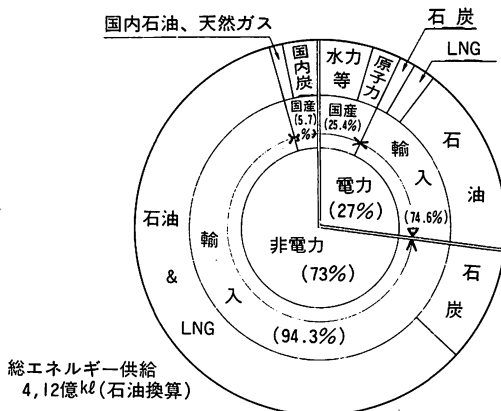


図-5 わが国のエネルギー利用割合

原産「原子炉多目的利用懇談会」資料

クトは国のプロジェクトであるが，将来これを日本の発電炉の柱として行くためには，日本の電力事業が民間で行なわれている以上民間ベースの計画に移行させねばならない。各開発プロジェクトの成功，不成功は，この民間化（又は産業化）をどの段階でどのようにやるかにかかっている。即ち，国としては各プロジェクトの位置づけは明確であり，それぞれ，石油の代替エネルギーやウラン資源の節減と云った目的が稼せられており，国のセキュリティを担った開発プロジェクトとして位置づけている。しかし電力事業の立場から見れば発電コストとか信頼性と云った面で納得できるものでなければ発電プラントとして取上げる訳には行かないのが実情であり，今後の開発を成功させるポイントはこの産業化問題のマネージメントにあると云っても過言ではなからう。

