

東北電力株女川原子力発電所 2号機の設計と建設

Design and Construction of Onagawa Nuclear Power Station Unit No. 2

林 和夫
K. Hayashi

菊池 志郎
S. Kikuchi

高山 義人
Y. Takayama

東北電力株の女川原子力発電所 2号機は、電気出力 82.5 万 kW の沸騰水型軽水炉 (BWR-5 型) で、当社が手がけた 17 基目の BWR 原子力発電所として、1995 年 7 月に営業運転を開始した。

女川原子力発電所 2号機は、プラント熱効率の改善を図るために当社 BWR プラントでは初めて湿分分離加熱器を採用するなど各種の新技術の導入とともに、先行プラントの設計・製作・試運転での経験を結集し、いつそうの信頼性、安全性および経済性の向上を図った東芝 BWR 技術の集大成プラントである。

The Onagawa Nuclear Power Station Unit No. 2 (825 MWe, BWR-5) of Tohoku Electric Power Co., Inc. was put into commercial operation in July 1995, becoming the 17th boiling-water reactor (BWR) that Toshiba has been involved in. In this Unit No. 2, moisture separator heaters (MSHs) were installed for the first time in a Toshiba BWR and various other design improvements were realized through our original technological developments and long-accumulated experience in the design, construction, and maintenance of BWR plants.

This paper briefly outlines the design, construction, and start-up test operation of the Onagawa Unit No. 2.

表 1. 女川 2 号機の主要仕様

Major specifications

項 目		使 用
プラント 全般	原子炉形式	濃縮ウラン軽水減速軽水冷却沸騰水型 (BWR-5)
	原子炉格納容器	圧力抑制型 (MARK-1 改良型)
	原子炉熱出力	2,436 MWt
	発電端電気出力	825 MWe
原子炉設備	炉心	改良型濃縮度多種類初装荷炉心 (IMEC)
	燃料集合体	新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 560 体
	制御棒	ボロンカーバイド制御棒 124 本 ハフニウム制御棒 13 本
	原子炉冷却材浄化系流量	給水流量の 3%
設備	非常用炉心冷却設備	高圧炉心スプレイ (HPCS) ポンプ 1 台 低圧炉心スプレイ (LPCS) ポンプ 1 台 低圧炉心注水 (LPCI) ポンプ 3 台 自動減圧弁 6 個
	タービン	くし形 4 流排気復水式 (再熱式)
	タービンバイパス容量	25%
電気	非常用ディーゼル発電機	2 台 (各 6,100 kW)
	HPCS ディーゼル発電機	1 台 (3,000 kW) (高速型)

る。女川 2 号機の主要な仕様を表 1 に示す。

2.2 設備の特長

東芝 BWR の集大成プラントとして、設備の信頼性、運転性、保守性の改善を図るために、表 2 に示すような改良項目を採用した。これらのうちで特長的な設備としては、取出燃焼度の向上を図った改良型濃縮度多種類初装荷炉心 (IMEC)、長寿命化を図ったハフニウム制御棒、応答性改善と回転機器

1 まえがき

東北電力株女川原子力発電所 2号機（以下、女川 2号機と略記）は、当社の手がけた 17 基目の BWR 原子力発電所であり、1995 年 7 月 28 日に営業運転を開始した。

東北電力株の二番目の原子力発電所である女川 2号機は、宮城県牡鹿郡女川町、牡鹿町両町にまたがる女川原子力発電所構内に 1号機と隣接して建設されたもので、1号機より一回り大きい電気出力 82.5 万 kW の BWR 原子力発電所として、1号機に引き続き当社が主契約者で建設を進めてきた。

ここでは、女川 2号機の設計、建設、試運転について、その概要を紹介する。

2 プラントの概要と主な特長

2.1 設備の概要

女川 2号機は、通商産業省の第 1 次・第 2 次改良標準化に加え第 3 次改良標準化を取り入れ、さらに、その後の各種改良を加えた熱出力 2,436 MW、電気出力 82.5 万 kW の最新鋭の BWR-5 型原子力発電所である。建物は 1号機に隣接して配置し、サービス設備、中央制御室などを 1号機と共に共用する設計としている。また、プラント熱効率向上の観点から当社原子力プラント初の湿分分離加熱器を採用し、また従来 3 車室の低圧タービンを 2 車室として、建屋の縮小化を図ってい

表2. 女川2号機の主要改良項目

Major design improvements

改良目標	改 良 項 目
信頼性向上	可燃性ガス濃度制御系再結合器の国産化 原子炉隔離時冷却(RCIC)タービンの国産化
設備合理化	主蒸気逃し安全弁の個数削減 高速ディーゼル発電機の採用
運転性向上	改良型濃縮度多種類初装荷炉心(IMEC)の採用 使用済燃料貯蔵ラックの稠(ちゆう)密化 常用系総合ディジタル化 静止型原子炉再循環ポンプ電源装置の採用
被ばく低減	原子炉冷却材浄化ポンプの低温度部設置 原子炉再循環系配管の電解研磨処理 原子炉圧力容器の溶接線削減
保守向上性	広域起動領域モニタ(SRNM)の採用 非常用炉心冷却ポンプの短尺化
廃棄物低減	ハフニウム制御棒による長寿命化 中空糸膜フィルタの採用
効率向上	湿分分離加熱器の採用 スチームコンバータ設備の採用

の削減を図った静止型原子炉再循環ポンプ電源装置、スペースの縮小化を図った高速非常用ディーゼル発電設備、原子炉格納容器(PCV)内駆動装置の削除と検出器の削減を図った広域起動領域モニタ(SRNM)、廃棄物低減を図った復水浄化系中空糸膜フィルタ、図1に示すプラント熱効率の向上を図った湿分分離加熱器(MSH)、および原子炉熱の有効利用を図ったスチームコンバータ設備(SC)などがある。



図1. 湿分分離加熱器(MSH) MSHは胴外径3.6m、全長30m、重量280tで2体からなり、プラント熱効率向上のために初めて採用した。

First moisture separator heaters to be installed

特に女川2号機では、海生物付着対策として海水系配管の母管ルートを二重化し、通常運転時、定期的に系統の切換運転を行う設備としている。これによって待機側を淡水置換し、海生物の付着、生育を防止している。試運転後の内部点検の結果、その効果は良好で、先行プラントで見られた貝の付着はほとんどない。また、中央制御室が1号機と共用であるこ

とから、制御盤には1号機との調和を図った盤面設計とし、かつ最新の機能をもつ主盤を採用して、運転員の操作性の向上を図っている(図2)。



図2. 女川2号機の中央制御盤 1号機と共に用の中央制御室に調和性、操作性を考慮した最新機能の盤を採用した。

Main control panel

これらの新設計設備については、設計レビューや性能確認試験によって信頼性、安全性を十分確認するとともに、系統試験や起動試験段階でも項目ごとに設計の妥当性を確認した。

設備の設計・製造にあたっては、先行プラントの運転・保守経験を反映し、技術面だけでなく品質管理面からも強化、見直しを行った。主なものとしては、配管減肉対策、すみ肉溶接の再評価と小口径配管の振動対策などがあげられる。

また、被ばく低減対策としては、女川2号機では、再循環系配管の電解研磨処理、炉内構造物・ヒータチューブ材への低コバルト材の採用などに加え、新たに燃料支持ばねに大気酸化処理を採用し、炉水中の放射能と配管表面線量率の低減を図っている。さらに、将来の放射能増加と配管への付着を抑えるために、炉水への亜鉛注入設備をあらかじめ設置するなど、よりいっそうの被ばく低減を目指している。

3 建設工事の概要と主な特長

女川2号機は、1989年8月に着工、1991年2月に岩盤検査を終え本格的な建設工事に入った。建設期間中の前半はバブル景気の影響により現場作業員の確保難に直面したが、先行機からの建設工法改善により順調に建設を進め、燃料装荷を半月前倒しで達成した。岩盤検査からは、54か月の計画工程どおりに営業運転を開始することができた(図3)。

3.1 建設工法

女川2号機は先行プラントの豊富な経験を反映し、次のような各種建設工法の改善、採用範囲の拡大を図った。

項目	年 月	平成元年 12	平成 2 年		平成 3 年		平成 4 年		平成 5 年		平成 6 年		平成 7 年	
		12	6	12	6	12	6	12	6	12	6	12	6	12
					岩盤検査									T.O
			掘削		MMR			インナ部B3F壁～3F床			3F壁・屋根工事			
原子炉建屋(R/B)					インナ部マット	PCV組立					R/B天井クレーン			
					アウタ部マット			アウタ部B3F～屋根		デリック組立	D/S合せ			
								RPV据付		CRD,ICM	RPV水圧			
										Hsg据付	NSSS試運転			
											ECCS注入			
											最終スプール			
												起動試験		
タービン建屋(T/B)					MMR	マット	タービン建屋 B2F～1F床		1F壁・屋根工事		T/Bクレーン組立			
					T/Gペデスタル マット	T/Gペデスタル マット	T/Gアンカー設定		鉄骨ベース		ソールプレート			
									T/Gペデスタル支保工解体		復水器組立			
												タービン組立調整		
主要イベント		8/3 着工		2/5 岩盤 検査		10/19 PCV 組立 開始	4/28 PCV L/T 完了		5/31 RPV 据付	10/29 6.9kV 受電	3/15 R/PV H/T 完了	10/13 燃料 装荷 開始		7/28 燃業 運転 開始

MMR : マンメイドロック(人造岩), L/T : 漏えい試験, D/S : 蒸気乾燥器および気水分離器

CRD, ICM Hsg : 制御棒駆動機構およびインコアモニタハウジング, NSSS : 原子炉蒸気供給系, ECCS : 非常用炉心冷却系

RPV : 原子炉圧力容器, H/T : 水圧試験, T/G : タービンおよび発電機

図3. 女川2号機建設の全体工程 建設工法改善などにより順調に進め燃料装荷を半月前倒しで達成し、岩盤検査から54か月の計画工程どおりに営業運転を開始できた。

Construction schedule

- (1) PCV 大ブロックの工場組立 PCV の円筒部を、工場でリング状の大ブロックに組み立て、現地に輸送することにより、現地での地上組立を削減することができた。これにより狭あいな敷地における現地工事ヤードの錯綜(そう)を軽減するとともに、PCV 工程の短縮、工事効率

の向上を図った。図4にリングブロックの構内運搬状況を示す。

- (2) T/B 内機器の先入れ工法の拡大 750 t 級大型クローラクレーンの採用により、復水器下部本体の大ブロック吊込み、給水加熱器、復水ポンプなど大型機器の搬入



図4. 原子炉格納容器(PCV)の大リングブロック運搬 PCV 円筒部の工場組立、現地搬入により工事効率を向上させた。原子炉格納容器の大リングブロック運搬状況を示す。

Large ring block of pressure containment vessel (PCV)



図5. 復水器下部本体の吊込み 重量80tのブロックに四分割して現地搬入した。

Large block of turbine condenser

を行い、工事を効率的に進めることができた。図5に吊込み中の復水器ブロックを示す。

(3) 各種自動化工法の拡大 現地工事の効率向上・現地工数の削減を目的に、各種工事の自動化を進めた。特に自動溶接機の採用・拡大に注力し、PCVの溶接ではほぼ100%，原子炉系配管では40%，計装配管では25%まで適用できた。これらにより工事効率を向上させ、高い品質の溶接作業を行うことができた。

3.2 工事管理

工事品質、工事安全の確保を図るため、現地工事に従事する作業員・管理者の全員参加により、“クリーンプラント”，“コンプリートワーク”，“コミュニケーション”を合言葉に、3C運動を展開した。特に“クリーンプラント”については、1号機と同様に東北電力㈱と一体となった“クリーンプラント作戦”を展開した。この作戦は、建設中の機器、配管の保護養生・内部の清浄度維持・系統保管管理の徹底を図るもので、1号機での経験から建設段階でのクリーンプラント作戦が運転開始後の被ばく低減に寄与するとの認識から、工事管理の重点課題として取り組んだ。起動試験の結果では、原子炉への持込みクラッド量、炉水Coイオン濃度などが先行プラントに比較して低く、この作戦の成果が期待される。

4 試運転の概要と主な特長

4.1 試運転の概要

女川2号機の試運転は1993年10月の6.9kV受電をもって本格的にスタートし、系統試験11.5か月、起動試験9.5か月を経て1995年7月の営業運転開始を迎えた。この試運転は、

最近の先行プラントでの経験を十分生かして円滑に行われた。

4.2 試運転の特長

新設計設備として女川2号機で新たに採用したMSH、SC設備の試運転が順調に行われた。プラント熱効率の向上を目的に採用されたMSHでは、原子炉熱出力に計画値以上の余裕をもって、定格電気出力82.5万kMWが得られることを確認した。また、原子炉熱の有効利用の目的で設けられたSC設備についても、所内蒸気系との切換運転などが円滑に行われることを確認した。

最近の起動試験では、現地と本社サイドとの情報の共有化を図り、試験データの迅速な評価を行うなどの目的で、現地と磯子エンジニアリングセンター間をデジタル総合通信網(ISDN)を利用した遠距離データ電送システムでつながっている。今回、女川2号機の起動試験では、これに加えてパソコンによるテレビ会議システムを導入し、会議以外にもビデオレコーダやデジタルスチルカメラの画像伝送機能をフルに活用し、現地と本社間の情報共有に役立てた。

5 あとがき

女川2号機は、最新鋭のBWR-5型として各種の改良設計を採用するとともに、先行プラントの経験を十分に反映した東芝BWR技術の集大成プラントとするように取り組んできた。この結果、当初の目標を十分に満足させるプラントを完成することができた。

謝 辞

多年にわたり、ご指導いただいた東北電力㈱をはじめ、国および地元の関係者各位に厚くお礼申し上げる次第である。



林 和夫 Kazuo Hayashi

1974年入社。原子力発電プラントのプロジェクト業務に従事。現在、原子力事業部原子力技術部課長。
Nuclear Energy Div.



菊池 志郎 Shirou Kikuchi

1972年入社。原子力発電プラントの建設業務に従事。現在、原子力事業部原子力フィールド技術部部長。
Nuclear Energy Div.



高山 義人 Yoshito Takayama

1975年入社。原子力発電プラントの試運転業務に従事。現在、原子力事業部原子力フィールド技術部主査。
Nuclear Energy Div.