島根原子力発電所の運転実績

薬師寺 薫*, 岡田 吉種*

(1977年 3月10日 受理)

Operating Experience at Shimane Nuclear Power Plant

By Kaoru YAKUSHIJI and Yoshitane OKADA

Shimane Nuclear Power Plant was built in the period between February, 1970 and March 29, 1974 on which this went into commercial operation.

The plant has been maintained smooth operation and has entered the third annual maintenance outage. Maximum exposure of the fuel bundle has reached about 16,000 MWD/T. From the fuel bundle inspection and the operating data such as reactor water and off-gas activities, it has been shown that the fuel has been operated soundly.

Here are the summary of the plant facility and the operating experience.

KEYWORDS: *Shimane-1 reactor, nuclear power plants, reactor operation, reactor maintenance, reactor instrumentation, fuel element clusters*

I. ま え が き

島根原子力発電所は昭和45年(1970)2月に着工し、昭和49年3月29日国産第1号の原子力発電所として営業運転を開始した。それ以後順調な運転を続け現在第3回目の定期検査(昭和52年1月9日開始)に入っている。発電所の概要ならびにこれまでの運転実績について紹介する。

II. 島根原子力発電所の概要

当発電所は島根県松江市の北方約10kmの島根県八束郡鹿島町の北部、島根半島の中央部日本海に面して設置されている。用地面積は約173万 m^2 である。原子炉炉型は直接サイクル沸騰水型軽水炉で、いわゆるGE BWR-3型に相当するものである。電気出力は460 MWである。

主要機器設備は、(株)日立製作所を主契約者として極力国産機器を採用した結果、機械装置の国産化率は約93%となった。燃料については、ウラン精鉱、濃縮は外国に依存しているものの初装荷燃料から成形加工は、日本ニュクリア・フュエル(株)で行なっている。被

覆管を初めとする燃料部品についても段階的に国産化を進めており、これは近い将来には100%国産化ができるものと考えている。発電所従業員は昭和52年2月末現在、約200名である。発電所の主要設備概要を第1表に示す。

III. 運 転 実 績

当発電所の運転実績概要を第2表に示す。運転後51年度末までの総発電電力量は約87億kWh、設備利用率は71.8%である。発電所は51年8月27日にタービン主蒸気止め弁テスト用電磁弁故障によるスクラムを経験したが、これ以外はほぼ計画どおり順調な運転を行なっている。運転後の運転状況を第1図に示す。

51年度末までの燃料集合体の最高燃焼度は約16,000 MWD/Tに達しており、現在までに実施された炉内ショッピング検査、燃料体外観検査ならびに炉水放射能、オフガス等の運転データからみて燃料の健全性は維持されており、漏洩は全く生じていないと判断される。

* 中国電力(株)原子力部(At. Power Dept., Chugoku Elec. Power Co., Inc.)

第1図 運転後の運転状況

第1表 島根原子力発電所の主要設備概要

原子炉	
型 式	直接サイクル沸騰水型
熱 出 力	1,380 MW
蒸気圧力	70.7 kg/cm ² g
蒸気温度	286°C
炉心冷却材流量	21,770 t/hr
炉心有効高さ	3,660 mm
炉心等価直径	3,440 mm
制御棒本数	97本
燃 料	
燃料集合体数	400(U重量約78 t)
燃料棒配列	7×7または8×8正方格子
種 類	ジルカロイ-2被覆管, UO ₂ 焼結ペレット
濃 縮 度	初装荷燃料 平均約2.1% 取替燃料 平均約2.5~2.6%
燃 焼 度	第1炉心 平均約16,500 MWD/T 平衡炉心 平均約25,000 MWD/T
原子炉圧力容器	
材 料	Mn-Mo-Ni 鋼
内 径	4,793 mm
全 高	19,514 mm
肉 厚	117 mm
設計圧力	87.9 kg/cm ² g
格納容器	
型 式	圧力抑制式, MARK-I 型
設計内圧, 温度	3.94 kg/cm ² g, 138°C
蒸気タービン	
型式, 数量	衝動くし形 3車室 4流排気 再生復水式, 1台
出 力	465,626 kW
蒸気流量	2,450 t/hr
回 転 数	1,800 rpm
発 電 機	
型式, 数量	回転界磁形 3 相交流同期発電機 1台
容 量	520,000 kVA
力 率	90%
電圧, 周波数	18,000 V, 60 Hz
冷却方式	(固定子) 水冷却 (回転子) 水素ガス冷却

第2表 運転実績概要

年 度	49	50	51
項 目			
発電電力量(MWh)	3,048,220	3,074,499	2,551,353
設備利用率(%)	75.6	76.1	63.3
年度増分炉心平均燃焼度(MWD/t)	4,749	4,831	4,056
年度末燃料集合体最高燃焼度(MWD/t)	6,876	12,103	15,977
試運転期間中の発電電力量			
(発電機初併入48年12月2日 ~49年3月28日)		496,090 MWh	
運転後の発電電力量			
(営業運転開始49年3月29日 ~52年1月8日)		8,707,217 MWh	
運転後の設備利用率		71.8%	

IV. 炉 心 管 理

当発電所の炉心管理システムの概略を第2図に示す。燃料線出力密度等の炉心性能およびプラント性能の監視は、炉内核計装、プラント計装およびこれらを入力とするプロセス計算機により行われている。プロ

第2図 炉心管理システムの概略

セス計算機は常時オンラインで、炉心性能計算およびプラント性能計算を行っており、周期的(毎時, 毎日, 毎月)ならびに運転員の要求によりデータをアウトプットする。

一方、発電所の運転に必要な制御棒計画, 燃料取替計画の作成は、このプロセス計算機から紙テープでアウトプットされる燃料燃焼度データ等を入力として本店の燃料および炉心管理コードを用いたオフライン計算により行う。

制御棒計画は、原子炉の起動ならびに制御棒パターン交換、および調整に必要な 100% 出力時の制御棒パターンおよびそれに至る制御棒操作手順等を定めるものであり、とくに燃料の最大線出力密度をできるだけ低く(目標値は15 kW/ft以下)するように綿密な検討を行なっている。制御棒パターン交換は、制御棒の引抜き状態を、挿入量の多いものは少なく、挿入量の少ないものは多くして、燃料の燃焼度分布の均一化を図るものであり、約2ヵ月に1回実施する。また制御棒パターン調整は、制御棒パターン交換と次の交換の間で、燃焼に伴う炉心の反応度劣化を補償するために行う制御棒引抜き量の微調整である。

燃料取替計画は、およそ1年に1回実施する燃料取替に必要な燃料取替パターン(取り出す燃料の位置, 新燃料を装荷する位置, シャフリングする位置等を定めるもの)を定めるものであり、とくに燃料取替後の炉心が所定の安全性および性能を有していることについては十分な検討を行う。

発電所では、これら制御棒計画および燃料取替計画をもとに関連する作業, 工程等を考慮してそれぞれ具体的な手順書を作成して実施に移す。

V. 燃料の健全性

当発電所では、当初より燃料の健全性の維持に重点をおき、国内はもとより世界各国の研究, 開発の成果ならびに先行発電所の燃料照射実績, 運転状況を考慮して、以下のような管理, 運転を行なっている。

1. 燃料体の品質管理

燃料体の成形加工に先立って品質管理の体制, 方法, 基準等についてメーカーと充分協議, 検討し決定する。燃料体の成形加工は現状では手造りの要素がかなり多く含まれていることも考慮して、成形加工期間中は当社職員を工場に常駐させて品質管理の徹底を図っている。

燃料体の設計, 製作において健全性向上のため、漸次改善がなされてきているが、その主なものは次のと

おりである。

- (1) 燃料棒内の水分を少なくするための真空乾燥工程の導入(初装荷燃料より実施)および残留水分吸収材(ゲッター)の採用(取替燃料より実施)により、被覆管内面での局部水素化による破損の防止を行なっている。
- (2) 延性特性の優れている再結晶化焼鈍材被覆管およびチャンファ付き短尺ペレットの採用(ともに取替燃料より実施)により、燃料ペレットと被覆管との機械的相互作用(PCI)による破損の防止を行なっている。

2. 運転上の対策

前述のPCIによる破損防止のため、当初より次のような運転上の対策を講じている。

- (1) 燃料の最大線出力密度をできるだけ低くする。
すなわち運転限界値 17.5 kW/ft (0.574 kW/cm) に対して運転目標値 15 kW/ft (0.492 kW/cm) を設定して、これを満足するように、前述の制御棒計画作成に際して十分な検討を行う。これまでの最大線出力密度の推移を第3図に示すが15 kW/ft 以下となっている。

第3図 最大線出力密度の推移

- (2) 高出力での線出力密度の上昇速度を小さくする。
すなわち、出力上昇速度が大きいと燃料ペレットと被覆管の熱膨張率, 温度の差に基づき過渡的に過大な応力が被覆管に加えられるので、PCIの大きい高出力(最大線出力密度が約8 kW/ft以上、電気出力では220~230 MW以上)では、線出力密度の上昇速度を小さくして、これを緩和している。いいかえれば燃料ペレットと被覆管をなじませながらゆっくりと出力を上昇している。

出力上昇(正の反応度付加)の方法には、制御棒の引抜きと炉心冷却材流量の増加があるが、高出力での出力上昇は後者により行う。これは制御棒の引抜きが局部的に急激な線出力密度の増加を来すのに対して炉心冷却材流量の増加による出力上昇の場合には、線出力密度の上昇速度を極めて緩やかにできるからである。

3. 出力上昇例

前述の出力上昇法を適用した例を第4, 5図に示す。

第4図は冷温状態からの出力上昇例である。

第4図 冷温からの出力上昇例 (昭和51年4月定期検査後の冷温からの原子炉起動実績)

まず、炉心冷却材流量をミニマム流量(再循環ポンプミニマム速度に対応)の状態にして、所定の制御棒操作手順に従って制御棒を引き抜いて出力を上昇していく。この時の出力上昇速度は約2 MW/minである。燃料の最大線出力密度が約8 kW/ft(電気出力で220~230 MW)になったところで制御棒の引抜きを中断し、今度は炉心冷却材流量の増加により、約2 MW/hrという非常にゆっくりとした出力上昇速度で出力を上昇する。次に、炉心冷却材流量をもとのミニマム流量まで下げて出力を低下し(最大線出力密度は炉内のXeの蓄積により8 kW/ftよりかなり低くなっている)、制御棒の引抜きを再開する。出力を低下して制御棒を引き抜く時点は、Xe蓄積量の変化ならびにこれまでの出力上昇経験をもとにして、100%出力(電気出力460 MW)への到達時間が短くなるように決定している。このような手順を合計3~4回(第4図の場合は4回)繰り返すことにより目標とする制御棒パターン、100%出力を達成する。この時の炉心冷却材流量は約85%となるようにしており、残り15%は燃焼に伴う炉心の反応度劣化を補償することに使用する。

一方第5図は制御棒パターン交換時の出力上昇例である。この場合には、Xe蓄積量は制御棒パターン交換前の100%出力に対応した平衡状態にあるため、1回の出力低下で目標制御棒パターンを作ることができる。

Ⅶ. 給水の水质管理

給水系統から原子炉に持ち込まれる腐食生成物(クラッド)の量を少なくすることは、燃料の熱特性上(燃

第5図 制御棒パターン交換時の出力上昇例(昭和51年7月)

料棒表面にクラッドが過大に付着すると熱伝達が悪くなる)、ならびに発電所作業員の被曝低減上(クラッドが炉内で放射化されて放射線源となる)有効である。

当発電所は直接サイクルであるため、薬品注入によるさび止め処理は行っていない。その代わりに給水系統に脱塩器およびパウデックス式フィルタを設けて、クラッドの持込み量の低減を図っている。しかしながら、起動試験の結果、給水系から持ち込まれるクラッド量が予想外に多く(30 ppb 前後)、その大部分がフィルタ、脱塩器通過後の給水ヒータおよび配管部で発生していることが判明した。この原因を解明するため他プラントの水質と比較したところ、他プラントでは給水中の溶存酸素濃度が20~50 ppbでクラッドが10 ppbであるのに対し、当発電所では溶存酸素濃度が1~3 ppbであり、この溶存酸素濃度の差が原因ではないかと推測された。このような経緯から、運開後3回にわたり給水系に酸素を注入する試験を実施した結果、溶存酸素濃度が10 ppb程度でクラッドが約1/10程度(3 ppb 前後)に減少することが判明した。酸素注入によるプラントへの悪影響がないことも確認されたので、その後現在に至るまで酸素注入を続けている。現在までのところ給水系からのクラッド持込み量は3 ppb 前後である。

Ⅶ. むすび

以上述べたように、当発電所は昭和49年3月運開以来約3年間にわたり運転経験を積んできたが、この間の設備利用率71.8%、漏洩燃料なしということに象徴されるように極めて順調なものであったといえる。これはひとえに関係各界のご指導、ご助言の賜であり、この誌上をかりて感謝の意を表したい。今後とも順調な運転を持続すべく全力を注ぐ所存である。