



JAEA-Testing

2006-008



JP0750138

DETRASシステムユーザーガイド第III部

—シミュレータ上で模擬する原子炉プラントの説明—

User's Guide of DETRAS System-III

- Description of the Simulated Reactor Plant -

山口 勇吉*

Yukichi YAMAGUCHI*

原子力研修センター

Nuclear Technology and Education Center

December 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Testing

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っ
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

*〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

DETRAS システム ユーザーガイド 第 III 部
—シミュレータ上で模擬する原子炉プラントの説明—

日本原子力研究開発機構
原子力研修センター
山口 勇吉*

(2006 年 11 月 17 日 受理)

本稿では、まず DETRAS システム上で運転操作を行う模擬プラントの構成・系統について説明し、続いてシミュレータ上の原子炉プラント操作に必要な操作方法を説明している。最後に、原子炉の起動・停止操作手順書を掲げる。

User's Guide of DETRAS System – III
—Description of the Simulated Reactor Plant—

Yukichi YAMAGUCHI*

Nuclear Technology and Education Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 17, 2006)

DETRAS system is a PWR reactor simulator system for operation trainings whose distinguished feature is that it can be operated from the remote place of the simulator site. The document which is the third one of a series of three volumes of the user's guide of DETRAS, describes firstly an outline of the simulated reactor system then a user's interface needed for operation of the simulator of interest and finally a series of procedure for startup of the simulated reactor and shutdown of it from its rated operation state.

Keywords: Reactor Simulator, PWR, DETRAS System, User's Gguide, Remote Operation, User's Interface, Startup, Shutdown

* Formerly, Japan Atomic Energy Agency

目 次

1. シミュレータ上で模擬する原子炉プラントの説明	1
1. 1. 模擬プラントの概要	1
1. 2. 模擬プラント	4
1. 2. 1 系統・機器の説明	4
1. 2. 2 主要計装制御系、プロセス計装	19
1. 2. 3 運転モード	27
1. 2. 4 安全保護装置	28
2. 原子炉シミュレータの運転操作のためのユーザーインターフェース	33
2. 1. DETRAS システムにおける計算機構成概略と運転操作環境の構築例	33
2. 2. 運転操作用端末と操作方法	35
2. 3. オーバービューディスプレイ画面	56
2. 4. インストラクタ用端末	57
2. 5. ダイアグラムを用いた原子炉状態の表示	59
3. 原子炉の起動・停止操作手順書	88
3. 1. 起動操作と定格運転	88
3. 2. 停止操作	117

Contents

1. Explanation of the reactor plant simulated	1
1. 1. Outline of the simulated plant	1
1. 2. The simulated plant	4
1. 2. 1 System and component	4
1. 2. 2 Main instrumentation control system	19
1. 2. 3 Operation mode	27
1. 2. 4 Safety protection devise	28
2. User' interface for reactor simulator operation	33
2. 1. Outline of the DETRAS computer system and an example of construction of its operation environment	33
2. 2. Operation terminal and its use	35
2. 3. Over-view display	56
2. 4. Terminal for instructors	57
2. 5. Status display of reactor plant by using diagram	59
3. Operational procedure for startup and shutdown of the reactor	88
3. 1. Startup operation and rated operation	88
3. 2. Shutdown of reactor	117

1. シミュレータ上で模擬する原子炉プラントの説明

1. 1. 模擬プラントの概要

DETRASシステム上で運転操作の対象とする原子炉シミュレータは、原子力船「むつ」に搭載されていた船用原子炉システムを模擬するものである。本シミュレータは、本来、原子力船の運航プランニング並びに次期船用炉設計の助けとすることを目的に、旧日本原子力研究所（以下、「旧原研」という。）に於いて開発された。原子力船「むつ」の実験航海の完了とシミュレータ上でのその解析作業が完了したのち、本シミュレータは旧原研原子炉安全工学部人的因子研究室実験室設置の計算機上にも移植され、ヒューマンファクタ研究用のテストベッドとして整備・活用された。また、本シミュレータが研修用教材としても有効との観点から、平成10年度より7年間にわたり、研修所における原子炉工学課程においても活用された。

原子炉システムの概略は、下記のようにまとめられる；

- ① 炉型 : PWR型炉（2ループ）
- ② 出力 : 36MW
- ③ 主機出力 : 10,000PS
- ④ 原子炉の目的 : 船舶運航用動力源の確保および船内電源の発電
- ⑤ その他の特徴 : 一般の発電炉にはない補助ボイラを具備しており、原子炉系に加えて通常ボイラによる上記の発生源を持つ

シミュレータ上で模擬される船用原子炉システムの原子炉制御設備系統図について主要部分を図-1.1に示す。図中、水または蒸気の流れは実線で、制御系への入力となるプロセスパラメータならびに制御系から出力される制御信号は破線で示されている。図では、一次冷却水ループ2系統のうち、1系統のみを示している。

炉心で加熱された一次冷却材は蒸気発生器に導かれ、蒸気発生器細管を通じて二次側の水を加熱し、ここで発生した蒸気が主蒸気管に供給される。この蒸気を駆動源として、主機タービンを駆動し、船舶運行用動力を得る。主蒸気管に送られた蒸気は、同時に、船内電源発生用の主発電機さらには主給水ポンプ（蒸気発生器二次側の水を供給）の駆動源としても使用される。このシステムでは、こうした原子炉系の蒸気による船舶運航に加えて、補助ボイラによる蒸気の供給を行える構造になっており、原子炉停止時の蒸気供給源として使用される。主蒸気管は、蒸気のダンプ用に用いられる崩壊熱復水器につながることができ、原子炉起動時あるは停止時には、蒸気発生器を通じた一次冷却材の除熱を行うことを可能とする構造になっている。

炉心を含む一次冷却材ループの圧力は加圧器圧力制御系を通じて制御される。加圧器内圧力（一次冷却材圧力 - α ）の情報は、加圧器圧力制御系に送られ設定圧力と比較さ

れる。加圧器内圧力が設定圧力に比較して低い場合、加圧器ヒータの出力を増加させ加圧

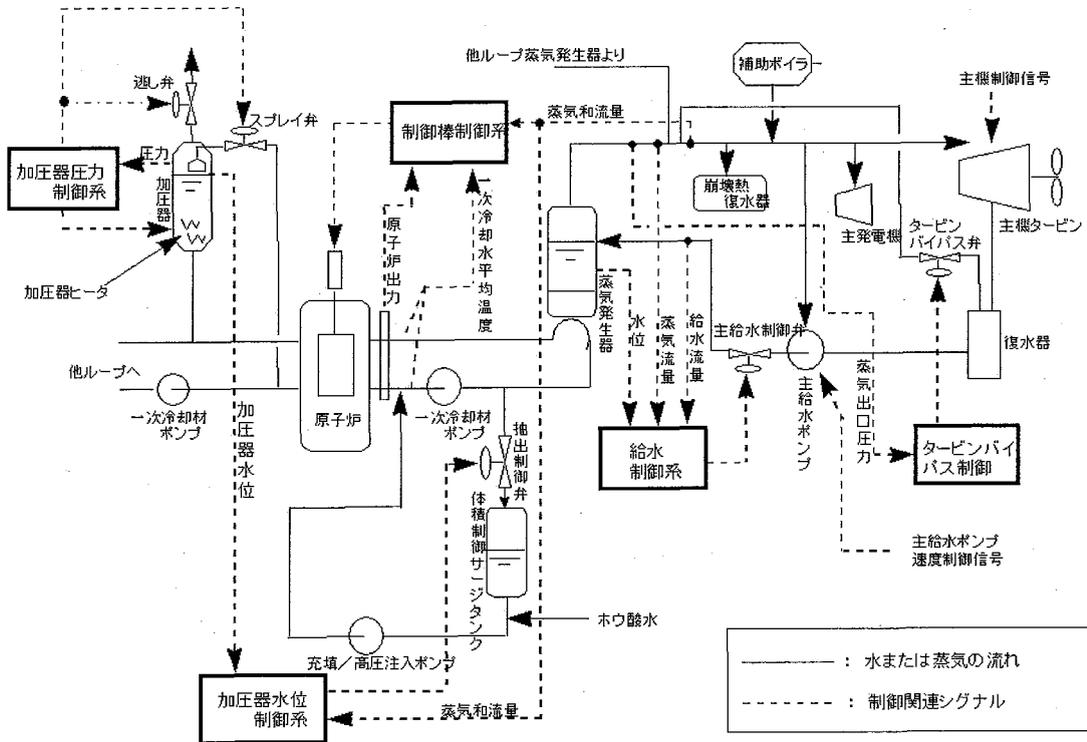


図-1.1 : シミュレータ上で模擬する船用原子炉システム主要原子炉制御設備系統図

器内蒸気圧を上げるかたちで圧力の上昇を図る。加圧器内圧力が高くなると、スプレィ弁を開とし、一次冷却材ループ中の「冷たい」水を加圧器内にスプレィし、加圧器内蒸気を凝縮することにより圧力の低下を図る。過度な圧力上昇に備え、逃し弁を通じて蒸気を加圧器外に放出し圧力の低下させることも可能である。

一次冷却材の温度変化による熱膨張あるいは収縮またはなんらかの原因による冷却材インベントリーの増減による加圧器の水位（一次冷却材の体積）の変化は、加圧器水位制御系を通じて制御される。加圧器水位は、加圧器水位制御系に送られ、設定水位値と比較され、抽出流量制御弁の開閉により設定水位を維持するよう制御される。設定水位は、主蒸気管における蒸気と流量（主機出力とリンク）の増減に合わせて設定され、主機出力が0%において55%、その増加に伴って低く設定する仕組みとなっており、予想される負荷変動の大きさに見合った水位の設定を行う仕組みとなっている。

蒸気発生器の蒸気生成とその主機タービン等への供給により蒸気発生器二次側の水が消費されるが、これを補償するため、主給水ポンプによる給水が行われる。この給水量の制御は、給水制御系を通じて行われる。給水制御系では、蒸気発生器水位、蒸気流量、および給水流量の値を入力とし、主給水制御弁の開閉により蒸気発生器の水位を基準値に保つよう制御する。また、主給水制御弁の開閉により変化する主給水ポンプの吐出圧により主給水ポンプの速度が自動的に制御される。

原子炉の出力は、制御棒制御系を通じて制御される。原子炉出力（出力領域中性子束）、一次冷却材平均温度、蒸気流量（主機タービン出力など二次側負荷に対応）の3つのパラメータにより、一次冷却材平均温度が基準値（約273.5℃）を保つように制御される（平均温度一定方式）。因みに、シミュレーションの対象としている原子炉システムでは、一次冷却材ループの平均温度(T_{avg})と設定基準温度(T_{ref})を比較し、その偏差が1.2℃を超えるとグループ1またはグループ2の制御棒を1本挿入/引き抜き信号を、5.0℃を超えると2本挿入/引き抜き信号を出す。また、急激な負荷変動の生じた場合は、平均中性子束と蒸気流量の不完全微分信号でも同様な制御棒の挿入/引き抜き信号を出す。

なお、ホウ酸水濃度の調整による原子炉出力の制御は、本シミュレータでは模擬対象とされていない。

原子炉運転中における急激な出力減少に備えて、主ダンプ制御がある。主タービンのトリップなど急激な出力減少があると、これに伴い蒸気発生器の圧力が上昇し、この圧力信号により主ダンプ弁を開き蒸気発生器の圧力上昇および一次系の圧力および温度上昇を緩和する。これにより、主タービントリップの場合でも原子炉はスクラムされることなく運転継続可能である。

以上、シミュレータ上で模擬される原子炉システムについて、主要な制御システムを中心に簡単に触れた。ここで説明した原子炉システムの構成・機能に加え、電源系統、補機冷却系統など各種の系統が原子炉システムに含まれ、それぞれ重要な役割を果たしている。また、原子炉システムの熱機関としての効率を高めるため、給水加熱装置、再生熱交換器などが使用されている。

1. 2. 模擬プラント

1. 2. 1 系統・機器の説明

(1) 全体系統

全体系統概念図、原子炉主要系統図を、夫々、図-1.2.1、図-1.2.2に示す。
また、「むつ」における系統名称(略号)を表-1.2.1に示す。

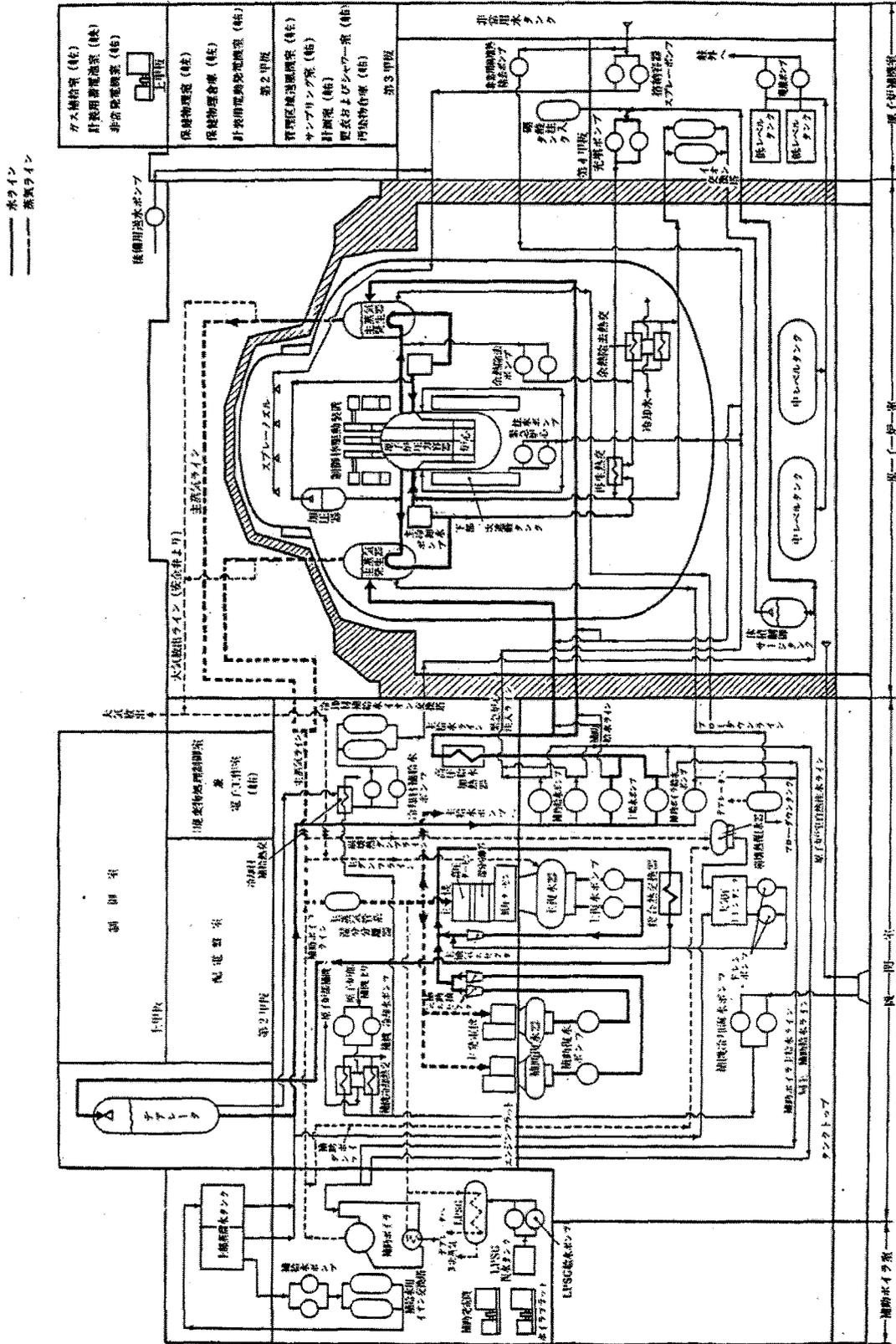


図-1.2.1 原子力船「むつ」搭載原子炉プラント全体系統概念図

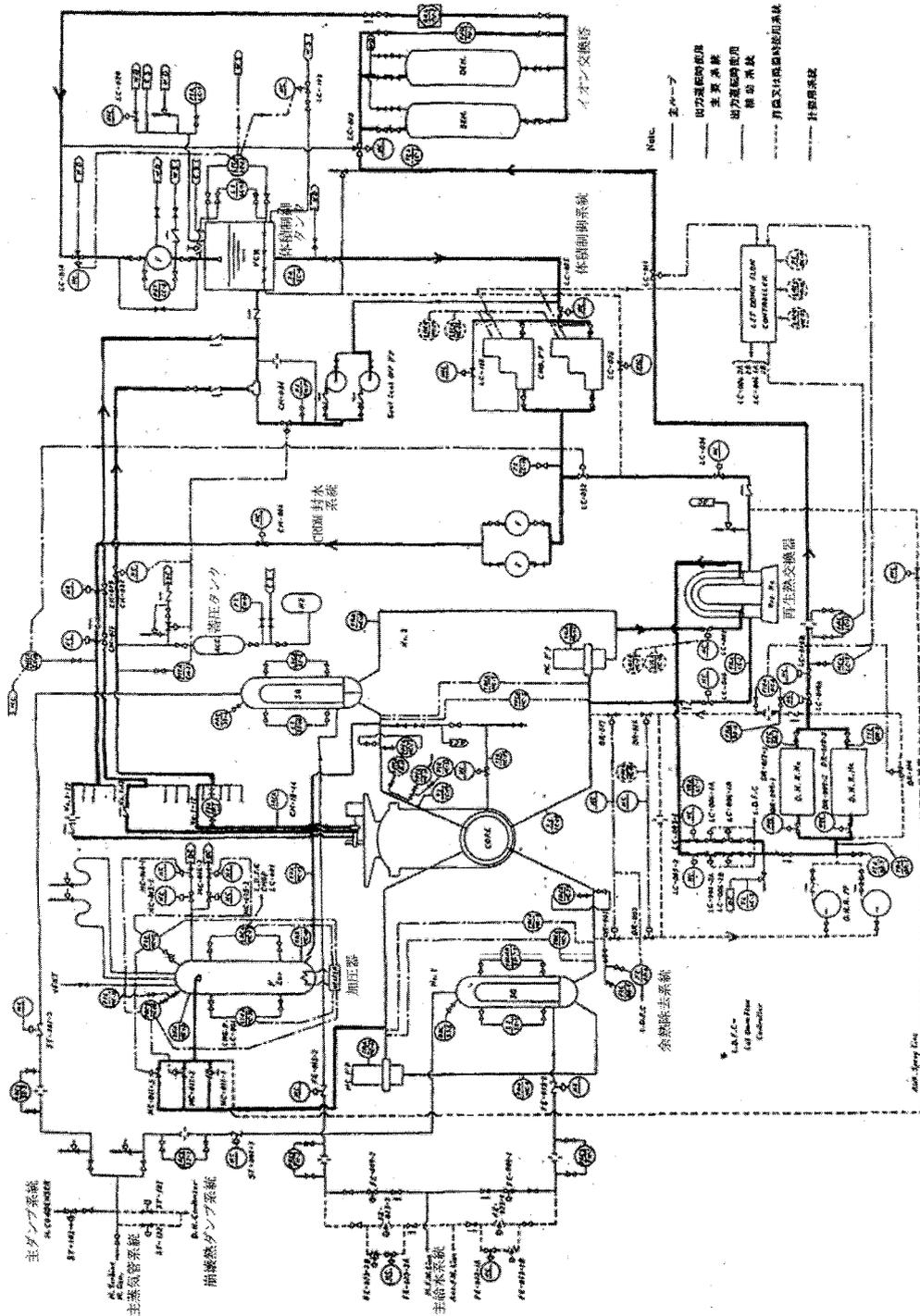


図-1.2.2 原子炉主要系統図

表-1.2.1 系統略号 (SYSTEM SYMBOLS)

略号	名称	英語名称
MC	主 (1次) 冷却系統	MAIN COOLANT SYSTEM
LC	体積制御系統	VOLUME CONTROL SYSTEM
CC	補機冷却系統	COMPONENT COOLING SYSTEM
DR	余熱除去系統	RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM
EC	非常用崩壊熱除去系統	EMERGENCY DECAY HEAT TREATMENT SYSTEM
SI	緊急用注水系統	SAFETY INJECTION SYSTEM
DC	吐出およびベントドレン系統	VENT AND DRAIN SYSTEM
CS	サンプリング系統 (模擬範囲外)	SAMPLING SYSTEM
CA	薬品添加系統 (模擬範囲外)	CHEMICAL CONTROL SYSTEM
WS	冷却材補給系統	REACTOR MAKE-UP WATER SYSTEM
CM	制御棒制御装置封水系統	CONTROL ROD DRIVING MECHANISM SEAL WATER SYSTEM
PU	廃棄物処理系統 (浄化系統)	PURIFICATION SYSTEM
WD	廃棄物処理系統 (廃棄物系統)	WASTE WATER DISPOSAL SYSTEM
GS	廃棄物処理系統 (ガス補給系統)	GAS SUPPLY SYSTEM
PS	1次遮蔽タンク設備系統	PRIMARY SHIELD TANK SYSTEM
ST	主蒸気系統	MAIN STEAM SYSTEM
	主蒸気発生器ブロー系統	(上記と同一)
	崩壊熱ダンプ系統	(上記と同一)
	主ダンプ系統	(上記と同一)
	補助蒸気系統	(上記と同一)
FW	給水系統	FEED WATER SYSTEM
TC	格納容器空気系統	CONTAINER VENTILATION SYSTEM
AS	制御用空気系統	CONTROL AIR SUPPLY SYSTEM
VS	管理区域通風換気系統 (模擬範囲外)	CONTROL AREA VENTILATION SYSTEM
LD	格納容器漏洩率試験装置系統 (模擬範囲外)	CONTAINER LEAK DETECTION SYSTEM
ME	管理区域雑設備系統 (模擬範囲外)	CONTROL AREA MISCELLANEOUS EQUIPMENTS

注記：系統略号は弁 TagNo. に使用される。

(2) 制御棒駆動機構

制御棒は12本で、バンク分けは以下の通り。稼動長は0mm(炉低)～ 1070mm(全引き抜き)で、電動ラックアンドピニオン方式である(船用炉であるがゆえに、転覆時もスクラム可能なようにギヤで上下させる)。

- Gr1. 2本(No. 1, 2) 制御バンク(自動で1体、または2体で動く)
- Gr2. 2本(No. 3, 4) 制御バンク(自動で1体、または2体で動く)
- Gr3. 4本(No. 5～ 8) 停止バンク(手動操作で4体同時に動く)
- Gr4. 4本(No. 9～ 12) 停止バンク(手動操作で4体同時に動く)

スクラム時には、電動モータクラッチを切り離し、スプリング機構でピニオン軸を回転させ、1.7秒で全挿入を行う。

(3) 1次冷却系統

1次冷却水ポンプ(主冷却水ポンプとも呼ぶ：MCP)は、全速、低速の運転状態があり、出力時には全速運転、崩壊熱(余熱)除去、冷態運転時の運転時に電力節約のため半速運転を行う。

加圧器水位は、加圧器の船首、船尾方向の2点で計測されており、制御保護系への入力は手動により選択された方の信号を用いる。本シミュレータでは、発信、停止の横方向の加速度や全体動揺による水位変動の模擬も行っている。

1次冷却水系統説明図を図-1.2.3に示す。

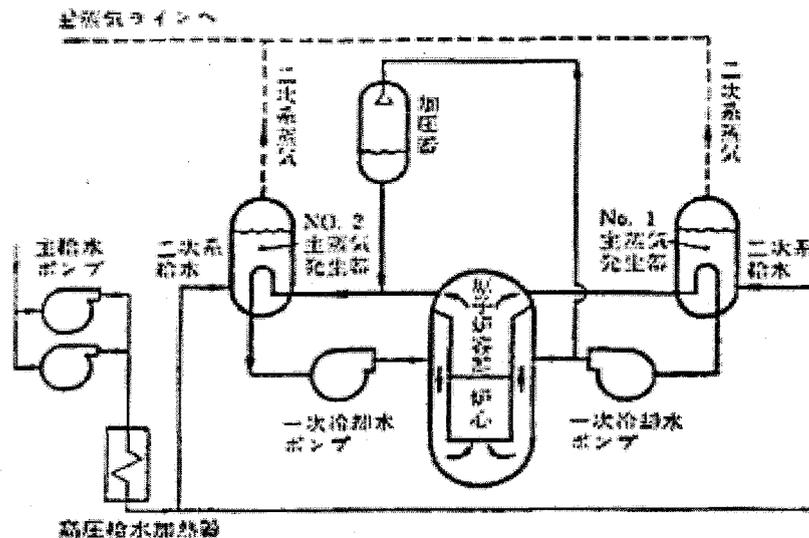


図-1.2.3 一次冷却水系統説明図

(4) 体積制御系統

1次冷却材の体積を一定（加圧器水位を基準値）に保つため、体積制御系統を通じて冷却材が抽出、充填される。冷却材は、No. 2ループクロスオーバーレグより抽出され、No. 2ループコールドレグから充填される。抽出ラインは、再生熱交換器通過後、減圧抽出弁（抽出オリフィスに相当：2系列）、余熱除去熱交換器（発電炉の非再生熱交換器に相当し、通常出力時は1基のみ通水。名前の通り余熱除去交換器の役割も担い、この場合最大2基通水）を通過後、体積制御サージタンクに導かれる。充填ポンプ（往復動）は2台装備され、1台で定格流量をまかなう。充填流量は、一定（制御無く）で、加圧器水位は抽出流量により制御される。充填の一部は制御棒駆動機構の封水として供給される。

体積制御系統説明図を図-1.2.4に示す。

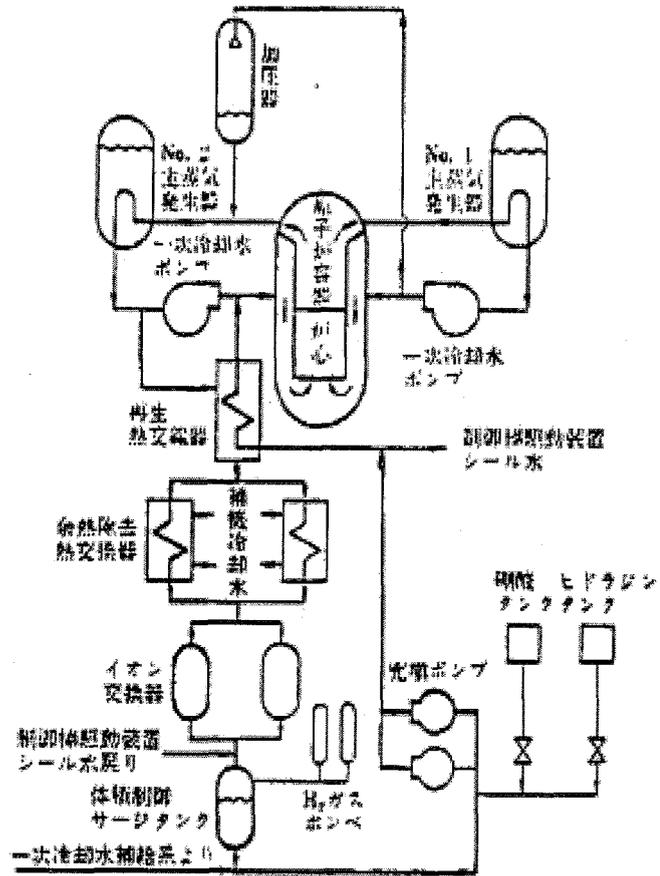


図-1.2.4 体積制御系統

(5) 補機冷却水系統

各2台の補機冷却熱交換器、補機冷却水ポンプがあり、補機類、熱交換器、吐出タンク(加圧器逃がしタンクに相当)などを冷却する。冷却母管は1系列で、トレン分け等は無い。補機冷却水系統説明図を図-1.2.5に示す。

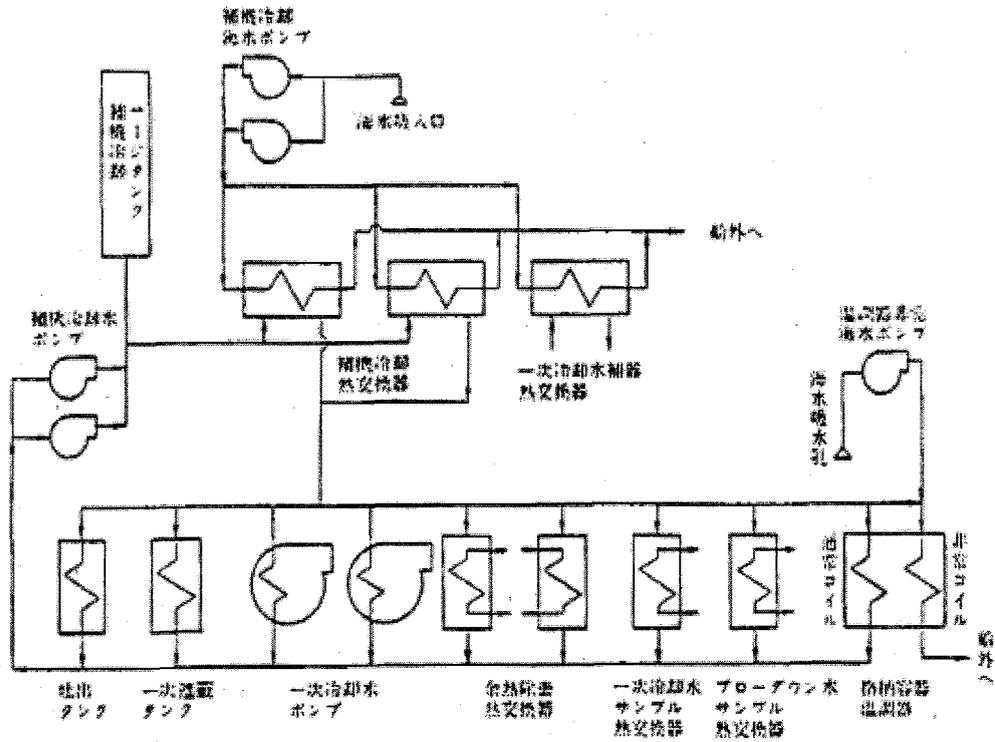


図-1.2.5 補機冷却系統

(6) 余熱除去系統

余熱除去系統では、1次冷却材をNo.1ループホットレグから抽出し、余熱除去熱交換器で除熱した後、No.2コールドレグへ戻す。余熱除去熱交換器(2基)は、通常運転中は体積制御系等の非再生熱交換器として機能する。余熱除去運転時は $12\text{kg}/\text{cm}^2$ とする。余熱除去流量制御方式は、クーラーバイパス流量制御によるが、クーラー2台に対し、1系列のバイパス弁の構成である。余熱除去ポンプ2台運転時の運転流量は約 $18\text{m}^3/\text{h}$ である。

余熱除去系統説明図を図-1.2.6に示す。

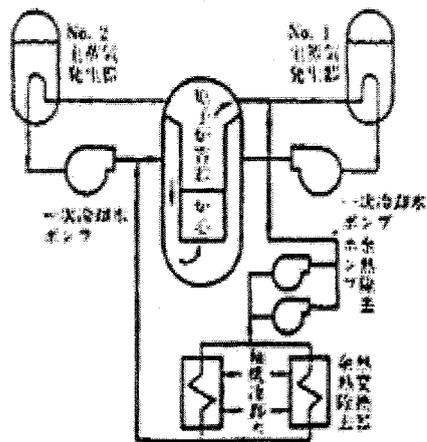


図-1.2.6 余熱除去系統

(7) 非常用崩壊熱除去系統

事故時において補助給水ポンプ全機能喪失時のバックアップとして、非常用水タンク水をSG2次側に非常用崩壊熱除去ポンプにより供給する。

非常用崩壊熱除去系統説明図を図-1.2.7に示す。

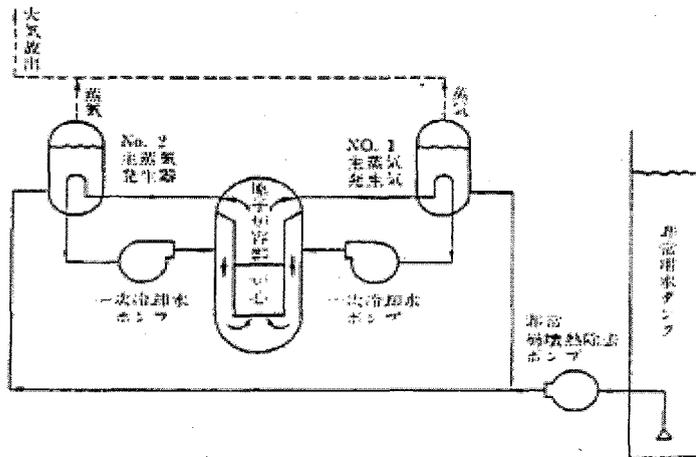


図-1.2.7 非常用崩壊熱除去系統

(8) 緊急用注水系統

発電炉の安全注入系統、スプレィ系統に相当。小LOCA(圧力が高い)時に原子炉压力容器に、次の2つの方法により注水する。

- ① 2次系水を補助給水ポンプにより注水する
- ② 非常用水タンクの水を非常用崩壊熱除去ポンプにより注水する

大LOCA(圧力が低い)時に、1次遮蔽水タンク(CV内压力容器周辺に設置されている遮蔽目的のタンク)水を炉心注水ポンプにより压力容器へ注水する。

スプレィ作動時には、非常用水タンク水を格納容器スプレィポンプにより注水する。緊急用注水系統説明図を図-1.2.8に示す。

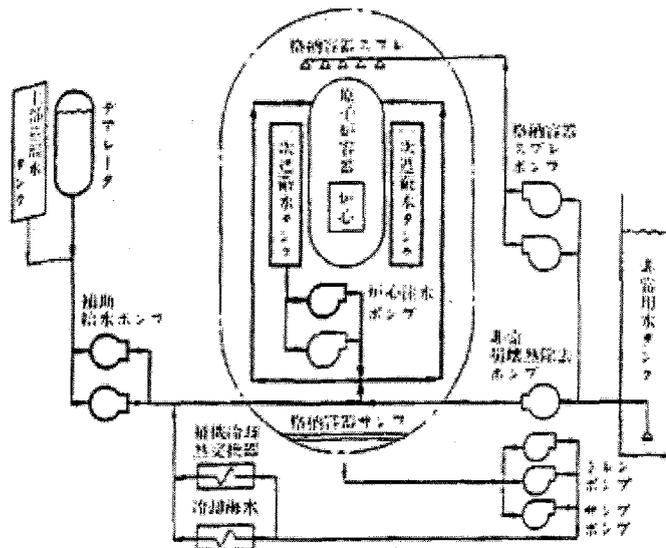


図-1.2.8 緊急用注水系統

(9) 吐出及びベントドレン系統

吐出タンク(加圧器逃がしタンク)、ドレンタンク(格納容器再循環サンプに相当)、ドレンポンプ、サンプタンク(格納容器外に有り格納容器の底から流れ出るドレン、凝縮蒸気をためる)、サンプポンプなどから構成される。

吐出タンクには、加圧器、体積制御系統、余熱除去系統の安全弁、逃がし弁から流入し、補機冷却水により冷却する。水位の運転基準値は60から65%である。

LOCA時再循環は、ドレンタンク、サンプタンクどちらからも行え、再循環熱交換器により冷却されながら緊急注水系統に戻される。

(10) 冷却水補給系統

発電炉の補給水系統に近いが、模擬プラントでは出力制御にホウ素は用いないため、ホウ系濃度を調整するためのほう酸水の補給系統は無い。補機冷却水系統等への純水供給を目的にする。

水源として脱気器(デアレータ)水及び上部蒸留水タンク水を用い、これを冷却し冷却材補給ポンプで冷却材補給水イオン交換塔を介し、充填ポンプ吸い込み側に供給する。冷却水補給系統説明図を図-1.2.9に示す。

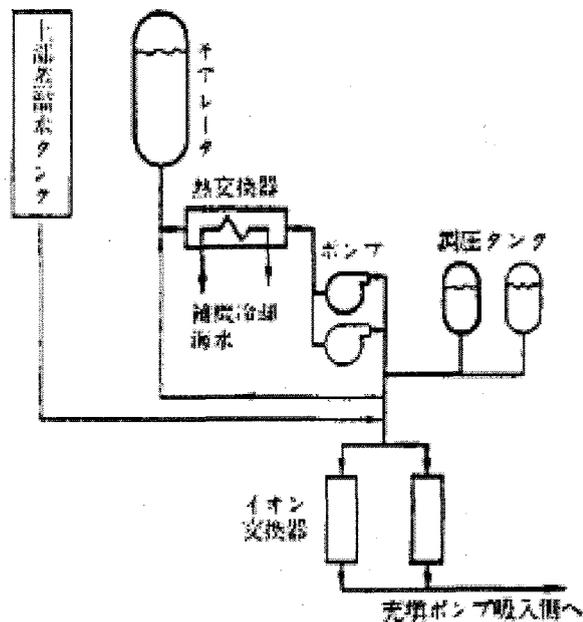


図-1.2.9 冷却水補給系統

(11) 制御棒制御装置封水系統

制御棒駆動装置への封水供給を目的として、充填ポンプ出口より分岐し供給され、封水戻りは充填ポンプ入り口に戻る。(図-1.2.2 原子炉部主要系統図参照)

(12) 廃棄物処理系統

シミュレータ上では、液体廃棄物、気体廃棄物の各系統とのインタフェース(ダンプ、ドレン、気体の補給、排出)などに係わる弁のみ模擬する。各系統の状態は圧力、供給/受入容量等が理想的に保たれていると仮定した境界条件模擬となっている。

(1 3) 1次遮蔽タンク設備系統

原子炉から発せられる中性子、 γ 線の遮蔽体として、上部1次遮蔽コンクリート、中間1次遮蔽コンクリート、下部1次遮蔽タンクがある。このタンク水は非常用注水ポンプの水源としても利用される。(図-1.2.8 緊急用注水系統参照)

(1 4) 主蒸気系統

蒸気発生器を出た主蒸気は、格納容器を出た後、主蒸気塞止弁を通過し、ヘッダで1つにまとまる。この後、動力系装置に供給する蒸気(主蒸気)と、2つのダンプライン、すなわち、主ダンプ(主復水器)と崩壊熱ダンプ(崩壊熱除去復水器又は大気放出)に分岐する。主ダンプは蒸気圧力 63kg/cm^2 で作動し、真空度 630mHg 以下では閉止する。崩壊熱ダンプは手動による開度調整で蒸気流量を調整し、1次冷却水温度の調整を行う。崩壊熱ダンプは、主蒸気圧力 $3.5\sim 62.5\text{kg/cm}^2$ で使用可能で、最大で 3.6t/h の流量をとることができる(発電炉の主蒸気逃がし弁に相当)。

主蒸気管の蒸気は、主蒸気管付きの湿分分離器通過後、主機タービン(プロベラ用)、主発タービン(船内電源用:2台)、T/D主給水ポンプタービン(2台)に、供給されるほか、低圧蒸気発生器、補助ボイラ系統の暖気(や圧力制御)や造水装置への供給蒸気などに使われる(シミュレータでは造水装置他への供給蒸気を総称して雑蒸気と呼んで一定消費量がある模擬としている)。

主蒸気管の湿分分離器上流には、動カバックアップ系の蒸気として補助ボイラ系統からの合流がある。補助ボイラから供給される蒸気は 30kg/cm^2 に制御され主蒸気管に供給される(シミュレータでは、補助ボイラに給水を行い、点火(スイッチをON)するだけで理想的に圧力制御される仕掛けとなっている)。

主蒸気系統説明図を図-1.2.10に示す。

(15) 給水系統

主給水系統は、脱気器（デアレータ）から2台の主給水ポンプにより、高圧給水加熱器で150℃に調整されたあと、蒸気発生器に供給される。主給水ポンプは主給水制御弁前後差圧が一定となるよう回転数制御される。主給水流量が低流量（11.4m³/hr）になったときには、ポンプの加熱を防ぐために、ポンプ吐出流の一部を脱気器に戻し最低吐出流量を確保する戻りラインと再循環弁（流量制御弁）がある。

補助給水は2台の電動補助給水ポンプで、高圧給水加熱器下流の主給水管に接続される。出力が低い場合給水ポンプが起動できないときに使用し、原子炉起動停止時、停止後の崩壊熱除去のための給水を行う（発電炉の給水バイパス制御とトリップ時の補助給水の役目）。補助給水流量は、補助給水制御弁で手動流量調整する。弁開度による流量調整が可能のように、補助給水制御弁前後差圧を4.5kg/cm²の一定制御するための、再循環ラインと再循環制御弁を設けている。補助給水流量制御弁は低流量の微調整が難しいため、補助給水制御弁は一定開度にして、再循環制御弁の開度を手動調整して補助給水流量を調整する運転が可能である。

補助給水系統には、事改時に、脱気器水を炉心に注入する機能も兼ね備える。

SGBD（ブローダウン）系統は蒸気発生器BD塞止弁（開閉のみ）により、間欠ブローが可能である（シミュレータでは実機運用に合わせて連続ブローとしている）。補助ボイラー給水系統は、脱気器水を補助ボイラー給水ポンプにより給水する。補助ボイラー給水流量を制御するために、流量制御弁前後差圧を6.5kg/cm²の一定にするよう回転数制御される。また、低流量時のポンプ加熱防止のために、脱気器への再循環ラインを設けている。

復水・給水系統説明図を図-1.2.11に示す。

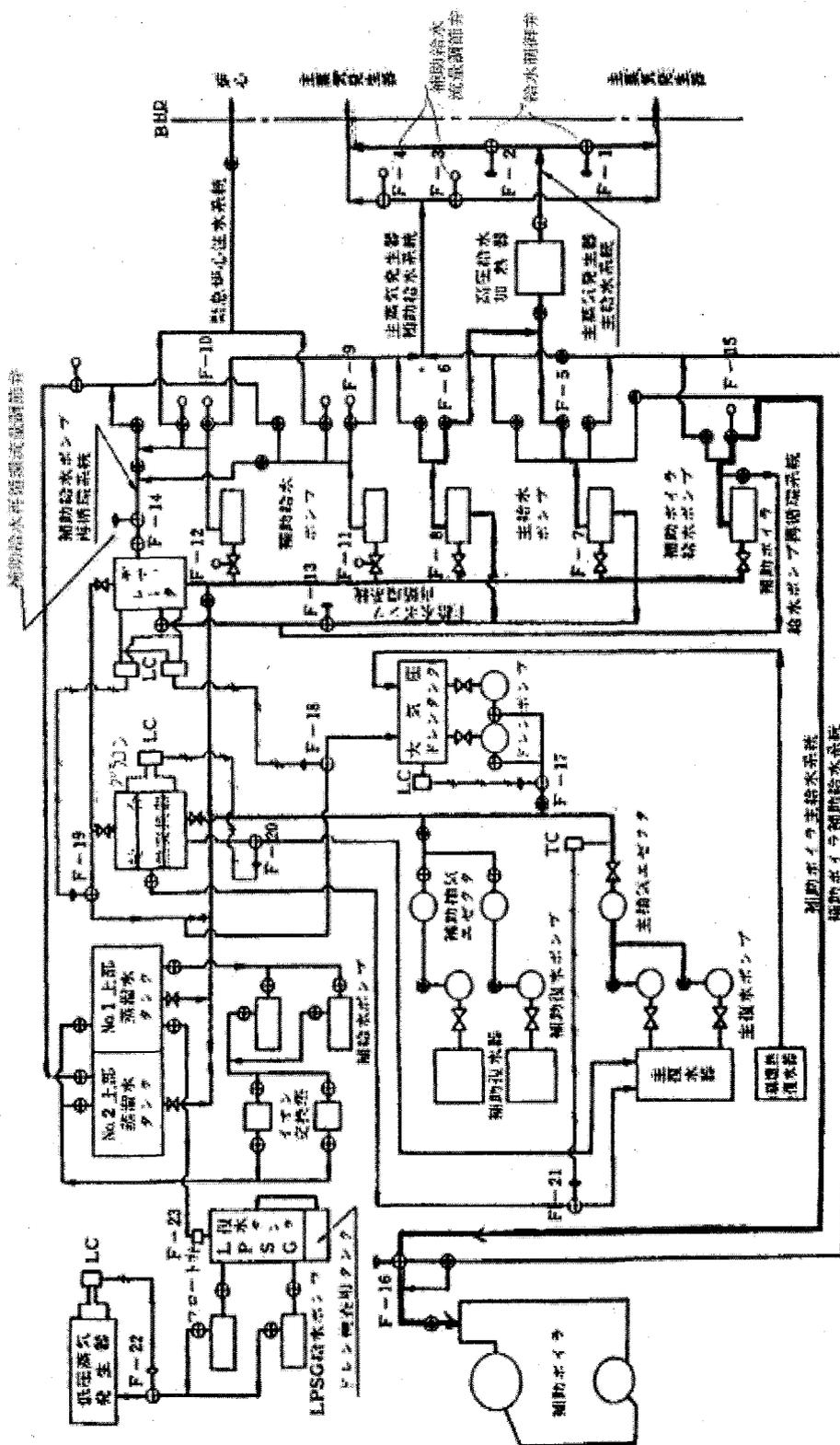


図-1.2.11 復水・給水系統

(16) 復水系統

主復水器、補助復水器、大気圧ドレンタンクの復水は、復水ポンプ通過後、抽気エゼクタで第一段の加熱合流後グラウンド復水器(低圧給水加熱器)を通過し、脱気器に送水される。復水流量が低下することにより冷却能力が低下し、抽気が十分取れなくなることを防ぐため、グラウンド復水器の出口には主及び補助復水器への循環系統が設けられている。

復水・給水系統説明図を図-1.2.11に示す。

(17) 循環水系統

主循環水系統は、主循環水ポンプにより海水を吸い込み、主復水器を冷却し船外へ放出する。

緊急時には、補助循環水系統からも主復水器に供給するラインを持つ。

補助循環水系統では補助復水ポンプを通常2台運転し、補助復水器及び軸冷等に供給される(シミュレータでは、この部分の模擬は行っていない)。

崩壊熱復水器の冷却は、通常、常時運用状態の海水サービス系統により行う(シミュレータではこの系統は模擬していないので、常時崩壊熱復水器へのダンプは可能である)。

主および補助循環水主要系統図を図-1.2.12に示す。

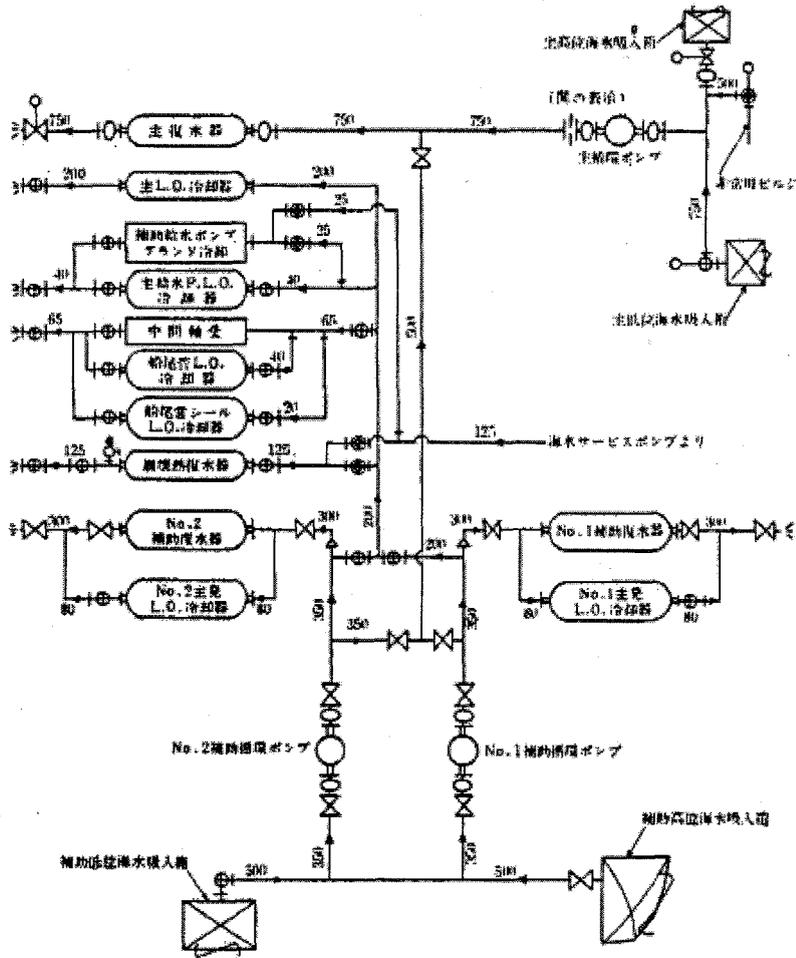


図-1.2.12 補助循環水主要系統図

(18) 制御用空気系統

本系統からは1次系及び機関室内機器への制御用空気の供給を行う(シミュレータでは制御用空気圧縮機は常時正常運転としており、制御空気圧は一定に保たれる)。

(19) 船内電源系統

船内電源として2台のターボ式主発電機(MG: Main Generator)、2台の補助ディーゼル発電機(AG: Auxiliary Generator)、1台の非常用ディーゼル発電機(EG: Emergency Generator)、2台の計装用電動発電機及び計装用蓄電池をもつ。

シミュレータでは計装用電源は常時供給されるものとして、MG、AG、EG5台の発停による電源装置発停模擬をおこなっている。計装用発電機、及び、蓄電池からは必要電力が常時供給される。

主発の設計容量は、800kwである。定格出力運転時の負荷が約950kwであるため、通常時は主発2台運転となるが、過渡的(2時間まで)には125%負荷に耐える設計となっており、主発1台がトリップしても、手動で補発を追加起動することにより電源喪失には至らない。補発の設計容量は720kwである。このため、主発1台+補発1台、又は、補発2台などによっても船内電源をまかなえることになる。補発も過渡的には(2時間まで)は125%負荷に耐える設計となっている。

非発の設計容量は240kWであり、スクラム後の原子炉冷却時や緊急注入時などの最大負荷220kWを満足するものである。非発は主配電盤と非常用配電盤のブスタイがつながっている状態では並列運転できない。

各2基の主発、補発は、主配電盤内で、No.1主発—BUS A (A母線)、No.2主発—BUS B (B母線)、補発—BUS C (C母線)とつながっており、通常母線間はブスタイにより接続されて運用されている。また、ブスタイ接続時は、各2台の主発、補発のうち3台までしか同時接続できないインタロック(4台目のACBが接続できない)がある。シミュレータでは、電源系統の潮流計算は行っていないため、発電機の併入時の同期調整は行わずとも併入可能である。

1. 2. 2 主要計装制御系、プロセス計装

(1) 核計装

核計装は表-1.2.2 に示すように線源領域2チャンネル、中間領域2チャンネル、出力領域4チャンネルの構成、計測レンジとなっている。また、線源領域、中間領域の各チャンネルには微分回路により起動率を計測している。

表-1.2.2 核計装測定領域と測定範囲およびチャンネルのTAGとNo.

中性子束レベル (%)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1	10^2
線源領域(cpm)		8×10^2	8×10^3	8×10^4	8×10^5						
2チャンネル(予備1チャンネル)		NI-1									
検出器 BF ₃ 比例計数管		NI-2									
感度 13cps/nv							線源領域 OFF				
中間領域(A)		4×10^{12}	4×10^{11}	4×10^{10}	4×10^9	4×10^8	4×10^7	4×10^6	4×10^5	4×10^4	4×10^3
2チャンネル(予備1チャンネル)							NI-4				
検出器 CIC 電離箱							NI-5				
感度 $4 \times 10^{-14}A/nv$	1×10^{-8}					1×10^2					
出力領域(%)									10^0	10^1	10^2
4チャンネル(予備は中間領域を併用)									NI-7		
検出器 UIC 2.									NI-8		
CIC 2.									NI-9		
CICは中間領域と併用									NI-10		
感度 $4 \times 10^{-14}A/nv$											

(2) 出力（制御棒）制御系及び制御棒操作

出力中の制御ロジック

模擬プラントの出力制御は制御棒の挿入／引抜のみにより行われ、ホウ素による制御は行っていない。また、制御方式として、平均温度（ T_{av} ）一定制御方式を採用しており、自動制御は、基本的に、平均温度と設定基準温度の差（ $T_{av} - T_{ref}$ ）が正のとき制御棒挿入（1本または2本）、負のとき制御棒引き抜き（1本または2本）による。また、急激な負荷変動に対して、平均中性子束レベルと蒸気と流量の差（ $n - W_s$ ）が補償信号として考慮されている（図-1.2.13 参照）。

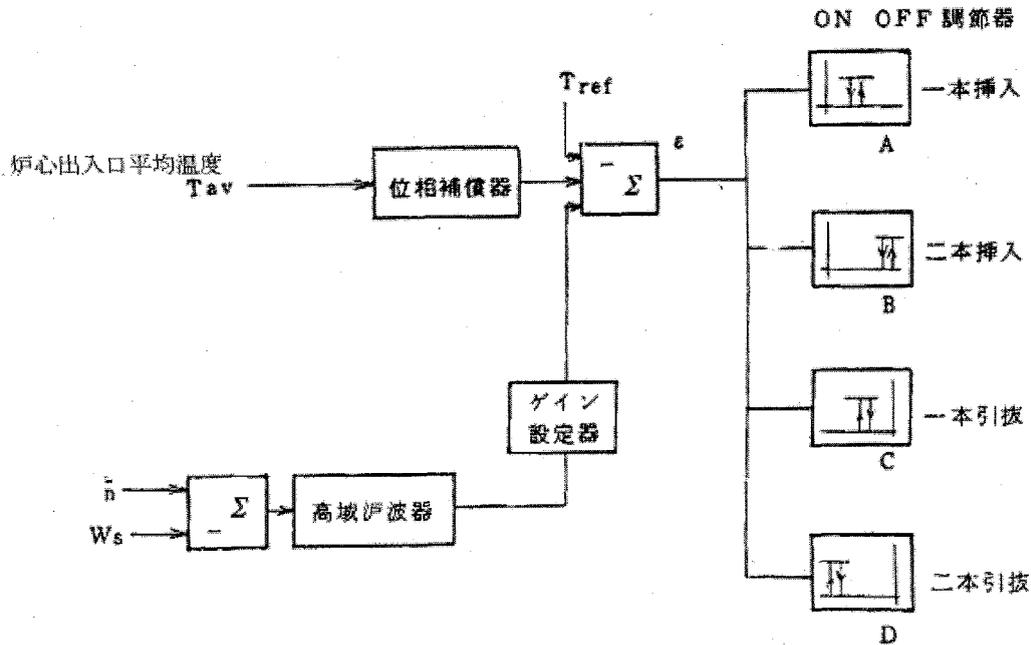


図-1.2.13 原子炉出力制御系ブロック図

起動時の制御棒操作とインターロック

起動時の制御棒引き抜きに関するインターロック（引き抜き許可条件）は以下の通り：

- ・ 線源領域中性子束 2 cps 以上
- ・ 制御棒位置 全炉底
- ・ スクラム信号 発信なし
- ・ モード選択スイッチ 「START」位置
- ・ 制御棒操作モード 「全挿入 (ALL IN)」ではない

上記の条件が成立後、[手動 Gr 引き抜き]により制御棒引き抜き操作が実施可能となる。

出力運転中の制御棒動作、操作

制御バンクは Gr1, Gr2 があり、夫々 2 本の制御棒が含まれる。自動制御時には、選択した Gr (1 または 2) の制御棒が、図-1.2.13 のロジックで挿入/引抜される。制御棒の挿入/引抜が 1 本のみの場合、動作する制御棒はその履歴による。2 本の制御棒の差が 80 mm 以上になると、動作対象制御棒が変わる。なお、手動操作で制御棒 1 本を操作しようとする場合にも同様な振る舞いをする。

自動/手動の切替え

① 自動制御投入可能条件

制御棒を自動制御するためには、以下の条件を満足しなければならない；

- ・ Tav 自動制御上下切替範囲内 (Tav=273.5±2°C)
- ・ 中性子束および蒸気流量 10% 以上
- ・ 非スクラム
- ・ 制御棒自動制御範囲内 (Gr 間位置偏差が規定値以下)
- ・ 自動制御棒指定スイッチとグループ選択スイッチが一致していること

② 自動から手動への切り替わり

- ・ 手動操作を選択した場合
- ・ 蒸気流量が 10% 以下になった場合
- ・ 制御棒自動制御上下範囲内から逸脱した場合
- ・ グループ選択スイッチを変更した場合
- ・ 制御棒モード選択で[全挿入]を選択した場合
- ・ スクラムの発生

(3) 加圧器圧力制御

加圧器ヒータは全体で 8 グループあり、1 グループあたり 16.1kW の出力を持つ。定常運転中は定常(比例)ヒータ選択スイッチにより Gr1~4 の中から選択されているグループが、定常ヒータとして作動する。一方、バックアップヒータ選択スイッチにより Gr5~8 のなかから選択された Gr が、バックアップヒータとして ON/OFF 制御される。それぞれの選択スイッチを OFF とすると、全てのヒータが OFF となる (シミュレータでは、通常、Gr1 を定常ヒータに、Gr5 をバックアップヒータに選択されている。また、模擬プラントの特性より、加圧器放熱を考慮し Gr8 ヒータは常時 ON の運用とする。)

定常ヒータ出力は、加圧器圧力と設定圧力を入力とした PID 制御による加圧器圧力制御器出力により連続制御される。

定常ヒータ出力は、加圧器圧力と設定圧力を入力としたPID制御に加え、前記の加圧器圧力制御器とは独立の加圧器スプレィ制御器により、P動作のみにより連続制御される。また、加圧器逃し弁は、2系列4弁から構成される。加圧器圧力の制御動作図を図-1.2.14に掲げる。

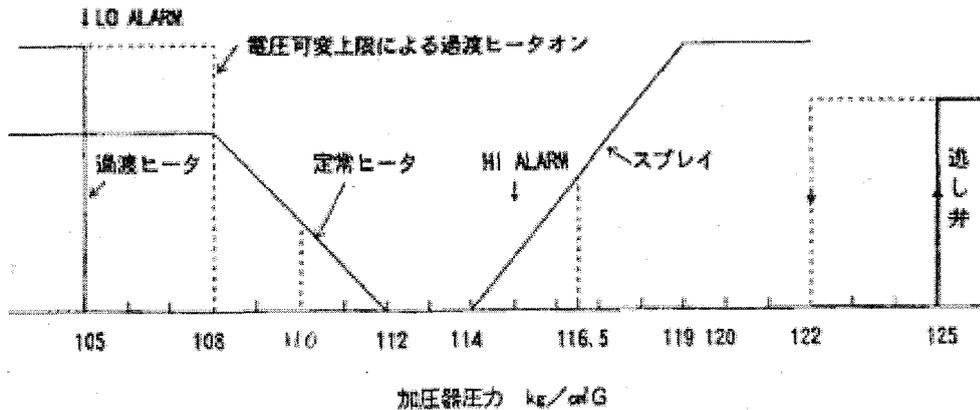


図-1.2.14 加圧器圧力制御動作図

(4) 抽出流量制御 (加圧器水位制御)

模擬プラントでは、往復動の充填ポンプにより充填を行っているため、充填流量の連続制御は行えない。加圧器水位の制御は抽出流量制御により行う。抽出流量の制御は以下の方式による。

抽出流量制御器は、主冷却水を減圧抽出および充填し、加圧器水位を制御する機能を持ち(起動時の加圧器が満水状態では、主冷却系の圧力制御を行う)、次の3つの制御モードを持つ：

- ① 一次冷却系の圧力制御
- ② LOW PRESSURE LEVEL CONTROL
- ③ HIGH PRESSURE LEVEL CONTROL

圧力制御モード

原子炉起動時に加圧器の気醸を開始するまでのモードで、低圧抽出ライン圧力調節系により一次冷却系圧力を一定にする。

LOW PRESSURE LEVEL CONTROL モード

原子炉起動時および停止時の主冷却系圧力が低いモードで、加圧器水位偏差信号は制御信号一致演算器を経て低圧抽出ライン圧力調節計 PIC LC-7 の設定値となり、全調節系で弁 LC-011 を自動制御とし、加圧器水位を一定に維持する。

このモードでの LET DOWN FLOW CONTROLLER の機能ブロック図を図-1.2.15 に示す。

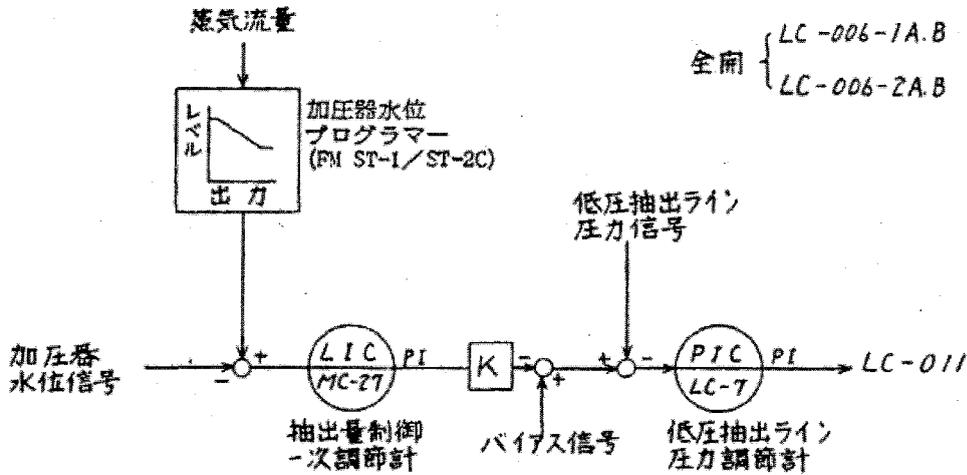


図-1.2.15 LET DOWN FLOW CONTROLLER ブロック図

HIGH PURESSURE LEVEL CONTROL モード

このモードでは、原子炉の通常運転時において抽出量調節弁 LC-006-1A,B または LC-006-2A,B のいずれか一方を自動制御し、加圧器水位のプログラム制御を行う。また、低圧抽出調節弁 LC-011 は低圧抽出ライン圧力が一定になるよう自動制御される。加圧器水位のプログラム制御は、炉出力（蒸気流量）20%（未満）で55%、炉出力80%以上で43.6%、20%から80%の間では、炉出力1%の変化あたり-0.19%変化する。

機能ブロック図を図-1.2.16 に示す。

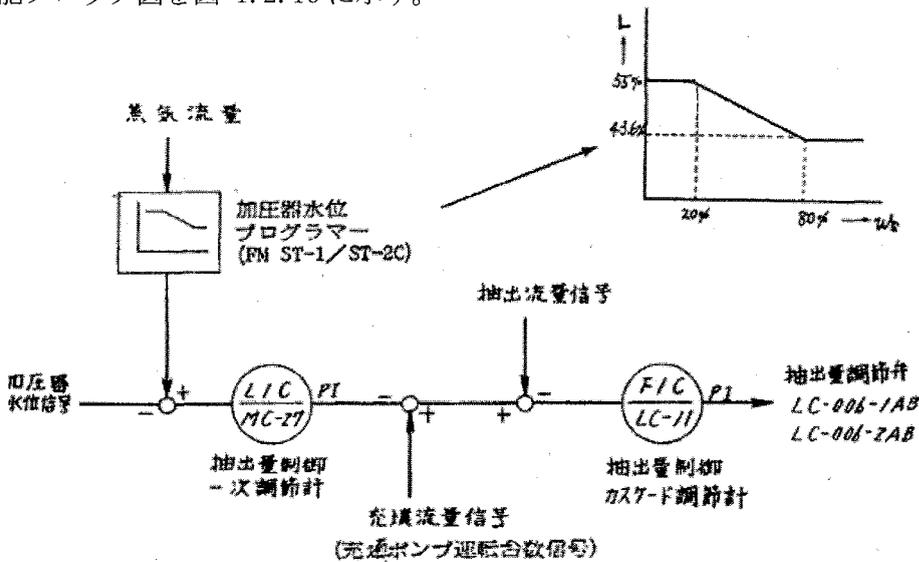


図-1.2.16 HIGH PURESSURE LEVEL CONTROL モードにおける機能ブロック図

(5) 給水制御

主給水制御

蒸気発生器の水位制御は、蒸気、給水流量、および蒸気発生器の3要素を入力とするPI制御で給水制御弁の開度を自動制御する。SG基準水位は、69.6%で一定制御となる。SG水位高による給水制御弁閉インターロックは、狭域92.7%で作動するが、給水制御弁マニュアル時は、このインターロックがバイパスされる。

また、発電炉と同様に、給水圧とポンプ吐出圧の差圧が一定となるように、給水ポンプの回転数（ガバナ）制御を行う。

補助給水制御

蒸気量が少ないとき、あるいは蒸気源切り替え時などに主給水ポンプが使用できないときに、電動の補助給水ポンプを持つ補助給水システムで給水を行う。補助給水流量の調整は、補助給水ポンプの手動発停や補助給水制御弁の開度調整により、流量調整を行う。補助給水制御弁による連続調整の場合には、補助給水ポンプも給水圧とポンプ吐出圧の差圧が一定となるように再循環弁による自動制御を行う。

微小開度においては補助給水再循環弁解度を微調整し、補助給水流量の調整を行うことができる。

補助ボイラ給水制御

補助ボイラ給水制御は、ボイラへの供給水と補助ボイラ蒸気流量を入力とした給水制御が行われる。シミュレータ上では、これにかかわる手動操作、調整は模擬しておらず、補助ボイラ給水ポンプを起動することにより補助ボイラ水位が一定に制御されるよう模擬されている。

実機の補助ボイラ制御は、遠隔操作スイッチにより重油供給、点火、バーナ制御、消火などのタイムシーケンスにより起動、停止が行える。これらの操作に関しても、シミュレータ上では模擬対象としておらず、補助ボイラの操作スイッチで動作するよう模擬されている。

(6) 主ダンプ（タービンバイパス）制御

主ダンプ系は、主ダンプ弁と4段オリフィスからなる。ダンプ弁はON/OFF制御で、開としたときには約18t/hrのダンプ容量となり、主機トリップの場合にも、原子炉はスクラムしない設計となっている。

ダンプ弁は、62.5kg/cm²で開となり、58.5kg/cm²で閉となる。インターロックはAUTO時には下記の①～③の条件で開許可となり、手動時には②、③の条件が開許可条件となる。

- ① 出力10%以上
- ② 復水器真空度630mmHg以上
- ③ 蒸気流量16t/hr以下（ダンプ弁開中は本インターロックはバイパス）
（主蒸気安全弁設定値は68kg/cm²である。）

蒸気ダンプ制御系のブロック図を図-1.2.17に掲げる。

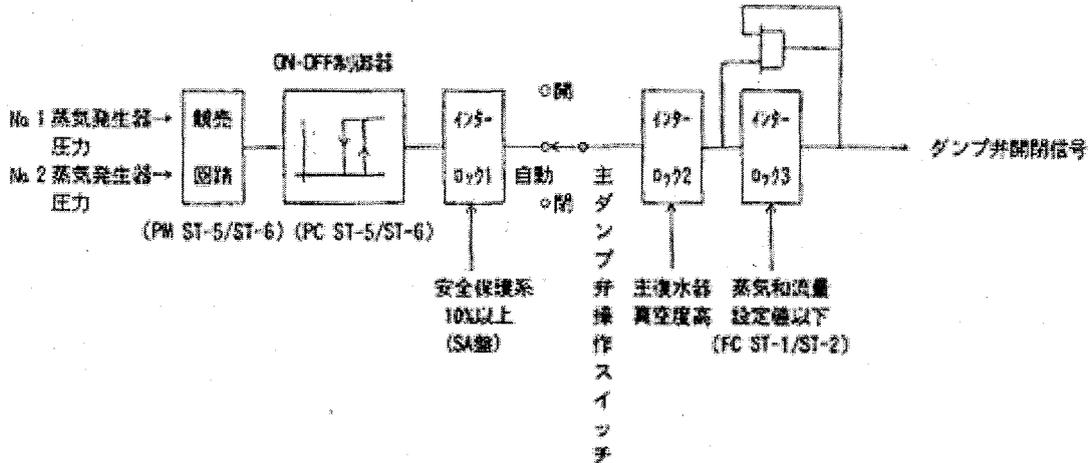


図-1.2.17 蒸気ダンプ制御系ブロック図

(7) タービン制御

主機制御モードは以下の4つのモードに大別することでき、主機制御モード選択パネルにより選択することができる。

- ① 回転数制御
- ② ダイレクトコントロール
- ③ オートスピニング
- ④ 緊急停止

また、これら主機制御モードに加え、プラントモード切替によりタービン動作に影響がある。以下、個々の制御モードについて解説をする；

回転数制御モード

通常の航行中のモードで、回転数設定パネルで設定したタービン回転数にPI制御される。回転数は最大200rpmで、平水直進航行中で常用出力である9000psに相当する回転数は、約189rpmであり、船速16.7knt程度である。シミュレーター上では、操船や海況によりプロペラ負荷トルクが変わるため、同じ出力でも回転数は変わる。回転

数設定は、テレグラフおよび連続モードで設定可能である（実機では、操縦レバー位置に応じた指令電圧値となる）。テレグラフでは前進 FULL ～ 後進 FULL までレバーが切り替わり、前進中に、後進 FULL にレバーを操作することにより、急停止～後進に切り替わる。シミュレータの調整は、テレグラフの前進 FULL は 100rpm に調整されているため、プラント起動後、常用出力にするためには、連続モードで 189rpm の設定とする。

ダイレクトコントロール

前進制御弁（ガバナ）、後進制御弁の開度を直接操作するモードである。主器制御モードを「ダイレクト」と設定し、前進または後進を選択し、連続調整により開度調整を行う。

オートスピニング

停船中に軸のひずみを除去する目的で、プロペラ（主機タービン）を前進約 10rpm ～ 後進約 10rpm に 2 分間隔で繰り返し回転させる機能である。

主機危急停止

主機制御モード選択の[STOP]を押下することにより、前進および後進ガバナ弁の制御油を排出し、急速にガバナを閉じる（タービントリップ）スイッチである。テレグラフの[STOP]は、回転数=0 の設定を示し、危急停止とは異なることに注意したい。

また、タービントリップには以下の 4 種類の自動トリップがある：

- 停電トリップ
- 潤滑油ポンプ吐出圧力低下トリップ
- 軸受給油圧力低下トリップ
- 原子炉スクラムトリップ

プラントモード切替

主機制御モードとは別に、運転状態に応じて、抽気、ドレンの弁開閉状態を切り替える機能がある。これらには以下のモードがある；

- NORMAL モード：通常航海のモードで、後進中間弁、ドレン弁は閉、抽気弁は開となる（各弁操作スイッチが AUTO のとき）。操縦レバーを停止または後進にいと、自動的に MANEUVERING モードに変わる。
- MANEUVERING モード： 出入港モードで、急激な操縦レバー操作に備え、後進中間弁、ドレン弁は開、抽気弁は閉となる（但し、各弁操作スイッチが AUTO とする）。

1. 2. 3 運転モード

模擬プラントの出力は下記で計画されている；

定格出力時 : 原子炉100% (36MW)

タービン (プロペラ軸馬力) 10000ps×200rpm

常用出力時 : 原子炉 90%

タービン (プロペラ軸馬力) 9000ps×193rpm

(1) 起動曲線

図-1.2.18 にシミュレータ上で模擬される原子炉システムの冷態停止状態からの起動曲線および関連する操作を示す。図に示されるように、起動操作においては、約20時間程度をかけて原子炉による船舶の運航可能な状態に移行する。

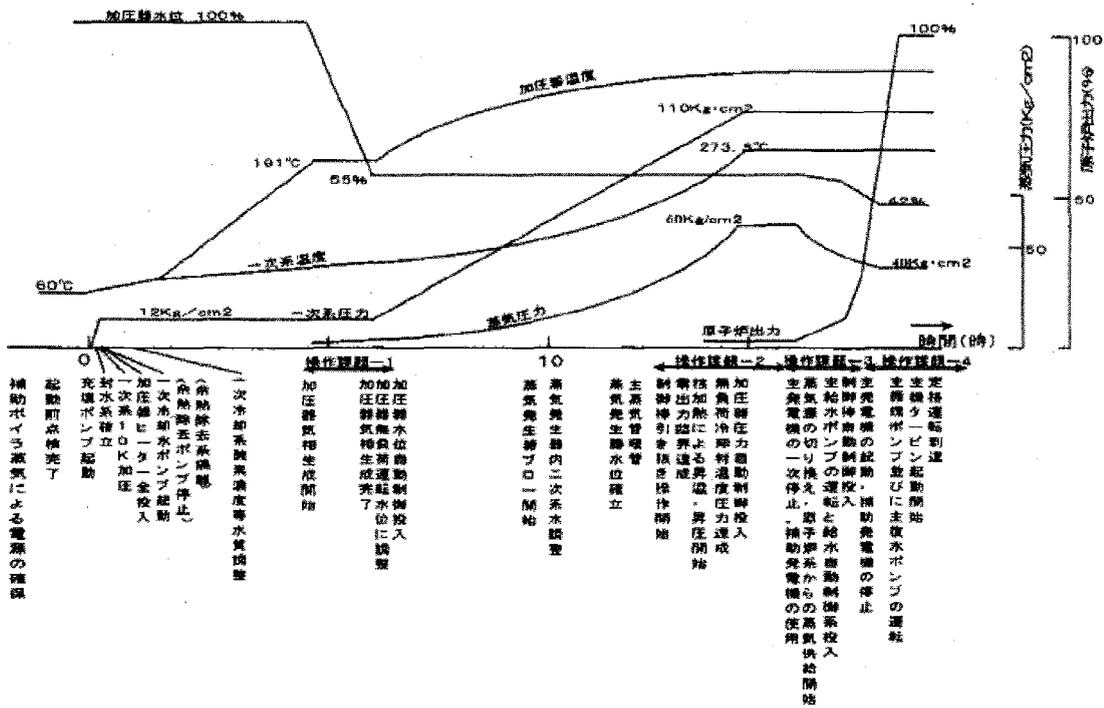


図-1.2.18 冷態停止からの起動曲線 (概念図) と関連操作

1. 2. 4 安全保護装置

(1) スクラム回路

スクラム回路は、図-1.2.19 に示されるように13回路からなる。このうち、船体傾斜については、シミュレータでは模擬対象としていない。

スクラム回路のうち、CRDM 封水温度高および手動スクラムは出力にかかわらず作動する。出力領域中性子束高はモード選択により設定値が変わる。残りの9回路については、中性子束、蒸気と流量とも10%以下の場合にブロックされるもの（低出力インターロック）と中性子束、蒸気と流量のいずれか一方が10%を超えたときにブロックされるものがある。

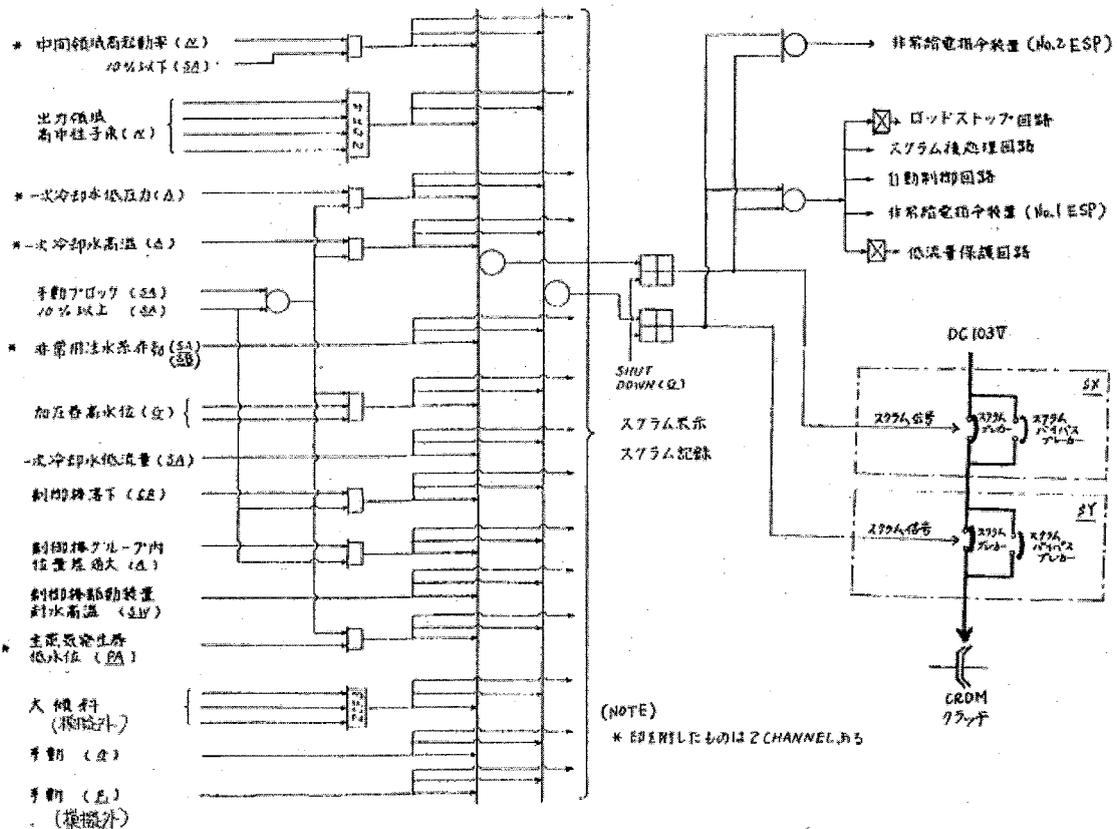


図-1.2.19 スクラム回路

(5) 格納容器スプレィ作動回路

一次冷却水喪失事故時に、SI 信号+格納容器圧力異常高の条件で発信する (SP 信号)。

SP 発信時には、SI タイマーシーケンスにさらに2つのタイマー動作が加わり、補機動作 (格納容器スプレィポンプ) やスプレィ及び格納容器隔離弁が開閉する。

(6) 主要警報

主要な警報設定値を表-1.2.3 に示す。

表-1.2.3 主要警報装置の設定値 (1)

名 称	設 定 値	設 定 器	備 考
線源領域起動率 (高)	1.5 D. P. M	NI-1, 2 (NM 115)	ロッドストップ作動 (但し、原子炉出力 10% 以上では無効)
中間領域起動率 (高)	1.5 D. P. M	NI-4, 5 (NM 211)	ロッドストップ作動 (但し、原子炉出力 10% 以上では無効)
出力領域出力 (高)	START モード 17 % RUN モード 111 % 単ループ運転 56 %	NI-7, 8, 9, 10 (NM 304)	ロッドストップ作動
加圧器圧力 (低)	10.5 kg/cm ² G	PA MC-18	
加圧器圧力 (高)	11.5 kg/cm ² G		
一次冷却水ループ 平均温度 (低)	268.5℃ ※	No.1 ループ TA MC-1/3C	
一次冷却水ループ 平均温度 (高)	278.5℃ ※	No.2 ループ TA MC-5/7C	
加圧器水位 (低)	35%	LA MC-26	
加圧器水位 (高)	60%	LA MC-27	
一次冷却水流量 (低)	74.4 % (定格流量の93%)	No.1 ループ FRA R-7 No.2 ループ FA R-7	
制御棒グループ内 位置差 (過大)	G ₁ 90 mm G ₂ 90 mm G ₃ 90 mm G ₄ 90 mm	DA CR-1/2 DA CR-3/4 DA CR-5/16~8/16 DA CR-9/17~12/17	
制御棒駆動装置 封水戻り温度 (高)	80℃	TCA CW-13~24	

※ 一次冷却水平均温度 (T_{av}) の変更に伴い変更する。
ただし、設定値は、T_{av}±5℃である。

表-1.2.3 主要警報装置設定値 (2)

名 称	設 定 値	設 定 器	備 考
蒸気発生器水位 (低)	46.5% (NARROW)	No. 1. S. G LA ST-7	
蒸気発生器水位 (高)	92.7% (NARROW)	No. 2. S. G LA ST-8	
格納容器圧力 (高)	200 mm H ₂ O	PRA R-14	
主循環水筒真空度 (低下)	630 mm Hg	データロガー	
制御用空気供給ライン PCV 出口圧力 (低)	3 kg/cm ² G	PA AS-1	
制御用空気供給ライン PCV 出口圧力 (高)	7 kg/cm ² G		
体積制御サージタンク (高) 水位 (低) (低低)	81% 67% 10%	LA LC-12A LA LC-12B	タイマー設定 10秒 10秒 10秒
ほう酸注入タンク 温度 (低)	50℃	TA CA-1	
ほう酸注入タンク 水位 (低)	3%	LCA CA-2	タイマー設定 10秒
ヒートトレース 温度 (高)	80℃	TA CA-4	
ヒートトレース 温度 (低)	50℃	TA CA-5	
一次冷却水放射能 濃度 (高)	7 CPS	RE PU-2 (RIA PU-2)	

2. 原子炉シミュレータの運転操作のためのユーザーインターフェース

2. 1 DETRAS システムにおける計算機構成概略と運転操作環境の構築例

日本原子力研究開発機構サイト外部の遠隔地から、インターネットなどの通信回線を介して、原子力研修センターのシミュレータ室内に設置しているシミュレータを運転操作することができます。

図-2.1.1 は、遠隔地からシミュレータを利用する際の計算機装置の配置とその間のデータの流れを模式的に表しています。図に示すように、遠隔地でシミュレータを運転操作するために、そのエリアに「インターフェース制御用サーバ(Interface Control Server)」と、複数の「運転操作作用端末 (Interface Terminal)」^{注1)}を配置し、運転操作環境を構築します。

注1) 「運転操作作用端末」には、プラントの運転操作を行う運転操作作用端末の他、インストラクタ用端末 PC、並びに大型スクリーン描画用画面生成用 PC の 3 種類を含んでいます。

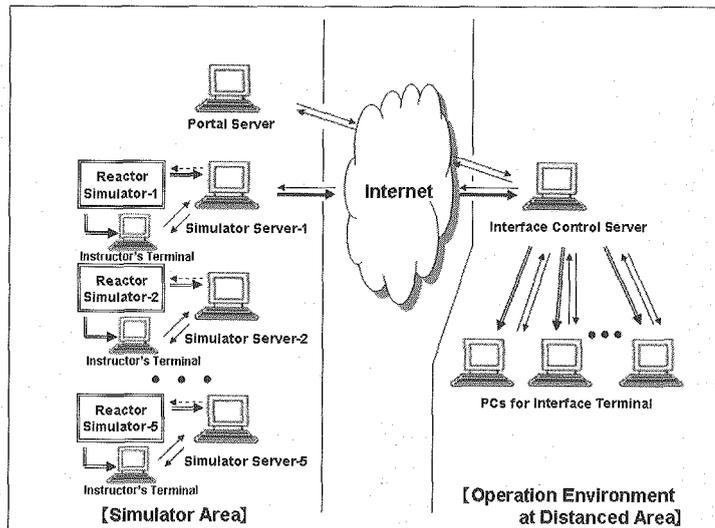


図-2.1.1 DETRAS システムにおける計算機構成とデータの流れ

図の左側は原子力研修センターのシミュレータ装置設置エリアを表しています。現在、このエリアには、ポータルサーバ用 PC と 5つの原子炉シミュレータ並びにこれに付随するシミュレータサーバを搭載した PC が設置されています。シミュレータサーバは、原子炉シミュレータと外部（運転操作環境）との通信の制御などを行います。このエリアには、必要に応じて、遠隔地の運転操作状況をモニタ・指導するためのインストラクタ用端末を配置することもできます。このインストラクタ用端末では、遠隔地の操作端末上に開かれている操作画面とカーソル位置の変化を随時把握することを可能にしています。

図の右側は、遠隔地に構築した原子炉プラント運転操作環境を表しています。ここでは、複数の運転操作作用端末とシミュレータエリアとのデータの送受信と運転操作作用端末の制御を行うインターフェース制御用サーバを配置し、原子炉プラントの運転操作環境を構築します。運転操作環境構築に必要なソフトウェアパッケージは、シミュレータ装置設置エリアのポータルサーバ用 PC 上で作成・配布されます。

遠隔地に構築した運転操作環境でインターフェース制御用サーバが起動すると、まず、シミュレータエリアに配置したポータルサーバに対し、原子炉シミュレータとの接続が要求されます。ポータルサーバは、接続要求をした制御用サーバ搭載 PC 並びにユーザーが適正なものであるかどうかの認証作業を行った後、制御用サーバに対し、動作中で利用可能な原子

炉シミュレータを制御用サーバに対し割り当てます。一連の手続きが完了すると、制御用サーバは割り当てられた原子炉シミュレータとの通信を開始し、遠隔地での原子炉プラントの運転操作が可能になります。

「インターフェース制御用サーバ」は、シミュレータの操作を行う「運転操作端末」とシミュレータサイトとの仲介的役割を果たし、シミュレータサイトとのデータの送受信を一括して行います。加えて、複数の「運転操作端末」を制御する役割も果たします。

運転操作環境の具体的な構築例を写真-2.1.1に掲げます。この例では、運転操作作用端末6台、インストラクタ用端末1台の構成とし、壁面には、大型スクリーンを配置しています。壁面の大型スクリーンには、2台のPC端末で生成した画像を2台のプロジェクタで描画する構成とし、計9台のPCを用いて運転操作環境を構築しています。「インターフェース制御用サーバ」は、インストラクタ用端末と同一のPCで動作させています。

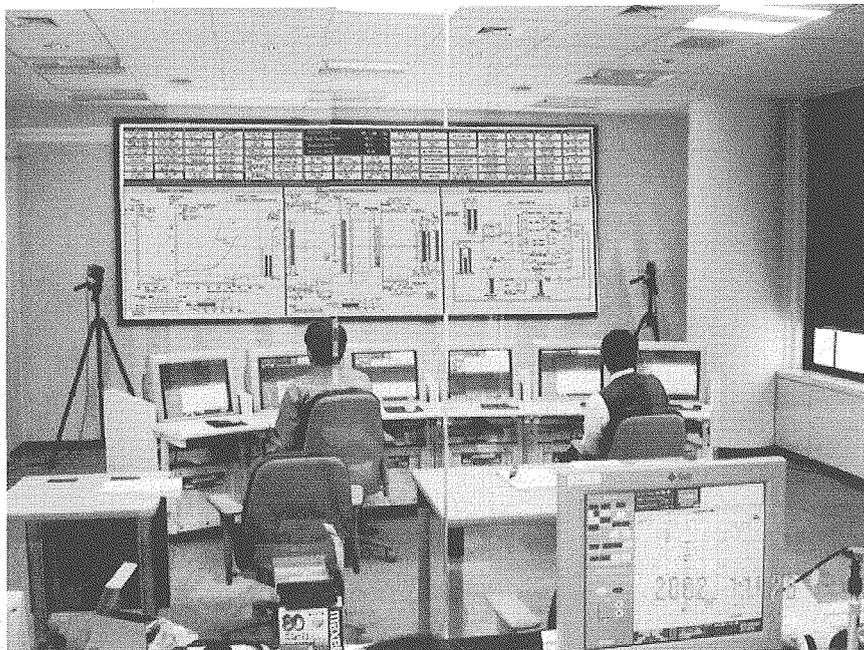


写真-2.1.1 運転操作環境構築例

DETRAS では、原子炉プラントの運転操作環境を構築するため、①複数の運転操作作用端末、②プラント全体の状態を俯瞰的に監視・把握するためのオーバービューディスプレイ用端末、③運転操作教示用のインストラクタ用端末の3種類の端末用ソフトウェアを準備しています。

写真に示した例は、3種類の端末用ソフトウェアの機能を全て用いて運転操作環境を構築した、いわば理想的な構成です。ここでは、6台の運転操作作用端末を二人の運転員が操作する構成とし、壁面のスクリーン上に二人の運転員が情報の共有を可能とするオーバービューディスプレイを配置、運転員の後方(写真の手前)にはインストラクタ用端末を配置しています。

運転操作環境として、複数台の運転操作作用端末のみの構成とすることも可能です。こうした構成で原子炉プラントの運転操作を行うには、難易度から考えて、最低3台の運転操作作用端末を用いた構成とすることが必要と考えられます。また、インストラクタ用端末はシミュレータサイトに配置し、遠隔地に構築した運転操作環境に対して教示・指導を行う構成も可能です。

2. 2 運転操作端末と操作方法

(1) シミュレータの制御

運転操作端末画面を開くと、画面上に「SimconPic」ウィンドウ（図-2.2.1 を参照）が開かれます。

このウィンドウ上に配置されたボタンの押下により、GO/FREEZE 設定、シミュレーション速度の変更、初期値ファイルの設定、バックトラック（シミュレータの状態を過去に遡って設定）を行うことができます。



図-2.2.1 SimconPic ウィンドウ（シミュレータの制御）

(1-1) GO/FREEZE 設定

シミュレータの GO/FREEZE 状態に対応して、ボタン上の「GO」、「FREEZE」文字が緑色になっています。図-2.2.1 では、シミュレータの状態が「FREEZE」状態になっています。

「Simulator Control」の[GO]ボタンを押下することにより、シミュレータの状態を GO 状態にすることができます。これには、ボタンの押下から 2 秒程度の時間を要することがあります。

「FREEZE」ボタンを押下すると、GO 状態から FREEZE 状態に変更します。

(1-2) シミュレーション速度の変更

「Simulator Speed」の [×1]~[×8] ボタンを押下することにより、1 倍速から 8 倍速まで、シミュレーション速度を設定・変更することができます。

シミュレーション速度の現状は、シミュレータが GO 状態にある場合についてのみ、正しく表示（文字が緑色に変化）されることに注意して下さい。

(1-3) シミュレータの初期値設定

「IC_NO.Set」で、あらかじめシミュレータ上に登録しているシミュレータの初期設定値 8 種類を、[1] ~ [8] のボタンを押下することにより設定することができます。ボタ

ンの押下から初期値が設定されるまでには、約10秒程度の時間を要します。
初期値の設定は、シミュレータが FREEZE 状態にあるときのみ有効です。

表-2.2.1 シミュレータ初期設定値一覧

IC-No.	初期設定の内容
1	90%常用出力
2	温態停止状態（原子炉停止後1時間経過）
3	温態停止状態
4	冷態停止からの起動（加圧器気相生成前、崩壊熱有）
5	冷態停止からの起動（加圧器気相生成前、崩壊熱無）
6	冷態停止状態（RHR：ON 崩壊熱有）
7	冷態停止状態（RHR：OFF 崩壊熱、Xe無）
8	前回使用終了時のシミュレータ状態

(1-4) バックトラック（シミュレータの状態を過去に遡って設定）

「Back Track(min)」で、過去のシミュレータ状態を設定することができます。

[-5]～[-20]ボタンにより、夫々、5分前から20分前の状態に設定できます。

バックトラックは、シミュレータが FREEZE 状態にあるときのみ有効です。

(1-5) 「SimconPic」ウィンドウ上のその他の機能

- [Out Perform]欄によるシミュレータの演算状態表示

シミュレータが演算範囲を逸脱するなどして、一定のタスクが停止するなどの状態が発生した場合、[Out Perform]欄が赤色に変化し、シミュレータ上の計算が正しくないことを表します。

- ユーザーインタフェースの終了

右下の  ボタンを押下することにより、ユーザーインタフェースを終了することができます。

(1-6) 「SimconPic」ウィンドウの消去と表示

- ・ウィンドウ上部のタイトルバーのウィンドウ消去ボタン×を押下すると、「SimconPic」ウィンドウが消去されます。
- ・マウスを右クリックします。「SimconPic」ウィンドウが、運転操作画面の前面に表示

示されます。

(2) プラント運転操作画面の構成概要

運転操作端末の画面構成は、図-2.2.2 に示すように、8 個の情報エリア (ペーン) から構成されています。

- ① プラント情報表示エリア
- ② プラント状態モニタエリア
- ③ プラント制御用キーエリア
- ④ 表示対象端末選択ボタンエリア
- ⑤ 目的別メニューボタンエリア
- ⑥ 種類別メニューボタンエリア
- ⑦ 警報表示エリア
- ⑧ プラント出力表示エリア

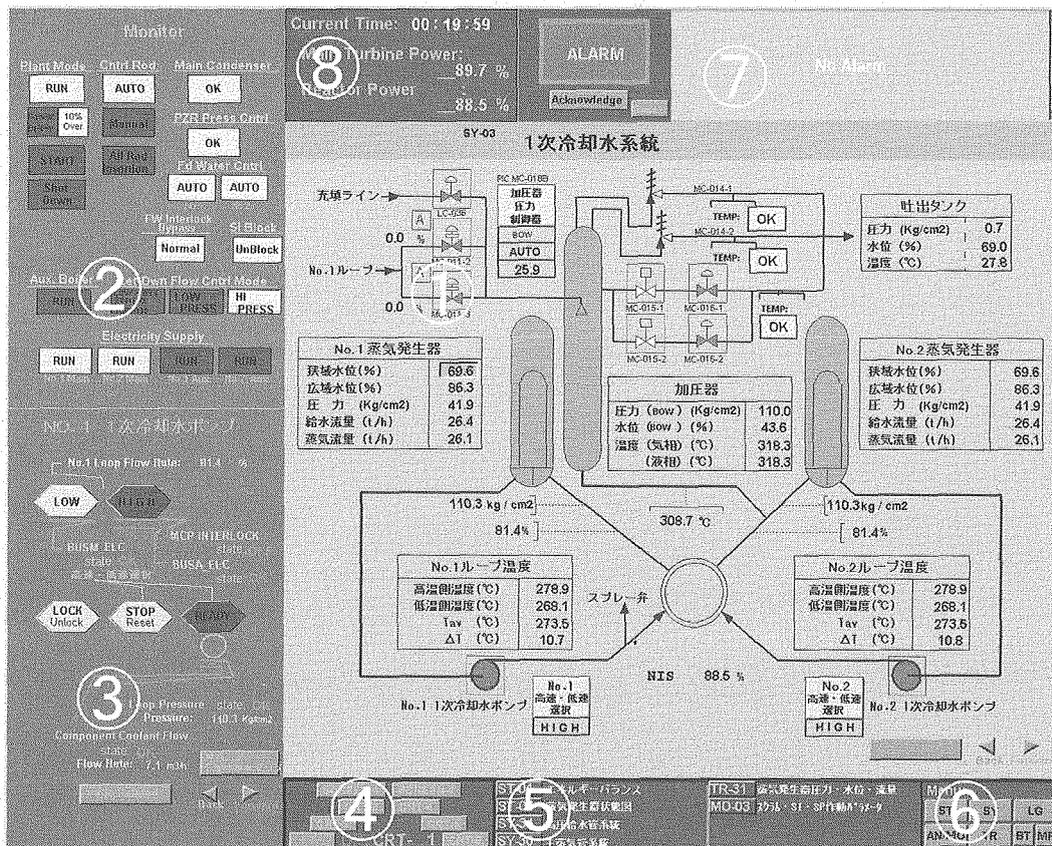


図-2.2.2 運転操作画面の画面構成

(2-1) プラント情報表示エリア (図-2.2.2 の①)

このエリアには5種類61の情報表示画面が描画されます。シミュレータ上でプラント状態の監視・運転操作を行うために、これら画面を必要に応じて選択・描画します。表-2.2.2に、このエリアに表示される画面の種類をまとめます。

表-2.2.2 プラント情報表示画面

画面コード	画面種類	画面数
ST	プラント状態ダイアグラム表示	4
SY	系統図	16
LG	制御ロジック線図	10
AN/MO	アナウンシエータ/モニター表示	10
TR	主要パラメータトレンド図	21

(2-2) プラント状態モニタエリア (図-2.2.2 の②)

プラントの運転状態の識別に役立つ情報がまとめられています。ここに表示されている情報には、プラントモード、制御棒、主復水器(Main Condenser)、加圧器、給水系、抽出流量制御系、安全注入系(SI)、電源系の状態が表示灯の形式で表現されています。このモニタエリアに含まれる情報が変化すると、チャイム音が鳴り、変化した部分が10秒間にわたり点滅します。

(2-3) プラント制御用画面エリア (図-2.2.2 の③)

プラントの制御は全てこのエリアで行います。プラントの制御は、バルブの開閉、各種スイッチ等の操作を通じて行うこととなりますが、この画面エリアにプラント情報表示画面上のバルブ、スイッチ等のアイコンの選択により該当する制御用画面が開かれ、この画面上に配置されたスイッチをマウスクリックすることにより必要な制御が実行されます。

(2-4) 表示対象端末選択ボタンエリア (図-2.2.2 の④)

複数の運転操作端末を用いてシミュレータを操作しようとする場合に使用します。

プラントの運転・監視の場面毎に、「プラント情報表示エリア」、「プラント制御用キーエリア」に適切な画面を選択・描画することとなりますが、かなりの頻度で、特定の画面を開いた状態で関連する画面を同時に開く必要が生じます。既に開かれている画面を閉じることなく関連する画面を別の端末上に描画する際に、描画対象とする端末の選択に用いられます。

(2-5) 目的別メニューボタンエリア (図-2.2.2 の⑤)

プラント情報表示画面選択用のボタンが表示されます。

ここに表示される画面選択ボタンは、操作端末上のパラメータ値、機器・コンポート名 (橙色の下線、あるいは制御用画面の橙色のテキストが対応)、アラームリスト、個々のプラント情報表示画面あるいはプラント制御用画面上の[Page Related]ボタンをクリックすることにより、これに関連深い一組の情報表示画面呼び出し用ボタンが選択・配置されます。

(2-6) 種類別メニューボタンエリア (図-2.2.2 の⑥)

このエリアに配置されたボタンのうち[ST]、[SY]、[LG]、[AN/MO]、[TR] ボタンの押下により、対応する画面種類 (表-2.2.2) に含まれる情報表示画面選択用メニュー画面がプラント情報画面表示エリアに描画されます。

また、[BT] ボタンの押下によりバックトラック (過去のシミュレーション状態にシミュレータを戻す) 情報のプラント情報表示エリアへの表示、[MF] ボタンの押下によりマルファンクション設定ウィンドウの表示を行うことができます。

(2-7) 警報 (アラーム) リスト表示エリア (図-2.2.2 の⑦)

警報の発生状況を表示します。

警報の発報時に、ブザー音とともにアラーム灯が点滅します。[Acknoledg]ボタンの押下によりブザー音を消去するとともに、アラーム灯の点滅を終了します。また、警報の発報を時系列的にリスト表示します。

(2-8) プラント出力表示エリア (図-2.2.2 の⑧)

シミュレーション開始からの積算時間 (「Current Time」)、主機タービン出力 (「Main Turbine Power」)、原子炉出力 (「Reactor Power」) を表示します。

(3) 操作方法

本シミュレータシステムにおいては、プラントの運転操作は全てマウス操作を通じて行われます。

プラントの運転操作にあたっては、運転操作の場面々々に相応しい「情報表示画面」の選択・呼び出しにより原子炉状態を把握するとともに、「制御用画面」の選択・呼び出しにより、「制御用画面」内に配置されたソフトキーを通じたプラントの制御操作を行うこととなります。

本節では、具体的な原子炉プラントの運転・操作を想定して、「情報表示画面」の選択・呼び出し、「制御用画面」の選択・呼び出し、ソフトキー操作によるシミュレータへの制御信号の送信について説明します。

(3-1) 運転操作端末の起動とシミュレータ状態の設定

「外部ネットワーク環境（シミュレータ室外）におけるシミュレータ運転操作環境の構築と起動・停止」（第Ⅱ部 Ⅱ-2）の4章（1）の「インタフェース制御用サーバおよび運転操作端末の起動手順」に沿って、運転操作端末を起動します。図-2.2.3に示すような初期画面が端末上に開かれます。

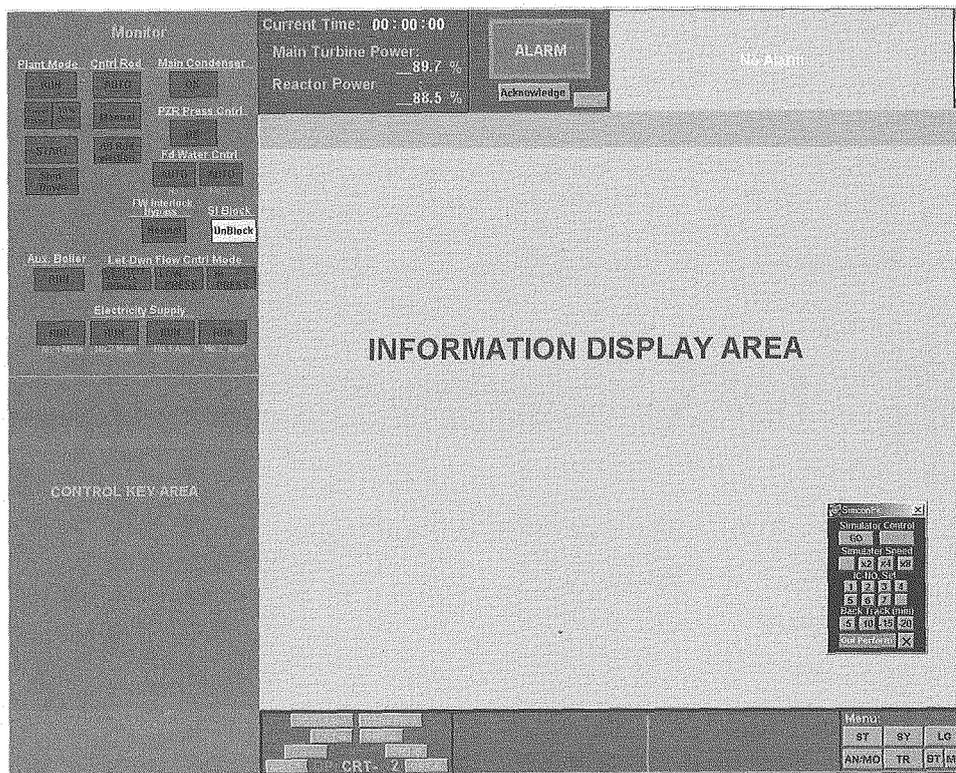


図-2.2.3 起動直後の運転操作作用端末

運転操作端末画面前面には、シミュレータの状態を設定する「SimconPic」ウィンドウが開かれています。シミュレータ状態を「1. (1) シミュレータ状態の設定」に沿って、以下のように行います。

2. 1. 1. シミュレータを GO 状態に変化させ、操作端末とシミュレータとの接続が正常であることを確認します。
2. 1. 2. シミュレータを FREEZE 状態に戻し、シミュレータ初期値を「90%常用出力」(IC_No.=1) にセットします。
2. 1. 3. シミュレータを再び GO 状態にします。
2. 1. 4. 「SimconPic」ウィンドウ上部の×によりウィンドウを閉じます。

(3-2) 「種類別メニューボタン」による情報表示画面の呼び出し

「種類別メニューボタン」を用いた情報表示画面の呼び出しを説明するため、まず、

「90%常用出力」状態のプラントが、情報表示画面上でどのように表されているかを見ることにします。

- ① 運転操作端末右下の「種類別メニューボタンエリア」(図-2.2.2 ⑥)の[SY]ボタンを押下します。系統図(ミミック図)をベースとした情報表示画面の選択用メニュー画面が開きます。

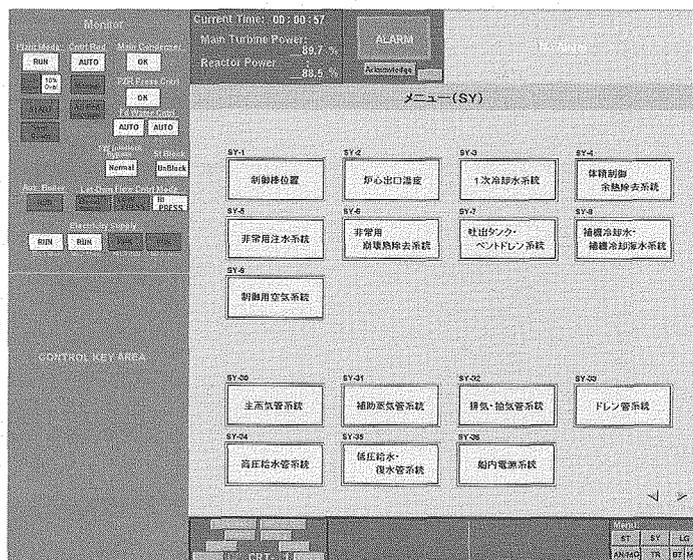


図-2.2.4 SYメニュー画面

- ② 画面コードSY-03「1次冷却水系統」のボックス上にマウスカーソルを移動し、左クリックします。SY-03画面をプラント情報表示画面エリアに「1次冷却水系統」の画面が描画されます。

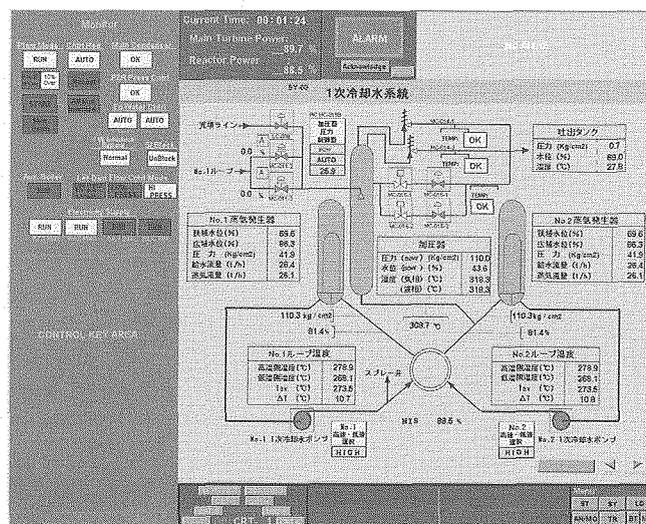


図-2.2.5 SY-03 (1次冷却水系統)画面の選択

- ③ 同様に、「種類別メニューボタンエリア」の[LG]ボタンを押下します。制御ロジック線図をベースとした情報表示画面のメニューが開かれます。

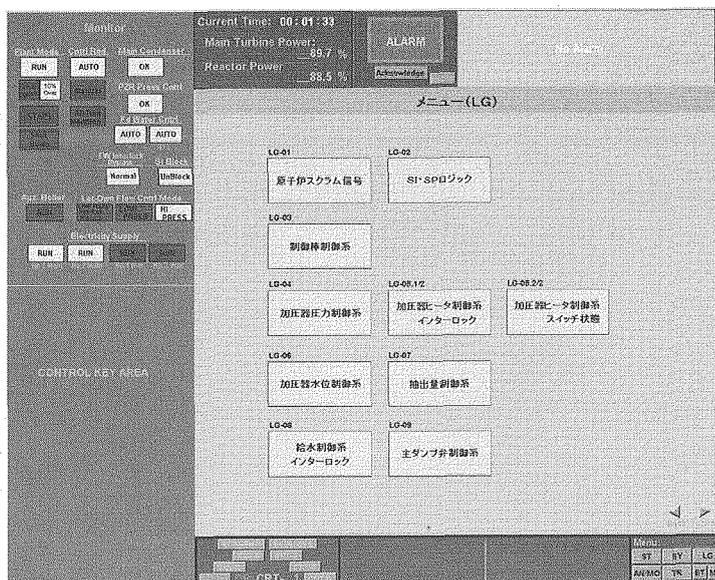


図-2.2.6 LGメニュー画面

- ④ 画面コード LG-03「制御棒制御系」のボックス上にマウスカーソルを移動し、左クリックします。LG-03画面がプラント情報表示画面エリアに「制御棒制御系」の画面が描画されます。

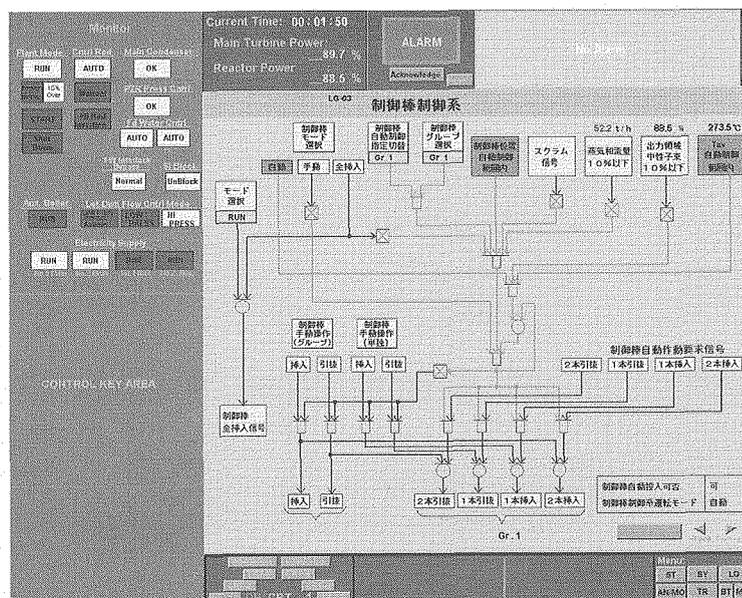


図-2.2.7 LG-03(制御棒制御系)画面の選択

- ⑤ [AN・MO]ボタンを押下します。プラント状態のモニターを主な役割とする情報表示画面のメニューが開かれます。

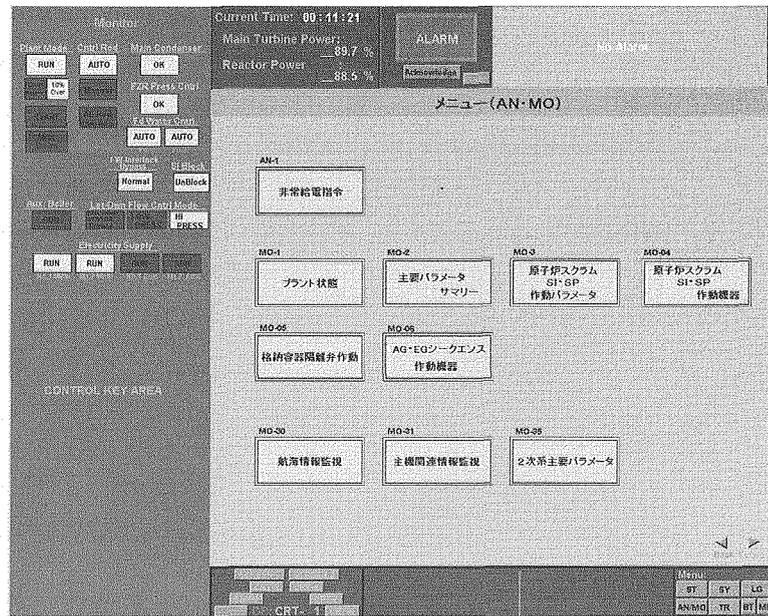


図-2.2.8 AN・MO メニュー画面

- ⑥ 画面コード MO-30「航海情報監視」のボックス上にマウスカursorを移動し、左クリックします。プラント情報表示画面エリアにMO-30「航海情報監視」画面が描画されます。

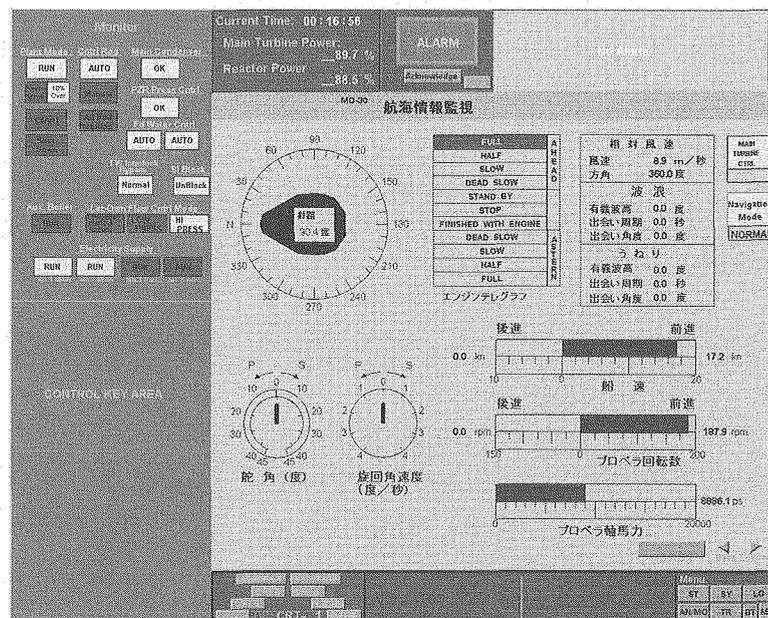


図-2.2.9 MO-30 (航海情報監視) 画面

- ⑦ [TR]ボタンを押下します。主要パラメータのトレンドを表す情報表示画面のメニューが開かれます。

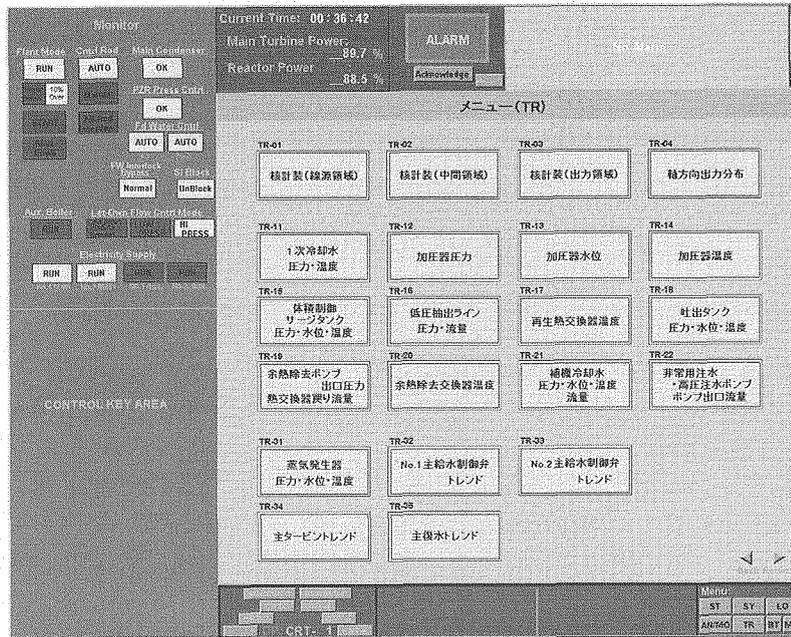


図-2.2.10 TR メニュー画面

- ⑧ 画面コード TR-12「加圧器圧力」のボックス上にマウスカーソルを移動し、左クリックします。プラント情報表示画面エリアに TR-12「加圧器圧力」画面が描画されます。



図-2.2.11 TR-12 (加圧器圧力) 画面

- ⑨ [ST]ボタンを押下します。ダイアグラムの形式でプラント状態を表現する情報表示画面のメニューが開かれます。

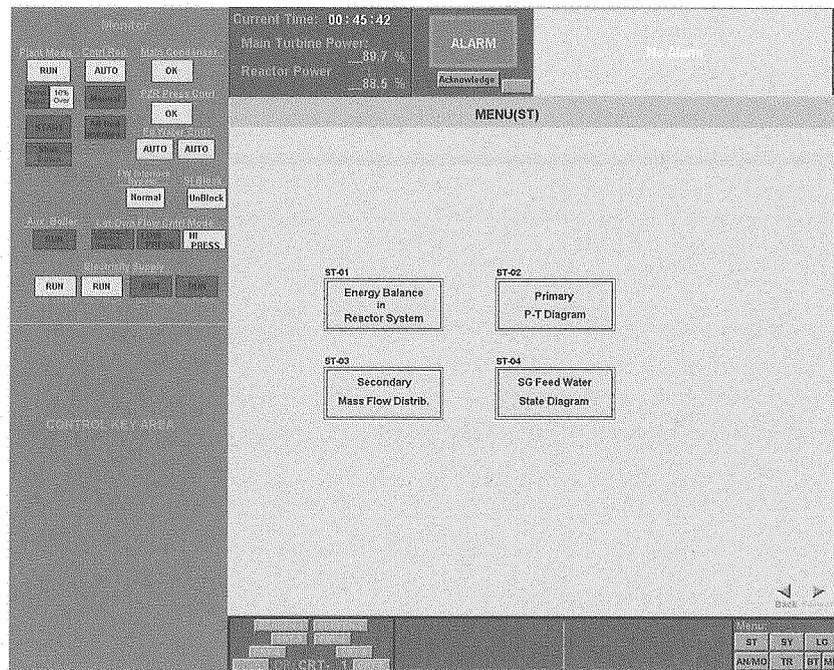


図-2.2.12 ST メニュー画面

- ⑩ 画面コード ST-02 「Primary P-T Diagram」 のボックス上にマウスカーソルを移動し、左クリックします。プラント情報表示画面エリアに ST-02「Primary P-T Diagram」画面が描画されます。

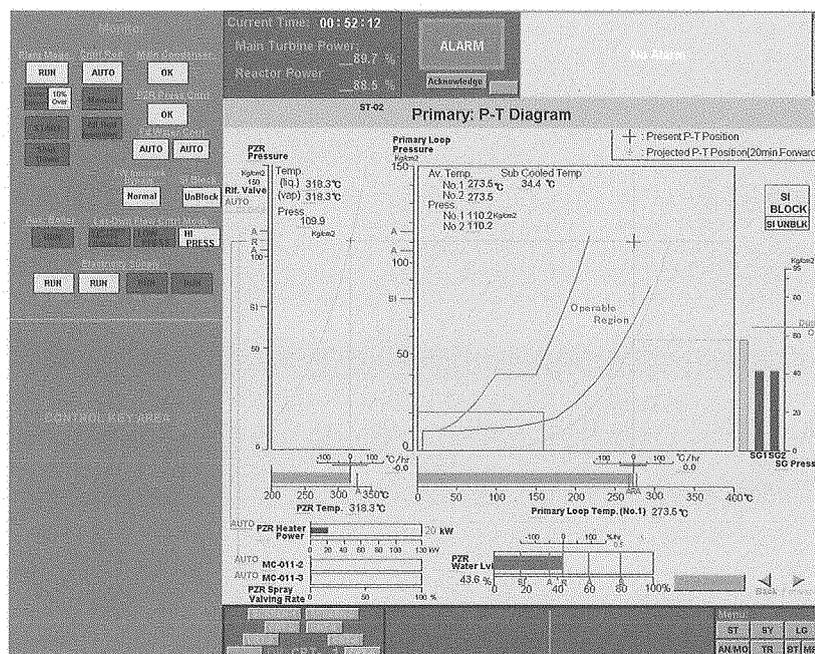


図-2.2.13 ST-02 (Primary P-T Diagram)

⑪ 情報表示画面の右下方に配置された矢印ボタンのうち文字「Back」の上方にある矢印を押下します。手順⑧で開いた TR-12 画面が開かれます。また、矢印位置の「Forward」が、「Back」と同様に、橙色に変わることを確認します。

⑫ 「Back」矢印を押下し、これまでに開いた情報表示画面を続けて開きます。最初に開いた SY-03 画面が表示されると、「Back」文字がグレイに変化し、画面が変化しなくなります（この操作では、「メニュー画面」の呼び出しは行われません）。

(3-3) 「目的別メニューボタン」による情報表示画面の呼び出し

- ① SY-03 画面がプラント情報表示エリアに開かれていることを確認します。開かれていない場合、(3-2)の①～②の手順に沿ってSY-03を開きます。
- ② SY-03 画面の中央に「加圧器」のパラメータ値が纏められています。夫々のパラメータ値に下線が付されています。このうち、圧力の値にマウスのカーソルを移動し、クリックします。
- ③ 「目的別メニューボタンエリア」(図-2.2.2の⑤)にメニューボタンが表れます。また、また、これに合わせてクリックしたパラメータ圧力値表示部分が窪みます。

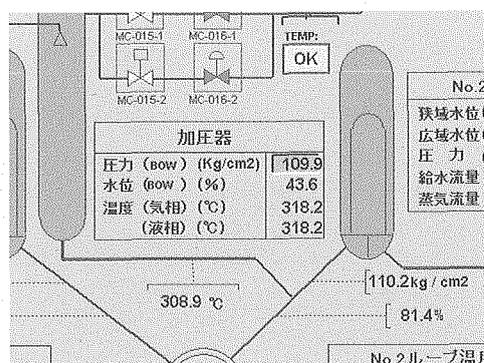


図-2.2.14 マウスクリック後の ST-03 上の加圧器パラメータの表示



図-2.2.15 加圧器圧力とリンクされた「目的別メニューボタン」

- ④ 「目的別メニューボタン」の[ST-02]ボタンを押下すると、ST-02 画面が開かれます。ST-02 画面上の加圧器圧力表示部分が窪みます。

- ⑤ 「目的別メニューボタン」に表示されているメニューボタンを順次押下し、情報表示画面を順次開いてみます。
- ⑥ [SY-03]ボタンを押下し、再び、SY-03 画面を開き、SY-03 画面右下方の[Page Related]ボタンを押下します。

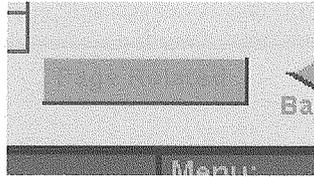


図-2.2.16 情報表示画面上の[Page Related]ボタン

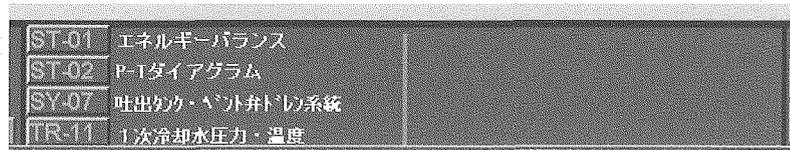


図-2.2.17 SY-03 画面の[Page Related]ボタンにリンクした「目的別メニューボタン」

- ⑦ 加圧器圧力表示部の窪みがもとに戻り、新しく表示された「目的別メニューボタン」とのリンクが解消します。

(3-4) 制御画面の呼び出しとソフトキーによるプラント操作

- ① 「プラント情報表示エリア」に SY-03 画面が開かれていることを確認します。開かれていない場合、前節と同様に、(3-2)の①~②の手順に沿って、SY-03 画面を開きます。
- ② SY-03 画面の左上部の制御弁 MC-011-2 アイコンを囲む枠内にマウスカーソルを移動しクリックします。
- ③ 制御弁 MC-011-2 を囲む枠の色が赤色に変化し、「プラント制御エリア」にこの制御弁の操作を行う制御用画面「No.1 加圧器スプレィ弁制御器」画面が開きます。

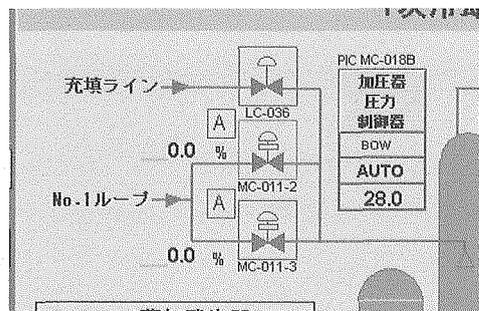


図-2.2.18 SY-03 画面上の制御弁「MC-011-2」
(No.1 加圧器スプレィ弁制御器) アイコン

- ④ 制御用画面「No.1加圧器スプレィ弁制御器」画面の左上部に表示されている「PZR Pressure」パラメータ値（PV 値）上にマウスカーソルを移動し、左クリックします。パラメータ値表示部が窪み、「目的別メニューボタン」が変化し、加圧器圧力とリンクした画面のメニューボタンが表示されます。この時、情報画面上に表示されている SY-03 画面上の「加圧器圧力」表示部が窪むことを確認して下さい。
- ⑤ 制御用画面の右下に表示の「No.2 加圧器スプレィ弁制御器」のボタンを押下して下さい。制御用画面の表示が「No.2 加圧器スプレィ弁制御器」に変化し、SY-03 画面上の対応するバルブ MC-011-3 の外枠が赤色に変化します。
- ⑥ 制御用画面の右下の「Back」文字が点灯しています。矢印ボタンを押下すると、再び、制御用画面が「No.1 加圧器スプレィ弁制御器」に変わり、手順②の状態に戻ります。
- ⑦ 制御用画面上の六角形の[MAN]ボタンを押下します。[MAN]ボタンが薄緑色から赤色に、[AUTO]ボタンが赤色から薄緑色に変化し、プラント状態モニタエリア（図-2.2.2 の②）の「PZR Press Cntrl」の表示灯が、点滅の後、消灯します。この操作により、「No.1 加圧器スプレィ弁」の制御が、自動制御から手動制御に変化したことが分かります。
- ⑧ [MAN]ボタン上部の矢印付六角形のボタンを押下し、弁開度を 20.0%程度にします。SY-03 上の「No.1 加圧器スプレィ弁制御器」アイコンのバルブの表示が赤色から薄緑色に変化し、弁が開いていることが表されています。
- ⑨ 「目的別メニューボタン」の[TR-12]ボタンを押下し、情報画面上に TR-12 画面（加圧器圧力）画面を開きます。トレンド上で、加圧器圧力と加圧器圧力制御器の出力が変化していることを確認します。また、この画面上のスイッチ「No.1 加圧器スプレィ弁制御器」（画面右中央）の外枠が赤色に変化し、弁の状態が反映されていることを確認します。
- ⑩ 制御画面で[AUTO]ボタンを押下し、「No.1 スプレィ弁制御器」を自動制御状態にします。[AUTO]ボタンが薄緑色から赤色に、[MAN]ボタンが赤色から薄緑色に変化し、プラント状態モニタエリア（図-2.2.2 の②）の「PZR Press Cntrl」の表示灯が、点滅の後、点灯します。制御器が自動制御状態になったことで、「No.1 スプレィ弁」の開度が 0 になり、加圧器圧力が上昇します。
- ⑪ TR-12 画面上で、「No.2 加圧器スプレィ弁制御器」スイッチを押下します。これに伴い、このスイッチの枠線が赤色に変化し、制御画面が変化します。
- ⑫ SY-34（高圧給水管系統）画面を開きます。画面右に配置されているバルブ FE-015-1 の制御画面（No.1 主蒸気発生器給水塞止弁）を開きます。

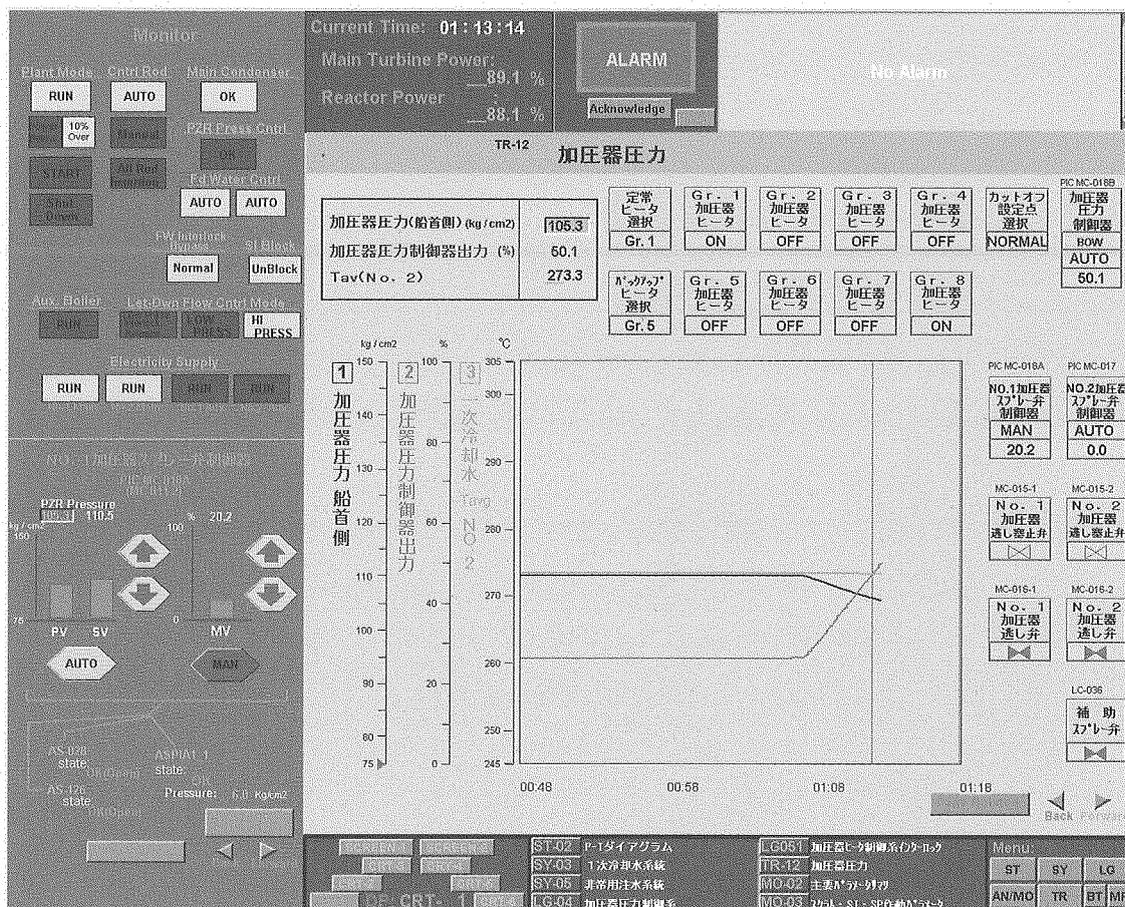


図 2.2.19 TR-12 (加圧器圧力) 画面 (手順⑨終了時点の運転操作端末画面)

⑬FE-015-1 の制御画面上で[CLOSE]ボタンを押下します。押下に伴いボタンが押下状態（濃緑）となり、ボタンの色が（シミュレータからのアンサーバックを反映し）濃い緑から赤色に変化します。押下を止めると赤色からもとの薄緑色に変化します。

ボタンの下に配置されている丸印が、操作開始前の[OPEN]ボタン下方は赤色、[CLOSE]ボタン下方は薄緑色の状態から、どちらも赤色（半開状態にあることを示す）に、シミュレータ時間で約 20 秒程度経過すると、[OPEN]ボタン下方の丸印は薄緑色に変化し、[CLOSE]ボタン下方の丸印のみが赤色となり、塞止弁が完全に閉状態になったことが表わされます。これに伴い、塞止弁上流に配置されている給水流量パラメータ値が 0.00 になり、No.1 蒸気発生器への給水が無くなったことが分かります。

⑭マウスカーソルを給水流量パラメータ値 (0.00 となっている) に移動、左クリックし、給水流量にリンクしている情報画面のメニューを「目的別メニューエリア」に表示します。TR-31 (蒸気発生器圧力・水位・流量) 画面、あるいは ST-01 (エネルギーバランス) 画面を表示し、塞止弁が閉になることによる各種パラメータ

の変化を観察します。

- ⑮FE-015-1 の閉操作開始から約 1 分 3 0 秒程度経過すると、「No.1 蒸気発生器狭域水位低」警報が発生します。警報の発生に伴い、警報（アラーム）リスト表示エリアのアラーム灯が点滅しアラーム音が鳴ります。
- ⑯アラーム灯下部の[Acknowledge]ボタンを押下します。アラーム灯の点滅、アラーム音が停止し、アラーム灯は赤色に変化します。
- ⑰マウスカーソルをアラームリスト「No.1 蒸気発生器狭域水位低」の上に置き左クリックします。この警報内容にリンクした「目的別メニュー」が表示されます。
- ⑱「No.1 主蒸気発生器給水塞止弁」制御画面の[OPEN]ボタンを押下し、塞止弁を開とします。No.1 蒸気発生器への給水が復帰し、水位が警報設定点を超え、正常な範囲に復帰すると、アラーム灯が消灯し、アラームリスト文字が白色に変化します。
- ⑲アラーム灯の下部にある[Reset]ボタンをクリックし、アラームリストを消します。
- ⑳マウスを右クリックし「SimconPic」ウインドウを開き、[FREEZE]ボタンをクリックしシミュレータを FREEZE 状態にします。

（3-5）表示対象端末選択ボタン

複数の運転操作端末から構成される運転操作環境においては、操作中の端末上から他の運転操作端末上に情報表示画面あるいは制御画面を表示することができます。この操作を行うために、「表示対象端末選択ボタン」が用いられます。

操作中の運転操作端末に対して起動時に選択した CRT No.に対応して、表示対象端末選択ボタンが点灯しています。図-2.2.20 に、CRT No.を「CRT003」を選択した場合の表示対象端末選択エリアを示します。

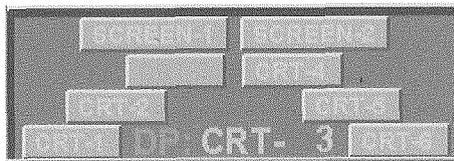


図-2.2.20 表示対象端末選択ボタン（端末起動時）

- ① 情報表示画面もしくは制御画面の表示先として指定する運転操作端末に対応するボタンを押下します。
- ② 押下したボタンの文字が緑色に変わります。

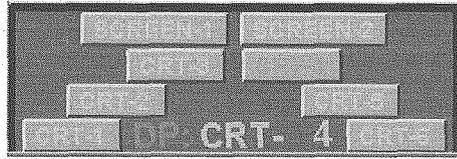


図-2.2.21 表示対象端末として CRT004 を選択した例

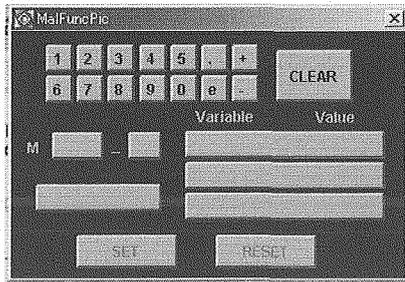
- ③ 情報表示画面あるいは制御画面の選択・呼び出し操作^{注)}を実行します。
- ④ 表示対象として指定した情報表示画面エリアあるいは制御画面エリアに、選択・呼び出しをした画面が開かれます。
- ⑤ 表示対象端末選択ボタンが端末起動時の設定に戻ります。

^{注)} 情報表示画面、制御画面の呼び出しのうち、[Back]、[Forward]矢印ボタンによる画面の変更、制御画面上の関連画面ボタンによる画面の呼び出しは、他端末への画面の表示を行いません。

(4) マルフアンクションの設定・投入

このシステムでは、運転操作端末上からマルファンクションを設定・投入することが可能です。設定・投入可能なマルファンクションは、表-2.2.3 に纏められています。マルファンクションの投入手順を以下に示します。

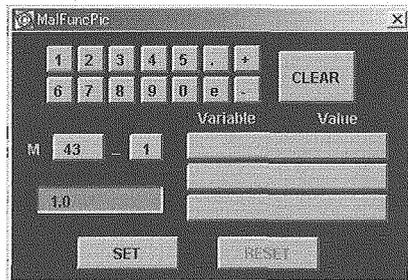
- ① 「種別メニューボタンエリア」(図-2.2.2 の⑥) 上の[MF]ボタンを押下します。
- ② 運転操作端末画面上に「MalFuncPic」ウィンドウの初期画面が開かれます。
- ③ マルフアンクション項目番号入力エリアを押下します。入力エリアが窪み、ソフトキーによる入力待ち状態となります。
- ④ 投入するマルファンクション項目番号、発生箇所番号、発生量を、ウィンドウ上部のソフトキーを用いて入力します。入力後、[SET]ボタンがアクティブになります。ソフトキーの[CLEAR]ボタンにより、窪みにある入力情報が消去され、入力の訂正できます。
- ⑤ [SET]ボタンを押下します。設定済みマルファンクションが表示され、シミュレータ上は、マルファンクションが設定された状態になります。
- ⑥ マルフアンクション発生状態のシミュレーションが進行します。



(1) 初期画面



(2) 入力待ち状態



(3) 入力完了



(4) マルファンクション投入

図-2.2.22 「MalFunc Pic」 ウィンドウ上のマルファンクションの設定・投入

表-2.2.3 マルファンクションリスト (1)

No.	位置	マルファンクション名称	発生箇所	発生量範囲	備考
1		制御棒引き抜き	自動制御用制御棒1本引抜信号発信		
	1		自動制御用制御棒2本引抜信号発信		
	2		停止用制御棒(Gr.3又はGr.4)引抜信号発信		
2		制御棒挿入	自動制御用制御棒1本挿入信号発信		
	1		自動制御用制御棒2本挿入信号発信		
	2		停止用制御棒(Gr.3又はGr.4)挿入信号発信		
3		制御棒落下	No.1ロッド(No.1Grの1本)		
	1		No.3ロッド(No.2Grの1本)		
4		制御棒不動作	No.1制御棒不動作		
	1		No.2制御棒不動作		
	2		No.3制御棒不動作		
	3		No.4制御棒不動作		
	4		Gr.1制御棒不動作		
	5		Gr.2制御棒不動作		
5		原子炉自動トリップ失敗	トレインA及びBの自動スクラム信号不動作		
6		中性子源領域核計装故障	NI-1指示低	~1cps	
	1		NI-1指示高	~5e5cps	
7		中間領域核計装故障	NI-4指示低	~1e-11 A	
	1		NI-4指示高	~1e-3 A	
8		出力領域核計装故障	NI-7指示低	~150%出力	
	1		NI-7指示高	~1%出力	
9		主冷却ポンプトリップ	No.1主冷却水ポンプトリップ(高速→停止)		
	1		No.1主冷却水ポンプトリップ(低速→停止)		
	2		No.2主冷却水ポンプトリップ(高速→停止)		
	3		No.2主冷却水ポンプトリップ(低速→停止)		
	4		No.1及びNo.2主冷却水ポンプトリップ(高速→停止)		
	5		No.1及びNo.2主冷却水ポンプトリップ(低速→停止)		
10		主冷却ポンプ誤動作	No.1主冷却水ポンプ起動(停止→高速)		
	1		No.1主冷却水ポンプ起動(停止→低速)		
	2		No.2主冷却水ポンプ起動(停止→高速)		
	3		No.2主冷却水ポンプ起動(停止→低速)		
11		主冷却水ポンプ軸固着	No.1主冷却水ポンプ軸固着		1800rpm → 0rpm
	1		No.2主冷却水ポンプ軸固着		1800rpm → 0rpm
12		加圧器逃し弁故障	No.1 加圧器逃し弁閉固着		
	1		No.2 加圧器逃し弁閉固着		
13		加圧器スプレー弁故障	No.1 加圧器スプレー制御弁	0 ~ 100%	
14		加圧器ヒータ故障	定常ヒータトリップ		
	1		ヒータGr.1~4のトリップ		
	2		ヒータGr.5~8のトリップ		
	3		ヒータGr.1~8のトリップ		
15		定常ヒータの誤投入	ヒータGr.5(1Gr)の誤投入		
	1		ヒータGr.5~8(4Gr)の誤投入		
	2				
16		抽出流量異常	No.1抽出流量制御弁	0 ~ 100%	
	1		No.2抽出流量制御弁	0 ~ 100%	
	2		No.1及びNo.2抽出流量制御弁	0 ~ 100%	
17		充填ポンプトリップ	No.1充填ポンプ		
	1		No.2充填ポンプ		
18		充填ポンプ誤作動	No.1充填ポンプ		
	1		No.2充填ポンプ		

(続く)

表-2.2.3 マルファンクションリスト (2)

No.	位置	マルファンクション名称	発生箇所	発生量範囲	備考
19		充填ポンプ自動起動失敗			
	1		No.1充填ポンプ		
	2	No.2充填ポンプ			
20		余熱除去ポンプトリップ			
	1		No.1ポンプ		
	2	No.2ポンプ			
21		補機冷却海水ポンプトリップ			
	1		No.1ポンプ		
	2	No.2ポンプ			
22		ガバナ弁故障	主機ガバナ弁	0 ~ 100%	
23		主蒸気安全弁故障			
	1		No.1ループ主蒸気安全弁	0 ~ 100%	
	2	No.2ループ主蒸気安全弁	0 ~ 100%		
24		主ダンプ弁故障	主ダンプ弁	0 ~ 100%	
25		前環熱ダンプ弁故障			
	1		前環熱ダンプ弁(ST-125)開閉	100%開度	
	2	前環熱ダンプ弁(ST-125)開閉	0%開度		
26		蒸気発生器蒸気塞止弁故障			
	1		No.1蒸気発生器蒸気塞止弁(ST-001-1)開閉	100%開度	
	2		No.1蒸気発生器蒸気塞止弁(ST-001-1)開閉	0%開度	
	3		No.2蒸気発生器蒸気塞止弁(ST-001-1)開閉	100%開度	
	4	No.2蒸気発生器蒸気塞止弁(ST-001-1)開閉	0%開度		
27		主給水弁故障			
	1		主給水弁No.1	0 ~ 100%	
	2	主給水弁No.2	0 ~ 100%		
28		主給水ポンプトリップ			
	1		No.1主給水ポンプ		
	2	No.2主給水ポンプ			
29		主給水ポンプ劇起動			
	1		No.1主給水ポンプ		
	2	No.2主給水ポンプ			
30		高圧給水加熱器故障			
	1		高圧給水加熱器用温度調節弁全開		
	2	高圧給水加熱器用温度調節弁全閉			
31		補助給水弁故障			
	1		No.1補助給水弁	0 ~ 100%	
	2	No.2補助給水弁	0 ~ 100%		
32		補助給水ポンプトリップ			
	1		No.1補助給水ポンプ		
	2	No.2補助給水ポンプ			
33		タービントリップ	主機タービン		
34		タービン単筒運転			
	1		高圧タービン		
	2	低圧タービン			
35		主複水器真空喪失	主複水器	任意の真空度	
36		主循環ポンプトリップ	主循環ポンプ		
37		発電機トリップ			
	1		No.1主発電機		
	2		No.2主発電機		
	3		No.1補助発電機		
	4		No.2補助発電機		
	5	非常用発電機			
38		安全注入信号異常			
	1		トレインA安全注入信号異常		
	2		トレインB安全注入信号異常		
	3		トレインA及びトレインB安全注入信号異常		
	4		トレインA安全注入信号異常不能		
	5	トレインB安全注入信号異常不能			
39		制御棒飛び出し	No. 1制御棒飛び出し		

(続く)

表-2.2.3 マルファンクションリスト (3)

No.	位置	マルファンクション名称	発生箇所	発生量範囲	備考
40		主冷却水喪失			
	1		No.1ループホットレグ	破断サイズ 0~16インチ	
	2		No.1ループコールドレグ	破断サイズ 0~16インチ	
	3		No.2ループホットレグ	破断サイズ 0~16インチ	
	4		No.2ループコールドレグ	破断サイズ 0~16インチ	
	5		加圧器サージライン	破断サイズ 0~16インチ	
	6		その他	破断サイズ 0~16インチ	ノード単位で破断場所指定可
41		加圧器気相部破断			
	1		加圧器安全弁入口配管	破断サイズ 0~1.18インチ	
42		蒸気発生器伝熱管破断			
	1		No.1ループ	破断サイズ 0~100%	25% 1本の面積相当
	2		No.2ループ	破断サイズ 0~100%	50% 1本完全破断
43		主蒸気管破断			
	1		No.1SG主蒸気管出口(格納容器内)	破断サイズ 0~5インチ	
	2		No.2SG主蒸気管出口(格納容器内)	破断サイズ 0~5インチ	
	3		No.1ループ主蒸気安全弁入り口(格納容器外)	破断サイズ 0~2.3インチ	
	4		No.2ループ主蒸気安全弁入り口(格納容器外)	破断サイズ 0~2.3インチ	
44		主給水管破断			
	1		No.1SG入口主給水管 No.2SG入口主給水管	破断サイズ 0~2.8インチ 破断サイズ 0~2.8インチ	
45		異常傾斜			
	1		本船全体	最終傾斜角	
46		衝撃加速度			
	1		本船全体	衝撃加速度	
47		海水取水不能			
	1		海水取水口	海水流量 0	

2. 3. オーバービューディスプレイ画面
 オーバービューディスプレイ用の表示画面では、3つの情報表示エリアが配置されます。3つの情報表示エリアのうち、左右のふたつのエリアには運転操作端末と同一の情報表示画面を開くことが可能です。この二つのエリアに表示する情報表示画面は、運転操作端末上の「表示対象端末選択ボタン」を用いて変更することができます(2. 2. (3-5) 参照)。

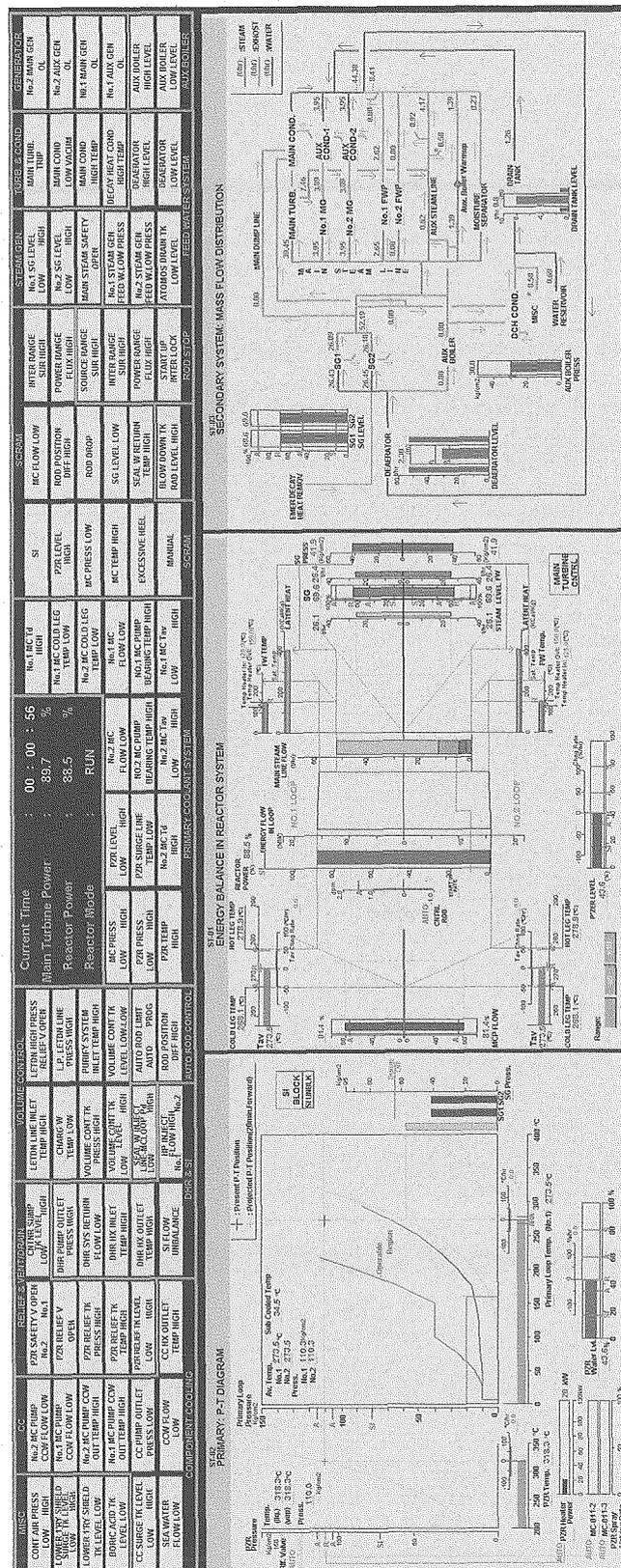


図-2.3.1 大型スクリーン用ディスプレイ画面

大型スクリーン用ディスプレイ画面は、アラーム表示エリアと3つの情報表示エリアから構成されます。アラーム表示エリアには、9、3の警報表示灯が系統別あるいは機能別に配置され、警報発生時には対応する表示灯が赤色に変化します。3つの情報表示エリアには、運転操作端末で説明した情報表示画面が開かれます。情報表示エリアのうち、中央にはST-01画面が常時配置され、左右の情報表示エリアには、中央で表示済みのST-01画面とメニュー画面を除く情報表示画面が必要に応じて開かれます。図は、運転操作環境を立ち上げた直後のオーバービューディスプレイの状態を示しており、左側にはST-02画面、右側にはST-03画面が表示されています。左右の表示エリアに表示する情報表示画面は運転操作端末上の操作で変更することが可能です。

2. 4. インストラクタ用端末

インストラクタ用端末では、運転操作に用いられている複数の運転操作端末の動作状況を監視するとともに、必要に応じて介入操作を行うことができます。図-2.4.1に、写真-2.1.1に示した運転操作環境構築例で示した構成（大型スクリーンと運転操作端末 6 台）でのインストラクタ用端末画面を示しています。

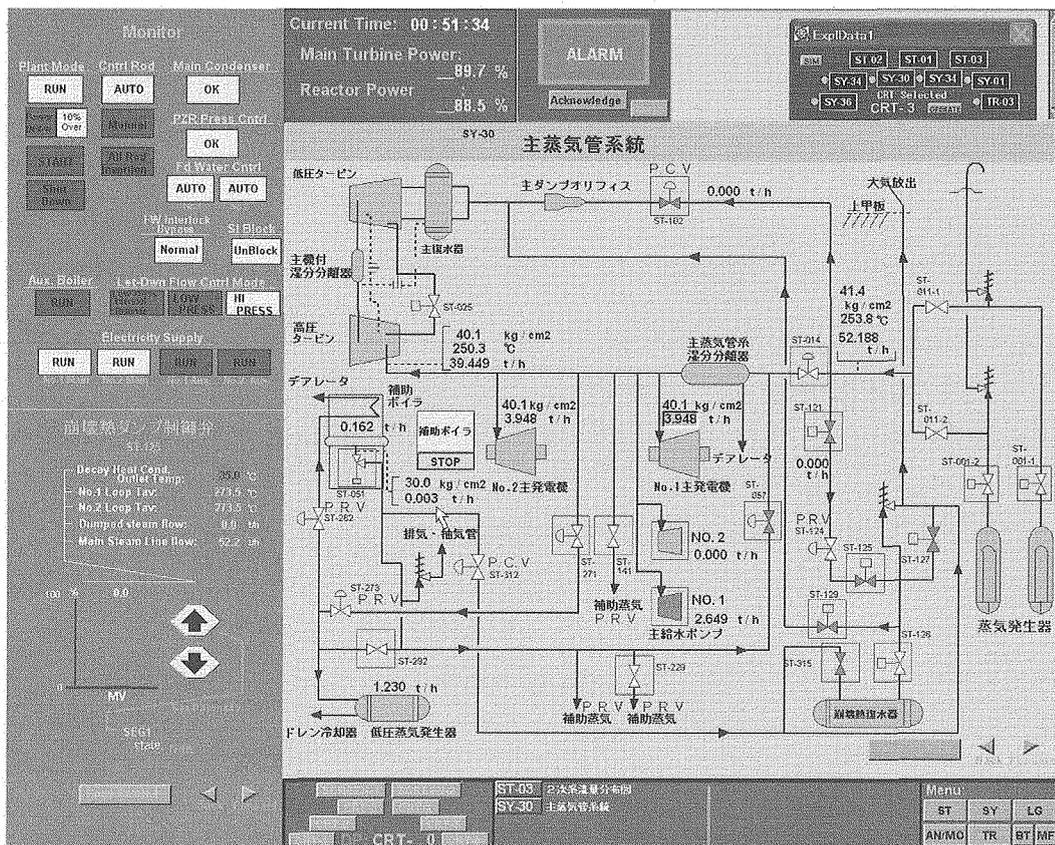


図-2.4.1 インストラクタ用端末画面例

この図に見られるように、インストラクタ用端末は、右上部に「監視端末選択」ウィンドウが開かれていること、黄色のカーソル表示があること、「表示対象端末選択ボタンエリア」上の選択ボタンがアクティブになっていないこと、の 3 点を除き、運転操作端末と同一となっています。

図-2.4.2に「監視端末選択」ウィンドウを拡大して示します。

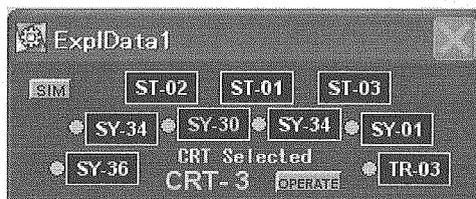


図-2.4.2 「監視端末選択」ウィンドウ

「監視端末選択」ウィンドウには、9個のボックスが配置されており、夫々、情報表示画面の画面コードが現れています。このボックスの配置は、運転操作環境における運転操作端末の配置と大型スクリーン上の3つの「プラント情報表示エリア」の物理的な位置を反映しています。このボックス内の画面コードから、大型スクリーンあるいは対応する運転操作端末上に描画中の情報表示画面を知ることができます。このボックスをクリックすると、対応する端末画面全体の状況が描画され（図-2.4.1）の画面コードが橙色に点灯します。この時、端末画面上には、マウスカーソルの位置が黄色のカーソルアイコンにより表現されます。また、運転操作端末に対応するボックス夫々の左側の○印の点灯は、マウスカーソルの位置が最後に変化した端末を表現しています。

大型スクリーン上に描画されている情報表示画面を選択した場合、「プラント情報表示エリア」に選択した情報表示画面が描画され、「プラント制御用キーエリア」並びに「目的別メニューボタンエリア」は初期画面と同様になります。

「監視端末選択」ウィンドウ上の[OPERATE]ボタンを押下すると、「監視端末選択」ウィンドウ上の選択 CRT 番号は CRT-0 になり、通常の運転操作端末と同じ様にシミュレータの運転操作を行うことができます。[SIM]ボタンを押下することにより、再び、インストラクタ端末の通常の状態に変化します。

運転操作環境が運転操作端末3台のみで構成された場合の「監視端末選択」ウィンドウを図-2.4.3 に掲げます。運転操作端末として定義されていない端末については、「監視端末選択」ウィンドウ上のブロック内は黒く塗りつぶされた状態となります。また、運転操作中に特定の運転操作端末の使用を停止（切断）した場合にも同様に、ブロック内は黒く塗りつぶされた状態となります。

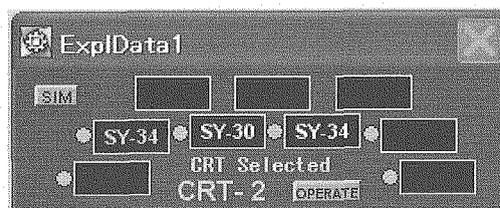


図-2.4.3 「監視端末選択」ウィンドウ（端末3台の運転を監視した例）

2. 5. ダイアグラムを用いた原子炉状態の表示

原子炉プラントの特徴として、個別の事象もしくは運転操作に伴う効果・影響が、これら事象・運転操作と直接的に関連を持つ機器・コンポーネントに限定されることなく、原子炉プラント全体の広い範囲に渡って波及することが挙げられます。こうした特徴から、プラントの運転操作にあたっては、従来から用いられている情報表示方式、即ち系統図(ミミック)、トレンド図、パラメータ値の表などに加えて、原子炉状態全体のモニターに適合した情報表示手段が必要と考えられます。

DETRAS システムに含まれるユーザーインタフェースには、表-2.2.2 に示した5種類の情報表示画面が含まれます。このうち、画面コード ST を持つ情報表示画面は、各種パラメータの関係等をダイアグラムとして直接的に表現する方式を採用し、原子炉状態の的確なモニターを可能にするよう工夫されています。こうした情報表示形式が有効に機能するには、プラントの運転操作者が短期間に表示形態を十分に理解し、これに適応することが重要であると考えられます。こうした観点から、本章では、個々の ST シリーズの情報表示画面および表示画面の構成、動作について、比較的詳細に解説をしています。

(1) 原子炉内エネルギーバランスのダイアグラム表示(ST-01 画面)

ST-01 画面では、原子炉システムの主要なパラメータ(計測)値を棒グラフの形式で表現するとともに、これらのパラメータを統合し、原子炉システムのエネルギーバランスを図的に表現しています。図-2.5.1 に定格状態の ST-01 画面を示します。

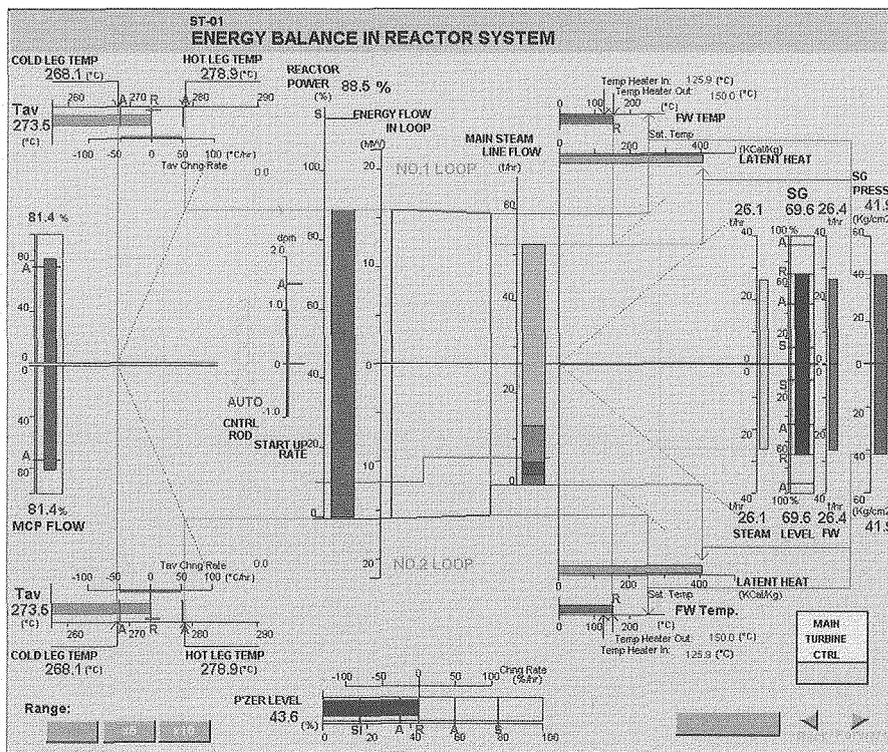


図-2.5.1 ST-01 (原子炉システムのエネルギーバランス) 画面 (定格状態)

(1-1) ST-01 上で明示的に表現される個別のパラメータ

ST-01 上においては、9 種類のパラメータ値が棒グラフの形式で明示的に表現されています。個別のパラメータ値を表現するディスプレイフォーマットについて、以下、説明します。

・主冷却水ポンプ流量

図-2.5.2 に主冷却水ポンプ流量を表現するディスプレイフォーマットを示す。棒グラフでは、No.1 ループの主冷却水ポンプは上方に、No.2 ループの主冷却水ポンプは下方に向かう形式で表現される。図中赤色の文字 A はアラームポイントを示しており、このアラームポイントよりポンプ流量が低下すると、「主冷却水ポンプ流量低」警報が発報する

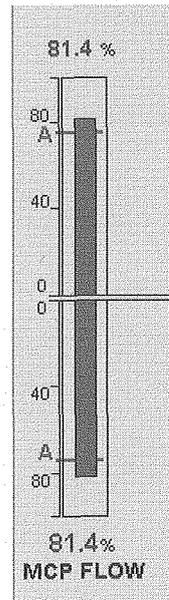


図-2.5.2 1次冷却水流量

・1次冷却水温度

図-2.5.3 に、No.1 ループの1次冷却水平均温度を表現するディスプレイフォーマットを示します。ここでは、平均温度に加えて平均温度の変化率、コールドレグ、ホットレグ夫々の温度が示されています。

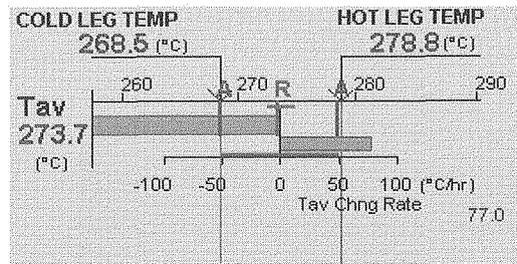


図-2.5.3 1次冷却水温度(No,1ループ)

図中、棒グラフ（上部）が冷却水の平均温度を表現しており、平均温度終端を基点とする棒グラフ（下部）が平均温度の変化率を表現しています。

図の上方の温度スケールは、平均温度がスケールのレンジ内に収まるよう、平均温度の変化に伴いシフトします。また、スケール上の距離は、その時点々々の1次冷却水圧力におけるエンタルピーの差となるよう調整されています。このスケール上にマップされているホットレグ温度とコールドレグ温度のスケール上の距離は、単位質量あたりの熱エネルギーの差に対応します。

温度スケール上の文字 R とこれに対応する縦線は平均温度の標準値 (273.5°C) を示し、横線は、標準値±2.0°Cの範囲を示しており、平均温度がこれから外れる

と制御棒の挿入・引き抜き開始信号が発生します。制御棒制御の観点からは、この緑色の範囲が不感帯となります。下方の温度変化率スケール上の横線は、温度変化率が±50°C/hr 範囲内に対応することを示しています。これは、原子炉の起動もしくは停止時に温度変化率が 50°C/hr を超えないとの制限値に対応します。文字 A とこれに付随する縦線は、1 次冷却水平均温度のアラームポイントを示します。

なお、No.2 ループの 1 次冷却水温度の表示は、平均温度と変化率の上下を逆転させた形式となっています。

・原子炉出力

図-2.5.4 に原子炉出力を表現するディスプレイフォーマットを示します。ここでは、原子炉出力に加えて、起動率（炉出力変化率：dpm）並びに制御棒の動作状況が表現されています。

原子炉出力は、4 つの出力値（NI-1～NI-4）を棒グラフ上で並べて表示しており、制御棒の引き抜き量がアンバランスになると、これら出力値の相違が生じることから、炉出力を表現する棒グラフ上部に凹凸が生じます。炉出力のスケールは、定格フル出力を 100 とした % 表示で示されています。棒グラフ下方には、主冷却ポンプからの入熱が黄色で示されています（但し、炉出力のスケール 0 点は、ポンプからの入熱分の上部にとっている）。炉出力スケールの赤色文字 S とこれに付随する横線はスクラムポイントを示しています。

ディスプレイフォーマット左方は、制御棒の動作状態が示されています。模擬対象とされている原子炉プラント制御棒操作が 2 本の制御棒の挿入／引き抜きによることに対応させて、上下方にふたつずつの矢印でそれを表現します。図では、制御棒 1 本が挿入されている状態を表現しています。また、緑色の「AUTO」は、制御棒が自動制御にあることを示しており、手動操作に変わるとこれが黄色の「MAN」に変化します。

中央には、起動率が表現されています。スケールに沿った表示されている緑色のラインは、運転操作を起動率の変化±1.0dpm の範囲で行うことに対応し、赤色の文字 A とこれに付随する横線は、アラームポイントを示しています。

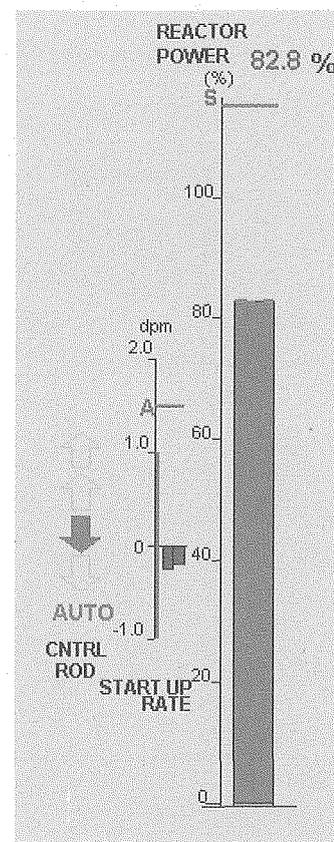


図-2.5.4 原子炉出力

・蒸気発生器水位

図-2.5.5 に蒸気発生器の水位、蒸気流量、給水流量を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。主冷却水ポンプ流量と同様に、No.1 蒸気発生器については、中央のラインから上方に、No.2 蒸気発生器に対しては下方に向かう形で、水位、蒸気流量、給水流量を、夫々表現しています。

図中央には、蒸気発生器の（狭域）水位が棒グラフで表されています。緑色の文字 R とこれに付随する横線は、水位の標準値を示しています。赤色の A と S とこれらに付随する横線は、夫々アラームポイントとスクラムポイントを示しています。

図左方の薄青色の棒グラフは蒸気発生器出口の蒸気流量を示し、右方の濃青色は蒸気発生への給水流量を表しています。

水位、蒸気流量、給水流量を並べて表示することにより、蒸気発生器に対するマスバランスと水位との関係を図上で把握できるようにしています。

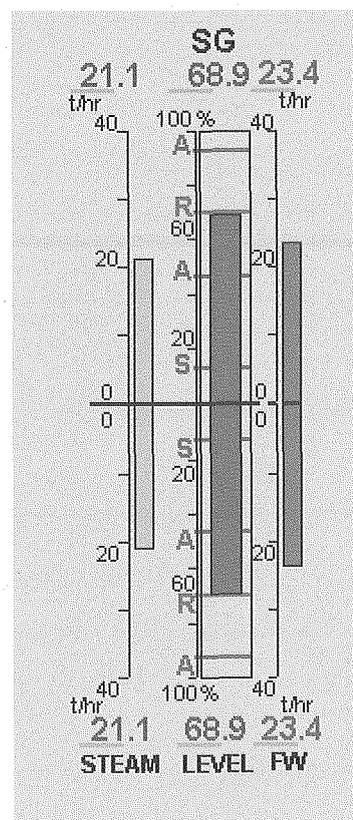


図-2.5.5 蒸気発生器水位

図では、蒸気発生器水位が標準値近傍にあること、給水流量が蒸気流量に比較して若干多めとなっていることが分かります。

・蒸気発生器圧力

図-2.5.6 に蒸気発生器の圧力を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。水位の表示と同様に、No.1 蒸気発生器については、中央のラインから上方に、No.2 蒸気発生器に対しては下方に向かう形で、圧力を表現しています。

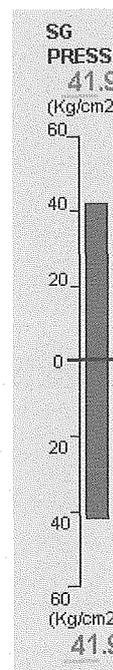


図-2.5.6 蒸気発生器圧力

・蒸気発生器の給水温度と潜熱（気化熱）

図-2.5.7 に蒸気発生器の給水温度と潜熱を表示するディスプレイフォーマットを掲げます。図中、ふたつの棒グラフのうち、上部のピンク色の表示は蒸気発生器への給水温度

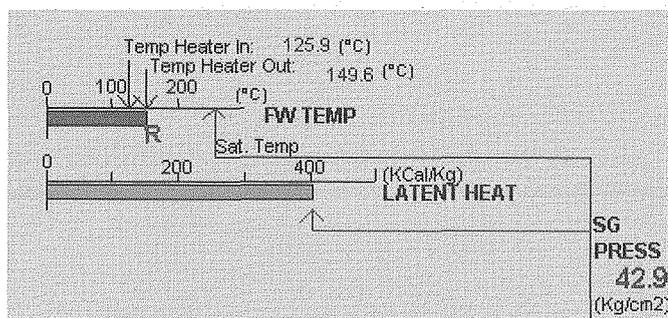


図-2.5.7 蒸気発生器給水温度と潜熱

を表現しています。この棒グラフのスケール上には、給水加熱器前後の温度（図中、“Temp Heater In”並びに“Temp Heater Out”）並びに蒸気発生器圧力を、夫々マップしています。蒸気発生器への給水は、主給水ポンプと補助給水ポンプのふたつの経路があり、主給水ポンプからの給水温度は過熱後の温度、補助給水ポンプからの給水は過熱前の温度となることから、蒸気発生器への給水がふたつの経路が混在する場合には、これらの流量比を考慮して給水温度を算出し、これを棒グラフ上に表現しています。スケール上の緑色の文字 R は給水加熱器出口温度設定値です。なお、給水温度のスケール上の距離がエンタルピーに対応するよう調整しており、図中、飽和温度と給水温度のスケール上の距離は、蒸気発生器への給水が飽和温度に達するまでに要するエネルギーに対応するようにしています。

下部の緑色の棒グラフは、蒸気発生器圧力に対応する潜熱（気化熱）を表現しています。

なお、図-2.5.7 に掲げたディスプレイフォーマットは、No.1 蒸気発生器に対するものであるが、No.2 蒸気発生器に対する同種のディスプレイフォーマットを ST01 画面上の下部に棒グラフ、スケール位置を上下反転させたかたちで配置している。

・加圧器水位

図-2.5.8 に加圧器水位を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。ここでは、加圧器の水位に加えて、加圧器水位の変化率についても同時に示しています。

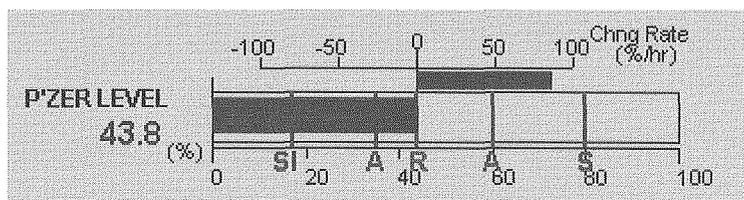


図-2.5.8 加圧器水位

図の枠内の濃青色の棒グラフが加圧器水位を表しており、棒グラフの終点を起点とする幅の狭い棒グラフが水位変化率を表現しています。

図中、緑色の文字 R とこれに付随する縦線は基準水位を、赤色の文字 SI、A、S とこれに付随する縦線は、夫々 SI (安全注入の起動)、アラームの発報、スクラムの発生ポイントを表しています。

・主蒸気ライン蒸気流量

図-2.5.9 に主蒸気ラインの蒸気流量を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。ふたつの蒸気発生器で生成された蒸気は、主蒸気ラインを通じて、主機(Main Turbine)、主発電機(Main Generator)、主給水ポンプ(Main FW Pump)の動力源として供給、消費されます。これらの機器に供給されるものとは別に、給水加熱用の注気などとして消費される雑蒸気、さらには専らヒートシンクとして崩壊熱復水器(ライン)を通じてダンプされるものがあります。

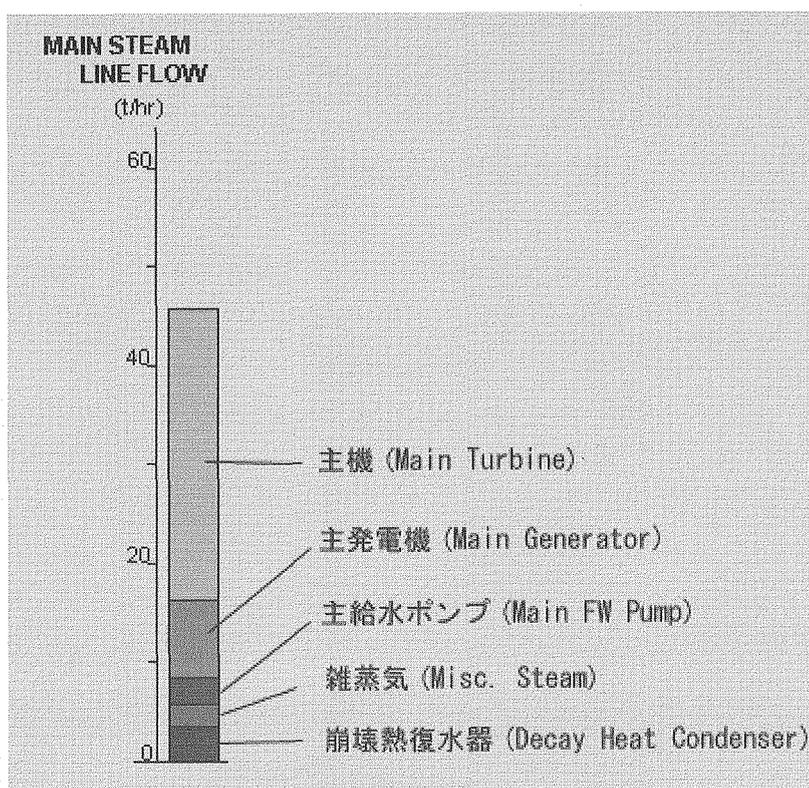


図-2.5.9 主蒸気ライン蒸気流量

ディスプレイフォーマットでは、これら機器別に供給消費される蒸気流量を色別に表現し、全体としてその積算を表現しています。

(1-2) 一次冷却水に対するエネルギー収支の図的表現

ST-01 画面には、個別の（計測）パラメータを表現するディスプレイフォームに加え、これらパラメータを統合し、一次冷却水ループを通じたエネルギーの流れを図的に表現する特別なフォーム（図-2.5.10）を配置しています。

このフォームでは、基本的に、一次冷却水が原子炉容器内を通過する際に得るエネルギーを左側のラインで、蒸気発生器細管を通じて失うエネルギーを右側のラインで表現しています。この他、このフォームでは、一次冷却水におけるエネルギーの収支として、主冷却ポンプの（摩擦熱による）入熱、加圧器水位からのサージラインを通じた入熱、体積制御系並びに余熱除去系を通じた除熱も考慮しています。

このフォームの形状により、一次冷却水へのエネルギー収支が図的に表現され、形状にゆがみのない状態（四角形になった状態）において、収支のバランスがとれていることが表現され、何らかのゆがみにより一次冷却水へのエネルギー収支のアンバランスを表現することになります。また、このフォームでは、約 2.5 秒前、約 5 秒前の形状もあわせて示し（図中、 $t-2\Delta t$ 、 $t-\Delta t$ ）エネルギー収支の時間的な変化についても、視覚的に把握することを可能にしています。

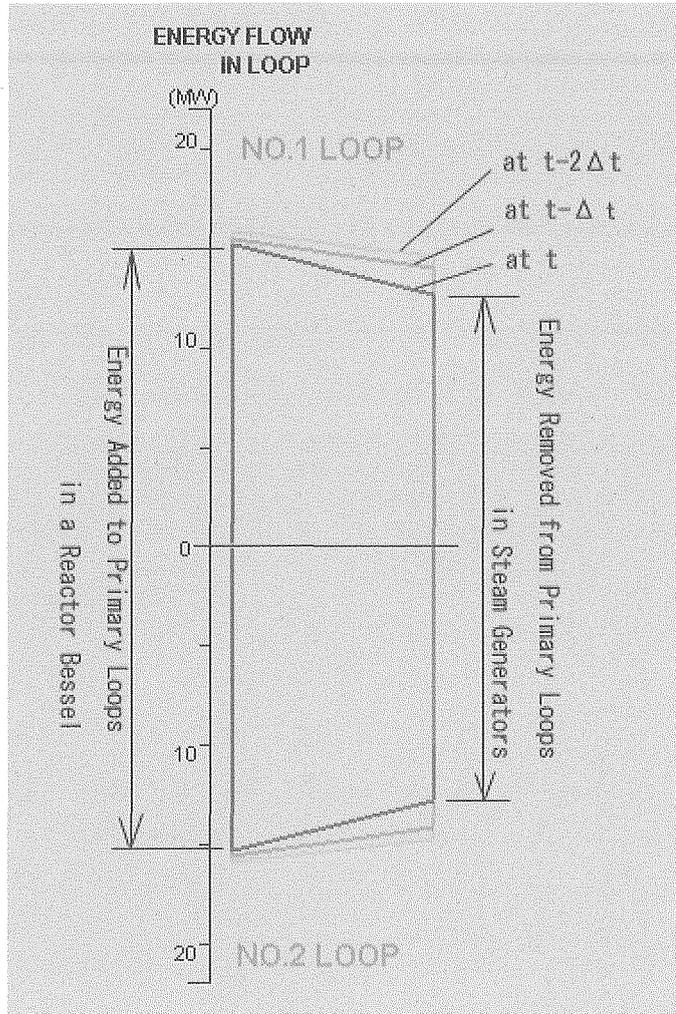


図-2.5.10 一次冷却水のエネルギー収支

(1-3) 個別パラメータ統合による一次冷却水エネルギー収支の図式表現

前項で、一次冷却水のエネルギー収支を図的に表現するディスプレイフォーマットを示しました。以下、このディスプレイフォーマットと個別パラメータを表現するディスプレイフォーマットとの関係がどのように表現されているかについて説明を加えることにします。

① 一次冷却水が原子炉容器通過時に受け取る熱エネルギー

一次冷却水が原子炉容器内通過に際して受け取る熱エネルギーは、一次冷却水流量とホットレグとコールドレグにおける単位質量あたりのエネルギー差の積で表現されます。No.1ループについては、一次冷却水流量は、図-2.5.11の主冷却水ループ流量(①)に、ホットレグとコールドレグ間の単位質量あたりのエネルギー差は、図上の温度差(②)になります^{注)}。図上、冷却水流量が0となる軸と温度スケール上のコールドレグ温度の交点を起点とし、傾き $\alpha_1 (= \tan^{-1}(\text{定数} \times \text{冷却水流量率}))$ のライン(図中赤い点線)を導入すると、

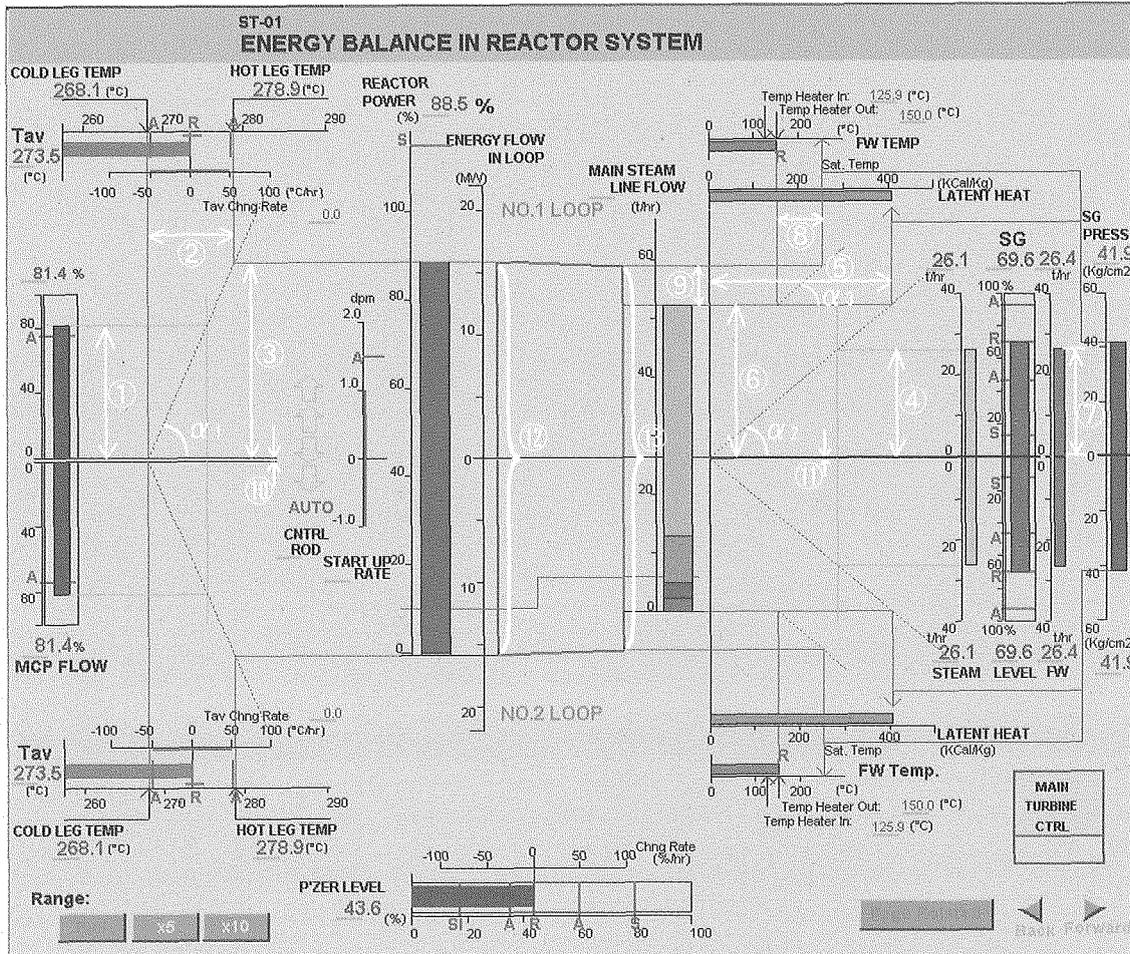


図-2.5.11 個別パラメータの図的統合によるエネルギー収支の表現

注) 一次冷却水温度を表現するディスプレイフォーマットで説明をしたように、冷却水圧力を考慮して、温度スケールの距離が単位質量あたりのエネルギー差となるよう調整されている。

図に示すように、横軸のホットレグとコールドレグの温度差（単位質量あたりのエネルギー差）を図中央に示すエネルギー軸（ENERGY FLOW IN LOOP）に射影する（③）ことができます。No.2 ループについても、上下を逆転させる形で同様な図式表現をとることができます。一次冷却水が全体として原子炉容器を通過する際に受け取るエネルギーを図的に表現することができます。一次冷却水が受け取るエネルギーには、この他、主冷却ポンプのジュール熱、加圧器サージラインからの入熱があります。これら入熱分は図では、⑩に対応しています。なお、加圧器サージラインから No.2 一次冷却水ループへの入熱は、加圧器水位の時間変化率と加圧器サージライン温度とコールドレグ温度に対応するエンタルピーの差の積として表現しています（加圧器満水時については、加圧器水位の時間変化率に変わって、体積制御系の充填流量と抽出流量の差を用います）。

② 一次冷却水の蒸気発生器を通じた除熱

一方、一次冷却水は蒸気発生器の細管を通じて二次側にエネルギーを与えます。蒸気発生器におけるエネルギーの消費は、近似的に、蒸気発生器への給水温度を飽和温度にするために要するエネルギー、そして飽和温度の水を気化するのに要するエネルギーの和として表現できます。

まず、No.1 蒸気発生器について、この関係の図式化について説明します。飽和温度の水を気化するのに要するエネルギーは、蒸気発生器の圧力から算出した気化熱（潜熱）（図-5.11 の⑤）と蒸気発生器出口流量（図の④）の積として表現されます。図上、気化熱（潜熱）が0となる軸を起点とし、傾き α_2 ($= \tan^{-1}(\text{定数} \times \text{蒸気流量})$) のライン（図中赤い点線）を導入すると、図に示すように、横軸の気化熱を図中央に示すエネルギー軸（ENERGY FLOW IN LOOP）に射影する（⑥）ことができます。次に、給水温度を飽和温度に高めるのに要するエネルギーは、蒸気発生器の圧力から算出した飽和温度と給水温度との差^{注)}（⑧）と給水流量（⑦）の積となります。この積を幾何学的に表現するため、図上、給水温度スケール上で給水温度を起点とし、傾き α_3 ($= \tan^{-1}(\text{定数} \times \text{給水流量})$) のライン（図中、同じく赤い点線）を導入すると、図に示すように、横軸の給水温度と飽和温度との差に対応するエネルギーをエネルギー軸に射影する（⑨）ことができます。No.2 蒸気発生器についても上下を逆転させる形で同様な図式表現をとることができ、ふたつの蒸気発生器におけるエネルギー消費の総和（⑬）により、一次冷却水が全体として蒸気発生器を通過する際に消費されるエネルギーを表現することになります。

冷却水ループからの除熱量は、蒸気発生器の細管を通過するものに加え、体積制御系への充填、抽出に伴う温度差、さらには余熱除去系の作動している状態では余熱除去系を通じた除熱を考慮することになります。これらの除熱量は、図中、⑪で表現されています。

^{注)} 給水温度を表現するスケールは、その時点々々の蒸気発生器圧力を考慮して、夫々の温度について0℃からのエンタルピー差を算出し、スケール上の距離がエネルギーに対応するよう調整されている。

③ 一次冷却水エネルギー収支と原子炉出力並びに主蒸気管蒸気流量の表示

図-2.5.11 で見られるように、ST-01 では、前項（1-2）で説明した一次冷却水エネルギー収支のディスプレイフォーマットを、原子炉出力並びに主蒸気管蒸気流量を表現するフォーマットと並べて配置し、これらの間のマス/エネルギーの収支を図的に把握できるよう工夫しています。

原子炉出力については、棒グラフの原子炉出力表現部分のゼロ点を一次冷却水熱収支フォーマットの原子炉容器による加熱側ライン（図-2.5.11 の⑫）の下限とするとともに、エネルギーを両者が一致するように配置しています。これにより、原子炉出力と一次冷却水の加熱の一致度を図的に把握することができます。図-2.5.11 で表現している原子炉状態は、定格出力で安定した状態に対応していることから、原子炉出力と一次冷却水収支の加熱側ラインが一致していることがわかります。

主蒸気管蒸気流量を表現する棒グラフでは、前項で説明したように、機器別に供給消費される蒸気流量が色別に表現され、その積算値を示しています。この蒸気流量の積算値と一次冷却水収支フォーマットの蒸気発生器による除熱分を比較可能とするため、蒸気発生器出口の圧力に対応する気化熱（潜熱）で規格化しています。図 2.5.11 で表現している原子炉状態が安定した状態にあることから、個々の機器（主機、主発電機など）の入り口流量の積算が一次冷却水熱収支フォーマットの蒸気発生に伴う除熱部分に一致し、蒸気発生器出口流量の総和と下流側の機器への流入蒸気流量の総和が等しいことが理解できます。

(1-4) ST-01 画面のその他の機能

① 表示スケールレンジの変更

図-2.5.11 に示した ST-01 画面は、原子炉出力が定格状態に対応するものであり、原子炉出力が低い場合、原子炉状態の変化を、効果的に、把握することが困難になります。このため、低出力状態において、ST-01 画面の一次冷却水熱収支フォームなどについては、表示スケールを上下に拡大可能にしています。

図-2.5.12 に、ST-01 画面の左下方に配置している画面の表示スケール変更ボタンを掲げます。表示スケールは、図のボタンを押下することにより、5 倍、10 倍に変更することができます。表示スケールが適用されると、ボタン上の表示が点灯します。なお、拡大対象とする表示が画面枠に対して一定の割合を超える場合、ボタン押下しても表示スケールは変化しません。また、原子炉状態の変更に伴い、表示スケールが同様に画面枠に対して一定の割合を超える場合、自動的に表示スケールを変更 (×10 から×5 に、あるいは ×5 から FULL(×1) に変更) します。

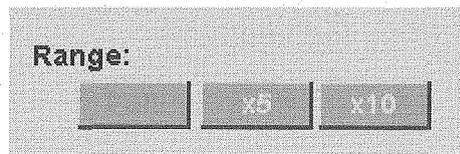


図-2.5.12 ST-01 画面表示スケール変更ボタン

なお、画面表示スケールを拡大、特に×10 とするような状況では、ホットレグ、コールドレグの温度差が微小になり、実機の温度測定センサーの精度からみて、ST-01 画面で採用したような表示方式が不適切と考えられる場合があります。DETRAS システムが教育・訓練を目的に原子炉の運転・操作を行うとの観点で、温度センサーが微細な変化を測定可能といった理想的な条件のもとで、原子炉の動作状況を模擬していることに注意してください。

② 制御棒自動制御条件の識別ライン

ST-01 画面上の原子炉出力、主蒸気管蒸気流量の棒グラフに交差するかたちで、緑色のラインが表示されています (例えば、図-2.5.11 参照)。これにより、原子炉出力及び主蒸気管蒸気流量が制御棒の自動制御を投入する条件をクリアしているかどうかを画面上で識別することができます。

制御棒自動制御に必要な条件として、原子炉出力 (NIS) 10% 以上、蒸気流量 10% 以上がありますが、緑色のラインを、原子炉出力並びに主蒸気管蒸気流量を超えることで、この条件を満足することを判別することができます。

(1-5) さまざまな原子炉運転状態と ST-01 画面

前項までに、ST-01 画面上について、画面上に配置されているディスプレイフォーマット、さらにはフォーマット間の画面上の配置方法と意図について説明した。この項では、原子炉のさまざまな動作状態で ST-01 画面上の表示がどのように変化し、こうした原子炉状態の変化を運転操作上、どのように ST-01 画面上から読み取ることができるかという点を中心に解説します。

図-2.5.13 に主機回転数を低下させた直後の ST-01 画面を示します。ここでは、主機回転数を低下させることにより主機（タービン）への蒸気供給流量が減少し、これに伴い、原子炉プラントの状態を表現する諸パラメータの変化を引き起こすことが把握できます。

また、図-2.5.14、2.5.15 に SG への給水停止、温態停止からの起動にともなう ST-01 画面上の原子炉状態の現れについて示します。

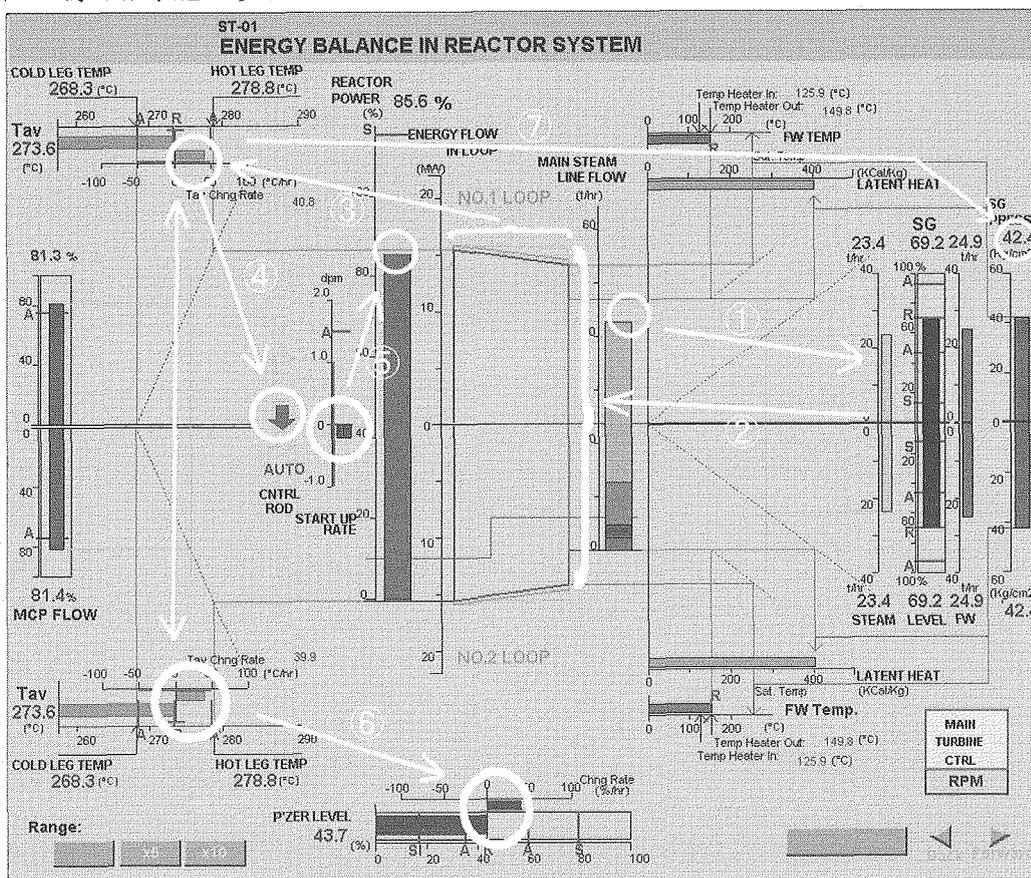


図-2.5.13(1) 主機回転数の低下と ST-01 画面

主機回転数を低下させることにより、主機への蒸気供給量が減少し、主蒸気管への蒸気供給量が減少し始める。この蒸気供給量は、主蒸気管の下流側にあることから主蒸気管入口の蒸気流量（SGの出口）との流量が一時的にアンバランスになるが、これを補償するかたちで、SG出口の蒸気流量が減少し始める (①)。この変化は、SGへの除熱エネルギーの減少というかたちで波及する (②)。これに伴い、1次冷却水のエネルギー収支がアンバランスとなり、エネルギー収支を表現するポリゴンに歪みが生じる。エネルギー収支のアンバランスは、1次冷却水の温度を上昇させることになる (③)。1次冷却水の温度上昇、(並びに1次冷却水のエネルギー収支のアンバランス) に対応する制御の働き (制御棒の挿入 (④)) により原子炉出力を低下させる (起動率の低下と原子炉出力の低下 (⑤))。また、1次冷却水温度の低下に伴い、一次冷却水が収縮することにより加圧器水位が低下 (⑥) する。

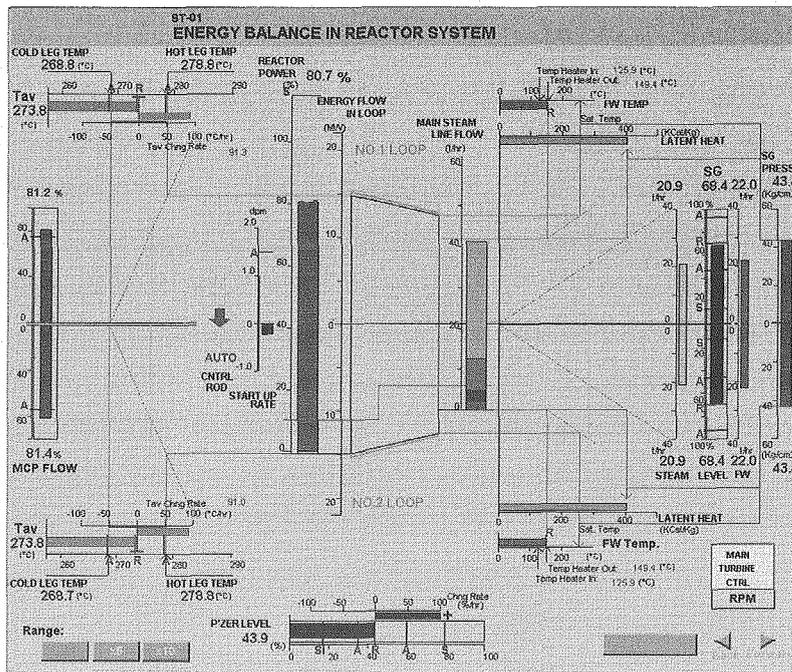


図-2.5.13(2) 主機回転数の低下と ST-01 画面

主機タービンへの供給蒸気流量と SG 出口流量がバランスする。1 次冷却水のエネルギー収支は、依然、バランスしておらず、1 次冷却水温度、加圧器水位は上昇が続く。

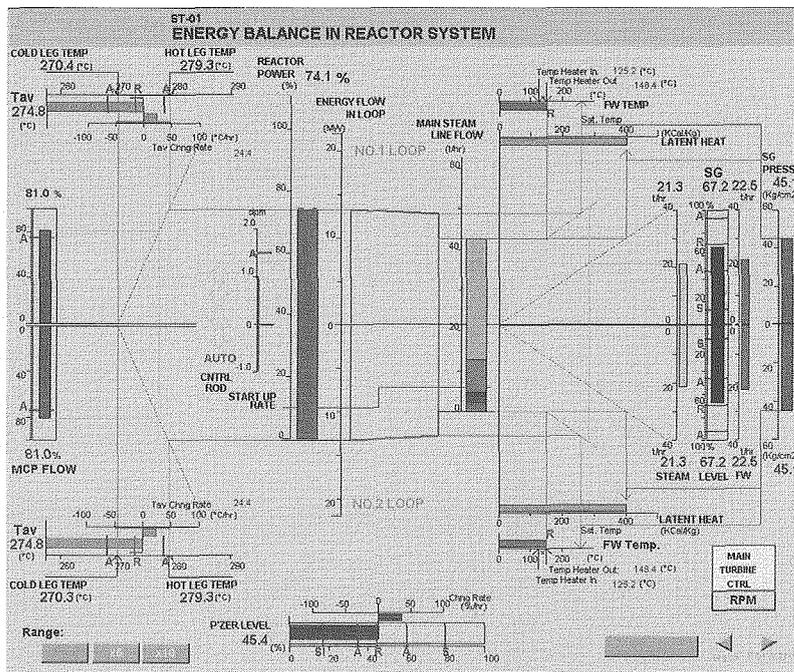


図-2.5.13(3) 主機回転数の低下と ST-01 画面

原子炉出力の低下が進み、1 次冷却水エネルギー収支加熱サイドと原子炉出力が等しくなる。また、1 次冷却水のエネルギー収支がバランスし安定した状態になる。

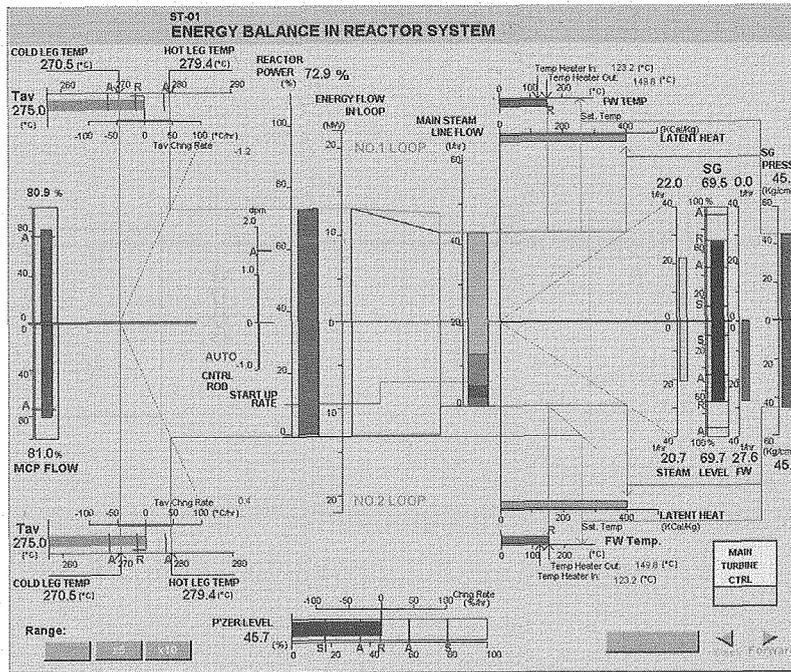


図-2.5.14 SG No.1 への給水停止状態

SG No.1 への給水閉塞止弁を閉にし、給水を停止した状態である。給水の停止を反映して給水を飽和温度とするための除熱部分が0になり、1次冷却水エネルギー収支アイコンの対称性が崩れる。1次冷却水エネルギーのアンバランスを反映して1次冷却水の温度の上昇、それに伴う原子炉出力の低下が予想される。また、SGNo.1の蒸気、給水のアンバランスから、SGレベルが低下してゆく。

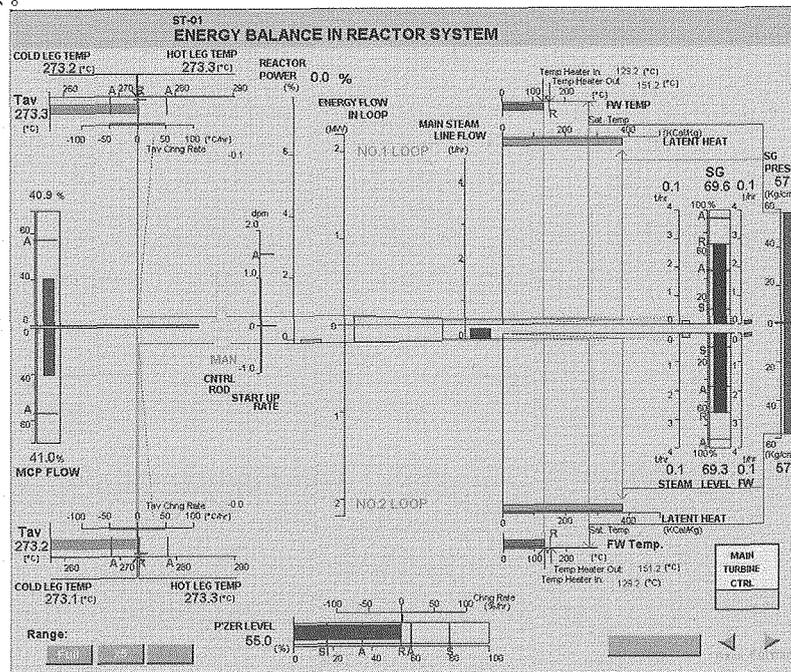


図-2.5.15(1) 温態停止状態からの起動 (1)

温態停止状態で、主冷却ポンプが半速状態にある。1次冷却水エネルギー収支図は、定格運転状態表現時の10倍に拡大されている。熱源として崩壊熱があるが、崩壊熱ダンブへの蒸気ダンブにより除熱されている。崩壊熱ダンブに加えて、体積制御系への抽出、充填を通じて実効的に除熱されている。抽出、充填による除熱の大きさは、1次冷却水エネルギー収支図の除熱ラインで緑色で表現されている。また、SG水位を表現するスケールの分離幅がこれと等しい。

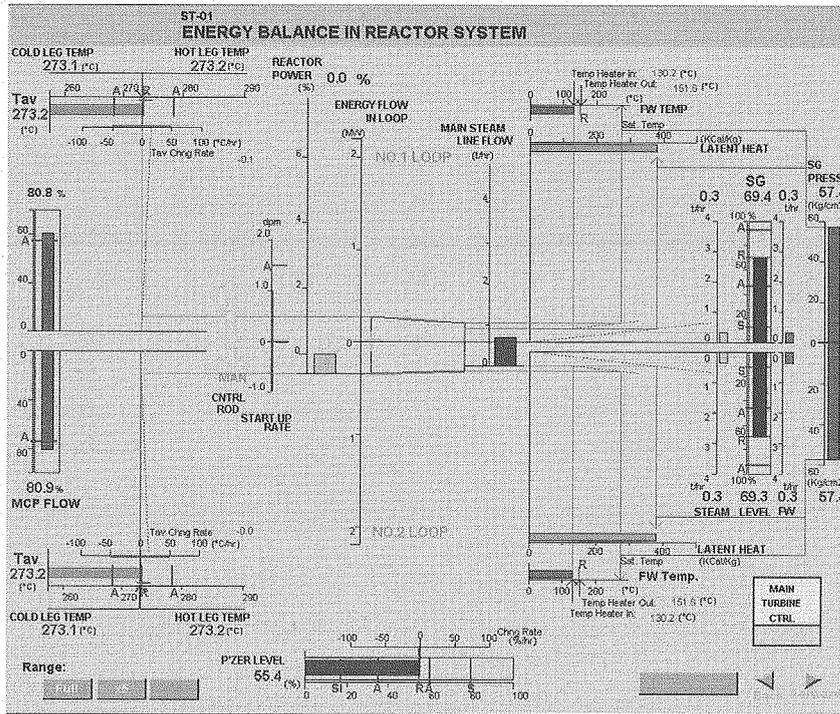


図-2.5.15(2) 温態停止状態からの起動 (2)

2台の主冷却水ポンプが全速になっている。これに伴い、冷却水ポンプの摩擦熱による入熱分（原子炉出力部分の直下に黄色の棒グラフ）が増加していることが分かる。また、1次冷却水の温度（エンタルピー）差をエネルギー収支図に変換する斜めのラインが、冷却水ポンプが全速になることで傾斜が大きくなっている。

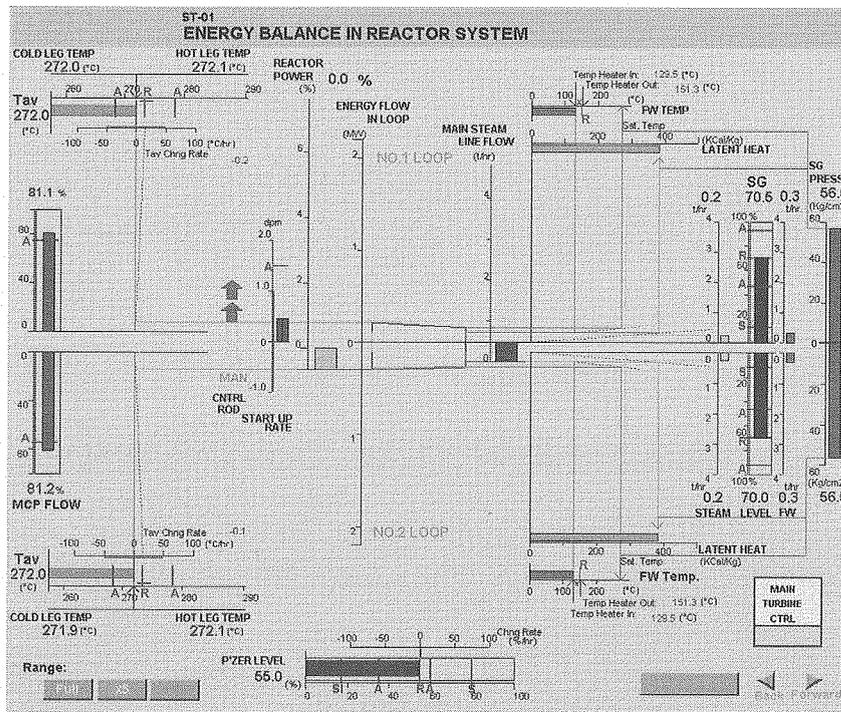


図-2.5.15(3) 温態停止状態からの起動 (3)

手動での制御棒の引き抜き操作が進み（引き抜き対象の制御棒2本）、起動率が図上で確認できる状態になっている。炉出力は小さく原子炉状態に変化は見られない。

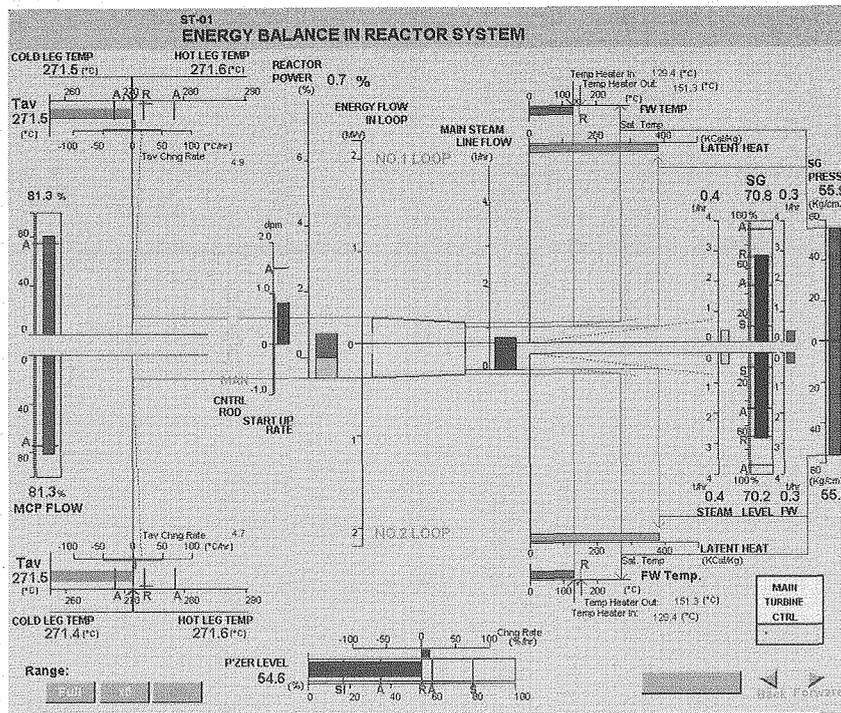


図-2.5.15(4) 温態停止状態からの起動 (4)

手動での制御棒の引き抜き操作が進み、原子炉出力が有意(0.7%)な大きになってきた。起動率は、制限範囲(1.0dpm)一杯の超臨界状態になっている。1次冷却水のエネルギー収支を保つため、崩壊熱ダンプの流量を増加している。1次冷却水の平均温度が、若干、上昇しており、それに伴い、加圧器水位にも上昇が認められる。

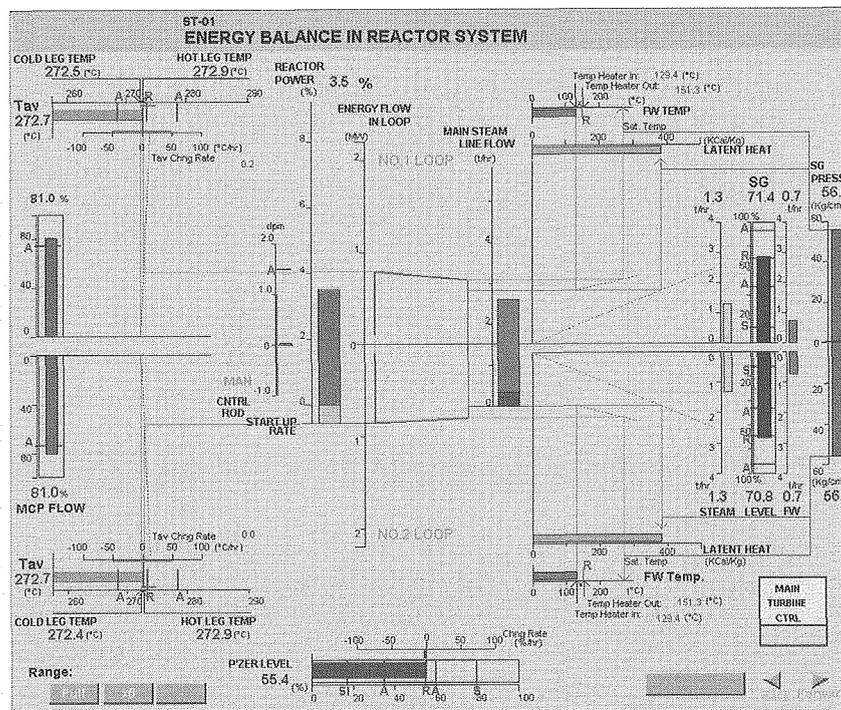


図-2.5.15(5) 温態停止状態からの起動 (5)

主蒸気管への蒸気供給が開始され、雑蒸気分の蒸気流量が増加した。これを補償し、1次冷却水のエネルギー収支をバランスするため、崩壊熱ダンプ流量を減少させている。蒸気流量の増加に伴い、SGに対する給水流量と蒸気流量がアンバランスになっている。

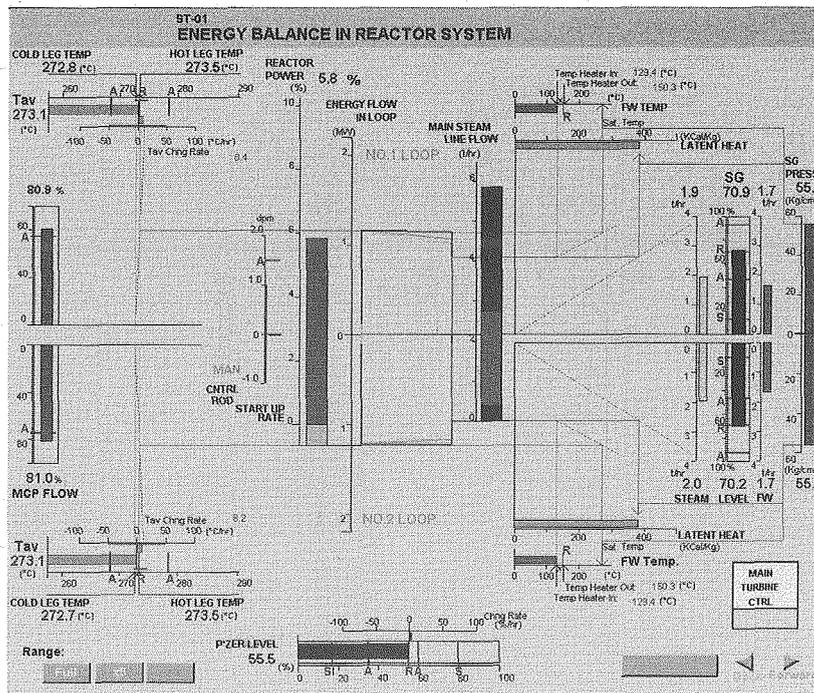


図-2.5.15(6) 温態停止状態からの起動 (6)

主給水ポンプの起動直後である。主蒸気管の蒸気流量が1次冷却水エネルギー収支図のSGからの蒸気発生による除熱分と大きく異なっている。これは、図に表された主蒸気管への蒸気流量が個々の機器の入口における蒸気流量の積算となることによる。

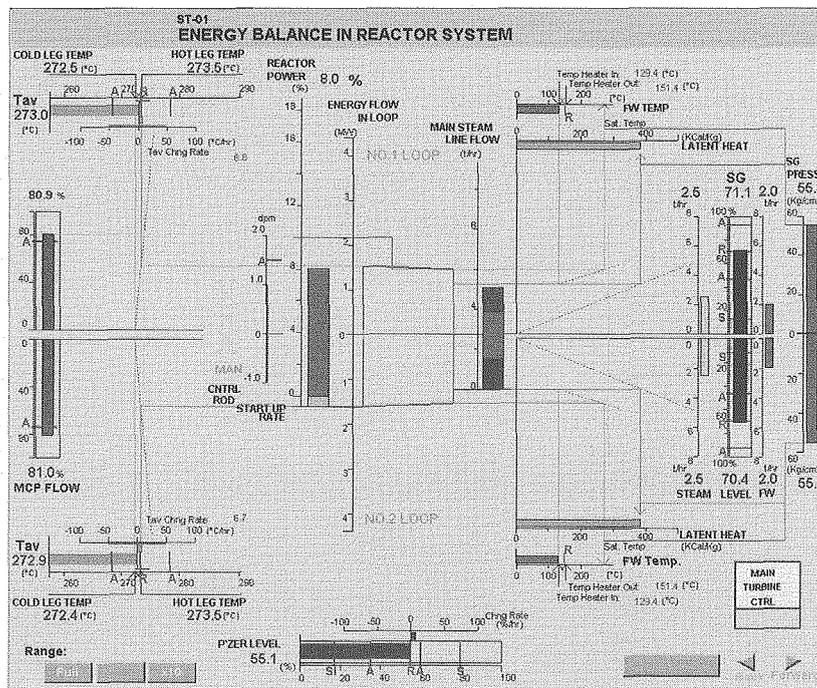


図-2.5.15(7) 温態停止状態からの起動 (7)

主給水ポンプを起動した後、主蒸気流量が安定した状態となり、手動による制御棒引き抜き操作により炉出力を増加するとともに、1次冷却水のエネルギー収支をバランスさせるため、崩壊熱復水器へのダンプ流量を増加させている。炉出力の増加にともない「Range」が×10から×5に自動的に変更している。

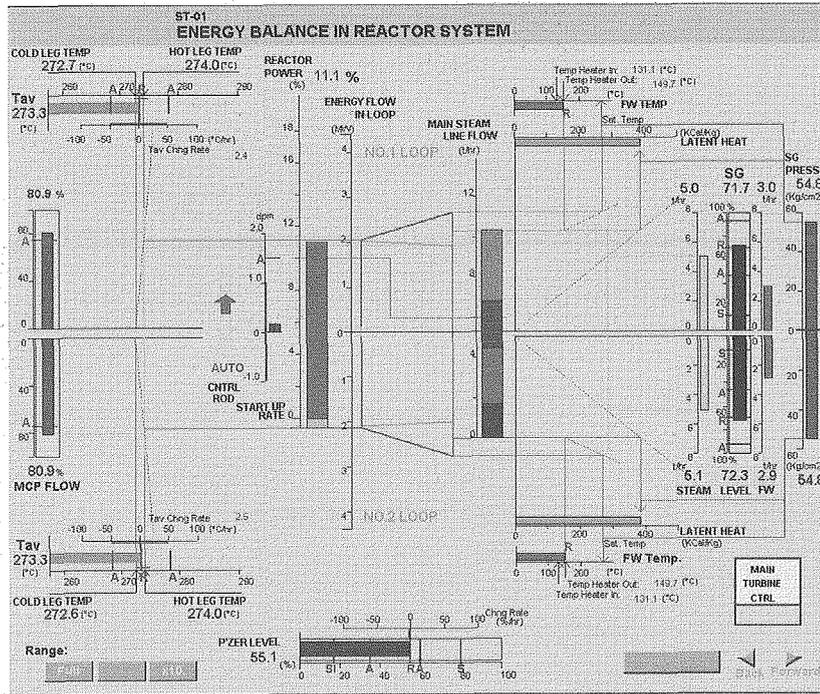


図-2.5.15(8) 温態停止状態からの起動 (8)

SG への給水を自動状態にした後、炉出力の上昇、崩壊熱ダンプ流量の増加により制御棒を自動制御投入。この条件下で、主発電機の投入直後の状況に対応している。主発電機の投入により、1次冷却水エネルギー収支図がアンバランスとなり、それにともない制御棒の引き抜きが開始されている。

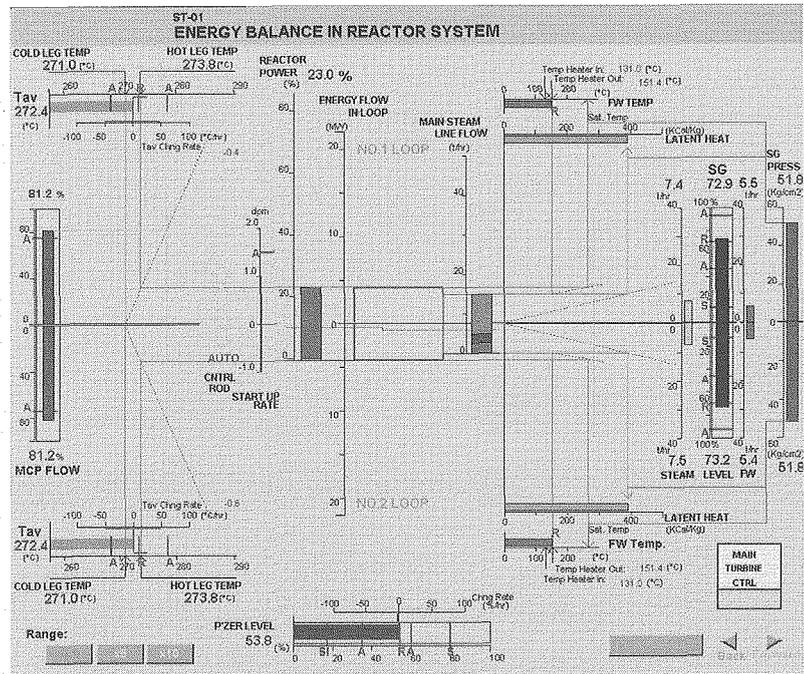


図-2.5.15(9) 温態停止状態からの起動 (9)

補助発電機から主発電機への電源切替えた後、1次冷却水エネルギー収支がバランスし、安定した状態になっている。炉出力の増加に伴い、「Range」が×5から Full に変化している。

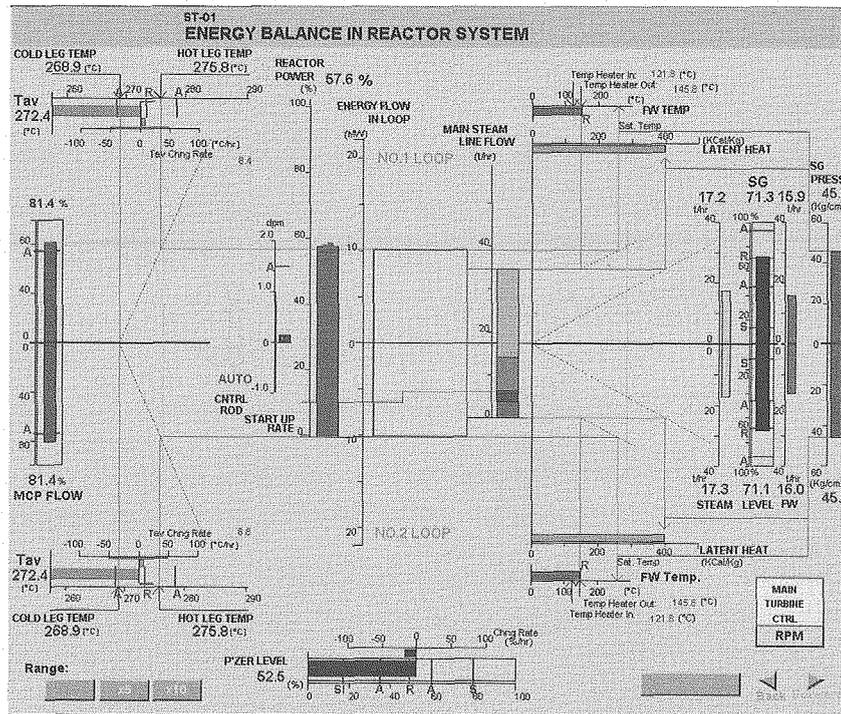


図-2.5.15(10) 温態停止状態からの起動 (10)

主機タービンの回転数を増加させ、定格出力に移行している。1次冷却水エネルギー収支図はバランスしているが、1次冷却水の温度が若干上昇している。収支図の発熱ラインに比べ炉出力が若干大きくなっていることから構造体への熱移動が想像される。一方、1次冷却水温度の上昇にもかかわらず加圧器の水位が低下しているが、これは炉出力上昇に伴い基準水位が低下したことから、加圧器水位制御系が働いたことによる。

(2) 一次冷却系温度/圧力曲線のダイアグラム表示 (ST-02 画面)

図-2.5.16 に 1 次冷却系の圧力/温度と関連パラメータを表示する ST-02 画面を掲げます。図は、定格の定常状態を示しています。加圧器型原子炉においては、1 次冷却系の温度、圧力を、運転制限曲線とともに表示する、いわゆる温度・圧力図が用いられています。ST-02 画面では、一次冷却系の温度・圧力図に加え、①加圧器についても同様の温度/圧力図を表示するとともに、②1 次冷却水 (平均) 温度から予測される蒸気発生器の (最大) 圧力、さらに、③これら 1 次冷却系の温度/圧力に影響を及ぼす諸パラメータを同一のページ上に表示し、一次冷却水系の温度・圧力とそれに関連を持つ諸パラメータとの相互の関係を図的に把握できるように工夫しています。

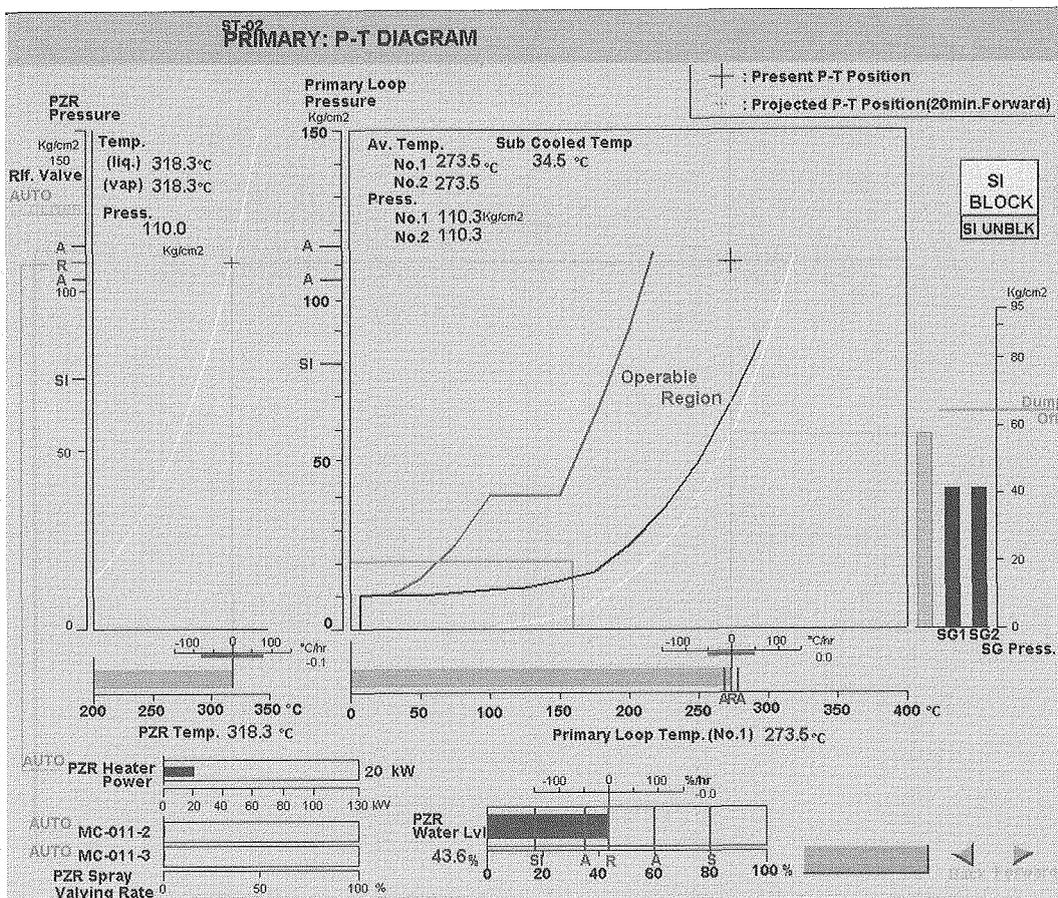


図-2.5.16 1 次冷却系温度/圧力曲線

(2-1) ST-02 画面上で表現される個別パラメータ

・加圧器温度

図-2.5.17 に 加圧器の温度を表示するディスプレイフォーマットを示します。ここでは、加圧器の温度に加えて、温度変化率についても同時に表示しています。

図中、橙色の棒グラフ (下部) が平均温度を表現しており、平均温度終点を起点とする棒グラフ (上部) が平均温度の変化率を表現しています。

図の下方の温度スケールは、加圧器温度がスケールのレンジ内に収まるよう、加圧器温度の変化に伴いシフトします。図上方の温度変化率のスケール上の緑色のラインは、原子炉プラントの起動・停止時の温度変化率の制限値 (70°C/hr) を示しています。

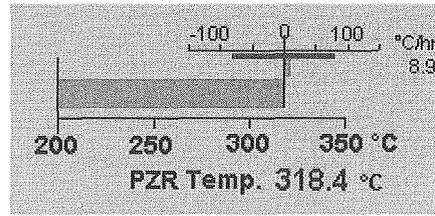


図-2.5.17 加圧器温度

・加圧器ヒータ出力

図-2.5.18 に、加圧器ヒータの（熱）出力を表示するディスプレイフォーマットを示します。図中、棒グラフが全加圧器ヒータの熱出力積算値を表しています。

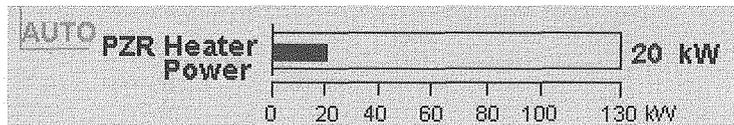


図-2.5.18 加圧器ヒータ熱出力

ディスプレイフォーマットの左方に配置している橙色の文字[AUTO]は、加圧器圧力制御器が自動状態にあることを示しています。この制御器を手動とすると[AUTO]文字はグレーの[MAN]に変化します。

・加圧器スプレイ弁開度

図-2.5.19 に、加圧器スプレイ弁の開度を表示するディスプレイフォーマットを示します。この模擬プラントの2台の加圧器スプレイについて、その開度を表現しています。ディスプレイフォーマットの左方の橙色の文字[AUTO]は、スプレイ弁がいずれも自動状態にあることを示しています。手動の場合、[AUTO]文字はグレーの[MAN]に変化します。AUTO 文字に付随するライン（図中、グレー）は、スプレイ設定点に達し、

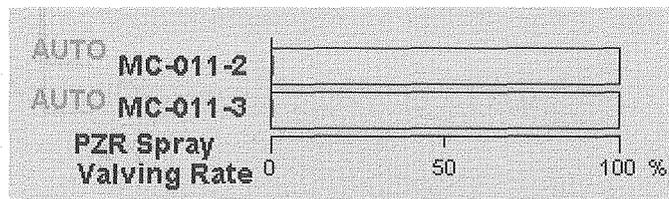


図-2.5.19 加圧器スプレイ弁開度

スプレイ弁が開状態になると橙色に点灯します。

・加圧器水位

図-2.5.20に加圧器水位を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。ここでは、加圧器の水位に加えて、加圧器水位の変化率についても同時に示しています。

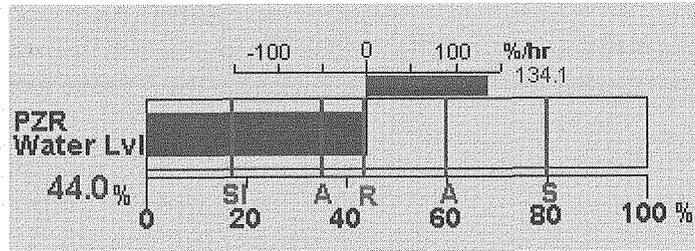


図-2.5.20 加圧器水位

図の枠内の棒グラフが加圧器水位を表しており、棒グラフの終点を起点とする幅の狭い棒グラフが水位変化率を表現しています。

図中、文字 R とこれに付随する縦線は基準水位を、文字 SI、A、S とこれに付随する縦線は、夫々 SI (安全注入の起動)、アラームの発報、スクラムの発生ポイントを表しています。

・1次冷却水平均温度

図-2.5.21 に1次冷却水温度を表現するディスプレイフォーマットを掲げます。ここでは、1次冷却水の温度に加えて、温度変化率についても同時に示しています。図の太い棒グラフが1次冷却水の温度を表しており、この棒グラフの終点を起点とする幅の狭い棒グラフが水位変化率を表現しています。

図中、R とこれに付随する縦線は基準温度 (273.5°C) を表しており、文字 A とこれに付随する縦線はアラームの発報ポイントを表しています。

温度変化率のスケールに緑色のラインが示されていますが、これは模擬プラントの起動・停止操作時の温度変化率の制限範囲内 ($\pm 50^{\circ}\text{C}$) を示しています。

なお、ここに表示している1次冷却水温度は、No.1 ループの冷却水平均温度を採用しています。

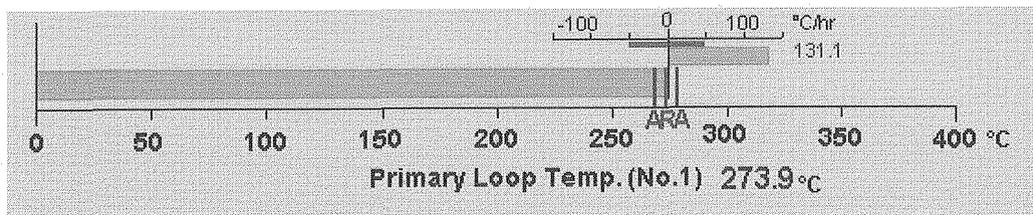


図-2.5.21 1次冷却水平均温度

・ 蒸気発生器圧力

図-2.5.22 に蒸気発生器の圧力を表示するディスプレイフォーマットを示します。図中、濃紫色のふたつの棒グラフは、夫々蒸気発生器 No.1、No.2 の圧力（計測値）であり、左端のグレイの棒グラフは、1次冷却水の平均温度に対応する飽和圧力を示しています。

蒸気発生器が満水状態になく蒸気流量がない（例えば、蒸気発生器出口塞止弁が閉の）状態では、蒸気発生器の圧力は、近似的にこの飽和圧力と等しいと考えることができます。

スケールを横切るかたちの横線は、主ダンプ弁開とする設定点です。

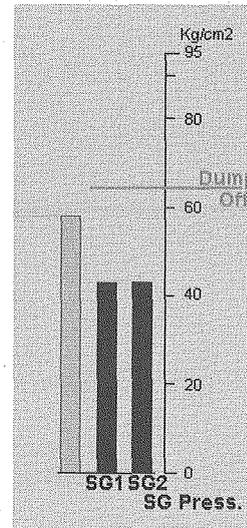


図-2.5.22 蒸気発生器圧力

(2-2) ST-02 画面における1次冷却系温度・圧力曲線表示

図-2.5.23 に、ST-02 画面上の温度・圧力曲線に係わる説明（図-2.5.16 に説明を

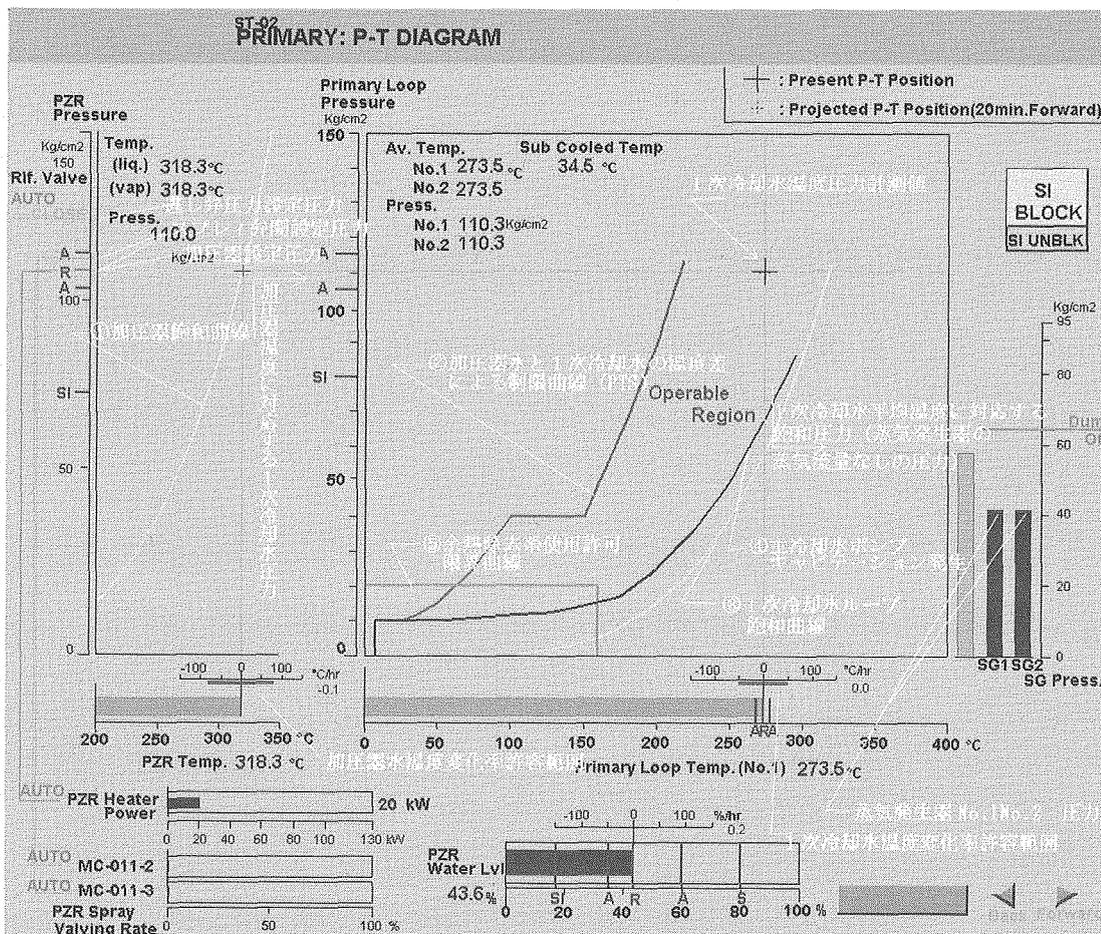


図-2.5.23 ST-02 画面の1次冷却系温度・圧力曲線説明図

加えたもの)。この ST-02 画面の左方には、加圧器の状態を表現するため、横軸に加圧器温度を、縦軸に加圧器圧力をとった加圧器の温度・圧力曲線が配置されています。

図中、黄色のライン(図中の①)は飽和曲線を表しています。このグラフの直下には、加圧器水の温度とその温度変化率を表示する棒グラフが配置されています。図中、+マークは加圧器圧力の計測値を示しています。図に見られるように、加圧器圧力の計測値が加圧器温度ラインと飽和曲線の交点に一致しています^{注)}。これは、加圧器の圧力が加圧器水温度から導出できることに対応しており、(加圧器が満水状態にない条件下では)加圧器水の温度を変化させることにより、加圧器圧力を制御することができることを示しています。加圧器温度の棒グラフの直下には、これに直接影響を及ぼす「加圧器ヒータの出力」と「スプレィ弁の開度」を配置し、加圧器圧力の制御状況を表しています。また、スプレィ弁の開度表示の右側には、時間変化率付きの加圧器水位の表示を配置し、加圧器の状態(上記の加圧器水温度と加圧器圧力の関係が維持できる範囲にあること)を確認・把握することを示しています。加圧器圧力(温度)の制御のもうひとつの手段「加圧器の逃し弁」の状態についても圧力スケール上に表示しています。

図の中央部には、1次冷却系の温度/圧力曲線が示されています。加圧器の場合と同様に、この図では縦軸に1次冷却ループの圧力を、横軸には温度(1次冷却ループの平均温度)がとられています。図中十字印は、1次冷却ループの平均温度と圧力の計測値を示しています。

1次冷却水ループは、サージラインを通じて加圧器に接続されており、この圧力は、基本的に加圧器圧力に一致することになります(シミュレータ上の模擬プラントでは、加圧器の空間的位置を反映して、加圧器圧力が1次冷却水ループの圧力に比べて、0.3 kg/cm²だけ高くなる)。1次冷却水の圧力軸(スケール)は上述した加圧器の温度・圧力曲線のそれに(空間的位置を反映した圧力差を補正して)一致させていることから、加圧器温度から1次冷却水圧力を導出することができます。加圧器温度から導出した1次冷却水圧力(導出値)と1次冷却水平均温度の交点が計測値を表す十字印と一致していることが分かります。さらに、図では、加圧器水の温度変化率、並びに1次冷却水の温度変化率を考慮して、20分後の1次冷却水ループの温度・圧力の予測を破線の十字印で示しています。

^{注)} 加圧器圧力の計測レンジが7.5 kg/cm²以上となっており、これ以下の圧力では、この関係は保たれない。

1次冷却水の温度／圧力曲線において、次の3種類の運転制限曲線が描画されています。

- ・ 加圧器水と1次冷却水の温度差による制限曲線（ピンク色の曲線（図の②）） 加圧環境下での温度衝撃（PTS）を避けるために必要な制限に対応
- ・ 飽和曲線（黄色の曲線（図の③））
- ・ 主冷却水ポンプのキャビテーション発生に対応した制限曲線（青色の曲線（図の④））

1次冷却水ループの温度・圧力が、これら運転制限曲線の内側で、原子炉の運転が可能になります。これら運転制限曲線に加えて、図の右下方に緑色のラインが描画されています（図の⑤）。このラインは、余熱除去系の使用可能域を示しています（1次冷却系の温度、圧力がこの緑色のラインより小さくならなければ、余熱除去系を用いた除熱が行えない）。

1次冷却水の平均温度に対応する飽和圧力は、近似的に、蒸気発生器の圧力の上限（出口塞止弁が閉に対応して蒸気流量がゼロの状態）に対応することから、ST-02 図の右方に No.1、No.2 蒸気発生器圧力の計測値を配置し、これと比較可能としています。

(3) 二次系システムのマスフロー分布ダイアグラム表示 (ST-03 画面)

ST-03 画面では、二次系の水、蒸気等の流れについて概略（オーバービュー）を与え、二次系システム全体の稼動状態、マスフローのバランスをトータルに監視可能にしています。図では、蒸気、排気（もしくは蒸気、水の混合）、水の流れがある場合、これらを、夫々ピンク、空色、濃青で表現しています。流れがないものについては、一律、グレーのラインで表現しています。流れの大きさについては数値（t/hr）で、流れの方向については矢印で表現されます。

(3-1) ST-03 画面における流れの表現

ST-03 画面による二次系の状態の表現について、定格運転状態と温態停止状態のふたつの状態について、具体的に、蒸気、水、排気の流れを説明しながら、図の表現方法について説明します。

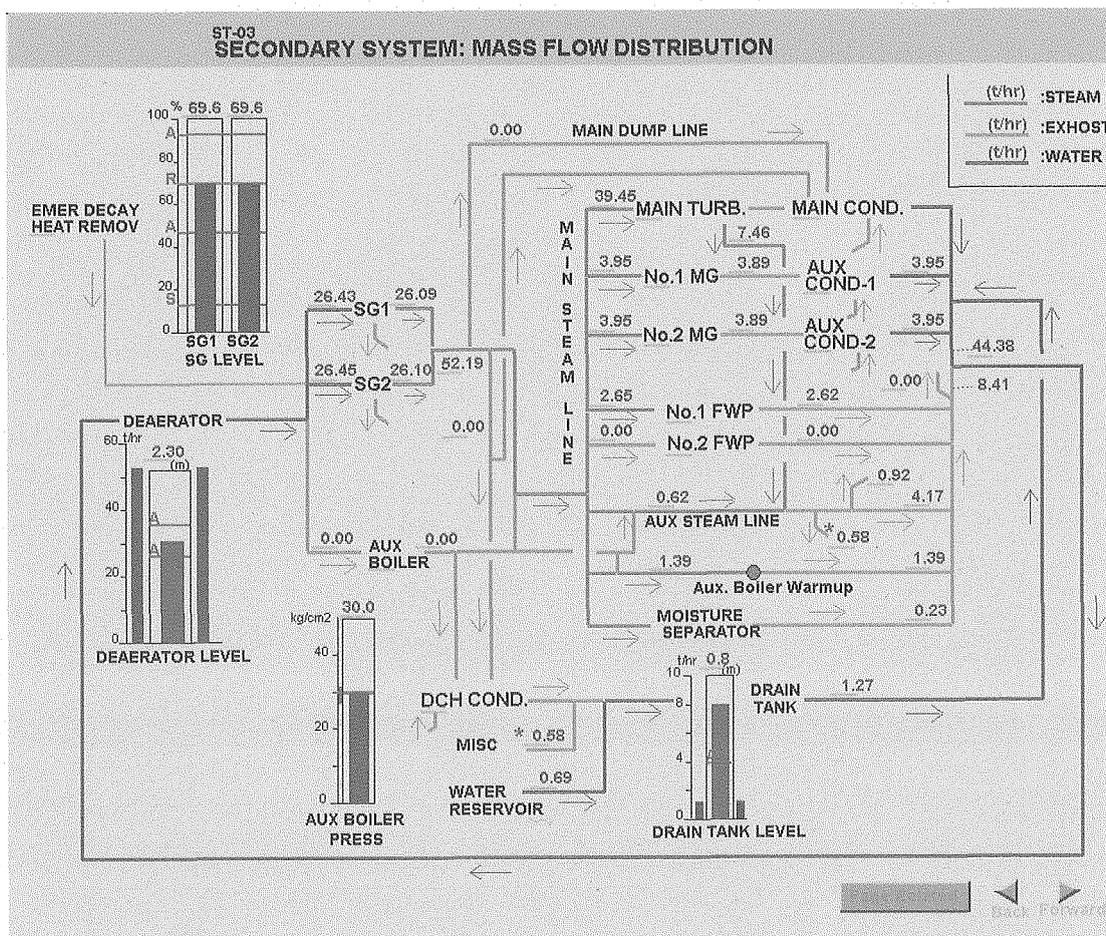


図-2.5.24 ST-03 画面における定格運転状態の二次系マスフロー

図-2.5.24 に、定格運転状態における ST-03 画面を示します。ここでは、二台の蒸気発生器 (SG1、SG2) からの蒸気は、合流した後、主蒸気ラインを通じて主機タービン (MAIN TURBINE)、2 台の主発電機 (No.1MG、No.2MG)、主給水ポンプ (No.1FWP) に供給されるとともに、ふたつのラインを通じて二次系のさまざまな機器に供給されています。この他、主蒸気ラインの蒸気は、これら機器への供給に先立って質分分離器 (MOISTURE SEPARATOR) により「乾いた」蒸気とされますが、流れのバランスを把握するという観点から、この図では、機器への蒸気の供給と並列に表現しています。図中、主機タービンから縦に流れるラインは、運転状態が抽気モードとなったことを表しています。

各機器に供給された蒸気は個々の機器を通過後、排気 (蒸気と水の混合) となりますが、主機タービン、並びにふたつの主発電機タービンからの排気については、主復水器 (MAIN CONDENSER) と 2 台の補助復水器 (AUX CONDENSER) を通じて水に戻され、その他の排気と合流したのち (一部の排気はドレンタンク)、脱気器 (DEAERATOR) に集められたのち、再び蒸気発生器に給水されます。ここで、脱気器への流れの一部はドレンタンクからの流れを含みます。

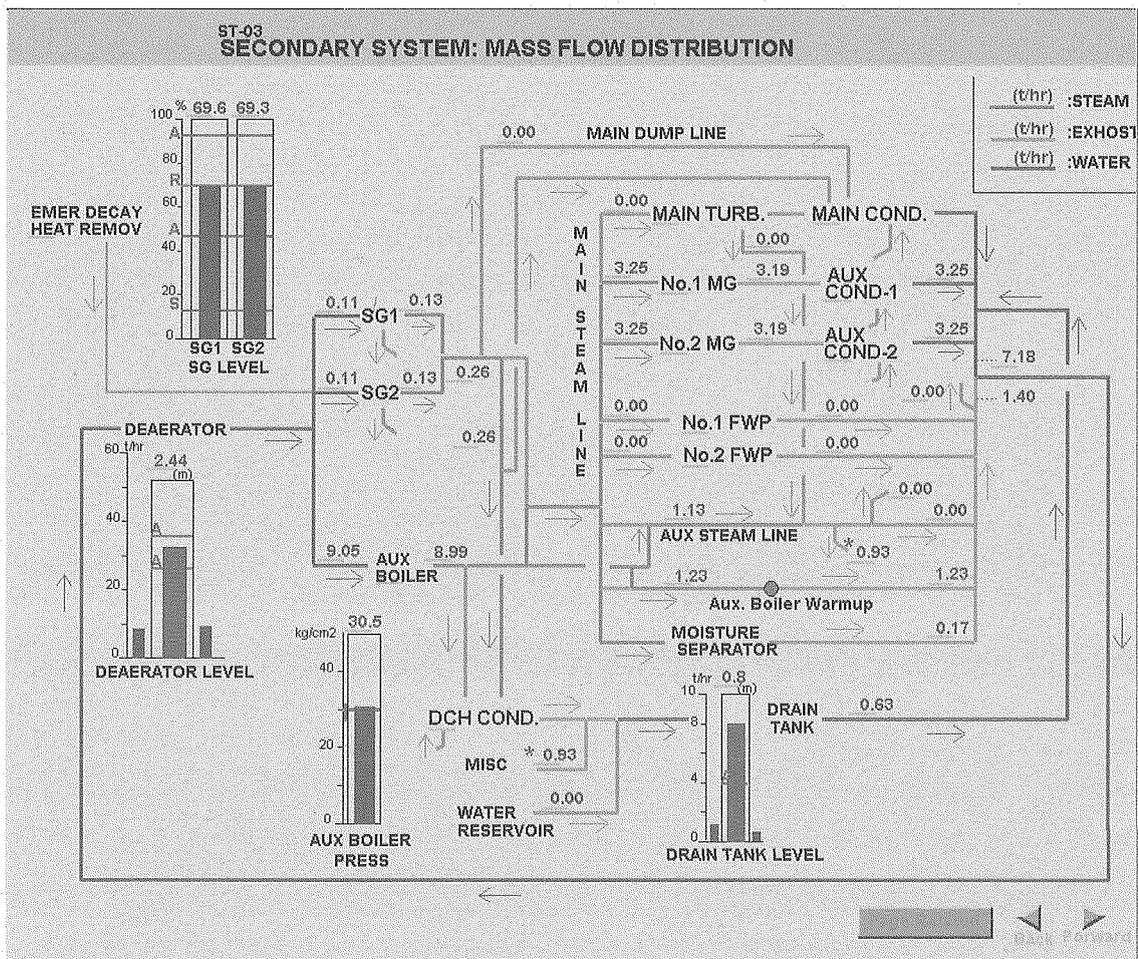


図-2.5.25 ST-03 画面における温態停止状態の二次系マスフロー

図-2.5.25 に、温態停止状態における ST-03 画面例を示します。ここでは、蒸気源を補助ボイラとし、主発電機に蒸気を供給しています。また、崩壊熱による発熱分を除熱するため、蒸気発生器には少量の給水を行い、発生した蒸気は崩壊熱復水器に水に戻されたのち、ドレンタンクに蓄えられています。

(3-2) ST-03 画面における個別パラメータのディスプレイフォーマット

・主蒸気発生器水位

図-2.5.26 に 2 基の主蒸気発生器の狭域水位を棒グラフで表現するディスプレイフォーマットを掲げます。図中、緑色の文字 R とこれに付随した緑色のラインは、標準水位を表します。赤色の文字 A、並びに S とこれに付随するラインは、夫々、警報（狭域水高、狭域水低）の発報レベル、スクラムの発生レベルを表しています。

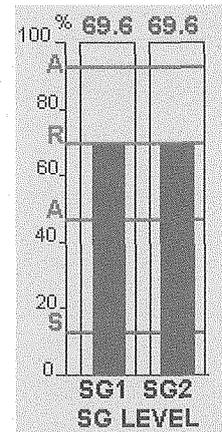


図-2.5.26 蒸気発生器水位

・脱気器水位

図-2.5.27 に脱気器水位を表現するディスプレイフォーマットを示します。3本の棒グラフのうち、枠に囲まれた幅の広い棒グラフにより脱気器の水位が表現されています。赤色の文字 A とこれに付随するラインはアラームの発報レベルを表しています。脱気器水位を挟むふたつの幅の狭い棒グラフは左側が脱気器への流入量、右側が流出量を示しており、これらの流量は左側のスケールから読み取ることができます。

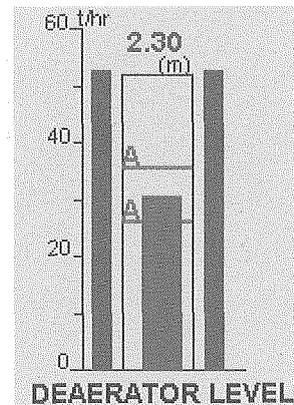


図-2.5.27 脱気器水位

・ドレンタンク水位

図-2.5.28 にドレンタンク水位を表現するディスプレイフォーマットを示します。3本の棒グラフのうち、枠に囲まれた幅の広い棒グラフによりドレンタンクの水位が表現されています。赤色の文字 A とこれに付随するラインはアラームの発報レベルを表しています。ドレンタンク水位を挟むふたつの幅の狭い棒グラフは、左側がドレンタンクへの流入量、右側が流出量を示しており、これらの流量は左側のスケールから読み取ることができます。

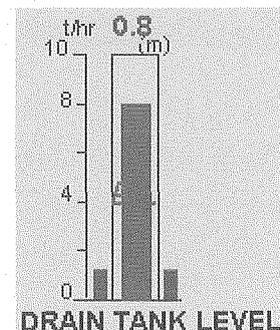


図-2.5.28 ドレンタンク水位

・補助ボイラ蒸気圧

図-2.5.29 に補助ボイラ蒸気圧を表現するディスプレイフォーマットを示します。枠に囲まれた棒グラフにより補助ボイラの蒸気圧が表現されています。緑色の横方向のラインは補助ボイラ蒸気圧の基準値（30 kg・cm²）を示しています。また、スケールに沿って配置されている緑色のラインは補助ボイラ蒸気圧の保持すべき範囲を示しています。

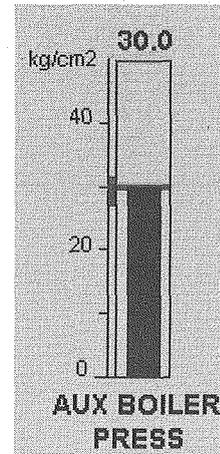


図-2.5.29 補助ボイラ蒸気圧

3. 原子炉の起動・停止操作手順書

3. 1. 起動操作と定格運転

(1) 原子炉起動準備

ここでは、原子炉の冷態停止状態からの起動操作に先立ち、機器の試運転など原子炉の起動準備を行なう。この起動準備に対応する操作を通じて、この原子炉システムを構成する主要な系統についての理解、ならびに本シミュレータ上での基本的な運転操作方法を把握することが期待される。

(1-1) 電源の確保

(1) 主発電機もしくは補助発電機の計2台で電源が確保されていることを確認する。	SY-36
--	-------

関連情報

船内電源として2台のターボ式主発電機 (MG : Main Generator)、2台の補助ディーゼル発電機 (AG : Auxiliary Generator)、1台の非常用ディーゼル発電機 (EG : Emergency Generator)、2台の計装用発電機および計装用蓄電器がある。

シミュレータでは、計装用電源は常時供給されるものとし、MG、AG、EG の計5台の発電機の発停によるシステムへの電源の供給を模擬するものとなっている。また、電源系統の調流についてはモデル化の対象としていないことから、同期調整を行なわなくとも併入が可能となっている。なお、計装用発電機、および蓄電池からは必要な電力が常時供給されるものと仮定されている。

主発電機 (MG) ならびに補助発電機 (AG) 1台あたりの設計容量は、夫々800kW、720kWになっている。原子炉の定格出力運転時では、トータルの電力負荷が約950kW となることから、通常の電源確保は、主発電機、補助発電機のいずれかの計2台を稼動状態にすることが必要である。但し、主発電機、補助発電機とも、過渡的 (2時間) には、125% 負荷に耐える設計となっており、発電機1台がトリップしても、手動で電源を追加起動することにより、電源喪失を避けることが可能である。

非常用発電機 (EG) の設計容量は、240kWで、スクラム後の原子炉冷却時や緊急注入時などの最大負荷220kW を満足する構成になっている。

る。この非常用発電機は、主配電盤と非常用配電盤のブスタイがつながっている状態では並列運転ができない構成になっている。

各2台の主発電機、補助発電機は、SY-36画面に見られるように、主配電盤内で、No.1MG-BUSA(A母線)、No.2MG-BUSB(B母線)、AG-BUSCとつながっており、通常母線間はブスタイにより接続されて運用されている。ブスタイ接続時は、主発電機、補助発電機、夫々2台のうち、3台までしか同時に起動できないインタロックがある。

(1-2) 補機冷却系統の試運転と確立

補機冷却系統では、1次冷却水ポンプ、熱交換器、吐出タンクなど原子炉運転に動作が必要な各種機器が稼動するうえで前提となる機器の冷却を行う。補機冷却系統の試運転と確立操作は、余熱除去システムの稼動・非稼動の別で異なる手順がある。

[A] 余熱除去系統が運転状態にない場合

<p>(1) 補機冷却海水系統の試運転と確立</p> <p>①補機冷却海水入口弁 CC-411-1 が開状態にあることを確認</p> <p>②No.1 補機冷却海水ポンプを起動し、運転状態を確認する。</p> <p>- 補機冷却海水流量 約 127m³/hr</p> <p>③No.1 補機冷却海水ポンプを停止する。停止と同時に S/By 中の No.2 ポンプが起動することを確認する。(No.2 ポンプは LOCK 解除)</p> <p>④No.2 ポンプを停止する。停止と同時に S/By 中の No.1 ポンプが起動することを確認する。</p> <p>⑤補機冷却海水入口弁 CC-411-2 を開とし、補機冷却海水流量が変化することを確認する。</p> <p>- 補機冷却海水流量 約 168.5m³/hr</p> <p>⑥補機冷却海水入口弁 CC-411-2 を閉とする。</p>	<p>SY-08</p>
<p>(2) 補機冷却水系統の試運転と確立</p> <p>①補機冷却水サージタンクの水位を確認する。</p> <p>- 標準値: 70%</p> <p>- 補機冷却補給水弁 CC-004 閉</p> <p>②補機冷却ラインの以下の弁を確認する</p> <p>- 補機冷却熱交換器出口弁 CC-011-1 開</p> <p>③No.1, No.2 一次冷却水ポンプ冷却水入口・出口弁が開になっていることを確認</p>	<p>SY-08</p>

<ul style="list-style-type: none"> - CC-033-1 開 - CC-033-2 開 <p>④No.1 補機冷却水ポンプを起動し、運転状態を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - No.1、No.2 冷却水流量が 7m³ 以上あることを確認 <p>⑤No.1 補機冷却水ポンプを停止する。停止と同時に S/By 中の No.2 ポンプが起動することを確認する。(No.2 ポンプ LOCK 解除)</p> <p>⑥No.2 補機冷却水ポンプを停止する。停止と同時に S/By 中の No.1 ポンプが起動することを確認する。</p>	
---	--

[B] 余熱除去系統が運転状態にある場合

<p>(1) 補機冷却海水系統の起動状態への変更</p> <p>①補機冷却海水ポンプのうち、No.1 ポンプのみを運転状態とする。(No.2 ポンプが運転状態にあるとき停止)</p> <p>②補機冷却海水入口弁を一方のみ開とする</p> <ul style="list-style-type: none"> - CC-411-1 開 - CC-411-2 閉 <p>③補機冷却水ポンプのうち、No.1 ポンプのみを運転状態とする。(No.2 ポンプが運転状態にあるとき、これを停止)</p> <p>④補機冷却熱交換器出口弁を一方のみ開とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - CC-011-1 開 - CC-011-2 閉 <p>④No.1, No.2 一次冷却水ポンプ冷却水入口・出口弁を開とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - CC-033-1 開 - CC-033-2 開 <p>⑤No.1 補機冷却水ポンプを起動し、運転状態を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - No.1、No.2 一次冷却水ポンプ冷却水流量が約 7m³ 以上あることを確認 	<p>SY-08</p>
--	--------------

関連情報

補機冷却系統運転標準値

項目	標準値
補機冷却海水流量 (補機冷却海水ポンプ 1 台運転時)	1 2 0 m ³ /hr
補機冷却流量 (補機冷却水ポンプ 1 台運転時)	5 0 ~ 6 0
余熱除去熱交換器冷却水流量	1 0 ~ 1 5
一次冷却水ポンプ冷却水流量	7. 0 (1 台)
下部一次遮蔽タンク冷却水流量	5. 0
加圧器吐出タンク冷却水流量	6. 0
格納容器温調器冷却水流量	1 2. 5
補機冷却水ポンプ吐出圧力	3. 5

(1-3) 余熱除去ポンプの試運転

余熱除去系統が運転状態にある場合、ここで試運転の対象とする余熱除去ポンプが運転状態にあることから、余熱除去系統が運転状態にない場合のみを対象として、以下の操作を行う。

余熱除去系統が運転状態にない場合のみ実施

操作内容

<p>(1) 余熱除去ポンプ関連弁の設定</p> <p>① DR-001,002 開</p> <p>② DR-016,017 開</p> <p>③ DR-009-1、2 閉</p> <p>④ DR-014 微開 (5%程度)</p> <p>⑤ LC-011 閉確認</p>	SY-04
<p>(2) 余熱除去ポンプの起動</p> <p>① 補機冷却水ポンプが起動状態にあり、余熱除去ポンプへの冷却水が通水状態にあることを確認する。 - CC-021,025 開</p> <p>② 2 台の余熱除去ポンプを順次起動し、運転状態を確認する。</p> <p>③ 弁 DR-014 を徐々に開とし、流量 1 8 m³/hr とし、AUTO 状態とし、動作を確認する。</p> <p>④ 確認後、No.1、No.2 余熱除去ポンプを停止する。</p>	SY-08 SY-04

(3) 試運転後の弁操作		
① DR-001,002	閉	SY-04
② DR-016,017	閉	
③ DR-009-1, 2, DR-014	閉	
④ CC-021,025	閉	SY-08

(1-4) 充填ポンプの運転および封水系の確立

(1) 体積制御系 (LC系) のラインナップ確認		
① 低圧抽出流量制御モード選択スイッチが OFF モードであることを確認		SY-04/LG-04
② 下記の弁の開閉を確認する。		
- 浄化系側路弁 LC-013	VC (サージタンク側)	
- 抽出三方弁 LC-014	Filter(AUTO) (サージタンク側)	
- 体積制御サージタンク吐出弁 LC-025	開	
- 弁 LC-001, LC-005-1,2, LC-034, LC-040, LC-010A,LC-010B	開	
- 弁 LC-006-1A,1B	全開	
- 弁 LC-006-2A,2B	全開	
- 充填ポンプ再循環弁 LC-033	全開	
- 低圧抽出ライン圧力手動設定器	10 kg/cm ² G に設定	
- 低圧抽出ライン制御弁 LC-011	全開 (手動)	
- 封水調節弁 LC-032	全開 (手動)	
- No.1 余熱除去熱交流調節弁 DR-009-1	全開	SY-08
- No.2 余熱除去熱交流調節弁 DR-009-2	全閉	
- CC-016-1,CC-014-1	全開	SY-03
- CC-017-1	AUTO	
- 補助スプレー弁 LC-036	開	
- 加圧器スプレー弁 MC-011-2、-3	全開	

(2) 充填ポンプの動作確認と運転	SY-04
① No.1 充填ポンプを起動する。	

<p>② No.1 充填ポンプを停止する。これに伴い、S/By 中の No.2 充填ポンプが起動することを確認する。(No.2 充填ポンプが LOCK 状態にないことを確認後実施)</p> <p>③ No.2 充填ポンプを停止する。これに伴い、S/By 中の No.1 充填ポンプが起動することを確認する。</p> <p>④ No.1 充填ポンプの運転を継続する。</p>	
--	--

<p>(3) 封水系の確立</p> <p>① 封水系のラインナップを確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 封水注入ライン格納容器隔離弁 CM-006 開 - 封水高圧リークオフライン格納容器隔離弁 CM-012 開 <p>② 封水系の併入</p> <ul style="list-style-type: none"> - 弁 LC-032 の開度を手動にて 50%程度まで絞り、封水注入ラインと一次冷却系の差圧を 5kg/cm²にし、設定値が 5kg/cm²であることを確認し、AUTO とする。 	<p>SY-04</p>
--	--------------

関連情報

封水系統は、制御棒駆動装置への封水供給を目的として、充填ポンプ出口より封水を分岐、供給する。封水戻りは充填ポンプ入り口に戻る。

充填ポンプの吐出圧は一定であり、封水調節弁の開度により封水供給方向と封水調節弁の下流の圧力差 (ΔP) が生じる。これにより、封水調節弁の下流側の充填水の圧力は (「充填ポンプ吐出圧」 - ΔP) となる。

(1-5) 一次冷却水ポンプ運転準備

一次冷却水ポンプの運転条件として、ポンプのキャビテーションを避けるために、必要な一次冷却水圧力まで上昇することが必要である。

ST-02 画面上に描かれている青色のラインは、一次系の温度・圧力曲線上に、一次冷却水ポンプにおいてボイドが発生し、ポンプのキャビテーションが起きる境界を示している。一次冷却水ポンプの運転に際しては、常に一次冷却水圧力はこの青色ラインの情報に維持しなければならない。以下の操作では、冷態停止状態 (一次冷却温度 60℃近傍) における境界圧力が約 10 kg/cm²であることを前提にした操作である。

また本操作は、崩壊熱除去系の運転の有無により操作内容が異なる。

[A] 崩壊熱除去 (DR) 系を使用していない場合

<p>(1) 一次冷却系の加圧</p> <p>① 体積制御系サージタンク水位、圧力が、夫々約 70%、器内</p>	<p>SY-04</p>
---	--------------

<p>圧力が 1.1kg/cm²G にあることを確認。</p> <p>上記条件 OK なら下記弁を閉とする：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補給水弁 LC-102 - ガス補給弁 GS-007 <p>② 充填ポンプ再循環弁 LC-033 を 35%程度まで絞る</p> <p>③ 低圧抽出量制御弁 LC-011 を手動にて絞り、一次冷却系圧力を約 12kg/cm²Gにする。</p> <p>④ 低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 をその時点の低圧抽出圧力設定値に設定する。</p> <p>⑤ 低圧抽出量制御弁 LC-011 を AUTO に切り替える。</p>	
--	--

[B] 崩壊熱除去 (DR) 系を使用している場合

<p>(1) 余熱除去 (DR) 系の運転状態の確認</p> <p>① 余熱除去ポンプ : 運転</p> <p>② 余熱除去熱交換器管側入口弁 DR-009-1,2 : 開</p> <p>③ 弁 DR-014 戻り流量 18m³/hr : AUTO</p> <p>④ 余熱除去系隔離弁 DR-001、002 DR-016、017 : 開</p> <p>⑤ 低圧抽出量制御弁 LC-011 : 開</p> <p>⑥ 充填ポンプ再循環弁 LC-033 : 開</p> <p>(ア) 補機冷却水ポンプ並びに補機冷却海水ポンプ : 運 転</p>	<p>SY-04</p> <p>SY-08</p>
--	---------------------------

<p>(2) 余熱除去 (DR) 系の停止</p> <p>① 余熱除去熱交換器間側入口弁 DR-009-1 : 全開 DR-009-2 : 全閉</p> <p>② No.2 余熱除去熱交換器冷却水入口出口弁 CC-016-2、CC-14-2 : 閉</p> <p>③ 弁 DR-014 を AUTO から MAN に切替え、全閉とする。</p> <p>④ 余熱除去ポンプ No.1、No.2 を停止する。</p> <p>⑤ 隔離弁 DR-001,002 DR-016,017 : 閉とする。</p>	<p>SY-04</p> <p>SY-08</p> <p>SY-04</p>
---	--

<p>(3) 一次冷却系の加圧</p> <p>① 弁 LC-011 が全開であることを確認する。</p> <p>② 充填ポンプ再循環弁 LC-033 を 35%程度まで絞る</p>	<p>SY-04</p>
--	--------------

<p>③ 低圧抽出量制御弁 LC-011 を手動にて絞り、一次冷却系圧力を約 12kg/cm²G にする。</p> <p>④ 低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 をその時点の低圧抽出圧力設定値に設定する。</p> <p>⑤ 低圧抽出量制御弁 LC-011 を AUTO に切り替える。</p>	
---	--

(1-6) 一次冷却水ポンプ試運転と起動開始

<p>(1) 一次冷却水 (MC) ポンプ運転条件の確認</p> <p>① 一次冷却水圧力が約 12kg/cm²G であり、ST-02(P-T 曲線) 上で運転可能域内にあることを確認</p> <p>② 一次冷却ポンプ冷却水流量が 7m³/hr 以上確保されていることを確認する。</p> <p>③ ポンプ動作に必要な電源が確保されていること</p> <p>- 主発電機もしくは補助発電機がトータルで 2 台以上運転されていること</p>	<p>ST-02</p> <p>SY-08</p> <p>SY-36</p>
---	--

<p>(2) 一次冷却水 (MC) ポンプの起動テスト¹⁾</p> <p>① No.1 MC ポンプを READY とし、速度選択スイッチを LOW とし起動する。</p> <p>② 異常のないことを確認する</p> <p>- 一次冷却水流量並びに圧力を監視(以下同)</p> <p>③ No.2 MC ポンプも同様に速度選択スイッチ LOW で起動</p> <p>④ 異常のないことを確認する。</p> <p>⑤ No.1 MC ポンプの速度選択スイッチを HIGH で起動</p> <p>⑥ 異常のないことを確認</p> <p>⑦ No.2 MC ポンプの速度選択スイッチを HIGH で起動</p> <p>⑧ 異常のないことを確認</p> <p>⑨ No.1、No.2 MC ポンプの運転を継続する。</p>	<p>SY-03</p>
--	--------------

関連情報

¹⁾ 崩壊熱除去系が動作している状態、即ち崩壊熱がある場合、一次冷却水ポンプの起動開始に際して、炉心付近に滞留していた比較的高温の水がループ内で流れを作り、蒸気発生器内での沸騰現象が生じることがある。このため、一次冷却水圧力の一時的な圧力の低下が起きる可能性がある。一次

冷却水ポンプ起動時には、一次冷却水圧力の変化を監視する。

一次冷却水ポンプ起動後、冷却水圧力が約 1.4 kg/cm²G に上昇する。

(1-7) 加圧器ヒータの健全性テスト

(1) 加圧器ヒータ運転条件の確認	
① 格納容器温調機冷却水を通水するため、下記の弁を確認 ・ 弁 CC-061、63 閉	SY-08
② 加圧器ヒータの電源が確保されていること ・ 主発電機もしくは補助発電機がトータルで2台運転状態 ・ BUS-M, BUS-N に通電されている。	SY-16

- ・ BUS-M、BUS-N への通電の有無は、加圧器ヒータの操作画面上で確認をすることができる。

(2) 定常ヒータの健全性を確認	LG-05.2
① 定常ヒータ No.1、No.2、No.3、No.4 の順に選択投入し、健全性を確認する。 ・ ヒータ出力を確認(トータル) 約 64kW	ST-02
② バックアップヒータ No.5、No.6、No.7、No.8 の順に選択投入し、健全性を確認する。 ・ ヒータ出力を確認(トータル) 約 128kW	LG-05.2 ST-02
③ 試験終了後全ヒータを OFF とする。	LG-05.2

(1-8) 補助給水ポンプの作動確認

(1) 補助給水ポンプ作動準備	SY-34
① 補助給水弁 FE-023-1,2 閉	
② 補助給水再循環弁 FE-112 AUTO	
③ 補助給水ポンプ出口切替弁 DW-144 閉	

(2) 補助給水ポンプの作動確認	SY-34
① 補助給水ポンプ No.1 を起動する。	
② No.1 補助給水ポンプを停止し、AUTO 状態とする。	
③ 補助給水ポンプ No.2 を起動する。	
④ No.2 補助給水ポンプを停止し、AUTO 状態とする。	

<p>③ No.2 格納容器スプレーポンプを起動し、運転を確認ののち、 停止し、LOCK 状態とする。</p>	
<p>(4) ほう酸注入装置</p> <p>① ほう酸注入タンクの水位が80%あることを確認する。不足の場合、下記の弁によりほう酸水の供給を行う。</p> <p>- ほう酸水供給弁 CA-021</p>	<p>SY-04</p>
<p>(5) 高圧注水ポンプの作動確認</p> <p>① 非常用注水弁 SI-014-1、2 が閉であることを確認</p> <p>② No.1 高圧注水ポンプの作動を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 手動で起動する。 - ポンプを停止する。 <p>③ No.2 高圧注水ポンプの作動を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 手動で起動する。 - 起動ボタン押下後 起動までに遅れがあることに注意 - ポンプを停止する。 <p>④ No.1、No.2 高圧注水ポンプを LOCK 状態とする。</p>	<p>SY-05</p>
<p>(備考) 高圧注水ポンプ起動ボタン押下後、起動までに遅れがあることに注意</p>	
<p>(6) 原子炉部ドレンポンプの作動確認</p> <p>①以下の弁を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 再循環ライン DC-014B、DC-015B 閉 - 注水系連絡弁 DC-104 閉 - 廃棄物系連絡弁 DC-007 閉 <p>②No.1 ポンプを起動し、運転状態を確認、確認後停止。</p> <p>③No.2 ポンプを起動し、運転状態を確認、確認後停止。</p> <p>④廃棄物連絡弁 DC-007 を開とする。</p>	<p>SY-07</p>

加圧器液相温度が190℃達成

<p>(3) 加圧器気相生成</p> <p>① P-T 曲線 (ST-02 画面) 上にて、加圧器液相温度からの一次冷却水圧力予測値が一次冷却水圧力に到達することを確認する。</p> <p>② 加圧器気醸開始の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 低圧抽出量制御弁 LC-011 を手動にて開度を増加 - 一次冷却水圧力が予測値以下に低下しないことを確認 <p>③ 加圧器液相温度の維持</p> <ul style="list-style-type: none"> - 加圧器ヒータを適宜操作し、加圧液相温度を一定に維持する (2~3グループのヒータを ON)。 <p>④ 加圧器水位の基準値 (55%) への移行</p> <ul style="list-style-type: none"> - 低圧抽出量制御弁 LC-011 の開度を上げ、抽出流量を (2 m³程度に) 増加し、加圧器水位を低下させる。 - 加圧器水位約 60% 到達後、充填ポンプ再循環弁 LC-033 の閉操作により加圧器水位降下速度を調整 - 加圧器水位 55% で弁 LC-033 を全閉とする。 <p>⑤ 低圧抽出量制御弁 LC-011 を手動にて調整し、加圧器水位を 55% に維持</p>	<p>ST-02</p> <p>SY-04</p> <p>LG-05.2</p> <p>SY-04</p> <p>SY-04</p>
---	--

「制御棒位置プログラム範囲外」警報が発報

(2-2) 一次冷却水の昇温・昇圧と加圧器水位制御系の併入

<p>(1) 一次冷却水の昇温・昇圧</p> <p>① 加圧器ヒータの全投入</p> <p>② 加圧器スプレー弁 MC-011-2 又は 011-3 を適宜調整</p> <ul style="list-style-type: none"> - 一次系温度・圧力が P-T 曲線上の運転可能域に維持しながら、昇温・昇圧を続ける。 	<p>LG-05.2</p> <p>SY-03</p>
--	-----------------------------

<p>(2) 加圧器水位制御系の併入</p> <p>① 加圧器水位を基準値 (55%) に維持しながら、減圧抽出弁 LC-006-2 の閉操作を行い、全閉とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - スイッチは LC-006-1 選択時 <p>② 減圧抽出弁 LC-006-1 を同様に加圧器水位を基準値に維持するよう閉操作を継続し、開度 85% 程度とする。</p>	<p>SY-04</p>
--	--------------

<p>③ 一次冷却水圧力が 20kg/cm²以上になったことを確認し、抽出量制御モードスイッチを HIGH PRESS モードとする。</p>	<p>LG-07</p>
<p>④ 加圧器水位制御系の併入</p> <ul style="list-style-type: none"> - 減圧抽出弁 LC-006-1 の手動調整により加圧器水位が基準値（55%）に維持されていることを確認。 - 低圧抽出量制御器 FIC LC-11 を AUTO とする。 - 加圧器水位調節系 LIC MC-027 を MAN とし、偏差設定器を調整し、FIC LC-11 上の低圧抽出流量設定値を現在値と一致させ、AUTO とする。 - 減圧抽出弁 LC-006-1 を AUTO とする。 	
<p>⑤ 加圧器の水位が基準値に維持されることを確認する。</p>	<p>ST-02</p>
<p>⑥ 低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 により抽出ライン圧力を 15kg/cm² に設定する。</p>	<p>SY-04</p>
<p>⑦ 一次冷却水圧力が 30 kg/cm²G 程度に到達したら低圧抽出量制御弁 LC-011 を AUTO とする。</p>	<p>SY-04</p>

一次冷却水温度が約 115℃に到達後実施

<p>(3) 体積制御サージタンクのガス置換</p> <ol style="list-style-type: none"> ① VC タンクガスパーズ弁 LC-020 を手動調整開とし、VC タンク器内圧を 0.8kg/cm²G まで減圧する。 ② 補給水弁 LC-102 を開とし VC タンク水位を（90%程度まで）上昇させる。この間、弁 LC-020 の調整により VC タンク器内圧力を 0.8 kg/cm²G に維持する。 ③ ガス補給系(GS 系)より N₂ガスを供給し、VC タンク器内圧力を 1.1 kg/cm²G とする。 ④ N₂ガスによる N₂ガスパーズ完了後弁 LC-020 を全開 (AUTO) とする。 ⑤ 抽出三方弁 LC-014 を AUTO にし、VC タンク水位を低下させる。この間 VC タンク器内圧力を 1.1 kg/cm² に保つ。 	<p>SY-04</p>
---	--------------

一次冷却水温度が約 140℃ (SG 二次側圧力が約 3 kg/cm²G) 到達後実施

<p>(4) 蒸気発生器の水位確立</p> <p>① SG器内圧が約 3 kg/cm²G になったら、蒸気発生器のブローダウン塞止弁 FE-141-1、FE-141-2 を開とし、ブローダウンを開始する。</p> <p>② 補助給水ポンプによる給水準備</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水弁 FE-023-1、-2 閉を確認 - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 AUTO - No.1 補助給水ポンプ RUN - No.1 SG 給水塞止弁 FE-015-1 開 - No.2 SG 給水塞止弁 FE-015-2 開 <p>③ SG 水位を 60% (Narrow) までブロー継続し、到達時にブローダウン塞止弁を閉とする。</p> <p>④ SG 水位 90% (Narrow) まで補助給水ポンプによる給水を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水弁 FE-023-1、FE-023-2 を開とすることにより、給水を開始する。 - FE-023-1、FE-023-2 の開度を調整 (インチング) することにより SG 水位を 90% とし、閉とする。 <p>⑤ SG 水位を約 70% (Narrow) に調整する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - ブローダウン塞止弁を開とすることにより SG 水位を低下させ、No.1SG、No.2SG の水位を夫々約 70% (Narrow) とする。 - 70%到達時に、塞止弁を閉とする。 <p>⑥ 補助給水弁 Interlock Bypass を NORMAL とする。</p>	<p>ST-01 SY-34</p> <p>LG-08</p>
---	-------------------------------------

実機では、二次系の水質調整/改善を行うため、操作③、④を繰り返す行ない、最終的に、蒸気発生器の水位を確立する。

一次冷却水温度が 220℃ (SG 圧力約 20 kg/cm²) 到達後操作開始

<p>(5) 主蒸気ラインの暖管</p> <p>① 下記関連弁が閉であることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプライン元弁 ST-121 閉 - 主蒸気発生器止弁 ST-014 閉 	<p>SY-30</p>
--	--------------

- 蒸気発生器主蒸気塞止弁	ST-001-1、2	開
② 崩壊熱ダンプラインラインナップ		
- 崩壊熱復水器ダンプ元弁	ST-128	開
- 崩壊熱ダンプ元弁	ST-121	開
- 補助ボイラダンプ弁	ST-315	閉
③ ST-125 を 30%開とし、蒸気のダンプを確認		
④ ST-125 を閉とする。		

- ・ 本シミュレータでは、蒸気発生器止弁 ST-001-1、2 を開に向けて均圧操作のバルブを模擬していないため、本止弁の開放時にスクラム信号の発報することがある。均圧操作は、ST-011-1 を開ボタン押下後、即座に閉ボタンの押下を行うことにより行うことができることもある。

主蒸気暖管後実施

(6) 一次冷却水の昇圧促進	
① 加圧器スプレー弁 MC-011-1、-2 を全閉とし、一次冷却水の昇圧を促進する。 目標とする一次冷却水温度・圧力は、約 220°C、110kg/cm ² G	ST-02 SY-03

一次冷却水圧力 85 kg/cm²G 到達時 SI 信号 Unblock となった後に実施

(7) SI ブロック信号の解除	
① SI ブロック表示灯が消灯するのを確認する。(SI ブロック信号が自動的に解除)	ST-02
② 非常用冷却設備の稼動条件を整えるため、下記のポンプ、バルブなどの LOCK を解除する：	SY-05
- No.1, No.2 SI (非常用注水) ポンプ	
- 非常用給水弁 SI-007-1, SI-007-2	
- EC (非常用崩壊熱除去) ポンプ	SY-06
- No.1, No.2 格納容器スプレーポンプ	SY-05
- 格納容器スプレー弁 SI-029	
- No.1, No.2 高圧注水ポンプ	
- 非常用注水弁 SI-014-1, SI-014-2	

一度 SI ブロック信号がクリアされた後、MC ループ圧力が 80 kg/cm²G に低下し、加圧器水位が低下していると SI が発生するので、

MCループ圧力を 80kg/cm²G 以下に低下させる場合には必ず block すること。(一次冷却水ループの圧力が 85kg/cm²G 以下で S I 信号ブロック要求ランプが点灯する)

一次冷却系圧力 110kg/cm²G 到達時に操作実施

<p>(8) 一次冷却水圧力制御系の併入</p> <p>① 一次冷却系温度約 220℃、圧力 110kg/cm²G まで昇温、昇圧したことを確認する。</p> <p>②一次冷却水圧力制御系を自動制御とする。</p> <p>①加圧器ヒータスイッチ Gr.1~7 を AUTO にする (Gr-8 は常時 ON に)</p> <p>②定常ヒータ調節計 PIC MC-18B を手動 (MAN) とし、加圧器圧力が設定値 (設定値 : 110 kg/cm²) となるよう加圧器ヒータの出力値を調整する。</p> <p>③定常ヒータ調節計 PIC MC-18B を AUTO とする。</p> <p>④スプレー調節計 PIC MC-17,18A を AUTO にする (設定値 : MC-17 110.5 MC-118A 114 kg/cm²)</p>	<p>LG-05.2</p> <p>SY-03</p> <p>LG-04</p>
---	--

(2-3) 核加熱による一次冷却水の昇温

① ゼロ出力臨界の達成

<p>(1) 原子炉起動前の確認</p> <p>① 下記の機器の状態確認により、崩壊熱ダンプラインが使用可能であることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - SG - 崩壊熱ダンプライン - 補助給水ポンプ 	<p>SY-30</p> <p>SY-34</p>
--	---------------------------

<p>(2) 原子炉起動インターロック解除</p> <p>① 運転モードスイッチを SHUTDOWN 位置から START 位置にする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 中性子束高スクラム設定値が 25%であることを確認 <p>② 運転出力履歴、一次冷却系温度、過去の臨界実績などにより臨界ロードパターンを確認する。</p>	<p>SY-01</p>
--	--------------

典型的な臨界ロッドパターンとしては、

一次冷却水温度 220℃において、Xe の無い状態では、制御棒グループ Gr.1、Gr.2 の各制御棒引き抜き位置がおおよそ 220mm

<p>(3) 制御棒停止バンク (Gr.3、Gr4) の引き抜き</p> <p>①制御棒グループ選択スイッチを Gr-4 とする。</p> <p>②制御棒手動操作 (グループ) により制御棒の引き抜きを開始する。</p> <p>③Gr-4 を全引き抜きする。</p> <p>④制御棒グループ選択スイッチを Gr-3 とする。</p> <p>⑤全引き抜きで臨界に達しないことを確認する。</p>	<p>SY-01</p>
<p>(4) 制御棒操作バンクの引き抜きと臨界点の確認</p> <p>① Gr-2 制御棒を臨界ロッドパターン位置まで引き抜く。</p> <p>② Gr-1 制御棒を下記に注意しながら引き抜き操作を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 起動率は 1.0dpm 以下に抑えること - 一次冷却水温度の減少等反応度外乱を与えないようにすること - 起動率計、線源領域計数率計を監視しながら引き抜きを実施する。 - 常に臨界を予測し操作を実施する。 	<p>SY-01 TR-01</p>
<p>(5) ゼロ出力臨界の達成</p> <p>原子炉出力 (中性子束) 1×10^4cps に達したら、以下の要領で臨界を確認する。</p> <p>①崩壊熱復水器への蒸気ダンプにより、Tav を一定に保つ。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 の開度の調整 - 補助給水により蒸気発生器水位の標準値 (約 70%) に維持 <p>②操作中の制御棒を挿入もしくは引き抜き操作を行い、起動率が 0dpm になるよう調整し、原子炉出力が一定時間変動しないことを確認することにより、臨界状態であることを確認する。</p>	<p>SY-01 TR-01 ST-01/SY-30 SY-34</p>

② 原子炉出力の上昇と核加熱による一次冷却水の昇温

<p>(1) 一次冷却水ループ温度の上昇</p> <p>① 制御棒 Gr.1 もしくは Gr.2 を手動にて引き抜き、起動率が 1.0dpm 以下で、炉出力を上昇させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 制御棒グループ選択スイッチを Gr-1 もしくは Gr-2 とする (Gr-1 と Gr-2 制御棒位置が均等になるよう制御棒グループを選択する。 - 起動率ならびに炉出力 (中性子束) を監視 <p>② 線源領域と中間領域のオーバーラップを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 線源領域計数率計の高圧電源が自動で OFF になることにより、線源領域計数率がゼロとなるのを確認する。 - 約 $3 \times 10^{-10} \text{A}$ <p>③ 中間領域中性子束計の指示、一次冷却水ループコールドレグ (低温側) 温度を監視しながら一次冷却水の昇温を継続する。</p> <p>④ 昇温率を 30°C/hr 程度になるよう炉出力を保持し、昇温を続ける (原子炉出力 2~3%程度に対応)</p> <p>⑤ 一次冷却水温度が上昇するにつれて反応度の温度係数による出力低下を補償するため、適宜、制御棒を操作し出力を制御する。</p>	<p>SY-01 TR-01</p>
<p>(2) 昇温の完了と臨界状態の維持</p> <p>①一次冷却水温度が標準値 273.5°C 近傍に達したなら、炉出力の制御ならびに崩壊熱ダンプ流量の制御により一次冷却水温度が標準値にて一定とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉出力を一次冷却水温度標準値 273.5°C に維持できるよう一定に保つ - 原子炉出力が 0% においても一次冷却水温度の上昇が見られる場合、崩壊熱ダンプ流量を調整し、一 	<p>ST-01 SY-01 SY-30</p>

<p>次冷却水温度を一定とする。</p> <p>② 崩壊熱ダンプの使用に際しては、蒸気発生器の水位が基準値に維持されるよう、補助給水ポンプにより給水を行う。 (補助給水ポンプによる給水)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 100%開 (MAN) - 補助給水制御弁 FE-023-1、-2 100%開 - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 の開度調節により給水流量を調節 - 2基の SG における水位が異なる場合、補助給水制御弁 FE-023-1、-2 の調整により SG 間で同一水位となるよう調整。 	<p>SY-34</p>
---	--------------

(3) 温態停止状態からの起動操作 (一次冷却水基準温度臨界まで)

(3-1). 原子炉起動操作準備

<p>(1) 温態停止状態の確認</p> <p>① 自動制御系の動作状況の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 加圧器水位制御系 - 一次冷却水圧力自動制御系 	<p>ST-01 ST-02</p>
<p>(2) 電源の確保確認</p> <p>① 主発電機が2台運転状態であることを確認する。</p> <p>② 計装用MGが2台並列運転されていること</p>	<p>SY-36</p>
<p>(3) 一次冷却水ポンプの高速運転</p> <p>① No.1 一次冷却水ポンプの速度選択スイッチを HIGH SPEED とし、高速運転とする</p> <p>② No.2 一次冷却水ポンプも同様に高速運転とする</p>	<p>SY-03</p>

<p>(4) 一次冷却水平均温度 (Tav) の基準値 273.5℃維持</p> <p>①崩壊熱ダンプ流量の制御により一次冷却水平均温度 (Tav) を基準値 273.5℃に維持</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 の開度の調整 <p>②蒸気発生器の水位が基準値 (約 70%) に維持されるよう補助給水ポンプにより給水を行う。</p> <p>(補助給水ポンプによる給水)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 100%開 (MAN) - 補助給水制御弁 FE-023-1、-2 100%開 - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 の開度調節により給水流量を調節 - 2基のSGにおける水位が異なる場合、補助給水制御弁 FE-023-1、-2 の調整により、SG間で同一水位となるよう調整。 	<p>ST-01</p> <p>SY-30</p> <p>SY-34</p>
--	--

(3-2) 原子炉出力の上昇

<p>(1) 原子炉起動インターロック解除</p> <p>① 運転モードスイッチを SHUTDOWN 位置から START 位置にする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 中性子束高スクラム設定値が 25%であることを確認 <p>② 運転出力履歴、一次冷却系温度、過去の臨界実績などにより臨界ロッドパターンを確認する。</p>	<p>SY-01</p>
<p>典型的な臨界ロッドパターンとしては、</p> <p>一次冷却水温度 273.5℃において、Xe がある状態では、制御棒グループ Gr.1、Gr.2 の各制御棒引き抜き位置がおおよそ 600mm</p>	
<p>(2) 制御棒停止バンク (Gr.3、Gr4) の引き抜き</p> <p>①制御棒グループ選択スイッチを Gr-4 とする。</p> <p>②制御棒手動操作 (グループ) により制御棒の引き抜きを開始する。</p>	<p>SY-01</p>

<p>③Gr-4 を全引き抜きする。</p> <p>④制御棒グループ選択スイッチを Gr-3 とする。</p> <p>⑤全引き抜きで臨界に達しないことを確認する。</p>	
---	--

<p>(3) 制御棒操作バンクの引き抜きと臨界点の確認</p> <p>①Gr-2 制御棒を臨界ロッドパターン位置まで引き抜く。</p> <p>②Gr-1 制御棒を下記に注意しながら引き抜き操作を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 起動率は 1.0dpm 以下に抑えること - 一次冷却水温度の減少等反応度外乱を与えないようにすること - 起動率計、線源領域計数率計を監視しながら引き抜きを実施する。 - 常に臨界を予測し操作を実施する。 	<p>SY-01</p> <p>TR-01</p> <p>ST-01</p>
---	--

<p>(4) ゼロ出力臨界の達成</p> <p>原子炉出力（中性子束）1×10^4 cps に達したら、以下の要領で臨界を確認する。</p> <p>①崩壊熱復水器への蒸気ダンプにより、Tav を一定に保つ。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 の開度の調整 - 補助給水により蒸気発生器水位の標準値（約 70%）に維持 <p>②操作中の制御棒を挿入もしくは引き抜き操作を行い、起動率が 0dpm になるよう調整し、原子炉出力が一定時間変動しないことを確認することにより、臨界状態であることを確認する。</p>	<p>SY-01</p> <p>TR-01</p> <p>ST-01/SY-30</p> <p>SY-34</p>
--	---

(4) 原子炉出力の上昇と基底負荷状態の達成

(4-1) 蒸気使用機器の一次停止

<p>(1) 補助ボイラ蒸気系の確認</p> <p>下記の弁状態を確認する。</p>	<p>SY-30</p>
--	--------------

① 補助蒸気元弁	ST-057	開	
② 33K 減圧元弁	ST-271	閉	
③ LPSG 加熱蒸気系	ST-292	開	
④ 15K 減圧元弁	ST-229	開	
⑤ 補助ボイラダンプ系	ST-315	閉	

(2) 電源の切り替え (主発電機の停止)		SY-36
① 補助発電機の起動		
- No.1、No.2 補助発電機 ACB を OPEN とする。		
- No.1 補助発電機の起動 (AUTO 状態の解除後)		
- No.2 補助発電機の起動 (AUTO 状態の解除後)		
② 主発電機の負荷を補助発電機へ移行する		SY-36
- No.1 補助発電機 ACB を CLOSE とする		
- 補助ボイラ蒸気圧力が上昇する。30kg/cm ² G 程度に下降し、安定するのを待つ		ST-03 SY-30
- No.1 主発電機を停止する		
- 補助ボイラ蒸気圧力が再び上昇する。30kg/cm ² G 程度に下降し、安定するのを待つ		ST-03 SY-30
- No.2 補助発電機 (ACB)、No.2 主発電機についても同様な操作を行う。		

・主発関連補機 (補助循環ポンプ、補助復水ポンプなど) は停止せず、補助復水器の真空は維持したままとする。

(4-2) 原子炉出力の上昇による基底負荷状態への移行

(1) 原子炉運転モードの RUN への変更		
① 原子炉運転モード選択スイッチを START から RUN にする。		SY-01
② モニター上で原子炉運転モードが RUN に変更したことを確認する。		
③ 高中性子束スクラム設定値が 115%になったことを確認する。		

(2) 原子炉出力の上昇(蒸気供給開始のための出力上昇)		
① 制御棒の手動操作により原子炉の出力を上昇させる。		SY-01

<ul style="list-style-type: none"> - 制御棒グループ選択スイッチにより Gr.1 もしくは Gr.2 を選択し、手動にて制御棒を引き抜き、原子炉の出力を上昇させる。 - 制御棒の選択にあたっては、Gr.1、Gr.2 の制御棒位置がほぼ均等になるようにする。 <p>② 一次冷却水平均温度 T_{av} を基準値に保つよう、崩壊熱ダンプ弁 ST-125 の弁開度を調整し、蒸気流量を二次系への蒸気供給開始に備えて確保する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 二次系への蒸気供給開始時に要する蒸気流量 約 2t/hr <p>③ 上記の①、②の操作にあたっては、T_{av} を基準値に保つため、一次冷却水への入熱（原子炉出力及び一次冷却水ポンプジュール熱）と除熱（崩壊熱ダンプによる蒸気発生器を使用した除熱）のバランスをとる。</p> <p>④ 蒸気発生器の使用開始に伴い SG 給水は補助給水ポンプにて給水を実施し、蒸気発生器水位を基準値約 70% に保持する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 100%開 <p>(MAN)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水制御弁 FE-023-1、-2 100%開 - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 の開度調節により給水流量を調節 - 2基の SG における水位が異なる場合、補助給水制御弁 FE-023-1、-2 の調整により、SG 間で同一水位となるよう調整。 	<p>SY-30</p> <p>ST-01</p> <p>SY-34</p>
---	--

<p>(3) 二次系への蒸気供給の開始</p> <p>① 下記の弁操作を実施し、二次系への蒸気供給を開始する。蒸気供給にあたっては、二次系への蒸気流量を補償するよう崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 を調整し、エネルギーのバランスをとり、T_{av} を基準値に維持する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 弁 ST-057 閉 - 弁 ST-141 閉 - SG 蒸気供給弁 ST-014 開 <p>② 弁 ST-141 を開とし、原子炉系から補助蒸気への蒸気供給を開始する。蒸気の供給にあたっては、①の操作と同様</p>	<p>SY-30</p>
---	--------------

<p>に T_{av} を基準値に維持する。</p> <p>③ 上記の①、②の操作にあたっては、SG 水位を一定に保つよう、適宜、補助給水ポンプからの給水流量を調整する。</p>	
--	--

<p>(4) 補助ボイラの停止</p> <p>① 蒸気発生器からの蒸気の供給開始に伴い、補助ボイラを停止暖缶状態とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助ボイラ <p>止</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助ボイラ給水ポンプ <p>止</p>	<p>ST-271 開</p> <p>停</p> <p>停</p>	<p>SY-30</p> <p>SY-34</p>
---	-----------------------------------	---------------------------

<p>(5) 主給水ポンプの起動と SG 水位制御系の併入</p> <p>① 原子炉出力の上昇による主給水ポンプタービン供給蒸気の確保</p> <p>前記 (2) と同様な手順により蒸気流量を確保する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主給水ポンプ起動時に確保すべきダンプ蒸気流量現状消費量プラス約 2ton/hr <p>② 主給水ポンプの起動と出口圧力の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主給水ポンプを 1 台起動する。 - 主給水ポンプ出口圧力が蒸気発生圧力に到達し、主給水ポンプによる給水が可能となったことを確認する。 - 主給水ポンプ出口圧力の上昇に伴い、SG から主蒸気管への蒸気流量の変化に対応するよう崩壊熱ダンプ流量を調整し、エネルギーバランスをとる。 <p>③ 補助給水ポンプの停止</p> <ul style="list-style-type: none"> - 蒸気発生器水位が基準値 (約 70%) 以上確保されていることを確認する。 - 補助給水ポンプを停止し、これによる蒸気発生器への給水を停止する。停止後 AUTO とする。 <p>④ 主給水ポンプによる給水の開始</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主給水制御弁 FE-009-1 ならびに FE-009-2 を手動にて開操作し、No. 1、No.2 蒸気発生器それぞれの水位を 70% に調整する。 	<p>(2) 参照</p> <p>SY-34/ST-04</p> <p>ST-01/SY-30</p> <p>SY-34</p> <p>SY-34</p> <p>SY-34</p>
--	--

<p>⑤ SG 給水の自動制御系の併入</p> <ul style="list-style-type: none"> - SG 水位が基準値 (NARROW 約 70%) にあり、給水流量と蒸気流量がバランスしていることを確認し、主給水制御弁 FE-009-1、-2 の制御を AUTO とする。 - 自動制御への切り替え後、SG 水位が基準値に保たれることを確認する。 <p>⑥ 補助給水関連弁の手仕舞い</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水制御弁 FE-023-1、-2 を閉とする。 - 補助給水ポンプ再循環弁 FE-112 を AUTO とする。 	<p>SY-34</p>
--	--------------

<p>(6) 原子炉自動制御の併入</p> <p>① (2) と同様に原子炉出力の上昇を図り、制御棒自動制御に必要な原子炉出力並びに蒸気流量を確保する。</p> <p>② ST-01 画面上において、原子炉出力、蒸気流量が原子炉自動制御範囲に到達することを確認するとともに、Tav が自動制御範囲にあることを確認する。¹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tav が自動制御上下限内 (273.5 ± 2℃) にあること - 原子炉出力 (NIS) 10%以上 - 蒸気流量 10%以上 <p>③ 原子炉出力自動制御対象とする制御棒グループ (Gr-1 又は Gr-2) を選択する。選択にあたって、対象とする制御棒グループの制御棒位置が自動制御範囲内にある制御棒グループを選択する。</p> <p>④ 原子炉出力自動制御対象とする制御グループと手動制御対象制御グループを一致させる。</p> <p>⑤ 自動投入が可能であることを確認し、自動投入スイッチを押し、制御棒操作が AUTO になったことを確認する。</p>	<p>SY-01</p> <p>ST-01</p> <p>LG-03</p>
--	--

¹⁾ 制御棒自動制御に必要な原子炉出力、蒸気流量は、ST-01 上の緑色のラインにより示されている。

<p>(7) 主発電機 1 台の投入</p> <p>① 主発電機タービン用の復水器 (補助復水器 No.1、No.2)</p>	<p>SY-35</p>
---	--------------

<p>が運転状態にあることを確認する。</p> <p>② 主発電機 1 台を立ち上げる。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主発電機 No.1 を 1 台起動する。 - 主発電機 No.1ACB を閉とする。(ACB が自動の場合、主発電機の起動とともに、ACB は自動閉となる) <p>③ 蒸気負荷の変化に対応して、一次冷却水平均温度 T_{av} が基準値近傍に保持されるよう原子炉出力が自動制御されることを確認する。</p> <p>③ 崩壊熱ダンプ流量を低下させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ調節弁 ST-125 閉 - ダンプ流量低下時に、制御棒自動制御条件から逸脱しないことを監視する。 	<p>SY-36</p> <p>ST-01</p> <p>SY-30</p> <p>LG-03</p> <p>SY-36</p>
---	--

<p>(8) 電源の主発電機への切替え</p> <p>① 動作中の補助発電機 2 台のうち、1 台を停止し、主発電機 1 台、補助発電機 1 台が動作状態とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助発電機 No.1 を停止する。 - 補助発電機 No.1 を AUTO 状態とする (スクラム等に備えた自動起動可能な運転待機状態) - 補助発電機 No.1 の ACB を AUTO 状態とする。 <p>② 蒸気負荷の変化に対応して、一次冷却水平均温度 T_{av} が基準値近傍に保持されるよう原子炉出力が自動制御されることを確認する。</p> <p>③ 主発電機 No.2 を起動する。</p> <p>④ 主発電機 No.2 の ACB を閉とする (ACB スイッチが AUTO 状態にある場合、自動で閉)</p> <p>⑤ 上記②と同様に原子炉出力が自動制御されることを確認する。</p> <p>⑥ 補助発電機 No.2 を停止し、AUTO 状態とする (スクラム等に備えて自動起動可能な運転待機状態とする)</p>	<p>SY-36</p> <p>ST-01</p> <p>SY-36</p> <p>ST-01</p> <p>SY-36</p>
--	--

<p>(9) 基底負荷状態移行作業の終了処理</p> <p>① 崩壊熱ダンプ系の停止</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ弁 ST-125 閉 - 崩壊熱ダンプ元弁 ST-121 閉 	<p>SY-30</p>
--	--------------

<ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱復水器入り口弁 ST-128 開のまま ② 蒸気発生器のブローダウン開始 - ブローダウン塞止弁 FE-141-1,FE-141-2 開 	SY-34
---	-------

(5) 定格高出力運転

(5-1) 原子炉出力による主機運転

<p>(1) 主復水器の運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 主循環ポンプを低速で起動する。 ② No.1 主復水ポンプを起動する ③ 主復水器の真空度が上昇したことを確認する <ul style="list-style-type: none"> - 真空度が 700 mmHg 以上 	SY-35
--	-------

<p>(2) 主機運転準備</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 原子炉系の運転中の機器の種類及びそれらの正常な作動を確認する。 場合によっては、手動制御による運転を実施する。その場合は、制御量のプロセス表示に常に注意し、修正操作を実施する。 <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉出力制御系 - 加圧器水位制御系 - 加圧器圧力制御系 - 蒸気発生器水位制御系 - 主蒸気ダンプ制御系 ② 各種プロセス量が標準値になっていることを確認する。 ③ 一般用電源は主発2台で供給され、計装用電源は2台の計装用MGから供給されているのを確認する。 ④ 主循環水ポンプを高速運転とする。 	ST-01 ST-02 LG-03 LG-06 LG-04 SY-34 LG-09 SY-36 SY-35
---	---

<p>(3) 主機タービンの出力の上昇</p> <ul style="list-style-type: none"> ① モード (Navigation Mode) 切替スイッチを REST から MANEUVERING とする。 ② 主機タービンの出力上昇 ③ 出力上昇に追従しうるロッドパターンになっていることを確認する。 <ul style="list-style-type: none"> - 自動制御中の制御棒グループが上下限に近づいていない 	ST-01 MO-30 SY-01 MO-30
---	--

<p>こと</p> <p>④主機タービン操縦ハンドル（テレグラフ）により、SLOW、HALF、と逐次上昇し、FULL の位置まで出力を上昇させる</p> <p>⑤主機タービン回転数を「連続」とし、目標とするタービン回転数を設定し、タービン出力を上昇する。</p>	
---	--

<p>(4) 主機モード切替え</p> <p>① 主機タービンガバナー位置が 14% を超えているのを確認し、航海モード (Navigation Mode) 切り替えスイッチを MANEUVERING から NORMAL にし、次の動作を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 段抽気弁 ES-031 開 (AUTO) (高圧給水加熱器へ) - 2 段抽気弁 ES-041 開 (AUTO) (デアレータ加熱へ) - 3 段抽気弁 ES-052 開 (AUTO) (低圧給水加熱器へ) <p>② 造水装置の使用開始</p> <ul style="list-style-type: none"> - 弁 ES-055 を開とし、造水装置関連への蒸気の供給を開始する。 	<p>MO-30</p> <p>SY-32</p> <p>ST-03</p> <p>SY-32</p>
---	---

(5-2) 原子炉連続出力運転

<p>(1) 運転状態の監視</p> <p>① ST-01、ST02、ST-04 画面を中心に原子炉の運転状態を監視する。</p>	<p>ST-01,ST-02</p> <p>ST-03</p>
---	---------------------------------

<p>(2) 制御棒位置の修正</p> <p>① 自動制御中の 2 本の制御棒の位置差が 80 mm 程度になった場合</p> <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉出力制御を自動から手動に切り替える - シングルロッド操作レバーを引き抜き、挿入、交互に操作し、制御棒位置差を 20mm 以内に修正する <p style="text-align: right;">(制御棒位置差過大警報設定値 90mm)</p> <p style="text-align: right;">(制御棒位置差過大スクラム設定値 100mm)</p>	<p>SY-01</p>
---	--------------

<p>② 自動制御対象制御棒グループ(以下、Gr-1 と仮定)の制御棒位置がプログラムバンドの上限 (又は下限) に近づいた場合、次の操作により制御棒位置を調整する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉出力制御を自動から手動にする。 - グループ選択スイッチを Gr-1 とし、グループ操作レバーで Gr-1 制御棒を挿入する (又は引き抜く)。 - グループ選択スイッチを Gr-2 とし、Gr-2 制御棒を引き抜く (又は挿入する)。 - 上記ふたつの操作を交互に実施し、Gr-1 の制御棒位置がプログラムバンド中央にくるようにする。 - 原子炉出力制御を自動制御に戻す (自動制御投入条件を確認) <p>③ 自動制御グループの交換</p> <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉自動制御グループ切り替えスイッチを Gr-1 から Gr-2 に切り替える。 - Gr-2 が自動制御プログラムバンドに入っていることを確認する。 - Gr-1 のグループ内位置を確認し、位置差があればシングルロッド操作で修正する。 - グループ選択スイッチを GR-1 から Gr-2 に切り替える - 動投入可能であることを確認し、自動投入する。 	
<p>(3) 出力領域中性子束の校正</p> <p>原子炉出力をほぼ一定にて連続6時間以上運転を実施している場合、ST-01 画面により蒸気と流量と原子炉出力の校正値を調整する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 出力領域 CH-1 ~ CH-4 の出力 (%) を(1)の熱出力に合致するよう各チャンネルのゲイン調整を実施する。 	<p>ST-01</p> <p>確認のみ</p>

3. 2. 停止操作

(1) 定格高出力運転から温態停止状態

(1-1). 主機出力降下による原子炉出力の降下

<p>(1) 主機出力の降下</p> <p>①主機回転数の降下</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主機制御モードの「回転数 (RPM)」の選択 - 「回転数設定」のモードの「連続 (CONT.CHANGE)」選択 - 回転数降下ボタンによる主機出力の降下 - 回転数 1 0 0 rpm 到達時 主機モードの変更 <p style="text-align: center;">NAVIGATION — — ></p>	<p>MO-30</p>
<p>MANEUVERING</p> <ul style="list-style-type: none"> - 「回転数設定」モードを「テレグラフ (TELEGRAPH)」に変更 - 回転数 1 0 0 rpm に到達時造水用蒸気遮断確認 <ul style="list-style-type: none"> ・造水装置給水加熱用自動遮断弁 ES-055 - 「HALF」、「SLOW」、「STOP」ボタンを押釦による主機出力の低下 	<p>SY-32</p>
<ul style="list-style-type: none"> - 主機回転数がゼロとなることを確認し、主機モードを変更 <p style="text-align: center;">MANEUVERING —> REST</p> <p>②主機出力低下時のその他措置</p> <ul style="list-style-type: none"> - ガバナリフト 1 4 %到達時抽気弁の自動閉確認 <ul style="list-style-type: none"> ・主機第 1 抽気弁 ES-031 閉 (AUTO) ・主機第 2 抽気弁 ES-041 閉 (AUTO) ・主機第 3 抽気弁 ES-052 閉 (AUTO) 	<p>SY-32</p>

(1-2) 電源の切り替えによる原子炉出力の降下

<p>(1) 崩壊熱ダンプ系の準備他</p> <p>① 崩壊熱ダンプ系の待機状態確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 閉 - 崩壊熱ダンプ元弁 ST-121 開 	<p>SY-30</p>
<p>② 蒸気発生器ブローダウンの停止</p> <ul style="list-style-type: none"> - ブローダウン塞止弁 FE-141-1、-2 閉 	<p>SY-34</p>

<p>(2) 補助発電機による電源供給の開始</p> <p>① 補助発電機 No.1 の起動</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助発電機 No.1 が手動操作状態にあることを確認する (AUTO ボタン消灯 (緑) にあること) - 補助発電機 No. 1 を起動する。 - No.1 補助発電機用 ACB を閉 (クローズ) とする (ACB が AUTO 状態にあるときは自動閉となる)。 - 蒸気負荷の変化を確認するとともに、原子炉出力が負荷変動に対して追随することを確認。 <p>② 主発電機 1 台を停止する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 主発電機 No.1 を停止する。 - 蒸気負荷の変化を確認するとともに、原子炉出力が負荷変動に対して追随することを確認 <p>③ 補助発電機 No.2 の起動</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助発電機 No.2 が手動操作状態にあることを確認する (AUTO ボタン消灯 (緑) にあること)。 - 補助発電機 No.2 を起動する。 - No. 2 補助発電機用 ACB を閉 (クローズ) とする (ACB が AUTO 状態にあるときは自動閉となる)。 	<p>SY-36</p> <p>ST-01</p> <p>SY-36</p> <p>ST-01</p> <p>SY-36</p>
<p>(3) 主発電機の全停止と制御棒自動制御の手動への切り替え</p> <p>① 崩壊熱ダンプによる蒸気流量の確保</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 を開とし、主発電機タービンへの蒸気流量同等の崩壊熱ダンプ流量を確保する。 - ST-01 画面上において、主発電機停止時においても制御棒自動制御条件が確立することを確認 <p>② 主発電機 No.2 を停止する。</p> <p>③ 崩壊熱ダンプ弁 ST-125 閉操作により原子炉出力を徐々に低下させる。</p> <p>④ 原子炉出力自動制御系が AUTO から MAN に切り替わるのを確認</p> <p>⑤ 原子炉出力の降下と Tav の基準値への維持</p> <ul style="list-style-type: none"> - 制御棒の手動による挿入操作 - 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 の閉操作 	<p>SY-30</p> <p>ST-01</p> <p>ST-01</p> <p>LG-03</p> <p>SY-36</p> <p>SY-30</p> <p>SY-01</p> <p>ST-01</p> <p>SY-01</p> <p>SY-30</p>

(1-3) 主給水ポンプの停止と原子炉出力の降下

<p>(1) 補助給水ポンプの起動</p> <p>①補助給水ポンプの起動条件の確認</p> <p>-補助給水ポンプ出口切替弁 DW-144 閉</p> <p>-補助給水再循環弁 FE-112 全開</p> <p>(MAN)</p> <p>-補助給水弁 FE-023-1、-2 全開</p> <p>②補助給水ポンプ No.1 を起動</p>	<p>SY-34</p>
<p>(1) 蒸気発生器水位自動制御系の自動制御から手動への変更</p> <p>① 主給水制御弁 FE-009-1、-2 を MAN とする。</p> <p>② 蒸気発生器水位の基準値に保持</p> <p>- 主給水制御弁 FE-009-1、-2 を手動で調整し、蒸気発生器水位を基準値 (約 70%) に維持する。</p>	<p>SY-34</p> <p>ST-01</p> <p>ST-34</p>
<p>(2) 主給水ポンプの停止と Tav の基準値への維持</p> <p>① 主給水ポンプを停止する。</p> <p>② 崩壊熱ダンプ弁 ST-125 の開操作により主給水ポンプ停止に伴う蒸気流量の減少を補償し、一次系冷却水平均温度 Tav を基準値で一定に保つ</p> <p>- 制御棒挿入操作による原子炉出力の降下も合わせて実施する。</p> <p>③ 補助給水ポンプによる給水</p> <p>- 補助給水再循環弁の閉操作により給水を行い、蒸気発生器水位を基準値 (約 70%) に維持する。</p> <p>- 蒸気発生器 No.1、No.2 の水位に相違がある場合、適宜、補助給水制御弁により調整する。</p> <p>④ 主給水制御弁の閉操作</p> <p>- 主給水制御弁 FE-009-1、-2 閉</p> <p>⑤ 原子炉出力の降下と Tav の基準値への維持</p> <p>- 制御棒の手動による挿入操作</p> <p>- 崩壊熱ダンプ制御弁 ST-125 の閉操作</p>	<p>SY-34</p> <p>ST-01</p> <p>SY-30</p> <p>SY01</p> <p>SY-34</p> <p>SY-34</p> <p>ST-01</p> <p>SY-01</p> <p>SY-30</p>

(1-4) 補助ボイラの起動と蒸気源の切り替え

<p>④ 制御棒が全挿入されることを確認する。</p> <p>⑤ 全制御棒が下限位置まで挿入されることを確認する。</p>	
<p>(5) 一次冷却水ポンプの低速運転 (一次冷却水ポンプを低速運転として、温態停止状態を維持する場合にのみ実施)</p> <p>① No.1 一次冷却水ポンプの速度選択スイッチを HIGH から LOW に切替え低速運転とする。</p> <p>② No.2 一次冷却水ポンプも、同様に、低速運転とする。</p>	<p>SY-03</p>
<p>(6) 主復水器の手仕舞い</p> <p>① 主循環ポンプを低速運転とする。</p> <p>② No.1 (又は No.2) 主復水ポンプを停止する。</p> <p>③ 主循環ポンプを停止する。</p>	<p>SY-35</p>
<p>(7) 温態停止状態の維持</p> <p>① 一次冷却水の圧力及び温度を基準値近傍に保つため、次の制御系を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 加圧器圧力制御系 AUTO - 加圧器水位制御系 AUTO <p>② 一次冷却水温度 T_{av} ならびに SG 水位を基準値に維持するよう崩壊熱ダンプ流量、補助給水流量を調節する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ調節弁 ST-125 - 補助給水再循環弁 FE-112 - 補助給水弁 FE-023-1、-2 	<p>ST-01</p> <p>ST-02</p> <p>LG-04</p> <p>LG-06</p> <p>ST-01</p> <p>SY-30</p> <p>SY-34</p>
<p>(8) 電源の補助発電機から主発電機への切替え</p> <p>① 補助復水並びに補助循環ポンプが動作状態になっていることを確認</p> <ul style="list-style-type: none"> - No.1 補助復水ポンプ 起動状態 - No.1、No.2 補助循環ポンプ 起動状態 <p>② No.1 主発電機の起動</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助ボイラ蒸気圧力が約 30Kg/cm²G にあることを確認する。 - No.1 主発電機を RUN とする。 	<p>SY-35</p> <p>SY-36</p> <p>ST-03</p>

<ul style="list-style-type: none"> - No.1 主発電機 ACB を CLOSE とする。(ACB が AUTO 状態にあるとき、No.1 主発電機起動時に CLOSE となる)。 <p>③ No.1 補助発電機を停止する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助ボイラ蒸気圧力が約 30Kg/cm²G に復帰したことを確認する。 - No.1 補助発電機を停止する。 - No.1 補助発電機を AUTO 状態とする。 <p>④ No.2 主発電機を同様に起動する。</p> <p>⑤ No.2 補助発電機を同様に停止する。</p>	<p>SY-36 ST-03</p> <p>SY-36 ST-03</p>
--	---

(2) 冷態停止操作

(2-1) 一次冷却系圧力/温度の降下操作

<p>(1) 一次冷却水ポンプの低速運転</p> <p>① No.1 一次冷却水ポンプの「速度選択スイッチ」を HIGH から LOW に切替え低速運転とする。</p> <p>② No.2 一次冷却水ポンプも同様に低速運転とする。</p>	<p>SY-03</p>
---	--------------

<p>(2) 一次冷却系圧力の降下操作</p> <p>① 加圧器ヒータスイッチの AUTO もしくは ON を OFF とする。</p> <p>② 「加圧器圧力制御器(PIC MC-18B)」を AUTO から MAN に切り替える。</p> <p>③ 「加圧器スプレー弁 MC-011-2,3」を「No.1、No.2 加圧器スプレー弁制御器(PIC MC-17,18)」上で、AUTO から MAN に切替え、加圧器スプレー弁を開にすることにより加圧器圧力を低下させる。なお、加圧器の冷却は降温率 80℃/hr 以下に調整する。</p>	<p>LG-05.2</p> <p>LG-04</p> <p>LG-04</p>
---	--

<p>(3) 一次冷却系温度の降下操作</p> <p>① 崩壊熱ダンプが使用可能な状態にあることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 弁 ST-121 開 - 弁 ST-128 開 	<p>ST-02</p> <p>SY-30</p>
---	---------------------------

<p>② 崩壊熱ダンプ弁 ST-125 の開度を調整して、崩壊熱復水器への蒸気ダンプを行う。</p> <p>③ SG 水位を基準値（約 70%）に維持するよう補助給水ポンプによる給水を行う）</p> <ul style="list-style-type: none"> - 補助給水ポンプ 1 台が起動状態にあることを確認する。 - 補助給水再循環弁 FE-112 を MAN 状態で 100%開とする。 - 補助給水弁 FE-023-1、-2 の開度を 100%開とする。 - 再循環弁 FE-112 の開度を調節し、補助給水量を調節する。 - 蒸気発生器 No.1、No.2 の水位に相違がある場合、補助給水弁を適宜操作し、ともに基準値を維持する。 <p>④ 一次冷却水の温度低下率を 30℃/hr 程度になるよう、蒸気ダンプ流量、補助給水量を調節する。</p>	<p>ST-01/ST-04</p> <p>SY-34</p> <p>ST-02/ST-01</p> <p>SY-30</p> <p>SY-34</p>
--	--

RHR 併入のため MC ループ 165℃、20 kg/cm² を目標とする。

<p>(4) 抽出量制御</p> <p>① 一次冷却系の圧力低下によって自動制御中の減圧抽出弁 LC-006-1A,LC-006-1B の開度が大となった場合には、他の側の減圧抽出弁 LC-006-2A,LC-00602B を手動開とし、LC-006-1A,1B の開度が約 50%を維持するように調整する。</p>	<p>SY-04</p>
--	--------------

(2-2) SI 信号のブロックと非常用冷却設備の手仕舞い

一次冷却系圧力 85kg/cm²G 以下に低下時に実施

<p>(1) SI 信号のブロック</p> <p>① 一次冷却系圧力 85kg/cm²G 以下に低下したら SI 信号ブロック要求ランプ（警報「SI 信号ブロック許可」）が発報するので、「SI 信号ブロックスイッチ」により BLOCK とする。</p> <p>②SI-Unblock 表示灯が消灯するのを確認する。</p>	<p>ST-02</p> <p>Monitor</p>
--	-----------------------------

<p>(2) 非常用冷却設備の手仕舞い</p> <p>非常用冷却設備を手仕舞いするため、下記のポンプ、バルブなどを LOCK とする：</p> <ul style="list-style-type: none"> - No.1, No.2 SI (非常用注水) ポンプ - 非常用給水弁 SI-007-1, SI-007-2 - EC (非常用崩壊熱除去) ポンプ - No.1、No.2 格納容器スプレーポンプ - 格納容器スプレー弁 SI-029 - No.1、No.2 高圧注水ポンプ - 非常用注水弁 SI-014-1,SI-014-2 	<p>SY-05</p> <p>SY-06</p> <p>SY-05</p>
---	--

(2-3) 余熱除去系の併入

一次冷却水温度 190℃から 160℃において実施

<p>(1) 加圧器水位の上昇</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 減圧抽出弁 LC-006-1A,1B を AUTO から MAN に切り替える。 ② 「低圧抽出ライン圧力設定器 (HIC LC-7)」の設定が 15kg/cm²G であることを確認する。 ③ 抽出流量制御モードを HIGH PRESS から OFF に切り替える。 ④ 弁 LC-006-1A,1B を一旦閉側に手動調整し、加圧器水位を 55% から上昇させる。LC-006 を適宜操作し、加圧器水位を 85% まで、加圧器水位を約 30%/hr で上昇させる。加圧器水位 85% 到達後、LC-006 により抽出流量を調整し、水位を 85% に維持する。 	<p>ST-02</p> <p>SY-04</p>
---	---------------------------

- ・ SG 水位を基準値 (約 70%) に維持
- ・ 加圧器水位を上昇させることにより、加圧器サージラインを通じた加圧器水の一次冷却ループへの流入が無くなり、降温率が増加する。

<p>(2) 余熱除去系関連補機の稼動</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 崩壊熱除去系インターロック解除表示灯が点灯していることを確認する。 <ul style="list-style-type: none"> - インターロック解除 MC ループ圧力 23 k ② 休止中の補機冷却系の準備 	<p>Monitor /ST-02</p> <p>SY-08</p>
--	------------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> - No.2 補機冷却熱交換器胴側出口弁 CC-011-2 開 - No.2 補機冷却熱交換器海水入り口弁 CC-411-2 開 - No.2 補機冷却海水ポンプ 起動 - No.2 補機冷却熱交換器への冷却海水の通水確認 - No.2 補機冷却水ポンプ 起動 ③ 余熱除去冷却用補機の準備 <ul style="list-style-type: none"> - 余熱除去ポンプへの補機冷却水を通水する。 <li style="text-align: center;">隔離弁 CC-021、-025 開 - No.2 余熱除去熱交換器冷却水量調節弁 CC-017-2 <p style="text-align: center;">AUTO</p>	SY-08
--	-------

<p>(3) 余熱除去系の併入準備</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 余熱除去熱交換器管側入口弁 (DR-009-2) を手動操作にて微開とする (熱交換器のサーマルショックを防止するため(暖管開始))。 ② 低圧抽出量制御弁 LC-011 (制御器名称: PIC LC-7) を、AUTO から MAN に切替える。 ③ 減圧抽出弁 LC-006-1、-2 を全開する。 ④ 加圧器水位を一定に保つよう、充填ポンプ再循環弁 LC-033 を開、低圧抽出量制御弁 LC-011 を閉とする操作を行い、弁 LC-033 を 50% 開、LC-011 を全閉にする。 ⑤ 低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 により圧力設定値を一次冷却水圧力より高く設定し、低圧抽出制御弁 LC-011 を AUTO とする。 ⑥ 制御弁 LC-011 が AUTO にて全閉状態にあることを確認する。 	SY04
--	------

・一次冷却水温度並びに加圧器器内水温度の低下に伴い、一次系冷却水体積が減少する。冷却水体積の減少を補うよう LC-033 を適宜調整し、加圧器水位を 85% に維持する

<p>(4) 余熱除去系の併入</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 余熱除去熱交換器入口弁 DR-009-1、-2 全閉 ② 余熱除去系隔離弁 DR-001,002 開 DR-016,017 開 	SY-04
--	-------

<p>③ 余熱除去熱交換器バイパス弁 DR-014 微開</p> <p>④ 余熱除去ポンプ No.1、No.2 を順次 2 台起動する。</p> <p>⑤ 弁 DR-014 を余熱除去熱交換器出口温度が約 130℃になるまで徐々に開く。130℃到達後、戻り流量が約 1 6 m³/hr まで増加するよう DR-014 の開操作を行い調整する。</p> <p>⑥ 弁 DR-009-1 を微開し、戻り流量を約 1 m³/hr 増加させる。 (戻り流量 1 7 m³/hr)</p> <p>⑦ 弁 DR-009-2 も同様にする。(戻り流量 1 8 m³/hr)</p> <p>⑧ 余熱除去熱交換器バイパス弁 DR-014 を、余熱除去系戻り流量 18m³/hr にて AUTO とする。</p>	SY-30
<p>⑨ 崩壊熱ダンプラインの使用を停止する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 崩壊熱ダンプ弁 ST-125 閉 - 崩壊熱ダンプ元弁 ST-121 閉 	
<p>⑩ 弁 DR-009-1,2 の開度を調節し、一次冷却系降温率が約 30℃/hr になるようにする。</p>	SY-02
	SY-04

- ・ダンプラインの使用停止に伴い、SG の狭域水位が低下する。
- ・降温が進み、弁 DR-014 が全閉になったら弁 DR-009-1,2 はそれ以上開かない。以降、降温率は成り行きにまかせる。

<p>(5) 加圧器満水作業</p> <p>(1)LC-013 を PU 側から VCT 側とする (RHR 出口温度が高いのでレジンを保護する)</p> <p>(2)低圧抽出量制御弁 LC-011 を AUTO から MAN に切替え、抽出流量を 1m³/hr にするようバルブ開度を調節する。その時点の抽出圧力を低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 を通じて設定値とし、LC-011 を AUTO とする。</p> <p>(3)充填ポンプ再循環弁 LC-033 を 5 0 % から徐々に全閉とし、加圧器水位を上昇させる。(満水時ショックを緩和するため微開 (数%) とする)</p> <p>(4) 満水後、充填ポンプ再循環弁 LC-033 を徐々に 3 5 % 開とする。</p> <p>(5)加圧器水位満水後、次の操作を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 充填ポンプ再循環弁 LC-033 開 (3 5 %) ② 低圧抽出ライン圧力設定器 HIC LC-7 により、抽出ラインの圧力設定値を下げ抽出流量を約 1.5m³/hr 	SY-04
--	-------

② 補助給水弁インターロックバイパスの設定を NORMAL 状態から BYPASS 状態に切り替える	LG-08
③ 補助給水ポンプにて給水を開始する。	SY-34
④ SG 水位 100% に近づいたら、給水流量を減少させ SG への液体加圧を防止する。	
⑤ SG の水位 100%(Narrow) 到達後、給水の停止	
- 補助給水ポンプの停止	
- 補助給水制御弁	FE-023-1、-2 閉
- 蒸気発生器止弁	FE-015-1、-2 閉
⑥ 崩壊熱ダンプ系の隔離	SY-30
- 崩壊熱ダンプ弁	ST-125 閉
- 崩壊熱ダンプ元弁	ST-121 閉
-	ST-128 閉
-	ST-315 開

- ・ SG 水位約 98% (WIDE) で SG 補給水弁 FE-023-1,2 および SG 給水入り口弁 FE-015-1,2 が自動閉となるのでインターロックを解除する。

(2) SG 器内圧力の排除	
① 崩壊熱ダンプラインの確認	SY-30
- 崩壊熱ダンプ元弁	ST-121 開
-	ST-128 開
-	ST-315 閉
- 崩壊熱ダンプ調整弁	ST-125 閉
② 崩壊熱ダンプによる SG 器内圧力の排除	
- 崩壊熱ダンプ調整弁 ST-125 を開とする。	
③ SG 器内圧力が排除され、0 m ² /hrG (大気圧) となることを確認	

一次冷却系温度が 90℃にて実施

(3) SG 蒸気系の隔離	SY-30
① 蒸気発生器主蒸気止弁	ST-001-1 閉
	ST-001-2 閉
	ST-121 閉
	ST-125 閉

(2-5) 一次冷却水ポンプの停止と補助スプレーの開始

一次冷却系温度が 90℃以下で実施

<p>(1) 一次冷却水ポンプの停止及び補助スプレーの開始</p> <p>① 一次冷却水ポンプを停止する。 - No.1、No.2 を交互に運転、停止を繰り返し、両ループの均温化を図る。</p>	<p>SY-03/ST-01</p>
<p>② 一次冷却水ポンプを停止する。</p> <p>③ 補助スプレーによる加圧器の冷却を開始する。 - 充填ポンプ再循環弁 LC-033 約 60%開 - 補助スプレー弁 LC-036 開 - 充填ライン隔離弁 LC-040 閉 - 充填ポンプ再循環弁 LC-033 を徐々に絞り、一次冷却水温度と等しくなるよう降温する。</p>	<p>SY-04</p>

(2-6) 冷態停止の確認

<p>(1) 冷態停止の確認</p> <p>① 余熱除去系の運転により一次冷却水の温度が 60℃近傍に保持されていることを確認する。</p>	<p>ST-02</p>
<p>② 制御棒が下限位置にあることを確認。</p>	<p>SY-01</p>
<p>③ 充填ポンプを停止し、LC系、CM系の関係諸弁を閉弁する</p>	<p>SY-04/SY08</p>
<p>④ 停止後点検表に従って点検し、停止状態を確認する。</p>	

国際単位系 (SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
面積	平方メートル	m ²	m ²
体積	立方メートル	m ³	m ³
速度	メートル毎秒	m/s	m ⋅ s ⁻¹
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²	m ⋅ s ⁻²
波数	毎メートル	m ⁻¹	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³	kg ⋅ m ⁻³
質量体積 (比体積)	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg	m ³ ⋅ kg ⁻¹
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²	A ⋅ m ⁻²
電界の強さ	アンペア毎メートル	A/m	A ⋅ m ⁻¹
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³	mol ⋅ m ⁻³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²	cd ⋅ m ⁻²
屈折率	(数の) 1	1	1

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	yocto	y

表 3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	m ⋅ m ⁻¹
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	m ² ⋅ m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m ⋅ kg ⋅ s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N ⋅ m ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N ⋅ m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s ⋅ A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V ⋅ s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd ⋅ sr ^(c)
(放射線核種の)放射能	ベクレル	Bq	lm/m ²
吸収線量, 質量エネルギー	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表 4 に示されている。
- (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンは名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を併せて用いても良い。

表 4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa ⋅ s	m ⁻¹ ⋅ kg ⋅ s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N ⋅ m	m ² ⋅ kg ⋅ s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg ⋅ s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ⋅ m ⁻¹ ⋅ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m ⋅ m ⁻¹ ⋅ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg ⋅ s ⁻³
質量熱容量 (比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/K	m ² ⋅ kg ⋅ s ⁻² ⋅ K ⁻¹
質量エンタロピー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ⋅ s ⁻² ⋅ K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ ⋅ kg ⋅ s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m ⋅ K)	m ⋅ kg ⋅ s ⁻³ ⋅ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ ⋅ kg ⋅ s ⁻²
体積電荷	ボルト毎メートル	V/m	m ⋅ kg ⋅ s ⁻³ ⋅ A ⁻¹
電気変位	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ⋅ s ⋅ A
誘透率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² ⋅ s ⋅ A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ ⋅ kg ⁻¹ ⋅ s ⁴ ⋅ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m ⋅ kg ⋅ s ⁻² ⋅ A ²
モルエンタロピー	ジュール毎モル	J/mol	m ² ⋅ kg ⋅ s ⁻² ⋅ mol ⁻¹
モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol ⋅ K)	m ² ⋅ kg ⋅ s ⁻² ⋅ K ⁻¹ ⋅ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ ⋅ s ⋅ A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² ⋅ s ⁻³
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ ⋅ m ⁻² ⋅ kg ⋅ s ⁻³ =m ² ⋅ kg ⋅ s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² ⋅ sr)	m ² ⋅ m ⁻² ⋅ kg ⋅ s ⁻³ =kg ⋅ s ⁻³

表 6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	''	1''=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10(Np)

表 7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で SI 単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49) × 10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10) × 10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30) × 10 ¹¹ m

表 8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	海里	1 海里=1852m
ノット	ノット	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=10 ⁻¹⁰ m
バロン	b	1 b=100 fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表 9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn ⋅ s/cm ² =0.1 Pa ⋅ s
ストークス	St	1 St=1 cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁸ Wb
スチルブ	sb	1 sb=1 cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホバ	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表 10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7 × 10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58 × 10 ⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=0.01 Gy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=0.01 Sv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002 × 10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W ⋅ m ⁻² ⋅ Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	metric carat	1 metric carat=200 mg=2 × 10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m