

中国電力株式会社島根原子力発電所 2号機の建設と運転実績

Construction and Operating Experience of Shimane Nuclear Power Station Unit No.2

中国電力株式会社島根原子力発電所2号機(以下、島根2号機と言う。)は昭和59年7月10日に着工し、原子炉建物ベースマット打設開始から49か月かけて平成2年2月10日に営業運転を開始した。

約1年間運転し平成2年2月5日に解列し、同年4月18日の併入まで第1回定期検査を行いその結果、全従事者の線量当量が約0.15人・Svという良好な実績を達成した。

島根2号機は電気出力820 MWのBWR(沸騰水型原子炉)で、通商産業省および電力会社の指導による軽水炉改良標準化仕様を全面的に取り入れるとともに日立製作所の自主開発技術を採用したプラントである。

会津 正* *Tadashi Aizu*
 高島義衛* *Yoshie Takashima*
 高橋 博** *Hiroshi Takahashi*
 根上文男**** *Fumio Negami*
 渡辺雅明*** *Masaaki Watanabe*
 治部 襄* *Noboru Jibu*

1 緒言

島根2号機は、電気出力820 MWのBWR原子力発電設備で、昭和60年1月11日原子炉建物マット打設開始以来鋭意建設を進め49か月の短工期で完成した。

島根2号機は信頼性、運転性、保守性など数々の新技術を採用したプラントとして注目されている。島根2号機発電所の全容を図1に示す。

2 設計、設備の特長

島根2号機は軽水炉の改良標準化計画国内動向に合わせながら隣接1号機の運転経験と取合条件を反映した改善を加えて昭和58年に最終設計仕様を固めた。島根2号機プラント基本仕様を表1に示す。

設計段階で共用可能な1号機の設備を有効に利用しながら配置計画を行った。

具体的な例として、中央制御室は1、2号機とも同一室内に、かつ運転性を考慮した配置計画とした。

中央制御室の全景を図2に示す。

また、所内ボイラは2号機用として1缶を追設し1号機と兼用する計画とした。

PCV内の主要配管であるMS(主蒸気系)、CUW(原子炉浄化系)、PLR(再循環系)のリングヘッドをそれぞれ各階に分離

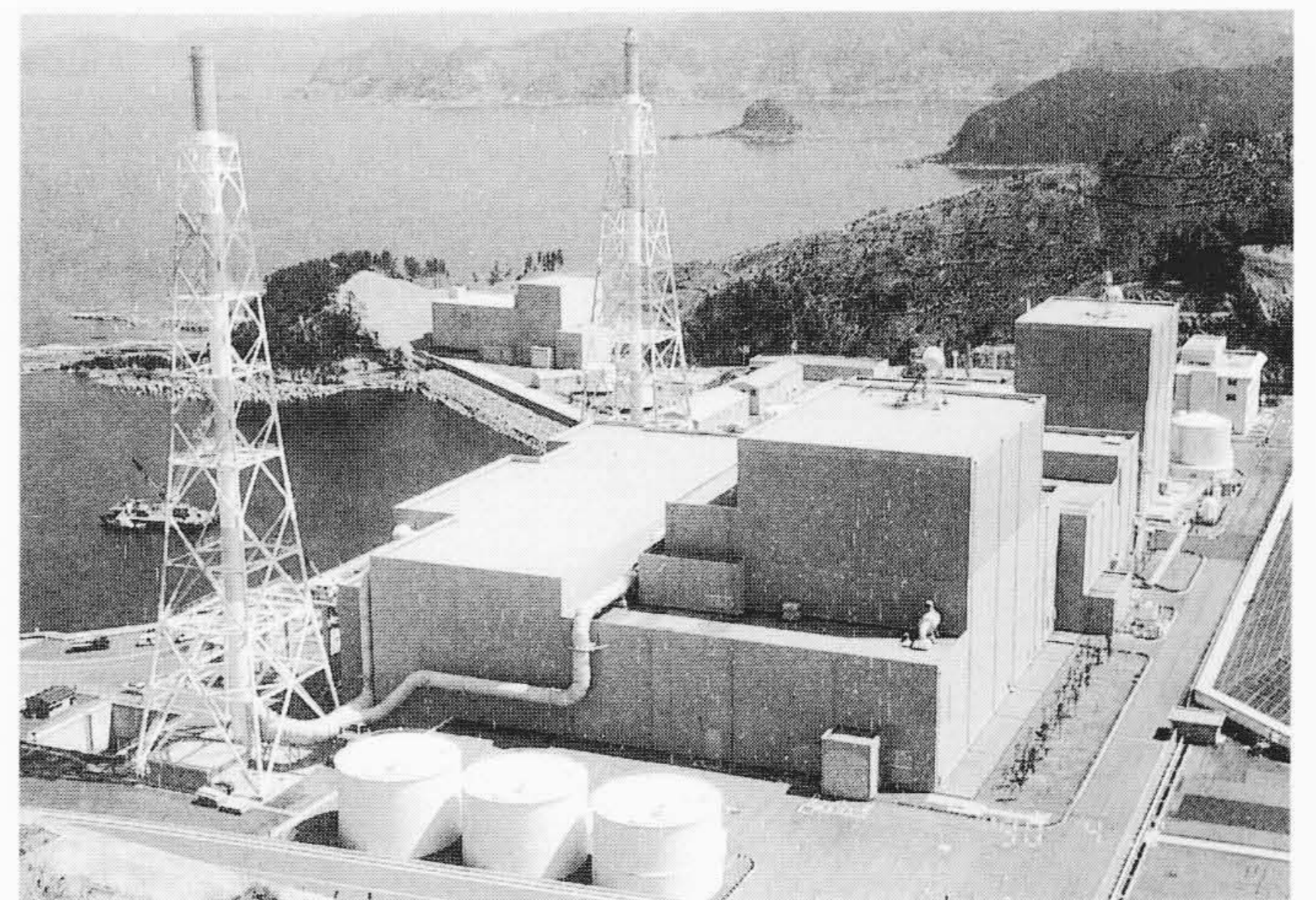


図1 島根原子力発電所2号機の全容 島根2号機は島根1号機と建物続きで共用設備も多い。この完成により、島根原子力発電所の総電気出力は1,280 MWとなった。

配置し、間隔をとっている。

また、PCV内に昇降装置(エレベーター)などを設置し合わせて機器別に分解、点検用操作架台を設けてすべて階段でアクセスできる計画とした。

* 日立製作所 日立工場 ** 株式会社日立エンジニアリングサービス *** 日立製作所 電力事業部
 **** 日立ニュークリアエンジニアリング株式会社

表1 プラント基本仕様 電気出力820 MW級BWRプラントとして、新技術が数多く採用されている。

項目	仕	様
出力	発電出力	820 MW
	原子炉熱出力	2,436 MW
	全冷却材流量	35.6×10^3 t/h
	蒸気流量	4.74×10^3 t/h
	燃料集合体数	560体
	制御棒数	137本
	ジェットポンプ数	20個 (5ノズル採用)
	逃し安全弁数	12個
原子炉設備	炉浄化系流量	給水流量：5% (起動, 停止時) 給水流量：2.5% (運転時)
	PCV	MARK-1 改良標準型原子炉格納容器
タービン・発電機設備	タービン型式	くし型6流排気再生復水式
	最終段翼長	38インチ
	タービン回転数	1,800 r/min
	発電機型式	三相交流同期発電機
	容量	870 MVA (標準出力)
	発電機回転数	1,800 r/min
	周波数	60 Hz
	復水器型式	表面接触単流3区分式
	数量	1台 (3胴)
	真空度	722 mmHg

注：略語説明 PCV(原子炉格納容器)

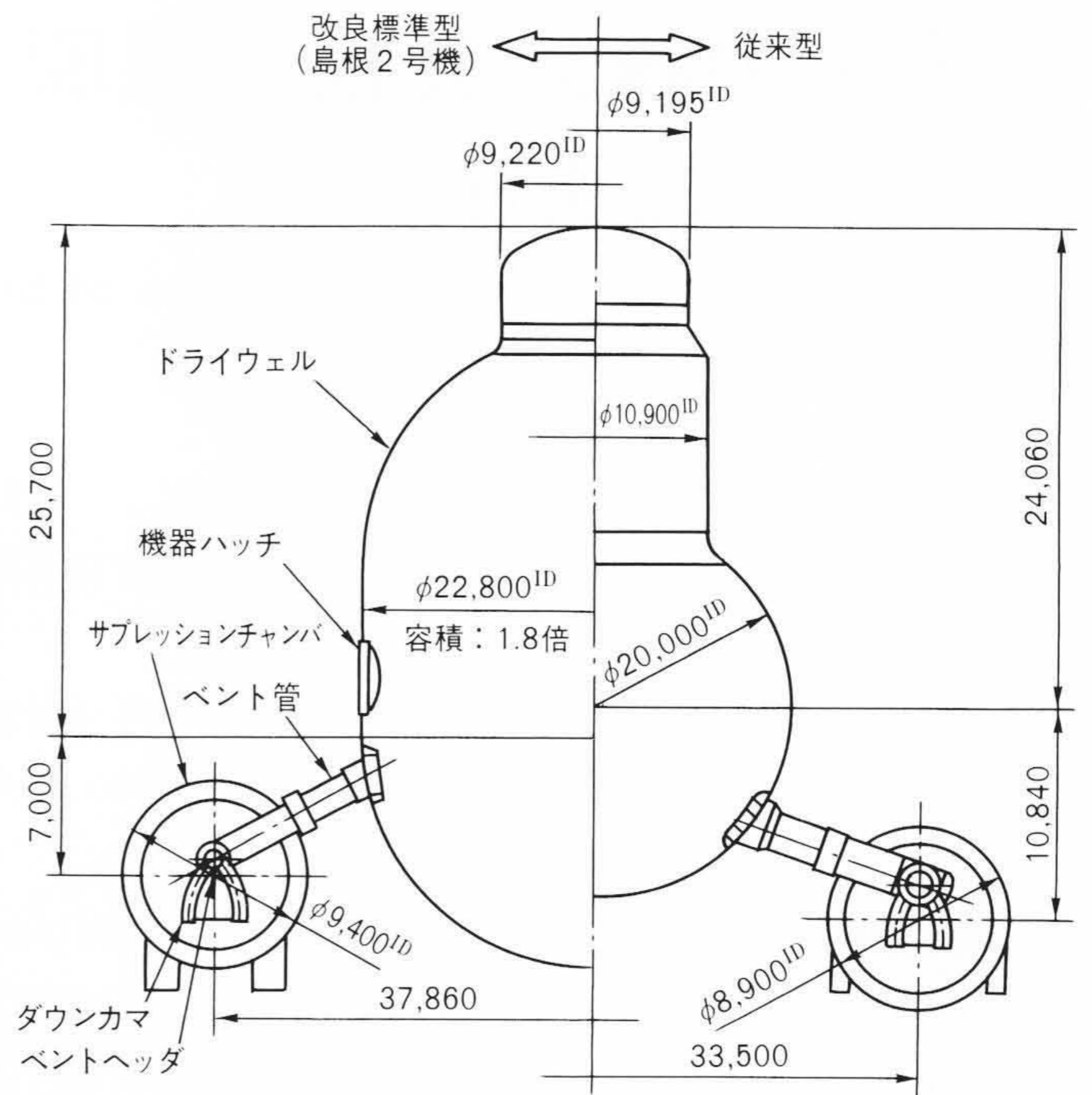


図3 PCVの構造 MARK-1 PCVの従来型と改良標準型の比較を示す。全体の内容積を1.8倍と大きくして、通路・保守性を大幅に改善している。

2.1 設備の特徴

(1) PCV

PCVは従来の同出力クラスのものに比べ内容積を1.8倍と大きくし、保守性向上を図った。PCVの構造を図3に示す。

(2) 原子炉蒸気発生設備

原子炉再循環系には、従来同一出力炉に用いられていた1ノズルジェットポンプに替えて5ノズルジェットポンプを採用し、効率向上を図ることにより再循環ポンプ容量を低減し



図2 島根2号機試運転中の中央制御室全景 島根2号機中央制御盤は1号機中央制御室と同室にあり、盤形状、スイッチの配列など1号機と調和をとった配置になっている。

ている。また制御棒駆動系には、従来の2倍の高速で制御棒を炉心に挿入させるよう高速スクラム制御棒駆動機構を採用している。

(3) 工学的安全設備

想定非常時に原子炉へ冷却材を補給するための非常用炉心冷却系は、BWR-5型で3系統区分構成とし、信頼性を向上させている。原子炉建物内ガスを浄化するための非常用ガス処理系は、二重フィルタトレイン方式とし、放射性物質除去能力を大幅に向上させている。

(4) 原子炉補助設備

原子炉冷却材浄化系は、島根1号機の良い運転実績を尊重して、給水流量の5%に相当する流量の汙過装置を採用するとともに低圧型系統構成を採用している。また、新たに補助熱交換器を設置して原子炉隔離時、停止時に原子炉冷却ができるようにしている。

(5) タービン設備

グランドコンデンサを復水脱塩装置の下流側に設置し、保守性向上、被ばく低減を図っている。また、建設工程短縮および定期検査工程短縮を図るため、天井クレーンを2台設置している。

(6) 計装制御設備

(a) 中央制御盤は、運転操作性の観点から盤形状、スイッチの配列などは1号機と調和をとりながら、機能的には最近のマンマシンインタフェース技術を反映し、制御盤上およびオペレータコンソール盤上にテレビジョン画面を5台配置し、プラントパラメータを集中表示することによって監視性、運転性を向上させている。

(b) プラントの主要制御系や放射線モニタには、最新のデジタル装置を適用し、信頼性と機能の向上を図っている。

特に主要制御系に適用した高信頼化デジタルコントローラは、インテリジェント入出力装置をベースに小型化を図った設備としている。

(c) 原子炉水位、圧力など主要なプロセス量の計測に半導体センサを適用し、応答性などの性能改善を図っている。

(d) システム制御技術

(i) 100%容量タービンバイパスシステム

発電機負荷遮断時、原子炉発生蒸気の100%をタービンバイパス弁を介して復水器へ直接逃がすことにより、原子炉圧力の上昇を抑え、所内単独運転へ移行するよう、運転制御面で信頼性向上を図っている。

(ii) 原子炉給水制御系

従来の水位制御機能に加え、給水ポンプ自動切換機能を給水制御装置に組み入れ、給水制御系だけでポンプの切換が行えるようにし、プラントに大きな外乱を与えないようにしている。

2.2 設計高信頼性活動

島根2号機では設計、製作、建設の各ステップごとに徹底した品質保証活動を行った。まず設計の総点検活動は高信頼性確立のためと、現地での後戻り作業の発生を未然に防止するために下記内容を推進した。

- (1) 先行機からの改善レビュー
- (2) 新設計品のデザインレビュー
- (3) 1号機をベースとした新手法、新技術のレビュー
- (4) 試運転時、ノートラブルのためのレビュー

先行機の設計改善などを含めて設計での高信頼性活動の内容を図4に示す。

2.3 被ばく低減計画

島根2号機では運転開始後の従事者の被ばく低減を目標に計画段階から種々の検討を行い設計へ反映させた。具体的な被ばく低減対策を表2に示すように3段階に分けて実施項目を計画した。以下に放射低減策および線量率低減に寄与した遮へい計画について述べる。

(1) 被ばく低減対策

1号機の実績、経験および国内プラントで実施された改善標準化項目の反映に加え、島根2号機特有の対策を実施した。低線量率プラント対策を表3に示す。

(2) 高線量率配管の遮へい計画

先行プラントの遮へい対策を基本に、PCV内のPLR、RHR、CUW配管などに保守作業性を考慮した鉄板恒久遮へいと鉛入り保温材とを実施した。PCV内恒久遮へいを図5に示す。

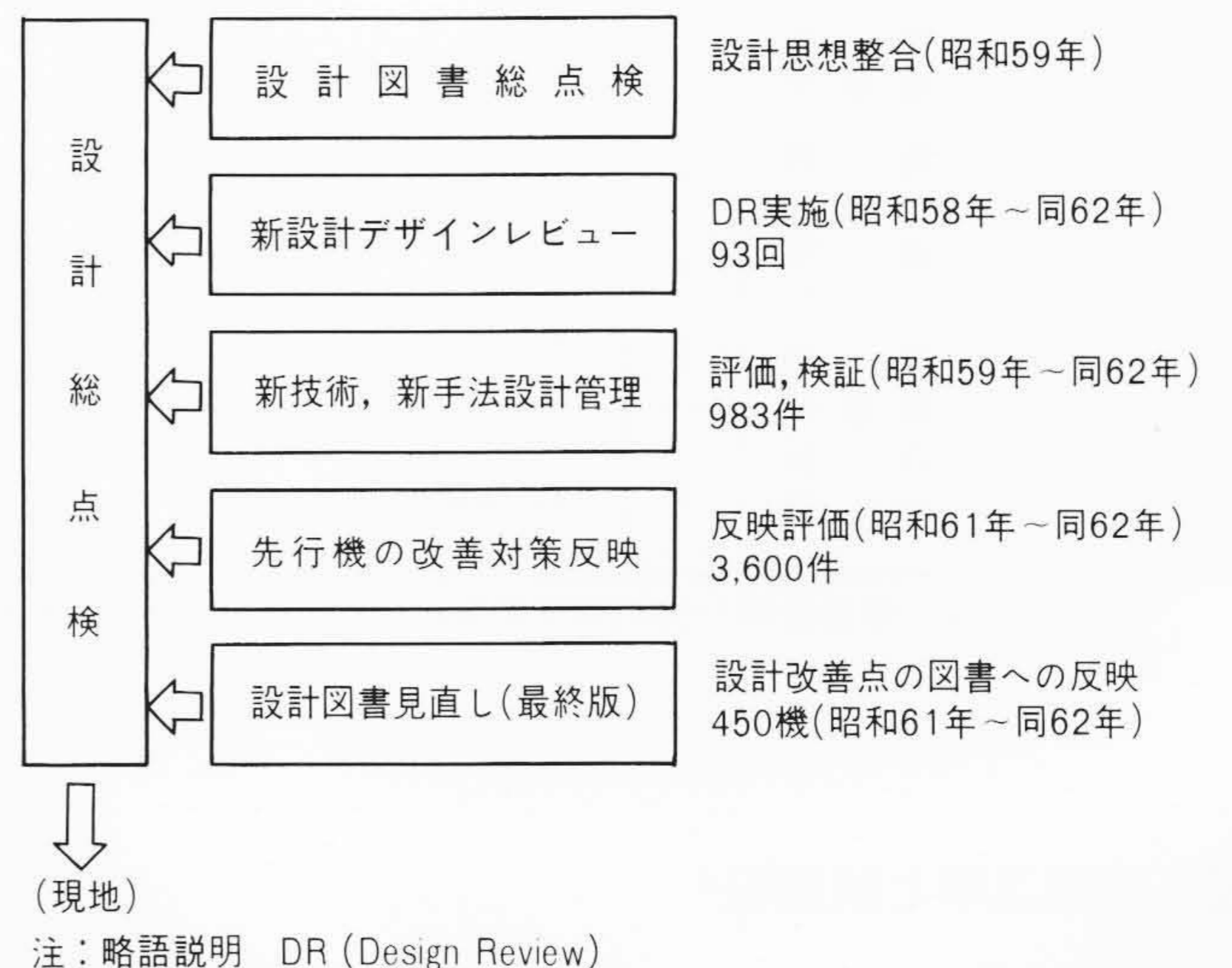


図4 島根2号機設計高信頼性活動 設計高信頼性確立のため、日立製作所全体で設計総点検活動を推進した。

表2 被ばく低減対策 従事者のむだ(作業, 時間, 被ばくなど)を少なくするための施策を徹底的に取り入れ, 環境改善を図った。

ステップ 対 策	ステップ 0	ステップ 1	ステップ 2
	改良標準化取込み 島根1号機の反映	作業改善事項の再見直し 仮設・恒久遮へいの見直し	定期検査・放管の運用変更 遮へいの強化(厚さ・範囲)
線量率低減	① PCV内仮遮へい (高線量率配管) ② RHR熱交換器管側淡水化 (クラッド装着防止) ③ CRD予備品準備(28本)	① PCV内CUW配管の恒久遮へい化 ② RPVノズル部ISI用遮へい装置	① PLR配管の遮へい (恒久・仮遮へい)
作業性向上 作業性の改善	① CRD補修室のPCV近接化 ② 耐圧型主蒸気ラインプラグ	① 保温材上にISI用位置表示マーク ② 弁つり分解用金具の追加 (30 kg以上) ③ ISIアクセスルートの最短化	① PLRポンプモータセンターリング治具 ② PCV内昇降装置
作業管理	① 従来プラントベース	① 高被ばく作業の時期の最適化	—
点検頻度見直し		① RHRンブ・弁点検順序の見直し	—
自動化機器	① CRD交換機の自動化 ② PRV・ISI自動化	① MSIV分解治具 ② 自動スタッドテンションナ ③ 自動ISI(配管)	—
特 記	・被ばく低減寄与率効果大の設備的なもの	・放射線管理の改善反映	・PLR配管の遮へい追加

注：略語説明など CRD(制御棒駆動機構), ISI(供用期間中検査), MSIV(主蒸気主塞(さい)止弁), PLR(原子炉再循環)

表3 低線量率プラント対策 先行プラントの実績, 経験上の改善項目および改良標準化改善項目をすべて取り入れ, プラントの低線量率向上を図った。

	No.	項 目	対 策
島根1号機	1	給水中のFe抑制	(1) 復水ろ過器+復水脱塩器 (2) 酸素注入
改良標準化	2	低Co材の採用	(1) 改良標準化適用 (2) 燃料構造材(インコネルなど)
島根2号機 固有	3	CUWは給水流量の5%活用	原子炉起動, 停止時は2.5%×2系列運転
	4	RHR運転	停止時RHR運転はCUWで100~130℃まで冷却後使用
改良標準化 追加対策	5	プレフィルミング	原子炉圧力容器, 炉内, 再循環系, CUW熱交換器までのSUS表面の酸化被膜形成
	6	Fe/Ni比制御	燃料表面付着放射化酸化物より ⁶⁰ Co, ⁵⁸ Co溶出防止

注：略語説明 CUW(原子炉浄化系), RHR(残留熱除去系)

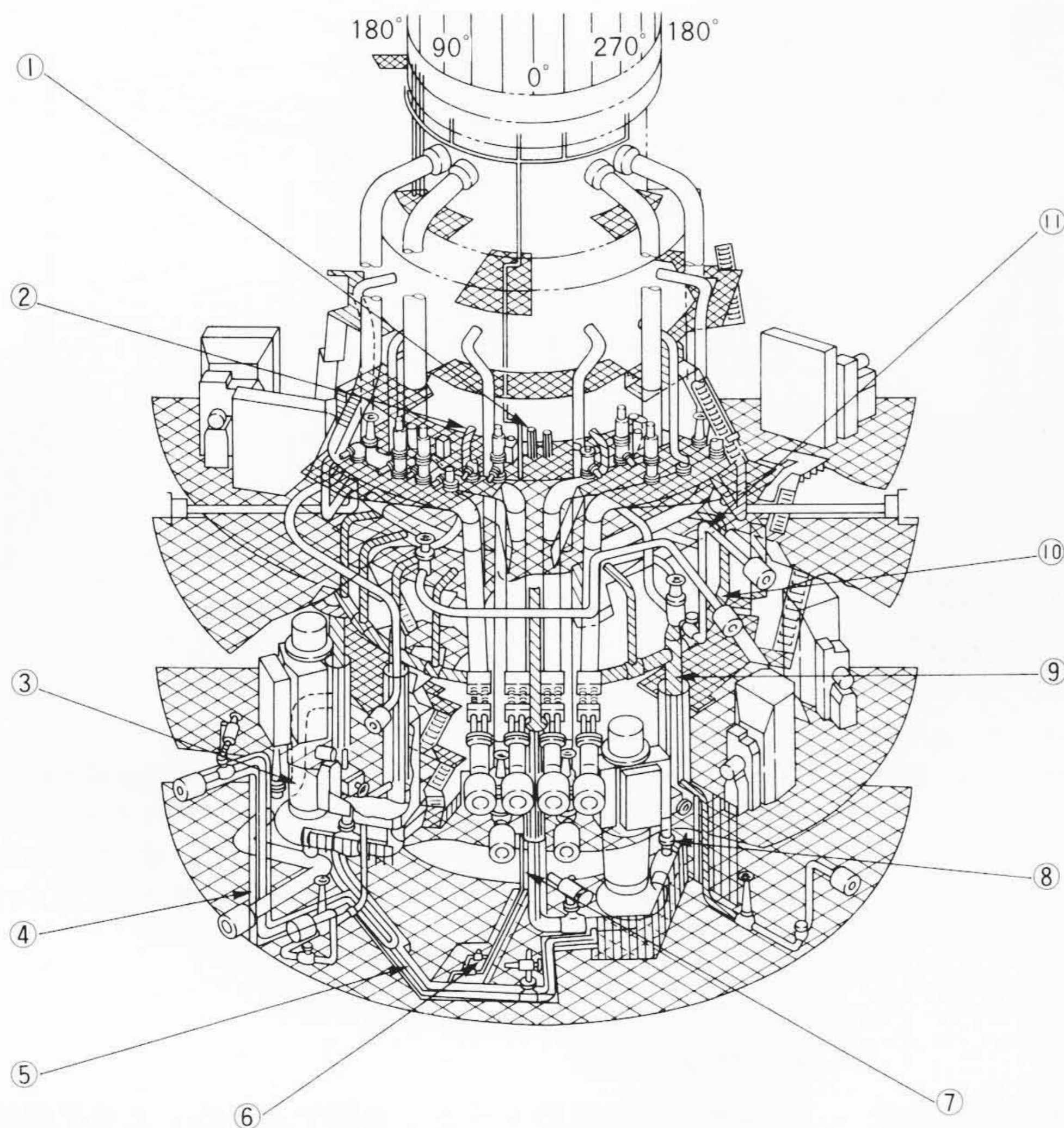
3 建設工事と試運転

原子炉建物マット工事開始から運開まで49か月という短工期を目標とした。このため, 従来工法の改善と新設工法を多く取り入れ, 3か月ごとの目標をはっきりさせ, 中国電力

株式会社, 建築共同企業体および日立製作所が一体となって確実に目標消化に努めた。

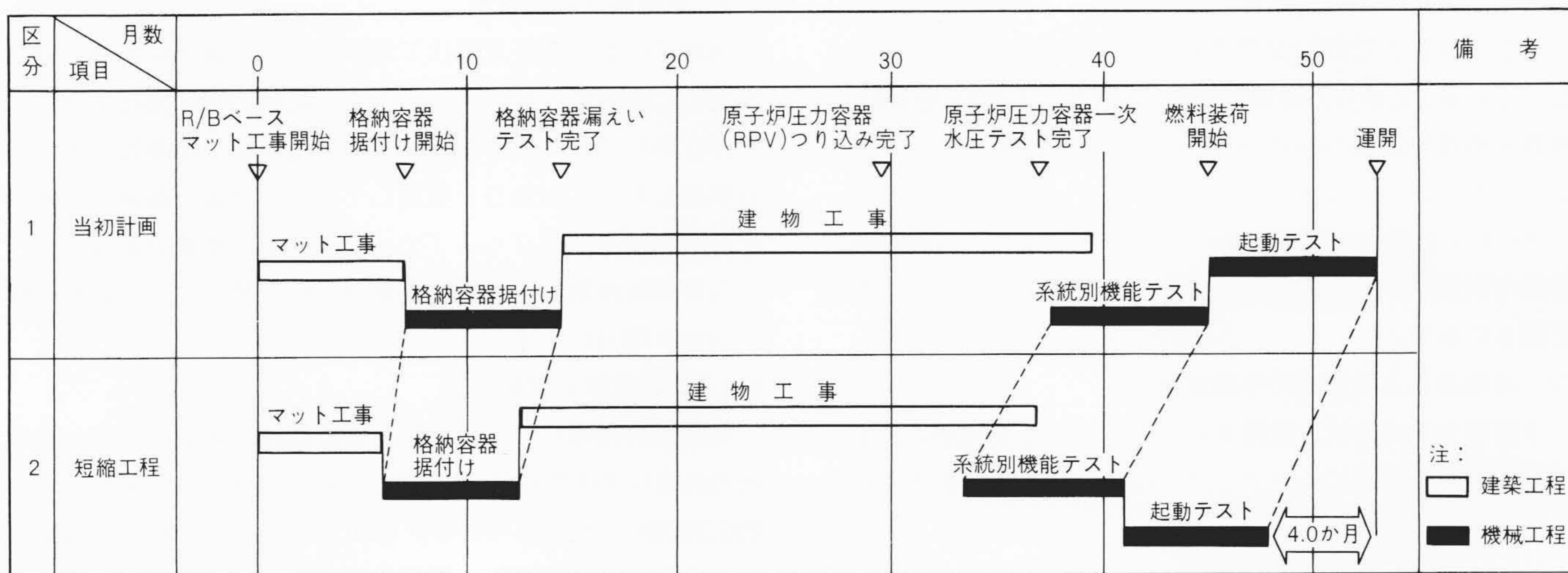
3.1 建設目標工程と対策

島根2号機の当初計画工程は53か月であったが, その後50か月, 49か月と短縮工程が検討された。建築との調整によっ



No.	説明
①	水位系ノズル線遮へい体貫通穴部の遮へい
②	残留熱除去系配管ノズル部遮へい
③	再循環系ポンプ入口配管部の遮へい
④	原子炉浄化系配管 ISI 部遮へい
⑤	原子炉浄化系配管遮へい
⑥	原子炉圧力容器ドレン弁部遮へい
⑦	原子炉圧力容器ドレンと再循環系ポンプ入口管遮へい
⑧	再循環系ポンプ出口配管部遮へい
⑨	再循環系立上り配管の遮へい
⑩	再循環系リングヘッド部配管
⑪	再循環系ライザノズル部遮へい

図5 島根2号機格納容器内恒久遮へい例 先行プラントの遮へい対策を基本に原子炉格納容器内は遮へいを徹底的に実施し、雰囲気改善を図った。



注：
 □ 建築工程
 ■ 機械工程

原子炉建物関連項目

No.	項目	短縮(月)	主要関連事項
1	格納容器据付工程の前倒し	1.0	● エリア分割手法の適用 ● 張出し足場による上下作業対応
2	大型化トラスつり込み	1.0	● 大型化ドライウェルのつり込み ● 自動溶接範囲の拡大
3	建物工程の短縮	0.5	● 鉄骨トラスの大型化 ● 改良型支保工の適切な投入
4	圧力容器一次水圧時期の前倒し	1.5	● 配管モジュールの拡大 ● シュラウドなどの工場組込み ● プールの一体つり込み
5	短縮合計	4.0	—

注：略語説明 R/B(原子炉建屋)

図6 島根2号機建設工程の短縮 建設工期49か月を目標としたときの工程を示す。実作業は大部分建物工事と並進作業で実施することにした。

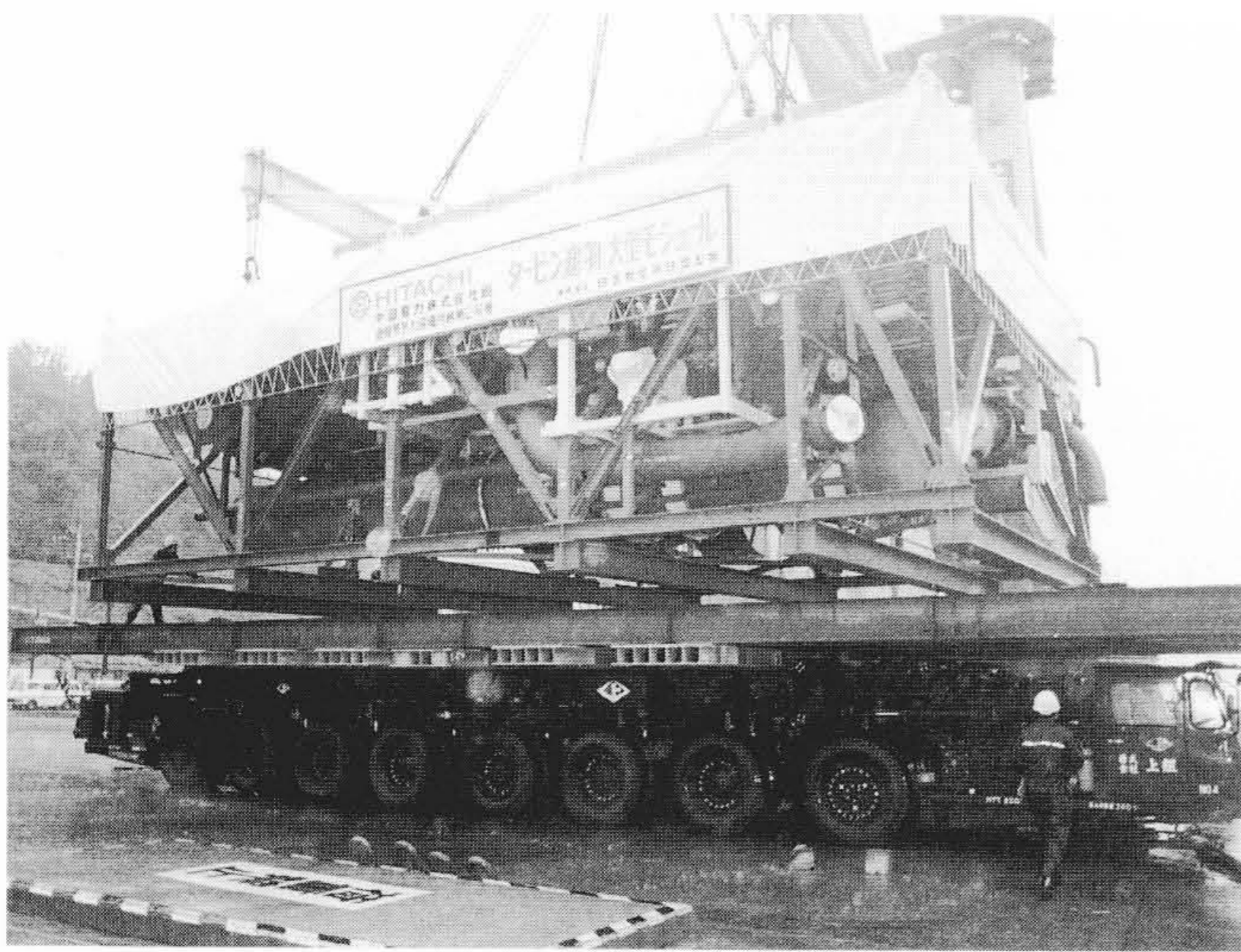


図7 タービン建物大型モジュール(90 t) 日立製作所の工場で機器、配管、弁、サポート、ケーブルトレイなどを架構に組み込み、現地作業を大幅に合理化した大型モジュール(90 t)の例を示す。

て見直し工程49か月を目標工程とし努力することにした。島根2号機建設工程を図6に示す。

先行機との大きな違いは、機械電気関係の全体工程の半分以上クリティカルパスとなっている建築作業と積極的に並進作業を行うことにした点である。

主要対策項目を次に述べる。

(1) ジブクレーンの高速化

先行プラントで130 tジブクレーンの稼動がクリティカルとなっていることから、従来の補巻20 tつりに10 tつりを追設し、無負荷時速度30 m/minから60 m/minに高速化した。

(2) 大型モジュール(90 t/個, 60 t/個)の大幅採用

タービン設備の大型モジュール(90 t)を図7に、自動燃料取替機用制御室、計算機室、電気室のルームモジュール分割図を図8に示す。

(3) 建築関連3者会議の早期実施

中国電力株式会社、建築共同企業体、日立製作所の3者会議で問題解決のスピードアップを図った。代表例を下記に示す。

(a) エリア分割をし先行乗り込み、建築との並進作業の推進

(b) 早期天井クレーン稼動のため、建築との調整による建築ロジックの早期変更、実施

3.2 現地工程管理と実績

PCVの耐圧、リークテスト完了後、各機器の据付け工事作業エリアが広範囲に本格的になることから作業完全消化を目的とした下記の運動を推進した。

(1) エリアごとの物量消化促進(目標管理)——AST(Action and Shoot down Target)運動

(2) エリアごとの残作業完了ターゲットの設定——ZC(Zero

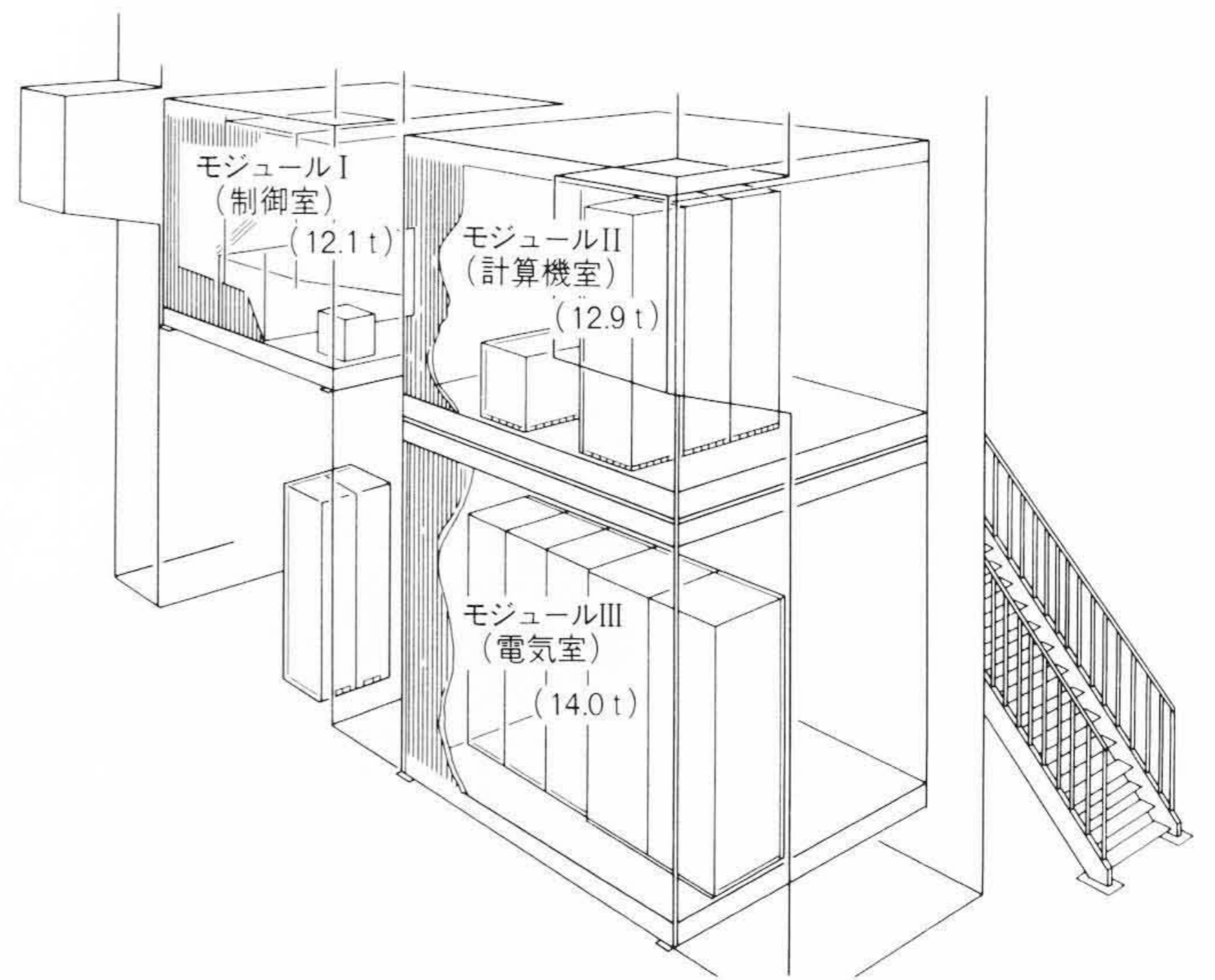


図8 ルームモジュール分割図 自動燃料取替機用の制御室、計算機室、電気室のルームモジュール例を示す。建物外でそれぞれのプレハブルームを組み立て、その中に制御盤、計算機、電気盤の組立を行い、モジュール完成後130 tジブクレーンでつり込み建物内に据え付けた。

Comment) 運動

現地でこの運動をうまく展開するため、エリア単位の生産計画と管理がうまくいくことが条件となることから、(a)設計期限の設定と確認、(b)メーカーの早期決定と納期確認を行った。実績工程を図9に示す。

3.3 現地高信頼性活動

現地での高信頼性活動は工場からの延長線上にあり、設計を含めた最終的な総合評価となる。活動内容は先行プラントとほぼ同じであるが、島根2号機では現地で指導員主体で品質保証に対する討論会を実施して全員の意識の高揚と反省会を行った結果、各グループのレベル向上に効果があった。

品質保証強調月間運動の実績(現地)を図10に、現地高信頼性活動を図11に示す。

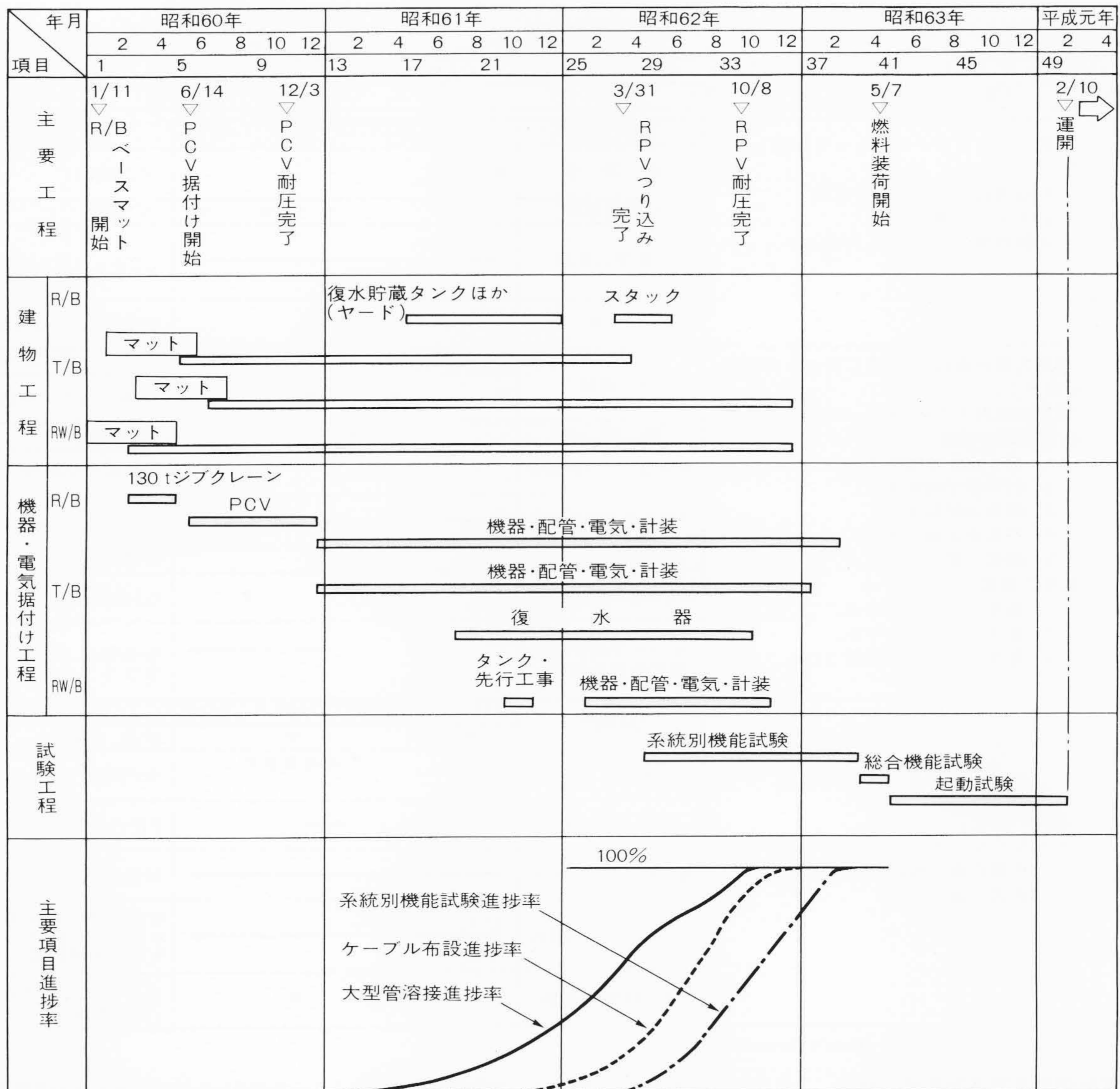
3.4 系統試験と起動試験

発電所の信頼性は系統試験と起動試験で確認される。発電所の設備は系統数約90(ポンプ約350台、自動弁約700個、計器約6,500個)で構成している。据付けが完了した時点で機器ごと、系統ごとに試運転で機能を確認し、その後通商産業省の確認によって系統試験が完了する。

全系統が完成した後に原子炉に原子燃料を装荷し、原子炉特性試験に続いて段階別に発電機出力を上昇させ確認試験を行い、最後に定格100%出力で性能が確認される。これらについても通商産業省による確認がなされ起動試験が完了するとともに、原子力発電所の設備が電力会社に引き渡され営業運転に入る。

(1) 系統試験

機器の据付け工事と並行して実施される系統試験には次の三つの区切りがある。(a)試験開始のための6.9 kV電源の受電、



注：略語説明 T/B (タービン建物), RW/B (廃棄物処理建物)

図9 実績工程 島根2号機は目標どおり49か月の短工期で、原子力発電所建設工事としては最短記録を達成し、営業運転に入った。

(b) 原子炉関係の設備が完了した時点で行う原子炉圧力容器一次耐圧試験, (c) タービン関係の設備が完了した後にいう真空上昇試験, である。

島根2号機の系統試験は、昭和62年4月6日の6.9kV受電から昭和63年5月7日の燃料装荷開始前までの13か月間で実施した。

(2) 起動試験

島根2号機の起動試験は、原子炉への原子燃料装荷から始まり、平成元年2月10日の通商産業省立会の負荷検査合格までの280日(約9か月)の短期間で実施した。この内訳は試験期間201日(72%), 計画停止期間79日(28%)となっている。

昭和63年5月25日初臨界, 同年6月14日タービンへの初通気, 同年7月11日初送電, その後25%, 50%, 75%出力と各出力段階で機器の機能・性能評価, 新技術導入事項の検証な

どを実施し, 同年10月20日に電気出力820MWの定格出力に到達した。起動試験の実績工程を図12に示す。すべての試験は, 計画を上回る性能と十分な機能を有していることが確認できた。

また, 起動試験中に下記を実施した。

(a) プレフィルミング運転

プレフィルミングとは, 原子炉一次系配管に放射能のきわめて少ない時期に保護酸化皮膜を形成させることで, 島根2号機では原子炉水のpH制御方式を採用し, 核加熱試験期間中に実施した。

(b) 計画停止時プラント点検

100%出力試験がほぼ完了した時点で実施した営業運転開始前計画停止では, (a) 運転時間の長い回転機器, (b) 海水ポンプ, (c) 隔離弁, (d) 空気換気系フィルタ, (e) 空気圧縮機

年 月	PCV H/T (耐圧試験)												RPV 入り込み 6.9 kV受電						RPV 一次耐圧					
	60/11 12 61/1				2 3 4 5 6				7 8 9 10 11				12 62/1		2 3 4		5 6 7 8		9 10 11 12					
	(第1回)				(第2回)				(第3回)															
第1回 (昭和61.2/1~3/31)	「全員がチェックマンとなって作業を見直そう」 (1)指導員の管理すべき事項 (2)チェック項目方法 (3)管理者による品質,作業のチェック																							
	行事	2/1	2/11	2/21	2/28	備考																		
	講演会	▼	社内講師																					
	指導員教育					▼	▼	▼	QC関係															
	QC要領の見直し	←————→												QCチェックシートの見直し										
QAパトロール	合計9回												重点チェック項目製品養生保管											
第2回 (昭和61.7/11~8/10)	「基本の積み重ねで,世界に誇れる発電所を造ろう」 「信頼性確保のため,全員一致頑張ろう」 品質確認の徹底 1. 必ず自分で確認する。 2. 計測器で確認する。 3. 結果は記録する。 4. 不具合は報告する。 5. 結果に責任を持つ。 基本の徹底 1. 基本(ルール)を学ぶ。 2. 基本(ルール)を守る。 3. 基本(ルール)を習慣づける。																							
	QA講話	7/11	7/21	7/31	8/10	備考																		
	講演会	▼	▼	▼	社長,QAセンタ長,工事長																			
	異物混入防止討論会					▼	6グループ発表																	
	懸案事項の完全消化	←————→												—										
	設備点検					▼	設備点検																	
	据付け基本原則の徹底	▼	▼	▼	▼	QA関係掲表掲示																		
	据付け作業管理の視覚モデル教育	←————→												製品養生,据付け管理に必要なモデルを展示										
第3回 (昭和62.7/11~8/10)	「基本の徹底」 「みんなでなくそうヒューマンエラー」 (1)作業前後の確認 (2)真因の追求																							
	QA講話	7/11	7/21	7/31	8/10	備考																		
	講演会	▼	指導員教育																					
	総点検	(PCV内主体) ←————→												RPV一次耐圧前点検										
	基本励行パトロール	←————→												対話形式のチェックと指導										
	不良ポテンシャル抽出	←————→												●仮設物の本設混入防止 ●異物混入防止 ●高振動機器周り点検										
	基本技量の確認													▼ ボルト訂正締付力の確認(実技演習)										

注:略語説明 QC (Quality Control), QA (Quality Assurance)

図10 品質保証強調月間運動実績(現地) 工事の高品質確保は究極的に人の技量と意識に負うところが多いため、品質向上の意識高揚を目的にQA強調月間を設定して運動を展開した。

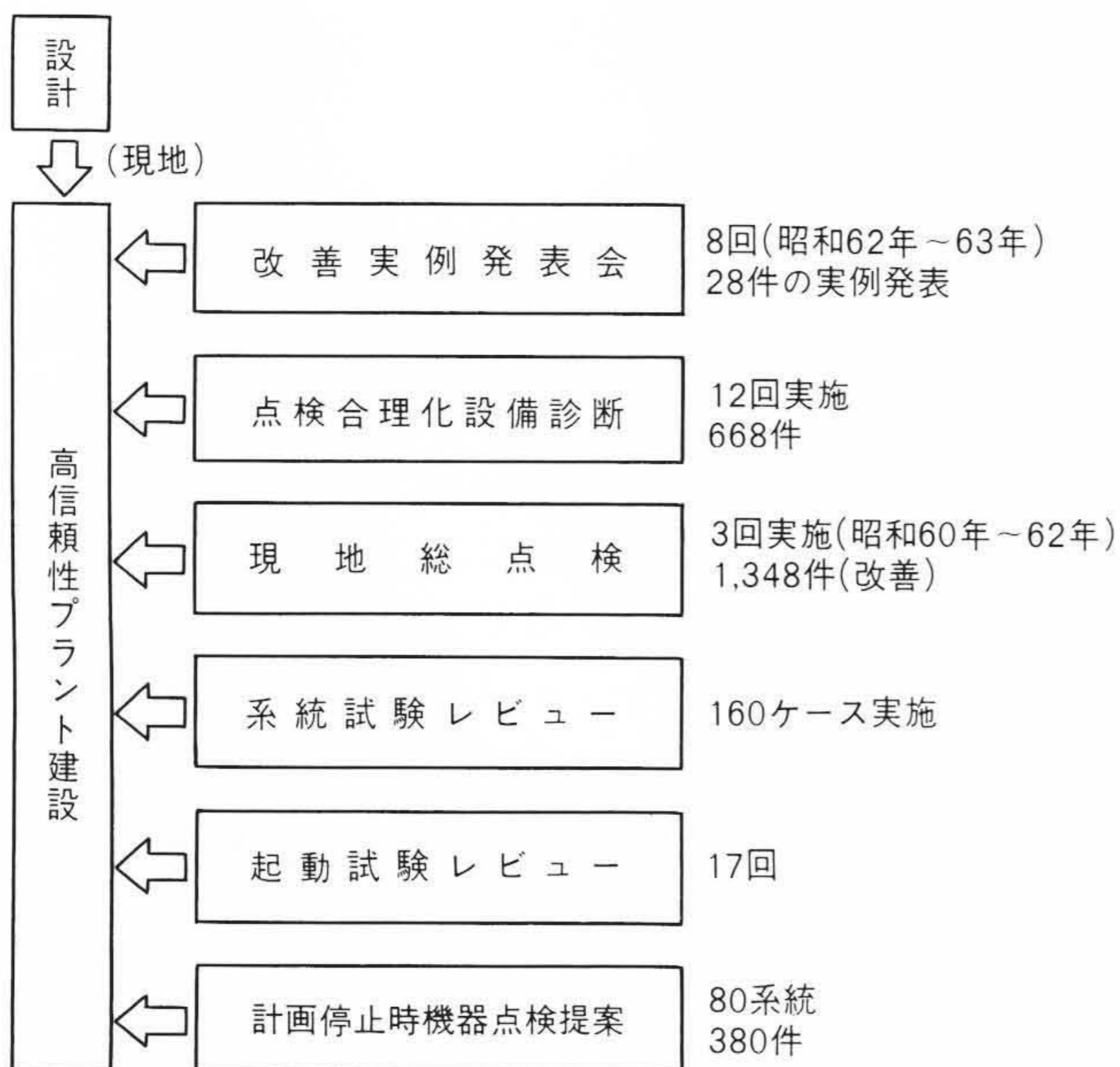


図11 現地における高信頼性活動 設計を含め設備としての信頼性の総合評価を現地で最終的に取りまとめた。このため、設計図書と製品について最終点検を強力に実施した。

などの代表的機器の点検を実施して健全性を確認した。

4 第1回定期検査

島根2号機第1回定期検査工程,線量当量の実績を図13に示す。平成元年2月10日に営業運転を開始し,1年後の平成2年2月5日解列で第1回定期検査が始まり,4月18日併入の73日間で終了した。島根2号機は設計時から数多くの被ばく低減対策を実施しており,定期検査時は「確実な作業で低被ばく定期検査への挑戦」をスローガンに掲げ作業を実施した。その結果,発電所全体の線量当量は約0.15人・Sv(日立グループは約0.07人・Sv)を達成した。

このような結果になったのは以下の効果と判断する。

- (1) 恒久遮へいによる線量当量率の改善
- (2) 営業運転6か月前からの定期検査計画着手による充実した事前計画の実施
- (3) 現地作業の高効率と全員の意識改革

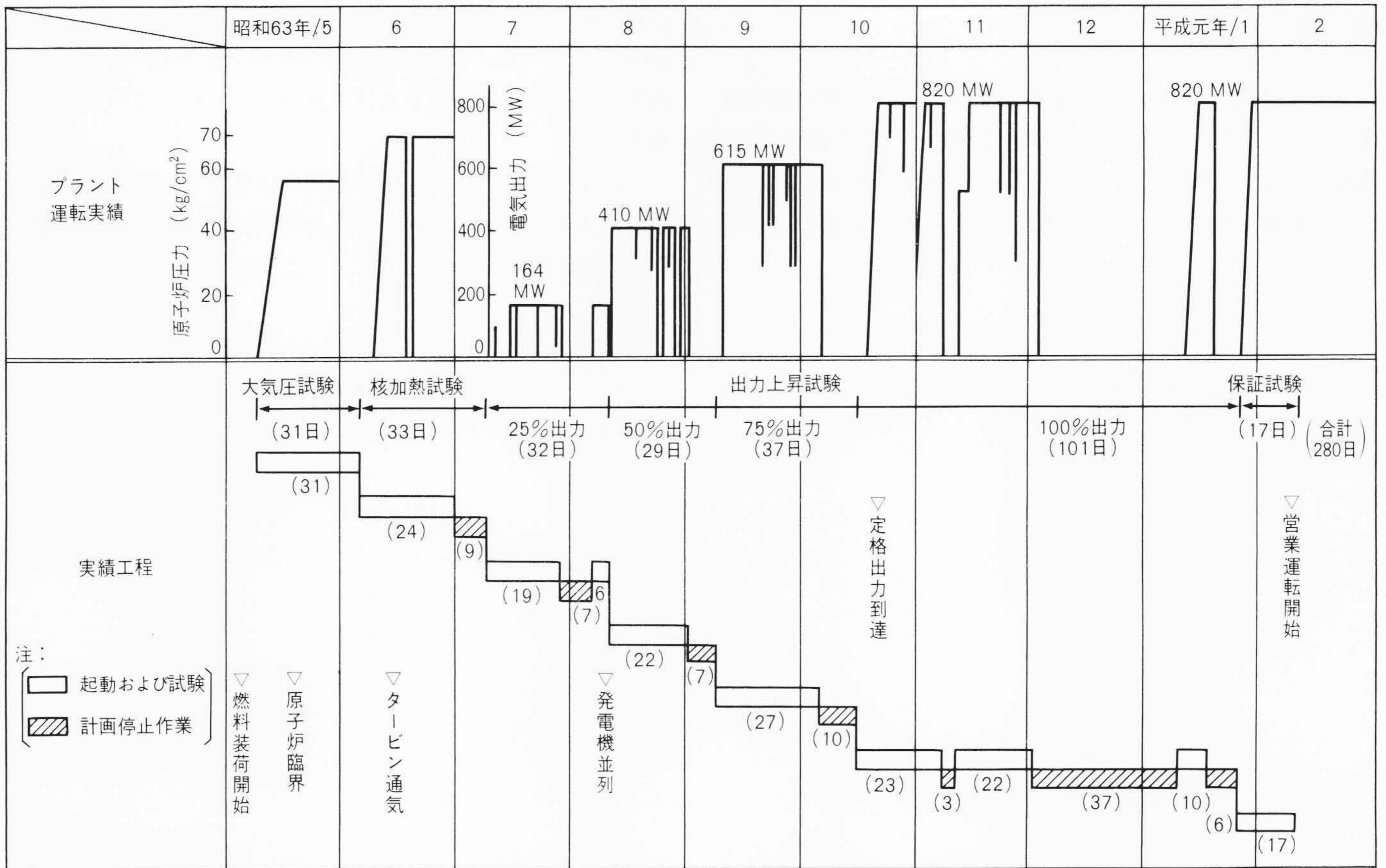


図12 起動試験実績工程 昭和63年5月7日燃料装荷から起動試験が開始され、正味試験期間201日で終了した。その結果、計画どおりの性能であることが確認され、平成元年2月10日から営業運転に入った。

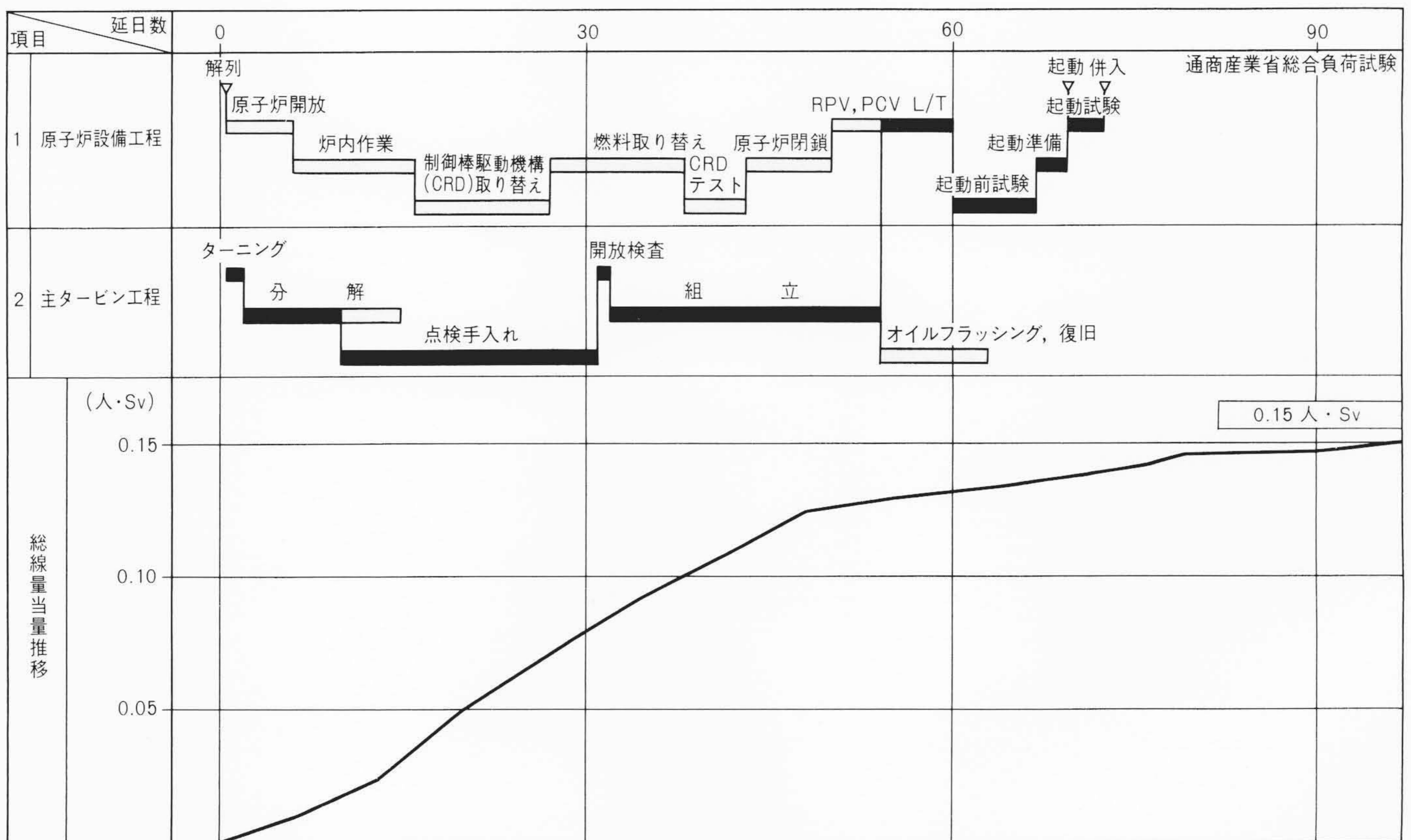


図13 島根2号機第1回定期検査工程および線量当量 平成2年2月5日から4月18日併入まで73日で実施され、総線量当量0.15人・Svの結果で1回の定期検査ではいちばん小さい記録である。

5 結 言

以上、島根2号機の建設、試運転、第1回定期検査結果の概要について述べた。島根2号機は従来にも増して高信頼性、低被ばく保守点検を目指し、建設工期も国内で初めて49か月という最短記録で完成し、当初の目標を達成することができた。

第1回定期検査も一定期検査当たりの線量当量が0.15人・Sv以下であった。この成果を1ステップとして、今後のより高度な技術開発に全社をあげて全力で取り組んでいく考えである。

このように、島根2号機が良好な結果をもって完成することができたのは、中国電力株式会社関係各位の豊富な経験に基づいたご指導の賜物であり、ここに厚くお礼申し上げる。