

JAERI-Tech

97-057



原子力船の高度自動運転システムの開発(2)
—原子炉スクラム後の完全自動化—

1997年11月

藪内典明・中澤利雄・高橋博樹・島崎潤也・星 薫雄

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行　日本原子力研究所
印　　刷　　日立高速印刷株式会社

原子力船の高度自動運転システムの開発(2)

—原子炉スクラム後の完全自動化—

日本原子力研究所東海研究所原子力船研究開発室

藪内 典明・中澤 利雄・高橋 博樹・島崎 潤也

星 蔭雄

(1997年10月8日受理)

製作した自動化システムは、原子炉スクラム後のプラント整定操作の完全自動化を目的としたもので、整定の目標は温態停止条件とした。自動化システム構成として、

- ・ 原子炉スクラム後作動必要設備の正常動作判定
- ・ 原子炉スクラムによる過渡変化の収束操作の自動化
- ・ 長期崩壊熱除去操作の自動化

に大別し、自動化システムを作製した。

本自動化システムを原子力船エンジニアリングシミュレータと結合しその性能検証を行った結果、原子炉スクラム後のプラント状態の収束は手動運動であった原子力船「むつ」での実績にくらべて短時間で行われることを確認した。

Development of Advanced Automatic Control System for Nuclear Ship(2)

— Perfect Automatic Operation After Reactor Scram Events —

Noriaki YABUCHI, Toshio NAKAZAWA, Hiroki TAKAHASHI,
Junya SHIMAZAKI and Tsutao HOSHI

Office of Nuclear Ship Research and Development
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 8, 1997)

An automatic operation system has been developed for the purpose of realizing a perfect automatic plant operation after reactor scram events. The goal of the automatic operation after a reactor scram event is to bring the reactor hot stand-by condition automatically.

The basic functions of this system are as follows;

- to monitor actions of the equipments of safety actions after a reactor scram,
- to control necessary control equipments to bring a reactor to a hot stand-by condition automatically, and
- to energize a decay heat removal system.

The performance evaluation on this system was carried out by comparing the results using to Nuclear Ship Engineering Simulation System(NESSY) and the those measured in the scram test of the nuclear ship "Mutsu".

As the result, it was showed that this system had the sufficient performance to bring a reactor to a hot stand-by condition quickly and safely.

Keywords:Automatic Control, Advanced Control, Reactor Scram, Operation,Nuclear Ship

目 次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. 緒 言 | 1 |
| 2. 原子炉スクラム後の自動化 | 2 |
| 2.1 自動化の必要性 | 2 |
| 2.2 自動化の範囲 | 2 |
| 2.3 原子炉スクラム後対応操作 | 3 |
| 2.4 自動化の方針 | 4 |
| 3. 自動化システムの製作 | 5 |
| 3.1 自動化システムの基本構成 | 5 |
| 3.2 自動化システムの製作 | 7 |
| 4. 原子力船エンジニアリングシミュレータによる自動化の検証 | 8 |
| 4.1 自動化システムとシミュレータの結合 | 8 |
| 4.2 自動化システムの性能検証 | 9 |
| 5. まとめ | 14 |
| 参考文献 | 14 |
| 付録1 スクラム処置表 | 40 |
| 付録2 自動化システム動作プログラム | 42 |

Contents

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Automatic Operation after Scram | 2 |
| 2.1 Needs for Automatic Operation | 2 |
| 2.2 Range of Automatic Operation | 2 |
| 2.3 Operating Strategies after Scram | 3 |
| 2.4 Automatic Operation Procedures | 4 |
| 3. Design of Automatic Operating System | 5 |
| 3.1 Basic Components of Automatic Operating System | 5 |
| 3.2 Structure of Automatic Operating System | 7 |
| 4. Evaluation of Automatic Operation by Nuclear Ship Engineering Simulation System | 8 |
| 4.1 Combining Automatic Operating System with Nuclear Ship Simulator | 8 |
| 4.2 Evaluation of Performance | 9 |
| 5. Conclusion | 14 |
| References | 14 |
| Appendix-1 Scram Check List | 40 |
| Appendix-2 Program of Automatic Operating System | 42 |

1. 緒 言

原子力船の実用化のためには経済性の向上の面からの運転の省力化とともに、陸上からの支援の困難性を考慮した運転員の負担軽減のために、原子炉の完全自動化を目指した自動運転システムと異常予知などの運転支援システムの開発がきわめて重要となる。

原子炉の自動運転においては、①起動、出力上昇、定常運転及び停止の一連の操作が行われるいわゆる「通常時運転」を対象とした自動化システム、②異常・過渡事象による原子炉スクラム及び冷却材喪失事故等の「異常・事故時運転」を対象とした自動化システムに大別できる。

通常運転における自動化システムについてみてみると、近年の原子力発電所においては系統の自動化が進められるとともにマンマシンインターフェイスを考慮した制御室の制御・監視盤の高度化が行われ、運転員の負担が著しく軽減されている。しかし、それぞれの系統の自動化が行われているものの起動から停止までの完全自動化は達成されていない。また、異常時や事故時においては安全保護系や工学的安全施設は自動動作するものの、作動後のプラントの修復操作は自動化されていない。この理由には運転員を状況に応じて機器の操作に介入させるとの理由もあるが、本質的には系統間の運転操作が多様で複雑なために完全自動化を実現するのは難しいことによるものと考えられる。

現在我々が開発している改良舶用炉 MRX(Marine Reactor-X)及びDRX(Deep-sea Reactor-X)は、一体型原子炉を採用することにより一次冷却配管系を削除し系統の簡素化を達成するとともに、格納容器内に水を充填した水張式格納容器方式を採用することにより非常用炉心冷却設備の簡素化を行うなど、系統全体として簡素化された原子炉システムとなっている。

原子力船においては、前述のように運転の省力化が強く望まれている。運転員の省力化の面では系統の簡素化によって一部実現されると考えられるが、さらなる省力化を図るには完全自動化の達成がきわめて重要であり、前述のように系統が簡素化された改良舶用炉においては完全自動化の実現がかなり容易となる。

本研究は、通常時及び異常・事故時に運転員の操作を全く期待せずに運転の完全自動化を実現するための基本システムの開発を目的に実施しているものである。本研究においては、原子力船「むつ」(以下、「むつ」と略す)におけるこれまでの運転経験及びその検討結果を十分に活用するものとし、「むつ」を対象に自動化システムを開発しているものである。

「むつ」の運転には多くの手動操作が含まれ多数の運転員が必要であったが、これらの操作の自動化にあたっては、運転員の監視、運転操作及び知識情報を分析し、その知識をデータベース化し自動化を行う、いわゆる運転員の知識ベースに基づく自動化手法を採用した。開発した自動運転システムは、原子力船エンジニアリング・シミュレーション・システムを用いて得られた応答特性を、「むつ」データと比較検討するなどしてその有効性の評価・検証を行った。

本報告は、高度自動運転システムのうち、異常・過渡事象による原子炉スクラム後の自動化システムの開発について述べるものである。

2. 原子炉スクラム後の自動化

2.1 自動化の必要性

原子力発電所の運転においても同様であるが、「むつ」における経験では原子炉スクラム後の運転員の対応操作に関して下記の知見、課題を得ている。^{1),3)}

- ① 原子炉プラントの異常・過渡事象における安全操作は安全保護系の作動により自動的に行われ、原子炉は安全に停止される。
- ② 安全保護系作動後、安全確保上の観点から緊急な操作はないものの、実際にはプラントをより安定な状態に導くためにいくつかの操作が行われる。
- ③ 上記の監視を含めたプラント安定化のための操作作業量は多く、しかも短時間に行う必要があるため、運転員のワークロードは大きくまた誤操作の可能性も増加する。

このことから、運転員の削減と負担軽減の面から、原子炉スクラム後のプラントの収束・整定操作の自動化が強く望まれる。⁴⁾ 特に船舶においては運航の安全性確保の面から、航行のための最低出力の動力の供給が求められる。このために原子炉スクラム後短時間での原子炉再起動が必要となり、原子炉スクラム後の機器操作の自動化が強く要求される。

2.2 自動化の範囲

原子炉スクラムは安全保護系（スクラム回路）の作動によって行われるが、その作動信号は基本的に下記の異常・事故事象の発生によって発信される。

- ① プラントの異常過渡事象：
プラントパラメータが安全保護系の設定値を超えるものの、安全保護系の作動（基本的には原子炉スクラムによる原子炉停止）によって燃料は許容設計限界値内に収まる。このため、異常の発生要因が正常に復旧すれば原子炉の再起動が可能である事象。
- ② 事故事象：
事故事象によって安全系（特に工学的安全施設）の作動が大きく異なり、事故後の運転対応も大きく異なる。事故事象としては冷却材喪失事故（LOCA）と反応度事故（RIA）に大別でき、原子炉スクラムとともに工学的安全施設が作動する。燃料は許容設計限界値を超える可能性を有し、またプラントの設備、機器の大きな損傷（例えば配管の破断）が予測されることから大きな修理の必要が生じるため、短時間での原子炉起動は不可能である事象。

上記のように事象によって運転員の対応は大きく異なることになる。しかし、安全保護系作動後の運転員のプラント操作の対応の基本は、発生事象が前者①であるのか後者②であるのかによつ

本報告は、高度自動運転システムのうち、異常・過渡事象による原子炉スクラム後の自動化システムの開発について述べるものである。

2. 原子炉スクラム後の自動化

2.1 自動化の必要性

原子力発電所の運転においても同様であるが、「むつ」における経験では原子炉スクラム後の運転員の対応操作に関して下記の知見、課題を得ている。^{1),3)}

- ① 原子炉プラントの異常・過渡事象における安全操作は安全保護系の作動により自動的に行われ、原子炉は安全に停止される。
- ② 安全保護系作動後、安全確保上の観点から緊急な操作はないものの、実際にはプラントをより安定な状態に導くためにいくつかの操作が行われる。
- ③ 上記の監視を含めたプラント安定化のための操作作業量は多く、しかも短時間に行う必要があるため、運転員のワークロードは大きくまた誤操作の可能性も増加する。

このことから、運転員の削減と負担軽減の面から、原子炉スクラム後のプラントの収束・整定操作の自動化が強く望まれる。⁴⁾ 特に船舶においては運航の安全性確保の面から、航行のための最低出力の動力の供給が求められる。このために原子炉スクラム後短時間での原子炉再起動が必要となり、原子炉スクラム後の機器操作の自動化が強く要求される。

2.2 自動化の範囲

原子炉スクラムは安全保護系（スクラム回路）の作動によって行われるが、その作動信号は基本的に下記の異常・事故事象の発生によって発信される。

- ① プラントの異常過渡事象：
プラントパラメータが安全保護系の設定値を超えるものの、安全保護系の作動（基本的には原子炉スクラムによる原子炉停止）によって燃料は許容設計限界値内に収まる。このため、異常の発生要因が正常に復旧すれば原子炉の再起動が可能である事象。
- ② 事故事象：
事故事象によって安全系（特に工学的安全施設）の作動が大きく異なり、事故後の運転対応も大きく異なる。事故事象としては冷却材喪失事故（LOCA）と反応度事故（RIA）に大別でき、原子炉スクラムとともに工学的安全施設が作動する。燃料は許容設計限界値を超える可能性を有し、またプラントの設備、機器の大きな損傷（例えば配管の破断）が予測されることから大きな修理の必要が生じるため、短時間での原子炉起動は不可能である事象。

上記のように事象によって運転員の対応は大きく異なることになる。しかし、安全保護系作動後の運転員のプラント操作の対応の基本は、発生事象が前者①であるのか後者②であるのかによつ

て異なることになる。すなわち、前者であれば比較的短期間に原子炉の再起動が可能であり、後者であれば長期間の原子炉停止となり、また修復作業も船上では不可能となる可能性が高い。

このことから、異常過渡事象を対象とした原子炉スクラム後の自動化については速やかな原子炉の再起動を行う事を考えて、原子炉の温態停止への速やかな整定を図ることとした。本研究における自動化システム作製の範囲を図2.1に示す。なお、高度自動化研究の中すでに通常時の完全自動化システムの製作を行っている。したがって、温態停止状態への整定後のプラントの運転、すなわち再起動あるいは冷態停止への移行は運転員の判断が可能なようにブレークポイントを設けることとした。

2.3 原子炉スクラム後対応操作

(1) 基本的な考え方

原子炉スクラム後の温態停止移行操作の基本は、蒸気系の早期遮断操作である。すなわち、蒸気系の早期遮断を行い原子炉スクラムに伴う一次冷却水温度、圧力などの低下を抑制することで、原子炉主要パラメータの安定収束を早期に得るというものである。

(2) 主要な対応操作

「むつ」の場合、原子炉スクラム後対応操作から原子炉主要パラメータの整定までの操作については、運転員の判断による手動操作であった。運転員は原子炉スクラム発生時の状況によって、例えば一次冷却水が保有する熱容量や崩壊熱と、消費される蒸気流量とのバランス、タイミング等の最適操作を判断した。³⁾ 「むつ」における原子炉スクラムから主要パラメータの整定に至るまでの操作について以下に示す。また図2.2に「むつ」蒸気・給水系統概略図を示す。

(a) 通常時の蒸気系機器の作動状況

原子炉通常運転中、蒸気発生器（以下、SGと略す）から発生する蒸気は湿分分離器を経て主に次に示す機器に使用されている。

- 主機タービン
- 主発電機タービン（2台運転）
- 蒸気駆動主給水ポンプ（1台運転）
- 高圧給水加熱器
- その他（造水器、低圧蒸気発生器など）

(b) 原子炉スクラム時の蒸気系の自動作動状況

「むつ」における原子炉スクラム直後のプラントオペレーションの基本的な考え方は、以下のとおりである。³⁾

- ① プラントの全停電（ブラックアウト）を防ぐため、補助発電機あるいは非常用発電機が給電を開始するまでは、一次冷却水、SG二次側保有水及び機器のけん熱により蒸気を発生し、主発電機、主給水ポンプ、抽気エゼクタなど作動させること。

② このため上記に関係しない蒸気系統の遮断及び使用電力の節約を即座に行うこと。
この考え方についたがい、原子炉スクラム直後に以下の動作が自動的に行われる。

- 主蒸気加減弁遮断による主機タービントリップ
- 補助発電機原動機(2/2台)・非常用発電機原動機(1/1台) 自動起動
- 補助発電機(1/2台)並列投入
- 一次冷却水ポンプ高速→低速運転切替
- 非重要電力負荷遮断
- 主循環海水ポンプ高速→低速運転切替
- その他(加圧器過渡ヒータ遮断・高圧給水加熱器加熱蒸気遮断など)

(c) 原子炉スクラム後の運転員の対応

運転員は上記の動作を確認し、主発電機から補助発電機への電源切替(主発電機解列)を行った後、その他使用している原子炉蒸気の遮断を早期に行い、最終的に原子炉系蒸気元弁を閉鎖する。原子炉停止及び蒸気系閉鎖後の主要パラメータの変化に起因するものは、崩壊熱による入熱が支配的である。したがって、プラント整定に必要な操作は崩壊熱の除去に必要な蒸気ダンプ系による除熱操作及びSG水位の調整操作となる。(b), (c)に述べた操作の状況を図2.3に示す。また、「むつ」におけるスクラム後の運転員の操作手順及びチェックシートを付録1に載せる。

2.4 自動化の方針

(1) 自動化の基本方針

自動化の基本方針を以下に示す。

- ① 原子炉スクラム後、原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認(例えば補助発電機の同期投入など)を行ったのち、主発電機の解列・停止操作及び主給水ポンプの停止操作を自動化することによって蒸気系の早期遮断を可能とし、プラント過渡状態を安定な状態に早期に収束させる。
- ② 蒸気系遮断後の主要パラメータの整定・維持は、パラメータの変動に応じて関連機器を応答させる。主要パラメータとして、一次冷却水温度、一次冷却水圧力、加圧器水位、SG水位を考える。一次冷却水温度は蒸気ダンプによる崩壊熱除去操作の自動化により、SG水位は補助給水ポンプによるSG水位制御操作の自動化により、一次冷却水圧力及び加圧器水位については各制御系の自動制御により整定・維持を図る。

(2) 自動化の方法

上記方針に基づき、各操作の自動化は以下の方法により行うこととした。

- ① 主発電機の解列・停止操作は補助発電機の同期投入が確認された後とする。
- ② 蒸気駆動主給水ポンプの停止操作はSG水位の回復傾向が確認された後とする。
- ③ 蒸気ダンプによる崩壊熱除去操作は一次冷却水平均温度を270°C~275°Cに制御する。
- ④ 加圧器圧力及び水位制御は自動制御のままでする

- ⑤ SG 水位制御操作は SG 水位を 75%～80%に制御するものとし、給水は電動補助給水泵による。

以上の操作方法、条件を図 2.4 に示す。

3. 自動化システムの製作

3.1 自動化システムの基本構成

前章に述べた自動化システムの方針に基づき、原子炉スクラム後の自動化システムの基本構成を以下のとおりとし、その概念を図 3.1 に示す。

- ① 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能
- ② 原子炉スクラム後対応操作の自動化
- ③ 崩壊熱除去操作の選択（ブレークポイント）
- ④ 主要パラメータの整定・維持操作の自動化

(1) 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能

これは運転員の関連情報収集やプラント状態確認などの情報処理作業におけるワークロードがピークとなる原子炉スクラムの発生時において、作動機器の動作をチェックするとともに必要な情報を自動表示する機能である。表示する主な内容は以下のようなものである。

- 安全保護設備の作動に関する表示（スクラム信号の種類、制御棒着底確認など）
- 原子炉スクラム後処理自動化装置の作動表示（タービントリップ、補助発電機起動など）
- 補助発電機並列投入、主発電機の解列／停止、主給水ポンプ停止、蒸気系遮断などに関する結果表示

今回作製したプロトタイプの画面例を図 3.2 に示す。この情報表示において考慮した点を以下の示す。

- スクラム信号表示では安全保護設備に最初に入力されたスクラム信号のみを表示する。
- 表示のレイアウトは操作の流れを考慮した形で配置する。
- 運転員が自動化移行時のプラント状態把握が容易なように、原子炉スクラム信号により自動的に画面（自動化システムの第 1 画面）を出力する。

(2) 原子炉スクラム後対応操作の自動化

前章で述べた自動化の方針及び自動化の方法に基づき、主発電機の解列・停止操作及び蒸気駆動主給水ポンプ等の停止操作の自動化を行う。主発電機の解列・停止操作の自動化は以下の点を考慮して行っている。

- ① 補助発電機(1/2 台)の同期投入完了により 2 台の主発電機を 1 台ずつ解列する。
- ② 主発電機の解列に際しては、同期投入された補助発電機への負荷移行操作は行わない。
- ③ 主発電機は解列後直ちに蒸気遮断を行い停止する。

- ⑤ SG 水位制御操作は SG 水位を 75%～80%に制御するものとし、給水は電動補助給水泵による。

以上の操作方法、条件を図 2.4 に示す。

3. 自動化システムの製作

3.1 自動化システムの基本構成

前章に述べた自動化システムの方針に基づき、原子炉スクラム後の自動化システムの基本構成を以下のとおりとし、その概念を図 3.1 に示す。

- ① 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能
- ② 原子炉スクラム後対応操作の自動化
- ③ 崩壊熱除去操作の選択（ブレークポイント）
- ④ 主要パラメータの整定・維持操作の自動化

(1) 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能

これは運転員の関連情報収集やプラント状態確認などの情報処理作業におけるワークフローがピークとなる原子炉スクラムの発生時において、作動機器の動作をチェックするとともに必要な情報を自動表示する機能である。表示する主な内容は以下のようなものである。

- 安全保護設備の作動に関する表示（スクラム信号の種類、制御棒着底確認など）
- 原子炉スクラム後処理自動化装置の作動表示（タービントリップ、補助発電機起動など）
- 補助発電機並列投入、主発電機の解列／停止、主給水ポンプ停止、蒸気系遮断などに関する結果表示

今回作製したプロトタイプの画面例を図 3.2 に示す。この情報表示において考慮した点を以下の示す。

- スクラム信号表示では安全保護設備に最初に入力されたスクラム信号のみを表示する。
- 表示のレイアウトは操作の流れを考慮した形で配置する。
- 運転員が自動化移行時のプラント状態把握が容易なように、原子炉スクラム信号により自動的に画面（自動化システムの第 1 画面）を出力する。

(2) 原子炉スクラム後対応操作の自動化

前章で述べた自動化の方針及び自動化の方法に基づき、主発電機の解列・停止操作及び蒸気駆動主給水ポンプ等の停止操作の自動化を行う。主発電機の解列・停止操作の自動化は以下の点を考慮して行っている。

- ① 補助発電機(1/2 台)の同期投入完了により 2 台の主発電機を 1 台ずつ解列する。
- ② 主発電機の解列に際しては、同期投入された補助発電機への負荷移行操作は行わない。
- ③ 主発電機は解列後直ちに蒸気遮断を行い停止する。

- ④ 主発電機を 2 台とも解列した後、直ちに起動待機中の補助発電機（1/2 台）の同期投入を行い、補助発電機 2 台を並列運転することで多重性を確保する。

蒸気駆動主給水ポンプ等の停止操作の自動化は以下の点を考慮して行っている。

- ① 主給水ポンプの停止は、原子炉スクラムによって引き起こされる SG の水位降下が収まり、回復傾向が確認できる時点とする。
- ② SG 水位制御系は主給水ポンプ停止までは自動とし、主給水ポンプ停止後自動から手動に切替える。手動に切替え後主給水制御弁を全閉とし、主給水系を隔離する。
- ③ 主給水ポンプ停止後直ちに高圧給水加熱器への加熱蒸気の遮断を行う。

また、上記自動化動作を確認できるようにするために、原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能における動作確認画面（図 3.2）にその表示を加えることとする。例えば図 3.2において、No1 主発電機 ACB 遮断、No1 主発電機停止や No2 補助発電機 ACB 投入、No2ACB 並列投入がそれにあたる。なお、同一画面上の原子炉スクラム後処理自動化装置の作動確認表示と区別をするため点灯色を変えることとする。

(3) 崩壊熱除去操作の選択（ブレークポイント）

今回の自動化システムでは、崩壊熱除去操作の選択に関してブレークポイントを設けた。ブレークポイントにおけるプロトタイプの画面例を図 3.3 に示す。ここでブレークポイントを設けた理由は、今回のシステム作製は完全自動化の第 1 ステップの研究であるので、崩壊熱の除去を SG で行う場合の方法は運転員にさせることとした。この方法の選択は下記の 4 通りから行うこととした。

- ① 2 基 SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ② No1SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ③ No2SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ④ 2 基 SG 自然循環崩壊熱除去操作

この選択は当然自動化が可能であり、将来自動化への変更を計画しているものである。

(4) 主要パラメータの整定・維持操作の自動化機能

温態停止状態に整定・維持するパラメータは以下のものである。

- 一次冷却水温度（一次冷却水平均温度あるいは炉心出口温度）
- 一次冷却水圧力
- SG 水位
- 加圧器水位

ここで一次冷却水圧力は通常加圧器のヒータ及びスプレイ系によって自動調整されているものである。また、加圧器水位は抽出・充填系によって自動制御されている。したがって、本研究では一次冷却系温度及び SG 水位の自動化について検討した。なお、加圧器の圧力あるいは水位の制御系が故障している場合の自動化については、それぞれの状況に応じた対応が必要となる。これらの場合の自動化については今後検討することとしている。

(i) 一次冷却水の温度制御

原子炉スクラム後の一次冷却系の温度制御の基本は、崩壊熱による一次冷却水の温度上昇を SG を使用して抑えるというものである。すなわち、SG から蒸気を取り出す（海水により冷却し復水させる）ことで SG 二次冷却水を経て一次冷却水を冷却し、炉心から発生する崩壊熱による温度上昇を抑制し一定範囲に制御する。

(ii) SG 水位制御

SG 蒸気の取出しにより SG 保有水量が低下するため、SG への給水量を制御し一定範囲の水位を保つようとする。

SG による除熱方式については、ブレークポイントにおける選択で 4 通りとしたが基本的な操作は同様である。SG 選択による崩壊熱除去の方法を表 3.1 に示す。

3.2 自動化システムの製作

前述の操作に対する具体的な自動化システムの構築は、知識ベースの推論処理を行うエキスパートシステムを用いることとし、システムとしては広く用いられている「エキスパートシステム構築用ツール G 2」を使用した。自動化の構築にあたっては、自動操作対象機器などを図 3.4 に示すように分類した。次に分類したそれぞれ（図 3.4 でいう末端部品類）の動作について図 3.5 に示すように動作条件を定め、その条件に対するルールの設定（条件式など）を行うこととした。図 3.1 に示す自動化システムの基本構成に対する具体的システムの内容を以下に述べる。

(1) 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能

この機能は図 3.1 で示すとおり、

- 原子炉保護設備の作動（制御棒の着底など）及び原子炉スクラム後処理自動化装置の作動（主機タービントリップなど）の確認及び表示
- 主発電機の解列・停止及び主給水ポンプ等の停止に関する自動化操作の結果の確認及び表示

であり、自動化システムでは図 3.4 に示す [4:動作確認] の分類に末端部品として、確認・表示を行う項目（例えば No1 主発電機 ACB 遮断）を登録し、図 3.5 に示す形で確認条件及び表示ルールを設定していった。なお、表示ルールでは表示項目、確認条件が満足したときの点灯色及び表示画面の表示タイミングが設定されている。表示項目、対象設備、確認条件、表示色に関する設定を表 3.2 に示す。

(2) 原子炉スクラム後対応操作の自動化

図 3.1 に示すように、原子炉スクラム後対応操作は、

- 主発電機の解列・停止操作
- 主給水ポンプ等の停止操作

であり、自動化システムでは①と②を合わせて「むつスクラム後決定論的手動操作プログラム」とし、図 3.4 の形で操作を、[1:安全回路]、[2:機器類]、[3:弁類]、[4:動作確認] に分類

し、各末端部品に対して図 3.5 に示す形で動作条件及び動作ルールの設定を行った。なお、[4:動作確認] については前述の原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能のところで設定処理する。各操作に対する動作条件及び動作名を表 3.3 に示し、動作名に対する動作プログラムを付録 2 に載せる。

(3) 崩壊熱除去操作の選択

自動化システムでの崩壊熱除去の選択は、運転員が図 3.3 に示すブレークポイント画面により 4 つの崩壊熱除去方法から選択を行うという形をとる。ブレークポイント画面は崩壊熱除去に係わる情報表示と選択ボタンから構成される。情報表示は動作確認表示とアナログ現在値表示からなり、表示項目を表 3.4 に示す。

(4) 主要パラメータの整定・維持操作の自動化

自動化システムでは前述の崩壊熱除去方法の選択により図 3.1 に示す 4 つの操作すなわち、

- ① 2 基 SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ② No1SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ③ No2SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ④ 2 基 SG 自然循環崩壊熱除去操作

のプログラムを実行する形で操作の自動化が行われているが、各操作の基本的内容は同様で以下のとおりである。

- 崩壊熱ダンプ弁による一次冷却水温度の制御
- 電動補助給水ポンプと No1, No2 補助給水弁による各 SG の水位の制御

上記の制御操作に対して(2)と同様の形で動作条件及び動作ルールの設定を行った。各操作に対する動作条件及び動作名を表 3.5 に示し、動作名に対する動作プログラムを付録 2 に載せる。

4. 原子力船エンジニアリングシミュレータによる自動化の検証

4.1 自動化システムとシミュレータの結合

(1) 原子力船エンジニアリングシミュレータ

本検証に使用した原子力船エンジニアリングシミュレータ（以下、シミュレータと略す）は、「むつ」の運転、制御特性の解析、運転員のトレーニング用として開発されたものである。シミュレーションの範囲は、原子炉、一次・二次冷却系、安全保護系、工学的安全系、補助系などの原子炉プラント全体のシミュレーションに加えて、推進系及び操船もシミュレーションした実時間の総合的シミュレーションシステムであり、船体の動搖の影響も考慮されている。なお、本シミュレータはデジタル計算機 Alphaserver2100 システム上に構築され、操作用 DK 及び監視用 CRT などで構成されている。⁵⁾

し、各末端部品に対して図 3.5 に示す形で動作条件及び動作ルールの設定を行った。なお、[4:動作確認] については前述の原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認機能のところで設定処理する。各操作に対する動作条件及び動作名を表 3.3 に示し、動作名に対する動作プログラムを付録 2 に載せる。

(3) 崩壊熱除去操作の選択

自動化システムでの崩壊熱除去の選択は、運転員が図 3.3 に示すブレークポイント画面により 4 つの崩壊熱除去方法から選択を行うという形をとる。ブレークポイント画面は崩壊熱除去に係わる情報表示と選択ボタンから構成される。情報表示は動作確認表示とアナログ現在値表示からなり、表示項目を表 3.4 に示す。

(4) 主要パラメータの整定・維持操作の自動化

自動化システムでは前述の崩壊熱除去方法の選択により図 3.1 に示す 4 つの操作すなわち、

- ① 2 基 SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ② No1SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ③ No2SG 強制循環崩壊熱除去操作
- ④ 2 基 SG 自然循環崩壊熱除去操作

のプログラムを実行する形で操作の自動化が行われているが、各操作の基本的内容は同様で以下のとおりである。

- 崩壊熱ダンプ弁による一次冷却水温度の制御
- 電動補助給水ポンプと No1, No2 補助給水弁による各 SG の水位の制御

上記の制御操作に対して(2)と同様の形で動作条件及び動作ルールの設定を行った。各操作に対する動作条件及び動作名を表 3.5 に示し、動作名に対する動作プログラムを付録 2 に載せる。

4. 原子力船エンジニアリングシミュレータによる自動化の検証

4.1 自動化システムとシミュレータの結合

(1) 原子力船エンジニアリングシミュレータ

本検証に使用した原子力船エンジニアリングシミュレータ（以下、シミュレータと略す）は、「むつ」の運転、制御特性の解析、運転員のトレーニング用として開発されたものである。シミュレーションの範囲は、原子炉、一次・二次冷却系、安全保護系、工学的安全系、補助系などの原子炉プラント全体のシミュレーションに加えて、推進系及び操船もシミュレーションした実時間の総合的シミュレーションシステムであり、船体の動搖の影響も考慮されている。なお、本シミュレータはデジタル計算機 Alphaserver2100 システム上に構築され、操作用 DK 及び監視用 CRT などで構成されている。⁵⁾

「むつ」モデルシミュレータの模擬性能について見てみると、図4.1は原子炉出力100%定常運転状態から手動スクラムが発信した場合の一次冷却水平均温度の「むつ」実データ²⁾と、シミュレータにおいて運転員の同一操作を行った場合のシミュレータの挙動を示したものである。本図で示されるように、シミュレータは「むつ」での過渡挙動を良く模擬していることがわかる。なお、表4.1にこの原子炉スクラム事象発生時の運転操作状況を参考として示す。³⁾

(2) 自動化システムとシミュレータの結合

本自動化システムはワークステーション(SS20)上にエキスパートシステム構築用ツールG2を用いて作製している。本自動化システムとシミュレータの結合の状況を図4.2に示す。本自動化システムとシミュレータの結合はネットワーク上で行われており、シミュレータから自動化システムのデータ入力系信号と、自動化システムからシミュレータへの制御系信号の相互通信が行われる。すなわち、シミュレーションデータは0.52秒間隔で約25,000点のデータがモデル計算機より外部通信プログラムを通してワークステーション上の共有メモリに書き込まれる。SS20の共有メモリに書き込まれたデータは、GSI(G2 Standard Interface)を用いてG2に渡される。また、G2の推論結果から導かれた制御内容などはGSI、外部通信プログラムを通して「むつ」モデルシミュレータへ送られる。

4.2 自動化システムの性能検証

原子炉スクラム後の自動化システムの性能の検証においては、原子炉スクラム後のプラントパラメータの早期安定収束性と収束後の温態停止条件での維持性能(一次冷却水温度、圧力、加圧器水位及びSG水位等)の確認を主目的に検討を行った。検討はシミュレータにおいて、原子炉手動スクラム及びその他の異常事象による原子炉スクラムの発生によって、自動化システムの作動状況を見た。

4.2.1 原子炉手動スクラム

原子炉を手動スクラムさせた時のプラント応答並びにシミュレータと「むつ」実データとの応答の比較を以下の図に示す。

図4.3：原子炉出力70%スクラム時のプラント応答（0～約10分）

図4.4：原子炉出力100%スクラム時のプラント応答（0～約2時間）

図4.5：「むつ」データとの比較（一次冷却水平均温度）

図4.6：「むつ」データとの比較（一次冷却水圧力）

図4.7：「むつ」データとの比較（蒸気圧力）

図4.8：「むつ」データとの比較（SG水位）

(1) 全体的応答

図4.3は原子炉スクラム後約10分間のプラント応答、図4.4は原子炉スクラム後約2時間の応答を示す図である。原子炉スクラム直後から短期的傾向を図4.3で見ると、原子炉出力の急激

低下に伴い、一次系温度及び圧力、加圧器及びSGの水位は急激に低下する。しかし、原子炉スクラム後約3分30前後には蒸気系の遮断が行われ、一次系の温度（一次冷却水平均温度③）の低下は抑えられ、崩壊熱による上昇傾向となるとともに一次冷却水圧力⑤も上昇傾向に転ずる。また加圧器水位も復旧し始め、SG水位は主給水ポンプによる給水により急激な水位低下から上昇傾向に転ずるが、主給水ポンプの停止を含む蒸気系の遮断により安定水位を保ようになる。

長期的傾向を図4.4で見てみると、原子炉スクラム後約10分前後に電動補助給水ポンプが起動し、SGへの張水によりSGの水位①②は上昇し所定のレベルに回復する。一次冷却水平均温度③はSG張水（給水温度が低い）の影響を受けて一時的に低下傾向を示すが、SG張水後は再びゆるやかな上昇傾向を示す。その後それぞれのパラメータは所定の値に整定する。参考として、「むつ」モデルによる今回のシミュレーションでの定格出力（100%）時、70%出力時、温態停止時に主要パラメータの整定値を表4.2に示す。

以上プラントパラメータの挙動を全体的に見てみると、原子炉スクラムによって引き起こされる過渡変化により各パラメータは一時低下するものの短期間に収束され、温態停止状態へ安定に整定していることがわかる。次に「むつ」における運転員による手動操作と自動化システムの結果を比較する。

(2) 蒸気系の遮断

蒸気系の遮断に関しては、原子炉スクラムから原子炉系蒸気元弁の全閉までの経過時間で比較してみると、実機では約6分30秒（100%計画スクラム試験）に対して、自動化システム導入の場合は約3分30秒であった。これは、原子炉スクラムに関する運転経験に基づく運転員知識を本自動化システムに適切に取り込み自動化を進めた結果と判断される。

(3) 一次冷却水平均温度

原子炉スクラム後の一次冷却水平均温度の応答の比較を図4.5に示す。

一次冷却水平均温度の低下に関しては、実機データでは約253°Cまで低下するのに対して、自動化システムを導入したシミュレータデータでは265°C前後までにとどめることができた。これは蒸気系の遮断が短時間にできたためである。また、一次冷却水平均温度の安定収束に関しては、崩壊熱による温度上昇は実機データでは原子炉スクラム約8分後に、自動化システムの導入では約2分後にはじまる。すなわち、自動化システムの導入によって蒸気系の遮断が短時間に行われ、安定に制御されることによって過渡変化の収束がかなり早期に行われる。

(4) 一次冷却水圧力

原子炉スクラム後の一次冷却水圧力の応答の比較を図4.6に示す。

一次冷却水圧力は加圧器圧力制御系によって常時110kg/cm²に制御されている。この加圧器圧力制御系はプラント制御系の1つとして自動化システムとは独立に設けられており、原子炉スクラム後も自動のままである。したがって、ここでは、加圧器圧力制御系が自動化システムの導入

によって悪影響が出てこないかどうかについて検討する必要がある。

この点について原子炉スクラム後の過渡応答を見てみると、一次冷却水圧力の低下に関しては、実機データでは約 104 kg/cm^2 まで低下するのに対して、自動化システムを導入したシミュレータデータでは約 109 kg/cm^2 にとどめることができる。圧力の安定収束に関しては、圧力の低下がとまり収束方向に向かう時点は、実機データでは原子炉スクラム約 4 分後から、自動化システムを導入したシミュレータデータでは約 1 分後である。また、整定するまでに要する時間は、実機データで約 11 分、自動化システムを導入したシミュレータデータでは約 3 分である。この一次冷却水圧力の低下は、主に一次冷却水温度低下すなわち SG 蒸気の使用による冷却に起因するものであるから蒸気系の遮断が速やかに行われた自動化システムが有効に効いたものと考えられる。

(5) SG 水位

原子炉スクラム後の SG 水位の応答の比較を図 4.7 に示す。

SG 水位は原子炉出力運転中 SG 水位制御系によって 70% に制御されている。この SG 水位制御系もプラント制御系の 1 つとして自動化システムとは独立に設けられていが、原子炉スクラム後は基本的に自動から手動制御に切替える。図 4.7 に示す実機データの SG 水位応答は、原子炉スクラム約 90 秒後に SG 水位制御を自動から手動に切替え、主給水ポンプによって SG 水位 80% まで手動張水を行ったものである³⁾ のに対して、自動化システムの場合は主給水ポンプによる手動給水は行わず主給水ポンプを停止し、その後 SG 水位制御系を手動に切替え、主給水系の隔離を行ったときの応答である。したがって、ここでは、自動化システムによって統一されたこの操作の妥当性について検討する必要がある。

この点について原子炉スクラム後の応答を見てみると、主給水ポンプの停止時期に関しては、実機データでは原子炉スクラム後約 5 分 30 秒であるのに対して、自動化システムを導入したシミュレータデータでは約 1 分 20 秒前後であり、主給水ポンプの蒸気遮断が早期に行われている。自動化システムのその後の水位応答はきわめてシンプルなものとなる。すなわち主給水ポンプの停止及び蒸気系の遮断により SG 水位は一定に保たれることとなる。この SG 水位応答のシンプル化及び定型化は自動化システムが有効に機能した結果である。

(6) 蒸気圧力

原子炉スクラム後の蒸気圧力 (SG 器内圧力) の応答の比較を図 4.8 に示す。

原子炉スクラム後の SG 器内圧力の基本的な応答は、まず原子炉出力運転中の蒸気圧力 (例えば 100% 出力運転中は約 40 kg/cm^2) から原子炉スクラムによる主機タービントリップなどによる蒸気流量の急減により一時的に急昇するが、その後継続的な蒸気使用により圧力上昇は収まり、蒸気系遮断後は崩壊熱による一次冷却水の温度上昇に比例する形でゆるやかに上昇し、最終的には温態停止状態の所定の値 (約 60 kg/cm^2) に整定する。

そこで温態停止状態の所定値への移行という面から見てみると、温態停止状態の所定値 (約 60 kg/cm^2) へ安定的収束が行われるのは、実機データでは原子炉スクラム後約 8 分から、自動化システムを導入した場合は約 1 分 40 秒からである。これは自動化システムにより各蒸気系の遮断が「むつ」の場合に比べて早期に行われるため、原子炉スクラム直後の圧力上昇はやや大きい

ものの、温態停止状態の所定値へ早期に安定収束する。

4.2.2 原子炉手動スクラム以外の原子炉スクラム

原子炉手動スクラム以外の原子炉スクラムについて以下の事象を解析した。

- (a) 一次冷却水ポンプ1台トリップによる高温スクラム : 図4.9
- (b) 一次冷却水ポンプ2台トリップによる一次冷却水流量低スクラム : 図4.10
- (c) 制御棒誤操作（異常引抜き）による出力領域出力高スクラム : 図4.11
- (d) 制御棒位置偏差過大スクラム : 図4.12
- (e) 抽出系閉塞による加圧器水位高スクラム : 図4.13

上記事例のうち(a)～(d)事象は、一般的に異常発生から原子炉スクラムに至るまで短時間である場合が多く、いわゆる突発的に発生する事象である。一方、(e)事象については図4.13でもわかるように、体積制御系（抽出系）の閉塞というトラブルから約12分後に原子炉スクラムが発生するという、異常発生から原子炉スクラムに至るまで時間的猶予がある場合の事象である。

それぞれの解析結果を見ると、

- ① 原子炉スクラム信号誤発信、制御棒誤動作、制御棒位置偏差过大事象による原子炉スクラムについては、自動化システムの導入により手動スクラムと同様の安定かつ早期の収束特性を示す。
- ② 上記原子炉スクラム事象に加えて、一次冷却水ポンプトリップに起因する原子炉スクラム事象に対しては自動化システムの導入により温態停止状態に安定的に移行できる。

ことがわかる。なお、一次冷却水ポンプ1台及び2台トリップの場合の両SG水位の応答を見てみると、2台トリップの場合は両SG水位とも同様の応答を示すが、1台トリップの場合は異なる。これは、1台トリップ（この場合はNo2ポンプトリップ）による原子炉スクラム後の崩壊熱の除去操作で、No1SGによる強制循環崩壊熱除去を選択したためであり、No1SGは給水され所定値に自動的に水位制御されるのに対し、No2SGは蒸気系及び給水系とも隔離されるため水位にはほとんど変化が現われない。

また、図4.13の挙動については抽出系閉塞事象の模擬であるため、加圧器水位の制御は手動操作によるものである。この手動操作の部分は本自動化システムには取り込まれていないため、加圧器水位の回復は行われていない。しかし、加圧器以外のパラメータを見ると、手動スクラムと同様の早期収束を示しており、運転員は加圧器水位の回復という修復操作に専念できることになるから本自動化システムの導入の効果が生じていることと言える。

4.2.3 SGの選択による整定・維持機能の評価

本自動化システムにおいては、原子炉スクラム後の崩壊熱除去操作はブレーキポイントを設け運転員が次の3つの操作から選択することとした。

- ① 2基SG強制循環崩壊熱除去操作
- ② 1基SG（No1またはNo2）強制循環崩壊熱除去操作
- ③ 2基SG自然循環崩壊熱除去操作

①の場合の原子炉スクラム例としては、誤信号（安全保護系ノイズ発生など）による原子炉スクラム、手動スクラム、制御棒の誤作動による原子炉スクラムなどが考えられる。②の場合は一次冷却水ポンプ1台トリップによる高温スクラム、③の場合は一次冷却水ポンプ2台トリップによる一次冷却水流量低スクラムなどがその代表的な例として考えられる。

主要パラメータの整定・維持の確認は、「むつ」モデルシミュレータと自動化システムを接続し、原子炉出力100%通常運転中の状態から手動スクラム、一次冷却水ポンプ1台トリップ、一次冷却水ポンプ2台トリップの各々の事象を発生させて、シミュレータの時系列原子炉パラメータデータにより確認することとした。

その結果として、手動スクラム時の2基SG強制循環崩壊熱除去操作におけるシミュレータデータを図4.4に、一次冷却水ポンプ1台トリップによる高温スクラム時の1基SG強制循環崩壊熱除去操作におけるシミュレータデータを図4.9に、一次冷却水ポンプ2台トリップによる冷却水流量低スクラム時の2基SG自然循環崩壊熱除去操作におけるシミュレータデータを図4.10に示す。注目すべき部分は原子炉スクラム約10分後、SGへの水張り（目標水位約80%）を行ったのちの主要パラメータの挙動であり、ほぼ整定・維持が図られていることが確認できる。

4.2.4 自動化システムの応答性能の評価

以上に述べたまとめとして、各種の原子炉スクラム事象に対して自動化システムの応答性能を調べた。表4.3は自動化システム及び「むつ」の場合の機器の作動状況比較を、表4.4はプラントパラメータの応答状況を整理したものである。これらの結果から自動化システムの応答性能の評価として以下のようにまとめることができる。

- ① 表4.3に示す機器の作動状況の比較から、自動化システムの導入により蒸気系の早期遮断が可能となっている。また、起動待機中の補助発電機の並列投入が早期に行われ、スクラム後の電力確保の信頼度を高めている。
- ② 表4.4に示す一次冷却水平均温度の温度差から、自動化システム導入による蒸気系の早期遮断により、温度低下を「むつ」の場合の約半分に抑えることができる。これによりその収束は「むつ」に比べて約4倍も早くなる。
- ③ 表4.4に示す一次冷却水圧力の圧力低下から、一次冷却水圧力は「一次冷却水圧力低警報(105 kg/cm²)」内に収めることができる。これによりその収束は「むつ」に比べて約2倍強も早くなる。
- ④ 表4.4に示す加圧器水位の水位差から、自動化システム導入による蒸気系の早期遮断により、水位低下を「むつ」の場合の約半分弱に抑えることができる。これによりその収束は「むつ」に比べて約3倍も早くなる。
- ⑤ 表4.4に示すSG水位の水位差から、自動化システム導入による蒸気系の早期遮断により、原子炉スクラム直後のSG器内圧力の過渡上昇が「むつ」の場合と比べて大きくなる（図4.7参照）ことで、SG水位（見かけの水位）は「むつ」に比べて若干低下している。この圧力の過渡上昇は特に問題となるものではなく、その後は図4.7に示すように温態停止状態の所定値（約60 kg/cm²）にむかってゆるやかに上昇する。また、主給水ポンプの早期停止により水位応答は図4.8に示すようにシンプルなものとなる。

5. ま と め

船用炉における原子炉運転操作の自動化範囲の拡大の取り組みとして、原子炉通常運転操作の全自動化に引き続き原子炉スクラム後の手動操作の完全自動化を目的として、原子炉スクラム後原子炉の早期安定収束を図り、温態停止状態に移行させる操作の自動化を進めた。

今回作製した原子炉スクラム後の自動化システムは、基本的にプラントをより安定的な状態に導く操作として、原子炉スクラムによる過渡変化の早期収束・主要パラメータの整定・維持操作の自動化を行ったものである。

機能及び性能評価では、本自動化システムを「むつ」モデルシミュレータとの結合し、手動スクラムを始めとする各種スクラム事象の模擬による応答特性を評価した。評価に際しては「むつ」の実績データを適宜用いた。

その結果、本自動化システムの導入により、原子炉スクラム後の主要パラメータの早期安定収束及び温態停止状態への整定・維持が行われることがわかった。

現在原子力プラントにおいては、ディジタル式制御設備やディジタル伝送の採用により比較的容易に自動化ロジックやアルゴリズムが構築しやすい状況にある。反面、自動化による運転員のスキル低下、ブラックボックス化が指摘されており、どのような考え方でどのように自動化するのかという自動化の設計方針が重要なポイントになってくる。

今後はこの点に特に留意しながら、船用炉における全自動化を目標として自動化の範囲の拡大を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 野尻 良彦：JAERI-M 91-113, 原子力船「むつ」におけるスクラム後運転パラメータの挙動について (1991) .
- 2) 京谷 正彦ほか：JAERI-M 94-079, 原子力船エンジニアリング・シミュレーション・システムの総合評価 (1994) .
- 3) 原子力船「むつ」運転経験検討会：私信
- 4) 渡辺 卓嗣ほか：私信
- 5) 八尾 敏明ほか：私信

5. ま と め

船用炉における原子炉運転操作の自動化範囲の拡大の取り組みとして、原子炉通常運転操作の全自動化に引き続き原子炉スクラム後の手動操作の完全自動化を目的として、原子炉スクラム後原子炉の早期安定収束を図り、温態停止状態に移行させる操作の自動化を進めた。

今回作製した原子炉スクラム後の自動化システムは、基本的にプラントをより安定的な状態に導く操作として、原子炉スクラムによる過渡変化の早期収束・主要パラメータの整定・維持操作の自動化を行ったものである。

機能及び性能評価では、本自動化システムを「むつ」モデルシミュレータとの結合し、手動スクラムを始めとする各種スクラム事象の模擬による応答特性を評価した。評価に際しては「むつ」の実績データを適宜用いた。

その結果、本自動化システムの導入により、原子炉スクラム後の主要パラメータの早期安定収束及び温態停止状態への整定・維持が行われることがわかった。

現在原子力プラントにおいては、ディジタル式制御設備やディジタル伝送の採用により比較的容易に自動化ロジックやアルゴリズムが構築しやすい状況にある。反面、自動化による運転員のスキル低下、ブラックボックス化が指摘されており、どのような考え方でどのように自動化するのかという自動化の設計方針が重要なポイントになってくる。

今後はこの点に特に留意しながら、船用炉における全自動化を目標として自動化の範囲の拡大を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 野尻 良彦：JAERI-M 91-113, 原子力船「むつ」におけるスクラム後運転パラメータの挙動について (1991).
- 2) 京谷 正彦ほか：JAERI-M 94-079, 原子力船エンジニアリング・シミュレーション・システムの総合評価 (1994).
- 3) 原子力船「むつ」運転経験検討会：私信
- 4) 渡辺 卓嗣ほか：私信
- 5) 八尾 敏明ほか：私信

表 3.1 SG 選択による各崩壊熱除去の方法

| 崩壊熱除去操作 | 蒸気系制御 | | SG 水位制御 | 水位一定制御 (制御対象機器) | 一次冷却水ポンプ運転 |
|--------------------|---------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| | 自動操作蒸気弁 | 温度一定制御 (制御プロセス) | | | |
| 2基SG強制循環崩壊熱除去操作 | 崩壊熱ダンプ弁 | No1, No2一次冷却水平均温度 | No1弁:開 No2弁:開 | No1補助給水弁 No2補助給水弁 | No1MCP低速運転 No2MCP低速運転 |
| No1 SG 強制循環崩壊熱除去操作 | 崩壊熱ダンプ弁 | No1一次冷却水平均温度 | No1弁:閉 No2弁:閉 | No1補助給水弁 No2補助給水弁 | No1MCP低速運転 No2MCPトリップ |
| No2 SG 強制循環崩壊熱除去操作 | 崩壊熱ダンプ弁 | No2一次冷却水平均温度 | No1弁:開 No2弁:閉 | No1補助給水弁 No2補助給水弁 | No2MCP低速運転 No1MCPトリップ |
| 2基SG自然循環崩壊熱除去操作 | 崩壊熱ダンプ弁 | 炉心出口温度 | No1弁:閉ロック No2弁:閉ロック | No1SG No2SG | No1MCPトリップ No2MCPトリップ |

表 3.2 動作確認の条件等の一覧

| No. | 表示項目 | 対象設備 | 確認条件 | 表示色 |
|-----|--|-------------|--|-----|
| 1 | 制御棒位置下限 | 制御棒 | 全制御棒位置 : 0.1mm以下 | 青 |
| 2 | 非重要負荷遮断 | 給電設備 | 非重要負荷遮断信号 : 発進 | 青 |
| 3 | 加圧器過渡ヒータ遮断 | 加圧器ヒータ | 非重要負荷遮断信号 : 発進 | 青 |
| 4 | タービントリップ | 主機タービン | 主機タービントリップ信号 : 発進 | 青 |
| 5 | 造水装置加熱蒸気弁 閉 | 造水装置 | 造水装置加熱蒸気弁閉信号 : 発進 | 青 |
| 6 | 造水装置エゼクタ蒸気遮断弁 閉 | 造水装置 | 造水装置エゼクタ蒸気自動遮断弁閉信号 : 発信 | 青 |
| 7 | 33K減圧弁 閉 | 蒸気系減圧弁 | 主蒸気-補助ボイラ暖缶ライン締切開信号 : 発進 | 青 |
| 8 | No1補助発電機起動 | No1補助発電機 | No1補助発電機起動信号 : 発信 | 青 |
| 9 | No2補助発電機起動 | No2補助発電機 | No2補助発電機起動信号 : 発信 | 青 |
| 10 | 非常用発電機起動 | 非常用発電機 | 非常用発電機起動信号 : 発信 | 青 |
| 11 | No1補助発電機ACB投入 | No1補助発電機ACB | No1補助発電機ACB投入信号 : 着信 | 青 |
| 12 | No2補助発電機ACB投入 | No2補助発電機ACB | No2補助発電機ACB投入信号 : 発信 | 青 |
| 13 | No1一次冷却水ポンプ低速運転 | No1一次冷却水ポンプ | No1一次冷却水ポンプ低速運転信号 : 発信 | 青 |
| 14 | No2一次冷却水ポンプ低速運転 | No2一次冷却水ポンプ | No2一次冷却水ポンプ低速運転信号 : 発信 | 青 |
| 15 | 主循環ポンプ低速運転 | 主循環ポンプ | 主循環ポンプ低速運転信号 : 発信 | 青 |
| 16 | 非常用給電指令動作 | 非常用給電指令回路 | 非常用給電指令動作信号 : 発信 | 青 |
| 17 | 制御棒位置偏差过大スクラム | 安全保護回路 | 制御棒位置偏差过大スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 18 | 制御棒落下スクラム | 安全保護回路 | 制御棒落下スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 19 | 一次冷却水流量低スクラム | 安全保護回路 | 一次冷却水流量低スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 20 | 蒸気発生器水位低スクラム | 安全保護回路 | 蒸気発生器水位低スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 21 | 中間領域起動率高スクラム | 安全保護回路 | 中間領域起動率高スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 22 | 出力領域出力高スクラム | 安全保護回路 | 出力領域出力高スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 23 | 低圧スクラム | 安全保護回路 | 低圧スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 24 | 船体傾斜によるスクラム | 安全保護回路 | 船体傾斜によるスクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 25 | 手動スクラム | 安全保護回路 | 手動スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 26 | 安全注入信号によるスクラム | 安全保護回路 | 安全注入信号によるスクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 27 | 高温スクラム | 安全保護回路 | 高温スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 28 | 封水温度高スクラム | 安全保護回路 | 封水温度高スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 29 | 加圧器水位高スクラム | 安全保護回路 | 加圧器水位高スクラム信号 : 発信 | 赤 |
| 30 | No1主発電機用ACB遮断 | No1主発電機用ACB | No1主発電機用ACB遮断信号 : 発信 | 緑 |
| 31 | No1主発電機用ACB遮断 | No1主発電機用ACB | No1主発電機用ACB遮断信号 : 発信 | 緑 |
| 32 | No1主発電機遮断停止 | No1主発電機 | No1主発電機遮断停止信号 : 発信 | 緑 |
| 33 | No2主発電機遮断停止 | No2主発電機 | No2主発電機遮断停止信号 : 発信 | 緑 |
| 34 | No1主給水ポンプ停止状態 | No1主給水ポンプ | (not (No1主給水ポンプ初期状態運転)) and (not (No1, No2主発電機運転)) | 緑 |
| 35 | No2主給水ポンプ停止状態 | No2主給水ポンプ | (not (No2主給水ポンプ初期状態運転)) and (not (No1, No2主発電機運転)) | 緑 |
| 36 | No1主給水ポンプ運転→停止 | No1主給水ポンプ | (No1主給水ポンプ初期状態運転) and (No1主給水ポンプ運転) and (スクラム信号発信) and (not (No1主給水ポンプトリップ信号)) | 緑 |
| 37 | No2主給水ポンプ運転→停止 | No2主給水ポンプ | (No2主給水ポンプ初期状態運転) and (No2主給水ポンプ運転) and (スクラム信号発信) and (not (No2主給水ポンプトリップ信号)) | 緑 |
| 38 | 原子炉蒸気元弁 全閉 | 原子炉蒸気元弁 | (原子炉蒸気元弁CLOSE表示等点灯) and (原子炉蒸気元弁OPEN表示灯消灯) | 緑 |
| 39 | 主機操縦ハンドルSTOP | 主機操縦ハンドル | 主機回転数設定-STOP表示: 点灯 | 緑 |
| 40 | プラントモードMANEUVERING 後進中間弁開 主機第1抽気弁閉 主機第2抽気弁閉 主機第3抽気弁 閉 主機ドレン弁開 主機スクラム キャンセル | 主機操縦装置 | (主機回転数設定-STOP表示点灯) and (主機第1, 第2, 第3抽気弁閉) | 緑 |
| 41 | POWER 10% BELOW | 核計装設備 | POWER 10% BELOW信号 : 発信 | 青 |
| 42 | 原子炉SHUTDOWN | 運転モードスイッチ | (POWER 10% BELOW信号発信) and (SHUTDOWN表示点灯) | 緑 |
| 43 | No1ACB並列投入 | No1補助発電機ACB | (No1補助発電機ACB投入) and (No1補助発電機手動投入確認) | 緑 |
| 44 | No2ACB並列投入 | No2補助発電機ACB | (No2補助発電機ACB投入) and (No2補助発電機手動投入確認) | 緑 |
| 45 | No1主給水制御弁手動全閉 | No1主給水制御弁 | (No1主給水制御弁MV値パラメータ0.0以下) and (No1主給水制御弁制御器MAN表示点灯) | 緑 |
| 46 | No2主給水制御弁手動全閉 | No2主給水制御弁 | (No2主給水制御弁MV値パラメータ0.0以下) and (No2主給水制御弁制御器MAN表示点灯) | 緑 |

表 3.3 原子炉スクラム後対応操作の動作条件及び動作名

| No | 動作名 | 操作対象機器 | 動作条件 |
|----|-----------------|-----------|---|
| 1 | No1補発ACB投入操作 | No1補発ACB | (スクラム信号発信) and (No1補助発電機起動) and (No1補助発電機用ACBリセット状態) and (No1, No2主発電機用ACB遮断状態) |
| 2 | No2補発ACB投入操作 | No2補発ACB | (スクラム信号発信) and (No2補助発電機起動) and (No2補助発電機用ACBリセット状態) and (No1, No2主発電機用ACB遮断状態) |
| 3 | No1主発ACB遮断操作 | No1主発ACB | (スクラム信号発信) and (No1補発ACB投入確認) and (No2補助発電機ACB投入確認) |
| 4 | No2主発ACB遮断操作 | No2主発ACB | (スクラム信号発信) and (No1補発ACB投入確認) and (No2補発ACB投入確認) and (No1主発ACB遮断確認) |
| 5 | No1主発遠隔停止操作 | No1主発電機 | (スクラム信号発信) and (No1主発ACB遮断確認) |
| 6 | No2主発遠隔停止操作 | No2主発電機 | (スクラム信号発信) and (No2主発ACB遮断確認) |
| 7 | No1主給水ポンプ停止操作 | No1主給水ポンプ | (スクラム信号発信) and (No1主発電機運転停止) and (No2主発電機運転停止) and (No1主給水ポンプ初期状態運転) |
| 8 | No2主給水ポンプ停止操作 | No2主給水ポンプ | (スクラム信号発信) and (No1主発電機運転停止) and (No2主発電機運転停止) and (No2主給水ポンプ初期状態運転) |
| 9 | 主機操縦ハンドルSTOP操作 | 主機操縦ハンドル | (スクラム信号発信) and (ターピントリップ確認) |
| 10 | 原子炉ShutDown操作 | 運転モードスイッチ | (スクラム信号発信) and (POWER10% BELOW確認) |
| 11 | 原子炉蒸気元弁全閉操作 | 原子炉蒸気元弁 | (スクラム信号発信) and (No1, No2主発運転停止) and (No1, No2主給水ポンプ停止表示灯点灯) |
| 12 | No1主給水制御弁手動全閉操作 | No1主給水制御弁 | (スクラム信号発信) and (原子炉蒸気元弁全閉確認) |
| 13 | No2主給水制御弁手動全閉操作 | No2主給水制御弁 | (スクラム信号発信) and (原子炉蒸気元弁全閉確認) |

表 3.4 ブレークポイント画面の情報表示内容

| 情 報 表 示 項 目 | | |
|--------------|-----------------|-----------------|
| アナログ現在値表示 | 機器等動作表示項目 | |
| No1SG給水流量 | No1主蒸気塞止弁 開 | No2一次冷却水ポンプトリップ |
| No2SG給水流量 | No1主蒸気塞止弁 閉 | No1主給水制御弁 閉 |
| No1SG蒸気流量計流量 | No2主蒸気塞止弁 開 | No2主給水制御弁 閉 |
| No2SG蒸気流量計流量 | No2主蒸気塞止弁 閉 | 補助給水ポンプ選択 No1 |
| No1SG水位 | 原子炉蒸気元弁 閉 | 補助給水ポンプ選択 No2 |
| No2SG水位 | No1一次冷却水ポンプ低速運転 | |
| No1SG蒸気圧力 | No2一次冷却水ポンプ低速運転 | |
| No2SG蒸気圧力 | No1一次冷却水ポンプトリップ | |

表 3.5 整定・維持操作の動作条件及び動作名

| No | 動作名 | 操作対象機器 | 動作条件 |
|----|---------------------|-------------|--|
| 1 | 崩壊熱ダンプ制御弁20%/30%開操作 | 崩壊熱ダンプ制御弁 | <p>2基SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1andNo2一次冷却水平均温度275°C以上) and (2基SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>No1SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1一次冷却水平均温度275°C以上) and (No1SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>No2SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No2一次冷却水平均温度275°C以上) and (No2SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>2基SG自然循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (炉心出口温度290°C以上or一次水平均温度275°C以上) and (No1andNo2主蒸気塞止弁開表示等点灯) and (2基SG自然循環崩壊熱除去操作選択)</p> |
| 2 | 崩壊熱ダンプ制御弁全閉操作 | 崩壊熱ダンプ制御弁 | <p>2基SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1一次冷却水平均温度270°C以下) and (2基SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>No1SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1一次冷却水平均温度270°C以下) and (No1SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>No2SG強制循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No2一次冷却水平均温度270°C以下) and (No2SG強制循環崩壊熱除去操作選択)</p> <p>2基SG自然循環崩壊熱除去操作の場合： (スクラム信号発信) and (崩壊熱ダンプ弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1andNo2一次冷却水平均温度270°C以下) and (2基SG自然循環崩壊熱除去操作選択)</p> |
| 3 | No1補助給水弁開操作 | No1補助給水弁 | (スクラム信号発信) and (No1補助給水弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1SG水位75%以下) and ((2基SGorNo1SG強制循環崩壊熱除去操作選択) or (2基SG自然循環崩壊熱除去操作選択)) and (not (No2SG強制循環崩壊熱除去操作)) |
| 4 | No1補助給水弁全閉操作 | No1補助給水弁 | (スクラム信号発信) and (No1補助給水弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1SG水位80%以上) |
| 5 | No2補助給水弁開操作 | No2補助給水弁 | (スクラム信号発信) and (No2補助給水弁全閉状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No2SG水位75%以下) and ((2基SGorNo1SG強制循環崩壊熱除去操作選択) or (2基SG自然循環崩壊熱除去操作選択)) and (not (No1SG強制循環崩壊熱除去操作)) |
| 6 | No2補助給水弁全閉操作 | No2補助給水弁 | (スクラム信号発信) and (No2補助給水弁開状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No2SG水位80%以上) |
| 7 | 補助給水ポンプ再循環弁30%開操作 | 補助給水ポンプ再循環弁 | (スクラム信号発信) and (SG張水開始) |
| 8 | 補助給水ポンプ起動操作 | 補助給水ポンプ | (スクラム信号発信) and (補助給水ポンプ停止状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1orNo2補助給水弁開状態) and (補助給水ポンプ再循環弁開状態) |
| 9 | 補助給水ポンプ停止操作 | 補助給水ポンプ | (スクラム信号発信) and (補助給水ポンプ運転状態) and (not (崩壊熱除去操作の中止)) and (No1andNo2補助給水弁全閉状態) |

表 4.1 原子炉スクラム後時系列主要運転操作

| 時刻 | 事象・操作 | 備考 |
|-------|----------------------------------|----------------|
| 0分0秒 | 原子炉手動スクラムボタン ON | |
| 0分15秒 | 一次冷却水ポンプ高速→低速切替 | 自動 |
| 0分20秒 | 主循環海水ポンプ高速→低速切替 | 自動 |
| 0分32秒 | No1補助発電機並列投入 | 自動 |
| 1分30秒 | No1主発電機手動解列 | 負荷移行後解列 |
| 2分00秒 | No2主発電機手動解列 | 負荷移行後解列 |
| 2分10秒 | 両主発電機手動トリップ | 蒸気加減弁遮断 |
| 5分30秒 | No1主給水ポンプ手動トリップ | 蒸気加減弁遮断 |
| 5分40秒 | No2補助発電機手動並列投入 | 同期投入操作 |
| 6分30秒 | 原子炉系蒸気元弁 手動閉 | 全開→全閉まで所要時間約3分 |
| 8分30秒 | 原子炉運転モードスイッチ Shutdown 以後、復旧操作 | |

表 4.2 各運転状態における主要パラメータの値

| | 100%出力時 | 70%出力時 | 温態停止時 |
|-------------------------------|---------|--------|-------|
| 一次冷却水平均温度 (°C) | 約274 | 約274 | 約274 |
| 一次冷却水圧力 (kg/cm ²) | 110 | 110 | 110 |
| 加圧器水位 (%) | 約44 | 約46 | 55 |
| SG水位 (%) | 70 | 70 | 約80 |
| 蒸気圧力 (kg/cm ²) | 約40 | 約45 | 約60 |

表 4.3 機器の作動状況の比較

| 機 器 の 作 動 | 手動スクラム (自動化導入データ) | 手動スクラム (「むつ」実績データ) |
|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 原子炉スクラム発信 | 0分:00秒 | 0分:00秒 |
| No1主発電機ACB 遮断 | 0:32 | 1:30 |
| No2主発電機ACB 遮断 | 0:35 | 2:00 |
| 補助発電機ACB並列投入 | 0:40 | 5:40 |
| No1主発電機 停止 | 1:10 | 2:10 |
| No2主発電機 停止 | 1:10 | 2:10 |
| 主給水ポンプ停止 | 1:20 | 5:30 |
| 原子炉蒸気元弁全閉 (蒸気系遮断) | 3:30 | 6:30 |

表 4.4 プラントパラメータの応答状況

| | | 手動スクラム | | 制御機位置偏差過大 スクラム | | 制御機異常脱離時に よる出力制限出力高 スクラム | | No1一次冷却水ポンプリップ による高温スクラム | | No1一次冷却水ポンプ台 トリップによる一次冷却 水流量低スクラム | | 抽出系開塞による加 圧器水位高スクラム (自動化) | |
|---------------------------|---------------------------|--------|-------|-------------------|--------|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------|---|--------|---------------------------------|--------|
| | | 「必ず」 | | 「自動化」 | | 「自動化」 | | 「自動化」 | | 「自動化」 | | 「自動化」 | |
| 一 次 冷 却 水 温 度 差 均 均 温 度 | 初期値 *1 °C | 273.5 | 273.5 | 273.5 | 273.5 | 276 | 276 | 268.5 | 268.5 | 270 | 273.5 | 273.5 | 273.5 |
| 一 次 冷 却 水 温 度 低 下 平 均 温 度 | 初期値 *2 °C | 253 | 253 | 263 | 264 | 266.5 | 266.5 | 7.5 | 7.5 | 3.5 | 3.5 | 264 | 264 |
| 一 次 冷 却 水 温 度 開 始 時 刻 *4 | 初期値 *3 分:秒 | 20.5 | 10.5 | 9.5 | 9.5 | 3分 | 3分 | 3分 | 3分 | 2分:30秒 | 2分:30秒 | 2分 | 2分 |
| 一 次 冷 却 水 壓 力 開 始 時 刻 | 初期値 *1 kg/cm ² | 110 | 110 | 110 | 110 | 111.5 | 111.5 | 110 | 110 | 109 | 109 | 108 | 108 |
| 一 次 冷 却 水 壓 力 低 下 | 初期値 *2 kg/cm ² | 104 | 109 | 109 | 109 | 108 | 108 | 109 | 109 | 109 | 109 | 108 | 108 |
| 一 次 冷 却 水 壓 力 差 | 初期値 *3 kg/cm ² | 6 | 1 | 1 | 1 | 3.5 | 3.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 |
| 一 次 冷 却 水 壓 力 開 始 時 刻 | 初期値 *4 分:秒 | 4分 | 4分 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 | 1分:30秒 |
| 加 壓 器 水 位 開 始 時 刻 | 初期値 *1 % | 44 | 44 | 44 | 44 | 46 | 46 | 45 | 45 | 44 | 44 | 43 | 43 |
| 加 壓 器 水 位 低 下 | 初期値 *2 % | 26 | 34 | 35 | 35 | 37 | 37 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 加 壓 器 水 位 差 | 初期値 *3 % | 16 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| S G 水 位 開 始 時 刻 | 初期値 *1 分:秒 | 6分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2分 | 1分:40秒 | 1分:40秒 | 1分:40秒 | 1分:40秒 | 1分:40秒 | 1分:40秒 |
| S G 水 位 低 下 | 初期値 *2 % | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 72 | 72 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| S G 水 位 差 | 初期値 *3 % | 49 | 49 | 49 | 49 | 45 | 45 | 43 | 43 | 45 | 45 | 49 | 49 |
| 吸束開始時刻 | 初期値 *4 分:秒 | 45秒 | 50秒 | 50秒 | 50秒 | 4分 | 4分 | 40秒 | 40秒 | 40秒 | 40秒 | 50秒 | 50秒 |

*1: 初期値とは原子炉スクラム直前のプロセス値をいう。

*2: 溫度、圧力及び水位低下は原子炉スクラム後の最終値をいう。

*3: 溫度差、圧力差及び水位差は(初期値) - (温度、圧力、水位低下)である。

*4: 吸束開始時刻は原子炉スクラムからプロセス値が回復傾向を示すまでの時間とした。

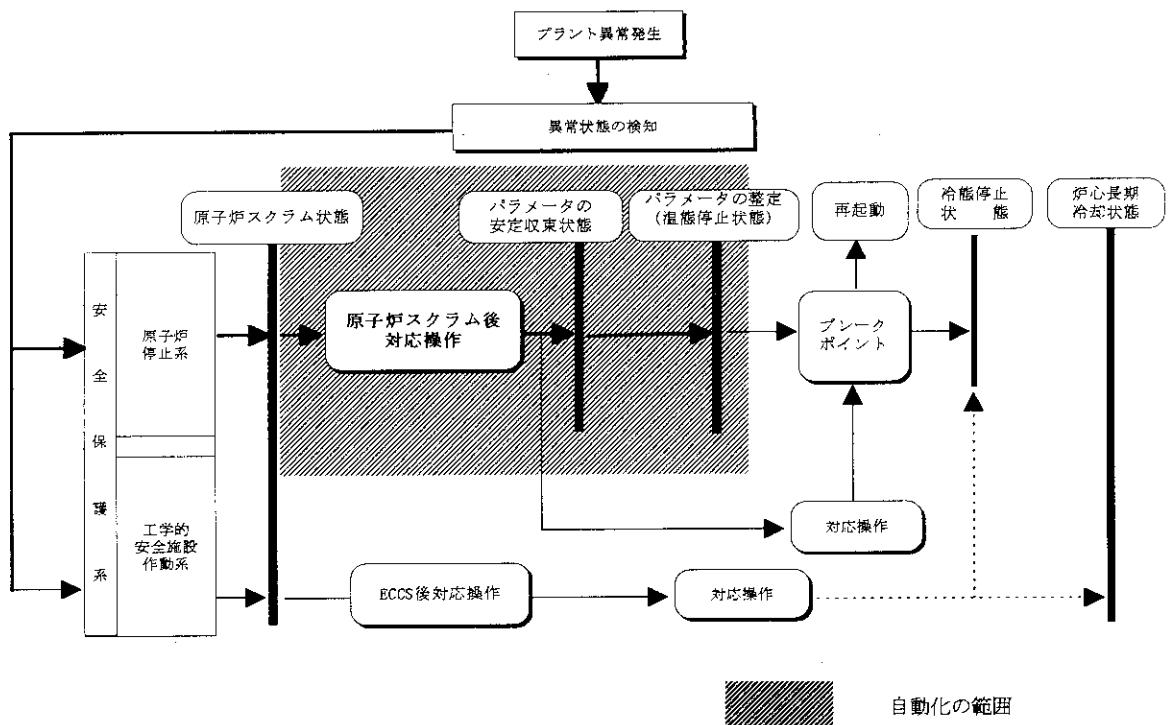


図 2.1 自動化の範囲

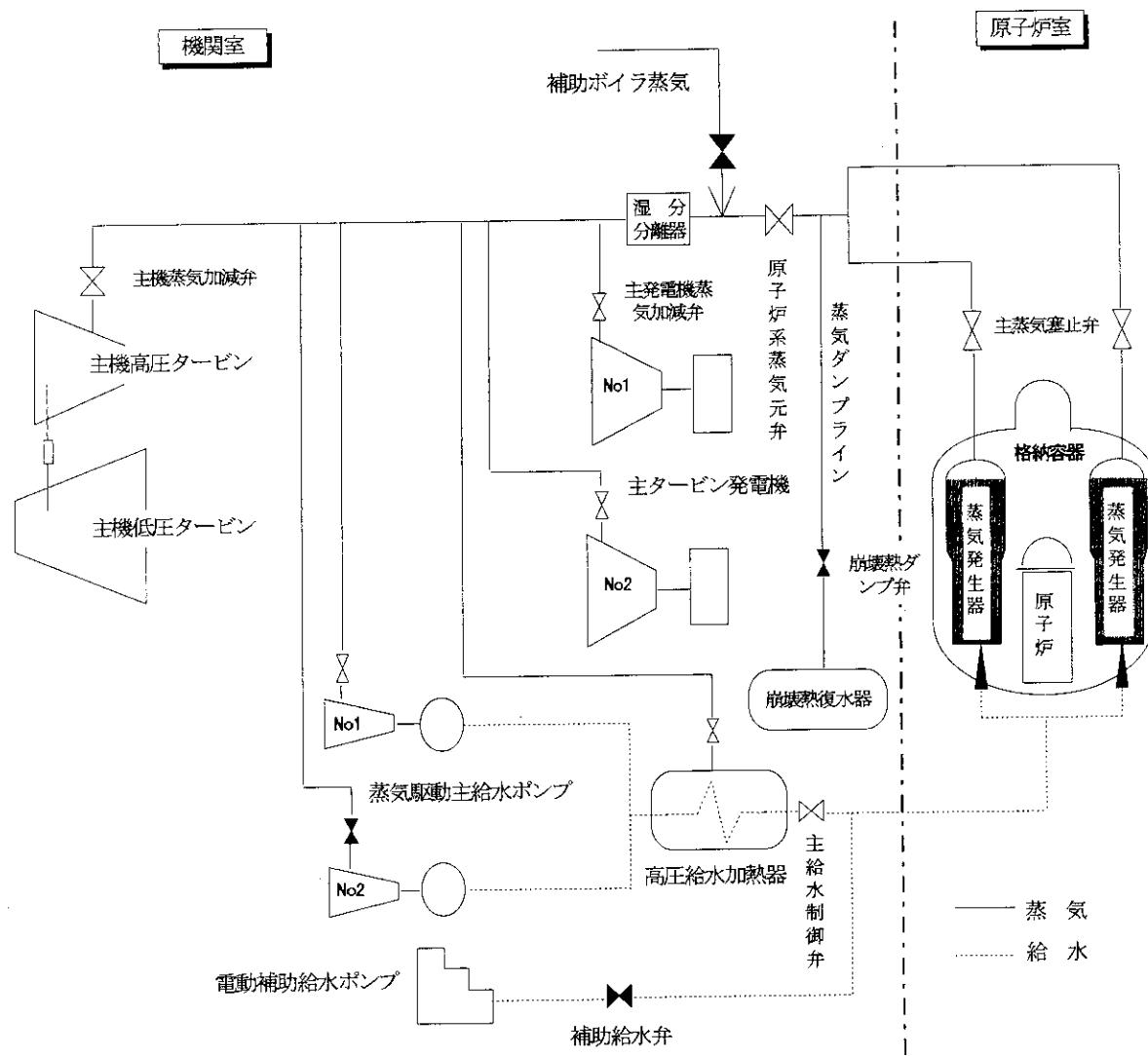


図 2.2 蒸気・給水系統概略図

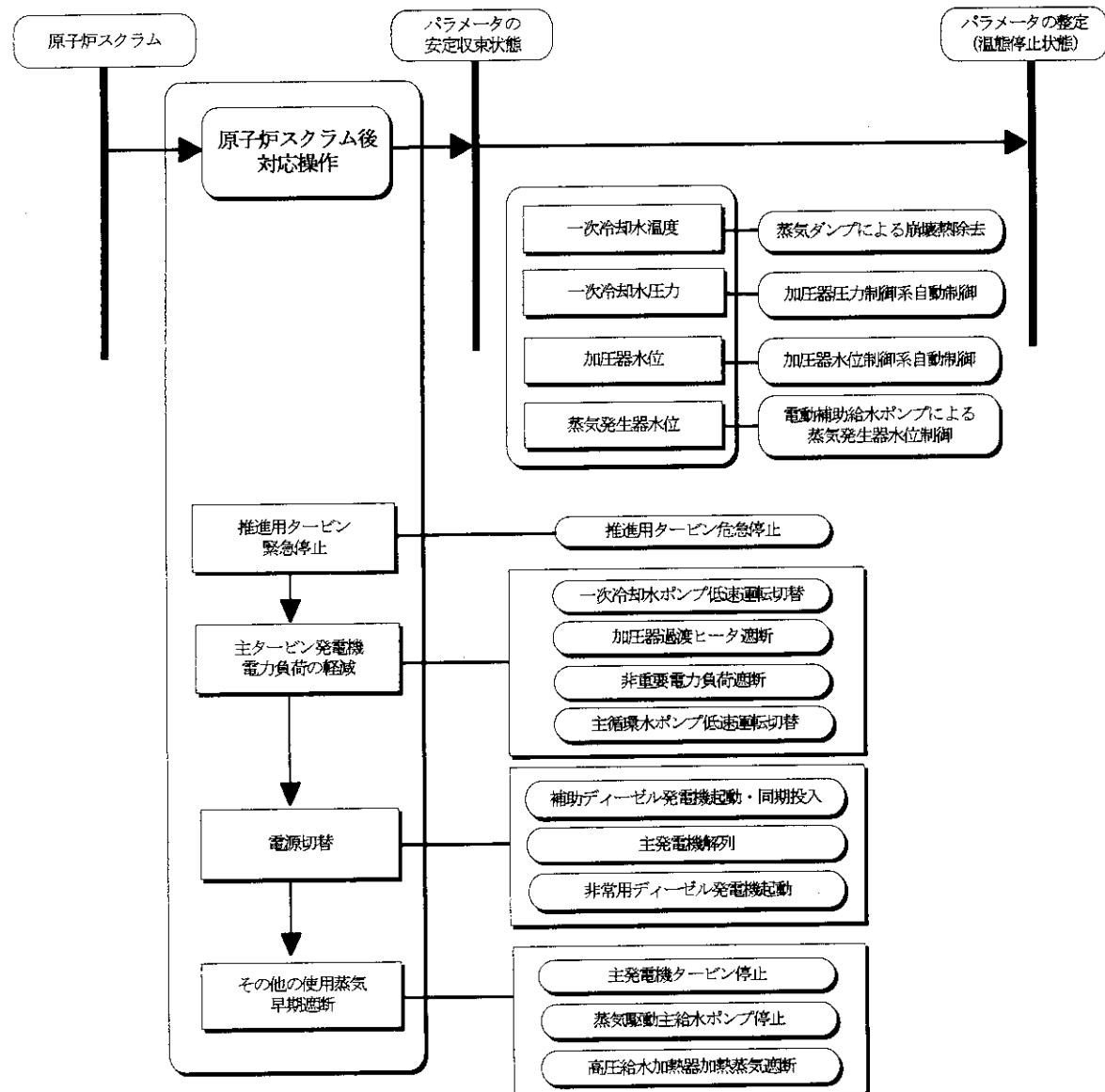
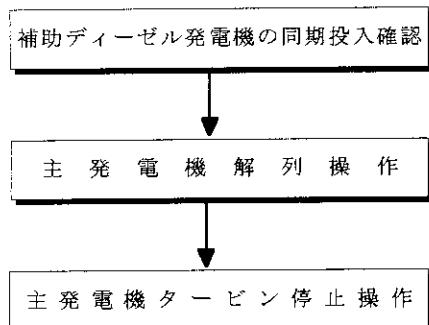
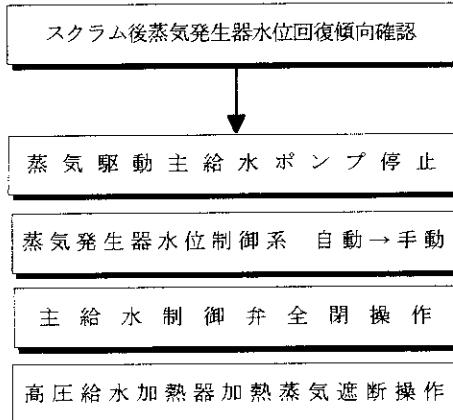


図 2.3 主要な対応操作

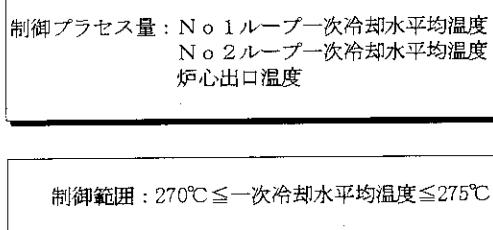
■ 主発電機の解列・停止操作



■ 蒸気駆動主給水ポンプ等の停止操作



■ 蒸気ダンプによる崩壊熱除去操作



■ 補助給水ポンプによるSG水位制御操作

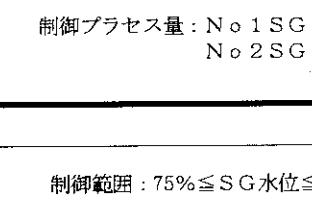


図 2.4 主要操作の操作条件等

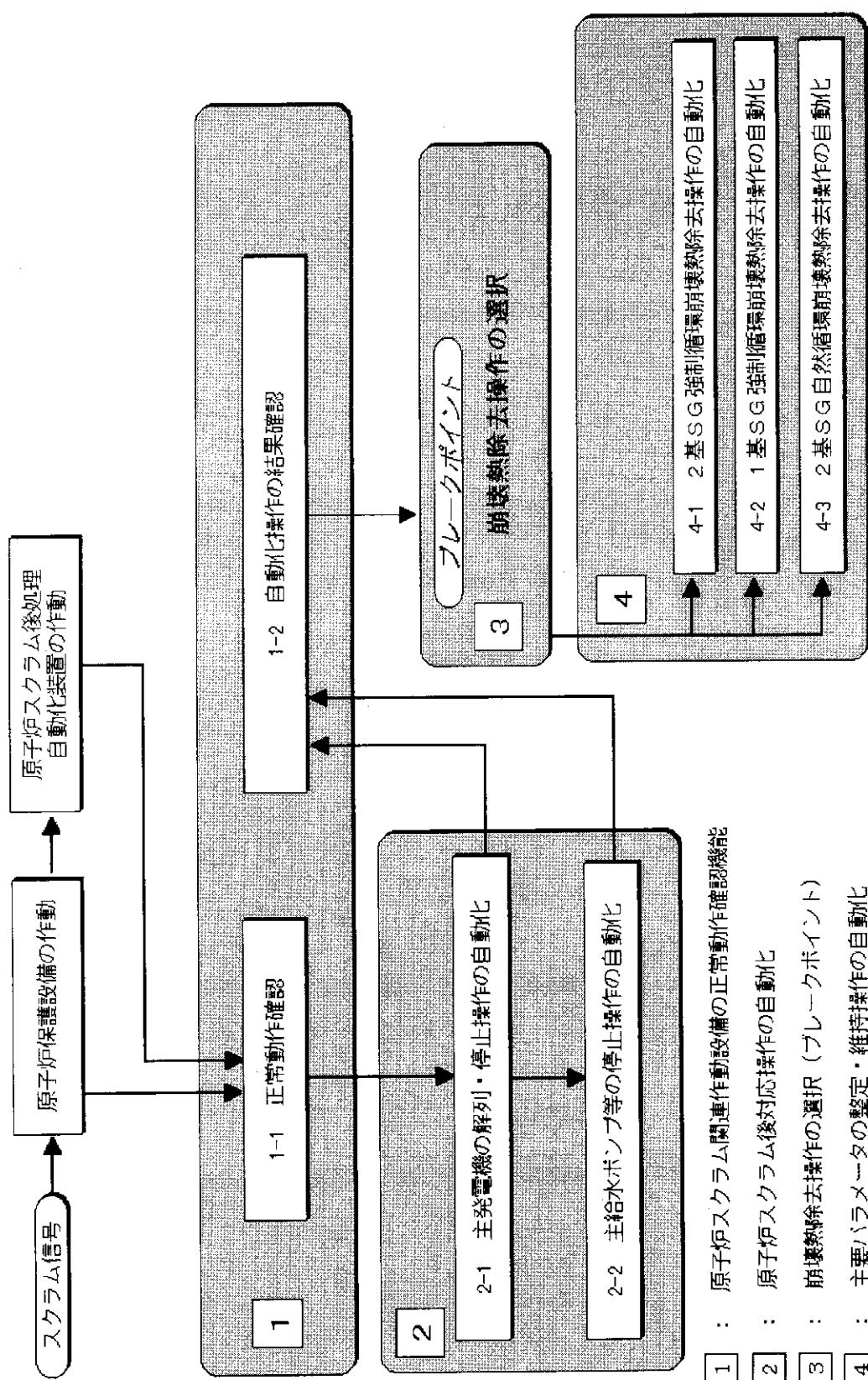


図 3.1 自動化システムの基本構成

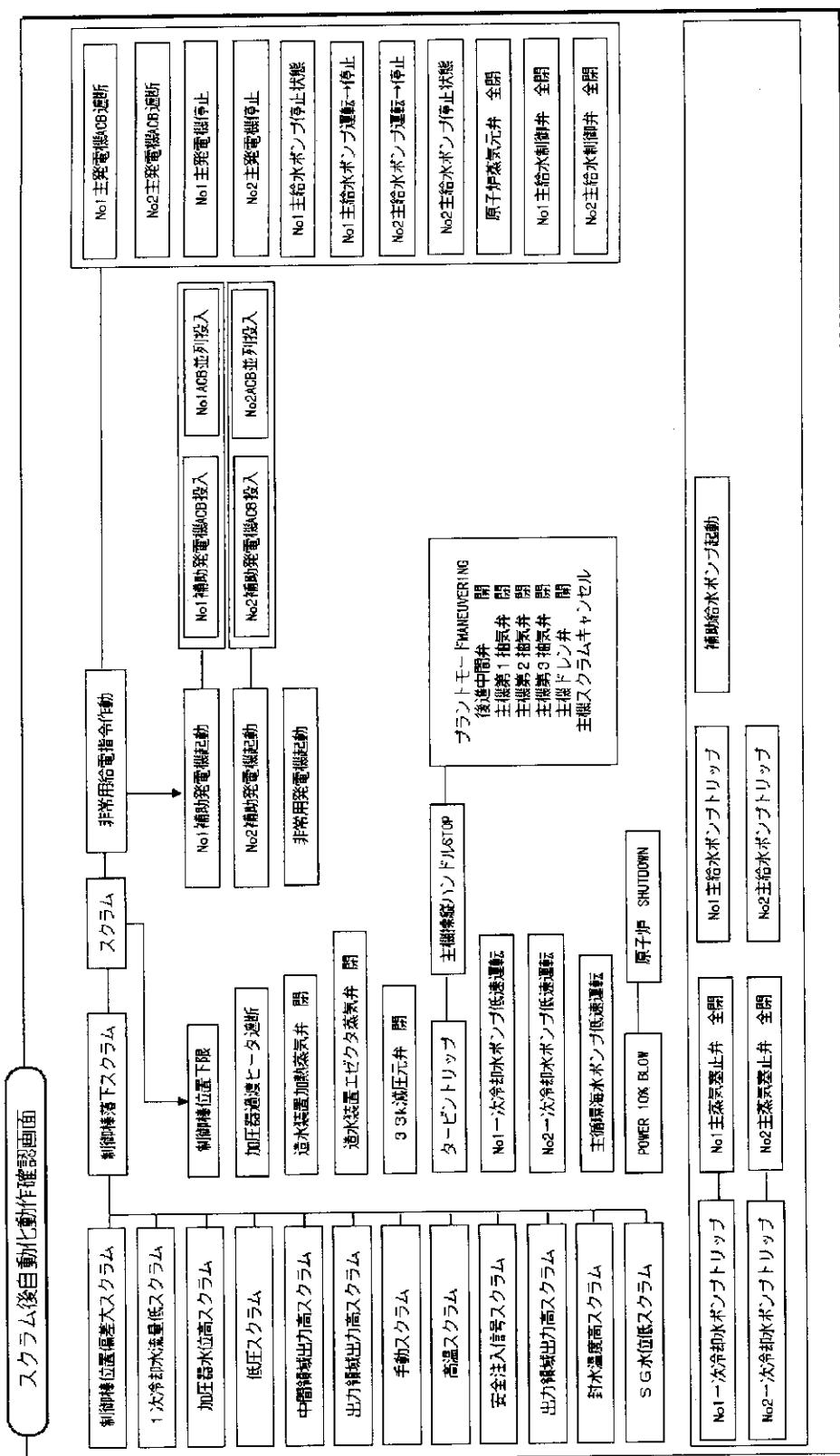


図 3.2 原子炉スクラム関連作動設備の正常動作確認画面

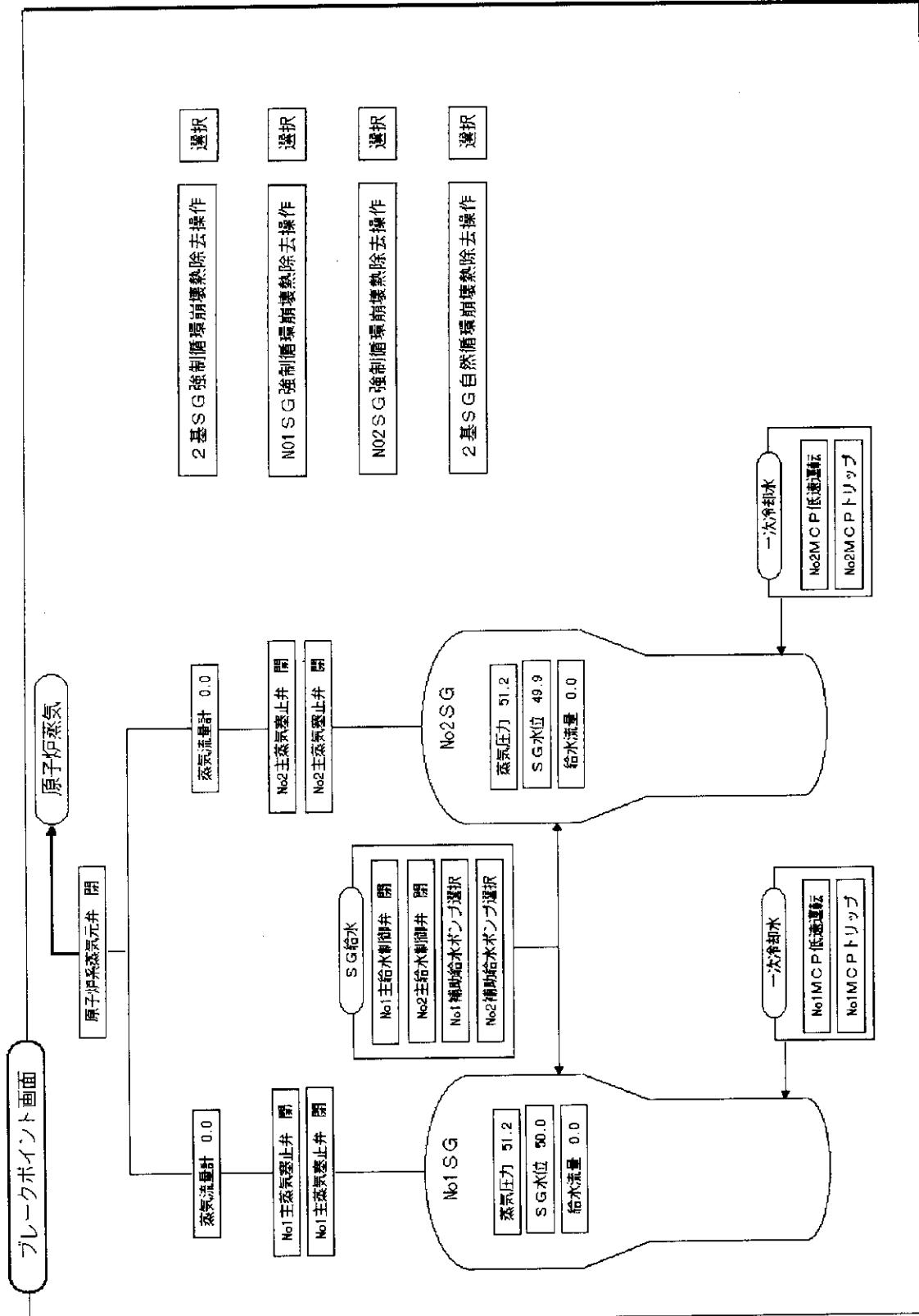


図 3.3 ブレークポイント画面（崩壊熱除去操作の選択）

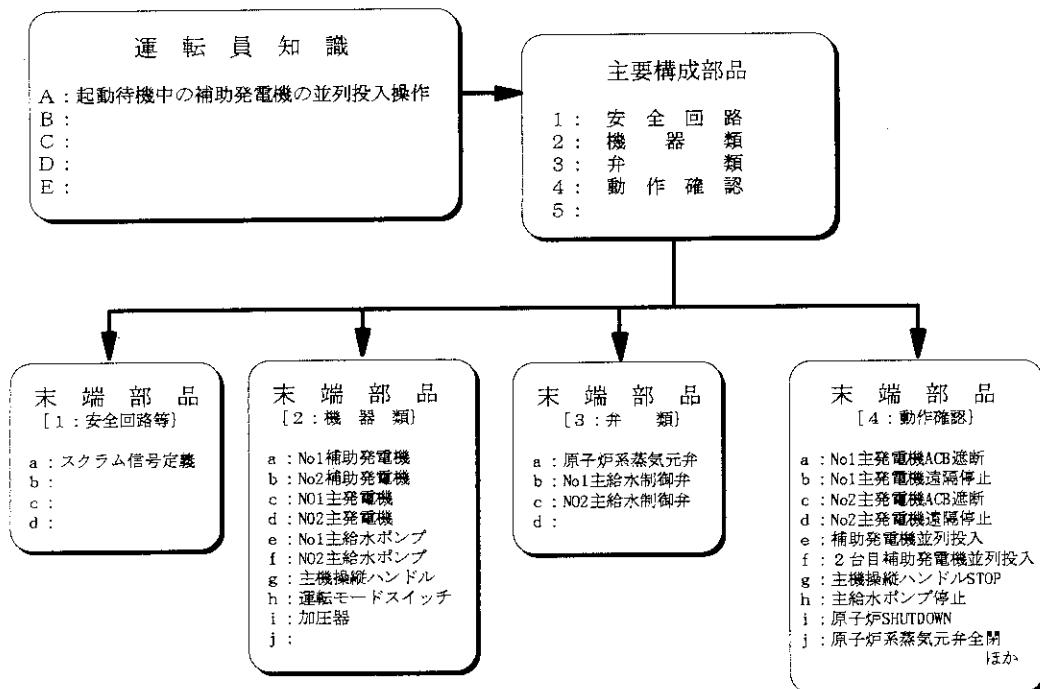


図 3.4 自動化のための作動・操作機器の分類

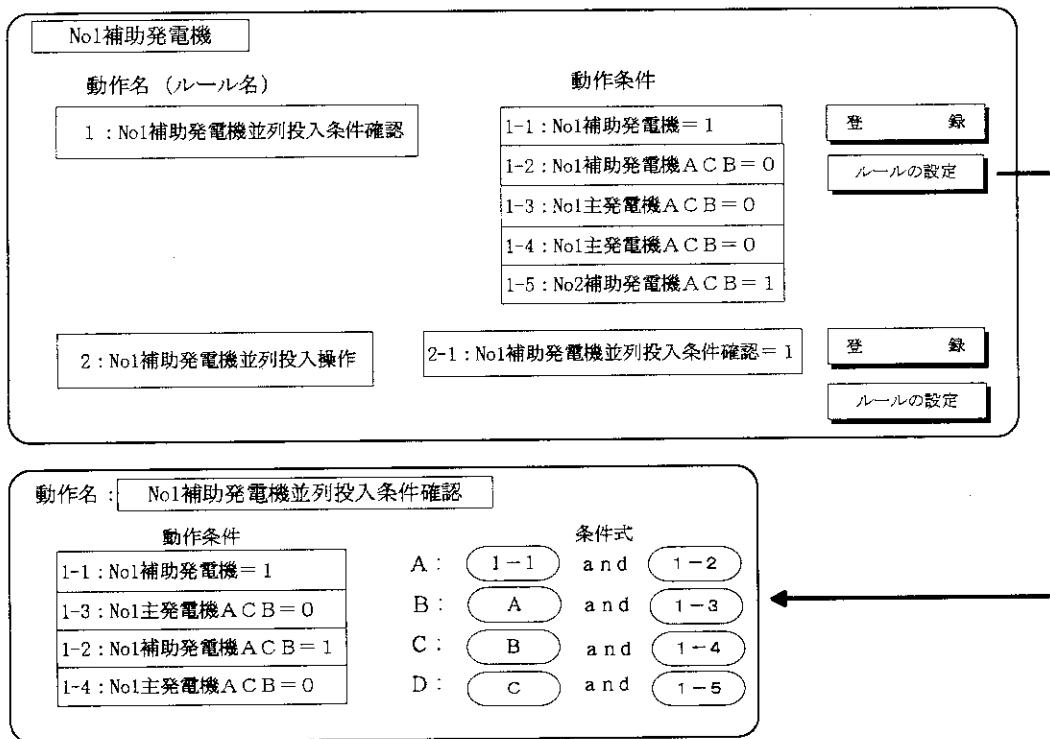


図 3.5 自動化のための機器動作と条件の設定概念

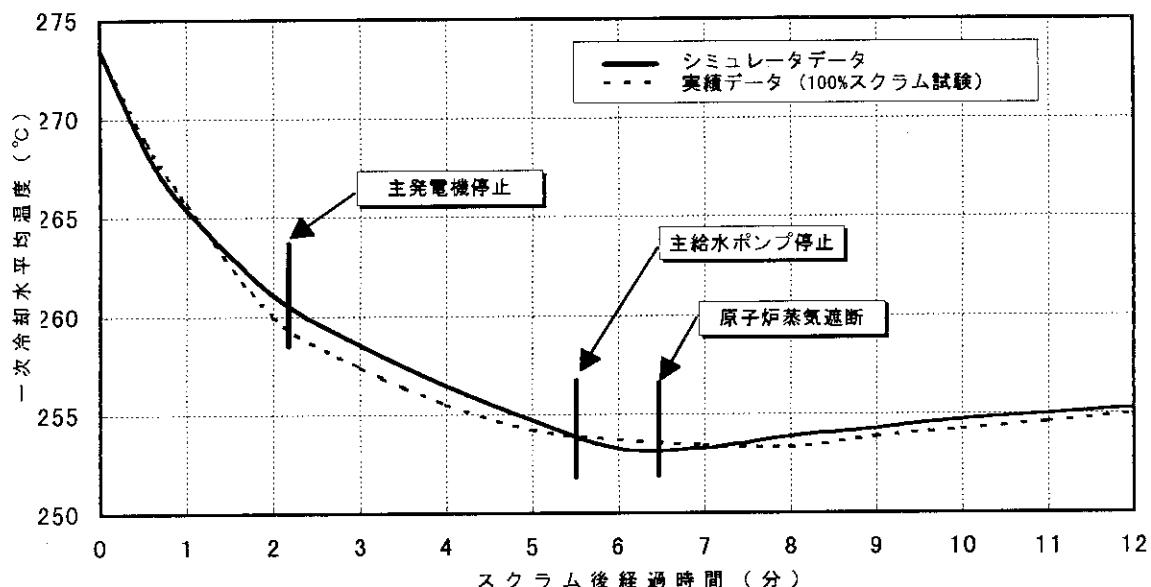


図 4.1 シミュレータの模擬性能

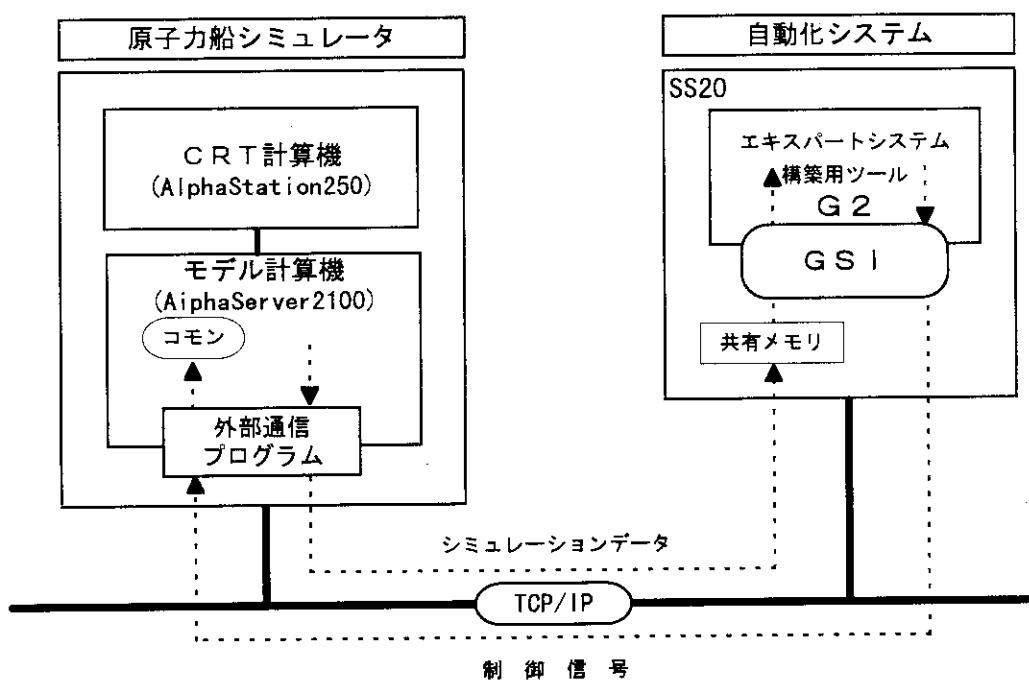


図 4.2 自動化システムとシミュレータの結合

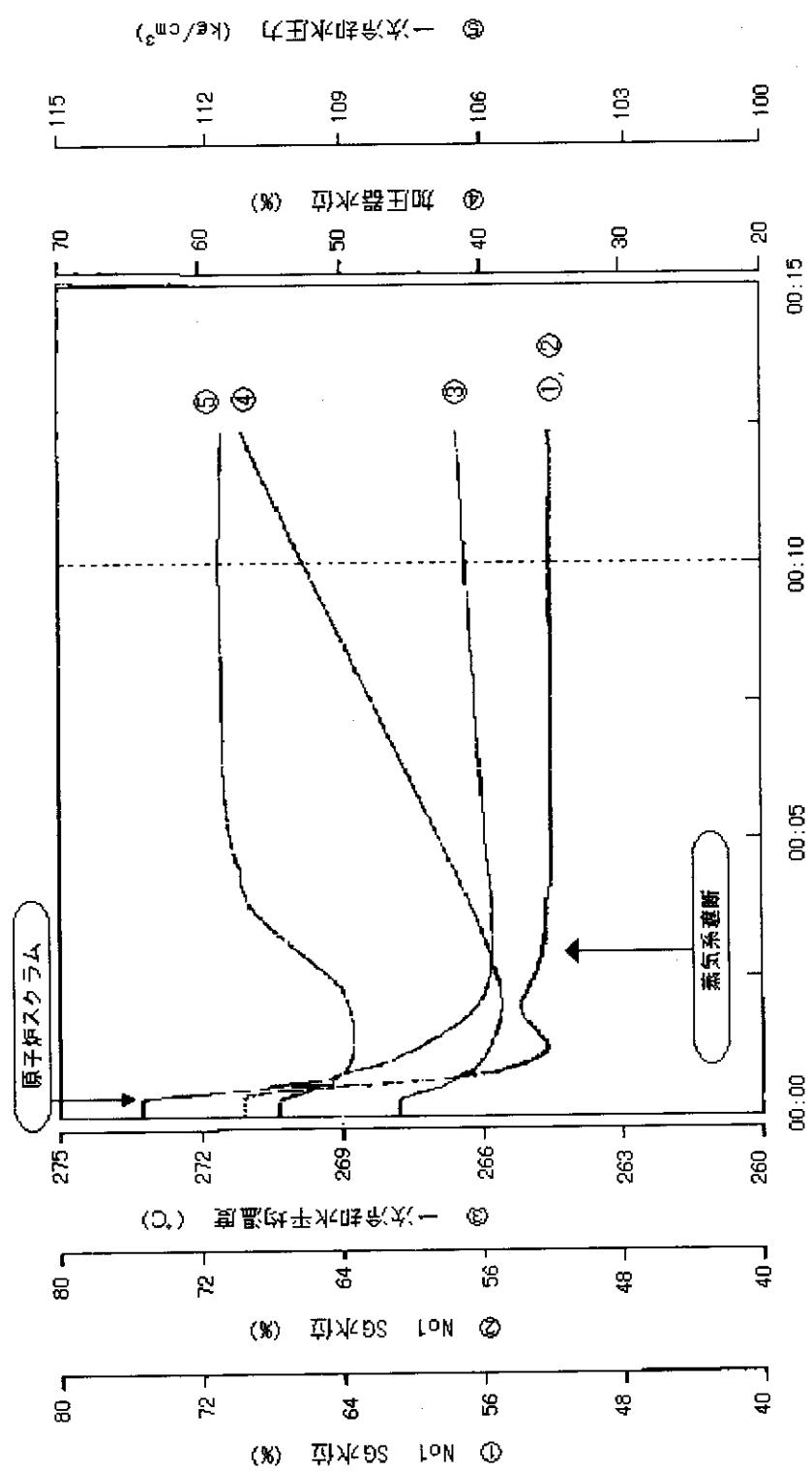


図 4.3 原子炉出力 70%スクラム時のプラント応答 (0～約 10 分)

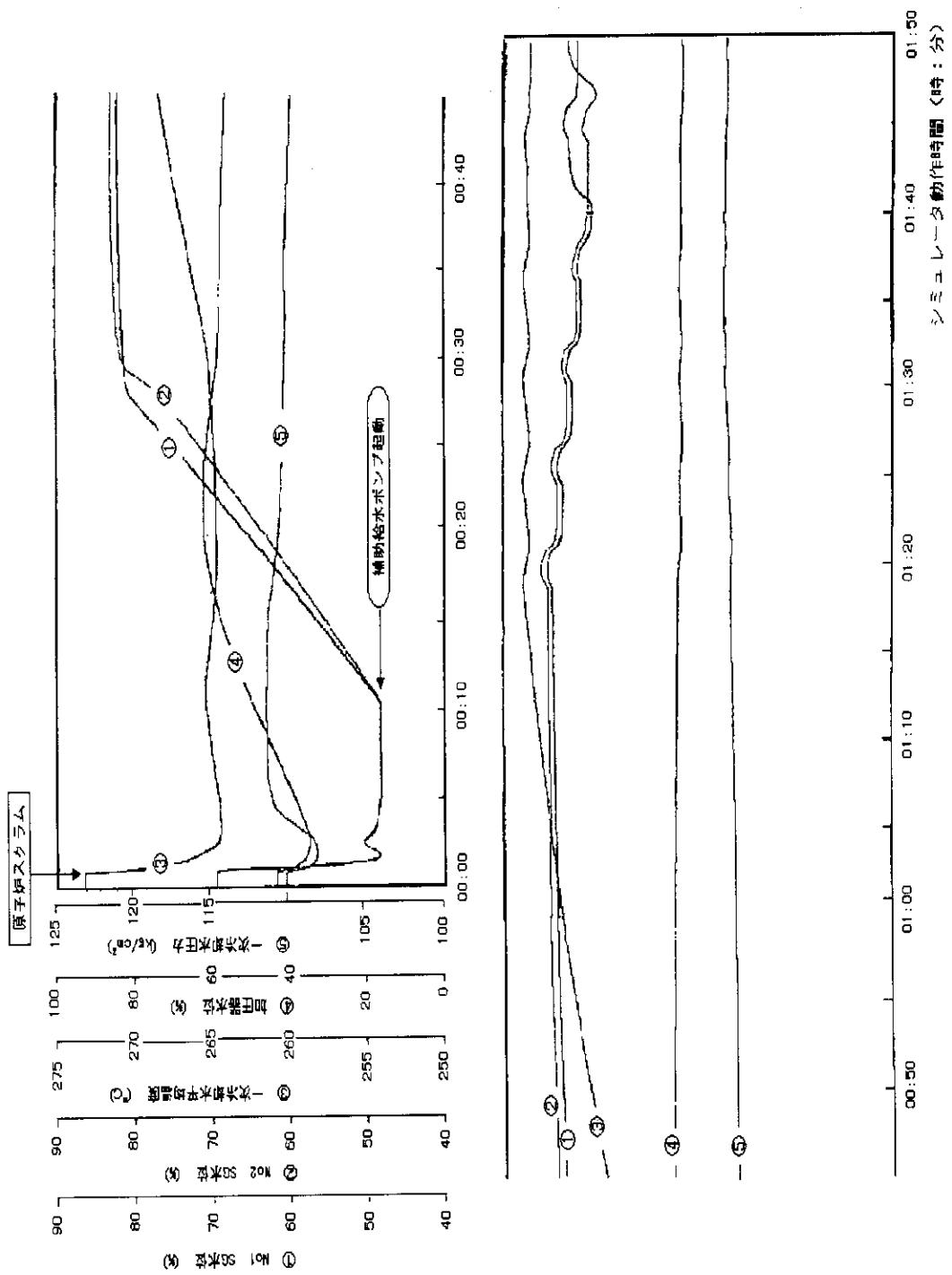


図 4.4 原子炉出力 100%スクラム時のプラント応答 (0~約2時間)

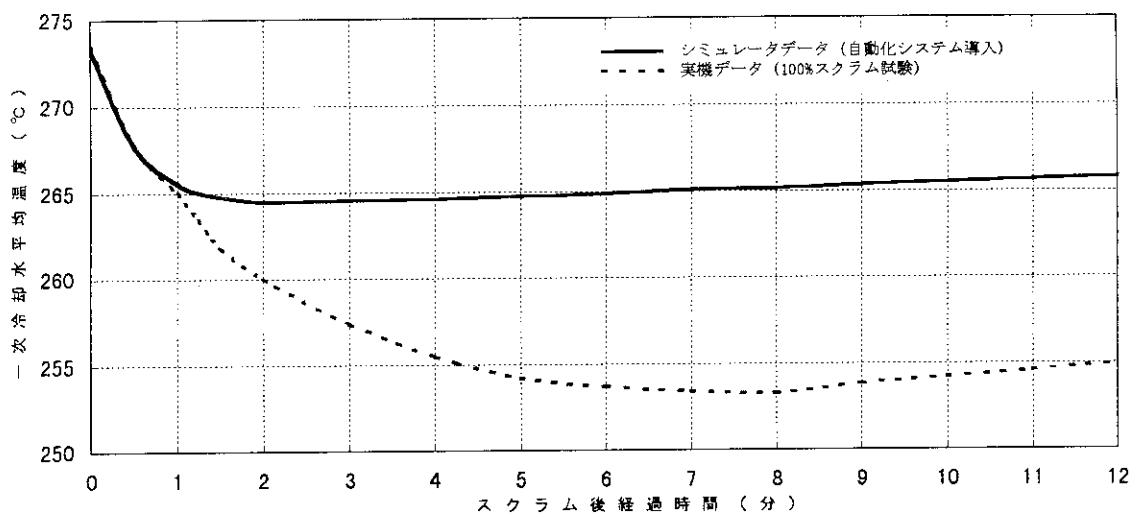


図 4.5 「むつ」データとの比較（一次冷却水平均温度）

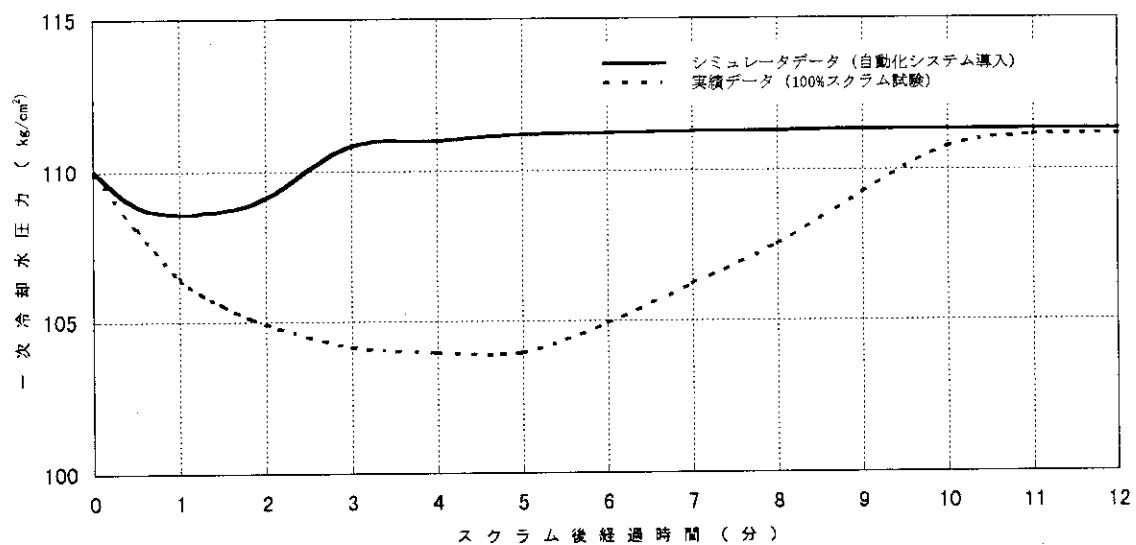


図 4.6 「むつ」データとの比較（一次冷却水圧力）

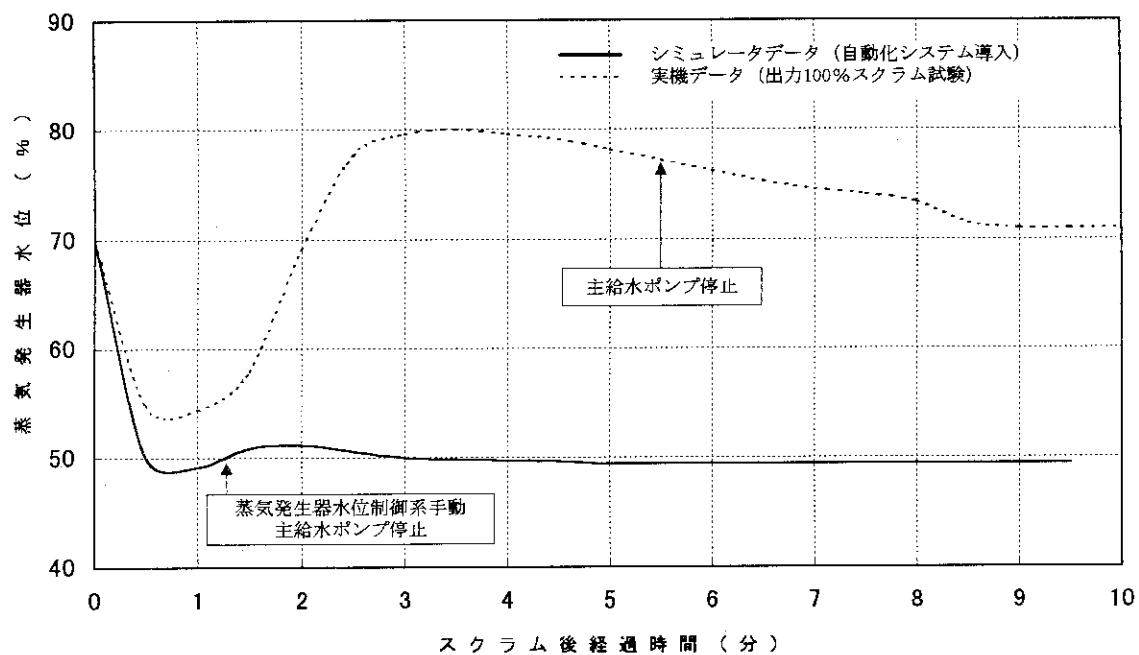


図 4.7 「むつ」データとの比較 (SG 水位)

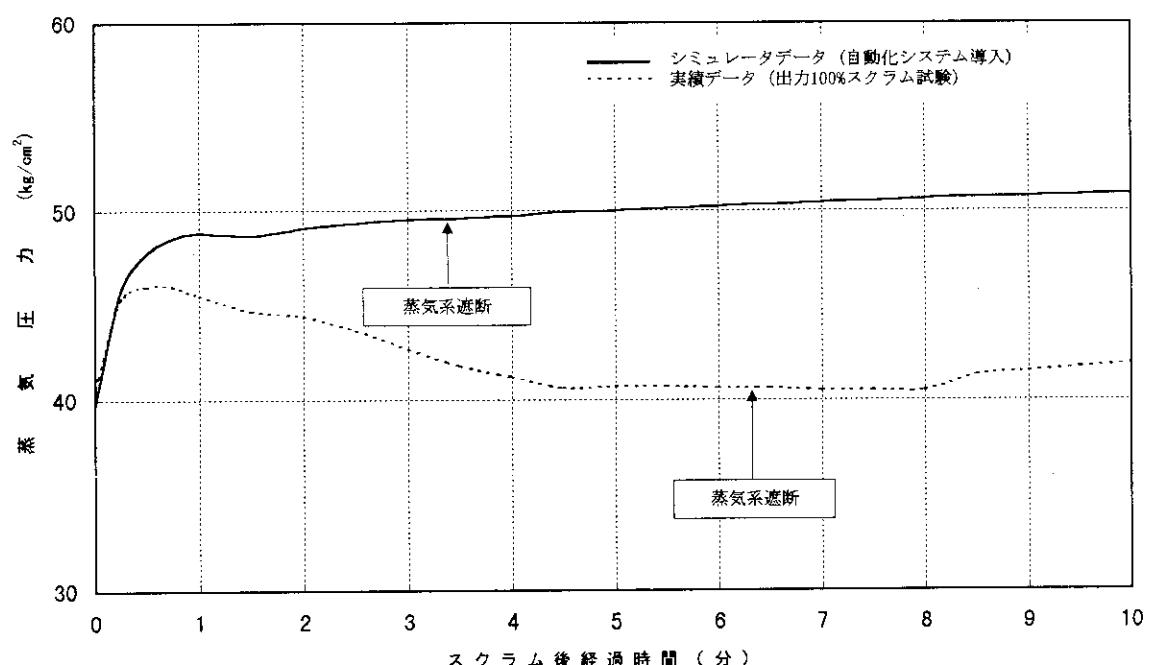


図 4.8 「むつ」データとの比較 (蒸気圧力)

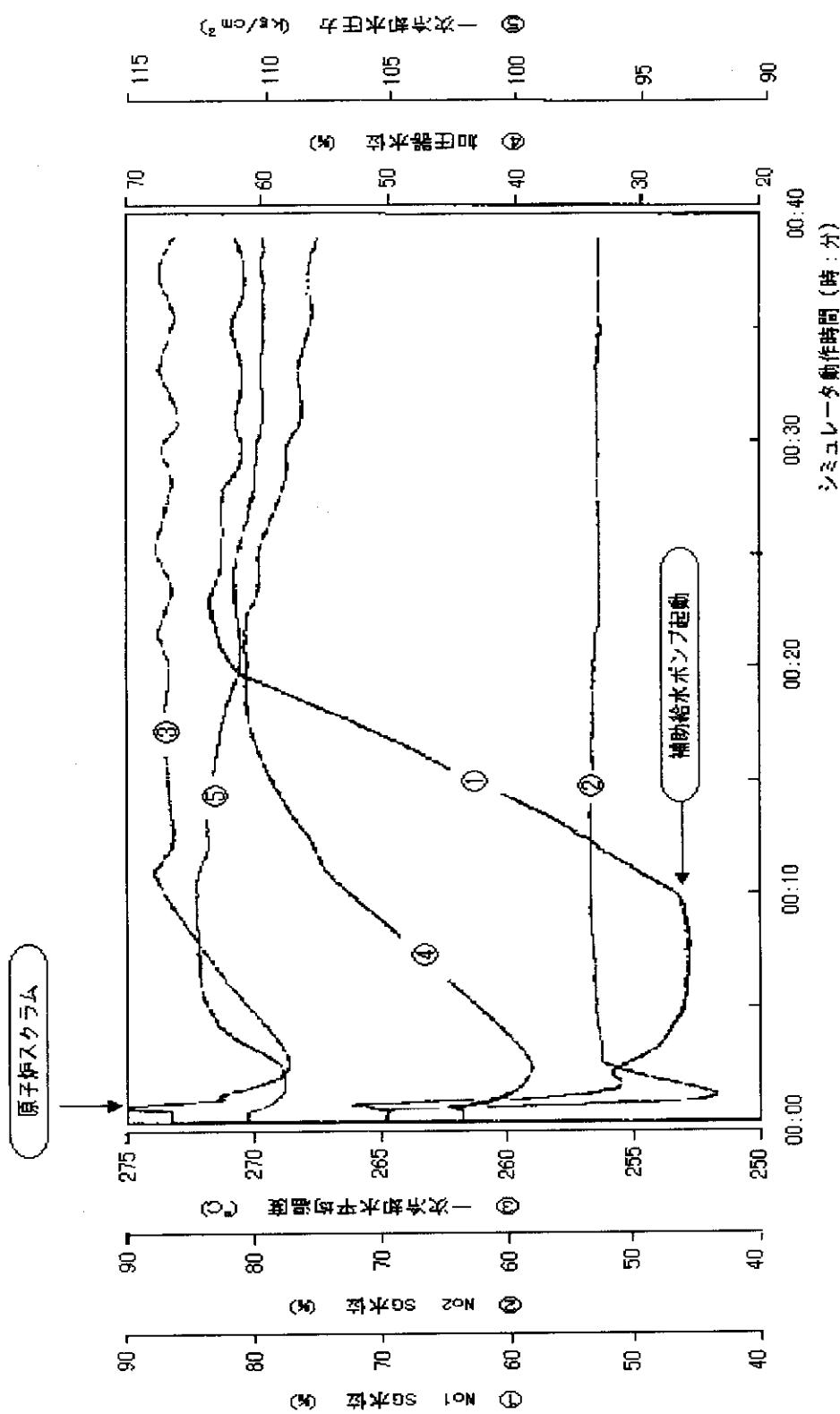


図4.9 一次冷却水ポンプ1台トリップによる高温スクラム時の応答

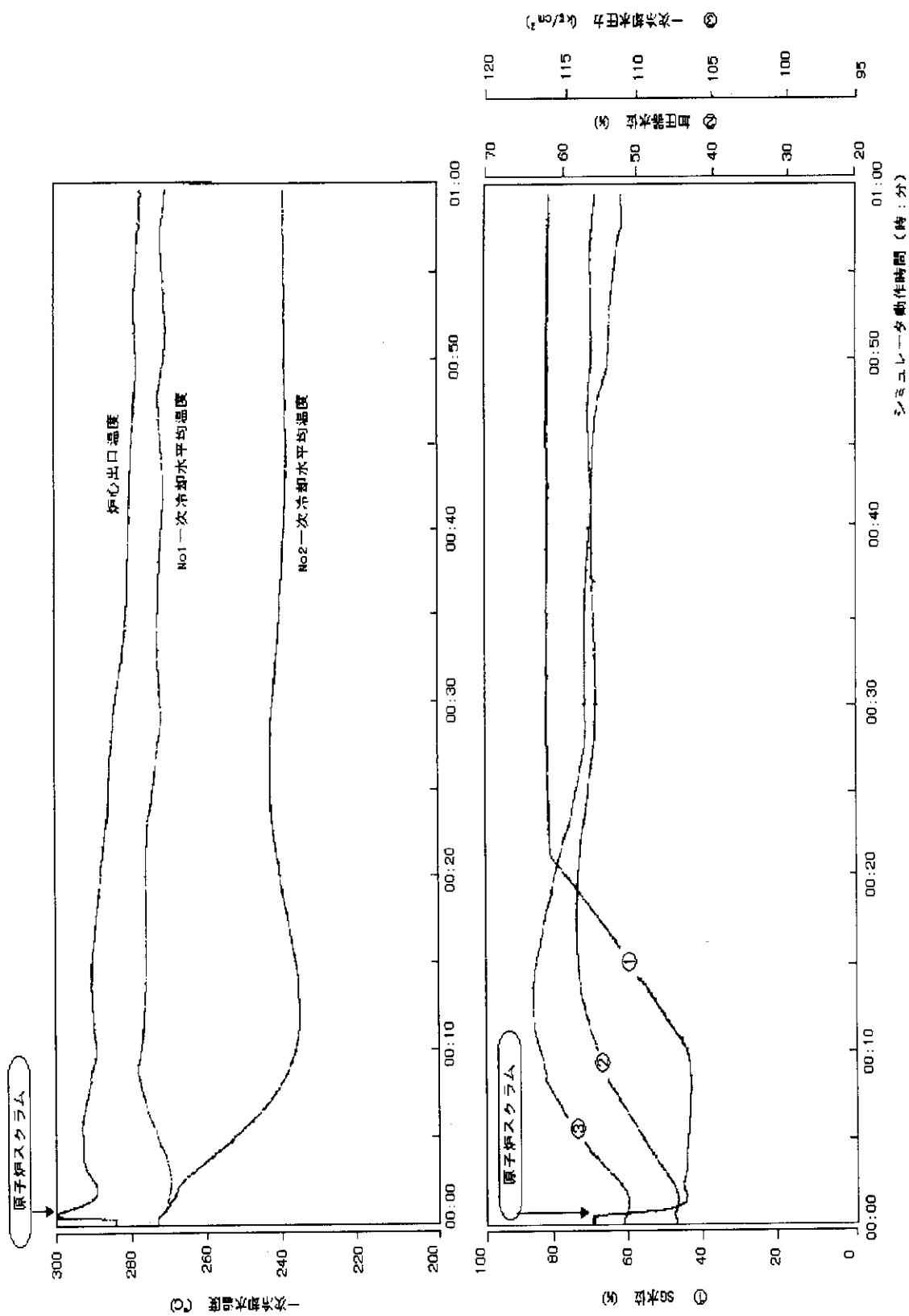


図 4.10 一次冷却水ポンプ 2 台トリップによる一次冷却水流量低スクラン時の応答

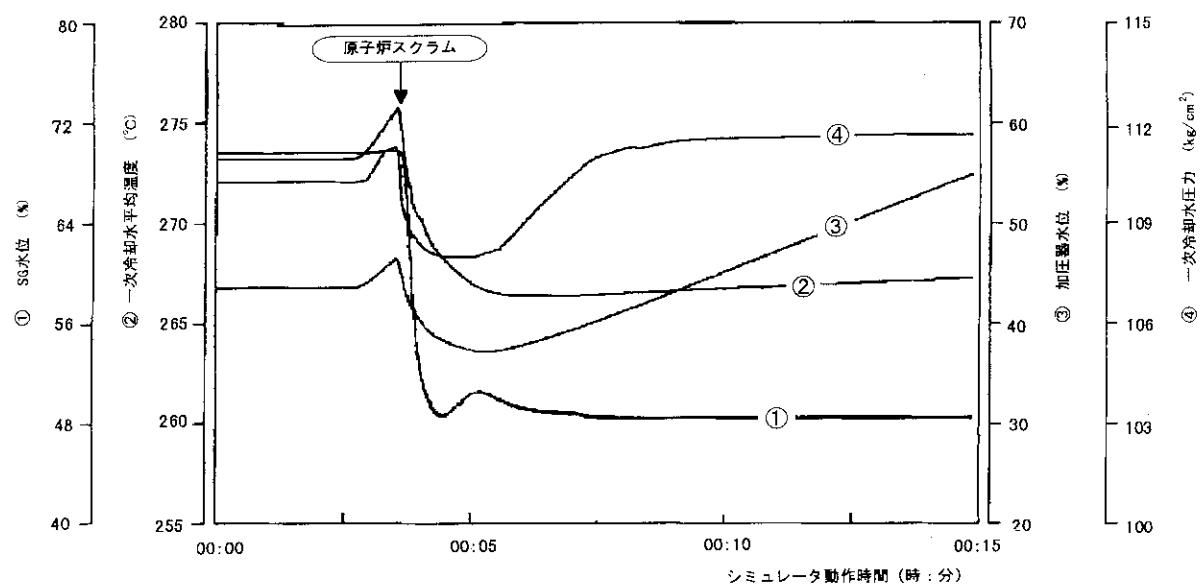


図 4.11 制御棒誤動作（異常引抜き）による出力領域出力高スクラム時の応答

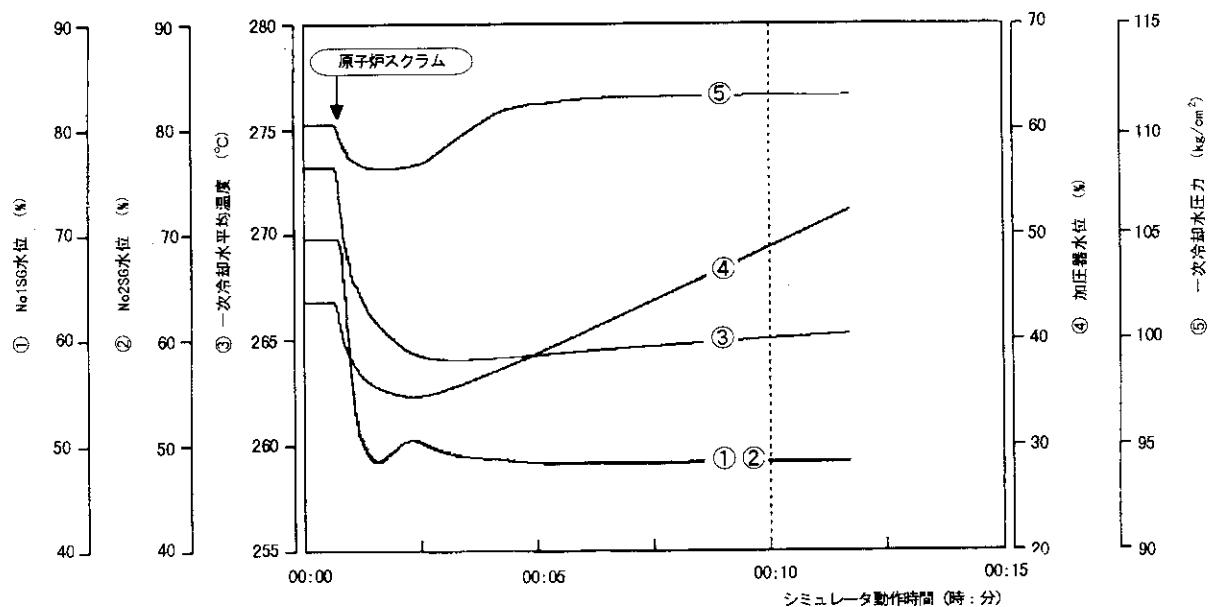


図 4.12 制御棒位置偏差過大スクラム時の応答

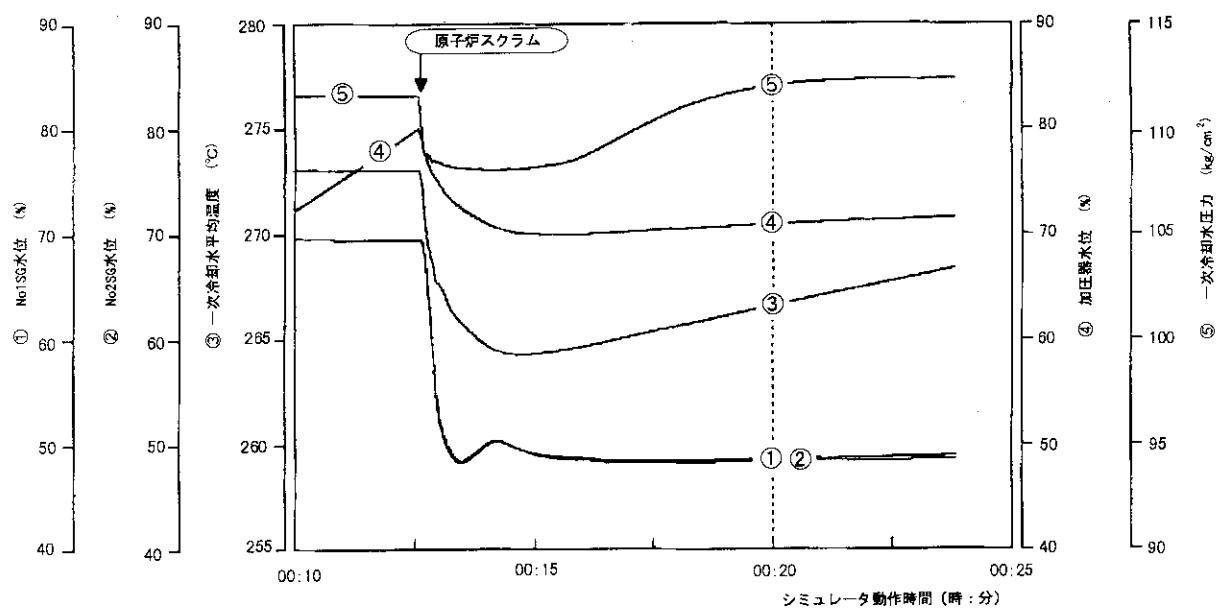


図 4.13 抽出系閉塞による加圧器水位高スクラム時の応答

付録 1

スクラム処置表

機関長
炉主任
一等機関士
当直機関士

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|----------------------|----------|--------|----------|----|--------------|-----------------------|----------|--|--|--------------------------|--------------|-------------|----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| <pre> graph TD A[スクラム発生確認] --> B[制御棒全挿入確認] B --> C[ESP作動開始確認 補発・非発起動] C --> D[各部連絡] D --> E[主機トリップ 主機操縦ハンドル操作 主機モード切替り] E --> F[MCP・主循環ポンプ 低速切替り] F --> G[電源の切替操作] G --> H[給水ポンプの切替] H --> I[モードSW 主機スクラムキャンセル ボタン操作] </pre> | <table border="1"> <tr><td>スクラム表示灯</td><td>EXCESSIVE HEEL</td><td>ROD POSITION DIFF HIGH</td><td>PZR LEVEL HIGH</td><td>MC TEMP HIGH</td><td>INTER RANGE SUR HIGH</td></tr> <tr><td>スクラム警報発信</td><td>MANUAL</td><td>ROD DROP</td><td>SI</td><td>MC PRESS LOW</td><td>POWER RANGE FLUX HIGH</td></tr> <tr><td>スクラム発生日時</td><td colspan="2"></td><td>SEAR W. RETURN TEMP HIGH</td><td>SG LEVEL LOW</td><td>MC FLOW LOW</td></tr> <tr><td>平成___年___月___日 ___時___分</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | スクラム表示灯 | EXCESSIVE HEEL | ROD POSITION DIFF HIGH | PZR LEVEL HIGH | MC TEMP HIGH | INTER RANGE SUR HIGH | スクラム警報発信 | MANUAL | ROD DROP | SI | MC PRESS LOW | POWER RANGE FLUX HIGH | スクラム発生日時 | | | SEAR W. RETURN TEMP HIGH | SG LEVEL LOW | MC FLOW LOW | 平成___年___月___日 ___時___分 | | | | | | |
| スクラム表示灯 | EXCESSIVE HEEL | ROD POSITION DIFF HIGH | PZR LEVEL HIGH | MC TEMP HIGH | INTER RANGE SUR HIGH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| スクラム警報発信 | MANUAL | ROD DROP | SI | MC PRESS LOW | POWER RANGE FLUX HIGH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| スクラム発生日時 | | | SEAR W. RETURN TEMP HIGH | SG LEVEL LOW | MC FLOW LOW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平成___年___月___日 ___時___分 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>制御棒スクラム動作確認</p> <p>(1) クラッチ電源表示灯(白) 消灯 <input type="checkbox"/> (C/R)</p> <p>(2) 制御棒下限位置表示灯(オレンジ) 点灯 <input type="checkbox"/> (C/R)</p> <p>(3) 制御棒位置指示計 0位置 <input type="checkbox"/> (C/R)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>ESP作動開始確認</p> <p>(1) No.1、No.2補助発電機起動 <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(2) 非常発電機起動 <input type="checkbox"/> (G1)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>非常呼集ブザーを鳴らす</p> <p>一等機関士 当直航海士へ連絡する <input type="checkbox"/></p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>2次系機器作動確認</p> <p>(1) 主機タービン危急停止トリップ表示灯点灯 <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(2) 主機操縦ハンドルをSTOP位置とする <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(3) 主機プラントモード切替り確認(下図による) <input type="checkbox"/> (G1)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(4) 33K 減圧弁元弁 ST-271 閉 <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(5) 造水装置加熱蒸気弁 ES-055 閉 <input type="checkbox"/> (E/R)</p> <p>(6) エゼクタ用蒸気弁 ST-246 閉 <input type="checkbox"/> (E/R)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>1次冷却水ポンプ 高速→低速切替り 主循環ポンプ 高速→低速切替り <input type="checkbox"/> (G1)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>電源の切替操作</p> <p>(1) 補助1台のACBが自動同期投入されるのを確認する <input type="checkbox"/> (GE)</p> <p>(2) 主発2台の負荷を補発へ移す <input type="checkbox"/> (GE)</p> <p>(3) 主発2台のACBを手動トリップする <input type="checkbox"/> (GE)</p> <p>(4) 主発原動機2台を手動トリップする <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(5) もう1台の補発のACBを同期投入する <input type="checkbox"/> (GE)</p> <p>(6) 非常発電機を停止する <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(7) 計装用蓄電池充電開始 <input type="checkbox"/> (GE)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>主給水ポンプから補助給水ポンプへ切替える</p> <p>(1) 主給水ポンプ停止 <input type="checkbox"/> (E/R)</p> <p>(2) CW-023-1(-2), FE-031-1(-2), FE-023-1(-2) 閉 <input type="checkbox"/> (G1)</p> <p>(3) 補助給水ポンプ起動 <input type="checkbox"/> (G1)</p> | 以後、SG水位を80%に維持する | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>運転モードスイッチをSHUT DOWNモードにする 主機スクラムキャンセルボタンを押す <input type="checkbox"/> (G)</p> | 炉出力10%未満で実施の事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| <p>⑩ 崩壊熱除去による T a v の保持</p> | | <p>崩壊熱の除去 (1) 崩壊熱復水器の通水の確認 (2) 崩壊熱ダンブラインのラインアップ (3) ST-125によるTAV の保持</p> | | <p>ST-122 ST-123 ST-124 ST-125 ST-128</p> | <input type="checkbox"/> (C/R) <input type="checkbox"/> (E/R) <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|---|--|-----|-----------------------------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-------------------|----------|-------------------|------------|-------------------|-------------|----------------------------|-----------------------|---------|----------------------------|---------|----------------------|------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------|--------------------------|---------------|----------------|---------------------------|--|---------------------------|------------|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|----------------------------|----------------|--|----------------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|--|----------------------------|--|-----------------------------|--|----------------|----------------------------|--|---------------------------|--|------------------------------|--|---------------------------|--|--------------|--|------------------------------|--|--|--------------------------|--|----------------------------------|--|-----------------------------|--|
| <p>⑪ 溶助ボイラ気體</p> | | <p>補助ボイラの気體 (1) 溶助ボイラ給水ポンプ起動 (2) 溶助ボイラ点火、自動運転</p> | | | <input type="checkbox"/> (C/R) <input type="checkbox"/> (C/R) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>⑫ 造水器の処置</p> | | <p>造水器の処置 (1) 下記の海水弁を開閉する 造水器海水入口弁 SW-151 エジェクター海水出口弁 W-3</p> | | | <input type="checkbox"/> (E/R) <input type="checkbox"/> (E/R) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>⑬ 蒸気源の切替</p> | | <p>蒸気源の切替操作 (1) ST-014 閉 (2) ST-057 閉</p> | | | <input type="checkbox"/> (C/R) <input type="checkbox"/> (C/R) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>⑭ 選択遮断機器の復旧</p> | | <p>選択負荷遮断のリセット 選択遮断によってOFFとなったNFBを下記のリストにより再投入する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト</th> </tr> <tr> <th>場所</th> <th>NFB No. & NFB 名 称</th> <th>チック</th> <th>NFB No. & NFB 名 称</th> <th>チック</th> <th>NFB No. & NFB 名 称</th> <th>チック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">主配電盤 N₁ BUS</td> <td>I-5 VIOGLASS OIL PUMP</td> <td></td> <td>I-8 NEL PROV.REF EQUIPMENT</td> <td></td> <td>I-2 POWER DIST PANEL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I-10 ES TIRE PUMP</td> <td></td> <td>I-12 NEL ACCOM. AIR COND.</td> <td></td> <td>I-3 POWER DIST P. (P-30)</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">給油室 (440 V)</td> <td>I-13 POWER DIST P. (P-20)</td> <td></td> <td>I-14 POWER DIST P. (P-20)</td> <td></td> <td>I-4 POWER DIST P. (P-40)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I-15 POWER DIST P. (P-60)</td> <td></td> <td>I-16 POWER DIST P. (P-60)</td> <td></td> <td>I-5 POWER DIST P. (P-160)</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">主配電盤 N₂ BUS</td> <td>Z-8 DECK CRANE</td> <td></td> <td>Z-11 E&R FIRE & BILGE PUMP</td> <td></td> <td>I-18 LIGHT G SEC. P. (L-45)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Z-13 NEL PROV.REF EQUIPMENT</td> <td></td> <td>Z-15 POWER DIST P. (P-140)</td> <td></td> <td>I-19 LIGHT G DIST P. (L-50)</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">給油室 (440 V)</td> <td>Z-16 POWER DIST P. (P-120)</td> <td></td> <td>Z-17 POWER DIST P. (P-50)</td> <td></td> <td>I-20 LIGHT G DIST P. (L-120)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Z-18 NEL ACCOM. AIR COND.</td> <td></td> <td>Z-20 (P-170)</td> <td></td> <td>I-21 LIGHT G DIST P. (L-110)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Z-21 ELECTRIC ARC WELDER</td> <td></td> <td>Z-23 MOON/G/CARGO WINCH OIL PUMP</td> <td></td> <td>I-22 LIGHT G SEC. P. (L-25)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | 選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト | | | | | | 場所 | NFB No. & NFB 名 称 | チック | NFB No. & NFB 名 称 | チック | NFB No. & NFB 名 称 | チック | 主配電盤 N ₁ BUS | I-5 VIOGLASS OIL PUMP | | I-8 NEL PROV.REF EQUIPMENT | | I-2 POWER DIST PANEL | | I-10 ES TIRE PUMP | | I-12 NEL ACCOM. AIR COND. | | I-3 POWER DIST P. (P-30) | | 給油室 (440 V) | I-13 POWER DIST P. (P-20) | | I-14 POWER DIST P. (P-20) | | I-4 POWER DIST P. (P-40) | | I-15 POWER DIST P. (P-60) | | I-16 POWER DIST P. (P-60) | | I-5 POWER DIST P. (P-160) | | 主配電盤 N ₂ BUS | Z-8 DECK CRANE | | Z-11 E&R FIRE & BILGE PUMP | | I-18 LIGHT G SEC. P. (L-45) | | Z-13 NEL PROV.REF EQUIPMENT | | Z-15 POWER DIST P. (P-140) | | I-19 LIGHT G DIST P. (L-50) | | 給油室 (440 V) | Z-16 POWER DIST P. (P-120) | | Z-17 POWER DIST P. (P-50) | | I-20 LIGHT G DIST P. (L-120) | | Z-18 NEL ACCOM. AIR COND. | | Z-20 (P-170) | | I-21 LIGHT G DIST P. (L-110) | | | Z-21 ELECTRIC ARC WELDER | | Z-23 MOON/G/CARGO WINCH OIL PUMP | | I-22 LIGHT G SEC. P. (L-25) | |
| 選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 場所 | NFB No. & NFB 名 称 | チック | NFB No. & NFB 名 称 | チック | NFB No. & NFB 名 称 | チック | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 主配電盤 N ₁ BUS | I-5 VIOGLASS OIL PUMP | | I-8 NEL PROV.REF EQUIPMENT | | I-2 POWER DIST PANEL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I-10 ES TIRE PUMP | | I-12 NEL ACCOM. AIR COND. | | I-3 POWER DIST P. (P-30) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 給油室 (440 V) | I-13 POWER DIST P. (P-20) | | I-14 POWER DIST P. (P-20) | | I-4 POWER DIST P. (P-40) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I-15 POWER DIST P. (P-60) | | I-16 POWER DIST P. (P-60) | | I-5 POWER DIST P. (P-160) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 主配電盤 N ₂ BUS | Z-8 DECK CRANE | | Z-11 E&R FIRE & BILGE PUMP | | I-18 LIGHT G SEC. P. (L-45) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Z-13 NEL PROV.REF EQUIPMENT | | Z-15 POWER DIST P. (P-140) | | I-19 LIGHT G DIST P. (L-50) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 給油室 (440 V) | Z-16 POWER DIST P. (P-120) | | Z-17 POWER DIST P. (P-50) | | I-20 LIGHT G DIST P. (L-120) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Z-18 NEL ACCOM. AIR COND. | | Z-20 (P-170) | | I-21 LIGHT G DIST P. (L-110) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Z-21 ELECTRIC ARC WELDER | | Z-23 MOON/G/CARGO WINCH OIL PUMP | | I-22 LIGHT G SEC. P. (L-25) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <p>選択遮断により停止した機器を下記のリストにより復旧する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト</th> </tr> <tr> <th>操作場所</th> <th>機 器 名 称</th> <th>チック</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">制御室</td> <td>サニタリーポンプ（使用中）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>清掃ポンプ（使用中）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ポンプ室</td> <td>清掃用冷凍機（使用中）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>換気室</td> <td>温水循環ポンプ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>換気室</td> <td>糧食庫・ポンプ室用排気ファン</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">管理区域</td> <td>C/V ガスダストモニター瓶1サンプリングポンプ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>通風換気室</td> <td>よう素・トリチウムサンプリング装置</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">計測室</td> <td>計測室ユニットクーラー</td> <td></td> </tr> <tr> <td>居住区</td> <td>衛生区域用排気ファン</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>居住区空調機（使用中）</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | 選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト | | | 操作場所 | 機 器 名 称 | チック | 制御室 | サニタリーポンプ（使用中） | | 清掃ポンプ（使用中） | | ポンプ室 | 清掃用冷凍機（使用中） | | 換気室 | 温水循環ポンプ | | 換気室 | 糧食庫・ポンプ室用排気ファン | | 管理区域 | C/V ガスダストモニター瓶1サンプリングポンプ | | 通風換気室 | よう素・トリチウムサンプリング装置 | | 計測室 | 計測室ユニットクーラー | | 居住区 | 衛生区域用排気ファン | | | 居住区空調機（使用中） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 選 技 食 料 運 新 N F B 復 旧 リ ス ト | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作場所 | 機 器 名 称 | チック | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 制御室 | サニタリーポンプ（使用中） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 清掃ポンプ（使用中） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ポンプ室 | 清掃用冷凍機（使用中） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 換気室 | 温水循環ポンプ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 換気室 | 糧食庫・ポンプ室用排気ファン | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 管理区域 | C/V ガスダストモニター瓶1サンプリングポンプ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 通風換気室 | よう素・トリチウムサンプリング装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 計測室 | 計測室ユニットクーラー | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 居住区 | 衛生区域用排気ファン | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 居住区空調機（使用中） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>⑮ プラント状態の最終確認</p> | | <p>プラント状態の確認をする</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>核 計 装</th> <th>線源領域計数率</th> <th>/ (CPS)</th> <th>NI-1/NI-2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">一次冷却系統</td> <td>線源領域起動率</td> <td>/ (DPM)</td> <td>NI-1/NI-2</td> </tr> <tr> <td>コールドレグ温度</td> <td>/ (°C)</td> <td>MC-9/MC-10</td> </tr> <tr> <td>炉内温度</td> <td>(°C)</td> <td>IC-5(CH25)</td> </tr> <tr> <td>加压器液相温度</td> <td>(°C)</td> <td>MC-13</td> </tr> <tr> <td>一次冷却水压力</td> <td>(kg/cm²)</td> <td>MC-16/DR-6</td> </tr> <tr> <td>加压器压力</td> <td>(kg/cm²)</td> <td>MC-17/MC-18</td> </tr> <tr> <td>加压弱水位</td> <td>/ (%)</td> <td>MC-26A/MC-27A</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | 核 計 装 | 線源領域計数率 | / (CPS) | NI-1/NI-2 | 一次冷却系統 | 線源領域起動率 | / (DPM) | NI-1/NI-2 | コールドレグ温度 | / (°C) | MC-9/MC-10 | 炉内温度 | (°C) | IC-5(CH25) | 加压器液相温度 | (°C) | MC-13 | 一次冷却水压力 | (kg/cm²) | MC-16/DR-6 | 加压器压力 | (kg/cm²) | MC-17/MC-18 | 加压弱水位 | / (%) | MC-26A/MC-27A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 核 計 装 | 線源領域計数率 | / (CPS) | NI-1/NI-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 一次冷却系統 | 線源領域起動率 | / (DPM) | NI-1/NI-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | コールドレグ温度 | / (°C) | MC-9/MC-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 炉内温度 | (°C) | IC-5(CH25) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 加压器液相温度 | (°C) | MC-13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 一次冷却水压力 | (kg/cm²) | MC-16/DR-6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 加压器压力 | (kg/cm²) | MC-17/MC-18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 加压弱水位 | / (%) | MC-26A/MC-27A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

付録 2

自動化システム動作プログラム

| NO1補助給水ボンプ停止操作、a procedure | | NO1補助給水制御命令操作、a procedure | |
|--|------------------------------|---|------------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu (26 Sep 1996 6:46 p.m.) | Authors | yabu (14 Oct 1996 1:53 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| <pre> NO1補助給水ボンプ停止操作() check1:integer; begin inform the operator that 'NO1補助給水制御命令操作 start'; conclude that NO1補助給水ボンプ-STOP投入 = 1; repeat collect data check1 = NO1補助給水制御命令投入; end, wait for 1 second; if check1 = 0 then begin conclude that NO1補助給水制御命令-CLOSE投入 = 0; end; wait for 5 seconds; end; tag-1: end; </pre> | | | |

NO1主系統ACB過濾操作.a procedure

| Notes | OK | Notes | OK |
|---|------------------------------|---|-----------------------------|
| Authors | yabu (2 Sep 1996 10:52 a.m.) | Authors | yabu (3 Sep 1996 3:10 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| NO1主系統ACB過濾操作 check1, check2, check3:integer; begin repeat conclude that NO1主系統ACB-AUTO投入 = 0; collect data check1 = NO1主系統ACB-AUTO表示; end; wait for 2 seconds; if check1 = 1 then conclude that NO1主系統ACB-AUTO投入 = 1 else if check1 = 0 then go to tag-1; wait for 5 seconds; end; tag-1: conclude that NO1主系統ACB-AUTO投入 = 0; repeat conclude that NO1主系統ACB-OPEN投入 = 0; collect data check2 = NO1主系統ACB-OPEN表示; end; wait for 1 second; if check2 = 1 then go to tag-2; conclude that NO1主系統ACB-OPEN投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO1主系統ACB-OPEN投入 = 0; wait for 5 seconds; end; tag-2: end | | | |

| NO2主用ACB遮断操作,a procedure | | NO2主用ACB停止操作,a procedure | |
|--|------------------------------|---|-----------------------------|
| | Notes | | Notes |
| Authors | Yabu (2 Sep 1996 10:57 a.m.) | Authors | Yabu (3 Sep 1996 2:36 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| NO2主用ACB遮断操作 check1, check2, check3: integer; begin repeat conclude that NO2主用ACB-AUTO输入 = 0; collect data check1 = NO2主用ACB-AUTO显示; end; collect data check1 = NO2主用ACB-AUTO输入; wait for 2 seconds; if check1 = 1 then conclude that NO2主用ACB-AUTO输入 = 1; else if check1 = 0 then go to tag-1; wait for 5 seconds; end; tag-1: conclude that NO2主用ACB-AUTO输入 = 0; repeat conclude that NO2主用ACB-OPEN输入 = 0; collect data check2 = NO2主用ACB-OPEN显示; end; wait for 1 second; if check2 = 1 then go to tag-2; conclude that NO2主用ACB-OPEN输入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO2主用ACB-OPEN输入 = 0; wait for 5 seconds; end; tag-2: end | | | |

| NO1主給水ポンプ停止操作, a procedure | | NO2主給水ポンプ停止操作, a procedure | |
|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu(2 Sep 1996 11:01 a.m.) | Authors | yabu(2 Sep 1996 11:03 a.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |

```

NO1主給水ポンプ停止操作()
check1:integer;
begin
repeat
conclude that NO1主給水ポンプ-STOP投入 = 0;
collect data check1 = NO1主給水ポンプ-STOP表示#;
end;
wait for 2 second;
if check1 = 1 then go to tag-1;
conclude that NO1主給水ポンプ-STOP投入 = 1;
wait for 2 seconds;
conclude that NO1主給水ポンプ-STOP投入 = 0;
wait for 5 second;
end;

tag-1:
end

```


| NO1主給水ポンプ停止操作, a procedure | |
|---|-----------------------------|
| Notes | OK |
| Authors | yabu(2 Sep 1996 11:01 a.m.) |
| Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default |

```

NO2主給水ポンプ停止操作()
check1:integer;
begin
repeat
conclude that NO2主給水ポンプ-STOP投入 = 0;
collect data check1 = NO2主給水ポンプ-STOP表示#;
end;
wait for 2 second;
if check1 = 1 then go to tag-1;
conclude that NO2主給水ポンプ-STOP投入 = 1;
wait for 2 seconds;
conclude that NO2主給水ポンプ-STOP投入 = 0;
wait for 5 second;
end;

tag-1:
end

```

G2

主蒸気発生器止-STOP14全開放, a procedure

| Notes | OK |
|---|-----------------------------|
| Authors | yabu (6 Nov 1996 1:20 p.m.) |
| Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default |

主蒸気発生器止-ST014全開放{()

check1,check2:integer;

begin

repeat

collect data

check1 = 主蒸気発生器止-ST014-CLOSE表示;

check2 = 主蒸気発生器止-ST014-OPEN表示;

end;

wait for 2 seconds;

if check1 = 1 and check2 = 1 then go to tag-1;

conclude that 主蒸気発生器止-ST014-CLOSE投入 = 1;

wait for 5 seconds;

conclude that 主蒸気発生器止-ST014-CLOSE投入 = 0;

wait for 10 seconds;

end;

tag-1:

end

end

end

wait for 2 second;

if check2 = 1 then go to tag-2;

conclude that 主蒸気発生器止-ST014投入 = 1;

wait for 2 seconds;

conclude that 主蒸気発生器止-ST014投入 = 0;

wait for 5 seconds;

end;

tag-2:

end

主蒸気発生器止-STOP14, a procedure

| Notes | OK |
|---|------------------------------|
| Authors | yabu (2 Sep 1996 11:07 a.m.) |
| Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default |

主蒸気発生器止-STOP属性0

check1,check2,check3:integer;

begin

repeat

conclude that 主蒸気発生器止-STOP属性0

collect data

check1 = 主蒸気発生器止-STOP表示;

end;

wait for 2 seconds;

if check1 = 1 then go to tag-1;

conclude that 主蒸気発生器止-STOP投入 = 1;

wait for 2 seconds;

conclude that 主蒸気発生器止-STOP投入 = 0;

wait for 5 seconds;

end;

tag-1:

repeat

conclude that 主蒸気発生器止-STOP属性0

collect data

check2 = 主蒸気発生器止-STOP表示;

end;

wait for 2 second;

if check2 = 1 then go to tag-2;

conclude that 主蒸気発生器止-STOP投入 = 1;

wait for 2 seconds;

conclude that 主蒸気発生器止-STOP投入 = 0;

wait for 5 seconds;

end;

tag-2:

end

| 原子炉SHUT-DOWN操作, a procedure | | NO1補助ACB入力操作, a procedure | |
|--|------------------------------|---|------------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu (14 Nov 1996 5:07 p.m.) | Authors | yabu (2 Sep 1996 10:42 a.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| <pre> NO1補助ACB入力操作 check1, check2, check3: integer; begin repeat conclude that NO1補助死電機用ACB-AUTO投入 = 0; collect data check1 = NO1補助死電機用ACB-AUTO投入; end; wait for 2 seconds; if check1 = 1 then conclude that NO1補助死電機用ACB-AUTO投入 = 1 else if check1 = 0 then go to tag-1; wait for 5 seconds; end; tag-1: conclude that NO1補助死電機用ACB-AUTO投入 = 0; repeat conclude that NO1補助死電機用ACB-CLOSE投入 = 0; collect data check2 = NO1補助死電機用ACB-CLOSE投入; end; wait for 1 second; if check2 = 1 then go to tag-2; conclude that NO1補助死電機用ACB-CLOSE投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO1補助死電機用ACB-CLOSE投入 = 0; wait for 5 seconds; end; tag-2: end </pre> | | | |

NO2補助給水制御並行操作,a procedure

| Notes | OK |
|---|------------------------------|
| Authors | yabu (2 Sep 1996 10:43 a.m.) |
| Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default |

```

NO2補助給水制御並行操作()
begin
  check1, check2, check3: integer;
repeat
  conclude that NO2補助給水制御用ACB-AUTO投入 = 0;
  collect data check1 = NO2補助給水制御用ACB-AUTO表示;
end;
  wait for 2 seconds;
if check1 = 1 then conclude that NO2補助給水制御用ACB-AUTO投入 =
  1
else if check1 = 0 then go to tag-1;
  wait for 5 seconds;
end;
conclude that NO2補助給水制御用ACB-AUTO投入 = 0;

```

```

repeat
  conclude that NO2補助給水制御用ACB-CLOSE投入 = 0;
  collect data check2 = NO2補助給水制御用ACB-CLOSE表示灯;
end;
  wait for 1 second;
if check2 = 1 then go to tag-2;
  conclude that NO2補助給水制御用ACB-CLOSE投入 = 1;
  wait for 2 seconds;
  conclude that NO2補助給水制御用ACB-CLOSE投入 = 0;
  wait for 5 seconds;
tag-1:
end;
tag-2:
end

```

NO1補助給水制御並行操作,a procedure

| Notes | OK |
|---|------------------------------|
| Authors | yabu (18 Nov 1996 2:44 p.m.) |
| Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default |

```

NO1補助給水制御並行操作()
begin
  check1, check2: integer;
repeat
  conclude that NO1補助給水制御並行操作 = 1;
  wait for 5 seconds;
  conclude that NO1補助給水制御並行操作 = 0;
  wait for 2.0 seconds;
  conclude that NO1補助給水制御並行操作 = 0;
inform the operator that 'NO1補助給水制御並行操作'実行'
end

```

```

repeat
  conclude that NO2補助給水制御並行操作 = 0;
  collect data check2 = NO2補助給水制御並行操作表示灯;
end;
  wait for 1 second;
if check2 = 1 then go to tag-2;
  conclude that NO2補助給水制御並行操作 = 1;
  wait for 2 seconds;
  conclude that NO2補助給水制御並行操作 = 0;
  wait for 5 seconds;
tag-1:
end;
tag-2:
end

```

| NO2補助給水制御実験操作, a procedure | | NO1補助給水ボンブ起動操作, a procedure | |
|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| | Notes | | Notes |
| Authors | OK yabu (18 Nov 1996 2:45 p.m.) | Authors | OK yabu (26 Sep 1996 6:44 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| <pre> NO2補助給水制御実験操作() check1, check2: integer; begin wait for 5 seconds; conclude that NO2補助給水制御弁-OPEN投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO2補助給水制御弁-OPEN投入 = 0; end inform the operator that 'NO2補助給水制御弁開閉操作プロシージュ実行' </pre> | | | |
| <pre> no1補助給水ボンブ起動操作() check1: integer; begin repeat collect data check1 = NO1補助給水ボンブ-AUTO表示; end, wait for 1 second; if check1 = 0 then go to tag-1; conclude that NO1補助給水ボンブ-AUTO投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO1補助給水ボンブ-AUTO投入 = 0; wait for 5 seconds; end; tag-1: conclude that NO1補助給水ボンブ-RUN投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO1補助給水ボンブ-RUN投入 = 0; end </pre> | | | |

| NO2補助給水制御実行操作, a procedure | | 崩壊熱ダンプ制御弁10バーセント開閉操作, a procedure | |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu (14 Oct 1996 1:54 p.m.) | Authors | yabu (6 Dec 1996 10:43 a.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| 崩壊熱ダンプ制御弁10バーセント開閉操作() begin check1: integer; begin inform the operator that 'NO2補助給水制御操作 start!'; conclude that 崩壊熱ダンプ制御弁-増投入 = 1; wait for 5 seconds; conclude that 崩壊熱ダンプ制御弁-増投入 = 0; end repeat collect data check1 = NO2補助給水制御弁開閉信号; end, wait for 1 second; if check1 = 0 then begin conclude that NO2補助給水制御弁-CLOSE投入 = 0; go to tag-1; end, wait for 5 seconds; end; tag-1: end; | | | |

| 新規熱ダンプ制御系20バーセント開限(4, a procedure) | | 新規熱ダンプ制御系30バーセント開限(4, a procedure) | |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu (26 Nov 1996 2:49 p.m.) | Authors | yabu (6 Dec 1996 10:42 a.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| 新規熱ダンプ制御系30バーセント開限(4) <pre> begin wait for 5 seconds; conclude that 熱ダップルアケート投入 = 1; wait for 5 seconds; conclude that 熱ダップルアケート投入 = 0; end </pre> | | | |

| 前導熱ダンプ制御命令実行操作: a procedure | | NO2補助給水ポンプ起動操作: a procedure | |
|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|
| | Notes | | Notes |
| Authors | OK yabu (14 Nov 1996 10:19 a.m.) | Authors | OK yabu (11 Nov 1996 8:56 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |

| 前導熱ダンプ制御命令実行操作: a procedure | |
|---|------------------|
| begin | no2補助給水ポンプ起動操作() |
| conclude that 前導熱ダンプ手-法入 = 1; | |
| wait until 前導熱ダンプ手-法入 = 0; checking every 1 second; | |
| conclude that 前導熱ダンプ手-法入 = 0; | |
| end | |

| NO2補助給水ポンプ起動操作: a procedure | |
|-------------------------------------|------------------|
| begin | no2補助給水ポンプ起動操作() |
| check1: integer; | |
| begin | |
| repeat | |
| collect data | |
| check1 = NO2補助給水ポンプ-AUTO表示; | |
| end; | |
| wait for 1 second; | |
| if check1 = 0 then go to lag-1; | |
| conclude that NO2補助給水ポンプ-AUTO入 = 1; | |
| wait for 2 seconds; | |
| conclude that NO2補助給水ポンプ-AUTO入 = 0; | |
| wait for 5 seconds; | |
| end; | |
| lag-1: | |
| conclude that NO2補助給水ポンプ-RUN入 = 1; | |
| wait for 2 seconds; | |
| conclude that NO2補助給水ポンプ-RUN入 = 0; | |
| end | |

| NO2補助給水ポンプ停止操作, a procedure | | 補助給水ポンプ再循環并手動開30秒作, a procedure | |
|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu(26 Sep 1996 6:48 p.m.) | Authors | yabu(18 Nov 1996 2:44 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| <pre> 補助給水ポンプ再循環并手動開30秒作() begin wait for 5 seconds; conclude that 補助給水ポンプ再循環弁-MAN投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO2補助給水ポンプ-STOP投入 = 0; end </pre> | | | |
| <pre> begin conclude that NO2補助給水ポンプ-STOP投入 = 1; wait for 2 seconds; conclude that NO2補助給水ポンプ-STOP投入 = 0; end conclude that 補助給水ポンプ再循環弁-MV-INC投入 = 1; wait for 7 seconds; conclude that 補助給水ポンプ再循環弁-MV-INC投入 = 0; end </pre> | | | |

| NO1給水制御弁手動全開操作, a procedure | | NO2給水制御弁手動全開操作, a procedure | |
|--|------------------------------|--|------------------------------|
| Notes | OK | Notes | OK |
| Authors | yabu (15 Oct 1996 1:57 p.m.) | Authors | yabu (15 Oct 1996 2:00 p.m.) |
| Item configuration | none | Item configuration | none |
| Tracing and breakpoints | default | Tracing and breakpoints | default |
| Class of procedure invocation | none | Class of procedure invocation | none |
| Default procedure priority | 6 | Default procedure priority | 6 |
| Uninterrupted procedure execution limit | use default | Uninterrupted procedure execution limit | use default |
| NO1給水制御弁手動全開操作() | | NO2給水制御弁手動全開操作() | |
| check1: integer; | | check1: integer; | |
| begin | | begin | |
| conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | |
| wait for 2 seconds; | | wait for 2 seconds; | |
| conclude that NO1主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | |
| wait for 2 seconds; | | wait for 2 seconds; | |
| repeat | | repeat | |
| collect data | | collect data | |
| check1 = NO1主給水制御弁制御器-MAN表示; | | check1 = NO2主給水制御弁制御器-MAN表示; | |
| begin | | end; | |
| end; | | wait for 2 second; | |
| wait for 2 second; | | if check1 = 1 then go to tag-1; | |
| if check1 = 1 then go to tag-1; | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | |
| conclude that NO1主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | | wait for 2 seconds; | |
| wait for 2 seconds; | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | |
| conclude that NO1主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | | wait for 2 seconds; | |
| wait for 2 seconds; | | end; | |
| end; | | tag-1: | |
| tag-1: | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | |
| conclude that NO1主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 1; | | wait until NO2主給水制御弁制御器-MV值 <= 1.0e-6 checking every 2 | |
| wait until NO1主給水制御弁制御器-MV值 <= 1.0e-6 checking every 2 | | seconds; | |
| seconds; | | conclude that NO2主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | |
| conclude that NO1主給水制御弁制御器-MAN 段入 = 0; | | end | |
| end | | | |