福島第1原子力発電所5号機の運転実績

井 上 和 雄*

(1978年 11月 7日 受 理)

*Preoperational Test, Start-Up Tests and Operating Experience
for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit-5*

By Kazuo INOUE

Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit-5 (BWR 784 MWe) is located in Futaba-machi area north to Okuma-machi area where Unit-1~4 are located. Construction of this unit was started on Dec. 1971 before Unit-4 construction. Commercial operation was started on April 4, 1978 and keeps operation with no trouble. With completion of the unit, capacity of Tokyo Elec. Power Co. four nuclear power plants become 2,812 MWe, which is about 10% of whole Tepco's electric power plant's capacity. Here are the summary of the plant facility and the operating experience.

KEYWORDS: nuclear power plants, reactor pressure vessel, nuclear fuels, control rods, capacity factor, availability, reactor operation, Fukushima-5 reactor

I. ま え が き

福島第1原子力発電所5号機は当所1~4号機の北側双葉町に建設した最初のプラントで、電気出力784 MW、軽水減速沸騰水型原子力発電所として4号機に先行して1971年12月建設に着手し、1978年4月18日に営業運転を開始したもので、現在順調な運転を継続している。

5号機完成により当社の原子力発電設備は4基、2,812 MWとなり当社総発電設備容量の約10%を占めることになった。

以下に5号機設備の概要と特色、試運転ならびに運転実績について紹介する。

II. 5号機の概要と特色

5号機は先行機である当所2,3号機、および他社における建設、運転の経験を充分とり入れ、安全確保のほか特に信頼性の向上、環境への放射能の影響低減、従業員被曝低減に万全を期すため種々の改良、改善を行っている。

また、国産技術の向上を図る見地から原子炉、発電機器のすべてを3号機と同様に東京芝浦電気㈱一括

発注したものである。以下に設計段階で特に注意を払った事項および新たに採用した系統、機器、手法等についてその概要について述べる。

1. 燃 料 設 計

5号機の初装荷炉心構成は2,3号機と同一であり、117体の低濃縮度燃料(タイプⅠ燃料、集合体平均濃縮度1.1%)と、431体の高濃縮度燃料(タイプⅡ燃料、集合体平均濃縮度2.5%)の合計548体からなっている。初装荷燃料はいわゆる改良型7×7燃料体(7×7R型)であり、核的設計、機械設計ともに3号機の初装荷燃料と全く同一である。改良型7×7燃料体はペレットの鼓形変型に起因する被覆管-ペレットの相互作用を軽減するために、短尺ペレットを採用するとともにペレット端面の面取りを施し、また被覆管の焼鈍温度を上げることにより延性の増加を図っている。また、初期BWR燃料で経験された湿分の混入による被覆管の局所水素化を防ぐため厳重な湿分管理の下にこれの製造を行うとともに、万一の湿分混入に備えてプレナム内に水分ゲッターを封入している。

* 東京電力㈱原子力管理部(Nucl. Power Operation and Maintenance Dept., Tokyo Elec. Power Co.)

第1表 福島第1原子力発電所5号機の主要設備概要

原子炉	
型式	低濃縮U軽水減速沸騰水型
熱出力	2,381 MWt
運転圧力	70.7 kg/cm ² ・g
運転温度	286°C
原子炉圧力容器	
材料	Mn-Mo-Ni 鋼ステンレス鋼内張り
寸法	全高約 22 m, 胴内径約 5.5 m
全重量	約 500 t
燃料	
種類	UO ₂
比出力	22.6 kW/kg・U
出力密度	51.1 kWt/l
燃料装荷量	105.4 MTU
最大線出力密度	60.7 kW/m
濃縮度	初装荷タイプⅠ 1.1 % タイプⅡ 2.5 %
設計燃焼度	初装荷 21,000 MWd/MTU
燃料棒本数, 配列	49本, 7×7R型
燃料集合体本数	548体
ペレット直径	1.24 cm
被覆管材料, 厚さ	ジルカロイ-2, 0.94 mm
燃料棒直径	1.43 cm
燃料集合体全長	4.46 m
制御棒	
型式	十字形制御材充填式 水圧駆動式
組成	粉末ボロンカーバイト
本数	137本
原子炉格納容器	
型式	圧力抑制式マークⅠ型
設計内圧	3.92 kg/cm ² ・g
タービン	
型式	串列4気筒6流排気式
出力	784 MW
復水器真空度	722 mmHg
回転数	1,500 r.p.m.
制御装置	電気油圧式
発電機	
型式	横軸円筒回転磁形 3相交流同期発電機
容量	911 MVA (水素圧 4.21 kg/cm ² ・g)
電圧, 周波数	17,000 V, 50 Hz
冷却法	固定子, 水冷却 回転子, 水素直接冷却

なお、改良型7×7燃料の運転実績は世界的に良好であるが、さらに設計上の余裕を増すため5号機においても第1回取替燃料(1979年装荷予定)より8×8燃料を採用することと準備を進めている。

8×8燃料は7×7燃料と同一外寸であり、互換性を持つ一方、伝熱面積が増加するため最高線出力密度を減少させることができ安全上の余裕も大きく増大する。8×8燃料はすでに当所1～3号機の取替燃料として採用しており良好な実績を得ている。

2. 応力腐食割れ防止対策

国内外の沸騰水型原子力プラントにおいて発生した応力腐食割れに対する再発防止対策について、金属関係の専門家の見解および原子炉メーカー、金属メーカ

ーを含めその発生の可能性、対策について全般的見直しを行い、5号機については建設工事の進捗状況を勘案しつつ、材料の変更、溶接施工方法の改良、残留応力の改善等各種の対策を実施した。特に原子炉再循環系配管等大口径管、中口径管についてはすでに工事を完了していたため、配管溶接部近傍を高周波誘導加熱法により配管内面の残留応力の改善処理を行なった。

3. 敷地周辺放射能低減対策

敷地周辺に対する放射能の影響を極力低く抑えるため、機器漏洩防止対策、換気空調系の改善を行なった。機器漏洩防止対策として弁グランド部のベローシール化、リークオフ等の設置ならびにサンプリングシステムの気密化について特に重点的に実施した。

またタービン・グランドシール蒸気の清浄化、チャコール・ホールドアップ装置の設置に加えて、環境への放出風量の低減化を図るためタービン室ルーフベンチレータの廃止、空調系の設計変更工事を行なった。

4. 原子炉圧力容器内給水スパーチャーの改造

原子炉圧力容器給水ノズルコーナー部に熱疲労によるひび割れが米国および当所1号機で発見された。この原因は給水ノズルと、給水ノズルに挿入した給水スパーチャー・サーマルスリーブとの僅かの間隙から原子炉起動、停止時に低温の給水が混入することにより、給水ノズル内表面が高サイクルの繰返し熱応力を受けたことによるもので、この原因を除去するため給水ノズルに対する給水スパーチャーの取付方法を溶接タイプに変更し、起動停止時にノズルとサーマルスリーブの間隙から給水が混入するのを防止するよう改造を行なった。

5. 燃料交換機、制御棒駆動装置交換機の自動化

作業員の被曝低減および運転、保守作業の確実性、容易性を図るため、燃料取替機については遠隔操作が可能となるようコンピュータ制御装置の設置、制御棒駆動装置の取替についても自動化を図り自動交換機の設置を行なった。

6. 可燃性ガス濃度制御装置等安全設備の強化

原子炉冷却材喪失事故を仮想した場合発生する水素ガス、酸素ガスにより格納容器内雰囲気爆発限界に達することを防止するため、ガスの再結合器、吸引ファンの設置を行なった。

また発電所内ケーブル延焼防止塗料の塗布、変圧器防災のための消火用水スプレー装置、地下タンクの設置等設備安全対策の強化を行なった。

7. 建家換気系(HVAC)冷却水の淡水化

先行機はHVACの冷却水に海水を使用しているが、

万一海水が漏洩した場合の処置の困難性を考慮して、HVAC 冷却水の淡水化を図り、淡水はターボ冷凍機により冷却供給する方式に変更した。

8. 送電系統の500 kV 直接昇圧化

当社の原子力発電所としては初めての500 kV 直接昇圧方式を採用し送電ロスの低減を図った。

Ⅲ. 試 運 転 実 績

建設工事完了後順次系統試験を実施し、機器、系統設備が正常であることを確認のうえ1977年7月21日に燃料装荷を開始し、大気圧試験、核加熱試験により負

荷運転前の各機器、系統の特性、性能を確認し9月22日発電機初併入を行なった。

その後引き続き25, 50, 75, 100%の各出力段階において、第2表および第1図に示すように、炉心性能評価試験、各制御系の安定性、最適性の確認試験、プラント過渡応答試験等の起動試験を行なった。これら各種試験の結果はいずれも良好で、系統機器特性、過渡状態の特性とも解析結果と一致していることを確認した。

さらに1978年4月11日から100%定格出力における100時間の連続運転を行い、プラントの性能を確認し最終官庁検査に合格営業運転に入った。

第 2 表 起 動 試 験 項 目 と 試 験 状 態

試験 番号	出力流量曲線 % 定格出力 % 定格流量 試験点番号	25%		50%		75%				100%				大気 圧	核加 熱	負荷 試験
		20~	45~	32~	70~	50~	42~	32~	75~	70~	60~	45~				
		30	55	42	80	60	52	42	100	80	70	55				
		~40	~100	~62	~100	~62	~48	NC	~100	~62	~48	NC				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
1	化学・放射化学測定試験	○	○		○				○				○	○		
2	放射線レベル測定試験	○	○		○				○				○	○		
3	燃料装荷試験												○			
4	最小臨界測定試験												○			
5	停止余裕試験												○			
6	制御棒駆動系試験		○		○				○	○			○	○		
7	制御棒価値測定試験												○			
8	核加熱時初臨界試験													○		
9	温度係数測定試験													○		
10	原子炉隔離時冷却系試験													○		
11	高圧注水系試験													○		
12	炉心性能評価試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	
13	制御棒に対する中性子束応答試験	○							○		○	○				
14	圧力調整器試験															
	圧力設定点変更	○	○		○				○		○	○				
	バックアップ圧力調整器	○	○		○				○							
15	給水系変動試験															
	水位設定点変更	○	○		○				○		○	○				
	給水ポンプトリップ				○				○							
16	バイパス弁性能試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
17	主蒸気隔離弁試験								○							
18	逃し弁性能試験		○											○		
19	再循環流量制御試験		○		○		○		○	○	○					
20	再循環ポンプトリップ試験															
	ポンプ1台トリップ		○						○							
	ポンプ2台トリップ				○				○							
21	タービントリップと総合インター ロック試験								○	○						
22	発電機負荷遮断試験	○	○		○				○							
23	外部電源喪失試験	○														
24	負荷試験														○	
25	17 kV 系試験												○			
26	500 kV 系試験													○		
27	タービン保安装置(停止中)												○			
28	タービン保安装置(運転中)													○		
29	タービン弁開閉試験									○						
30	給水ポンプ保安装置(運転中)													○

第1図 起動試験実績

試運転中の総発電時間は3,695時間、発電電力量 $1,917 \times 10^6$ kWhであったが、この間予定外の原子炉スクラムは一度もなく順調に試運転を終了し、営業運転に入ったものである。

Ⅳ. 運転実績

1978年4月18日営業運転開始後9月末日までの発電電力量は $2,519 \times 10^6$ kWhで、現在順調に運転継続中である。

この間6月12日に発生した宮城県沖地震時にも発電所設備に支障はなく運転を継続したが、地震時の影響による500 kV送電線碍子類の調査のため一時送電を停止した。しかし発電所の運転は継続し、碍子類の点検、保修完了後直ちに送電を開始し、地震に対する発電所設備の信頼性を確認する貴重な経験を得ることができた。

1978年上期の5号機の発電所設備利用率は80.6%であるが、これは第2図の負荷曲線に示すように制御棒パターン調整および制御棒パターン変更に伴う運転上

第2図 連開後の負荷曲線

の制約による負荷調整を行なったためである。

制御棒パターン調整は第1炉心初期においては、プラント出力制御のため運転操作上必要な調整である。すなわち、第1炉心は初期の超過反応度の制御、燃料軸方向出力分布の改善を図るため、一部の燃料に可燃性ガドリニアを含むガドリニア燃料を使用しているので、燃料中のガドリニア濃度の高い運転初期においては、ガドリニアの燃焼に伴い炉心反応度がその分増加傾向となる。このため再循環流量の調整によるプラント出力制御が円滑に行い難くなるので、炉心の反応度の変化を数本の制御棒で調整しプラント出力制御を最適にするものである。

また、制御棒パターン変更は燃料の燃焼をできるだけ平坦化するため定期的実施するもので、これらの運転操作については、特に燃料の健全性を維持する観点から運転上厳しく管理している。すなわち、高線出力密度領域での出力上昇速度をゆるやかにし、特に制御棒引き抜きは局所的に大きな出力上昇を伴うため、これを必ず低出力領域で行う等の運転上の配慮を払っている。このため制御棒の調整後の出力上昇速度はゆるやかにし、特に制御棒パターン変更後の出力上昇は2週間以上かけて慎重に行なっている。

このように燃料の健全性確保のため運転上の制約を行なっているが、今後の設備利用率の向上、負荷追従性の向上のためには、改善燃料の技術開発を積極的に進めて早期にその実用化を図ることが必要と考える。

以上現在までの5号機の運転実績について述べたが、トラブルによる発電停止、点検、手入れ調整等のための中間保守予定停止の必要性もないので、1979年2月に予定している定期検査まで安定運転を継続し、発電所設備利用率の向上に努力したいと考えている。

V. む す び

1978年上期前半の福島原子力発電所1～3号機および5号機運転による発電電力量は、当社供給総電力量の約16%(1978年5月)を占めた。その後1号機は9月1日より、3号機は6月1日よりそれぞれ予定通り定期検査に入ったが、上期の発電所総合の時間稼働率約79%、発電所設備利用率約64%となった。

発電所設備利用率の向上は今後の大きな課題であるが、当面は現在まで発生したトラブルの再発防止、定期検査作業の効率化、被曝低減対策、廃棄物処理対策の徹底、強化を図り、さらに長期的には発電所の信頼性および保守運転性能の一層の向上を図るため、世界のBWRメーカーの独創的な優れた技術を結集し、理想設計を志向した技術開発を積極的に進める必要があると考える。

○創立20周年記念式典「祝辞」②

科学技術庁長官
・原子力委員長 金子岩三殿

本日、ここに、日本原子力学会創立20周年記念式典が開催されるにあたり、一言お祝いの言葉を述べさせていただきます。

御高承のとおり、今や、我が国の原子力発電の規模は1,000万キロワットを超え、世界第2の原子力発電国になるとともに、ウラン濃縮、再処理等の核燃料サイクルの確立、高速増殖炉等の新型動力炉等の研究開発プロジェクトの着実な進展がみられるに至っております。我が国の原子力研究開発利用も本格的展開の段階を迎えたと申すことができます。

貴学会におかれましては、我が国の原子力研究開発利用が未だ揺らぎ期にあった昭和34年の創立以来今日に至るまで、一貫して原子力という巨大な科学技術に対し活発な研究活動を展開して来られました。そしてこれらの研究活動の成果こそが、今日の我が国原子力の本格的実用化に大きく寄与し、それも力強く支えていることは申し上げるまでもないところであります。

しかしながら、我が国が今後原子力開発利用を引き続き推進していくためには、官民ともに従前にも増してより一層の努力を傾けて参らねばなりません。

すなわち、原子力研究開発の中心的プロジェクトとして高速増殖炉、核融合等数多くの研究開発が推進されているところでありますが、それらの実用化までには、なお基礎研究から開発研究に至る広範な研究活動が必要とされております。

そして、これらの大型プロジェクトの推進のためにも、また、今後の新しい技術開発のためにも、原子力全般にわたる基礎研究が不可欠であることは言うまでもありません。さらに、原子力にたずさわる人材の養成も極めて重要であり、原子力研究開発利用の進展に伴い、これらが今後の極めて大きな課題となってきました。このような意味において、我が国における原子力研究の指導的立場にある貴学会の役割は、今後さらに重要な

度を加えていくものと考えます。

ここに貴学会が、ますますその活動の場を拡大され、我が国の原子力研究開発利用の推進に、多大の貢献をなされることを期待致しまして私の祝辞とします。

(代読 原子力委員長代理 清成 迪)

○創立20周年記念式典「祝辞」④

日本学術会議会長 伏見 康治 殿

本日、日本原子力学会創立20周年記念式典が挙行されるにあたり、日本学術会議を代表して一言お祝いの言葉を申し述べる機会を得ましたことは、私の深く喜びとするところであります。

日本学術会議では昭和27年(1952年)から「我が国における原子力研究の在り方」について熱心に討議を行い、その後原子力問題委員会等を経て検討を進めていきましたが、結論を得るまでに政府が昭和29年度予算に原子力平和利用研究補助金を計上するに至りました。

そこで、日本学術会議においても、より積極的に具体的な論議を行い、その結果、民主・自主・公開の3つの原則を打ち出しました。これがその後の我が国の原子力研究開発利用の基本原則となり、特に原子力に関する基本法制定の基礎となったのであります。

昭和34年(1959年)2月に日本原子力学会が発足いたしました。その経緯につきましては、日本学術会議がいささかそのイニシアチブをとっていることに申し上げたいと存じます。

日本学術会議は原子力問題に関して、昭和26年に始まる第2期に第39委員会を、第3期には原子力問題委員会を設置いたし、原子力研究について基本的な在り方を論議し、いくつかの声明、要望を出してまいりました。しかし、原子力の研究が従来の各専門を超え、広い範囲にわたるものであるだけに、異なるジシプリンに属する研究者の連絡が必要であるとの考え方から、学術会議が主唱して原子力学会をつくるべきであるとの声もあがり、まず学術会議に原子力特別委員会を設置したのであります。また、この間、大学における原子力および原子核科学関

係の純粋研究ならびに基礎研究の奨励や、行政機関における原子力研究所等の基礎的研究ならびに利用研究の相互の協力に対する助言を行い、さらに「原子力シンポジウム」を開催するよびかけも行いました。これらの経過を経て1959年「第3回原子力シンポジウム」を機として日本原子力学会が創立されたのであります。

以来、日本学術会議は、我が国の原子力研究について次々に諸問題の審議、勧告、要望を行ってまいりました。また、原子力開発基本計画の樹立を初め、

基礎研究の重視、自主的な研究の推進体制の確立。

核融合反応研究、特に基礎部門における研究の推進。

動力炉の導入と国産化、その安全性の確立。

国際的原子力機関との学術交流の強化など、本会議委員会やシンポジウムにおいて、日本原子力学会をはじめ関係諸学会と相協力しつつ、この実現を目標に活発な論議を行ってまいりました。

日本原子力学会の20年の歩みが、今日の原子力研究開発事業の飛躍的發展に基本的役割を果し、ひいては我が国の行政・産業及び国民生活の福祉増進に寄与されておりますことは、ひとえに関係者御一同の並々ならぬ御努力と御研鑽によるものと、ここに深く敬意を表するものであります。

当今の原子力諸事業がいくつかの困難を抱えていることは否定できませんが、それらの困難を克服する基盤の一つは、原子力に関する科学技術の一層の深化、高度化とその活用にあることはいうまでもなく、この意味で日本原子力学会の存在意義はますます高まっていると言えます。

「第17回原子力総合シンポジウム」を開催されるのに併せて、本日、日本原子力学会の創立20周年式典を催されますことは、まことに時宜を得た御計画で、皆様とともに日本原子力学会の存在意義を改めて確認し、我が国における原子力の新たな発展の契機となりますよう祈りまして、お祝いの言葉といたします。