

教育訓練支援システムの開発
(技術報告)

2002年10月

核燃料サイクル開発機構
敦賀本部国際技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184

Japan.

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

2002年10月

教育訓練支援システムの開発

(技術報告)

小屋越 直喜*, 佐々木 和一*

澤田 誠*

奥出 利行**, 川西 伴岳**

吉田 和生**

要 旨

「もんじゅ」シミュレータ (MARS:Monju Advanced Reactor Simulator) は、平成3年4月から運転担当者の教育訓練や運転手順書の検証等に活用されてきた。このシミュレータを用いた運転訓練を支援し、訓練を効果的に実施するために計算機を利用した種々のシステムを開発してきた。本報告書は、平成6年度から平成13年度までに開発した以下の3つの教育訓練支援システムと訓練データの分析・評価方法の検討について取りまとめたものである。

- 実時間可視化システムの改造

平成5年度に、実機では、計測点がないため確認できないパラメータや機器の内部構造をアニメーションにより可視化するシステムを開発した。それ以降、順次その教育範囲を拡大し教育訓練に利用している。

- 炉心専用ミニシミュレータの開発

炉心部の挙動を運転員に確認させ、教育効果を向上させるため、「もんじゅ」の炉心を多チャンネルのフローネットワークで詳細にモデル化した。ここで、得られた成果は「もんじゅ」シミュレータの更新・機能高度化の際に反映し、緊急事象の模擬が可能なフルスコープシミュレータを構築する予定である。

- 緊急時CAIシステムの開発

緊急事象発生時の対応操作の学習を支援するシステムのプロトタイプを開発した。

「もんじゅ」の緊急事象に対する手順書が整備された時に本システムを改造し、教育訓練に利用する計画である。

- 訓練データの収集・分析・評価方法の検討

シミュレータを用いた訓練データを収集・分析・評価し、運転員の教育訓練体系の見直しを行うべく、訓練データの分析・評価方法について検討した。検討結果に基づき、クルーコミュニケーション評価について試行した結果、その有効性を確認することができた。

*国際技術センター実技訓練グループ

**高速炉技術サービス株式会社

Oct, 2002

Development of the Supporting System of the Monju Advanced Reactor Simulator (MARS)

Naoki Koyagoshi*¹, Kazuich Sasaki*¹, Makoto Sawada*¹,
Toshiyuki Okude*², Tomotake Kawanishi*², Kazuo Yoshida*²

Abstract

The MARS has been operating for operator training and operation procedure's verification of the prototype fast breeder reactor "Monju" since April 1991. In order to carry out the above results more effectively, the MARS supporting system which consists of several computer systems has being developed. This report covers the following three supporting systems developed from 1994 to 2001 and study on evaluation method of Monju operator training data.

- Expanded Monju visual animation system

The Monju visual animation system was developed to visualize the inner structure of equipments and the parameters without measuring points. This system is used for training from 1993. And then, the training limits of the system has been extended.

- Development of the Monju min simulator for reactor core analysis

Development of the Monju min simulator which analyzes thermo-hydraulic behavior in the Monju reactor in detail is proceeding with the aims of upgrading Monju operator training effect. The obtained results will be reflected to remodeling of MARS' s reactor core analysis model.

- Development of the severe accident CAI (Computer Assisted Instruction) system

The prototype system which supports study on accident management was developed. This system will be converted when the severe accident procedure of Monju is fixed, and it will be used for training.

- Study on evaluation method of Monju operator training data

In order to reconstruct the operator training system, the evaluation method of training data was considered. The availability has been checked as a result of evaluating crew communication using this method.

*1: Operation and Maintenance Training Group in International Cooperation and Technology Development Center

*2: FBR Technical Service Co.

目 次

1. はじめに	1
2. 教育訓練支援システムの開発	1
2.1 実時間可視化システムの改造	1
2.2 炉心専用ミニシミュレータ	8
2.3 緊急時 CAI システム	13
2.4 訓練データの収集・分析・評価	18
3. おわりに	20
4. 参考文献	21
添付－1 訓練データ収集装置	22

表 目 次

表-1	教育訓練支援システム整備工程	23
表-2	実時間可視化システム開発概要	24
表-3	タービン制御系各画面の機能	25
表-4	実機データの変換表	26
表-5	ソフトウェアの改造内容	30
表-6	プラント状態判断ロジック例	32
表-7	コミュニケーション評価チャートシンボル	33

図 目 次

図-1	教育訓練支援システムの役割	34
図-2	教育訓練支援システム構成図	35
図-3	実時間可視化システム画面構成	36
図-4	プラント全体監視	37
図-5	炉容器状態表示	37
図-6	炉心状態表示	38
図-7	炉心水平断面表示	38
図-8	蒸発器／過熱期状態表示	39
図-9	制御棒位置表示	39
図-10	制御棒駆動機構(FCRD)	40
図-11	制御棒駆動機構(CCRD)	40
図-12	制御棒駆動機構(BCRD)	41
図-13	タービン制御弁	41
図-14	蒸気加減弁(CV) 駆動装置	42
図-15	蒸気加減弁(CV) A弁	42
図-16	タービンバイパス弁(BPV) A弁	43
図-17	主蒸気止弁(MSV) A弁	43
図-18	主蒸気止弁(MSV) B弁	44

図-19	タービン制御系	44
図-20	非常トリップ装置	45
図-21	スラスト軸受摩耗検出装置	45
図-22	マスタトリップ電磁弁	46
図-23	過速度トリップ装置	46
図-24	1次主冷却系循環ポンプ	47
図-25	起動バイパス系全体構成	47
図-26	給水調節弁	48
図-27	過熱器バイパス弁／入口バイパス弁	48
図-28	ダンプ蒸気温度調節弁	49
図-29	気水分離器ドレン弁	49
図-30	起動用給水調節弁	50
図-31	フラッシュタンク圧力調節弁	50
図-32	フラッシュタンク水位調節弁	51
図-33	フラッシュタンクドレン回収調節弁	51
図-34	プラント低温停止状態から定格運転状態までの比較	52
図-35	流量の可視化	53
図-36	画面表示機能参考例	54
図-37	炉心専用ミニシミュレータ「炉心監視画面」	55
図-38	炉心モデルの解析モデル図	56
図-39	モデル図（炉心）	57
図-40	炉心燃料の軸方向分割モデル	58
図-41	全体構成画面	59
図-42	反応度制御機能喪失画面	59
図-43	崩壊熱除去機能喪失画面	60
図-44	液位確保失敗（その1）画面	60
図-45	液位確保失敗（その2）画面	61
図-46	液位確保失敗（その3）画面	61
図-47	個別操作フローの画面レイアウト	62
図-48	コミュニケーション評価チャート	63
図-49	コミュニケーション・トポグラフィックマップ	64

1. はじめに

高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という）のシミュレータ「MARS : Monju Advanced Reactor Simulator」は、平成3年4月から運転員の教育訓練や運転手順書の検証等に活用されてきた。このうち運転員に対する教育訓練における教育効果の一層の向上と、プラントのより深い理解から得られる安全運転技術の向上を目的として種々の教育訓練を支援するシステムの整備・活用を行ってきた。また、シミュレータ訓練時のデータを収集・分析し、教育訓練体系にその結果を反映することを目的としてデータ分析手法の検討も行ってきた。本報告書は、教育効果向上のために開発してきた各種システム・手法等について報告するものである。

2. 教育訓練支援システムの開発

「もんじゅ」の運転員は、出向者が半数程度を占めており、その出向期間はほとんどが3年間である。出向者は、母体の原子力発電所（PWR: Pressurized Water Reactor, BWR: Boiling Water Reactor等）において、長期間にわたる運転経験を有している場合が多いことから、「もんじゅ」特有の設備の構造や運転方法を効率的に理解できれば、「もんじゅ」の運転技術を短期間で習得することが可能である。そこで、シミュレータ訓練の理解度向上に寄与するために種々の教育訓練支援システムを開発し運用してきた。

これまでに教育訓練支援システムとして、シミュレータでの現場模擬操作時に、実際の現場や操作端（バルブやスイッチ、指示計等）の写真を自動的に表示する「現場操作支援システム」、訓練上重要又は有効な箇所をアニメーションにてシースルー表示する「実時間可視化システム」、炉心挙動を精度良くシミュレーションする「炉心専用ミニシミュレータ」等を開発してきた。図-1に教育訓練支援システムの役割を主要なシステムを例にして示す。これら教育訓練支援システムは、シミュレータとオンラインで接続され、シミュレータ訓練時に利用されている。表-1に教育訓練支援システムの整備工程を、図-2に現在の教育訓練支援システムのシステム構成図を示す。また、以下に開発した各システムの開発経緯・改造履歴及び機能等について示す。

2.1 実時間可視化システムの改造

運転員に対する教育訓練を行う上で、燃料被覆管や燃料の最高温度、炉心バイパス流量、蒸気発生器内での水の相変化など、実プラントにおいて計測点が無いパラメータや制御棒駆動機構のように図面だけではその動作を理解させることが難しい構造が複雑な機器等について説明が困難な場面が多くあった。

そこで、これらの分かりにくい箇所を、簡易計算やアニメーションにより表現し、動作・機能を分かりやすくするため、パラメータ・機器構造・制御系をCRT上で確認できるシステムを開発した。また、シミュレータとリンクしているため、シミュレータ訓練時に操作とパラメータの変化、及び機器の動きを関連付けて習得でき、訓練の理解度を向上させることができる。

本システムは、平成5年度に基本設計・基本システムの構築を行い、平成6年度以降、徐々に機能向上・可視化範囲の拡大を行ってきた。以下にその内容について示す。また、表-2に年度毎の作業概要一覧、図-3に現在の本システムを構成する画面の階層別全体構成、

図-4 から図-33 に本システムの各画面を示す。

(1) ハードウェア改造

① システムの高速化（平成 6 年度）

本システムを開発した当初は、現場操作支援システム（シミュレータ訓練時に現場模擬操作を支援することを目的として開発したシステムで、平成 5 年から運用している。模擬操作対象の系統図・写真・模擬操作対象までの経路の表示等を行うシステムである。）とハードウェアを共有しており、訓練の際に、システムを切り替えて使用していた。しかしながら、実時間可視化システムは現場操作支援システムに比べ計算機負荷が大きく、当初予定していた速度で画面を動作させることができなかつたことから、実時間可視化システム用に処理速度の速い EWS (Engineering Work Station) を新たに導入し、ソフトウェアを移植した。

また、このシステムの各画面を机上教育に利用したいとの意見があつたため、カラーハードコピーを増設した。

② 伝送方式の変更（平成 9 年度）

本システムを動作させるための信号は、シミュレータ計算機から伝送されており、システム運用開始当初は、モデムを介した RS232C 方式 2 回線により行ってきた。しかしながら、可視化システムの画面追加や他のシステムの開発に伴い、伝送点数が増加し、伝送可能点数の最大値に到達した。これを解決するために伝送方式を「LAN」に変更した。

(2) ソフトウェア改造

① システム基本機能の強化（平成 6 年度）

(i) カラーマップレンジ変更機能及びトレンド機能追加

本システムでは、温度をアニメーションで表示するため、温度毎に色を割り当てたカラーマップを用いる。このカラーマップは、ナトリウム温度については 400°C から 700°C を 8 分割、燃料温度は 400°C から 2400°C を 10 分割、水・蒸気温度は 0°C から 500°C を 5 分割にて表示しており、運用当初は固定としていた。しかしながら、プラント起動・停止時のように各部の温度差が小さい場合は、このカラーマップでは、温度分布を表現することはできない。このため、カラーマップの温度レンジを任意に変更できるよう改造した。

また、各種パラメータの変化をこのシステムにて確認できるようトレンド表示機能を追加した。

(ii) 画面表示機能

各画面から機器の運転状態、弁の開閉状態等を読みとることができるように以下の改造を行った。

(a) 「プラント全体監視画面」

プラント全体監視画面内に表示される各機器、弁等を状態に応じて表示すると共に冷却材の流動や水・蒸気系統の通水状態を表示できるよう以下の改造を行った。図-34にプラント低温停止状態から定格運転状態までの主なポイントの画面を比較して示す。

- 1次・2次主循環ポンプの主モータ及びポニーモータ、補助冷却系(ACS : Auxiliary Cooling System)送風機、タービン、循環水ポンプ及び給水ポンプのシンボルを起動時は「赤」、停止時は「青」表示とする。
 - 発電機は、併入前は「青」、併入後は「赤」表示とする。
 - SG入口止め弁・出口止め弁は開を「赤」、閉を「青」で表示する。
 - タービンの回転速度を3段階(停止、ターニング、起動状態)表示とする。
 - 1次・2次主循環ポンプの主モータ運転時とポニーモータ運転時のナトリウム流速の表示を配管内の縞模様の動作速度を変化させることにより区別する。また、ACSについても同様に、起動時は速く、停止時は遅く表示する。
 - 水・蒸気系は、低温停止状態からプラントを起動して行くに従って、水・蒸気の流れるラインが変化する。これを本システムの全体監視画面にて、できるだけ表現するため、運転状態に応じて次の5パターン表示とする。
 - ・給水なし(水・蒸気系配管内白抜き)
 - ・復水器から蒸発器入口までの流動表示
 - ・復水器から過熱器入口までと過熱器出口からタービン入口までの流動表示
 - ・復水器から過熱器入口までと過熱器からタービンまでの流動表示
 - ・水・蒸気系全ての流動表示
 - 循環水ポンプ停止時は循環水系統を白抜きとする。
- (b) 「炉容器状態表示画面」及び「炉心状態表示画面」
- これらの画面では、ナトリウムの流れを矢印(→)で表示している。ナトリウム流量30%をしきい値として、この矢印の数を変化させることで1次主循環ポンプのポニーモータ運転時と主モータ運転時の流量確認を可能とした。図-35に運転状態による表示の違いを示す。
- (c) 「蒸発器／過熱器状態表示画面」
- ポンプ停止時の蒸発器／過熱器のナトリウム液位変動を簡易的に模擬するために、画面内の液位をシミュレータからの伝送信号により可変表示とした。

② 画面の追加(平成6年度～11年度)

- (1) 「制御棒位置表示画面」(平成6年度)
- 制御棒の炉心に対する挿入・引抜き状態を直感的に理解できるように、炉心と制御棒の相対位置を示す画面(図-9参照)を追加した。
- (2) 「制御棒駆動機構状態表示画面」(平成6年度)
- 「もんじゅ」の制御棒駆動機構(以下CRDM:Control Rod Drive Mechanism)は、微調整棒(FCR:Fine Control Rod)、粗調整棒(CCR:Coarse Control Rod),

後備炉停止棒(BCR:Back up Control Rod)の3種類から成り、その構造がそれぞれ異なる上に複雑でもある。また、運転操作手順も各CRDMにより異なっており、手順書を一読した程度で理解することは困難である。このため、各部の動作を確認しながら、運転操作訓練が行えるようCRDMを可視化範囲に加えた(図-10～図-12参照)。

これらの画面では、各部を詳細に確認できるよう「2倍表示」選択機能を設けており、これにより対象部分を2倍に拡大して表示させることができる。また、機器名称の表示・非表示の選択も可能である。なお、CRDMは長尺であるため、縦方向に短縮して表現している。

更に、この画面は、シミュレータと連動して動作する「オンラインモード」と、画面上のボタン操作により引抜き・挿入、ラッチ・デラッチ操作及びトリップ動作の確認を行う「オフラインモード」を選択することができる。

(八) 「EHC(電気信号)及びタービン廻りの各種制御弁」(平成7年度)

主タービンEHC(Electro-Hydraulic Control:電気油圧式制御装置)の電気信号及びタービン廻りの各種制御弁を追加した。

ここで追加した画面も、前年度製作した「制御棒駆動機構状態表示画面」と同様に「オンラインモード」と「オフラインモード」を有しており、前者の場合にはシミュレータからの伝送信号により、後者の場合には、画面上のボタン操作又は設定値を入力することにより制御状態あるいは弁の動作を確認することができる。図-13～19に製作した各画面を示す。

(九) 「EHC(制御油系統)」(平成8年度)

主タービンの制御油系統を追加した。追加したのは、「過速度トリップ装置」、「マスタトリップ電磁弁」等の非常トリップ装置で、全体表示画面を含み計5画面を追加した。各画面の機能を表-3に、各画面を図-20～23示す。

また、主蒸気止弁(MSV:Main steam Stop Valve)とタービンバイパス弁(BPV:Bypass Valve)の駆動装置(サーボ弁、急速作動電磁弁等)を前年度作成した画面に追加し、その動作原理を示すとともに、蒸気加減弁(CV:Control Valve)の画面には「蒸気加減弁流量曲線」を追加して、カム角度と蒸気流量の関係を表示可能とした。

(十) 「1次主冷却系循環ポンプオーバランニングクラッチ」(平成9年度)

1次主冷却系循環ポンプの「オーバランニングクラッチ」を追加した。これは、ポンニーモータ又はターニング装置の駆動力を主モータに伝達するものであるが、この動作を画面のみから理解することは困難である。このため、図-24に示す画面を製作した。この画面の他と同様に「オンラインモード」と「オフラインモード」を有しており、「オフラインモード」では、ポンニーモータの起動・停止、主モータの起動、主モータトリップ時の内輪と外輪の動き、スプラグの動き等を監視することができる。

(十一) 起動バイパス制御系

「もんじゅ」の制御系のうち、構成や制御方法が複雑な起動バイパス制御系をアニメーションにより可視化表示し、シミュレータ訓練と組み合わせた教育訓練を実施した。製作した制御系は以下の通りである。

- (a) 給水調節弁制御系（図-26）
- (b) 過熱器バイパス弁制御系（図-27）
- (c) 過熱器入口バイパス調節弁制御系（図-27）
- (d) ダンプ蒸気温度調節弁制御系（図-28）
- (e) 気水分離器 ドレン弁制御系（図-29）
- (f) 起動用給水調節弁制御回路（図-30）
- (g) フラッシュタンク圧力調節弁制御系（図-31）
- (h) フラッシュタンク水位調節弁制御系（図-32）
- (i) フラッシュタンクドレン回収調節弁制御系（図-33）

制御系の可視化に当たって、制御系の状態（信号の流れ、制御モード等）を理解しやすくするため各画面に以下の表示機能を持たせた。図-36に参考例を示す。

- (a) 各パラメータを制御ブロック図内に表示する。
- (b) 制御回路の制御ラインは制御状態における電気信号の入力の流れを示すため、信号選択時には赤、非選択時には青で表示する。
- (c) 関数発生器を内包している制御回路は、その内容を図示する。また、制御系が関数により出力変換されている場合、関数と現在の制御値が関数上どこにあるか表示する。
- (d) 制御信号の値は、適切な個所においてデジタル表示する。<PI 演算子出力、関数発生器出力、加算回路出力、切替スイッチ出力等>
- (e) 水・蒸気系自動化盤から制御される「LC モード」時に、計算機から操作端に対して「SCC 信号」、「DDC 信号」が出力される。これらの信号を画面内に表示する。
- (f) 蒸発器・過熱器・脱気器、気水分離器、フラッシュタンクにかかるプラント運転状態のうち、制御系が使用するものについてはセンサを表記するとともに、水・蒸気系系統に制御端（弁）取り付け位置がわかるような配置とする。画面に使用するセンサは F (流量), T (温度), P (圧力), L (液位) を使用する。
- (g) 切替部にはモード切替ボックスを設け、制御モード及びインターロック条件からの切替モードが判別可能ないように、切替ラインに対応したアルファベット及び名称の色変えを行う。
- (h) 切替条件のうちインターロック条件は簡易なものについてはパネルに記載し、アンドオアで構成されるものはその条件を解説として画面内に記載する。解説部の色変えは実施しない。
- (i) 「オンライン」・「オフライン」の切替ボタンを設けると共に、「オフライン」

用に SV (Set Value) の「増」・「減」ボタンを設ける。

- (j) A, B, C の 3 ループそれぞれに設けられた操作端については操作パネルにループ切替スイッチを設ける。

(3) 中央制御室への設置

「実時間可視化システム」を中央制御室に設置し、直内の勉強会やプラント状態監視に利用するため、ソフトウェア改造及び機能追加を行った。また、本システム専用に 24 時間連続運転対応の EWS を新たに購入した。この EWS には、後述するプラントのデータ収集及びトレンド表示機能を付加するため、当時では大容量(8.4GB)の HD (hard disk) を追設した。本システムは平成 7 年始めに中央制御室に設置し、性能試験時のプラント状態の表示や運転員の勉強会に活用されたが、平成 11 年度に他の教育訓練支援システムの開発用ハードウェアとして利用するために一旦シミュレータ計算機室に戻した。実プラントの再起動の際には、中央制御室に再度設置する予定である。

以下に、本作業の経緯について示す。

① 実プラントデータオフライン処理機能の追加（平成 6 年度）

本システムの中央設置に向けて、実プラントデータにより本システムを動作させるべく、もんじゅプロセスデータサーバー MIDAS (Monju Integrated Data Acquisition and Server)とのオンライン化を計画したが、MIDAS のハードウェア上の制限（接続台数の制限）により MIDAS 側の改造が必要となった。そこで、当面はオフラインでシステムを動作させるために、オフライン処理機能を追加した。

システムへの実プラントデータの入力は、3.5 インチ FD (1.44MB DOS フォーマット) により行い、データ形式は CSV 形式とした。実プラントデータは先の MIDAS から切り出すことにしたが、システムの動作に必要なデータが MIDAS に無いものについては、固定データとして扱うこととした（本システムのデータ編集機能により設定する）。更に、単位が異なるパラメータについてはシステム内で変換処理を行い表示している。表-4 にシステムに入力するデータの変換表を示す。なお、表内の実プラント信号欄が空白の信号は、MIDAS に入力のない信号であることを示しており、これらについては固定データとして扱っている。また、変換係数が指定されている信号は、単位変換を行うものである。

本機能を付加したことにより、実プラントの系統昇温時の温度上昇をビジュアル表示できた他、「もんじゅ建設所」の所内 LAN に接続できない場所、例えば所外での展示会等においても、実プラントデータにより本システムを動作させることができた。

② ソフトウェアの改造（平成 7 年度）

「実時間可視化システム」を中央制御室へ設置するには、実プラントの信号をシステムに入力する必要がある。当時、LAN を介してプラント信号を収集できるシステムは MIDAS のみであった。前項に示した通り、計画当初は MIDAS 側のハードウェア制限により、接続できなかったが、平成 7 年度から接続可能となった。このため、MIDAS

ア制限により、接続できなかったが、平成7年度から接続可能となった。このため、MIDASからの信号を本システムに入力することとしたが、本システムをシミュレータと接続された状態と同じように動作させるには信号が不足しており、また、信号を追加する予算・工期もなかった。このため、「実時間可視化システム」のソフトウェアを一部改造することとした。不足している信号を補完するため、他の信号との組合せにより状態の判別が可能なデジタル信号については「ロジック処理」を追加し、他パラメータから簡易計算により求められるアナログ信号については「内部計算処理」を追加した。これら両方の処理方法によっても代替できない信号については「手動設定機能」により信号を固定した。ただし、「制御棒駆動機構状態表示画面」のように、動作に必要な信号のほとんどがMIDASから伝送することができない画面については「オンライン」による動作機能は削除することとした。表-5にソフトウェアの改造内容を示す。

また、中央制御室に設置した本システムを、既存のシステムと区別するために、その名称を「プラント状態監視システム」とした。

③ 機能追加（平成7年度）

「プラント状態監視システム」の中央制御室設置にあたって、運転班に意見を聞いたところ、「このシステムは1画面内の情報量が少なく運転監視には利用できない。中央制御室に設置するのであれば、運転に役立つ機能を付加して欲しい。」との回答を得た。そこで、このシステムに付加すべき機能について調査したところ、「運転班はⅢ直時の比較的作業の少ない時間を利用して技術報告書や各種資料の作成を行うが、これに必要な実プラントの過去のパラメータを中央制御室で参照することができない。管理グループ（現在の管理チーム）に依頼して大型計算機からデータを切り出してもらう必要があるため、これを中央制御室で運転員自らが行える機能が欲しい。」との意見が出された。このため、管理グループに依頼することなく、運転員自らが中央制御室で過去のパラメータを参照できるように、プラントパラメータを収集・記録する「プラントデータ収録機能」と、パラメータをトレンドグラフとして表示する「トレンドグラフ表示機能」の2つを本システムに追加した。

以下にそれぞれの概要を示す。

(イ) プラントデータ収集機能

この機能は、プラントデータをMIDASから1秒周期で収集し、ハードディスクに蓄積する。このハードディスクは、1秒周期データを約1週間分蓄積できる容量を有しており、これを越えた場合は古いデータから消去しサイクリックに蓄積する。

ハードディスクに蓄積したプラントデータはDAT(Digital audio taperecorder)に吸い上げて保存し、必要に応じてシステムのハードディスクに復元することにより、トレンド表示が可能である。また、このデータをCSV形式のファイルに変換することも可能であることから、LANを介して個々人のパソコンから、このファイルを吸い上げれば、通常使用しているPCのアプリケーションソフトでデータの

編集を行うことができる。ただし、ハードディスクの容量から作成する CSV ファイルの大きさは 2 GB 未満（1 秒周期のデータで約 3.5 日分）に制限される。

(d) トレンドグラフ表示機能

トレンドグラフ表示機能は収集中のプラントデータをリアルタイムで表示する「リアルタイムトレンドグラフ表示機能」と過去に収集したプラントデータをハードディスク又は DAT から呼び出して表示する「履歴トレンドグラフ表示機能」の二つから構成される。前者は、1 画面内に 6 点表示のトレンドグラフ 2 枚を表示することができる。一方後者は、プラント監視を目的としていないことから 1 画面に 1 枚のみの仕様とした。

2.2 炉心専用ミニシミュレータ

軽水炉に於いては、緊急時運転手順書が既に整備され、シミュレータを用いた訓練も計画的に実施されている。「もんじゅ」でも安全総点検で緊急時運転手順書の整備が要求されており、運転再開までに完了する計画としている。このため、将来において、この手順書を用いた訓練が求められることは必至であるが、現状のシミュレータのままでは緊急事象を模擬することはできない。よって、緊急時の訓練を行う上で最も重要となる炉心部の挙動を専用に模擬する炉心専用ミニシミュレータ（以下ミニシミュレータという）を開発することとした。

ミニシミュレータは「もんじゅ」の炉心を多チャンネルで模擬し、炉心部の挙動を詳細に計算する一方、その計算結果である燃料、被覆管、冷却材の変化を炉心監視画面（図-37）により運転員に対して分かりやすく提供するシステムである。また、これらの計算結果を前述の「実時間可視化システム」や 2.3 項に示す緊急時 CAI (Computer Assisted Instruction) システムで利用可能なように、各システムを LAN に接続した。以下に開発内容を示す。

(1) システム設計

ミニシミュレータの開発には平成 9 年度に着手した。初年度は、ミニシミュレータの詳細設計として、「もんじゅ」の炉心を多チャンネルのフローネットワークで詳細にモデル化した。モデル化に当たって核動特性は、エネルギー 1 群、遅発中性子 6 群の一点近似による核動特性方程式により求めている。炉心部熱特性は、炉心部を、内側炉心 6 チャンネル（ノミナルホットチャンネルを含む）、外側炉心 3 チャンネル、ブランケット 3 チャンネル、バイパス（反射体、制御棒を含む）の合計 13 チャンネル構成とした。図-38 に解析モデル図を、図-39 にこの解析モデルをノードとジャンクションによるネットワークとして示したモデル図を参考に示す。また、燃料ピンは、図-40 に示す通り軸方向に 16 分割し、径方向はペレット 6 分割、被覆管・ダクトウォール 8 分割としている。

この動特性モデルの模擬性能を評価するために、設置許可申請書添付書類第十記載事象「出力運転時の制御棒急速引抜き」及び緊急事象である「反応度抑制機能喪失事象：ATWS (Anticipated Transient without Scram)」、「崩壊熱除去系の機能喪失：LOHRS

(Loss of Heat Removal System)」の3事象についてシミュレーションを実施した。「出力運転時の制御棒急速引抜き事故」を設置許可申請書の解析結果と比較したところ、全反応度、燃料温度、炉心流量等の動特性は解析結果とほぼ同様の挙動を示すことが確認できた。緊急事象については、リファレンスが不明であったため挙動確認のみとし、評価は行っていない。

また、動特性モデルの実時間模擬の実現性を評価するため、既設のEWS (CPU動作速度167MHz) を用いて走行時間を測定した。解析の際のタイムメッシュを50msec.としたところ、以下の結果が得られた。

事象	シミュレーション時間(秒)	CPU時間(秒)
ATWS	100	131
制御棒急速引き抜き	100	124
LOHRS	20,000	11,537

ATWS、制御棒急速引き抜きのケースでは実時間の約1.3倍の計算時間を要しているが、LOHRSでは、約半分の計算時間である。これは、大きな過渡状態の計算においては各計算ステップ毎の収束計算回数が大きくなるためである。LOHRSの結果に示すように静定状態では、実時間よりも早い計算が可能である。使用した動特性モデルの初期データ読み込みや初期化ルーチン等のオーバヘッドがあることや、平成9年度時点の最新EWSのCPU動作速度が300MHz以上となっていたことから、ミニシミュレータとして必要な条件である実時間計算は十分実現できることが確認できた。

(2) 基本システム構築

ミニシミュレータは、「動特性計算」を担当するEWSと「画面表示」を担当するPCから構成される。また機能拡充の際に、シミュレータ計算機からの境界条件に基づきミニシミュレータにてシミュレーションができるよう、シミュレータ用LANに接続した。

「動特性モデル」は、システム設計の際にモデル化したものを使用し、これにシミュレーション実行管理機能（計算の実行・停止を行うラン／フリーズ機能やシミュレーションに必要な条件設定を行う初期値設定管理機能等）を追加した。初期値設定管理機能により設定可能な事象は次の6事象とした。

- 原子炉スクラム
- 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
- 1次主循環ポンプ軸固着事故
- 異常時のスクラム失敗(ATWS) (制御棒全数挿入失敗)
- 異常時のスクラム失敗(ATWS) (BCR 2本のみ挿入成功)
- 異常時のスクラム失敗(ATWS) (BCR 4本のみ挿入成功)

この他「炉心データ変更機能」により、反応度係数(ドップラー、燃料軸方向膨張率、被覆管膨張反応度、ラッパ管膨張反応度、冷却材ボイド反応度、燃料下部支持板膨張反応度)を変更可能とした。これにより反応度変化による炉心挙動の確認・学習が可能に

なった。シミュレーション結果は、「炉心監視画面」(図-37)に表示される。画面の更新周期は最速1秒とし、EWSの計算負荷に応じて任意に変更可能とした。

これらの機能を用いて原子炉スクラムやATWS等の事象を繰り返し発生させ、シミュレータとしての基本機能及び監視画面の認知性について確認した。

(3) 機能拡充

ミニシミュレータを2.3項に記載する「緊急時CAIシステム」のシミュレーション部として利用するために模擬範囲を拡大した。対象とした事象は「反応度制御機能喪失」及び「崩壊熱除去機能喪失」の2事象であり、これらの回復操作を含めてシミュレーションするために必要な以下の故障模擬機能・操作を追加した。

系 統	故障模擬・操作
原子炉制御系	制御棒全数挿入失敗
	BCR 2本のみ挿入成功
	BCR 4本のみ挿入成功
1次主冷却系	1次主循環ポンプA ポニーモータ起動失敗
	1次主循環ポンプB ポニーモータ起動失敗
	1次主循環ポンプC ポニーモータ起動失敗
2次主冷却系	2次主循環ポンプA ポニーモータ起動失敗
	2次主循環ポンプB ポニーモータ起動失敗
	2次主循環ポンプC ポニーモータ起動失敗
補助冷却系	A ACS A/C 起動失敗
	B ACS A/C 起動失敗
	C ACS A/C 起動失敗
	A ACS 出口止め弁開失敗
	B ACS 出口止め弁開失敗
	C ACS 出口止め弁開失敗
メンテナンス冷却系	一括起動／停止
所内電源系	外部電源喪失（送電線2回線故障）・復電
	1A D/G 起動失敗
	1B D/G 起動失敗
	1C D/G 起動失敗

また、故障模擬機能の追加に伴い、初期値設定管理機能により設定可能な事象を見直し以下の4ケースとした。

- 原子炉スクラム
- 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
- 1次主循環ポンプ軸固着
- 崩壊熱除去機能喪失

これらの初期値と前述の故障模擬（複数同時実行可能）を組み合わせることにより

種々のシミュレーションが可能となった。なお、「崩壊熱除去機能喪失」を初期値とした場合には自動的に「A, B, C ACS A/C 起動失敗」が設定される。これらにより、「緊急時 CAI システム」を、このミニシミュレータとリンクすることで、緊急事象発生から回復操作を含めた事象収束まで、シミュレーションできるようになった。

更に、シミュレータでの故障模擬の際に、精度良く炉心のパラメータ変化等を観察するため、シミュレータの計算結果を境界条件として再計算する機能を追加した。シミュレータと LAN で接続し、シミュレータからの伝送信号を境界条件としてミニシミュレータで炉内の各パラメータ計算を行うもので、次表が境界条件となる伝送データである。

No.	データ名称	単位	No.	データ名称	単位
1	A 原子炉入口 Na 温度	°C	15	CCR3 位置	mm
2	B 原子炉入口 Na 温度	°C	16	CCR4 位置	mm
3	C 原子炉入口 Na 温度	°C	17	CCR5 位置	mm
4	A 1 次主冷却系 Na 流量	m³/h	18	CCR6 位置	mm
5	B 1 次主冷却系 Na 流量	m³/h	19	CCR7 位置	mm
6	C 1 次主冷却系 Na 流量	m³/h	20	CCR8 位置	mm
7	A 原子炉出口 Na 温度	°C	21	CCR9 位置	mm
8	B 原子炉出口 Na 温度	°C	22	CCR10 位置	mm
9	C 原子炉出口 Na 温度	°C	23	BCR1 位置	mm
10	FCR1 位置	mm	24	BCR2 位置	mm
11	FCR2 位置	mm	25	BCR3 位置	mm
12	FCR3 位置	mm	26	BCR4 位置	mm
13	CCR1 位置	mm	27	BCR5 位置	mm
14	CCR2 位置	mm	28	BCR6 位置	mm

また、HMI (Human-machine Interface) 面では、シミュレーション結果を運転員に対して理解しやすく提供するため、「炉心監視画面」の機能を強化し、炉心の水平断面の位置を最上部、中間部、最下部及び最高被覆管温度部の 4箇所から選択可能とした。なお、表示する温度は、「燃料中心温度」、「被覆管温度」、「冷却材温度」を切り替えて表示することができる。

この他、ミニシミュレータによる計算結果を、「実時間可視化システム」や「緊急時 CAI システム」に入力し、これらシステムが利用している炉内のパラメータ精度向上させる計画で開発を進めてきた。このため、これを実現するために利用している各 EWS や PC の役割分担を以下のように変更した。システム構成は図-2 に示した通りである。なお、「実時間可視化システム」や「緊急時 CAI システム」において、入力データを切り替えることにより、シミュレータ又はミニシミュレータのどちらの計算結果を利用するかを選択することができる。

No.	システム名称	変更前計算機	変更後計算機
1	炉心専用ミニシミュレータ（計算部）	AS4085 ^{*5}	AS5000 ^{*9}
2	炉心専用ミニシミュレータ（画面表示・操作部）	汎用 CAI サーバー ^{*6}	現場模擬用 PC
3	実時間可視化システム	AS4085	AS4085
4	緊急時 CAI システム	AS4085	AS4075
5	現場操作支援システム ^{*1}	AS4075 ^{*7}	AS4075
6	ナトリウム漏えい現場確認機能 ^{*2}	AS4075	AS4075
7	データサンプリング機能 ^{*3}	AS4075	AS5000
8	ヴァーチャル盤 ^{*4}	現場模擬用 PC ^{*8}	現場模擬用 PC

- * 1 シミュレータの現場模擬盤からの模擬操作を支援するために実プラントの現場の写真や系統図を表示するシステム。
- * 2 2次系ナトリウム漏えい模擬訓練時に現場担当運転員が現場の状況を自ら確認して中央制御室担当運転員に報告するために、ナトリウム漏えい規模に応じた（3段階）白煙等を動画にて表示する機能。
- * 3 シミュレータからのデータを蓄積し CSV 型式のデータとしてファイル出力する機能。
- * 4 実プラントの現場盤をパソコン上に十分な臨場感をもって構築したもの。ナトリウム漏えい監視盤、中央制御室裏盤のうち水・蒸気系補助盤を操作可能である。
- * 5 ・ * 7 ・ * 9 東芝製の EWS。
- * 6 技術的な基礎知識を習得するための CAI 用サーバー。
- * 8 Windows NT の汎用パソコン。

2.3 緊急時 CAI システム

前項に述べた通り、軽水炉に於いては、緊急時運転手順書が既に整備され、シミュレータを用いた訓練も実施されている。「もんじゅ」の同手順書は、現在整備中であり、運転再開までに作業を完了させる計画である。将来的には、この手順書を用いたシミュレータ訓練を必ず実施しなければならないことから、シミュレータ訓練の効果向上及び手順書の十分な理解を目標として、緊急時 CAI システムを開発した。ただし、手順書が整備中であることから、この手順書整備のベースとなった安全研究（社内）「もんじゅ」の緊急時運転手順書（EOP）の整備のための研究（研究期間：平成 3 年度～平成 7 年度）により得られた成果（以下、特記のない限り「緊急時運転手順書」とは、本研究成果のことを指す。）に基づきシステム化を行った。

緊急時 CAI システムは、シミュレータを用いた緊急事象の運転訓練時に、事象進展や最も優先すべき操作手順等の情報を運転員に提供するもので、「もんじゅ」の「反応度制御機能喪失」、「崩壊熱除去機能喪失」、「液位確保失敗」事象を対象としている。

本システムの主な機能は以下の通りである。

(1) プラント状態判断機能

シミュレータからのオンライン信号によりプラント状態を判断し、次項に示す操作フロー要素の色替えを要求する機能である。

ロジック判断を主体としているが、パラメータの変化率や挙動評価には数値計算を用いている。これにより、プラント状態及び事象の進展を監視し、運転員が実施すべき運転操作・運転員による判断の手動入力等を操作フロー要素の色替えにて表示する。

ロジック判断部分は、「プラント状態判断ロジック」及び「操作フロー進展判断ロジック」からなる。「プラント状態判断ロジック」は、シミュレーション信号をオンラインで入力し種々の状態を判断しているもので、表-6 に本ロジック例を示す。

一方、「操作フロー進展判断ロジック」は、各操作フロー要素に対して、3種類の判断ロジックと1つの集約ロジックから構成される。前者は、上述の「プラント状態判断ロジック」の判断結果と操作フロー要素の接続状況を考慮して、該当する操作フロー要素が、「導入」・「最新」・「未完了」のどの状態にあるのかを判断する。

判断ロジックにて判断する状態はそれぞれ以下の通りである。

① 導 入

操作フローに各要素に対し、操作要求及び監視あるいは状態把握要求が発生した状態を示す。これはプラント状態判断ロジックの結果と操作フローの接続状態を考慮して判断する。一度「導入」と判断された結果は過去の軌跡を操作フロー上に表示するために保持する。

② 最 新

操作フローの流れから、その時導入された要素が最下流に位置する場合、当該要素を「最新」と判断する。

③ 未 完了

導入された要素が、何らかの操作を要求するものであるにも係わらず、この操作が

完了する前にシミュレーション状態が操作フロー上の先のステップに進展した場合、この要素を「未完了」と判断する。

また、集約ロジックでは、これら3種類の判断ロジックの結果を基に、操作フロー要素毎に「未導入」、「最新」、「未完了」、「過去」の4種類を判定する。例えば、「未導入」の判断は、3種類の判断ロジック（導入・最新・未完了）が全て未成立の場合に行われ、「最新」は導入と最新の判断ロジックが成立した時に判断される。「未完了」は導入と未完了の判断ロジックが成立した場合であり、「過去」は導入の判断ロジックのみが成立している場合に判断される。この集約ロジックの判定結果により、操作フロー要素の色替えを行う。

(2) 運転手順表示

「もんじゅ」の緊急時運転手順書は、操作フローと手順を記述したテキスト情報から構成されている。本システムでは、緊急時運転手順書の全体的な繋がりを示す「全体表示画面」と事象毎の操作フローを示した「個別操作フロー」画面のそれぞれを1画面に収め、運転員に対して情報を提供する。

この画面製作に当たっては以下を考慮した。

- 操作手順の基本的な流れを変えない。
- 操作フロー要素の記述は簡素化する。
- 導入条件が複数ある場合は個別化する。
- 操作フロー要素中の操作手順の記述はテキスト情報とする。
- 個別操作で目的別にまとめられているものは一つの要素とする。
- 各要素の視認性を考慮した大きさを確保する。
- 視認性の高い表示とするため各画面内の操作フロー要素は20個程度とする。
- YES/NO判定では、YESを垂直方向に配置する。

システム起動時には「全体構成画面」が表示されており、予め定めた条件（以下、導入条件という）が成立すると、該当する「個別操作フロー画面」に展開する。運転員への運転操作や手動入力等の要求及び事象の進展は、前述の「プラント状態判断機能」からの命令に従って、操作フロー要素を色替えして表示する。表示する要素の色は以下の通りである。

- ・操作・監視条件が未成立の要素 :薄緑色
- ・過去に操作・監視条件が成立した要素 :緑色
- ・操作・監視条件が成立中の要素 :赤色
- ・過去に監視条件が成立した要素のうち継続監視が必要な要素 :青色
- ・過去に操作・監視条件が成立した要素のうち操作・監視が未完了の要素 :桃色

通常のフローチャートでは各要素に設定されている条件を全て満たさなくては次のステップへ進展することができない。このため、本システムのように運転手順を操作フ

ローで表現した場合、この進展方法では実際のプラント状態と操作フローの進展に差が生じる可能性がある。これを解決するために本システムでは操作フローの進展判断機能に「未完了」(桃色)の判断機能を設けた。この「未完了」の判断を行うことにより操作フローの進展が停止することなく、シミュレーション状態に沿ったフロー表示が可能となる。例えば、図-44の「液位確保失敗」の個別操作フローにおいて「漏洩ループポニーモータ及びACS停止」操作前に「R/V Na 液位 \leq EsL」が成立し、かつ「1次系オーバフロー系手動起動」操作を行ったとすると、「漏洩ループポニーモータ及びACS停止」操作フロー要素は「未完了」(桃色)の表示として残し、操作フローは先のステップに進むことができる。この展開方法は本システムの特徴である。

これらを考慮して画面を製作した。本システムの画面は「全体構成画面」及び個別操作フローとして「反応度制御機能喪失」、「崩壊熱除去機能喪失」、「液位確保失敗」から成る。以下に、各画面のレイアウトについて示す。

① 全体構成画面

この画面は原子炉トリップ発生から低温停止状態又は長期対応に至るまでの手順の流れを示しており、緊急時運転手順書の他、異常時運転手順書も含んでいる。「もんじゅ」の緊急時運転手順書は、「反応度制御機能喪失」、「崩壊熱除去機能喪失」、「液位確保失敗」の3事象から構成されており、それぞれの手順への導入条件が成立すると、本画面から各事象毎に用意されている「個別操作フロー」に自動的に切り替わる。本画面では、全体の操作フローの他、主要パラメータを表示すると共に、「トレンド表示」を押すことによりトレンド表示を行うこともできる。全体表示画面を図-41に示す。

② 個別操作フロー画面

個別操作フローは、各事象毎に準備されている。画面を図-42～46に示す。なお、「液位確保失敗」は、導入条件が3パターンあることから、その手順もその1からその3に分かれている。以下に個別操作フロー画面のレイアウト(図-47参照)について説明する。

(1) 運転操作指針表示

個別操作フローから他の操作フローを呼び出す場合に使用すると共に、表示色により各操作フローへの導入状態を示す。

(2) 操作フロー表示

運転操作手順書の含まれる運転操作項目及び判断条件をフローチャートにより表示する。操作フローは導入／判断条件、運転操作項目並びにそれらを接続するラインから構成される。また補足としてテキスト・デジタル情報等をこのエリア内に表示する。操作フロー要素は、前述した通り、その状況に応じて色替えして表示する。また、既に導入されたラインは「青色」で、未導入のラインは「水色」で表示される。

これら表示色の決定に於いては、通常時は地味な色合いで表示し、異常時は各要素の状態が即座に把握できるよう明るい色を使うよう配慮した。

操作フローの進展には、自動モードと手動モードの2種類がある。通常は自動モードで運用され、操作フロー進展ロジックの結果に従い色替え表示される。手動モードには、運転員が確認したい操作フロー要素をクリックすることで切り替わる。

(ハ) 運転操作手順表示

操作フロー内の各要素に対する詳細な運転手順や解説・図面を表示する。この運転操作手順の表示も自動と手動モードがある。

自動モードでは、操作フロー進展判断ロジックの判断結果に従って最新（操作・監視条件が成立中の要素：赤色）の要素に関連する情報を表示し手順の進展と共に自動的に表示内容を更新する。手動モードに切り替えるには画面右上の「自動／手動」ボタンのクリックにより行う。

ここで表示する運転操作手順はテキスト情報である。また、補足がある場合には図-47 のように表示エリア右側に「解説」又は「図面」のボタンが表示されるので、これをクリックすることにより補足説明を呼び出すことができる。

(ニ) 関連パラメータ表示

個別操作フローに関連するパラメータをデジタル表示すると共に、「トレンド表示」ボタンでトレンドも表示することができる。

(ホ) メッセージ表示

シミュレーション全般の状況及び要求される操作内容を概略的にメッセージ表示する。表示メッセージはシミュレーション状態と操作ガイドの2種類がありメッセージ前部に「(OG)」がついているメッセージは操作ガイドである。これらは重要度及び表示状態に応じて以下の色替えを行う。

- ・重要異常状態 : 赤色
- ・注意状態 : 黄色
- ・主要状態 : 水色
- ・表示完了状態 : 緑色

この中で、「主要状態」とは、機器の正常動作又は要求した操作ガイドである。これらのメッセージは表示後、「その条件が未成立になった。」あるいは「操作ガイドの操作が実施された。」等により、表示が不要になった場合には、緑色に変わった後消去される。

(3) データベース検索／表示

操作フローの補足、根拠等の情報を提供するため、テキスト情報・参考図面等を操作フロー要素と関連付けてデータベースとして登録しておき、手動操作にて検索／表示を行う機能である。

各操作フロー要素には、データベース検索／表示を行うための情報展開ファイルが設定されている。このファイルは2種類あり、運転操作の関連情報に展開する「テキストファイル」と他の画面に展開する「PICT ファイル」から成る。前者のファイルには、操作フロー要素毎に付けられたステップ番号、運転操作として表示されるテキスト情報、補足説明として表示される解説・図面のファイル名称が記述されている。例

えば、操作フローの進展が自動モードであり、この操作フロー要素が状態判断ロジックにより「最新」と判断された場合、あるいは、運転員が手動でこの操作フロー要素を選択した場合には、運転操作エリアには「運転操作」の欄に記述されているテキスト情報が表示される。また、「解説」及び「図面」の欄に記述されている内容が、メニューとして表示され、メニュー選択された項目に従って該当するファイルを呼び出し、ポップアップウインドウで画面表示する。もし、「解説」又は「図面」の欄に「なし」と記述されていれば、画面上に、これらのボタンは表示されない。

一方、後者の「PICT ファイル」が設定された操作フロー要素が「最新」又は選択した場合には、そこに関連づけられた操作フロー、すなわち、別画面に展開する。

(4) 事故シナリオ再現機能

本システムをシミュレータと組み合わせて訓練に使用する他、シミュレータと切り離して単独（スタンドアロン）で使用するために、事故シナリオ再現機能を付加した。これは、システムの動作内容を一旦保存して、後日再現する機能である。最長1時間のシステムの動作を、保存周期1秒で、5ファイル登録でき、これを再現する時は、2分単位で指定することができる。

本機能により、シミュレータが他の訓練に使用されている場合であっても、本システムにより緊急事象について学習することができる。

上記のシステム開発により、「もんじゅ」の緊急事象に対する教育訓練を行うことが可能となった他、緊急時運転手順書をシステム化する上で解決すべき以下のような事項の抽出ができた。

(1) 曖昧な記述の明確化

緊急時運転手順書は、運転員が見て理解しやすいように記述されており、パラメータの挙動表現として「○○t/h一定制御」、「××℃近傍」等と記載されている。これらを計算機に判断させるには明確な判断基準を設定しなければならない。

検討を要する表現は、下表の通りである。

検討を要する表現	対応方針
原子炉トリップ相当の異常発生	トリップ相当の事象を具体化する。 (製作したシステムでは、原子炉トリップ要因を全てプラント状態判断機能に入力している。)
○○t/h一定制御	「一定」の基準を設定する。
○○℃追従	「追従」の基準を設定する。
××℃近傍	許容範囲を設定する。
下記項目の監視により R/V Na 液位を推定する。	推定するための基準値・推定方法が示されていない。 これを追加する。
上昇傾向	「上昇」の基準値を設定する。

(2) 判断時間の設定

操作フロー要素には監視・操作を要求するものもあり、操作完了まである程度の時間を要するものがある。このような要素に導入された場合は判断時間を設ける必要がある。例えば、「挿入不足の制御棒を制御棒駆動装置により1本ずつ挿入する」等の要素は操作要求が発生しても即座に操作を完了することはできない。

監視要素についても、操作を実行した効果が即座に現れない場合もあり、判断時間が必要となる、例えば、原子炉トリップ後ACS起動を確認し、この後「A/C出口Na温度が390°C以下」の判断を行うが、起動直後では「390°C以上」と判断される可能性がある。

これらのことから、操作・監視要素によっては、判断時間を設定する必要がある。

2.4 訓練データの収集・分析・評価

シミュレータを用いた訓練データを収集・分析評価し、運転員の教育訓練体系の見直しを行うべく、訓練データの分析評価方法についての検討を行った。訓練データの収集は、既設の「訓練データ収集装置」及び「シミュレータのインストラクタ機能」を用いて行った。これにより収集できる訓練データは以下の通りである。

- 訓練データ収集装置（添付-1参照）
 - ・シミュレータ室天井に設置した6台のカラーカメラからの映像データ
 - ・8台のワイヤレスマイクにより収集される音声データ
- シミュレータのインストラクタ機能
 - ・操作盤上のCS,COS,PB操作履歴
 - ・警報の点灯／消灯履歴
 - ・機器の起動／停止履歴
 - ・パラメータトレンド

これらのデータから運転員間のコミュニケーション状況を分析するため、対応操作実施時の運転員間の発話や対話内容を時系列に並べ、情報の質的内容、情報源、コミュニケーション状況を記述するコミュニケーション評価チャートを作成した。表-7にコミュニケーション評価チャートで用いるシンボルを示す。また、図-48にコミュニケーション評価チャートの例を示す。コミュニケーション評価チャートは運転員の発話や機器の動きを文書化した「プロトコル+主要シーケンス」部と、それらの関連をシンボルで表した「タスク」部からなる。

本チャートでは、事象進展に対するクルーの対応タイミングをコミュニケーションタイミングとし、情報の受理や未受理といった情報伝達結果、発話者間の情報交換内容を示す情報の質的内容、情報伝達の根拠となった情報源をそれぞれシンボルを用いて表現している。また、事象の進展に対するクルーの対応タイミングは良好、尚早、遅れに分類し、受け手側の認知状況（情報伝達結果）は受理、未受理、誤伝達に分類する。なお、誤伝達については、発信側、受信側とも同じシンボルで表示する。

発話の質的内容（情報の質的内容）は、①方針決定（タスク指示）、②状況報告、③ディスカッション、④指示・操作報告・その他、⑤意思表示の5種類に区別しており、発話者と

受け手を結ぶ線で表現する。なお、上下に結ばれている線は、運転員の注意の焦点が変化していないことを示す。また、コミュニケーション評価チャートでは、タスク内容に応じてチャートの記述領域（タスク1、タスク2）を分割する。これはクルー全体、あるいは個人の注意の焦点を明確にするために用いており、クルー内コミュニケーションを評価する上で大切な要素となる。

外部電源喪失事故訓練時のデータから、コミュニケーションチャートを作成し、分析したことろ、教育訓練に反映すべき評価として以下が得られた。

- ① 当直長と当直長補佐の役割分担が不明確。
- ② インタロックの動作は良く報告されていたが、プラントパラメータの報告が少ない。
- ③ 運転員間のコミュニケーションは全体的に少ない。 等

次に、クルーのコミュニケーションタイプを明確にする手法について検討した。チームで行動する際には、そこに様々なコミュニケーションが生まれ、そのコミュニケーションの取り方にも種々のタイプが存在する。このコミュニケーションタイプにはそれぞれ長所・短所があることが予想され、コミュニケーションタイプとクルーパフォーマンス上の特徴が明確になれば訓練の高度化に結びつけることが可能となる。

クルーコミュニケーションは、クルーを構成するメンバー間の情報の授受により成立することから、クルーの情報の授受をコミュニケーション・トポグラフィックマップ（以下 CTM という）により表現した。データを収集したクルーは、当直長、当直長補佐、1次・2次系運転員、水・蒸気系運転員の4名の構成であった。当直長はプラント状況の判断や対応方針決定といった主要タスク決定の要であり、また訓練時の配置を考慮して CTM の中央下部に記述した。当直長補佐はクルーの中心的存在であり、配置も運転員と当直長の中間位置にあることから、中央に記述した。1次・2次系運転員、水・蒸気系運転員は当直長と当直長補佐との相対的位置関係からそれぞれの位置とした。外部へは当直長が連絡を取ることから当直長の右側へ記述した。

CTM への発話内容の記述にはプラントの安定停止の観点から重要発話であるタスク指示やディスカッションを選定することが望ましいが、収集したデータにはディスカッションがほとんどなかったことから、その代わりとして状況報告を選定した。クルーメンバー間の情報発信状況は発信元から受信側に向けて矢印を用いて示しており、発話量の増大に従い線を太くした。これにより、クルー間のコミュニケーションを線の太さにより感覚的に比較することができる。

作成した CTM を図-49 に示す。これは、「原子炉トリップ・タービントリップ」の訓練データから作成したコミュニケーション評価チャートに基づき作成したものであり、原子炉トリップ発生から5分間のデータをまとめたものである。この図では、当直長補佐に運転員からの情報が集まり、当直長補佐はこれに対する指示を出すと共に、当直長に報告している。運転員間の発話が少ないと見えるが、プラントトリップと同時にナトリウム系と水・蒸気系が別々に動作を始め、系統間の関連がなくなるという「もんじゅ」特有の状態に起因するもので、これは問題ないと考える。このクルーは運転操作の指示を当直長補佐が、必要な判断を当直長が行うという理想に近い状況のコミュニケーションであることが、この CTM

から読みとることができた。

先に記述したコミュニケーション評価チャートを用いた評価と CTM の評価では、評価対象の事象及びクルーが異なっている。このため、一貫した評価結果を得ることはできなかつたが、これらの手法がクルーコミュニケーションの評価に有効であることは確認できた。

3. おわりに

「もんじゅ」運転員は、出向者が大きな割合を占めており、その出向期間は、ほとんどが 3 年間である。この間に運転員として養成するには、効率的な教育訓練が必要である。このため、教育訓練を支援するシステムの開発に取り組んできた。また、シミュレータを用いた訓練データを収集・分析評価し、運転員の教育体系の見直しを行うべく、訓練データの分析評価方法の検討を行ってきた。

3.1 実時間可視化システム

実時間可視化システムは、実プラントに於いても計測点のないパラメータや構造が複雑で図面だけでは、その動作・機構を理解することが難しい機器を、アニメーションにより可視化するシステムで、平成 5 年度に基本システムを開発し、以降徐々にその教育範囲・機能を拡充してきた。現在までに可視化した機器・その内容は下表の通りである。

機 器	可視化内容
系統全体	主要パラメータ、機器状態
原子炉容器	冷却材の流れ、温度分布
炉心断面	燃料温度変化
制御棒駆動機構	制御棒位置、制御棒駆動機構構造
蒸気発生器	温度、相変化
EHC	電気信号、制御油の流れ
1 次主循環ポンプ	オーバランニングクラッチ部の構造
起動バイパス制御系	電気信号、制御モード

これらは、シミュレータ訓練に限らず、机上教育にも活用されており、建設所内の様々な場所での利用が要望されている。このため、システムをパソコン上で動作するよう改造し、所内 LAN を介して、本システムを利用可能なようシステムの改造を今後検討していく。

3.2 炉心専用ミニシミュレータ

「もんじゅ」シミュレータは、広範囲にわたり基本原理に基づく動特性モデルを採用しているものの炉心部は 1 点近似模擬としていることから、炉心部の挙動が重要となる緊急事象の模擬を精度良く行うことは困難である。このため、炉心部の挙動を詳細に模擬するミニシミュレータを開発した。

また、シミュレーション結果を運転員に理解しやすく提供するために、「監視画面」を設計した。この画面は「燃料中心温度」、「被覆管温度」、「冷却材温度」を切り替えて表示できるほか、炉心各部の温度情報を提供できるよう水平断面の位置を最上部、中間部、最下部及び最高被覆管温度部の 4箇所から選択できる。更に、ミニシミュレータの計算結果は、イーサネット回線により上述の「実時間可視化システム」と「緊

「急時 CAI システム」に伝送され、各々のシステムの画面表示やプラント状態判断に利用可能となっている。

なお、ここで得られた成果は、今後の「もんじゅ」シミュレータの更新及び機能高度化の際に反映し、緊急事象の模擬が可能なフルスコープシミュレータを構築する計画である。

3.3 緊急時 CAI システム

「もんじゅ」における緊急事象に関する知識を運転員に習得させるため、緊急時 CAI システムを開発した。このシステムはシミュレータを用いた緊急事象の運転訓練時に、事象進展や最も優先すべき操作手順等の情報を運転員に提供するもので、「反応度制御機能喪失」事象、「崩壊熱除去機能喪失」事象及び「液位確保失敗」事象を対象とした。

本システムの主な機能は以下の通りである。

- プラント状態判断機能
- 運転手順表示
- データベース検索／表示

この緊急時 CAI システムは、まだ教育訓練には供していないが、運転手順書をシステム化するに当たっての問題点を抽出することができた。今後、緊急時運転手順書の制定後に、その内容を反映して EPG 教育の中核として利用していく計画である。

3.4 シミュレータ訓練データの収集・分析・評価

シミュレータを用いた訓練データを収集し、運転員間のコミュニケーション状況を分析するため、対応操作実施時の運転員間の発話や対話内容を時系列に並べ、情報の質的內容、情報源、コミュニケーション状況を記述するコミュニケーション評価チャートを作成した。その結果、教育訓練に反映すべきいくつかの評価が得られたことから、試行した分析方法が有効であることが確認できた。今後も引き続き訓練時のデータを分析・評価し教育訓練体系の改善等に反映させていく計画である。

4. 参考文献

- (1) 小屋越 直喜、他：“「もんじゅ」シミュレータ訓練の変遷と運転再開に向けたシミュレータの高度化”，JNC TN-4410 2002-001, (2002)

添付-1 訓練データ収集装置

シミュレータ訓練の状況を記録するために訓練データ収集装置を製作したシミュレータ室天井に設置したカメラ6台からの映像と訓練生8人の音声をインストラクタ室内に設置した本装置のビデオ2台及びMDレコーダ4台に記録するもので、中国電力(株)大野研修所の同様な装置を調査した結果に基づいて設計・製作したものである。

以下にシステム構成図を示す。訓練生の音声はワイヤレスマイクにより訓練データ収集装置のミキサーに入力し、1ch毎の音声データとしてMDに、集合音声としてビデオに記録される。ワイヤレスマイクは8台まで同時使用可能で、シミュレータ室内に設置された2台のアンテナにて受信する。

一方、画像データは、図中に示す位置に設置したカラーカメラ（電動回転台付き）にて撮影され、カメラセレクタに入り、ここで出力先が選択できる。右側のモニタには4画面分割ユニットにより分割された映像が、また、左のモニタにはデジタルシーケンサーを通った映像が表示される。カメラセレクタにより各カメラからの映像は出力先を切り替えることが可能であり、6台のカメラからの映像を一度に2台のモニタに表示（右のモニタ4画面、左のモニタ2画面）するとともに、2台のビデオレコーダーに録画する。

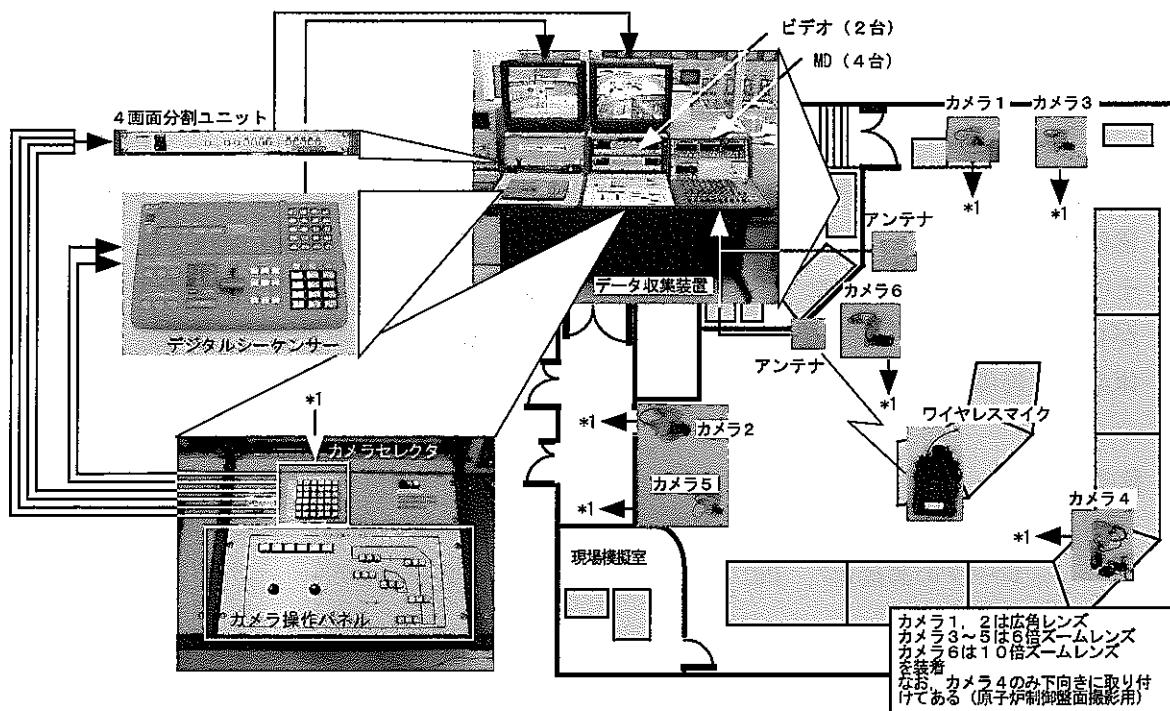
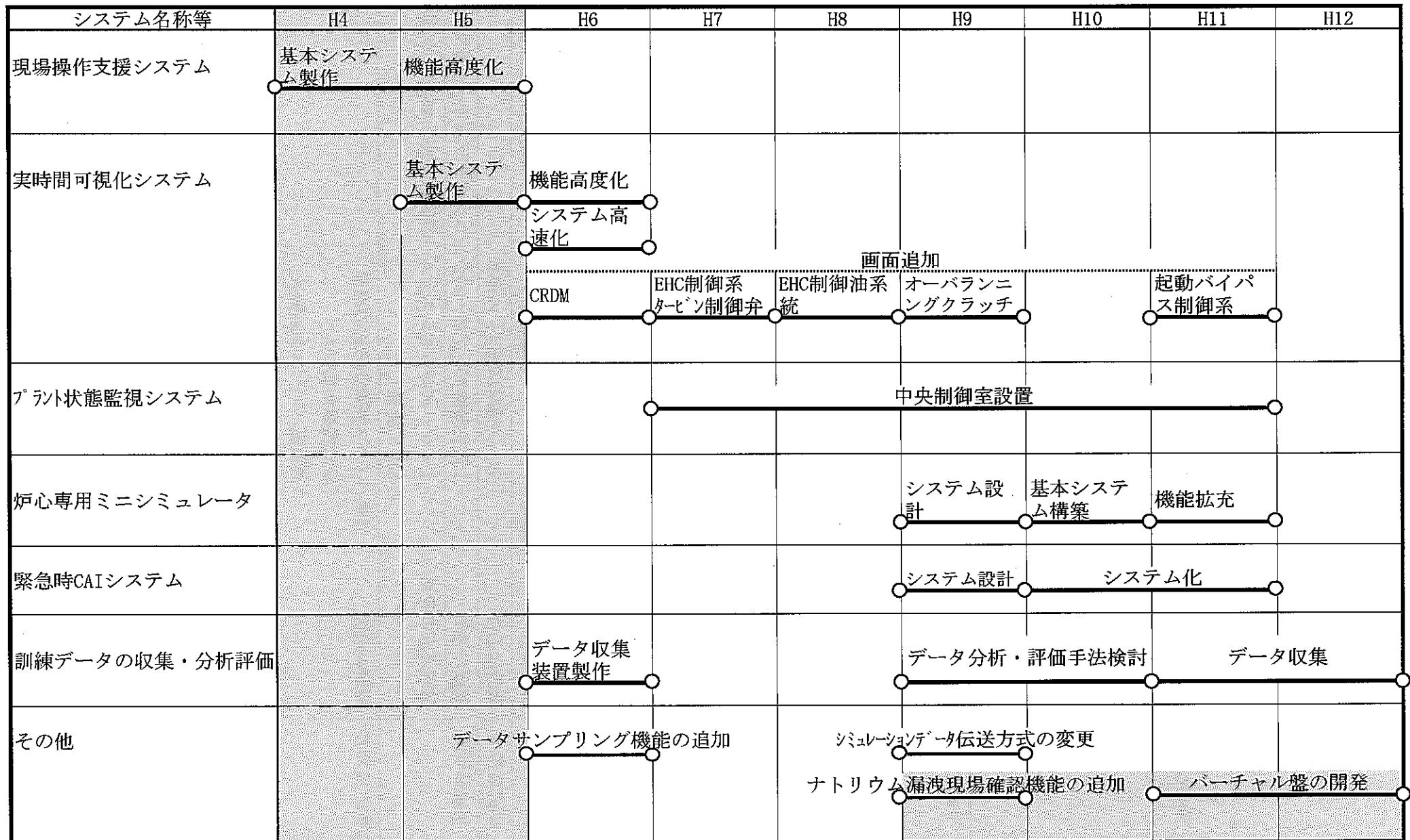


表-1 教育訓練支援システム整備工程



部分のシステムについての詳細は、本報告書には記載しない。

表-2 実時間可視化システム開発概要

年 度	項 目	概 要
平成 5 年度	基本設計	シミュレータとの伝送, データ表示のための内部計算方法等についての基本設計を行った。
	基本システム構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「プラント全体監視画面」 ・ 「炉容器状態表示画面」 ・ 「炉心状態表示画面」 ・ 「炉心水平断面表示画面」 ・ 「蒸発器／過熱器状態表示画面」の製作
平成 6 年度	システム基本機能の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 起動中の機器を「赤色」, 停止中を「青色」で表示する。 ・ 流量を矢印の数で表示する。 ・ 水・蒸気系の通水状態を色分けで表示する。 <p>等の機能向上を図った。</p>
	画面の追加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「制御棒位置表示画面」 ・ 「制御棒駆動機構状態表示画面」の追加
	システムの高速化	計算機を他システムと共有していたが, 処理速度を向上させるために専用計算機を導入した。
	データオフライン処理機能の追加	CSV 形式のデータを FD から読み込み, 画面表示する機能を追加した。
平成 7 年度	画面の追加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「EHC (電気信号)」 ・ 「タービン廻りの各種制御弁」の追加
	システムの中央制御室設置	運転員からの要望により実時間可視化システムと同様の機能を持たせた「プラント状態監視システム」を中央制御室へ設置した。
平成 8 年度	画面の追加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「EHC (制御油系統)」の追加
平成 9 年度	画面の追加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「1 次主循環ポンプオーバランニングクラッチ」の追加
	伝送方式の変更	シミュレータから本システムへの伝送方式を RS232C 方式から LAN に変更した。
平成 11 年度	画面の追加	<p>起動バイパス制御系画面の追加</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「給水調節弁制御系」 ・ 「過熱器バイパス弁制御系」 ・ 「過熱器入口バイパス調節弁制御系」 ・ 「気水分離器ドレン弁制御系」 ・ 「フラッシュタンク圧力調節弁制御系」 ・ 「フラッシュタンク水位調節弁制御系」 ・ 「フラッシュタンクドレン回収調節弁制御系」 ・ 「ダンプ蒸気温度調節弁制御系」

表-3 タービン制御系各画面の機能

画 面	主要表示機器	アニメーション動作範囲
非常トリップ装置全体表示	トリップ装置全体（以下の画面への展開用）	なし
ロックアウト弁・過速度トリップ装置	<ul style="list-style-type: none"> ・非常停止レバー ・機械式トリップ弁 ・ロックアウト弁 ・機械式トリップソレノイド ・非常調速装置 	<ul style="list-style-type: none"> ・111%過速度時動作 ・ロックアウトによるオイルトリップ時動作 ・非常停止レバー操作時動作 ・機械式トリップソレノイド動作
ロックアウト弁・マスタトリップ電磁弁	<ul style="list-style-type: none"> ・マスタトリップ電磁弁 ・抽気逆止弁用リレーダンプ弁 ・ロックアウト弁 	<ul style="list-style-type: none"> ・トリップ時動作 ・マスタトリップA・Bテスト時動作 ・ロックアウトによるオイルトリップ試験時動作
スラスト軸受摩耗検出装置	<ul style="list-style-type: none"> ・テストハンドル ・テストレバー ・従動ピストン 	<ul style="list-style-type: none"> ・スラスト摩耗トリップ試験時動作 ・スラスト摩耗時動作

表-4 実機データの変換表 (アナログデータ)

No.	名称	単位	データ種別	計算種別	データ対応		変換係数		実機信号
					データNo.	データ格納No.	係数a	係数b	
1	原子炉熱出力	%→MW	1	0	0	0	7.14	0.0	A143
2	原子炉入口ナトリウム温度(Aループ)	°C	1	0	1	1	1.0	0.0	A018
3	原子炉出口ナトリウム温度(Aループ)	°C	1	0	2	2	1.0	0.0	A012
4	1次系ナトリウム流量(Aループ)	m³/h	1	0	3	3	1.0	0.0	A006
5	2次系ナトリウム高温側温度(Aループ)	°C	1	0	4	4	1.0	0.0	A040
6	2次系ナトリウム低温側温度(Aループ)	°C	1	0	5	5	1.0	0.0	A184
7	2次系ナトリウム流量(Aループ)	m³/h	1	0	6	6	1.0	0.0	A049
8	空気冷却器ナトリウム流量(Aループ)	m³/h	1	0	7	7	1.0	0.0	A073
9	主蒸気温度(3ループ合流後)	°C	1	0	8	8	1.0	0.0	A089
10	主蒸気圧力(3ループ合流後)	kg/cm²	1	0	9	9	1.0	0.0	A112
11	主蒸気流量(3ループ合流後)	t/h	1	0	10	10	1.0	0.0	A093
12	発電機	MW	1	0	11	11	1.0	0.0	A124
13	タービン回転数	rpm	1	0	12	12	1.0	0.0	A115
14	給水温度	°C	1	0	13	13	1.0	0.0	A079
15	炉心流量	t/h	1	2	-1	14	0.0	0.0	-
16	炉容器液位	mm	1	0	15	15	1.0	0.0	A148
17	バケット内液位	mm	1	1	-1	16	0.0	0.0	-
18	最高温度炉心燃料ピン燃料温度(中心)	°C	1	1	-1	17	859.0	0.0	-
19	最高温度炉心燃料ピン燃料温度(中間)	°C	1	1	-1	18	775.8	0.0	-
20	最高温度炉心燃料ピン燃料温度(外側)	°C	1	1	-1	19	540.1	0.0	-
21	最高温度炉心燃料ピン燃料温度(肉厚中心)	°C	1	1	-1	20	449.5	0.0	-
22	冷却材温度(中心)	°C	1	1	-1	21	482.5	0.0	-
23	構造材温度	°C	1	3	-1	22	0.0	0.0	-
24	下部プレナム温度	°C	1	4	-1	23	0.0	0.0	-
25	上部プレナム温度	°C	1	5	-1	24	0.0	0.0	-
26	バイパス部出口温度	°C	1	6	-1	25	0.0	0.0	-
27	バイパス流量	t/h	1	7	-1	26	0.0	0.0	-
28	出力領域中性子束	%	1	0	22	27	1.0	0.0	A143
29	SH A入口ナトリウム温度	°C	1	0	23	28	1.0	0.0	A181
30	SH A出口ナトリウム温度	°C	1	0	24	29	1.0	0.0	A043

No.	名称	単位	データ種別	計算種別	データ対応		変換係数		実機信号
					データNo.	データ格納No.	係数a	係数b	
31	蒸気発生器A入口止め弁バイパス弁ナトリウム流量	m ³ /h	1	1	-1	30	16.7	0.0	-
32	SH Aナトリウム液位	mm	1	0	25	31	1.0	0.0	A297
33	SH A入口蒸気温度	°C	1	0	26	32	1.0	0.0	A193
34	SH A出口蒸気温度	°C	1	0	27	33	1.0	0.0	A190
35	SH A出口蒸気圧力	kg/cm ²	1	0	28	34	1.0	0.0	A196
36	2次主循環ポンプA出口ナトリウム圧力	kg/cm ²	1	1	-1	35	3.225	0.0	-
37	2次主循環ポンプA出口ナトリウム流量	m ³ /h	1	1	-1	36	1613.3	0.0	-
38	EV A出口ナトリウム温度	°C	1	0	29	37	1.0	0.0	A046
39	EV Aナトリウム液位	mm	1	0	30	38	1.0	0.0	A300
40	EV A給水流量	t/h	1	0	31	39	1.0	0.0	A090
41	EV A給水圧力	kg/cm ²	1	0	32	40	1.0	0.0	A106
42	EV A給水温度	°C	1	0	33	41	1.0	0.0	A080
43	EV A出口蒸気圧力	kg/cm ²	1	0	34	42	1.0	0.0	A097
44	EV A出口蒸気温度	°C	1	0	35	43	1.0	0.0	A083
45	ACS A出口ナトリウム温度	°C	1	0	36	44	1.0	0.0	A067
46	過熱器バイパス弁A開度	%→PU	1	1	37	45	0.01	0.0	A103
47	過熱器入口バイパス弁A開度	PU	1	1	-1	46	1.0	0.0	-
48	過熱器入口止め弁A開度	PU	1	1	-1	47	1.0	0.0	-
49	過熱器入口弁開度	PU	1	1	-1	48	1.0	0.0	-
50	過熱器出口止め弁A開度	PU	1	1	-1	49	1.0	0.0	-
51	過熱器入口バイパス制御弁入口止め弁A開度	PU	1	1	-1	50	0.0	0.0	-
52	気水分離器ドレン弁開度	%→PU	1	0	43	51	0.01	0.0	A389
53	2次系ナトリウム流量(Aループ)	m ³ /h→%	1	0	44	52	2.341 ×10 ⁻⁴	0.0	A049
54	気水分離器ドレン流量	kg/sec	1	8	-1	53	0.0	0.0	-
55	予備		1	1	-1	54	0.0	0.0	
60	予備		1	1	-1	59	0.0	0.0	

表-4 実機データの変換表 (デジタルデータ)

No.	名称	データ種別	計算種別	データ対応		変換係数		実機信号
				データNo.	データ格納No.	係数a	係数b	
1	1次主循環ポンプA起動	0	0	46	0	0.0	0.0	D701
2	1次主循環ポンプボニーモータA起動	0	0	47	1	0.0	0.0	D710
3	2次主循環ポンプA起動	0	1	-1	2	0.0	0.0	-
4	2次主循環ポンプボニーモータA起動	0	1	-1	3	1.0	0.0	-
5	空気冷却器送風機起動(高速)	0	1	-1	4	0.0	0.0	-
6	空気冷却器送風機起動(低速)	0	1	-1	5	0.0	0.0	-
7	蒸気発生器入口止め弁A開	0	1	-1	6	1.0	0.0	-
8	蒸気発生器出口止め弁A開	0	1	-1	7	1.0	0.0	-
9	タービン回転数(1rpm以上)	0	9	-1	8	0.0	0.0	-
10	発電機併入(ON=1)	0	1	-1	9	0.0	0.0	-
11	循環水ポンプ起動(AまたはB)	0	1	-1	10	1.0	0.0	-
12	給水ポンプ起動(M/D FWPまたはT/D FWP A)	0	1	-1	11	1.0	0.0	-
13	予 備 ↓	0	1	-1	12	0.0	0.0	
40	予 備	0	1	-1	39	0.0	0.0	

注1) データ種別

デジタルデータ (=0) とアナログデータ (=1) の種別を指定する。

注2) 計算種別

実機データから実時間可視化システム表示データへの変換計算を指定する。

通常指定 (=0) と固定値指定 (=1) を指定する。

通常指定は1次式 ($y=ax+b$) の計算を行う(アナログデータの場合のみ)

2以上の種別は特殊計算を示し、ソフトウェア内部で必要な実機データを取り出し、計算結果をデータ格納No.の示すデータとする。

注3) データ対応

実機データの並び順に0から付けたデータNo.と実時間可視化システム表示データの順に0から付けたデータ格納No.の組合せ指定により双方データの対応付けを行う。なお、固定値指定及び特殊計算指定の場合データNo.は無意味となる（-1指定）。

注4) 変換係数

計算種別が通常指定時の1次式 ($y=ax+b$) の計数aとbを実数で指定する。ただし、デジタルデータの場合は $a=0.0$ で変換なし、 $a=1.0$ でビットの反転を示す(bは意味なし)。

注5) 実機信号

MIDASのデータ信号No.を示す。

表-5 ソフトウエアの改造内容

改造区分	信号名称	改造内容
手動設定機能の追加	A ループ過熱器入口バイパス弁開度	MIDAS からの入力もなく、他の処理による監視ができないため、キーボードから状態を入力(設定)する。
	A ループ過熱器入口止め弁開度	
	A ループ過熱器入口弁開度	なお、これらの入力が容易にできるよう、「メンテナンスツール」をあわせて追加した。
	A ループ過熱器出口止め弁開度	
	A ループ過熱器入口バイパス調節弁入口止め弁開度	
	SG 入口止め弁 A 開	
	SG 出口止め弁 A 開	
	循環水ポンプ A 起動	
	循環水ポンプ B 起動	
内部計算処理(簡易模擬)の追加	原子炉熱出力	出力領域中性子束(%) × 7.14
	炉心流量	$a * 1 \text{ 次系各ループ流量の和} * (b * \text{原子炉熱出力} / 714.0 + c)$
	バイパス流量	$a * 1 \text{ 次系各ループ流量の和} * (1 - (b * \text{原子炉熱出力} / 714.0 + c))$
	炉心バイパス部出口温度	$(1 \text{ 次系ナトリウム流量 } A \times \text{炉容器入口ナトリウム温度 } A + 1 \text{ 次系ナトリウム流量 } B \times \text{炉容器入口ナトリウム温度 } B + 1 \text{ 次系ナトリウム流量 } C \times \text{炉容器入口ナトリウム温度 } C) / 1 \text{ 次系各ループ流量の和}$
	下部プレナム温度	炉心バイパス部出口温度と同じ計算を行い代入する。
	上部プレナム温度	原子炉出口ナトリウム温度を代入する。

改造区分	信号名称	改造内容
ロジック処理の追加	2次主循環ポンプ主モータ A 起動	〈主循環ポンプ回転数 $\geq 250\text{rpm}$
	2次主循環ポンプボニーモータ A 起動	〈 $100\text{rpm} \leq$ 主循環ポンプ回転数 $\leq 250\text{rpm}$ 〉と〈ボニーモータトリップ信号の NOT〉との and 信号
	補助冷却器送風機起動（高速）	送風機回転数 $\geq 350\text{rpm}$
	補助冷却器送風機起動（低速）	$150\text{rpm} \leq$ 送風機回転数 $< 350\text{rpm}$
	T/D FWP 起動	FWP 出口ヘッダ圧 $\geq 50\text{ kg/cm}^2$
	発電機併入	発電機出力 $\geq 5\text{MW}$
その他	画面変更	「炉容器監視画面」内の「バケット内液位」表示をデジタル値表示から A1, A2, B の 3 段階表示とする。なお、液位の設定は手動設定とする。
	オンラインモード選択不可処理	各制御棒駆動機構画面で「オンラインモード」の選択ができないようソフトウェアを改造した。
	蒸発器・過熱器内部温度分布の計算精度向上	「実時間可視化システム」の蒸発器・過熱器の内部温度分布に用いている「伝熱面積×熱貫流率」は 40%出力状態でのヒートバランスを基に設定している。そのため、40%出力以外の状態では蒸発器及び過熱器の出口上記温度あるいは出口ナトリウム温度がシミュレータでの模擬状態と多少異なった結果になる。このズレを可能な限り減少させるため、内部温度分布の算出ステップ毎に「伝熱面積×熱貫流率」を求め、それを用いて内部温度分布を算出するよう改造した。

表-6 プラント状態判断ロジック例

整理番号	名 称	ロジック概要
PC33	原子炉トリップ遮断器 開	<p>主炉停止系遮断器RTA-A開 主炉停止系遮断器RTA-B開 主炉停止系遮断器RTA-C開</p> <p>主炉停止系遮断器RTB-A開 主炉停止系遮断器RTB-B開 主炉停止系遮断器RTB-C開</p> <p>原子炉トリップ遮断器 開</p>
PONY_3ST	1次ポンニーモータ 3台起動	<p>1次ポンニーモータA起動 1次ポンニーモータB起動 1次ポンニーモータC起動</p> <p>1次ポンニーモータ 3台起動</p>
RX_PWR_4U	原子炉出力 4 %以上	<p>中性子計装PR出力 1 \geq 4 % 中性子計装PR出力 2 \geq 4 % 中性子計装PR出力 3 \geq 4 %</p> <p>原子炉出力 4 %以上</p>
PC36	「反応度制御機能喪失」導入条件成立	<p>原子炉トリップ遮断器 開(PC33) 1次ポンニーモータ 3台起動(PONY_3ST) 原子炉出力 4 %以上(RX_PWR_4U)</p> <p>原子炉トリップ遮断器 開(PC33) 1次ポンニーモータ 2台起動(PONY_2ST) 原子炉出力 3 %以上(RX_PWR_3U)</p> <p>原子炉トリップ遮断器 開(PC33) 1次ポンニーモータ 1台起動(PONY_1ST) 原子炉出力 1 %以上(RX_PWR_1U)</p> <p>「反応度制御機能喪失」導入条件成立</p>
...

表-7 コミュニケーション評価チャートシンボル

表示種別	内 容	シンボル
コミュニケーションタイミング	良 好	○
	尚 早	□
	遅 れ	△
情報伝達結果	受 理	●
	未受理	×
	誤伝達	■
情報の質的内容	方針決定（タスク指示）	=====
	状況報告	=====
	ディスカッション	-----
	指示、操作報告、その他
	意思表示	-----
情報源	警 報	A
	CRT	C
	レコーダ、計器、ランプ	I
	ディスカッション	D
	自発／予測	S/P
	外 部	O
エラー	エラー発生	E

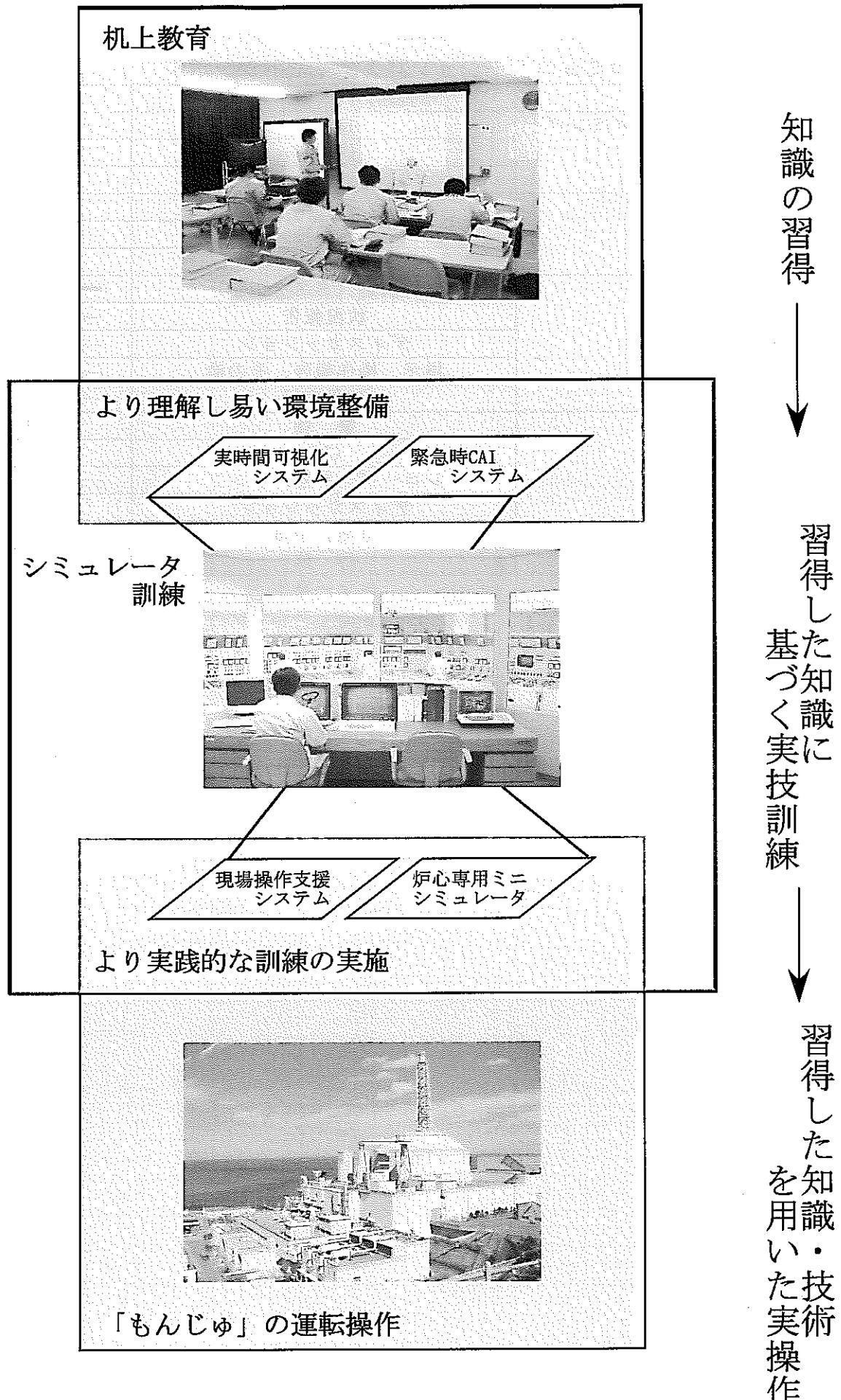
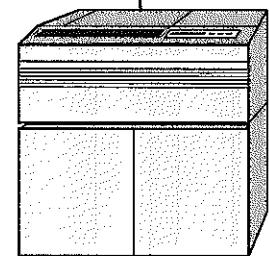


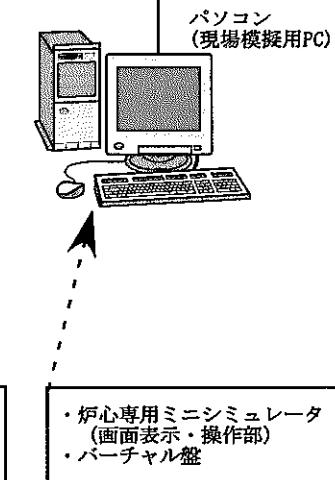
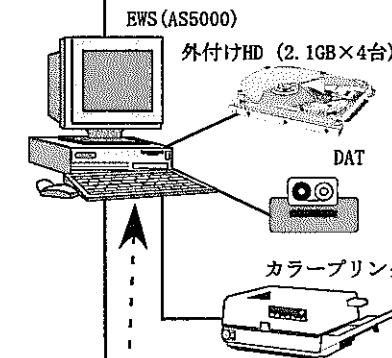
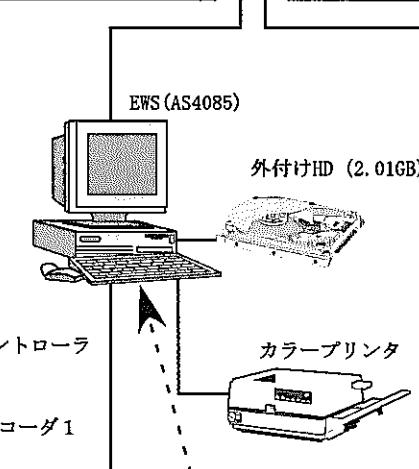
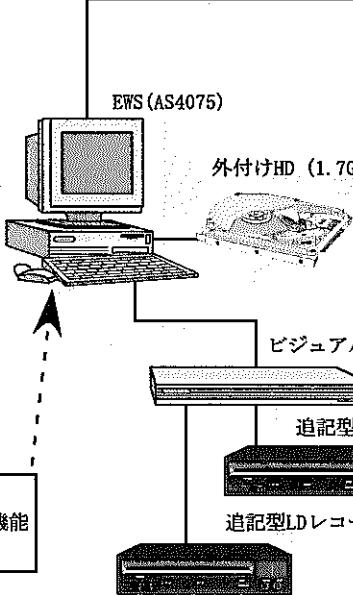
図-1 教育訓練支援システムの役割

シミュレータ用LAN

コンセントレータ



- ・現場操作支援システム
- ・ナトリウム漏えい現場確認機能
- ・緊急時CAIシステム



コンセントレータ

建設所内LAN

図-2 教育訓練支援システム構成図

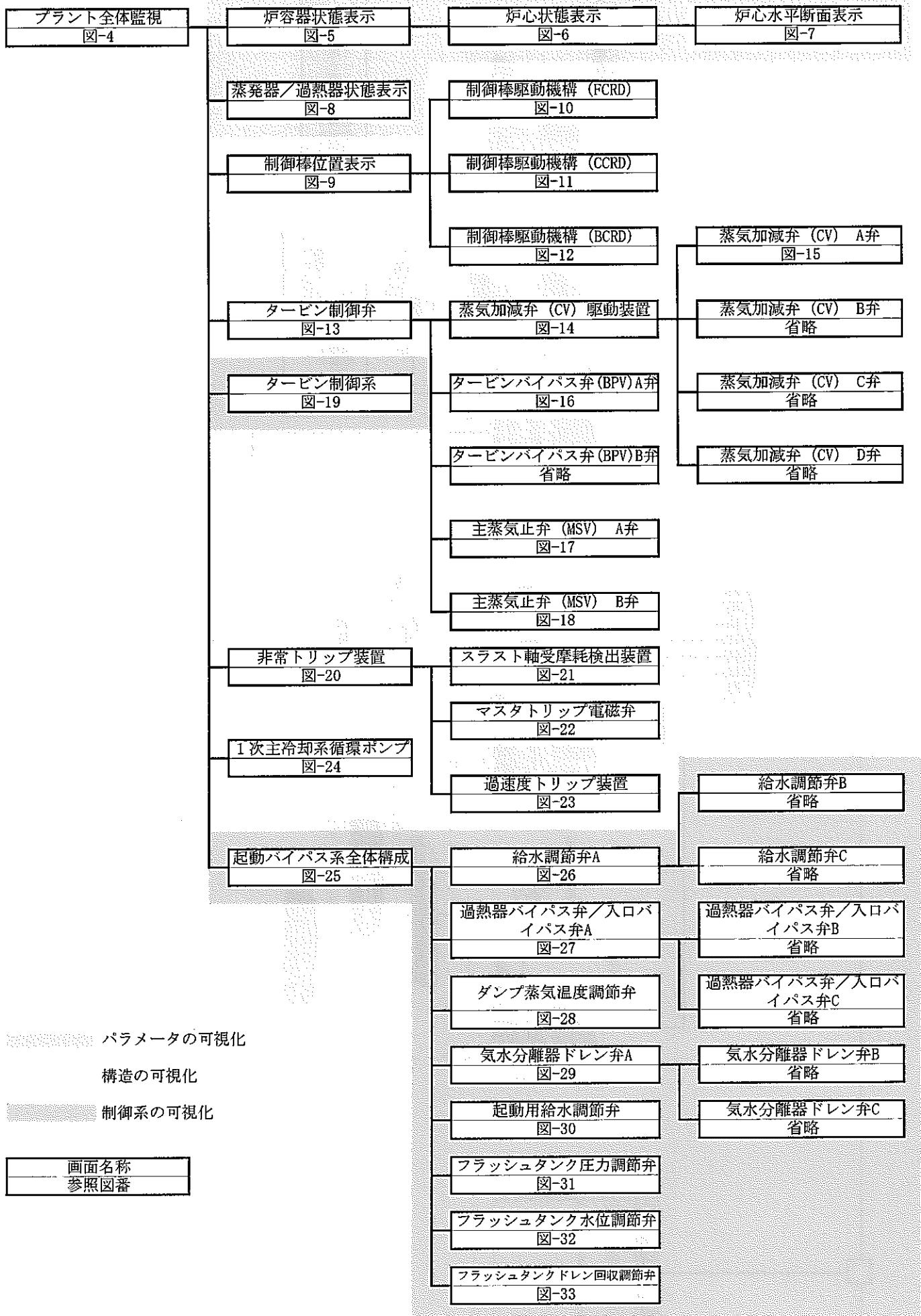


図-3 実時間可視化システム画面構成

プラント全体監視

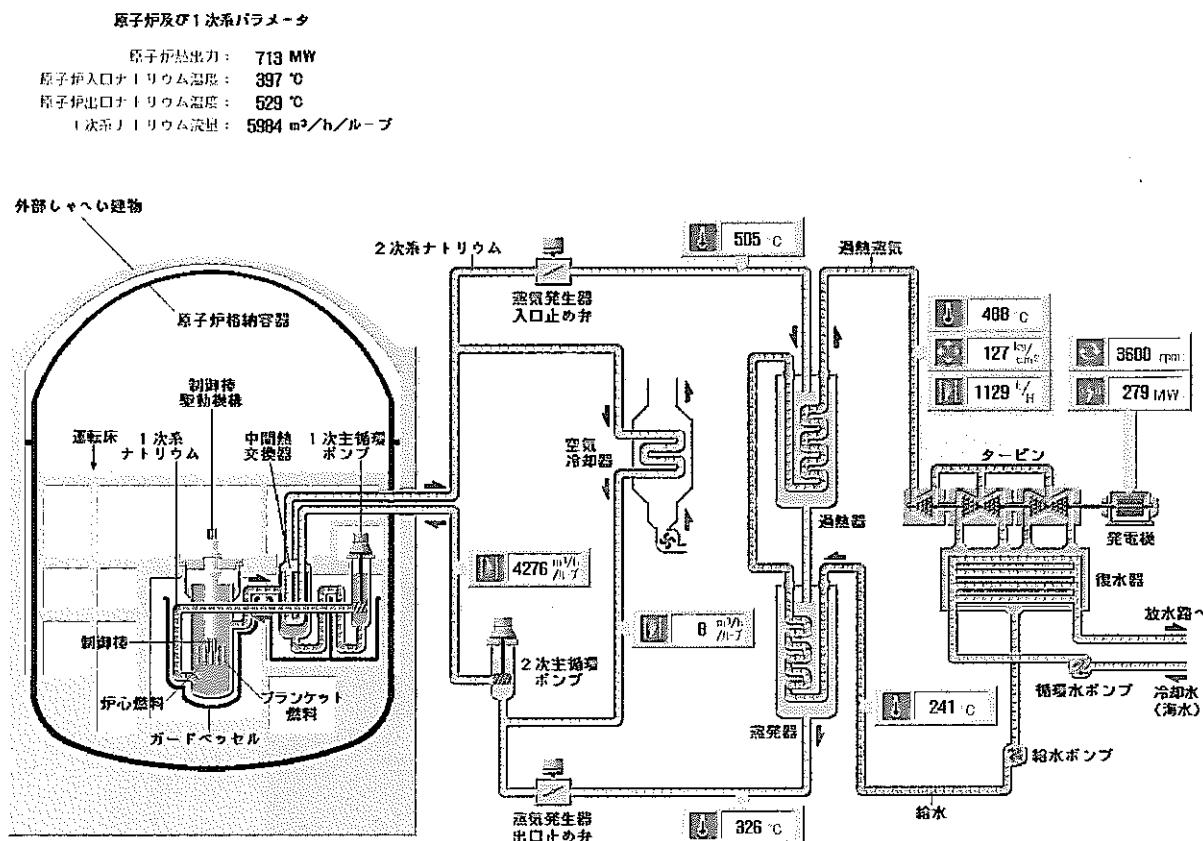


図-4 プラント全体監視

炉容器状態表示

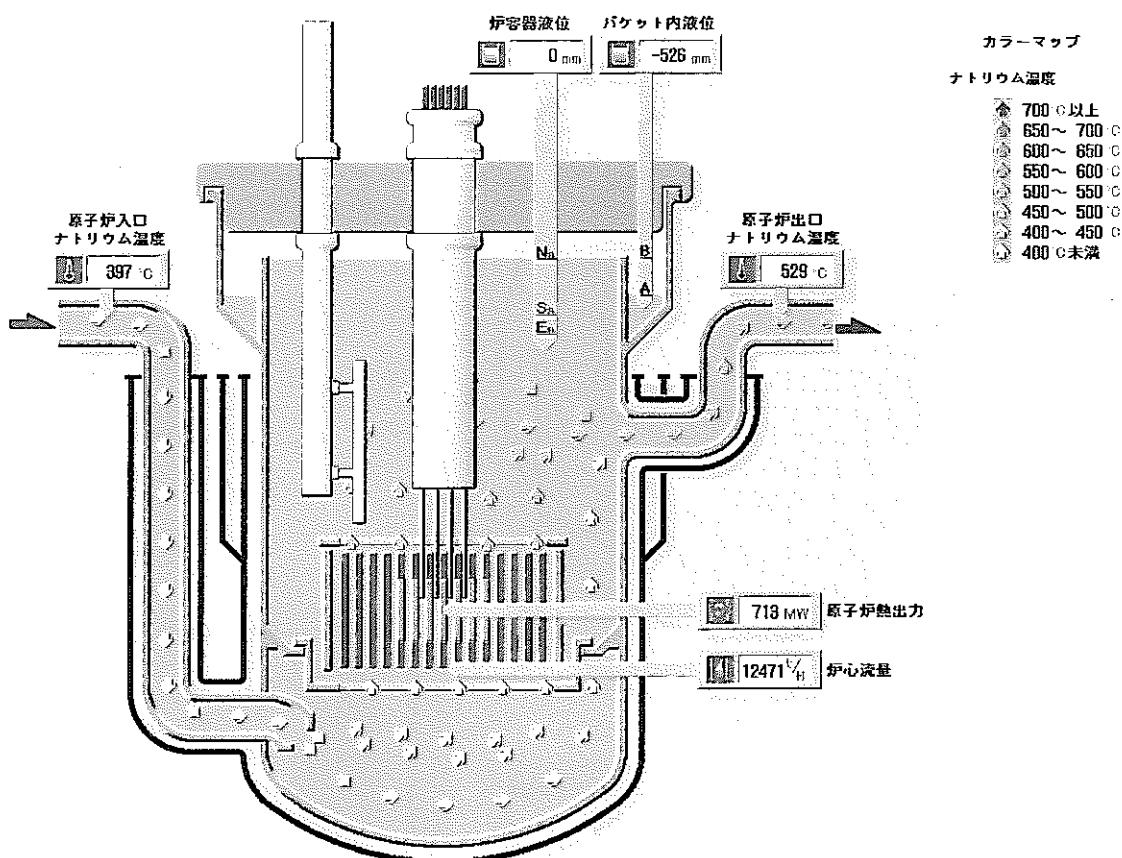


図-5 炉容器状態表示

炉心状態表示

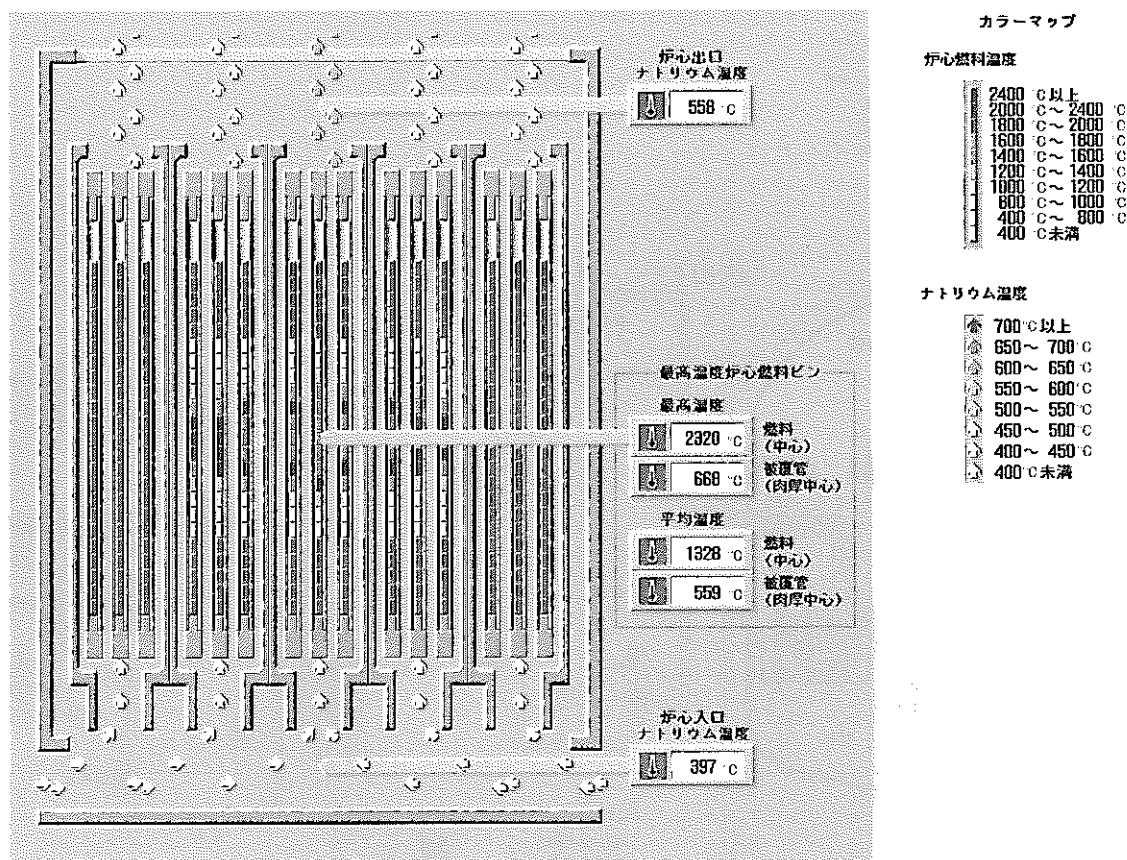


図-6 炉心状態表示

炉心水平断面表示

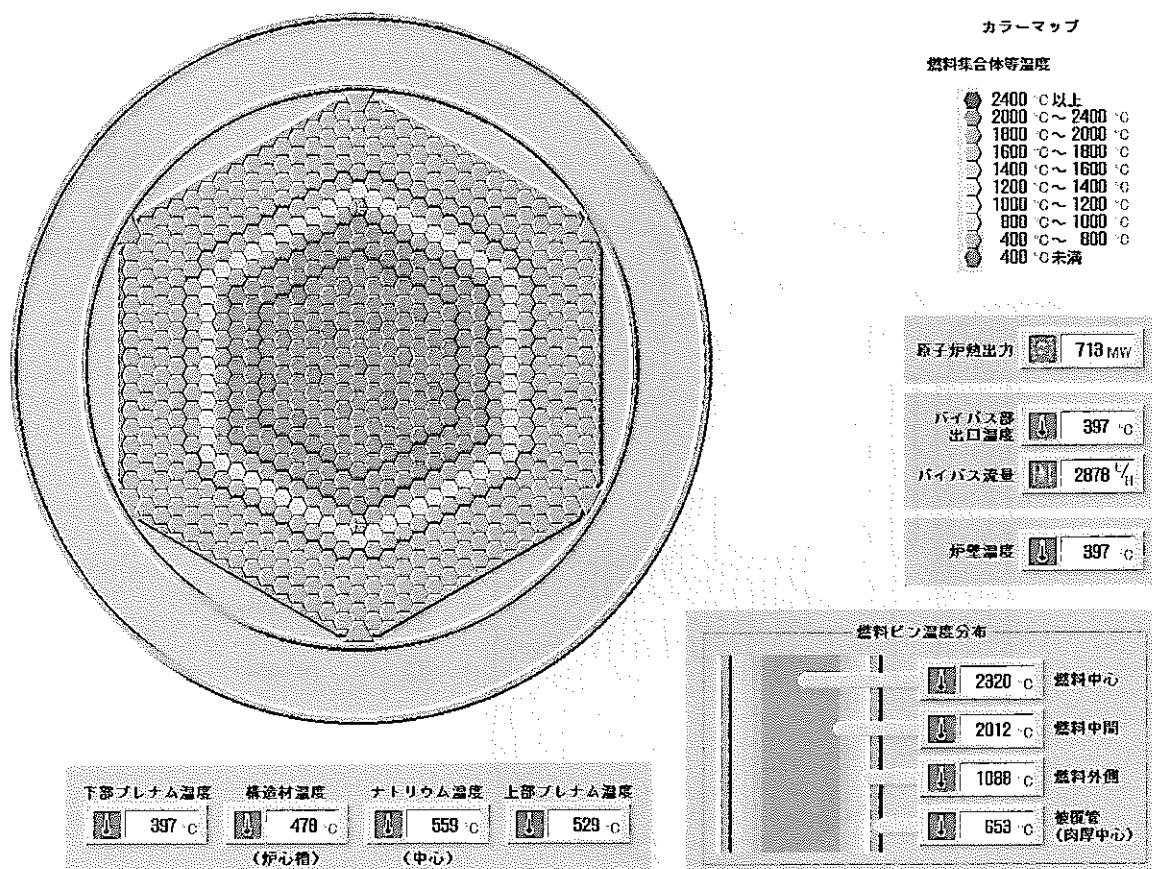


図-7 炉心水平断面表示

蒸発器／過熱器状態表示

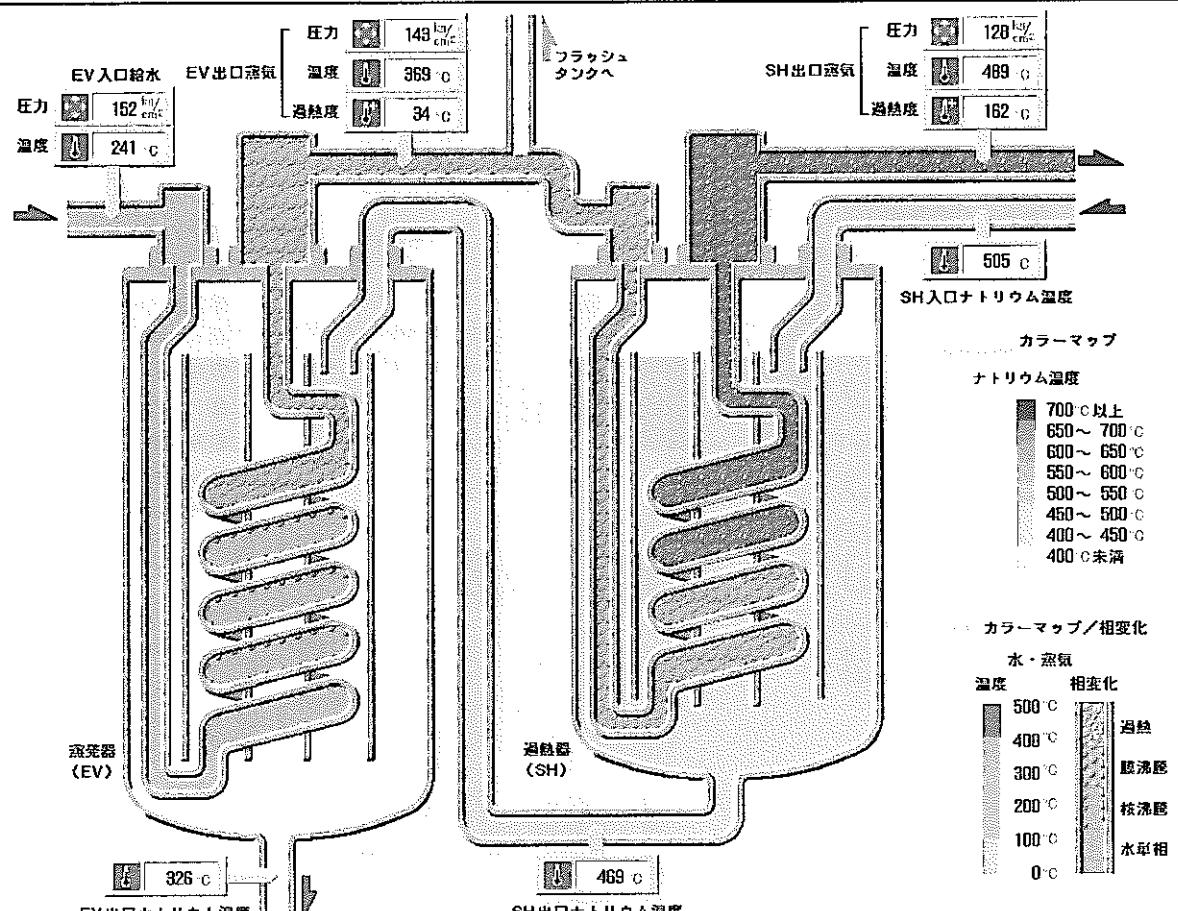


図-8 蒸発器／過熱器状態表示

制御棒位置表示

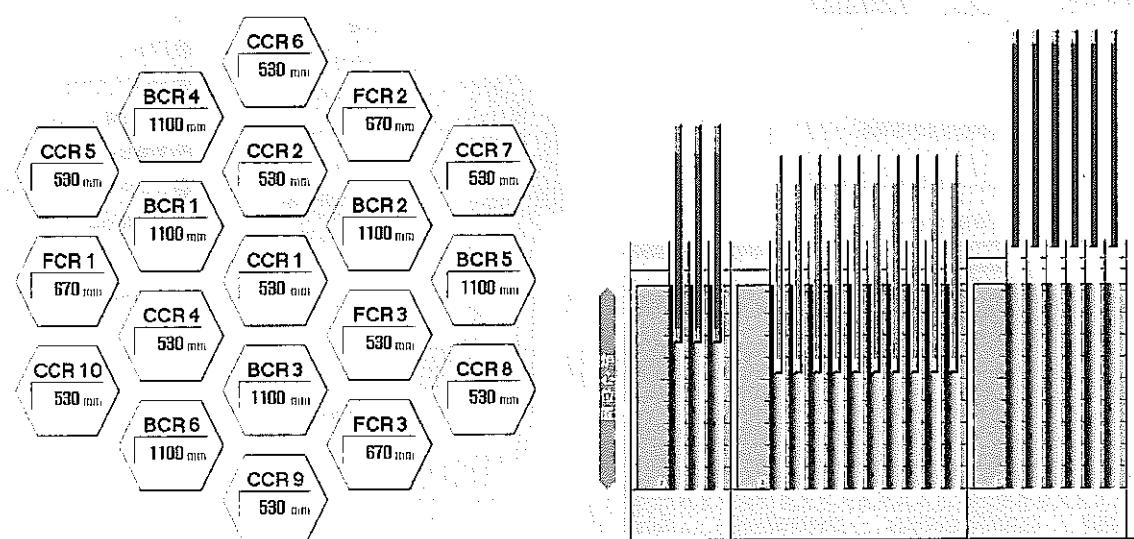


図-9 制御棒位置表示

制御棒駆動機構

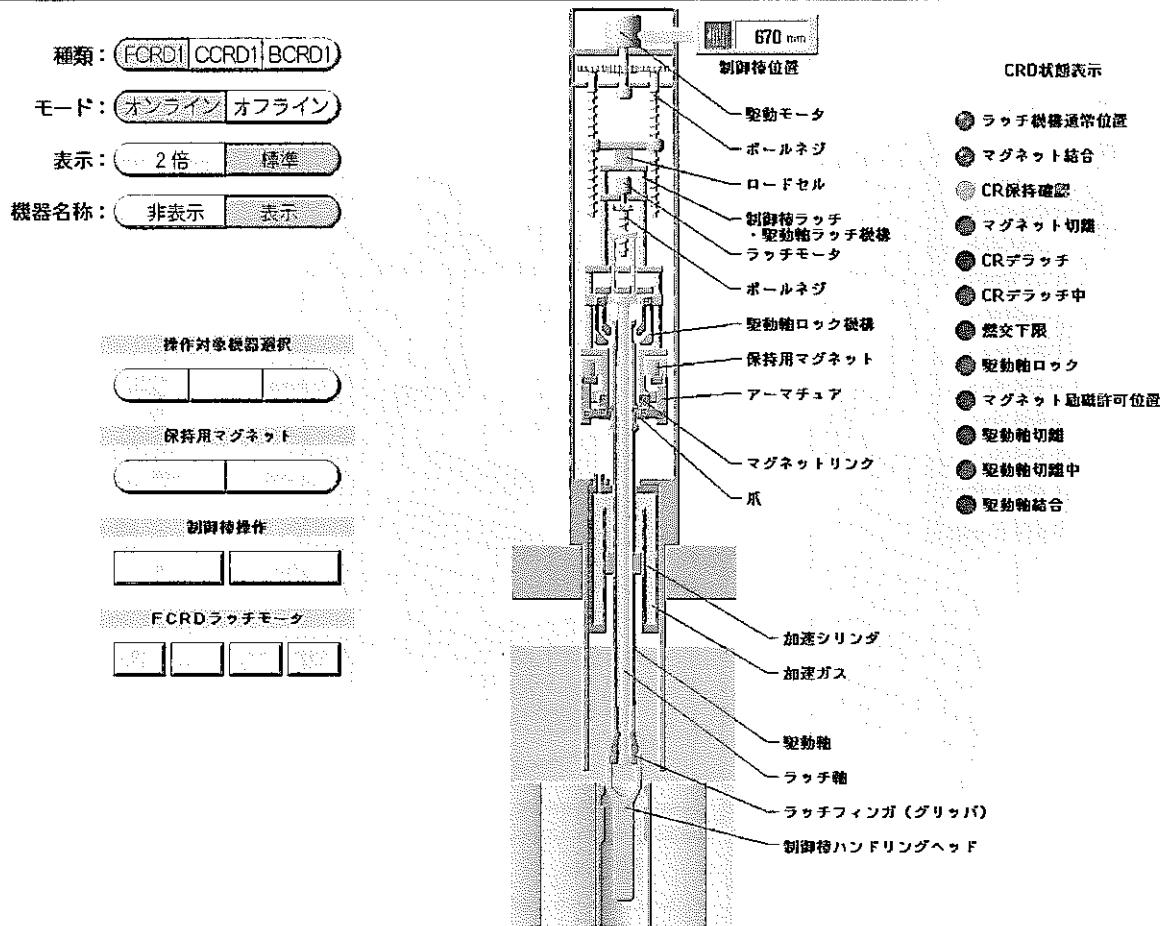


図-10 制御棒駆動機構 (FCRD)

制御棒駆動機構

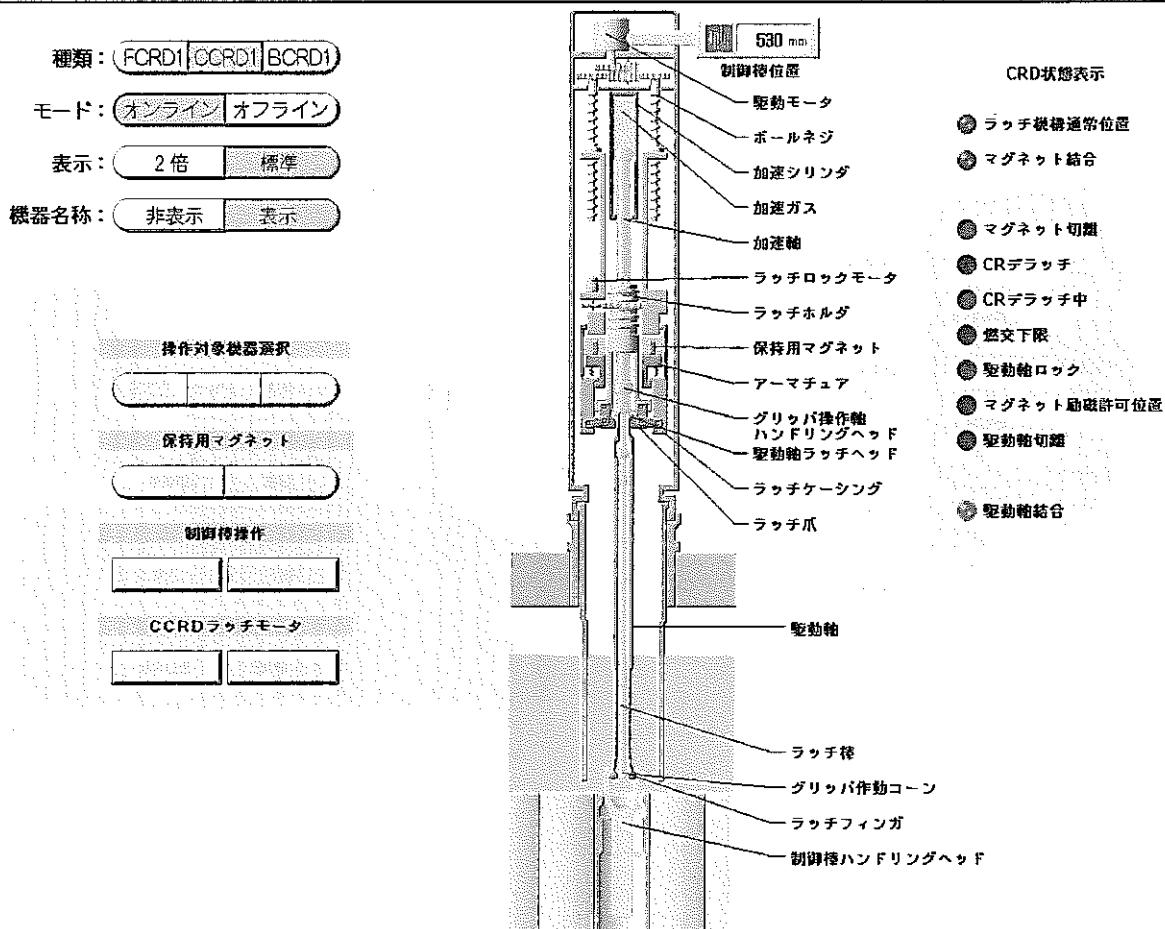


図-11 制御棒駆動機構 (CCRD)

制御棒駆動機構

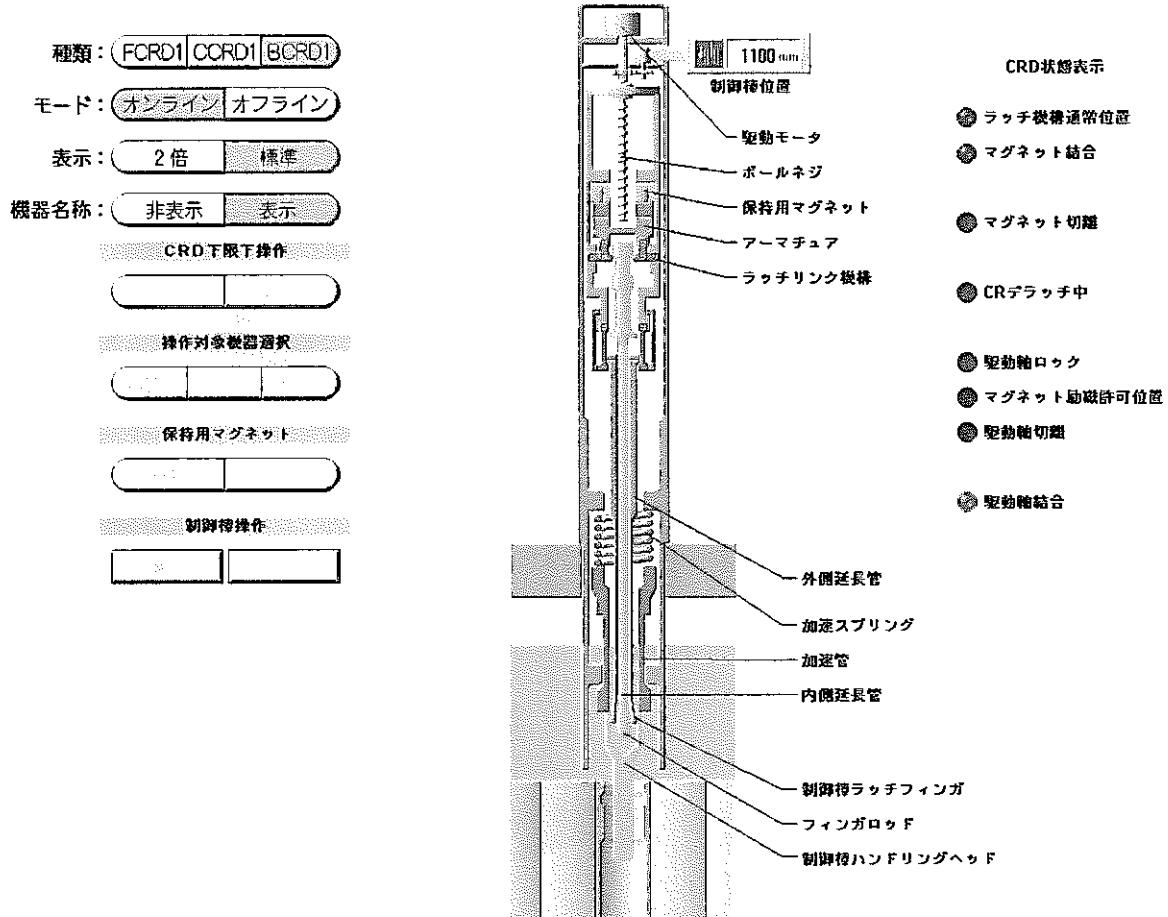


図-12 制御棒駆動機構 (BCRD)

タービン制御弁

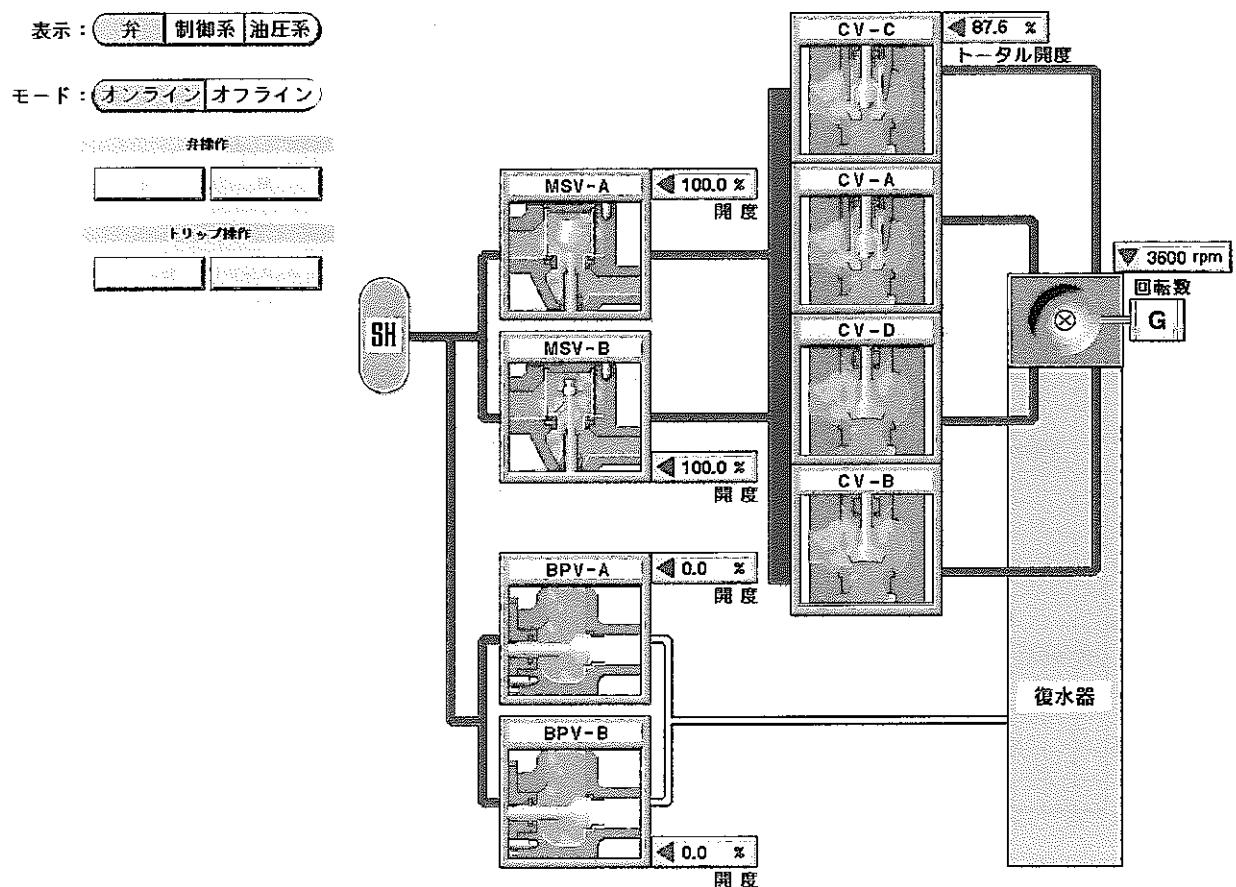


図-13 タービン制御弁
-41-

表示：弁 制御系 油圧系

モード：オンライン オフライン

動作

タービンバイパス-A弁

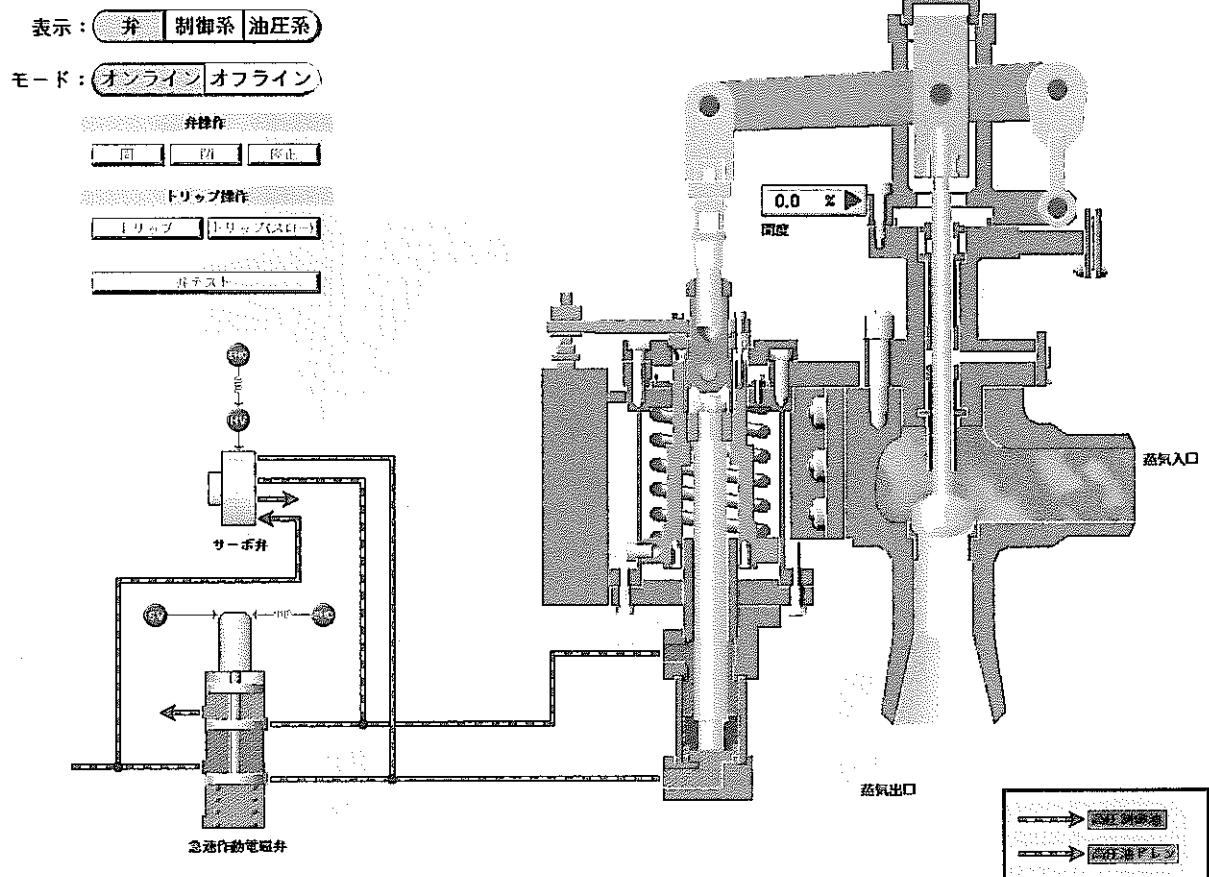


図-16 タービンバイパス(BPV)弁A弁

MSV-A弁

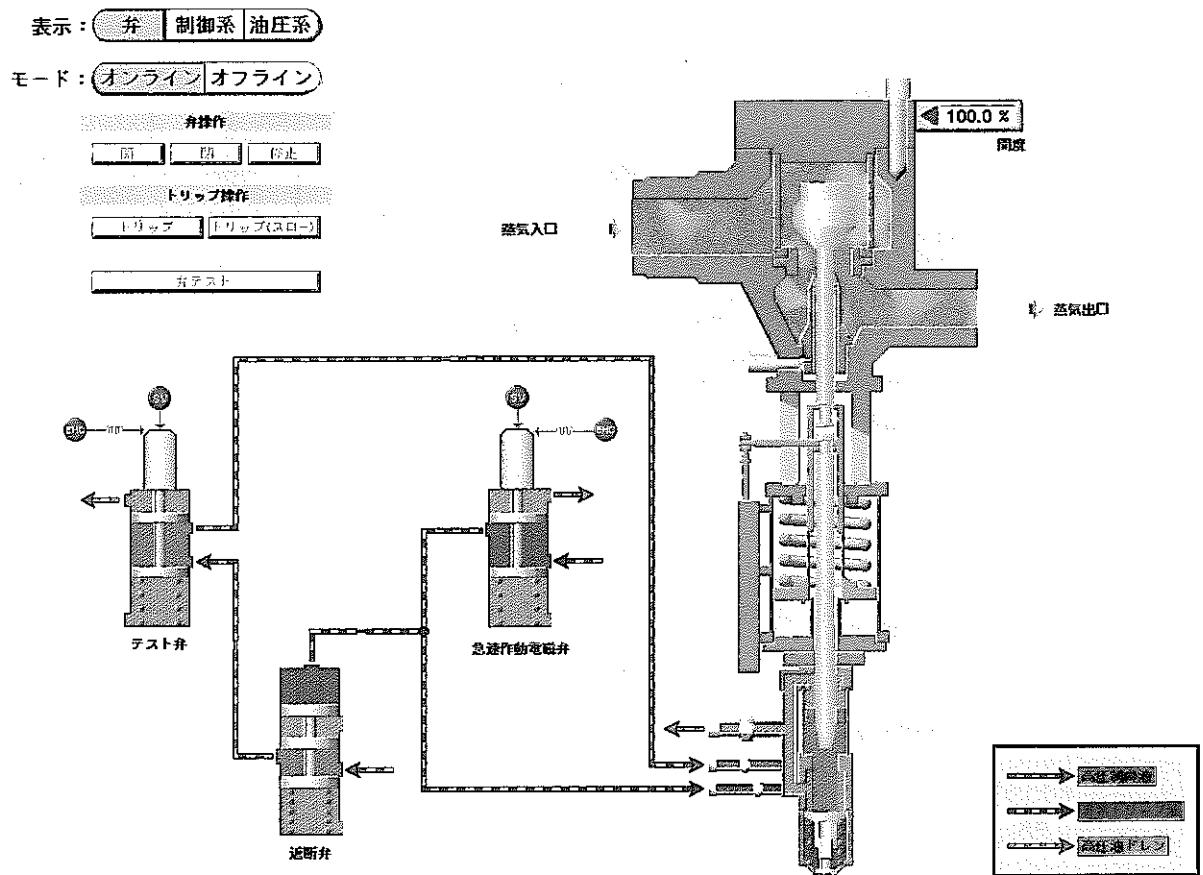


図-17 主蒸気止弁 (MSV) A弁

表示：弁 制御系 油圧系

モード：オンライン オフライン

弁操作

開 閉 待

トリップ操作

トリップ リリフ(GA)→

再起動

蒸気入口

100.0 %

開度

蒸気出口

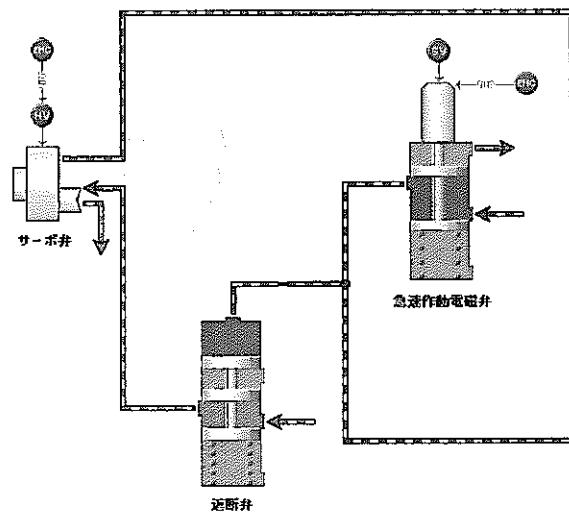


図-18 主蒸気止弁 (MSV) B弁

タービン制御系

表示：弁 制御系 油圧系

モード：オンライン オフライン

圧力設定

減 増

圧力設定

116.9 kg/cm²

主蒸気圧力

126.9 kg/cm²

10.0

100.5

バイアス

-0.625

BPVオープニングジャッキ設定

0.0 %

BPV流量指令

0.0 %

負荷設定

減 増

負荷制限

減 増

BPVオープニングジャッキ設定

減 増

速度設定

保持 低速 中速 高速

全弁閉 400rpm 900rpm 3600rpm

F/A/P/A切替

全周噴射 部分噴射

フィードバック計算スロー

ON OFF

起動時速度

設定機能

設定加速度

低速

設定速度

3600 rpm

実速度

3600 rpm

定格設定速度

3600 rpm

圧力調定率

100.5

HVG

0.0

CV流量指令

100.0 %

LVG

0.0

CV調定率

0.0

LVG

110.6

負荷設定

110.6 %

負荷設定機能

負荷制限

105.1 %

MSV流量指令

100.0 %

図-19 タービン制御系

非常トリップ装置

表示：弁 制御系 油圧系

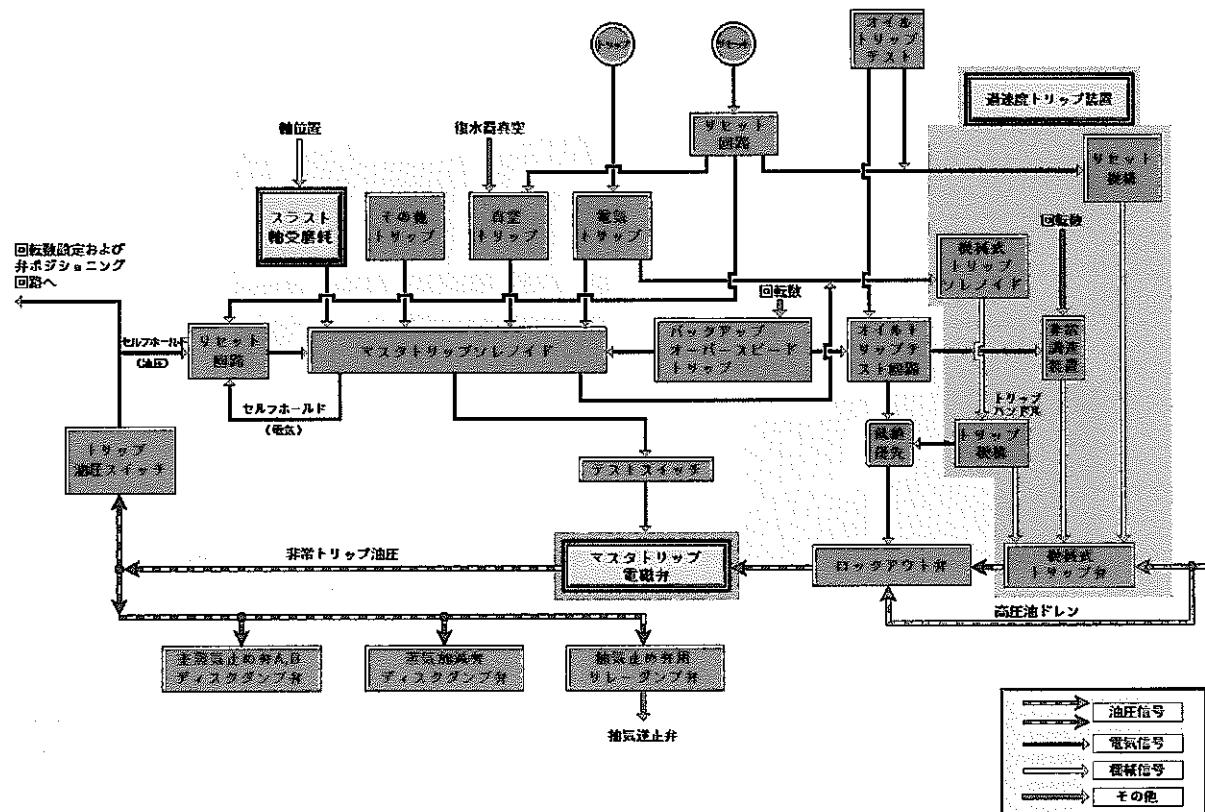


図-20 非常トリップ装置

スラスト軸受摩耗検出装置

表示：弁 制御系 油圧系

モード：オンライン オフライン

動作

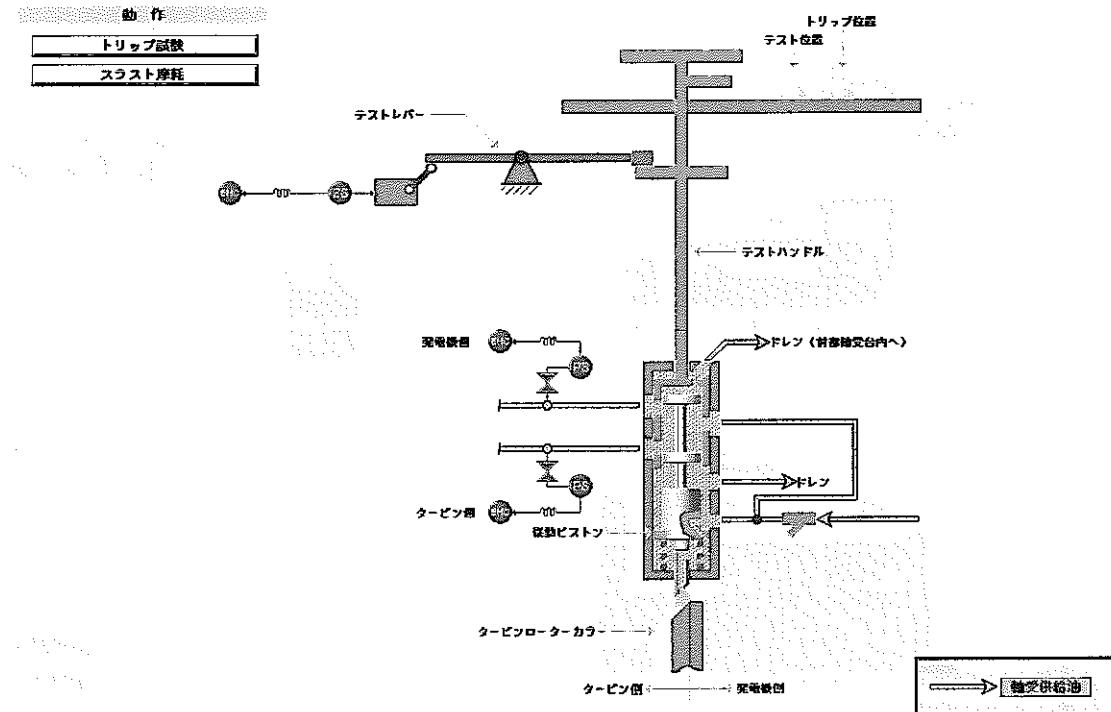


図-21 スラスト軸受摩耗検出装置

表示：弁 制御系 油圧系

モード：(オンライン オフライン)

操 作
トリップ
マスクトリップAテスト
マスクトリップBテスト
ロックアウトによるオイルトリップ試験
リセット

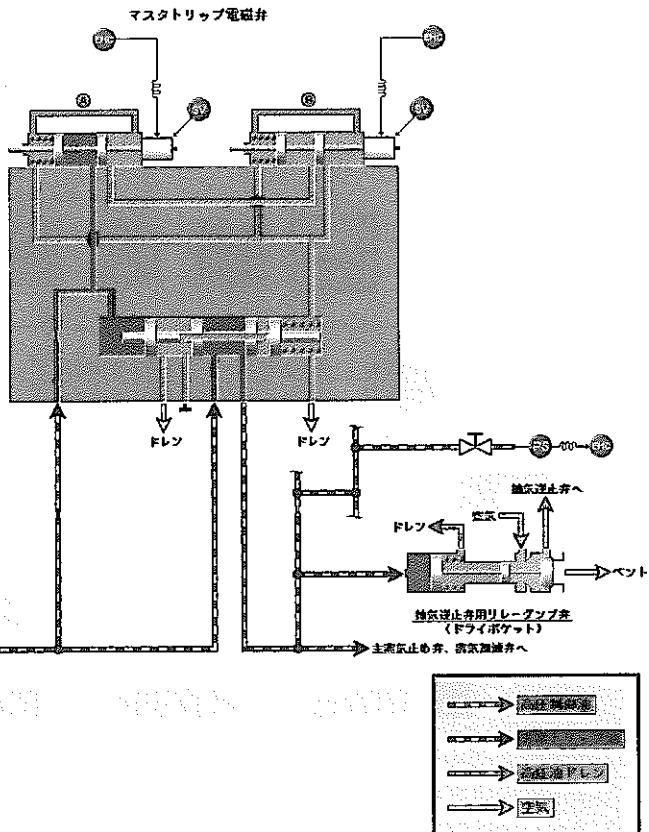
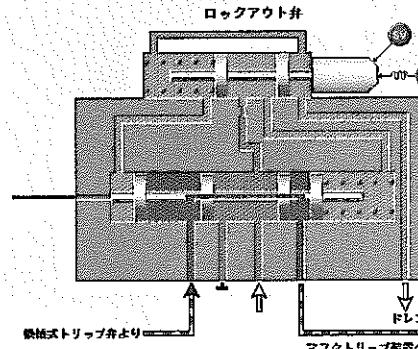


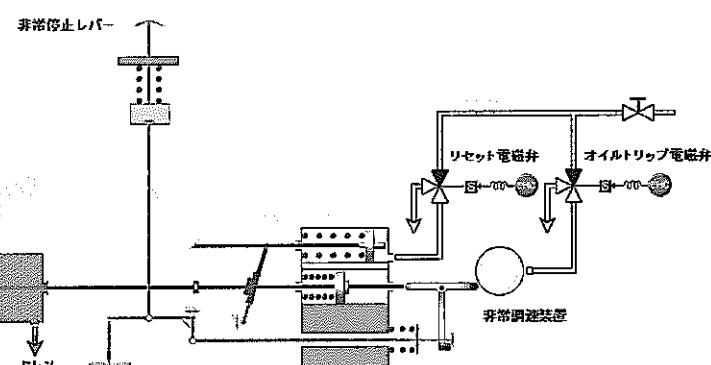
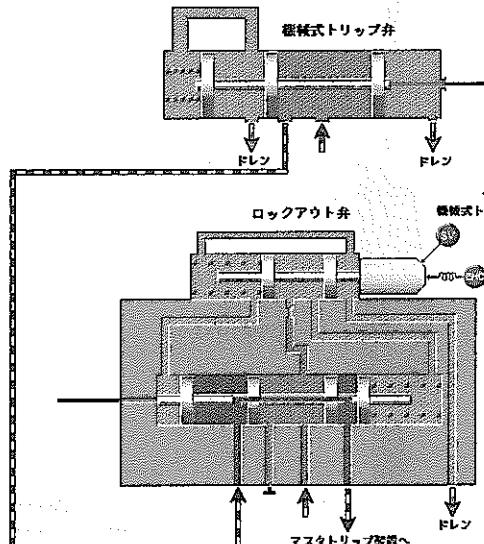
図-22 マスタトリップ電磁弁

ロックアウト弁・過速度トリップ装置

表示：弁 制御系 油圧系

モード：(オンライン オフライン)

- 動作
- 111%過速度
- ログアウトによるオイルトリップ試験
- 非常停止レバー操作
- 座式トリップソレノイド
- リセット



過速度トリップ装置

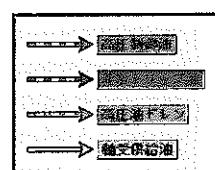


図-23 滑速度トリップ装置

1次主冷却系循環ポンプ

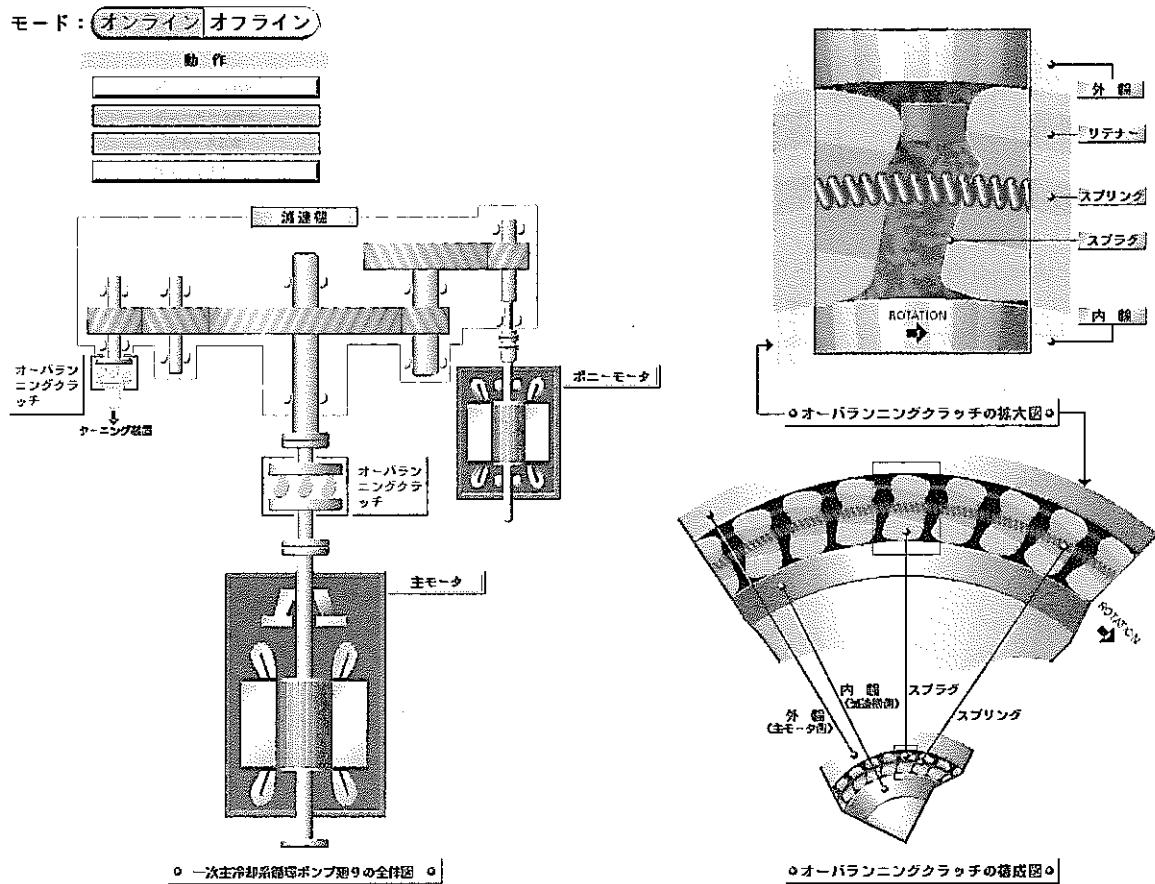


図-24 1次主冷却系循環ポンプ

起動バイパス系全体構成画面

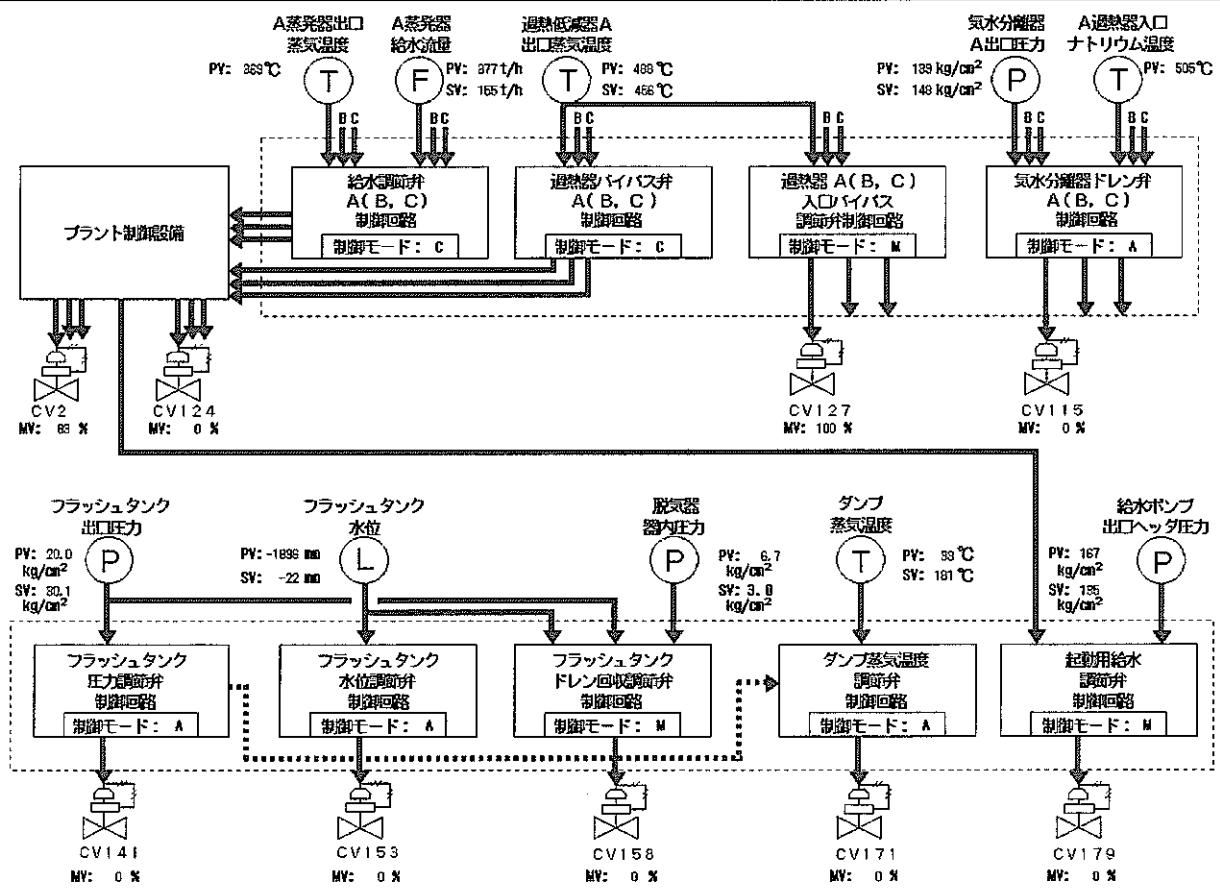


図-25 起動バイパス系全体構成

給水調節弁

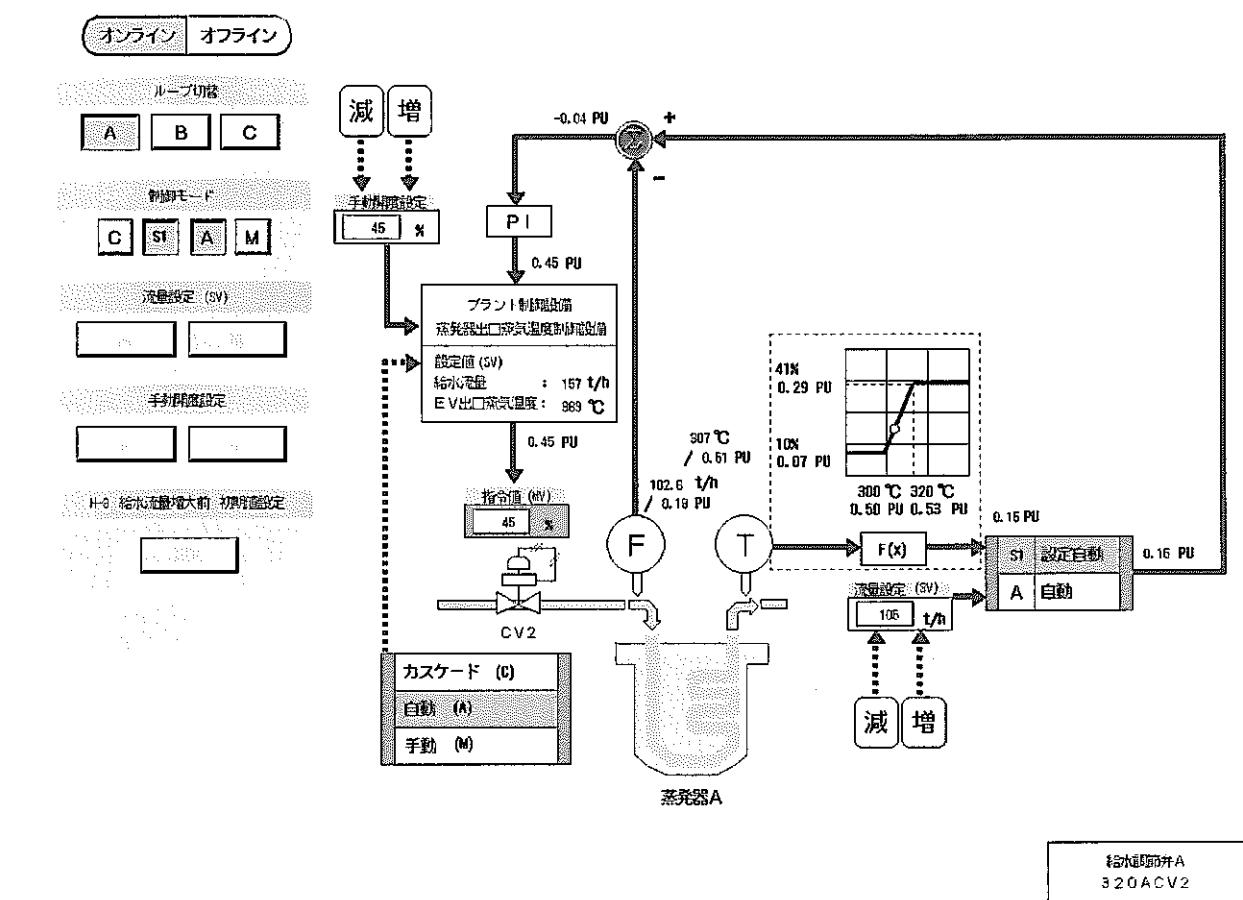


図-26 給水調節弁

過熱器バイパス弁／入口バイパス弁

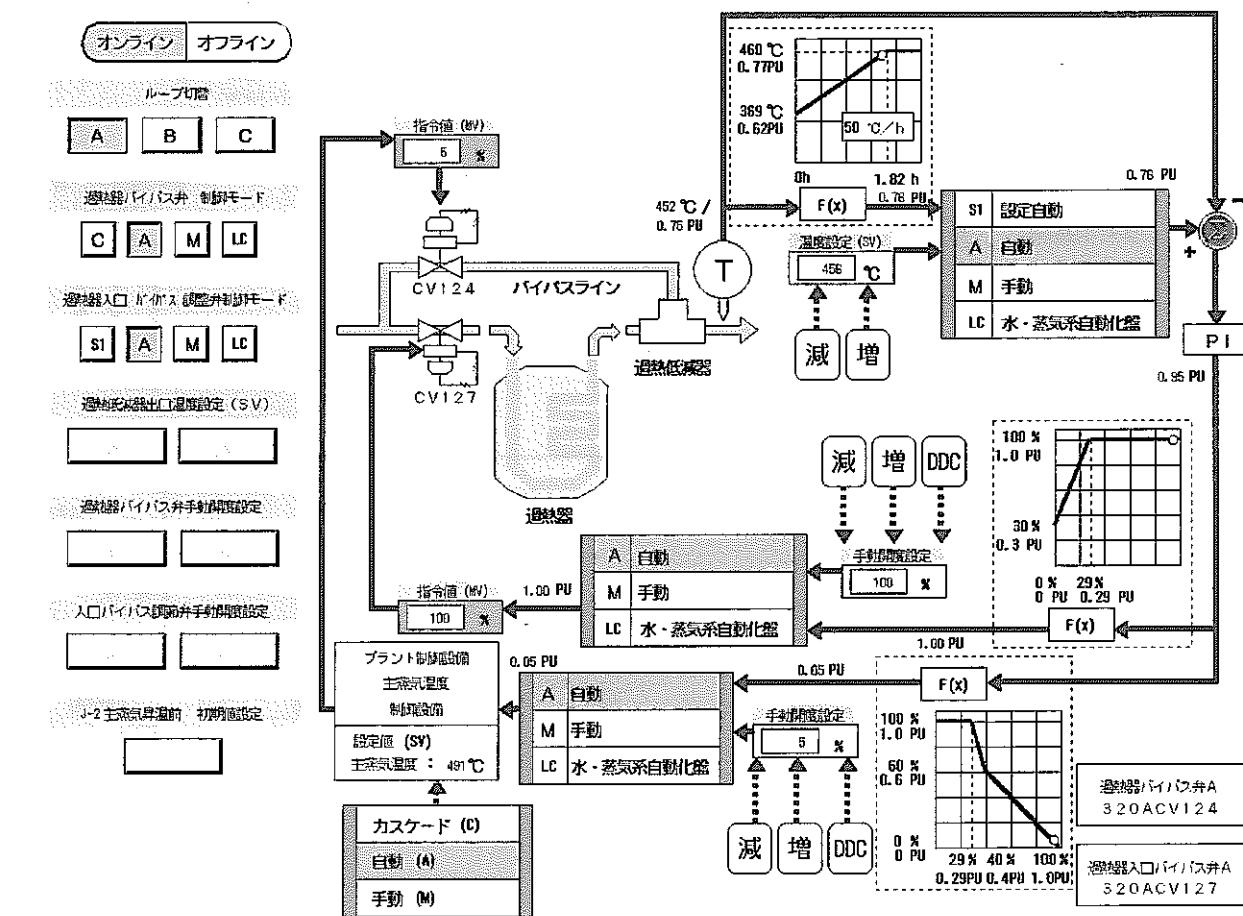


図-27 過熱器バイパス弁／入口バイパス弁

ダンプ蒸気温度調節弁

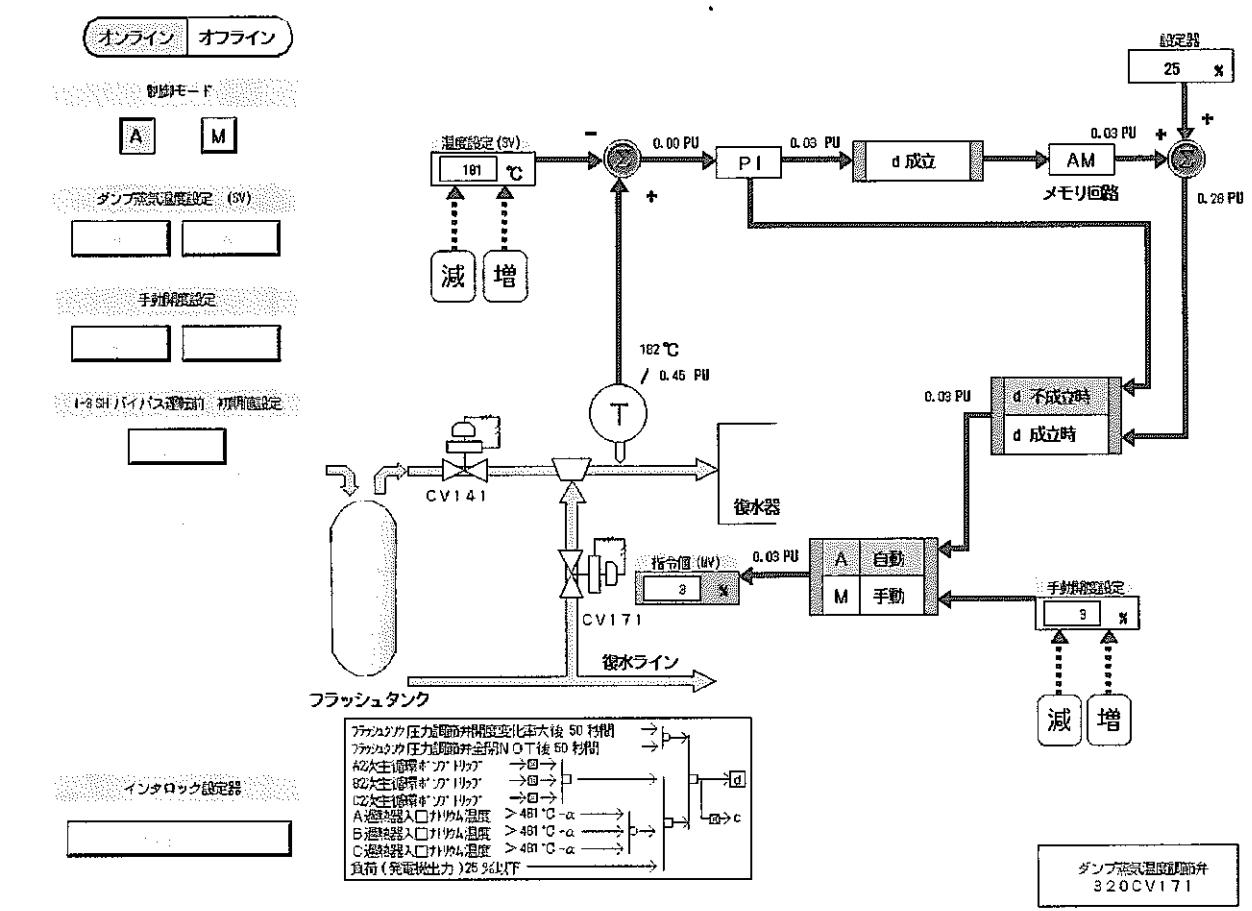


図-28 ダンプ蒸気温度調節弁

気水分離器ドレン弁

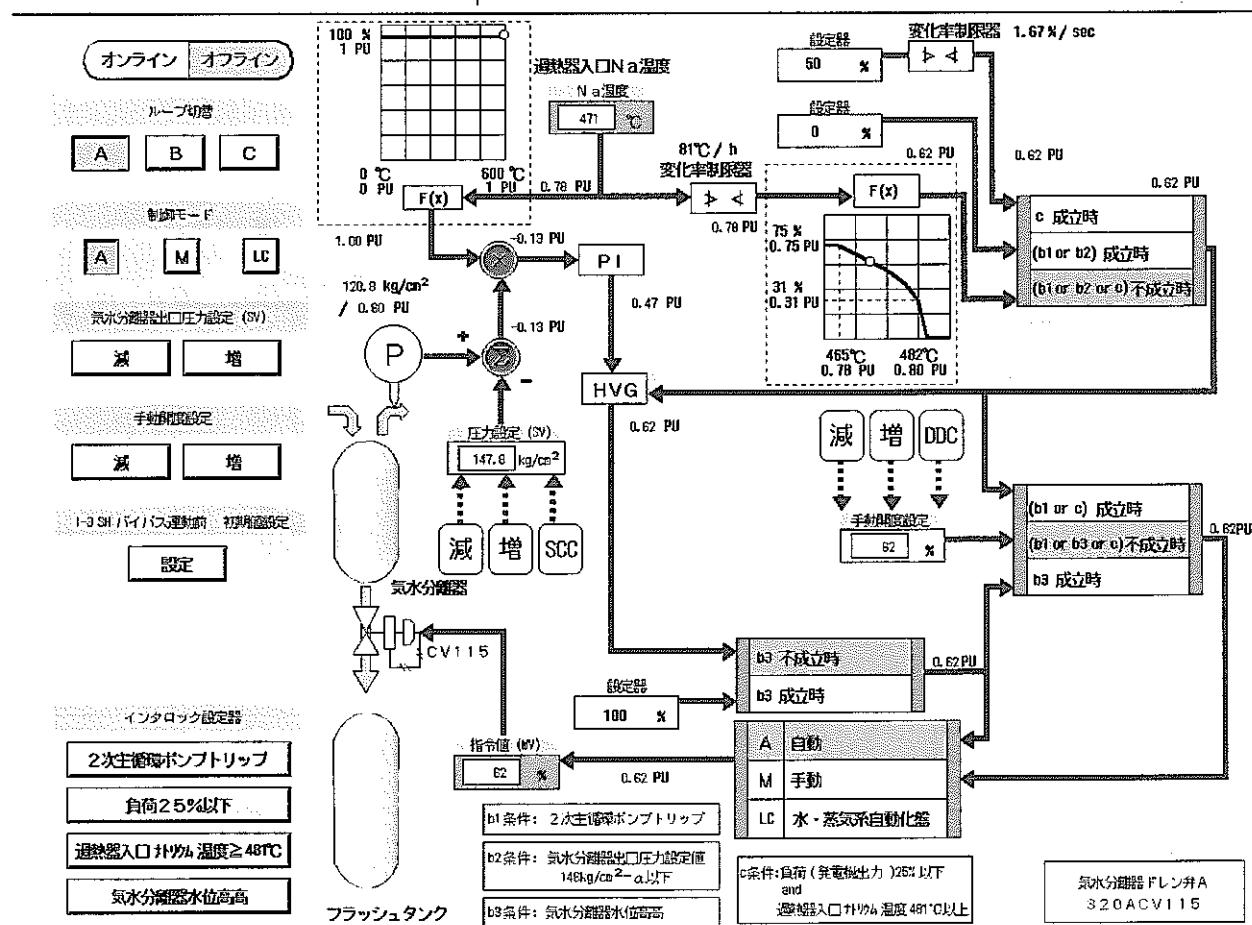


図-29 気水分離器ドレン弁

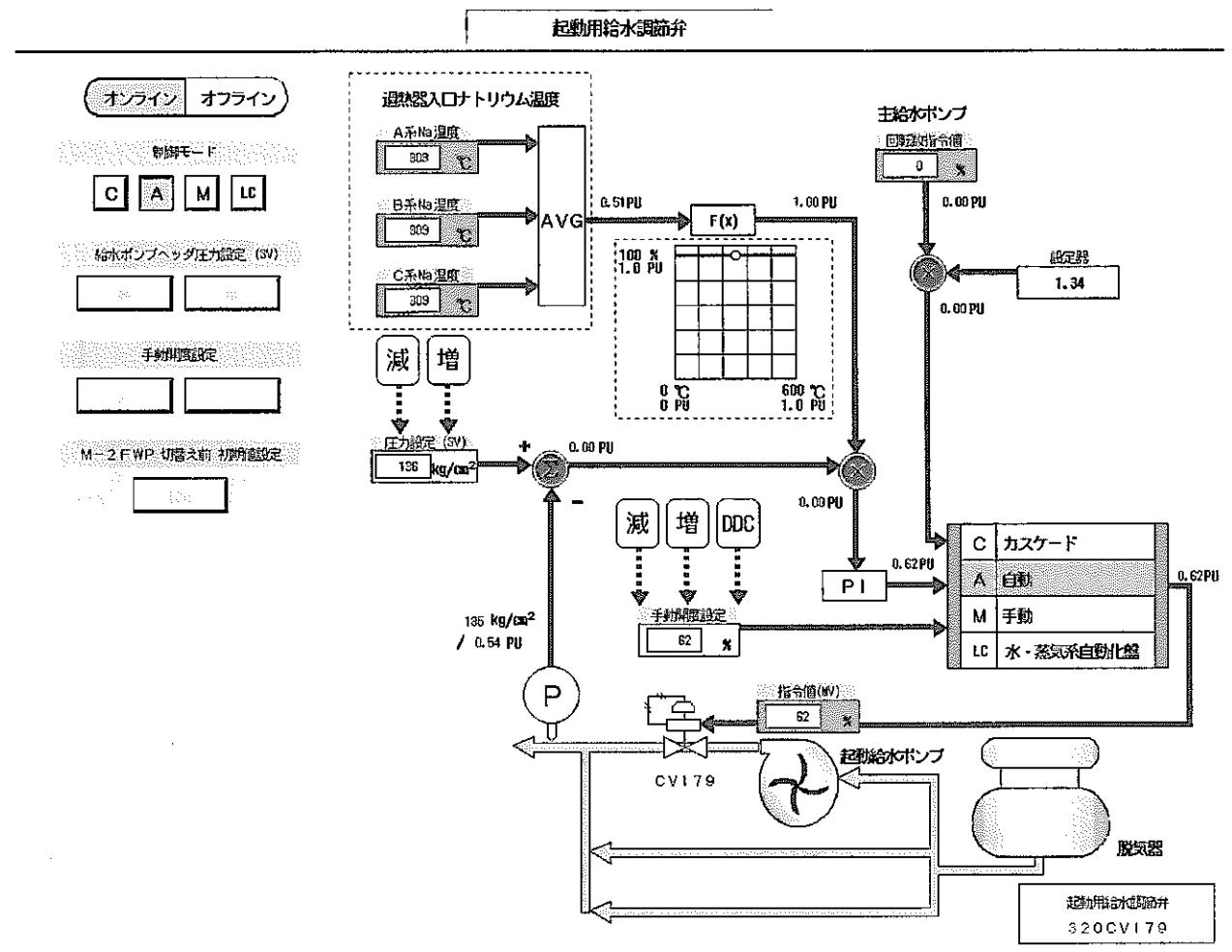


図-30 起動用給水調節弁

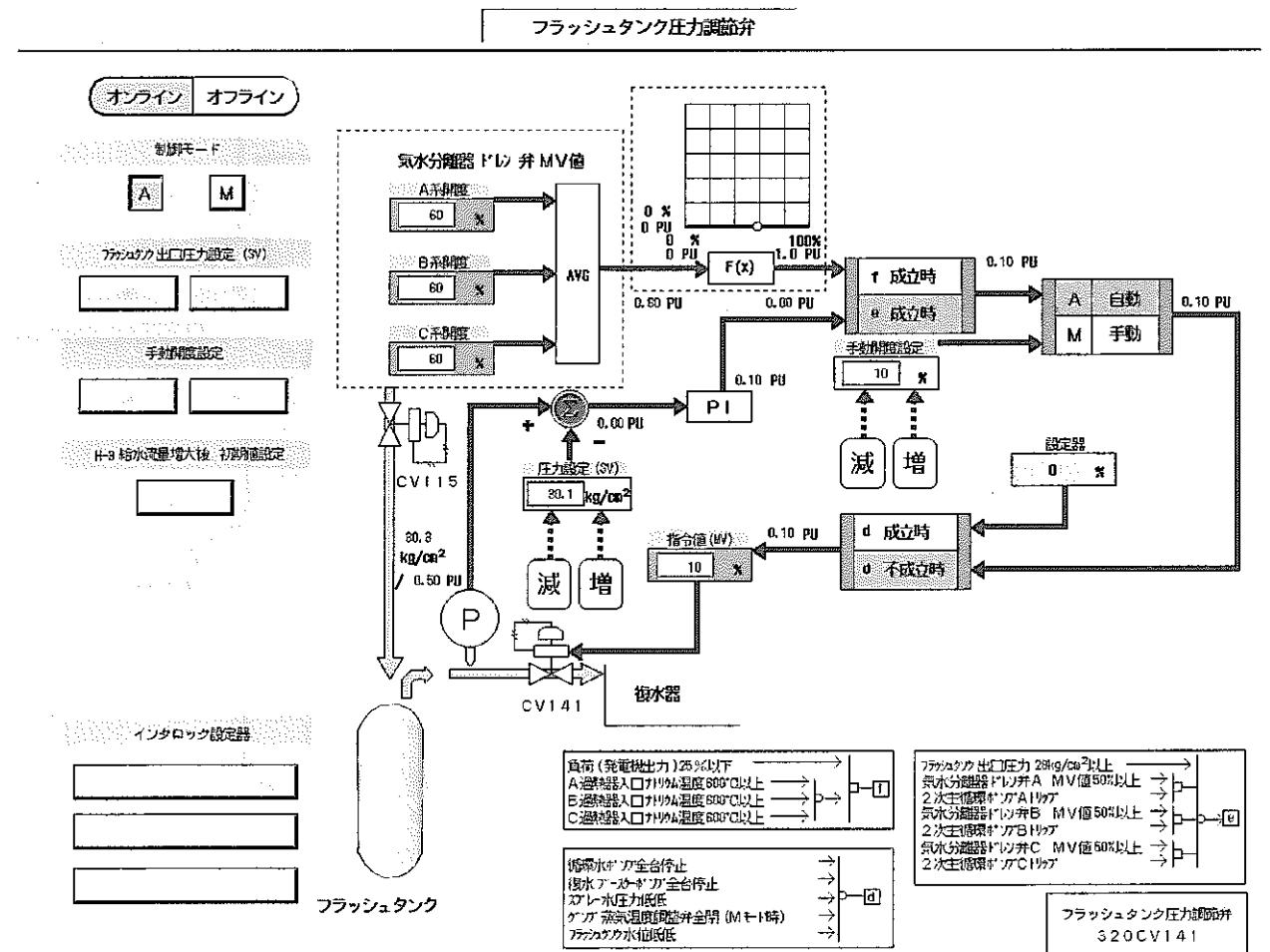


図-31 フラッシュタンク圧力調節弁

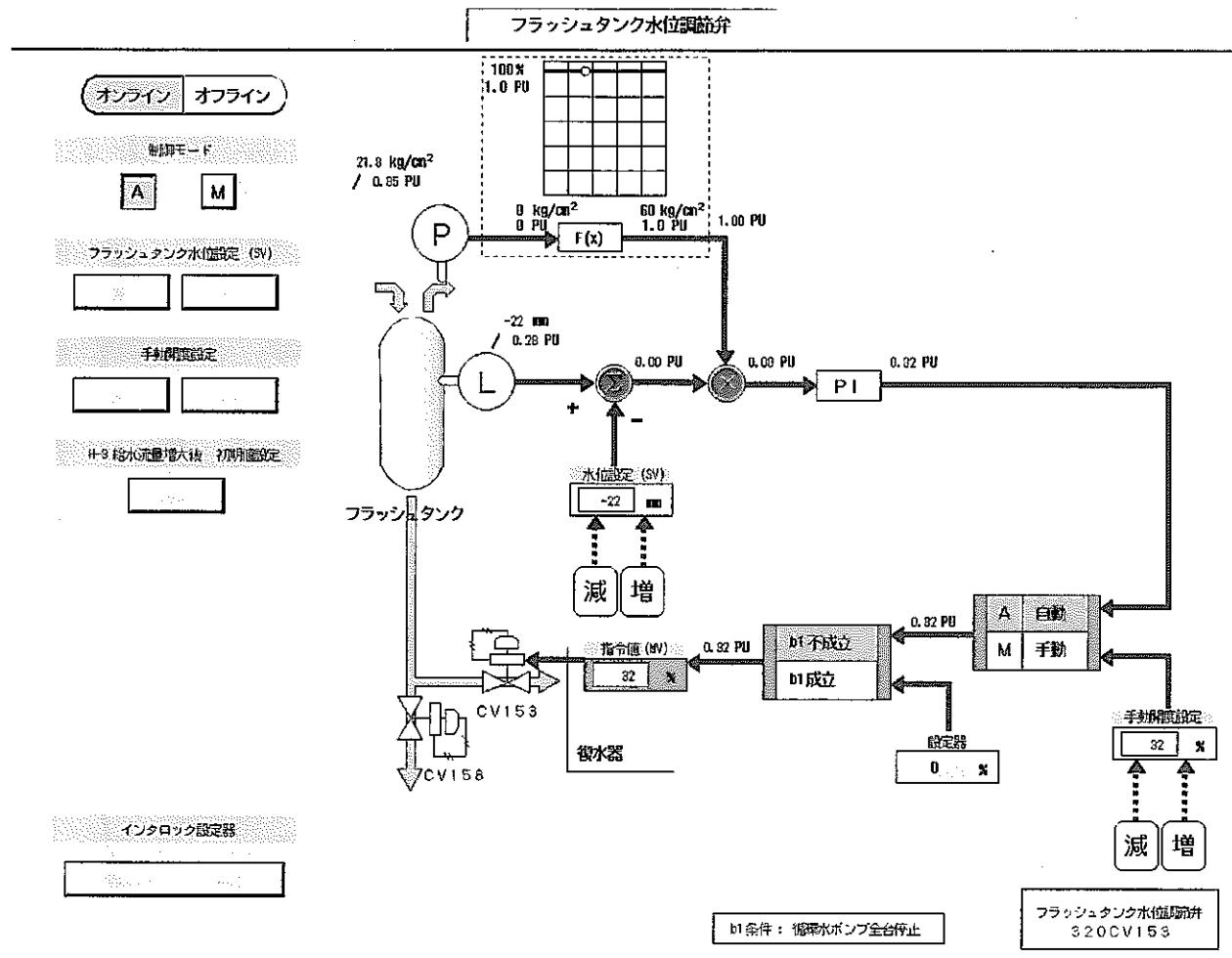


図-32 フラッシュタンク水位調節弁

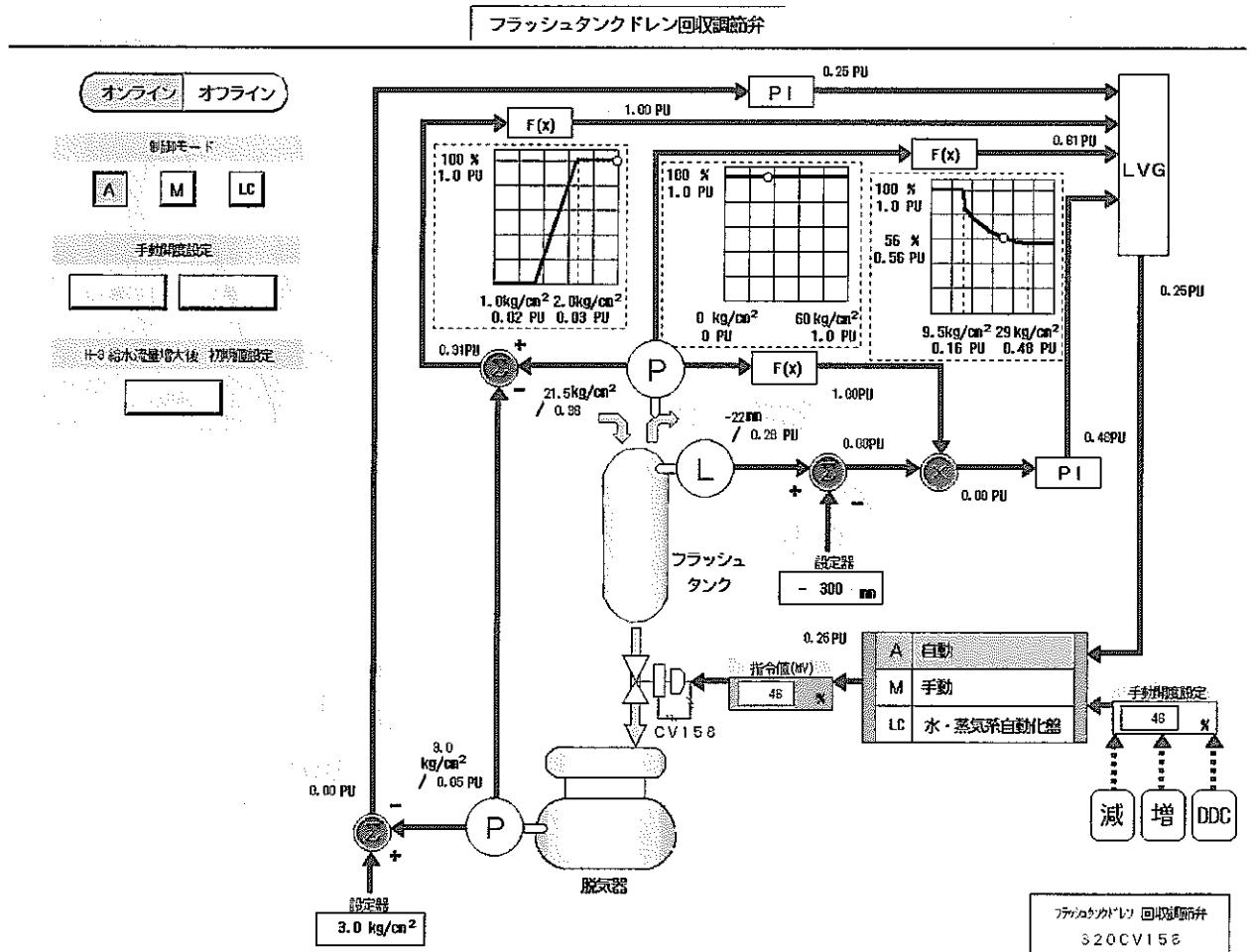


図-33 フラッシュタンクドレン回収調節弁

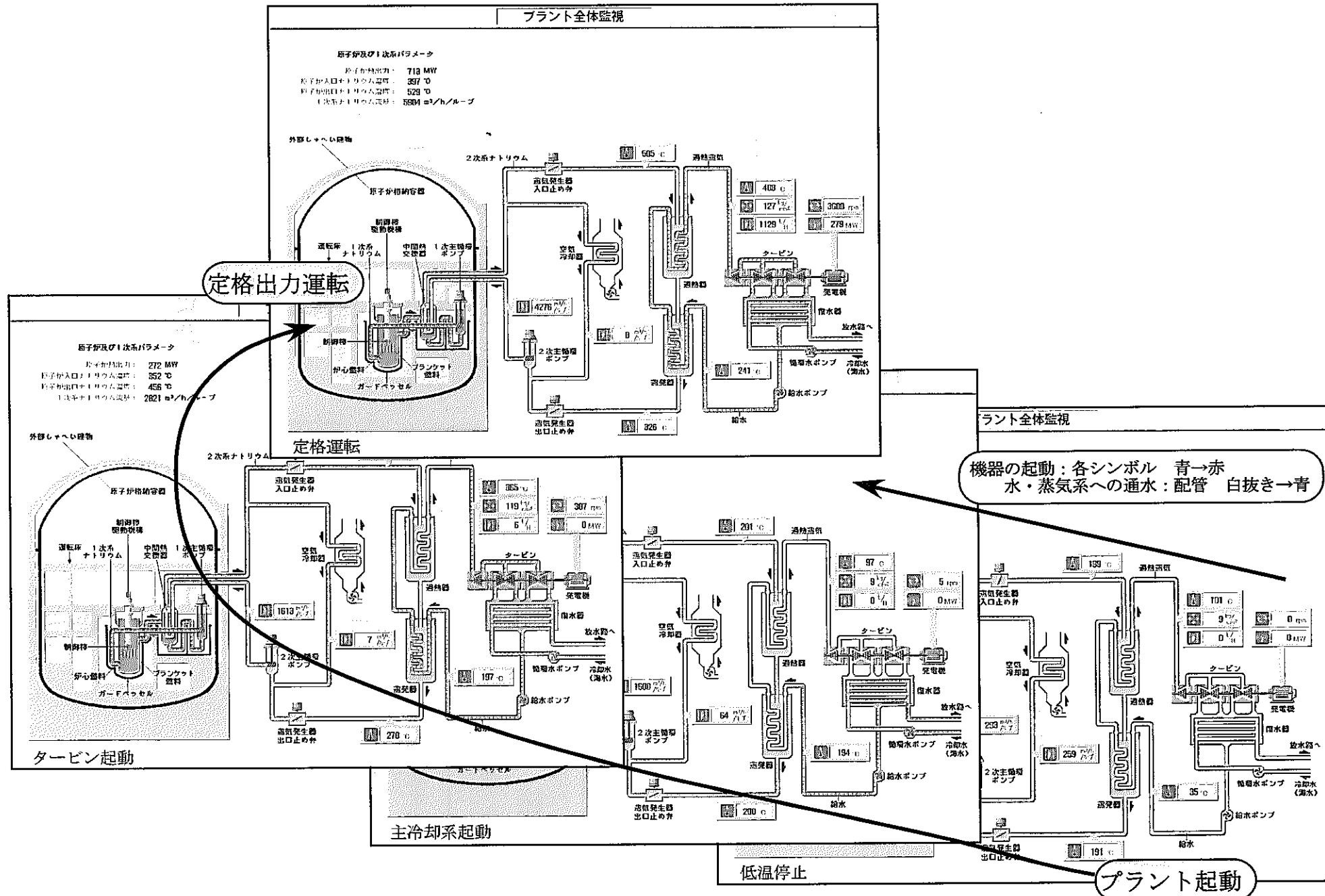


図-34 プラント低温停止状態から定格運転状態までの比較

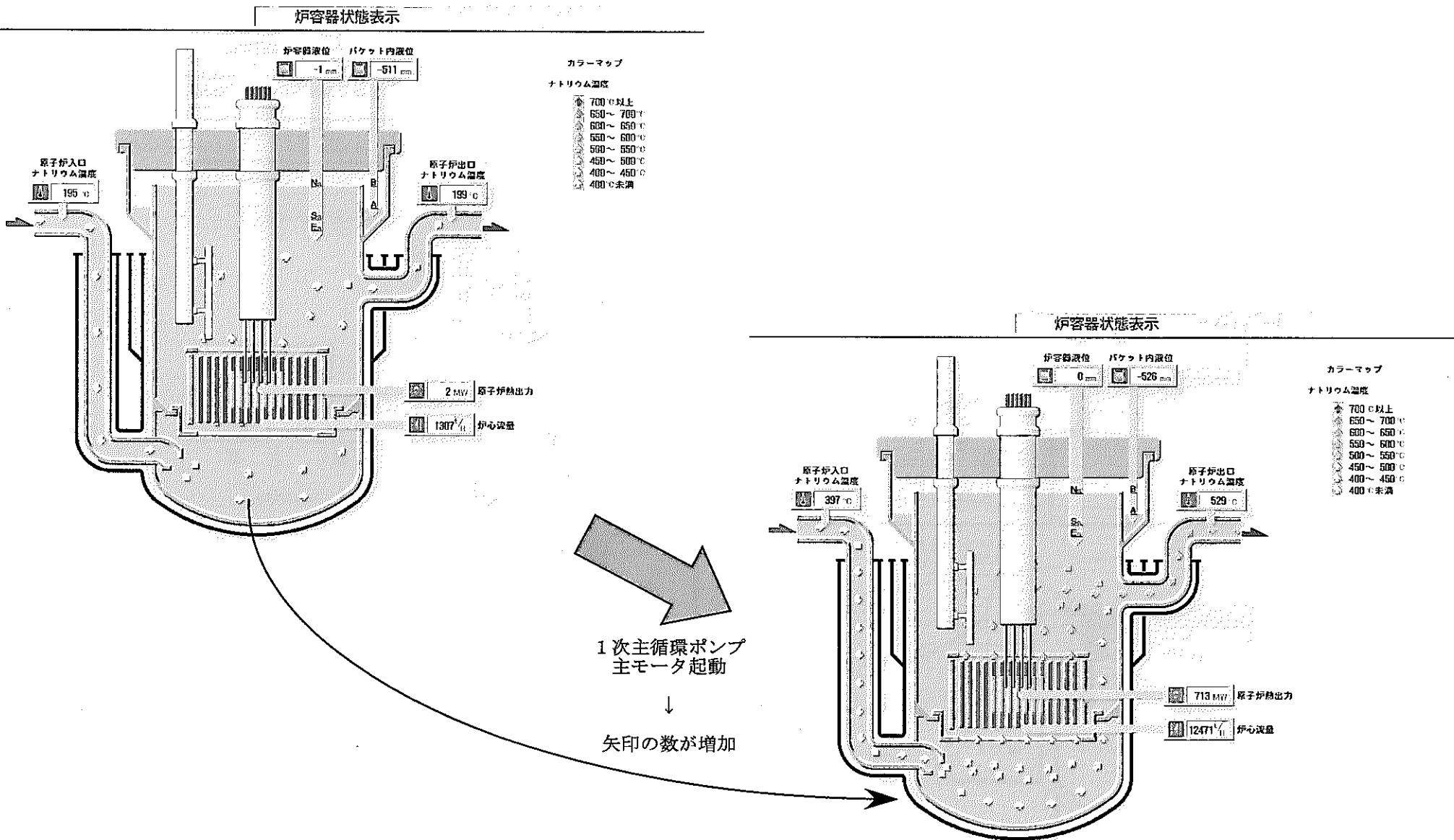


図-35 流量の可視化

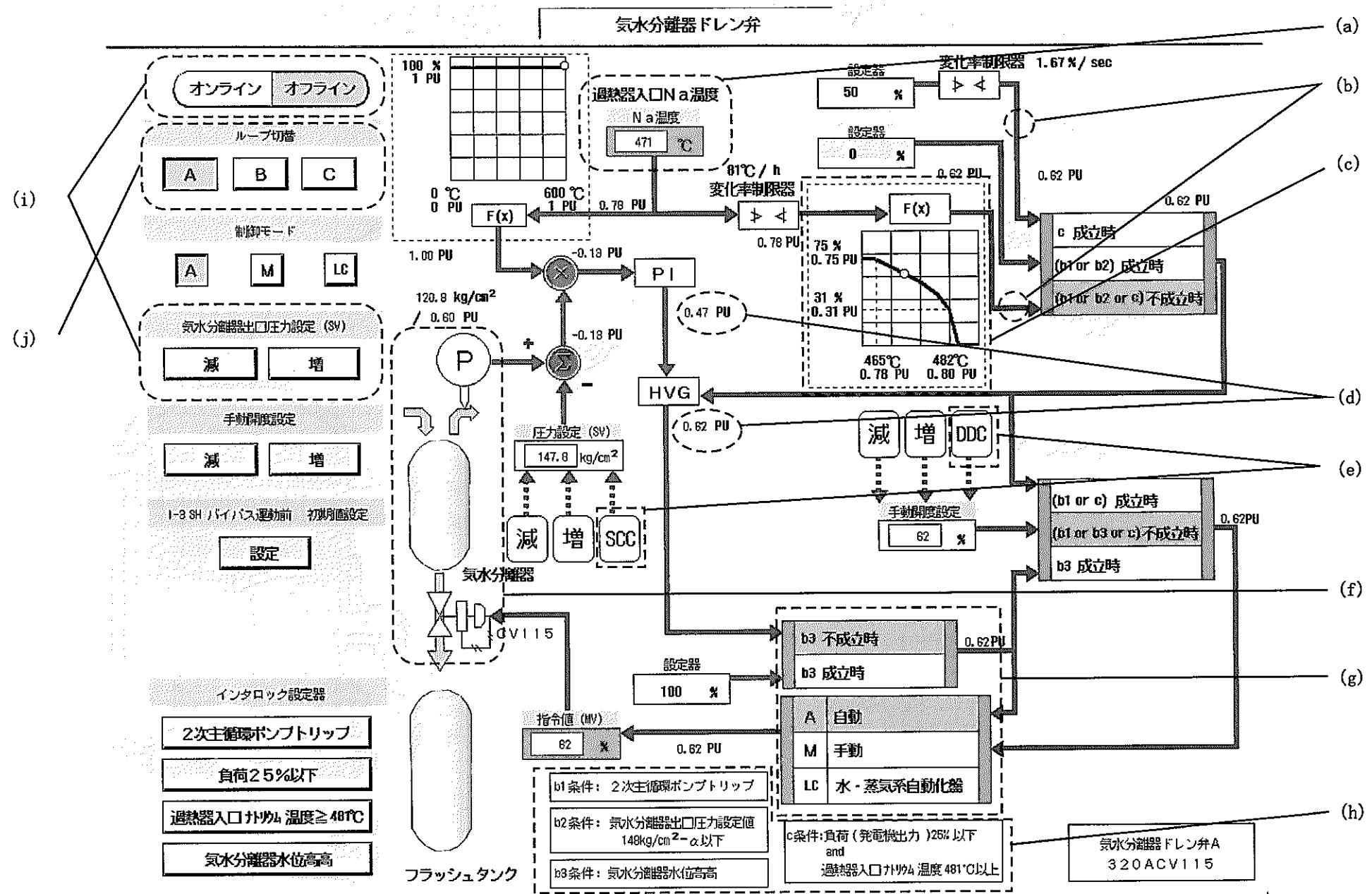


図-36 画面表示機能参考例

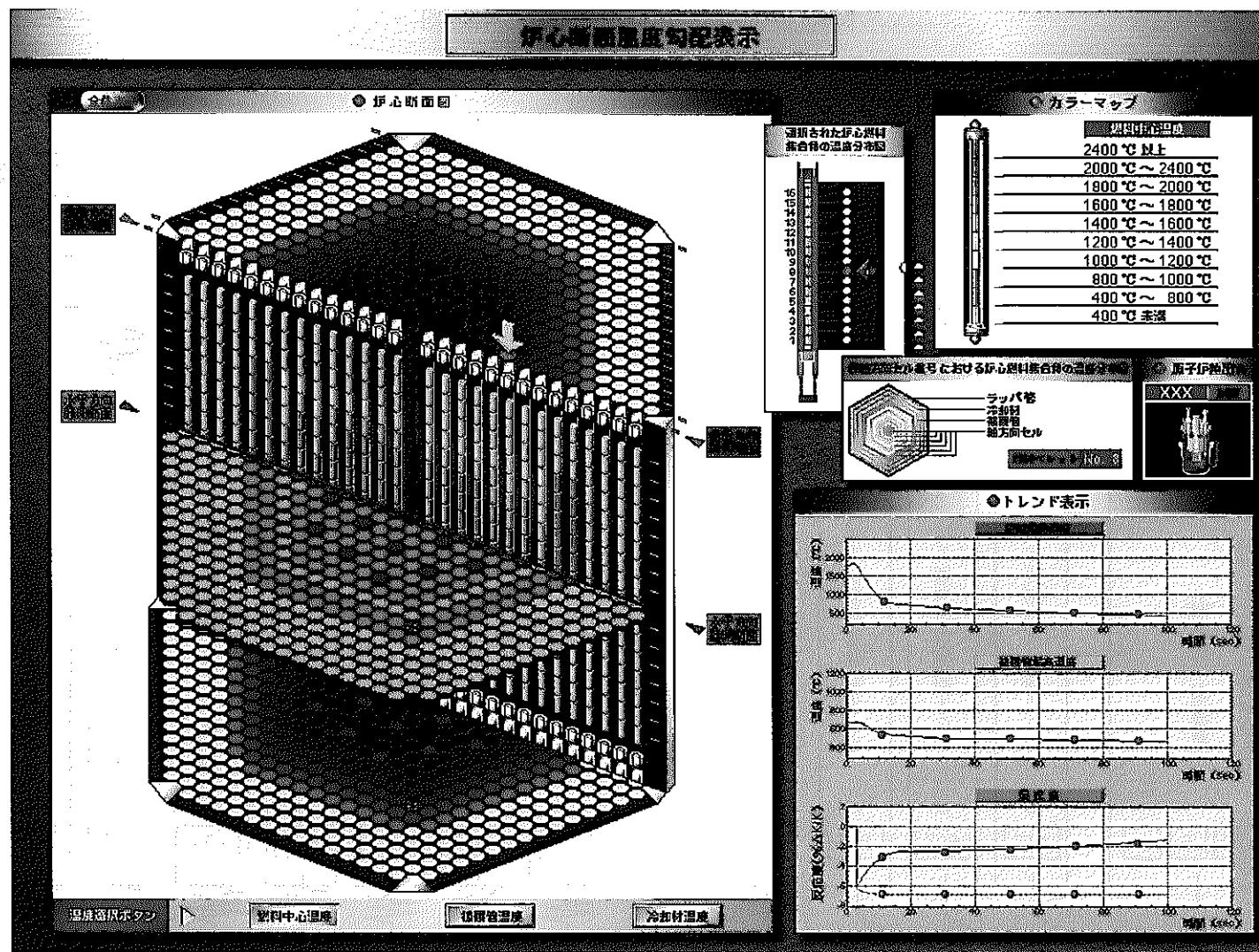
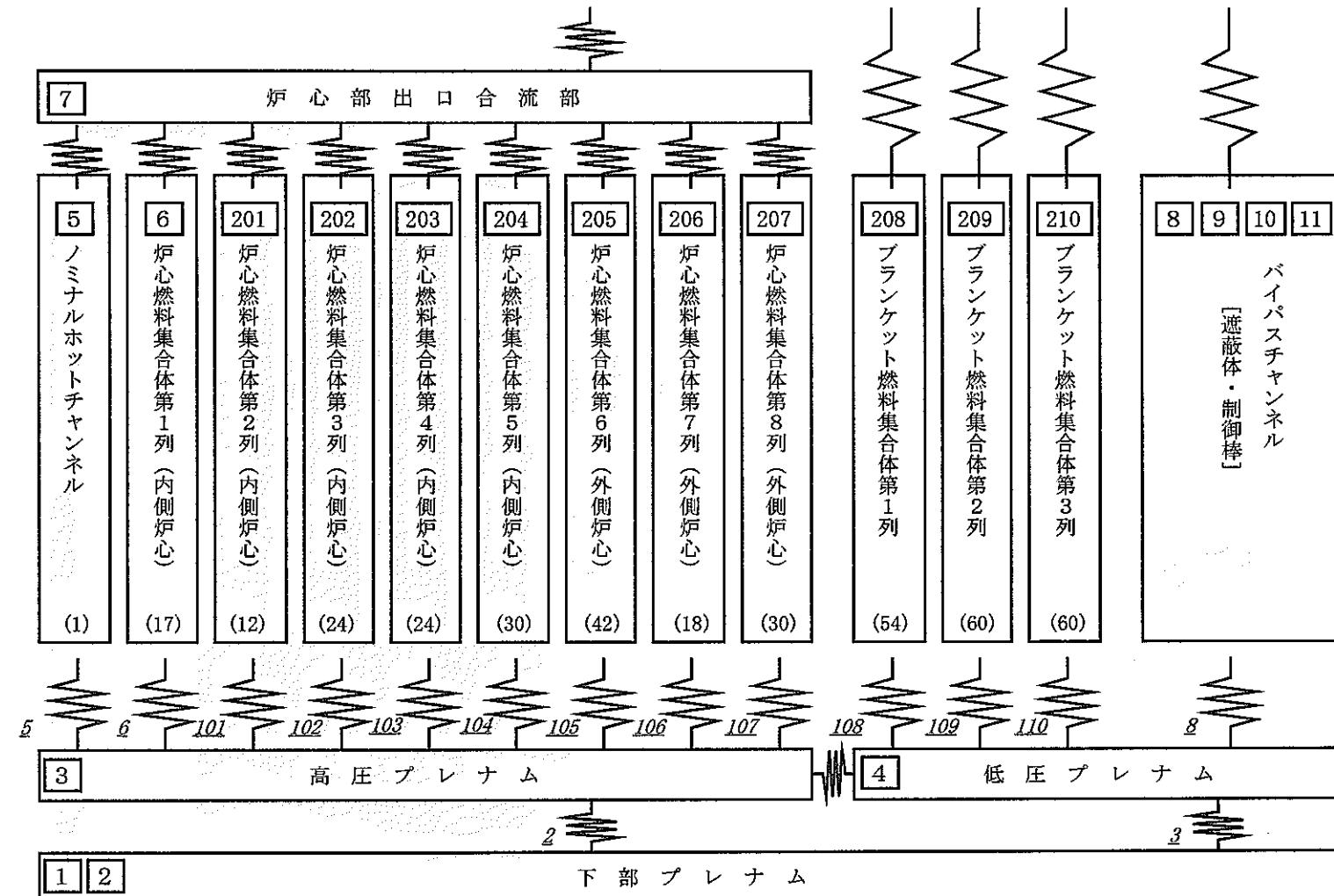


図-37 炉心専用ミニシミュレータ「炉心監視画面」



□内はユニット番号、斜体下線はジャンクション番号、() 内は体数を示す。

図-38 炉心モデルの解析モデル図

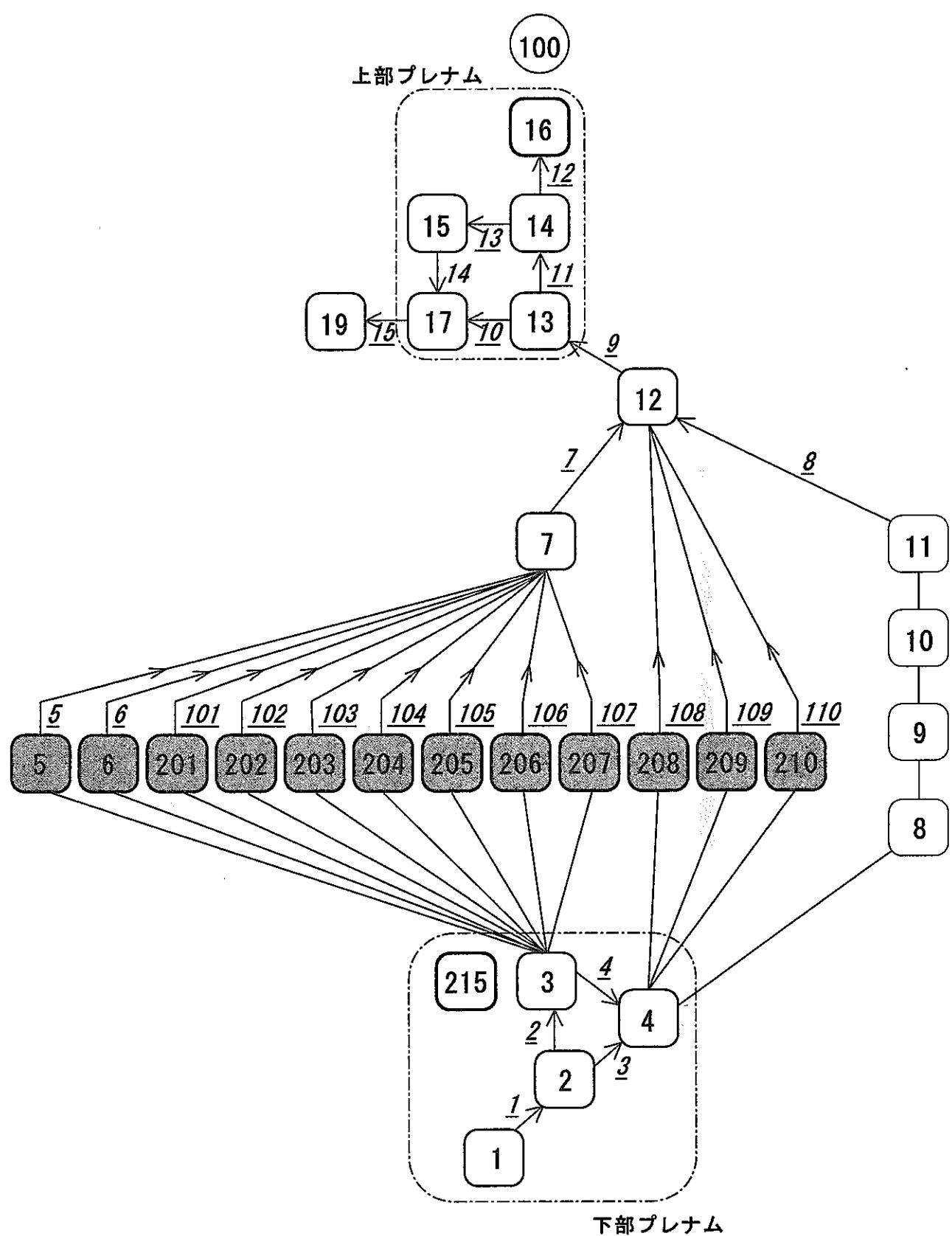


図-39 モデル図（炉心）

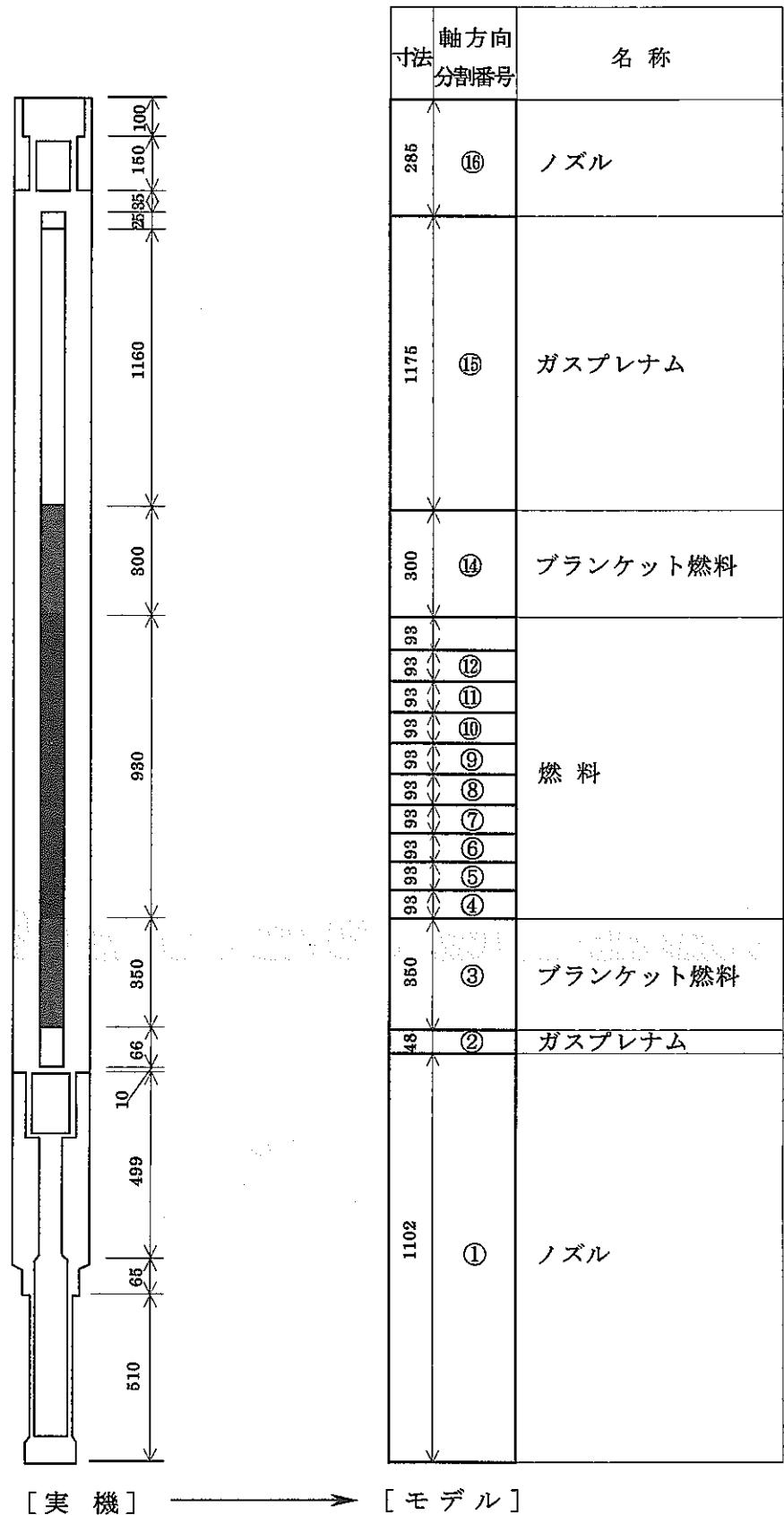


図-40 炉心燃料の軸方向分割モデル

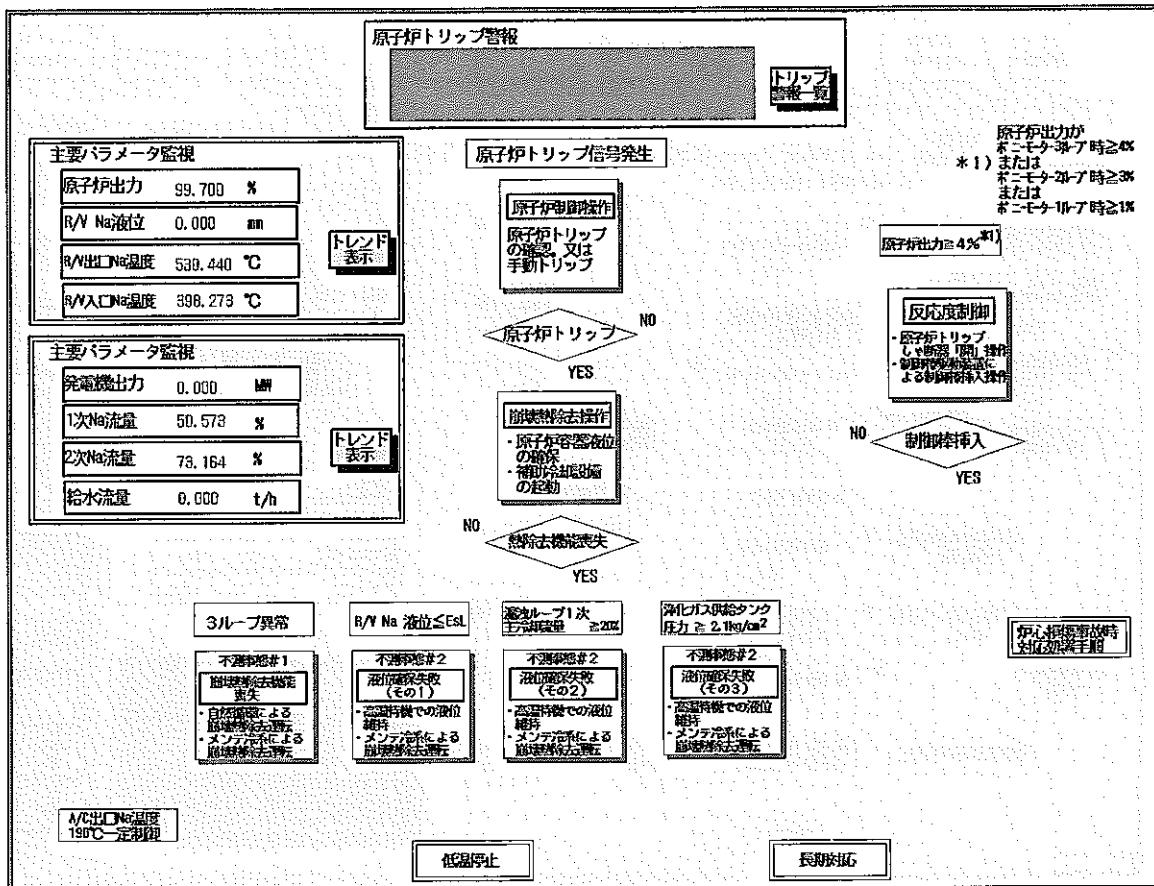


図-41 全体構成画面

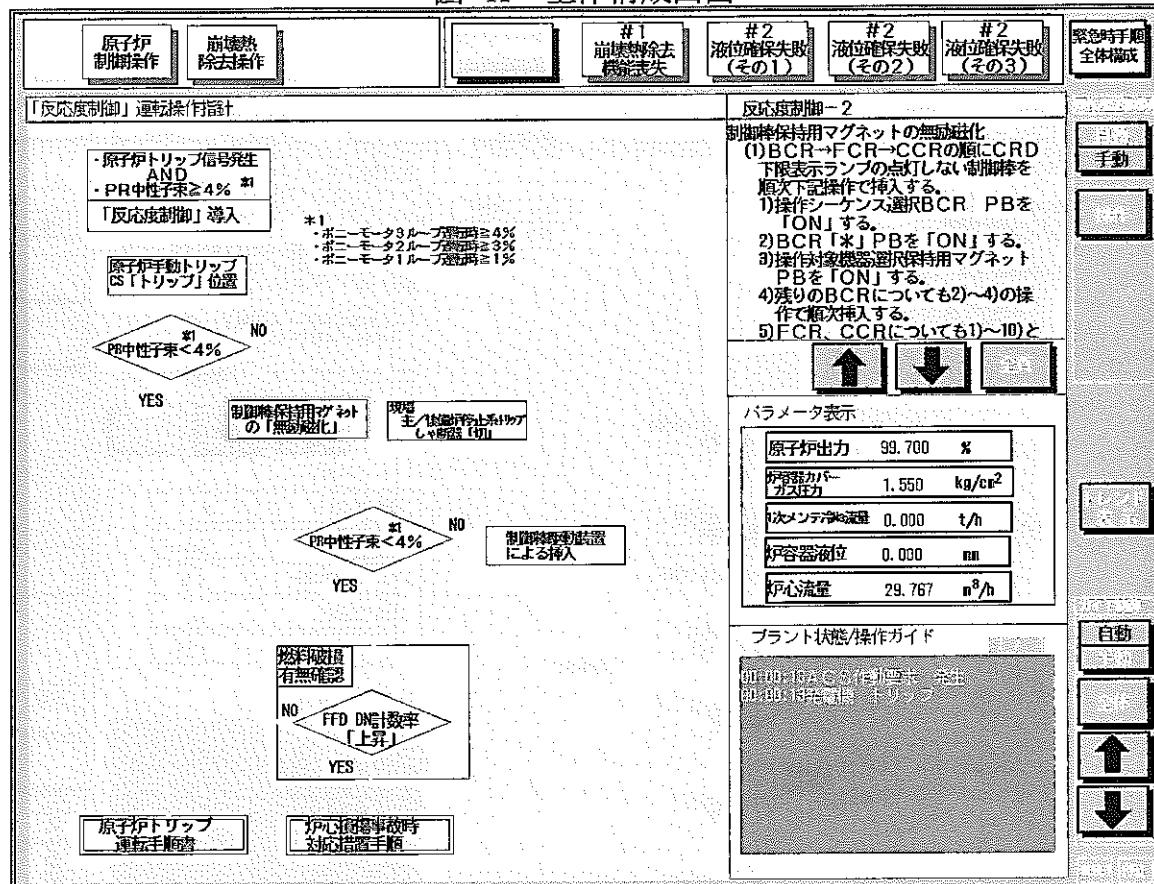


図-42 反応度制御機能喪失画面

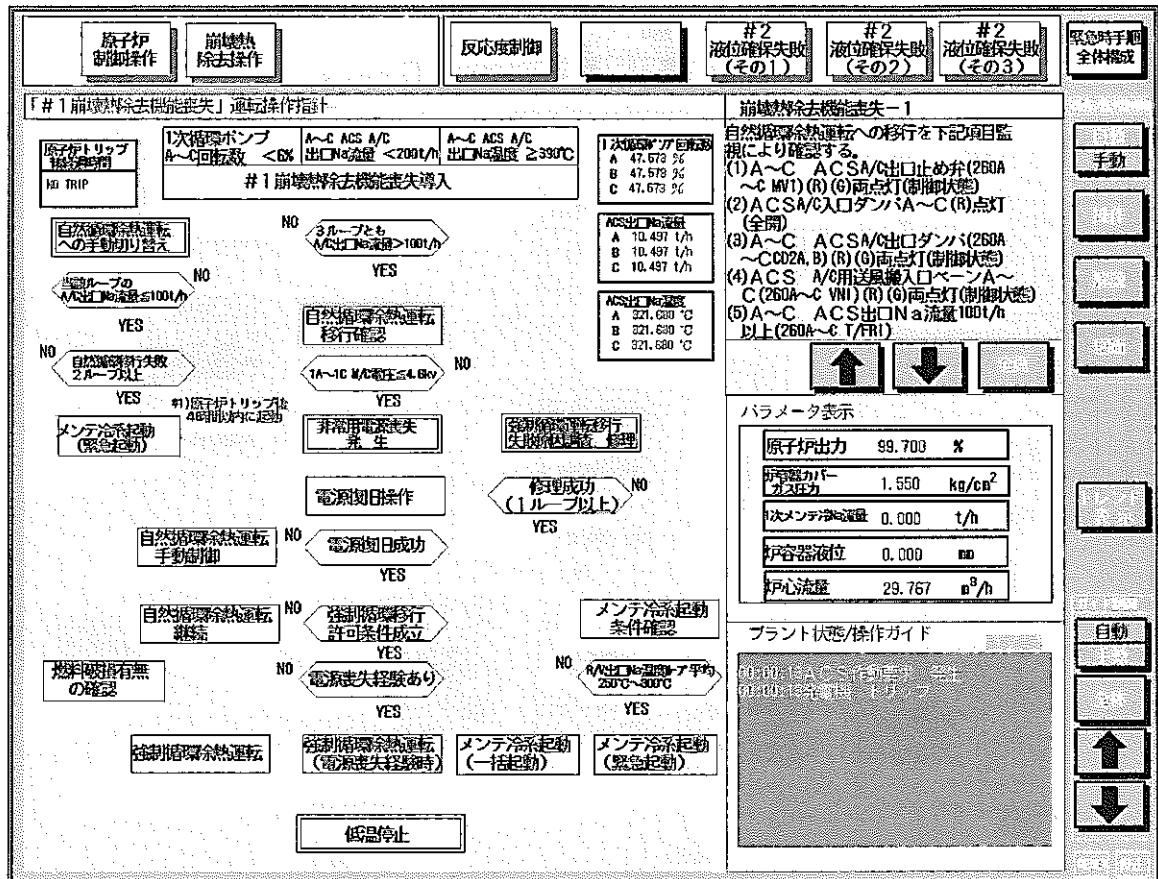


図-43 崩壊熱除去機能喪失画面

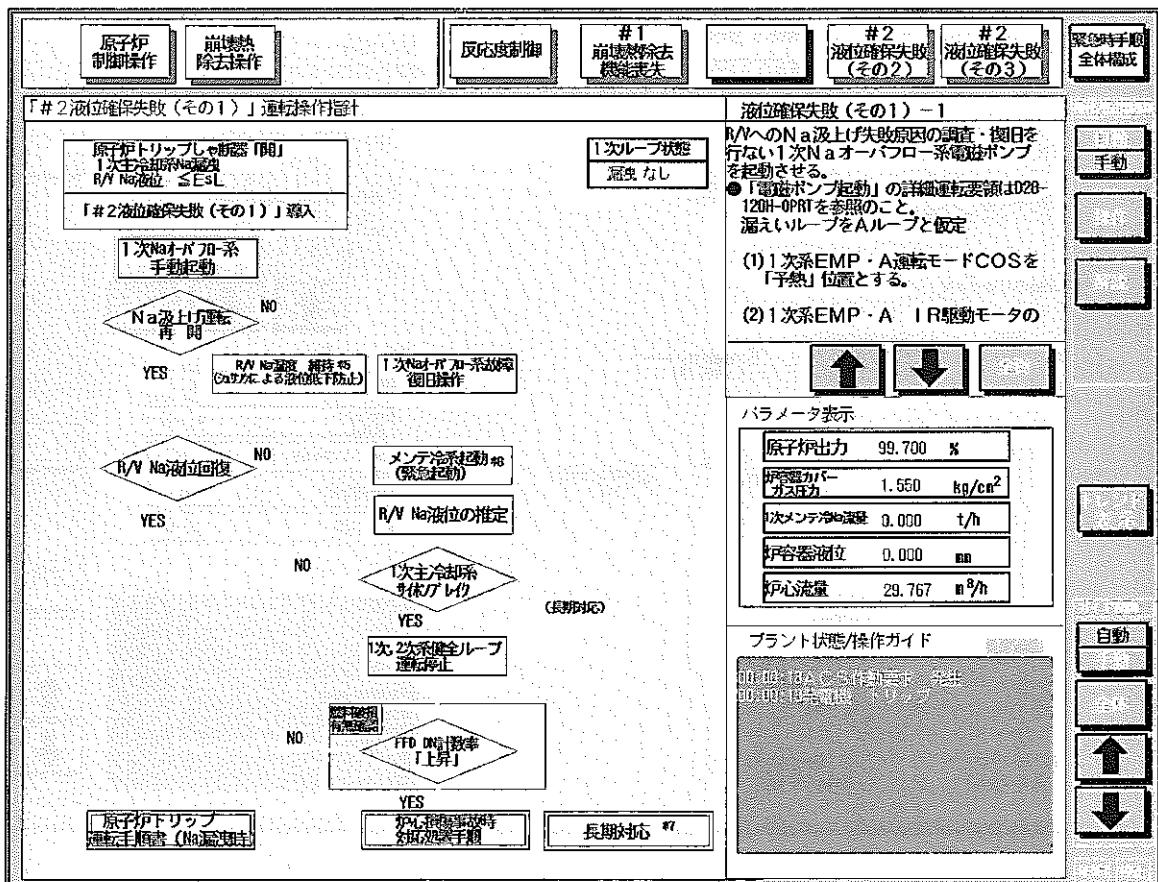


図-44 液位確保失敗(その1)画面

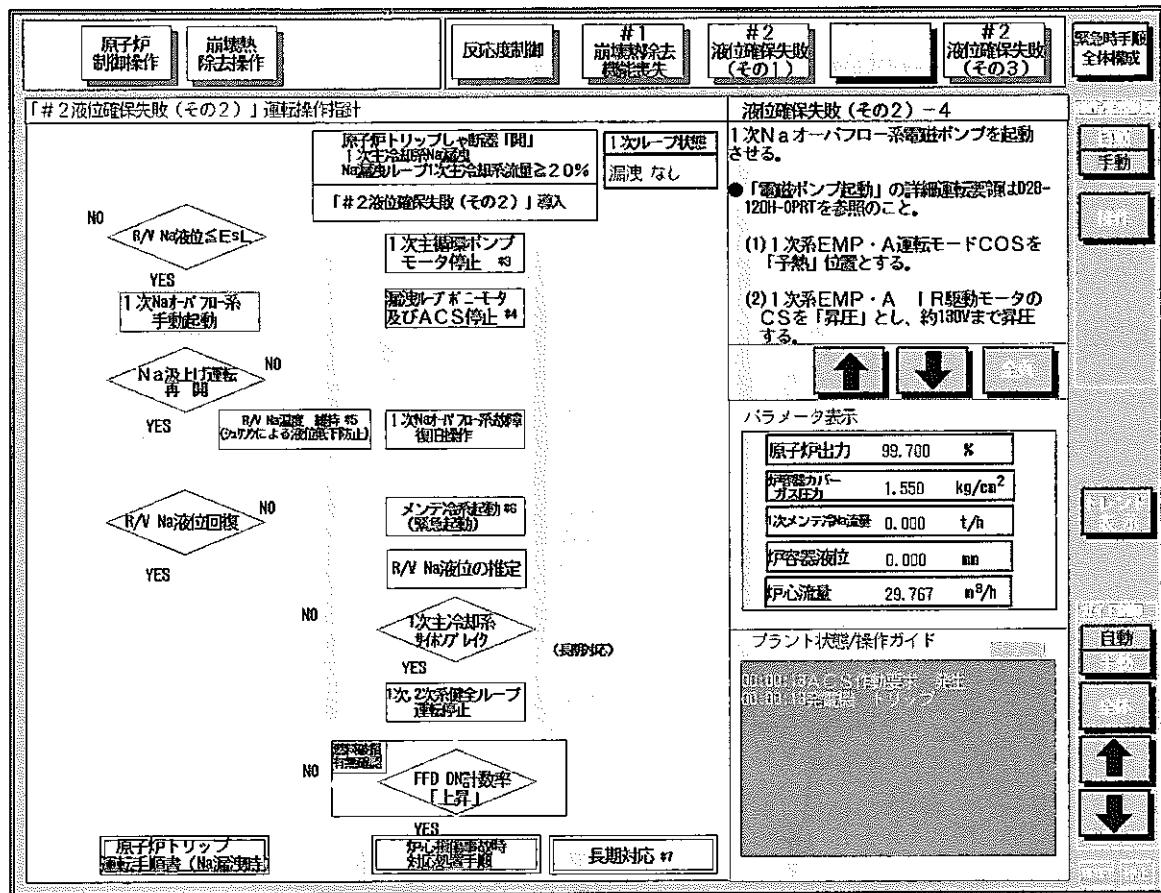


図-45 液位確保失敗(その2)画面

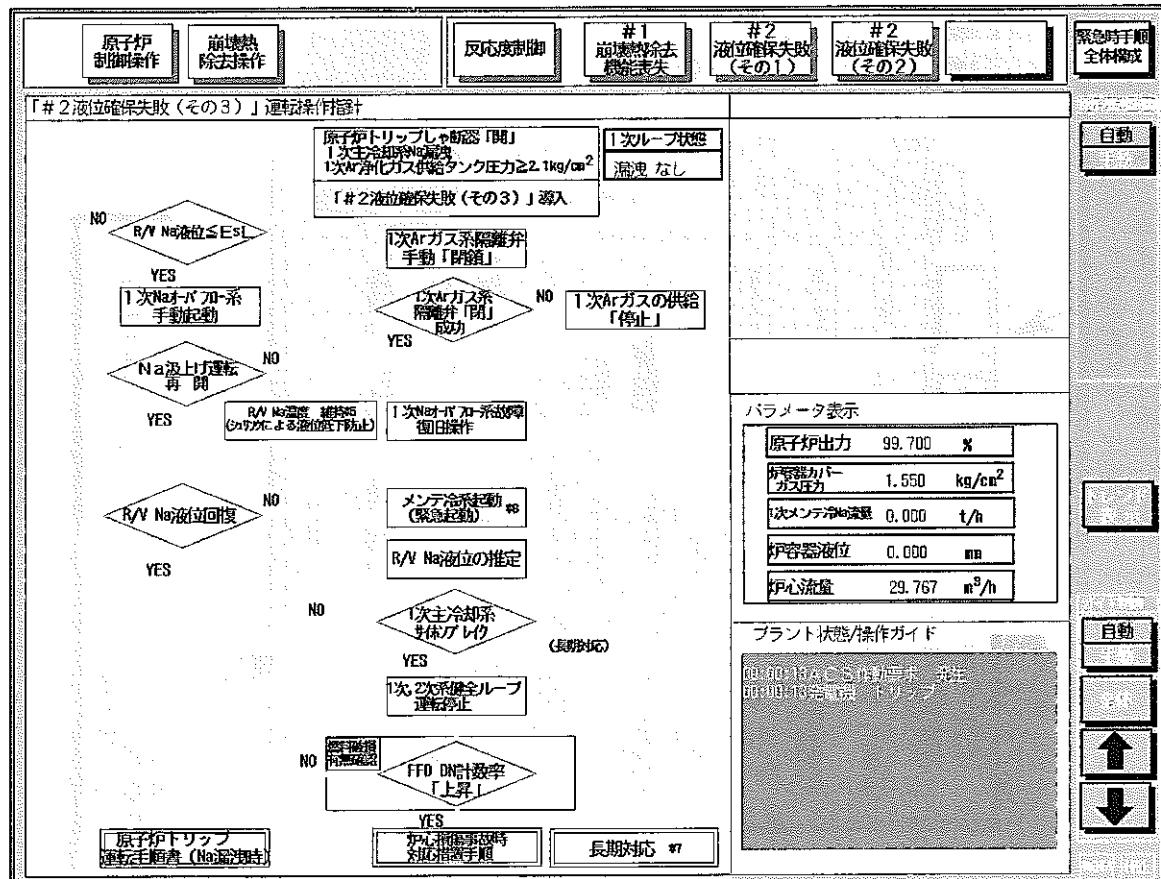
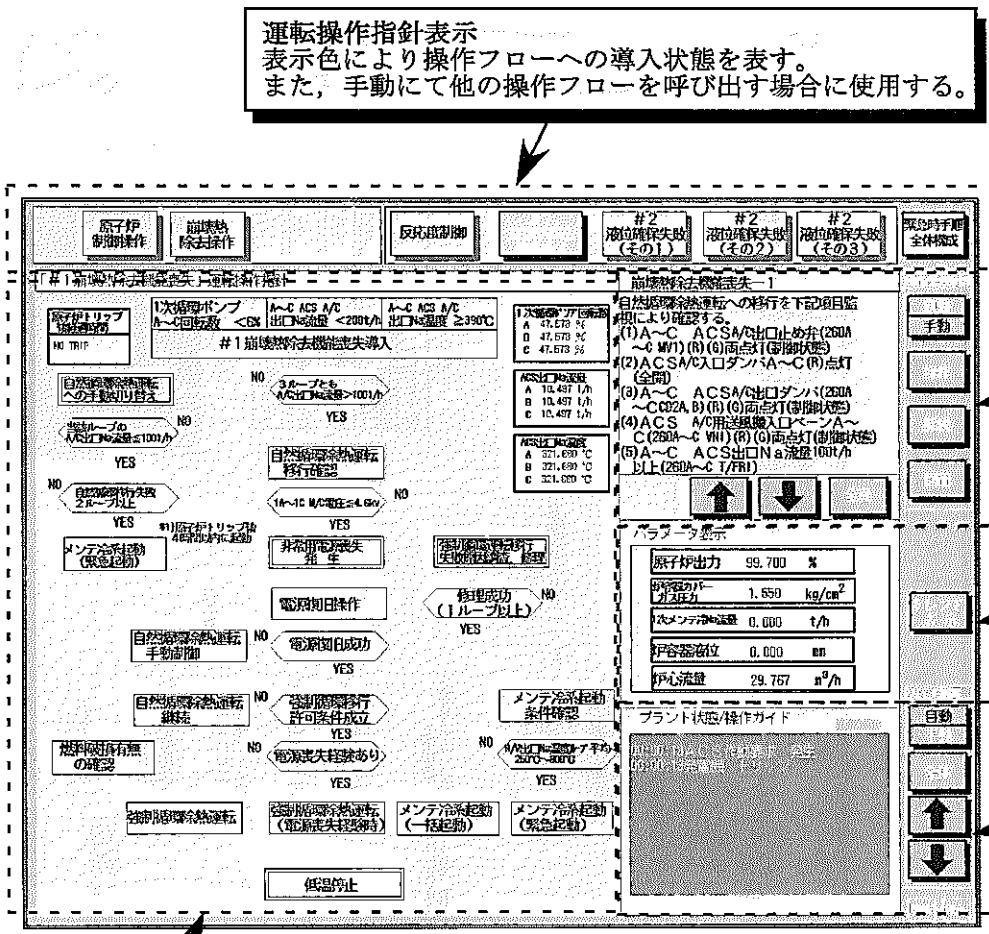


図-46 液位確保失敗(その3)画面



運転操作指針表示
表示色により操作フローへの導入状態を表す。
また、手動にて他の操作フローを呼び出す場合に使用する。

運転手順表示
運転手順をテキスト情報として表示する。
補足が必要な場合には「解説」、「図面」ボタンで表示できる。

関連パラメータ表示
操作フローに関連するパラメータを表示する。また、関連トレンド表示ボタンによりトレンド表示も可能である。

メッセージ表示
プラント状態から要求される操作内容を概略的にメッセージ表示する。

操作フロー表示
運転操作手順書に含まれる運転操作項目及び判断条件をフローチャート形式で表示する。

図-47 個別操作フローの画面レイアウト

時刻	プロトコル+主要シーケンス	図-48 コミュニケーション評価チャート					タスク1					タスク2				
		T	H	E	R	W	T	H	E	R	W	T	H	E	R	W
13:21:52	CV全閉															I
13:21:53	はい、ページングしてください。		O													I
	MSV全閉															I
13:21:55	タービンバイパス弁全開															O
13:21:57	あー、ちゅう出力領域モニタゼロ、広域モニタ下降中											O				
13:21:58	原子炉スクラムしました I P R制御OK															O
13:22:00	A, B, C2次主冷却系流量低原子炉トリップON 原子炉スクラムしました		O													
13:22:01	サイリスタインバータ制御故障 発電機電力0			O												I
13:22:03	A, B, C待機時A/C出口ナトリウム流量高															
13:22:04	ボニーモータ1, 2次系起動異常ありません タービン発電機トリップしました				OL											O
13:22:05	はーい		O													
14:22:06	ただ単にトリップね。はい			O												
15:22:07	A C S確認します はい、了解				O											
13:22:09	タービントリップ ボニーモータOKね?			O												
	A, B, Cループ															
13:22:10	EV・A, B, C液位異常OFF OK?															
	えっ?															
13:22:11	ボニーモータOK?															

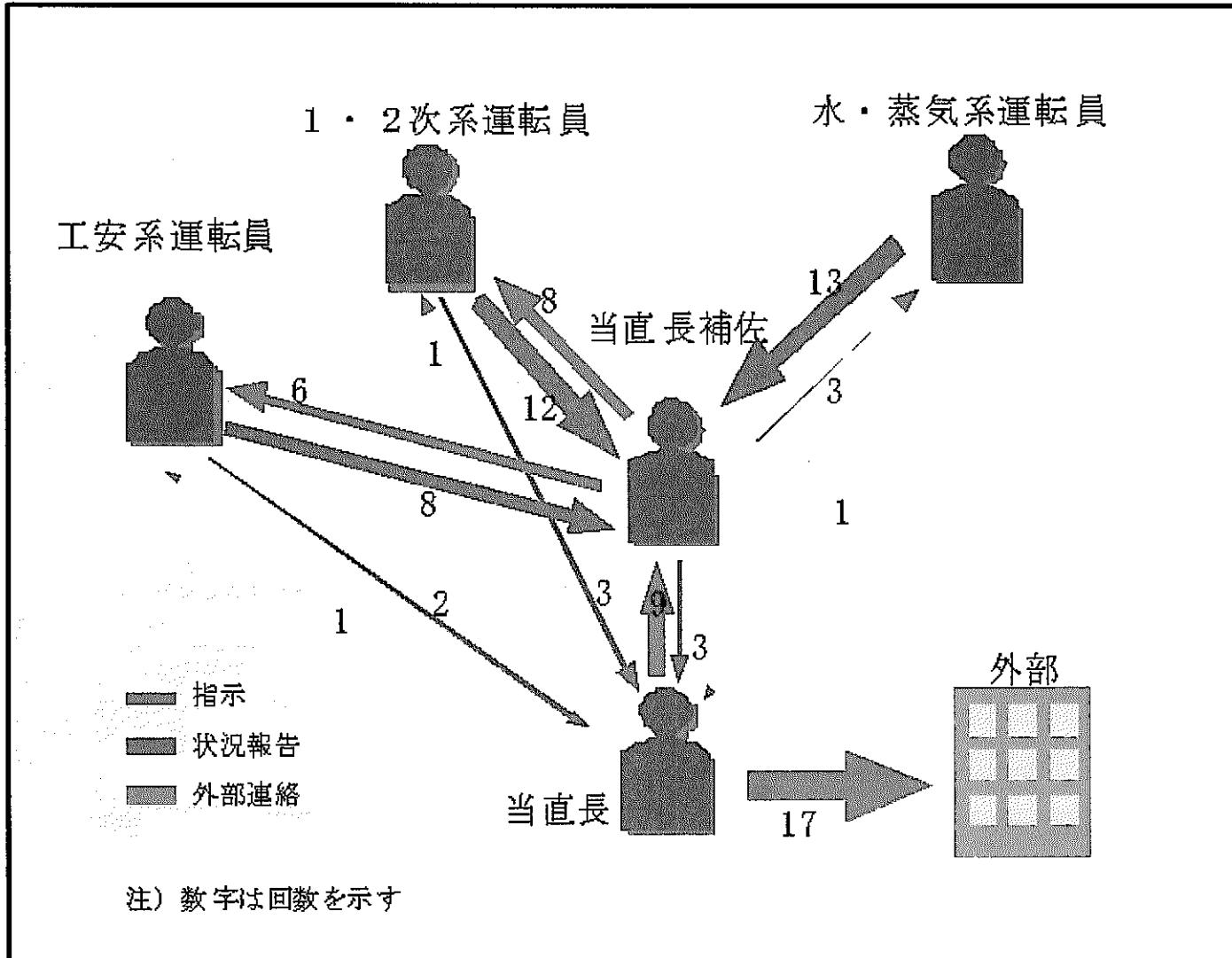


図-49 コミュニケーション・トポグラフィックマップ
(原子炉トリップ・タービントリップ)