



もんじゅシミュレータ「MARS」 の設計、製作および据付

大内 一利 小屋越 直喜 山田 智之*
中野 久夫* 小沢 健二

高速増殖炉もんじゅ建設所
*動力炉建設運転本部

資料番号：77-6

Design, Manufacturing and Installation of Monju Simulator "MARS"

Kazutoshi Ohuchi Naoki Koyagoshi
Noriyuki Yamada* Hisao Nakano* Kenji Ozawa
(Monju Construction Office

* Reactor Construction and Operation Project)

高速増殖炉原型炉「もんじゅ」は、ナトリウム冷却型高速炉に特徴的な設備を種々有する電気出力280MW（熱出力714MW）の原子炉である。

もんじゅシミュレータ「MARS」(Monju Advanced Reactor Simulator)は、「もんじゅ」の通常運転時と異常時下における試運転前の過度応答、挙動予測解析によるプラント制御性確認およびその実技的な教育を運転員に実施することを主な目的として製作されたもので、高速増殖炉もんじゅ発電所構内総合管理建物3階の一角に平成2年8月から9月にかけて据付けられ、平成3年3月の完成に向け現在各種試験が鋭意進められている。

1. はじめに

もんじゅシミュレータ「MARS」は、FBR発電プラント本格シミュレータであり、「もんじゅ」実機運転開始に先駆けて平成3年4月から運用を開始すべく現在各種試験調整が進められている。

設計製作には基本的に中央制御関連設備の実機設計製作担当社が当たり、「MARS」に必要な実機設計情報は細部にわたり反映することができるシステムとしている。

2. 「MARS」の構成

「MARS」のシステム構成図を図1に示す。中央制御盤模擬盤および中央監視盤模擬盤は、フルスコープで模擬され、現場模擬盤は、中央補助盤あるいは現場盤のうち運転訓練に必要な主要プロセスの監視、操作等ができるようになっている。中央計算機模擬計算機は、実機の中央計算機システムのうち主として制御性確認に該当する機能を有し、合理的に設計されている。プラント模擬計算機は、プラント挙動を模擬するプラント動特性演算処理用の計算機とインテック等を模擬するロジック演算処理用の計算機から構成され、各々の盤とリンクされてい

る。またこれらのシミュレーション状態を諸種の形で進行制御するインストラクタ・コンソールが2台のCRTを有して設けられている。

計算機および周辺機器のハードウェア構成を図2に示す。

写真1は、インストラクタ室からシミュレータ室を撮ったもので奥に並んでいるのが中央制御盤模擬盤、その手前のベンチ型盤が中央監視盤模擬盤で



写真1 シミュレータ室全景

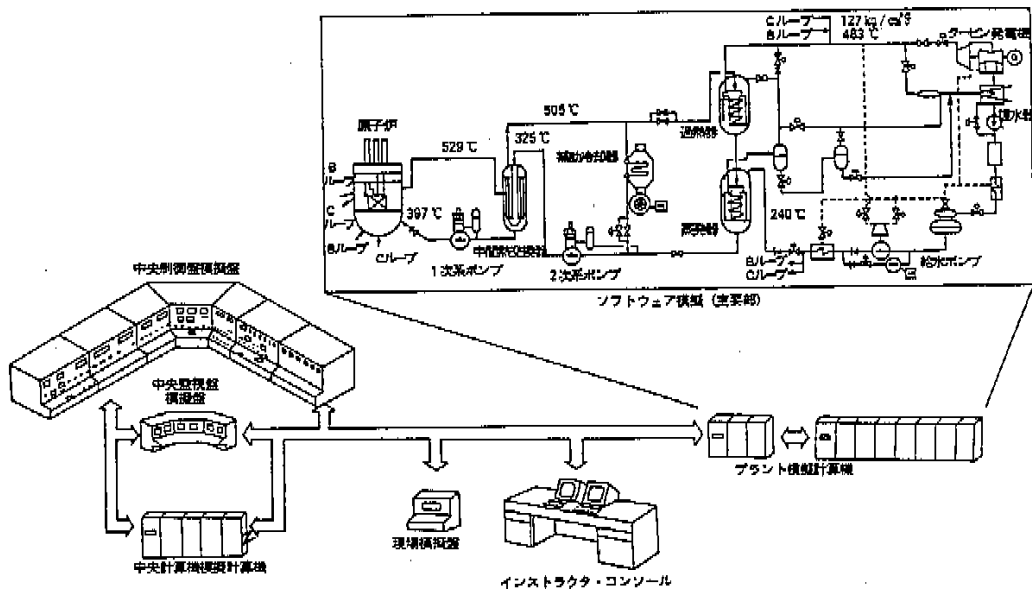


図1 システム構成図

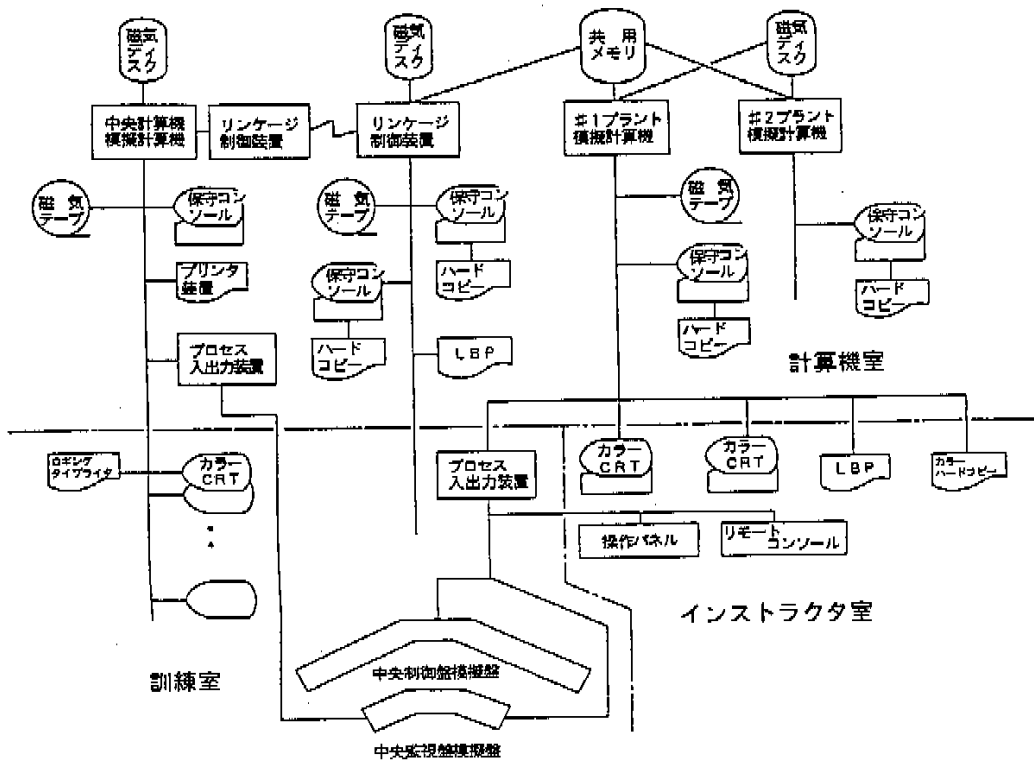
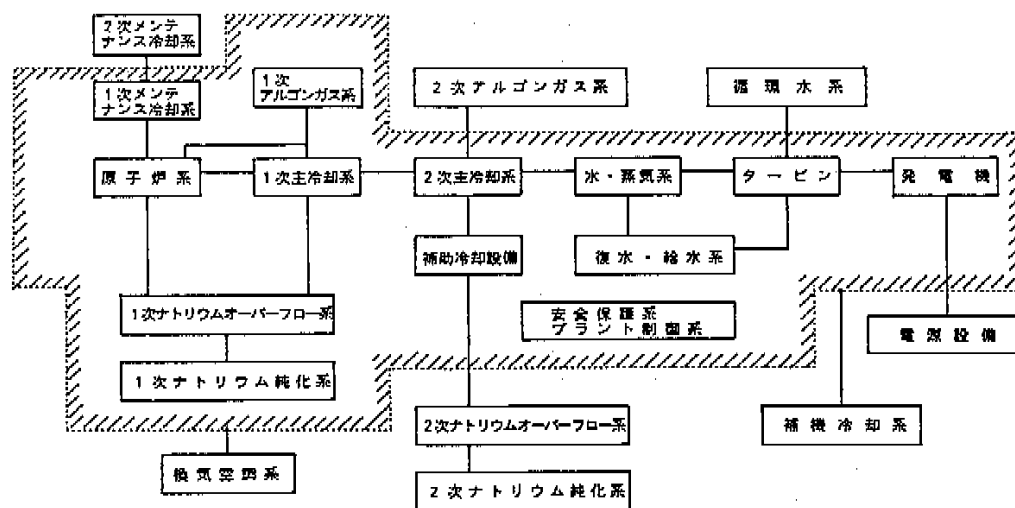


図2 ハードウェア構成図



シミュレータの対象範囲

図3 シミュレータの模擬対象範囲

あり、インストラクタ室窓ガラスから手前に設置されているのがインストラクタ・コンソールである。

計算機類が設置されている計算機室は、中央制御盤模擬盤の左翼後方に配置されている。

3. 設計基本方針

各項目ごとに設計上最低限必要な要求事項を定め、それに沿った形で設計製作が進められた。

3.1 シミュレータに対する基本的な設計要求

- (1) 3ループ実時間模擬とし、プラント停止状態から定格出力運転状態まで連続的に模擬できること。
- (2) 中央制御盤模擬盤の盤面構成、警報窓、操作スイッチの配置および形状、CRT表示は、実機同等とし臨場感を損わないこと。
- (3) 重要なプラント異常事象等（1次冷却材漏洩、Na-水反応を含む）が模擬できること。
- (4) 模擬精度は、ANSI/ANS-3.5-1985に準拠すること。
- (5) プラント試運転前の制御性確認解析と運転訓練の効率化およびレベルアップを図るためのオペレーション機能を設けること。
- (6) インストラクタの集中管理操作が可能で、かつ訓練生の動作把握が容易なインストラクタ・コンソールとすること。

3.2 シミュレータ模擬の範囲と解析コード

系統模擬範囲を決定するに当たっては、原子炉冷却

系を中心とした制御性確認を可能とするプラント範囲ならびに中央制御室設置盤面器具により対応操作およびプラント状態変化の監視ができる系統を原則として選定した。

図3にシミュレータの模擬対象範囲を示す。シミュレータ模擬用、解析コードの主要機器モジュールを表1に示す。

シミュレータの解析コードは、安全解析並びに、系統・機器設計に用いたプラント動特性解析コードを基本として以下の機能を付加・修正している。

- (1) 実時間状態でのプラント挙動模擬。
- (2) 出力40%以下での手動起動・停止時のプラント挙動模擬。
- (3) タービン発電機、給水・復水系、起動バイパス系、1次メンテナンス冷却系、1次アルゴンガス系、1次ナトリウムオーバーフロー系、1次ナトリウム純化系の各系統を模擬。
- (4) 水/蒸気系の自動化運転模擬。
- (5) 演算速度向上のためプラント挙動模擬に支障ない範囲で解析モデルを修正。

4. 主要機能

4.1 インストラクタ・オペレーション機能

シミュレータ状態の進行制御監視を行うためにインストラクタ・コンソールには表2に示すオペレーション機能が装備されている。

またインストラクタ室外からも操作可能とするためにリモートコンソールも設置されている。

表1 主要機器モジュールの特徴

項目	特徴
炉心部	核特性：一点近似動特性 チャンネル数：1 径方向ノード数：4 軸方向発熱分布：Chopped CosIn 分布
中間熱交換器	軸方向分割数：3 流動：1次側逆流可能
主循環ポンプ	角運動量保存則に基づき、完全特性を考慮
蒸発器	軸方向分割数：6
過熱器	軸方向分割数：3
給水ポンプ	角運動量保存則に基づく
給水過熱器	過熱、飽和、凝縮の3領域に質量保存則、エネルギー保存則を適用した集中定数系
復水器	質量保存則、エネルギー保存則を適用した集中定数系
脱気器	質量保存則、エネルギー保存則を適用した集中定数系
タービン	抽気段ごとに分割のエンタルピ落差を考慮
発電機	電気特性：直軸、横軸の2反作用成分に分割

表2 インストラクタ・オペレーション機能

No.	項目	機能概要
1	初期状態設定	「タービン起動前」、「定格出力状態」等の状態設定
2	初期状態保存	任意の運転状態を保存し、初期状態設定として使用
3	スロー/ファースト	シミュレーション時間を拡大、縮小することにより、事象把握に役立てる
4	ラン/フリーズ	シミュレーション演算の実行/停止を行う
5	バックトラック	設定した時間だけ、シミュレーション状態を戻す
6	モード状態判定	初期状態設定時に、盤上のスイッチ位置を診断表示する
7	マルファンクション	運転訓練のための模擬故障を発生させる
8	状態変更	プラントの状態を変更し、マルファンクション項目を補充する
9	スケジューリング	マルファンクション、状態変更を組み合わせた訓練カリキュラムを登録し、自動的に発生
10	リプレイ	設定した時間だけシミュレーション状態を戻すとともにそれまでのプラント状態を再現する
11	訓練記録	盤操作及びインストラクタ操作等の操作時刻等を記録し表示する
12	アナログトレンド	任意のポイントを登録することによりトレンドカーブを表示する

4.2 マルファンクション

3.1項の設計要求の考え方にに基づき約280の項目が選定されセットされている。その内訳は次のとおりである。

- 原子炉および炉心 : 31項目
- 1次冷却系 : 67項目
- 2次冷却系 : 86項目
- 水・蒸気系 : 60項目
- 蒸気タービン設備 : 6項目
- 発電機・電気設備 : 16項目
- 原子炉・タービン補助設備 : 16項目

4.3 保守ツール

実機のシーケンス変更等を反映する必要が生じた場合等を考慮してロジックモデルの構成、動特性モデルの定数値の変更などがCRT会話形式にて迅速に対応できる保守ツールが装備されている。

4.4 調光装置

シミュレータ室の天井照明電源に調光装置を設置して電源喪失時の中央制御室の照明状態が模擬できるようにしている。

4.5 その他の機能

ノミナル値ベースの水・蒸気系の起動バイパス系等について関連する系統設備の総合的な設計評価が

できる機能、実時間状態で対話的にプラントの挙動等について評価できる機能、出力40%以下の手動でのプラント起動・停止時のプラント挙動および制御性を確認できる機能等を有している。

5. 工場および現地試験

工場試験段階では主に通常運転要領書に基づき、定常時の主要プロセス値の精度および操作時のパラメータの応答とインタロックの動きの妥当性の評価が行われた。

一方、現地据付後の総合組合せ試験においては、通常運転要領書に基づき、①定常時の主要プロセス値の精度、②操作時のパラメータの応答、③インタロックの動作の妥当性の検証、また異常時運転要領書およびレファレンスコードの解析結果に基づき、④マルファンクション実行時の事象推移の検証等を中心に実施する予定で現在鋭意進められているところである。

6. おわりに

もんじゅシミュレータは、「常陽」シミュレータの経験等を十分反映し、より充実したFBR発電プラントのプラント制御性確認および実技的な運転訓練のためのシミュレータとして、その使命を果たすべく完成に向けて着々と諸作業が進められている。