

中国電力株式会社
島根原子力発電所第1号機 460 MW の建設
 Construction of Shimane Nuclear Power Plant

薬師寺 薫* 斉藤 良造**
 Kaoru Yakushiji Ryôzô Saitô

要 旨

昭和45年2月に正式着工以来、昭和48年11月の営業運転をめざし鋭意進行中であるが、工事はきわめて順調にすすみ、46年8月現在総合進捗(しんちやく)率は約60%となっている。本稿においては発電所の特長と建設状況について紹介する。

1. 緒 言

島根発電所1号機は、昭和45年2月に着工以来、順調に建設工事がすすみ、昭和46年8月末現在、総合進捗率が60%を越えるに至った。建設工事は、これから機器・配管の据付が始まり最盛期を迎えることになるが、昭和48年11月の営業運転をめざし、鋭意建設をすすめているところである。

図1は主要工程表であるが、41年度末から現島根地点に焦点をしばり、本格的な調査を開始した。当地点を選定したおもな理由は次のとおりである。

- (1) 地勢上一般民家より隔離されており、地盤も良好でかつ港湾の造成も比較的容易である。
- (2) 松江、米子、安来地区など山陰側電力需要の中心に近く、また山陽側との電力連係も容易である。

その後42年3月に調査所を開設、43年2月建設準備本部を開設し、準備工事をすすめた。

一方、これと並行して42年初めより、中国電力株式会社と日立製作所とで共同研究にはいり、設計・建設の技術検討を行ない、44年5月26日に設置許可申請を行ない、同年11月13日に許可を得た。

46年8月末現在の土木工事の進捗率は95%、建築関係は50%、機器製作を含み総合進捗率は60%である。

2. 発電所の概要

2.1 立地および構内配置

発電所の敷地は、図2に示すように松江市の北西約8kmの地点で、島根半島のほぼ中央部で日本海に面する位置にあり、三方は山に囲まれ、北側が輪谷湾になっており、平坦(へいたん)部はほとん

どない。原子炉設定地点より最寄りの人家までの距離は約850m、かつ周辺の人口密度も低い。

地質は、第三紀中新世の堆積岩で、主として凝灰岩と頁岩の互層で構成されており、海岸に向かって約30度傾斜した単傾構造を呈している。

地震歴の調査によると、サイト付近は顕著な地震被害を生じておらず、全国的にみても地震活動の少ない地域である。

図3は発電所構内配置図、図4は切取り断面図である。発電所位置は、敷地として必要面積約12万m²を確保するため、護岸費と切取費の経済的検討から決められた。またこの位置は、原子炉建物基礎に人工岩を必要とせず強固な基礎が得られるところである。裏山の切取量をできるだけ減らすため、原子炉建物山側は重量物搬入に支障のない範囲で高くし、原子炉建物1階面をEL+15mとした。また原子炉建物とタービン建物基礎面を同一レベルとし、かつ原子炉建物1階とタービン建物3階(操作床)とが合うようにした。タービン建物側グラウンドレベルは、タービン建物2階に合わせEL+8.5mとした。なお、荷揚場付近は重量物の水切りを考慮しEL+6.5mとし、道路こう配は最大のところで6%である。輪谷湾の平均潮位はEL+0.15m、既往最高潮位EL+1.07mである。

復水器冷却用水は湾内より取水し、湾外に排水する。取水設備に対しては波浪の影響を考え、鋼管埋設による深層取水方式を採用した。海象は、日本海に面しているため波浪条件は相当きびしいが、砂質堆積物が少ないので漂砂の心配はない。

淡水はEL+44mの台地に設けられた貯水槽(10,000t×2)にて、サイト内の溪流をためて使用するとともに、鹿島町上水道も導入している。

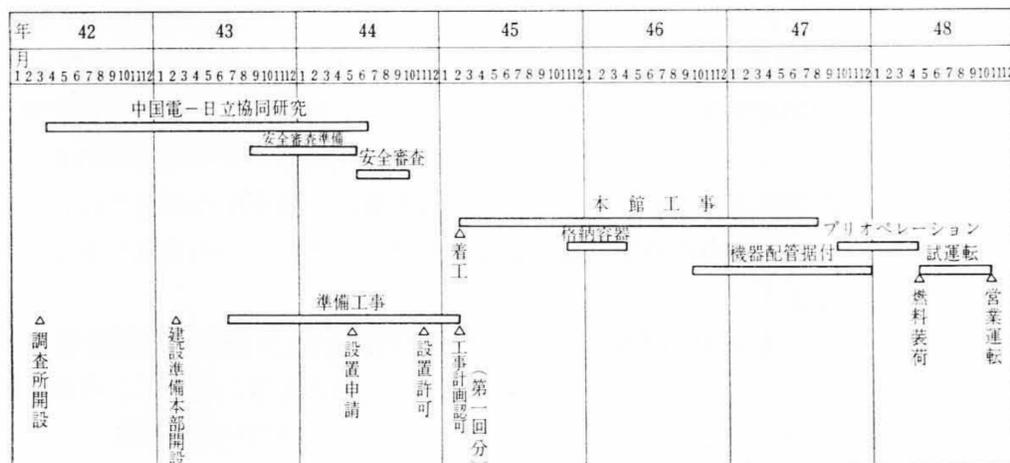


図1 主要工程表

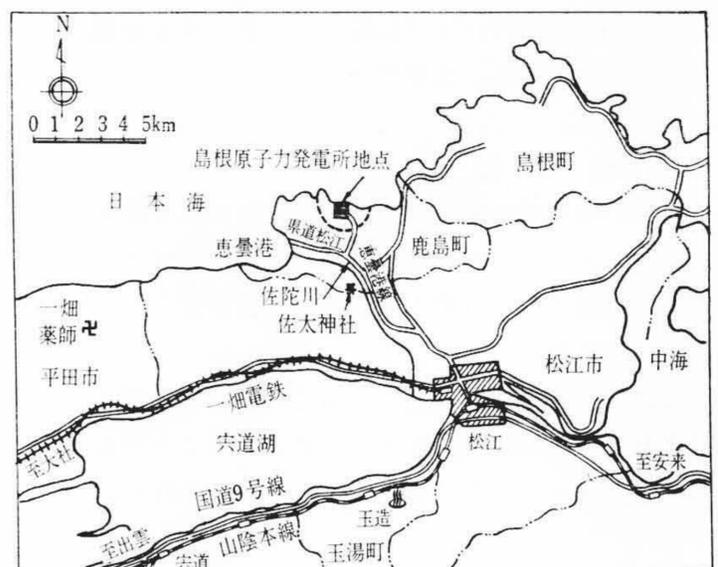


図2 発電所位置図

* 中国電力株式会社島根原子力建設本部
 ** 日立製作所日立工場

2.2 主要設備

2.2.1 主要仕様

原子炉熱出力は 1,380 MW、定格運転条件にて発電端出力は 465 MW である。表 1 は主要仕様を示したものである。国産原子力発電所の第 1 号機として、安全性、実証性に重点をおき、アメリカ GE 社の納入した先行プラントの計画を踏襲し安全設備については、当時アメリカで採用されていた GE 67 年形 BWR の設備を全面的に採用した。

2.2.2 原子炉安全・補助冷却設備

島根 1 号機と従来形との比較を示したのが表 2 である。島根 1 号機が従来形と大きく相違する点は、低圧注水系、原子炉隔離は冷却系統である。そのほか格納容器冷却系統は、従来形では系統専用のポンプが設けられていたのに対して、低圧注水系に使用されている RHR ポンプがこの系統に兼用されている。なお残留熱除去系熱交換器 (RHR) の 2 次側冷却水は、原子炉補機冷却水を使用している。

低圧注水系を設置することにより、従来の炉心スプレイ系統にさらにバックアップが付加され、冷却機喪失事故時の炉心冷却の信頼性が向上した。この系統では、炉心スプレイ系が炉心上部からのスプレイ冷却で炉心を冷却するのに対し、さらに底部からフラッディングにより炉心を冷却する方式が採用されている。

原子炉隔離時冷却系統は、従来の非常用復水器と同じ機能を持っているが、設備が非常に小さくなり配置上有利になり、さらに安全性の向上も期待される。

2.2.3 復水脱塩装置にフィルタ式脱塩装置の採用

復水脱塩装置には図 5 に示すように、フィルタ式脱塩装置と混床式脱塩装置の組合せを採用した。両者とも 100% 容量の設備で、それぞれ単独でも通水運転ができるし、また直列にも運転できるようにしてある。

フィルタ式脱塩装置を採用した理由は、次のとおりである。

- (1) 起動時の鉄分 (特にコロイド状鉄分) を有効に除去すること。
- (2) 廃棄物を減少させること。
- (3) 運転・保守費を含む全体の経済性の向上。

廃棄物処理設備で処理する廃液中、従来最大の発生源となっていたのは、復水系混床式脱塩器の薬品再生にともなって発生する再生廃液であるが、フィルタ式脱塩装置は再生使用せず、使い捨てのため再生廃液は発生しないので、その結果ドラム缶にセメント固化する量を著しく減少させることが可能となる。

表 3 は復水脱塩装置の仕様を示したものである。

なお、アメリカにおいてフィルタ式脱塩装置の採用プラント数は 1970 年までに火力発電所で約 90 で、GE-BWR 原子力発電所では、1970 年に運転にはいった Monticello 545 MW を初めとし、約 20 近くになっている。

Monticello 原子力発電所での実機による実験結果によると、イオン交換特性など計画仕様を満足している。なお、コールドフラッシング時、ブロー用補給水量が不足したため、復水系フィルタ

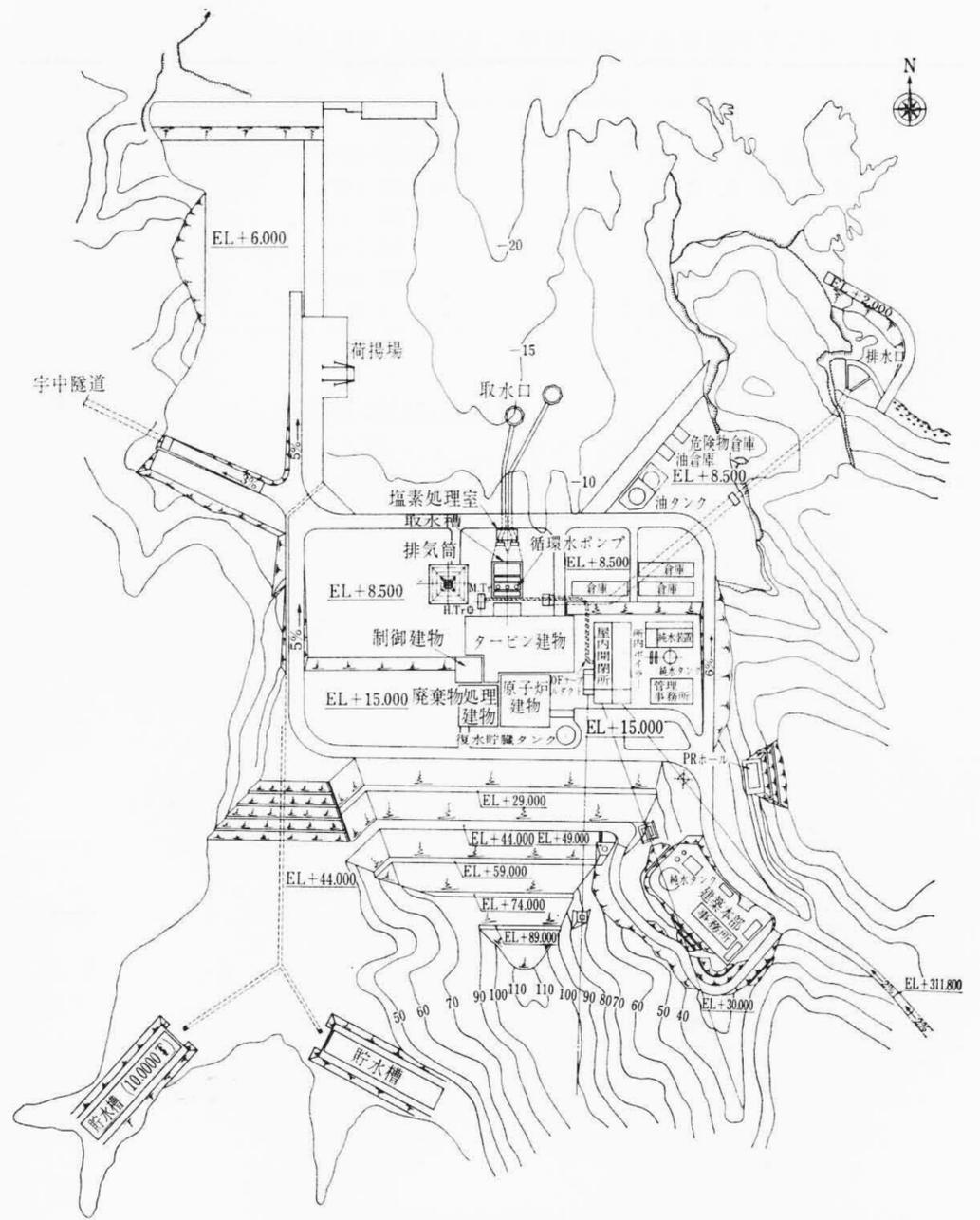


図 3 発電所構内配置図

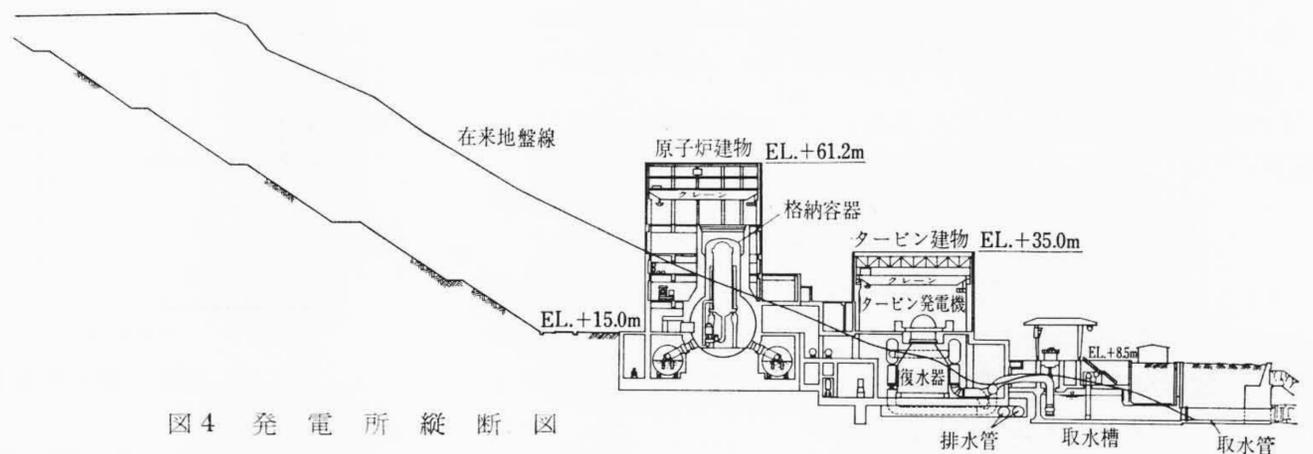


図 4 発電所縦断図

式脱塩装置を使用しているが、ミリポアフィルタの測定で、
 入口 Fe 500 ppb
 出口 Fe 10 ppb 以下
 と言うきわめてすぐれた汜過効果を示している。

2.2.4 廃棄物処理設備

廃棄物は、気体、液体、固体の 3 系統において処理される。その基本的考え方ならびに設備は、従来形と同じであるが、運転面からかなりの改善が施されている。おもな点は下記のとおりである。

- (1) セメント固化系統の一部として、濃縮廃液のセメント固化の安定性を増すため軽量骨材を添加し、また固化後のドラム缶上部にモルタルを充てんする設備を設けた。
- (2) ドラム搬出操作時の被曝を最少限にし、また操作の煩雑さを避けるため、ドラム搬出操作を自動化した。
- (3) 定検時除染などによる多量の床ドレンの発生を考慮し、濃縮器の容量を大きくした。これはまた通常運転時において

表1 中国電力株式会社島根原子力発電所1号機主要仕様

項目	仕様
1. 全般	
原子炉熱出力	1,380,000 kW t
発電端電気出力	465,626 kW e
蒸気流量	2,468 t/h
給水温度	180.7 °C
復水器真空管	722 mmHg
給水加熱段数	5 段
2. 原子炉設備	
(i) 原子炉圧力容器	4,793φ×18,856.5 h mm 設計圧力 87.9 kg/cm ² g
(ii) 炉心	3,440φ×3,660 h mm 7×7 正方格子配列×400 UO ₂ ペレット, ジルカロイ-2 被覆 出力密度 78.2 T. U 41 kW/l 制御棒本数 97 制御棒材質 ボロンカーバイド粉末ステンレス被覆 制御棒駆動形式 ロッキングピストン水圧式 ジェットポンプ再循環方式
(iii) 原子炉冷却表形式	ジェットポンプ数 20 再循環流量スループ数 5,579 t/h×2
(iv) 格納容器形式	圧力抑制形 設計圧力 3.94 kg/cm ² g
(v) 廃棄物処理設備	再結合器付貯蔵減衰方式 気体 液体: 廃水 再生廃水 固体 セメント固化式
3. 蒸気タービン発電機	
(i) タービン形式	衝動式復水タービン TC 4 F-38
定格出力	465,626 kW
回転数	1,800 rpm
入口蒸気圧力	66.85 kg/cm ² g
(ii) 復水器形式	表面接触単流半区分式
(iii) 復水脱塩装置	フィルタ式脱塩器+混床式脱塩器
(iv) 給水加熱設備形式	表面接触加熱式横置U字管形
高圧給水加熱器	2 基×2 系列
低圧給水加熱器	3 基×2 系列
(v) 発電機	横軸円筒回転界磁形3相交流同期発電機 TFLQQ-KD 520,000 kVA (水素圧 3 kg/cm ² g) 0.9 18,000 V

も、必要に応じて床ドレンの全量を余裕をもって濃縮処理できるものである。

- (4) フィルタスラッジおよび廃樹脂を貯蔵タンクに入れる前に、遠心分離器にて廃液を分離するが、さらにこの遠心分離器を使用せず、貯蔵タンクでの廃液の分離(デカンティング)もできるようにした。
- (5) 気体処理には再結合器付貯蔵減衰方式を採用しているが、さらに、活性炭希ガスホールドアップ装置の設置を検討中である。

なお、廃棄物設備の機器は、運転後の調整がむずかしいところもあるので、気体の廃ガス圧縮機、固体設備ではドラムへのセメント注入関係、ドラムキャッピング、コンベヤシステムなどできるかぎり工場で試験調整を済まし、現地に持ち込むようにしている。

2.2.5 国産輸入の区分

表4は主要品の国産輸入の区分である。性能、信頼性、経済性などの点を検討し決定した。大形弁などはじゅうぶん信頼できる国産技術を有しながら、値段の点で輸入品に劣る場合もあった。

国産品については従来よりの使用実績に主眼をおき採用することとし、さらに炉内主要機器についてはGE社との技術提携による資料に基づき、試作とじゅうぶんなる性能および耐久試験を行なった。

表2 原子炉および格納容器の補助冷却設備

系統名	島根1号機	従来形BWR	系統の機能
炉心スプレイ系統	電動駆動ポンプ使用 系統数 2 設計流量/系統 560 t/h	電動駆動ポンプ使用 系統数 2 設計流量 560 t/h	冷却材喪失事故時の炉心冷却
低圧注水系統	電動駆動ポンプ使用 ポンプ台数 4 設計流量 2,376 t/h (ポンプ4台中3台の流量)	—	冷却材喪失事故時の炉心冷却。 炉心スプレイ系のバックアップ
高圧注水系統	タービン駆動ポンプ使用 系統数 1 設計流量 680t/h	タービン駆動ポンプ使用 系統数 1 設計流量 682 t/h	冷却材喪失事故時の減圧と給水
オートリリーフ系統	原子炉リリーフ弁使用 リリーフ弁必要個数 2 設計流量 520 t/h	原子炉リリーフ弁使用 リリーフ弁必要個数 3 設計流量 270 t/h	高圧注水系のバックアップ
原子炉隔離時冷却系統	タービン駆動ポンプ使用 系統数 1 設計流量 90 t/h	タンク形の非常用復水器が設置されている 系統数 2 設計流量 100 t/h	原子炉隔離時の炉心冷却
格納容器冷却系統	低圧注水系のポンプを兼用 系統数 2 設計流量 1,100 t/h	電動駆動ポンプ2台/系統 素流数 2 設計流量 705 t/h 系	冷却材喪失事故時の格納容器内スプレイ冷却

表3 復水脱塩装置仕様

仕様	基数(1)	汚過面積(m ² /基)	樹脂量(2)	通水流量(m ³ /h基)	計画運転時間
フィルタ式脱塩装置	5+(1)	50	50 kg/基	500	約15日/基
混床式脱塩装置	5+(1)	—	約3.8 m ³ /基	500	約6日/基 (フィルタ式脱塩装置と直列運転の場合この10倍)

注:(1) ()内の数字は予備基数を示す。
(2) 乾燥重量基準の粉末樹脂プリコート量を示す。
(3) イオン交換樹脂の概略容量を示す。

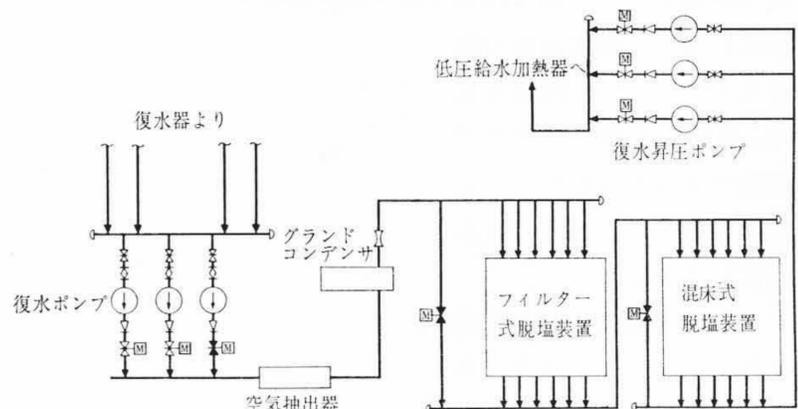


図5 復水脱塩装置まわり系統図

3. 建設工事

3.1 建設工程

図6は概略大工程を示したものである。現在までのところ順調に進行し、本工程表より約2ヶ月先行している。先行できるものは先行し、後に余裕をとっておき、不要な突貫工事のないよう、また今後当然起こることが予想される機器側据付と建築作業の取合いに、調整代をとっておき、確実な作業ができるようにしようとするものである。もちろん、すべてが順調に進み、そのまま運転にはいれることは関係者全員の希望でもあることは言をまたない。

本工程表の太線がクリティカルパスとなっている作業を示している。大物製品は海上輸送になるが、一応12月中旬から2月下旬までは海上輸送が不可能と考えて工程が組まれている。

現在までのところ土木建築作業が主体で、機器側としては格納容器の据付のほかは、建築作業にともない配管、配線の貫通部や機器サポート類の埋込金具の据付程度である。原子力発電所建設実績として他誌にも発表されているが、配管、配線の貫通部や機器サポー

表4 主要品の輸入国産の区分

品名	区分		備考
	国産	輸入	
1. 原子炉			
原子炉圧力容器炉内構造物	○		
ジェットポンプ, 気水分離器, 蒸気乾燥器	○		
制御棒および同駆動機構		○	予備品は国産とし一部炉内装てん
水圧ユニット, 水圧駆動ポンプ	○		
燃料集合体	○		JNF製作
2. 再循環系および主蒸気系			
再循環ポンプ		○	
再循環ポンプM-Gセット	○		
再循環仕切弁		○	
主蒸気隔離弁	○		ロックダウン方式による国産
原子炉安全弁および逃し弁		○	
3. 原子炉補助設備			
高圧注水ポンプ(HPCI)原子炉隔離時冷却ポンプ(RCIC)用駆動タービン		○	
4. 格納容器			
配管ペネトレーション	○		
ケーブルペネトレーション		○	
5. 計測制御装置			
インコアモニタ駆動装置	○		
中性子計装用検出器		○	
運転監視用計算機	○		HITAC 7250

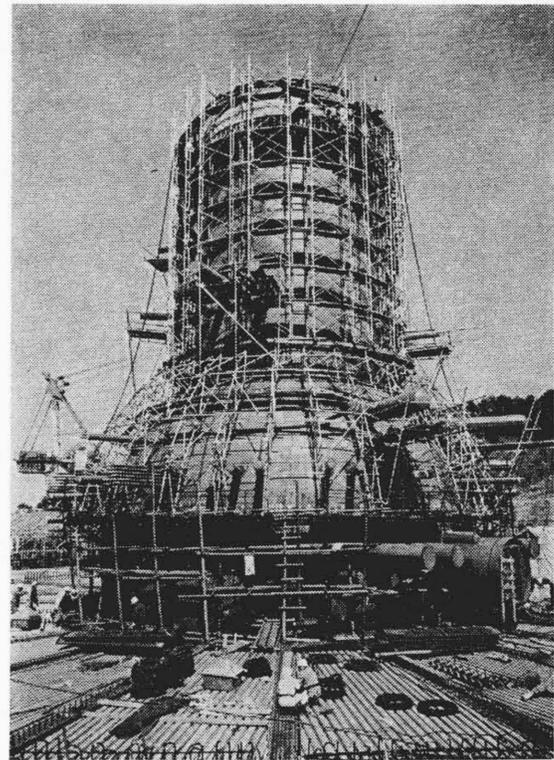


図7 据付中の格納容器

物処理建物の4ブロックよりなり、それぞれの建物は50mmのギャップをもって独立した構造となっている。

45年2月11日日本工事に着手、まず原子炉建物基礎岩盤の掘さくから開始された。原子炉建物は45年6月、EL±0mの岩盤上に厚さ3mのベースコンクリートの工事を開始、同年9月末には地下壁部分をEL±15.3mまで完了し、この状態で格納容器の組立工事のため46年4月まで工事を中断した。

従来の原子炉建物との相違点は、1階大はりを鉄筋コンクリートで先行していたものを、鉄骨製にし後付けとしたことで、このため格納容器のトラス組立に障害物がなくなり、工程短縮の一因となった。

46年4月、格納容器の耐圧試験完了をまって、再び建物工事を開始、1階床、外壁、生体遮へい壁など順序にしたがいコンクリート工事を続行中である。46年8月には2階床コンクリートを打設、47年2月にはEL44mの5階床までコンクリートを打設の予定である。

タービン建物は45年6月、EL-9.2mの復水ポンプ基礎コンクリート打設より始まり、途中循環水管の敷設などをからめて、45年11月基礎工事を完了、引続き壁、床などコンクリート工事を施行、46年6月3階床のコンクリート打設を完了した。その間タービン発電機架台は建物工事に並行して施行され、46年5月完了した。引続き8月より鉄骨工事にかかり、屋根コンクリートは46年末には完了の予定である(EL+35m)。

制御建物は45年末、基礎工事に着手、46年6月、4階制御室床を完了、7月末には屋根のコンクリート打設を完了した(EL+22.8m)。

廃棄物処理建物は45年11月基礎工事に始まり、46年4月、1階壁および2階床の1部のコンクリート打設を完了し、その状態でタンク類の搬入のため約2ヶ月工事を中断、7月より再開、現在2階床の後打部の工事を施行中である。47年5月に屋根コンクリート打設の予定である。(EL+29m)

そのほか付属建物として、屋内開閉所、純水装置室、管理建物などがあるが、46年秋より47年にかけて施行の予定である。

3.3 原子炉格納容器の組立

格納容器の現地据付は45年11月より開始され、46年4月に耐圧試験および漏洩率試験完了まで5ヶ月間で完了し、世界での最短記録を樹立した。

表5はおもな仕様を示したものである。日立製作所日立工場で設計し、製作・据付はバブコック日立呉工場が行なっている。全体工程を左右する現地据付期間を短縮するため、各部材は大部品まで、工場で作られた。また現地溶接作業には大幅な自動溶接をとり入

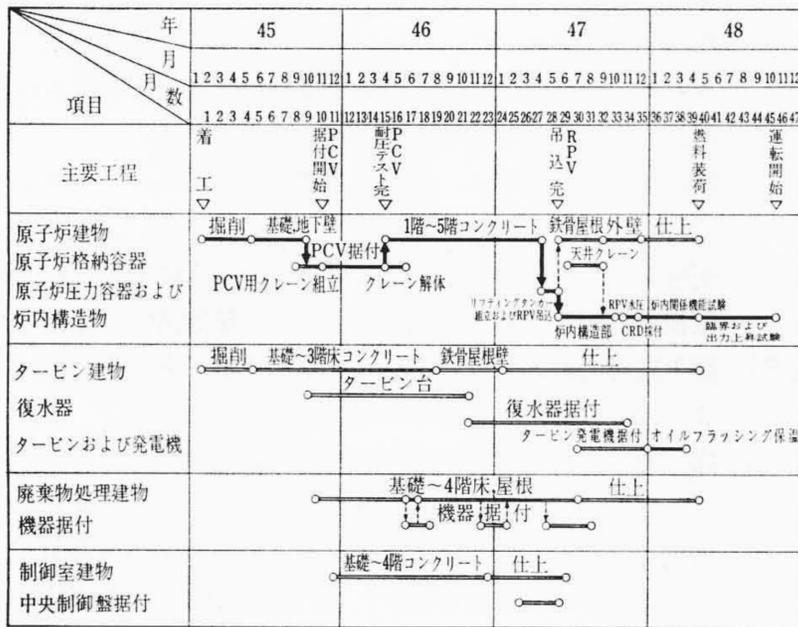


図6 建設工事主要工程表

ト類の埋込金具の設計が土木建築作業の進行からあおられがちであった。幸い関係者の協力により、工事の手もどりそのほかのトラブルもほとんどなく進捗してきたが、今後の問題として検討を要しよう。原子力発電所は遮蔽(しゃへい)壁、耐震壁などあり、機器配置、配管配線の設計と建築設計がほとんど一体であるが、一方、時期的に配管、配線などの詳細設計が完了する前に建築作業が始まり、機器側があおられることになる。これを設計工程の厳重な管理で乗り切ることも必要だが、機器側としては設計の標準化をさらに徹底する努力が必要であろう。

本年末より機器・配管の据付作業も始まり、いよいよ建設工事の最盛期にはいることになるが、今後の工程管理上の問題は、配管、配線および換気ダクトなどの据付順序、建家壁床の塗装作業などと機器据付作業をいかに調整していくかであろう。

3.2 土木・建築工事

発電所本館は、原子炉建物、タービン建物、制御建物および廃棄

表5 格納容器主仕様

設計内圧	3.94 kg/cm ²
設計外圧	0.14 kg/cm ²
設計温度	138℃

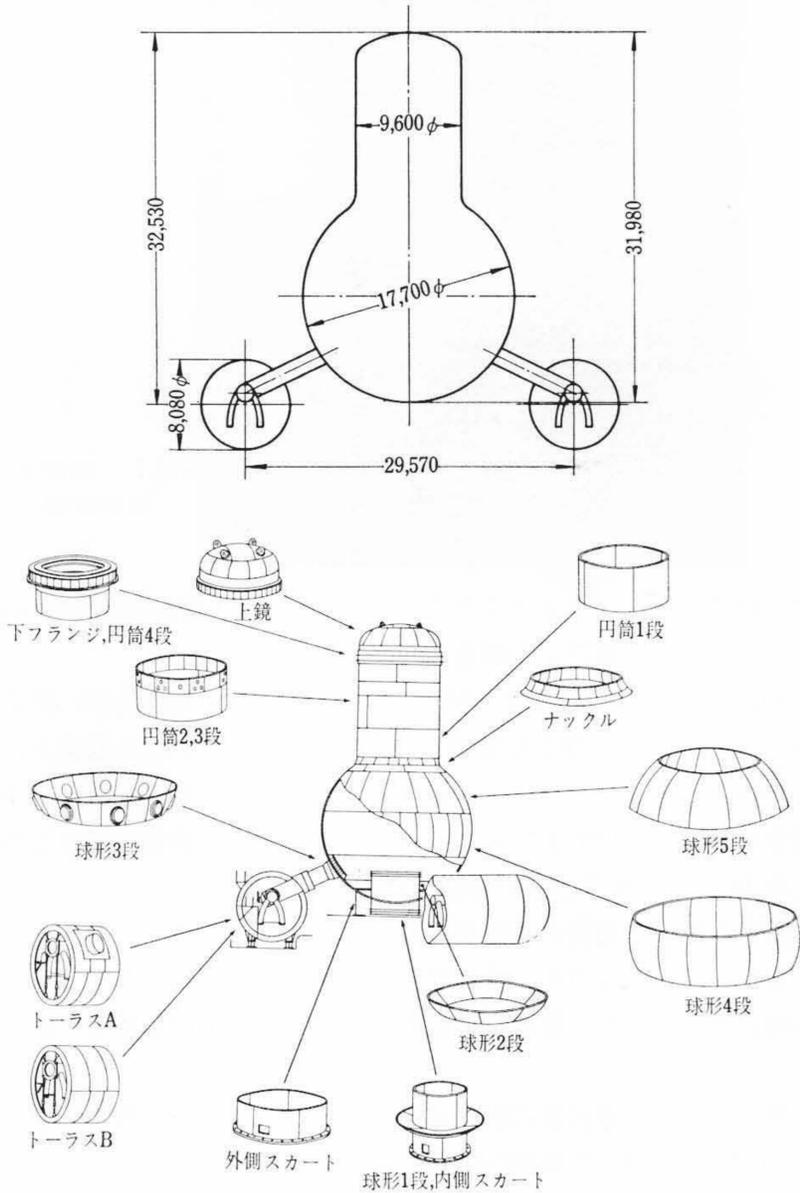


図8 格納容器組立要領図

れ、工程短縮と品質の安定化を図った。

図8は組立要領を示したものである。トーラス部はベントノズル、ベント管ヘッド、ダウンカマを内蔵した状態で16分割で工場製作された。また円筒部輪切、フランジ、上鏡も工場で作られた。球形部は2~6個の部品で現地に持ち込まれ、現地地上組立て球形輪切に組立てられた。

45年10月1日から50tガイデリック組立を始め、11月11日に使用許可を得た。なお130tトラッククレンも準備し、全工程中その威力をじゅうぶんに発揮した。

一方、45年11月2日第1船が到着し、海象の関係から、12月中旬までに全部品を搬入し終えたが、この間延10船で輸送した。

現地据付作業は11月から3月まで、当地方としては最も悪い時期の屋外作業になり、46年2月初めには松江气象台始まって以来という豪雪にも見舞われたが、二重の風雪よけ対策などを施し、据付期間中55%の天候稼働率をもって46年3月末に完了した。続いて4月上旬に耐圧試験、漏えい率試験を実施し、優秀な成績で試験を完了した。

なお、漏えい率試験は基準容器法と絶対圧力法の両方で行なわれ、両者の試験法と精度の検討がなされた。

3.4 現地配管の洗浄および清掃

現地配管機器の確実な洗浄および清掃は、運転開始後の

- (1) 1次冷却水を清浄に保ち、
- (2) 廃棄物処理設備の負荷を低減し

試運転期間の短縮、機器性能の発揮のため、大変重要なことと考え

表6 配管洗浄区分表

系	フラッシング	アルカリ・ クリーニン グ	蒸気ブロー イ	空気ブロー イ	備考
原子 炉 関 係	再循環系				アセトン ふき
	炉浄化系		○		
	残留熱除去系		○		
	炉心スプレイ系		○		
	原子炉隔離時冷却系		○	○*	*蒸気配管
	高圧注水系		○	○*	*蒸気配管
	液体ボインズ系	○			
	制御棒駆動水圧系	○			
	燃料プール冷却系	○			
	原子炉補機冷却系	○			
窒素ガス置換系				○	
タ ー ビ ン 関 係	主蒸気系			○	
	抽気系	○		○*	*大口径管
	タービンバイパス系			○	
	タービン衝動蒸気系			○	
	復水系		○		
	給水系		○		
	タービンヒータ	○			
	ドレン系	○			
	復水脱塩系	○			
	タービン補機冷却系	○			
補給水系	○				
復水輸送系	○				
廃 棄 物 係	廃棄物処理系	○			
	廃ガス処理系			○	

られる。

表6は各部の清掃法の区分を示したもので、おもな考慮点は次のとおりである。

- (1) 主蒸気管は、炉内の水を所内ボイラで沸騰し、その蒸気でブローイングすることが可能なので、蒸気ブローイングを採用することにした。
- (2) タービン抽気管は2m/s前後の流速でフラッシングされるが、大径管については蒸気ブローイングをする。
- (3) 炉に接続する配管は、原則としてすべてアルカリ洗浄をする。
- (4) 配管のフラッシング水は炉に入れないようにし、炉に直接接続する配管部分は、人の手による機械的清掃とする。
- (5) 炉の底部も最終工程で、シュラウドサポートのマンホールよりはいり清掃する。
- (6) 床ドレン・機器ドレンの廃棄物処理設備の負荷を重くしないため、埋込ドレン管もじゅうぶんフラッシングする。

なお、酸洗い洗浄については、原子力発電所の酸洗い洗浄が、現状ではまだじゅうぶんな検討がなされていないという判断で採用しなかった。

4. 結 言

島根原子力発電所1号機の建設状況とおもな特長について記述した。現地作業は今までは、土木・建築作業が主であったが、本年末より機器・配管作業も始まり、いよいよ最盛期にはいることになる。現在まで誠に順調に進捗してきたが、今後は各系統の工事が交錯することが予想されるので、各系統部門別の綿密な工程管理、部門間の工程調整に特に留意し、整然確実な作業のもと円滑な工程の進捗を図っていきたい。

一方、ソフト計画面では、機能試験、試運転計画などこれから精力的にかためていかねばならぬ。試運転前の調整および機能試験には綿密な計画とじゅうぶんな期間をとりたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 南 一良： 島根原子力発電所の計画概要 建設の機械化 第239号
- (2) 鈴紀喜久： 島根原子力発電所の工事概要 建設の機械化 第247号