

## 自律分散協調機能監視システムの研究

松岡 猛<sup>\*</sup>、沼野 正義<sup>\*</sup>、染谷 実<sup>\*</sup>、福戸 淳司<sup>\*</sup>

三友 信夫<sup>\*</sup>、宮崎 恵子<sup>\*</sup>、松倉 洋史<sup>\*</sup>、丹羽 康之<sup>\*</sup>

高橋 将人<sup>\*\*</sup>

### A Study on the Observation System for Autonomous, Distributed and Cooperative Function in a Future Type Nuclear Power Plant

by

Takeshi MATSUOKA, Masayoshi NUMANO, Minoru SOMEYA

Junji FUKUTO, Nobuo MITOMO, Keiko MIYAZAKI

Hiroshi MATSUKURA, Yasuyuki NIWA and Masato TAKAHASHI

#### Abstract

The concept of advanced future plants are discussed by five research institutes; Ship Research Institute, Electrotechnical laboratory, The Institute of physical and chemical research, Japan atomic energy research institute, and Power reactor and nuclear fuel development corporation (Cross-over group). And, an autonomous plant is identified as a future type plant. In this future type plant, there are many agents that consist plant sub-systems or plant components and have artificial intelligence. They are distributed in plant and have autonomous functions, and cooperate each other to establish total plant function. Even if the plant has autonomous function, human operators have to always watch the plant state. Therefore, the needs of the observation system for autonomous, distributed, and cooperative functions are strongly required. The present paper has presented a new idea about the observation system, and developed fundamental functions for this observation system, that is, plant function model, auto-classification of plant states, three dimensional graphical display, expression of robot group's activity. Also, autonomous plant simulator has been developed for this research activity. Finally, the effectiveness of this observation system has been evaluated by experiments of operator's reaction to this system.

---

原稿受付 平成12年10月25日

審査済 平成12年12月13日

## 目次

1. 序論
2. 自律プラントの構成
  - 2.1. エージェントの働き
  - 2.2. 自律分散協調機能監視システム
3. 要素研究
  - 3.1. 自律型原子力プラントシミュレータの開発
    - 3.1.1. シミュレータの基本構成
    - 3.1.2. シミュレータの運転制御
    - 3.1.3. シナリオ編集機能の整備
    - 3.1.4. 自律機能の編集機能
    - 3.1.5. 自律機能動作状態の表現
  - 3.2. プラント模型
  - 3.3. 三次元画像によるプラント状態表示
    - 3.3.1. 計算機環境
    - 3.3.2. 三次元画像基本構成機器
    - 3.3.3. 三次元画像表示インターフェース部
    - 3.3.4. 異常状態の注意喚起方法
    - 3.3.5. PWR プラント・シミュレータ、プラント模型との結合
  - 3.4. プラント機能モデル
    - 3.4.1. 基本構成
    - 3.4.2. プラント状態の判断機能
    - 3.4.3. プラント模型との接続
  - 3.5. プラント状態自動分類機能
    - 3.5.1. COBWEB について
    - 3.5.2. COBWEB の基本操作
    - 3.5.3. COBWEB による分類
    - 3.5.4. 連続データの分類
    - 3.5.5. プラント模型との接続
    - 3.5.6. プラント状態自動分類機能まとめ
  - 3.6. ロボット群動作状況の表示
    - 3.6.1. ロボット群行動のシミュレーション
    - 3.6.2. 個々のロボット行動
    - 3.6.3. 巡回点検のアルゴリズム
    - 3.6.4. ロボット行動の表示
4. 統合管理システム
  - 4.1. システム構成
  - 4.2. 総合評価実験
    - 4.2.1. PWR プラントシミュレータと結合しての実験
    - 4.2.2. 実験結果
    - 4.2.3. プラント模型と結合しての実験
    - 4.2.4. 実験結果
  - 4.3. 改良点

## 4.4. 総合評価実験まとめ

## 5. 結言

## 参考文献

## 1. 序論

本報告は、平成6年度～平成10年度において原子力基盤総合的研究（クロスオーバー研究）により実施した将来型の自律型プラントを対象とした自律分散協調機能監視システムの研究成果についての報告である。将来型プラントを対象とした知的マン・マシン・インターフェース技術の研究を同じくクロスオーバー研究により平成元年度～5年度にわたり実施したが、本研究はその成果を受けての第二期5年間の研究である。クロスオーバー研究には船舶技術研究所、日本原子力研究所、動力炉核燃料開発事業団（現核燃料サイクル機構）、理化学研究所、電子技術総合研究所の5機関が参加し、互いに協調して研究を進めた。各機関の分担は、船舶技術研究所はマン・マシン・インターフェース分野、日本原子力研究所は遠隔操作ロボット、動力炉核燃料開発事業団（現核燃料サイクル機構）は知的運転制御システム分野、理化学研究所は保守点検システムおよび保全用小型ロボット群、電子技術総合研究所は能動センシングシステム及びロボット技術である。さらに、電力会社、プラント製造企業、コンピュータ会社、大学等の専門家の参加した研究交流委員会でのアドバイスも適時受けてきた。

自律型プラントの実現により、ヒューマン・エラーを可能な限り排除した安全性の高い、稼働率・信頼性の高いプラントが達成できると考えられている。自律型プラントは人工知能技術の応用により自分自身で各種の判断を下しながら自律的に運転継続、非常時対策等を実施していく。このようなプラントの構成として、プラント内各所に人工知能要素（エージェント）が分散したマルチ・エージェント・システムを想定している。このエージェントには自律ロボットも含まれ、保守作業をもプラント自身の判断により実施可能な体系となっている。

この自律型プラントにおいても、プラント運転によりもたらされる結果に責任を持つのはあくまでも人間であるべきと考えられている。つまり、通常運転時における発電出力の設定には電力需要条件、経済的条件を加味する必要がある。また、非常時における対応には政治的判断が大きく関与してくる。さらに、人間の設計した工学システムがあらゆる事態をあらかじめ想定できるとは考えにくい。この様な場合に人間が臨機応変にプラント運転に介入し、対処

することが必要となる。そのためには自律型プラントといえどもマン・マシン・インターフェイスが必要となってくる。人間の役割は既存プラントにおける運転員というよりは運転管理者としての立場となる。

しかし、高度に自律化されたプラントでは、それぞれのエージェントの動作は複雑な論理に従い、エージェント間の協調動作、フィードバック効果も存在しており、プラント全体としての動作がブラックボックス化してしまう危が常に指摘されて来ている。

このような自律型プラントにおけるマン・マシン・インターフェイスの重要な機能としてプラント状態を必要に応じて容易に観察・把握し、人工知能の援助のもとに大所・高所の判断・決定・操作が行えることが挙げられる。本研究においては、プラント運転及びロボット群の活動を含む自律分散協調機能が適正に機能しているかを監視するシステムに着目し、各所に分散した人工知能要素（エージェント）間の協調、判断過程、判断結果等を運転管理者に透過性が高く、運転管理者の望む任意のレベル（動作の概念的把握から各機器の状態まで）で提供するシステム技術の開発を行った<sup>(1)(2)</sup>。

具体的には要素技術の研究、システム化技術、及びクロスオーバー研究に参加している他機関の研究との統合化についても検討を行い、以下に示す6項目に沿って実施した。

- ①自律機能の階層的な表現技術の研究
- ②分散協調機能の動作状態の表現技術の研究
- ③意志決定過程の表現技術の研究
- ④運転制御システムとの統合
- ⑤保全システムとの統合
- ⑥総合的評価実験

これにより、自律化されたプラントとロボットという機械系におけるブラックボックス化を防止するとともに、新しい形で人間と機械系との係わり方を明らかにしていき、将来実現するであろう自律型プラントにおける重要な要素技術として活用されることを期待している。

## 2. 自律型プラントの構成

自律型プラントの機能構成としては、運転制御、保全作業共それぞれの部分システムが階層的、協調的な動作を行うと想定した。複雑なシステムを相互関係の比較的少ないより単純なサブ・システムの結合とし、解析や設計を見通し良く容易に実施できることを念頭に置いた。通常運転時には各サブ・システムはある程度独立して機能している。異常時、事故時等には必要に応じて相互作用の程度を増やした協調動作、或いは機能の動的な再構成の実施等が行われる。また、分散システムであるので、危険分散、自己診

断、保守の局所化の面でも優れている。さらに、信頼性向上のため、単一機能に対して異なる方式に基づく冗長系を各所に導入することも考えられる。

このような自律型プラントにおいて事故時の対応まで含めた全ての動作を機械システムにまかせてしまうわけにはいかない。人間（運転管理者）は常にプラント状態を透明性を持って監視し、必要とあらば容易にプラント運転に介入出来るシステム構成となっている必要がある。これら各種エージェントの関連を示したのが図1であり<sup>(3)</sup>、運転操作グループ、プラント運転制御部分、自律ロボット群が互いに密接に関連して全体として自律型プラントを構成している。図中薄色の矢印は階層関係を、濃い矢印は協調関係を表している。本研究はそれらの動作状況の表現を目標としている。

### 2.1. エージェントの働き

これら運転操作グループ、プラント運転制御部、ロボット群をそれぞれ自律的に動作するエージェント群として捉える考えが広まってきている。

ここでエージェントについて考察してみる<sup>(4)</sup>。エージェントとは大規模複雑なシステム中に存在する自律的な機能を持った最小単位と設定されている。

エージェントは、自律的、反動的であり、人間（これもエージェントの一種と考えることができる）あるいは他のエージェントと情報交換ができる能力、自分の行動を環境に適合して変化させる能力を備えていると定義されている。また、人工知能研究の立場からは、信念、欲望、意図を持ち、計画立案能力、学習能力、環境適合能力を持っていると捉えられている。エージェントを機能の面から捉えて分類すると、ガイド、注意喚起、モニター、協調者、忠告者、代行者に分けられる。別の観点からの分類では、ユーザーのプログラムしたエージェント、自律的人工知能タイプのエージェント、学習していくエージェントとなる。

エージェントが備えるべき性質の一つに環境適合性（アダプティブ）が挙げられている。単なる自動制御でないより柔軟な自律システムとしてはアダプティブな機能が必要とされる。アダプティブ・システムとは他のシステム・人間との相互作用の結果、自分の状態・行動を変化・適合していく能力のあるシステムのことである。そのための基本機能として他のシステムから信号を取得し、処理する事が要求される。更により高度の能力としては、自分自身のモデルを持っており、どの部分を変更・改良すれば良いか知っている必要がある。しかも、このモデルは意図レベル、物理的性質レベル、概念的構造レベル等の異なった複数のモデルである必要がある。また、他のシステムのモデルを保持・認識しており、相互作用による取得情報量の増大に伴いそのモデルの姿は発展していく。インターフェースお

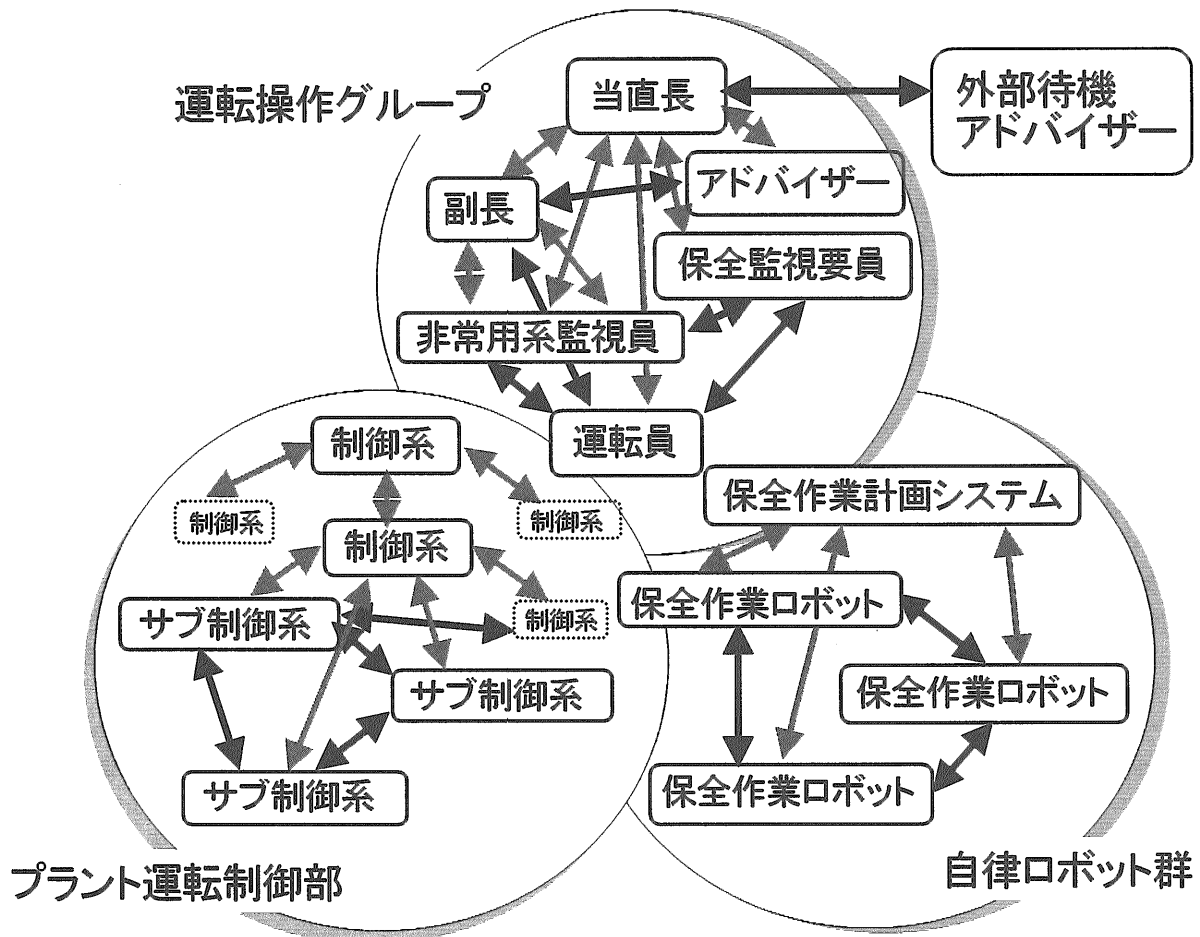


図1 自律型プラントの構成モデル図

よび適合化の過程を含んだ相互作用自体もモデルとして捉えられる。

本クロスオーバー研究では、このモデルベーストのアプローチを採用しており、マン・マシン・インターフェイス内にもプラント等についてのモデルを保持し、モデルに基づいた判断・運転支援を実施すべきものとし、学習効果により拡張・発展する例としてプラント機能モデルの開発を行った。

## 2.2. 自律分散協調機能監視システム

自律型プラントでは、前節で説明した高度な機能を持ったエージェントがプラント内各所に分散配置され、自律的に動作するとともに図1に示すような相互に協調あるいは統合化されたシステムとなっている。つまり、プラント要素、部分システム、ロボットに知能が搭載されており、それらが分担、協調して各々の役割を果たし、全体としてプラントの目的が達成されている。このような自律型プラントにおいて人間がプラント管理者としての役割を果たすため、階層構造的なつながり・分散協調動作の実施状況の把握が必要となってくる。

監視システム内部には、プラント各部を機能の面から捉

えてそれらのつながりとして全体プラント状態を理解するプラント機能モデルを保持しているのが適切と考えられる。このプラント機能モデルに基づき、情報提示・運転支援等のマン・マシン・インターフェースとしての基本的機能を実現していく。本研究においては、自律型プラントシミュレータ開発、プラント機能モデルの研究、プラント状態表示機能、プラント状態分類機能、ロボット行動表示機能の各項目を取り上げ、図2に示す関連を持たせて研究を進めた。

## 3. 要素研究

### 3.1. 自律型原子力プラントシミュレータの開発

自律型プラントの監視機能の研究を進めるにあたり、自律型プラントが必要となる。そこで、自律型プラントの概念<sup>(4)</sup>に基づいて、リアルタイム・エキスパートシステム構築用ツールである G2 (米国 Gensym 社製)を用いて加圧水型原子力プラント (PWR) を基として図3の系統図に示す自律型プラントシミュレータの開発を行った<sup>(6),(7)</sup>。本シミュレータの利用目的から、シミュレーションにおける定

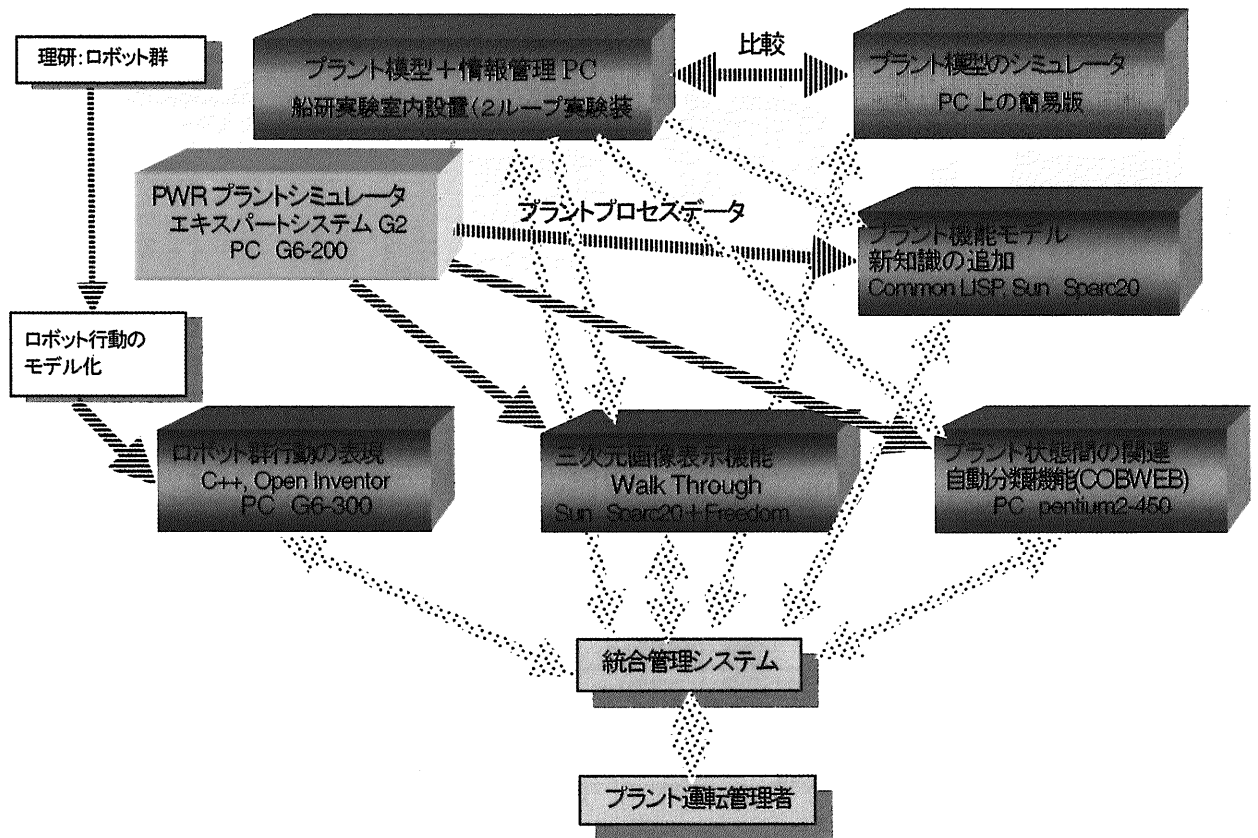


図2 研究項目関連図

量的精度はそれほど重要でなく、プラントの過渡応答が定性的に妥当な挙動を示すことを念頭に置いて開発した。

G2 では、階層化されたオブジェクト指向のモデリング機能とルール・ベースおよびモデルを動かすシミュレーション機能が用意されている。プラントの構成機器など現実世界のオブジェクトを個々に定義し、それらの接続関係を図を使って表現・編集できる。各オブジェクトはアイコンと属性を持っており、アイコン上でウインドウを開き、そのオブジェクトに関する知識をフレームで表現する事ができる。オブジェクトの属性値はクラスを定義する時階層的に定義されており、クラス間での属性の継承もなされる。更に、システムの動作に関する規則、知識等を自然言語(英語)により表現する事もできる。各種制御系の動作はルールの形式で記述してあり、安全注入系等の工学的安全施設はオブジェクトとしてはモデル化していない。更に、プラント状態保存機能、シナリオイベントの起動機能、及び自律機能を整備した。このエキスパートシステムでは各種の自律機能を容易にシミュレータ中に組み込む事ができる。

### 3.1.1. シミュレータの基本構成

図3の系統図に示す加圧水型原子炉プラント(PWR)シミュレータのモデル化にあたっては最新4ループPWRを想定し、Aループに1ループ、Bループに残る3ループを

受けもたせ、表示する計測値はA、B両ループ共1ループ分の値としている。本シミュレータの利用目的から、シミュレーションにおける定量的精度はそれほど重要でなく、プラントの過渡応答が定性的に妥当な挙動を示すことを念頭に置いて開発した。

構築した範囲は原子炉炉心部を中心に発電機までとした。各構成機器のモデル化の詳細については参考文献を参照<sup>4)</sup>。

### 3.1.2. シミュレータの運転制御

本シミュレーション・システムでは運転モードとして以下の7種類を自動的に認識する事ができる。

- ・ 臨界零出力
- ・ 中間出力
- ・ 定格出力
- ・ 炉停止
- ・ 過渡変動
- ・ 仮想出力上昇
- ・ 仮想出力低下

上記の運転モードに対して二種類の制御モードが用意されている。第一は仮想制御モードであり、仮想出力上昇および仮想出力低下の運転モードを実現する。これは、現実より早い手順で自動的に臨界零出力～定格出力、定格出力～臨界零出力の運転が行われる。

第二は通常制御モードで臨界零出力、中間出力、定格出力、炉停止、過渡変動の運転モードに対して設定できる。

さらに出力制御、制御棒位置、加圧器水位、加圧器圧力、蒸気発生器水位については手動制御も可能とした。また、主要機器の起動/停止の切り替え、原子炉トリップ操作も

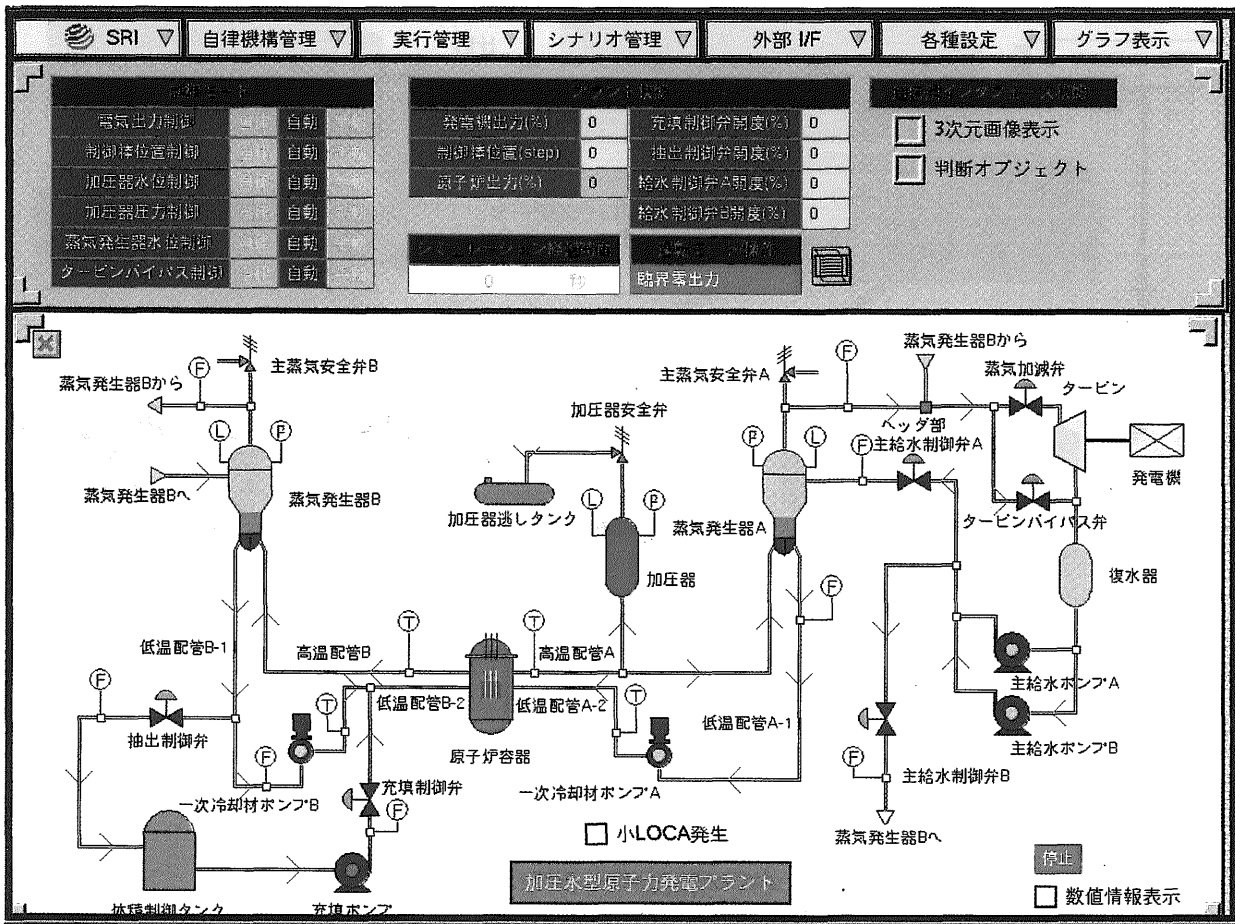


図3 自律型原子力プラントシミュレータの系統図

手動で行える。

### 3.1.3. シナリオ編集機能の整備

プラントの基本機能に加えて、以下の特殊機能を整備しマン・マシン・インターフェース研究において使用する事を考慮したシミュレータとした<sup>7)</sup>。

#### (1) プラント状態保存機能

これは、実行中のシミュレーション状態をそのまま保存する機能である。この機能によりシミュレーション中の任意の時点の情報を適宜保存し、後に参照する事が可能である。

#### (2) シナリオイベントの起動機能

故障等の特定のイベントをあらかじめ作成したシナリオに従って発生する機能である。これにより機器の故障等のイベントを再現性良く自動的に発生でき、運転員の対応評価や自律機能の検証に用いられる。

### 3.1.4. 自律機能の編集機能

自律機能の編集機能では機器動作、設定目標、判定条件等基本的な要素をグラフィカルに組み合わせる事によりシ

ミュレータに任意の自律機能を組み込む事を可能とした。従来、ルールの形で記述されていた自律機能がより明確な形で表現されている。

この自律機能編集機能を用いて、以下に示した4事象発生時に働く自律機能を実現した。

#### 1. 一次冷却材ポンプ1台故障時の対応。

一次冷却材ポンプAが故障した場合、次の制御を自律的に実行していく。

- 発電機出力を定格の75%となるように徐々に低下。
- 制御棒は発電機出力に対応する形で徐々に挿入。
- 給水流量は蒸気発生器水位制御で制御する。
- 電気出力75%の定常運転を維持する。

#### 2. 蒸気発生器二次側主蒸気安全弁開固着時の対応。

蒸気発生器Aの二次側主蒸気安全弁が開固着した場合、次の制御を自律的に実行していく。

- Aループ二次側の主給水制御弁を閉止し給水流量を0とする。
- 一次冷却材ポンプAを停止する。
- 発電機出力を定格の75%となるように徐々に低下。
- 制御棒も発電機出力に対応する形で徐々に挿入。

- e) 電気出力 75% の定常運転を維持する。
- 3. 蒸気発生器二次側主給水制御弁閉着時の対応。  
蒸気発生器 A の二次側主給水弁が閉固着した場合、次の制御を自律的に実行していく。
  - a) 一次冷却材ポンプ A を停止する。
  - b) 発電機出力を定格の 75% となるように徐々に低下。
  - c) 制御棒も発電機出力に対応する形で徐々に挿入。
  - d) 電気出力 75% の定常運転を維持する。
- 4. 二次側給水ポンプ 1 台の故障時の対応。  
二次側給水ポンプ 2 台中の 1 台が故障した場合、次の制御を自律的に実行していく。
  - a) 発電機出力を定格の 50% となるように徐々に低下。
  - b) 制御棒も発電機出力に対応する形で徐々に挿入。
  - c) 電気出力 50% の定常運転を維持する。

これらの自律機能を自律のための規範の観点から見ると、基本機能維持（発電機出力を可能なレベルで維持する。）と自己組織化（適時システムを分離する。）に属すると考えられる。また、これらの自律機能と前述のシナリオイベント起動機能は組み合わせて実行することが可能である。更に、当該故障が修理完了した場合は、故障機器を再起動（復帰）し、原子炉は自律的に定格運転状態まで復帰させられる。一方、出力上昇中あるいは低出力運転中で発電機出力が目標とす

る値（75% あるいは 50%）より小の場合に機器故障が発生した場合は自律機能は働かず炉停止に至る。

自律機能が作動中に、更に他の機器故障が発生した場合も自律機能を解除し自動的に炉停止するものとしている。また、自律機能はオペレータが手動で解除できる様にもなっている。

### 3.1.5. 自律機能動作状態の表現

プラントに不具合が発生した時に自律機能が働きプラントを特定の運転状態に保持する。この自律機能がどの様に働いているかを表現するために、自律機能編集機能で用意した基本的な要素の動作状況を色彩表示した。自律機能が働いていない場合は各要素を“灰色”で表示し、自律機能が働いている場合は各要素は機能状態に対応した色彩で表示される。

図 4 は自律機能が働いている一例を表しており、一次冷却材ポンプが故障した状態で、故障機器台数・出力値条件が満足されている場合が表現されている。設定目標値が 75% 出力であり、まだ達成されていないことが黄色により表示されている。目標とする 75% 出力が達成されるとこれが赤色に変化する。下部の図は、機器故障・制御機構の発現状態を示している。

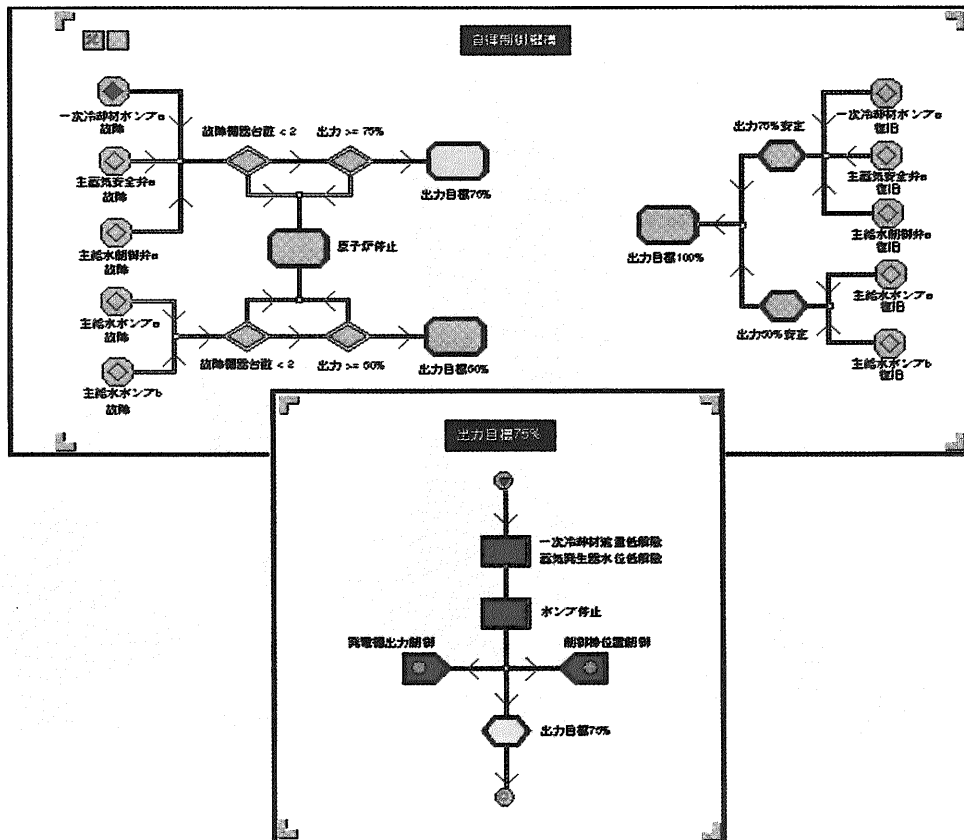


図 4 自律機能動作状態の表現例

### 3.2. プラント模型

プラントプロセスデータの生成用として、PWR シミュレータの他にプラント模型を用意した。本模型は、2ループ加圧水型（PWR）原子力プラントの運転を模擬するものであり、図5に示す形状を持っている。

炉心部分（体積：7dm<sup>3</sup>）には加熱器（電気ヒーター：最大出力 4.5kW）を備えている。また左右には蒸気発生器（2次系片側体積：10dm<sup>3</sup>）を備え、1次系と2次系の熱交換は対向流形式で行われている。さらに蒸気発生器で蒸気となった2次冷却水（もしくは高温水の2次冷却水）は、クーリングタワーに流れ込み冷却され、再び蒸気発生器に流れ込む2次冷却水として再利用される循環設計となっている。

加圧器については、コンプレッサーを利用し、高圧ガスを送り込むことにより1次系の圧力をあげている。定格圧力を2気圧としているため、1次系温度が120℃までは加圧水型として正常の運転が行える。

各所に下記のセンサーを取り付けてある。

温度計（熱電対）：炉心、1次系蒸気発生器入口（左右）、1次系蒸気発生器出口（左右）、2次系蒸気発生器入口（左右）、2次系蒸気発生器出口（左右）

流量計：1次系（左右）、2次系（左右）、1次系漏洩部

圧力計：1次系（炉心）、2次系蒸気発生器出口（左右）

水位計：加圧器、2次系蒸気発生器（左右）

また遠隔操作が可能なアクチュエーター（ポンプ、電動弁、電磁弁、電気ヒーター）も取り付けてあるため、様々な状態模擬および測定・制御が可能となっている。

### 3.3. 三次元画像によるプラント状態表示

マン・マシン・インターフェイスが認識したプラント状態を運転員（人間）が理解容易な形で提示する機能も重要な開発項目である。

その一方法としての画像による表示機能の研究を進めた<sup>(8),(9),(10)</sup>。開発環境としては、当初はグラフィックス・ワークステーション Stellar GS-1000、米国スターデント社のグラフィックソフト AVS バージョン4を用い、原子力プラントの状態を三次元カラー・グラフィックスで表現する機能を作成した。その後、表示機器の増加によりデータ量が増えたことや通信機能の追加に伴って、ワークステーションの処理スピードが追いつかなくな

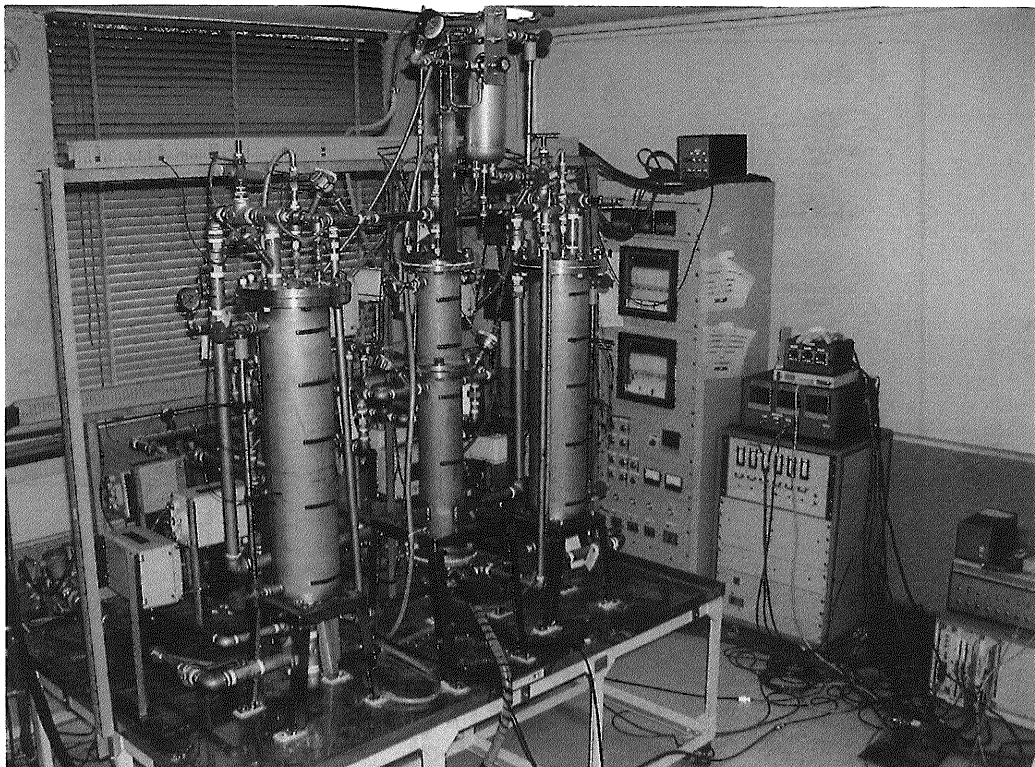


図5 プラント模型全体像



った。このため、グラフィックスアクセラレータ Freedom 1050 を接続した高速のワークステーション Sun Sparcstation 20 に、本機能を移植し、AVS バージョン5上で稼働させている。この表示機能作成および運用に当たっては、わかりやすい表示方法、適切な表示スピード、使いやすい表示操作を念頭においた。

### 3.3.1. 計算機環境

本三次元画像表示機能の計算機環境を以下に示す。

ハードウェア

ワークステーション：Sun Sparcstation 20 (マルチCPU, メモリー128M, Solaris2.3, FORTRAN コンパイラ, C コンパイラ)

グラフィックスアクセラレータ：Freedom 1050 (Sun Sparcstation 用高性能グラフィックス・アクセラレータ、グラフィックス性能は500 キロトライアングル (25 ピクセル)、500 ポリゴン/秒 描画可能)

ソフトウェア

AVS (Application Visualization System)：数値データのグラフィック化をほとんどノンプログラミングで実行するシステムである。ユーザは、AVS に様々なアプリケーションから発生したデータを注入するだけでよい。後は、メニューとマウスなどの簡単な操作で望みのグラフィック化ができる。

本三次元画像表示機能では、AVS が三次元カラーグラフィックスを描画するのに、Sparcstation 20 のグラフィックスライブラリーではなく、Freedom のグラフィックスライブラリーを使う。これにより、描画スピードが格段に速くなり、表示できる色もフルカラーが使えることとなった。

### 3.3.2. 三次元画像基本構成機器

PWR 型原子力プラントの基本構成機器を実プラント機器にできるだけ近い形状、相対的大きさで作成した。基本構成機器は16種類、34個用意してある。必要データ量は機器により異なり、数十バイトから50キロバイ

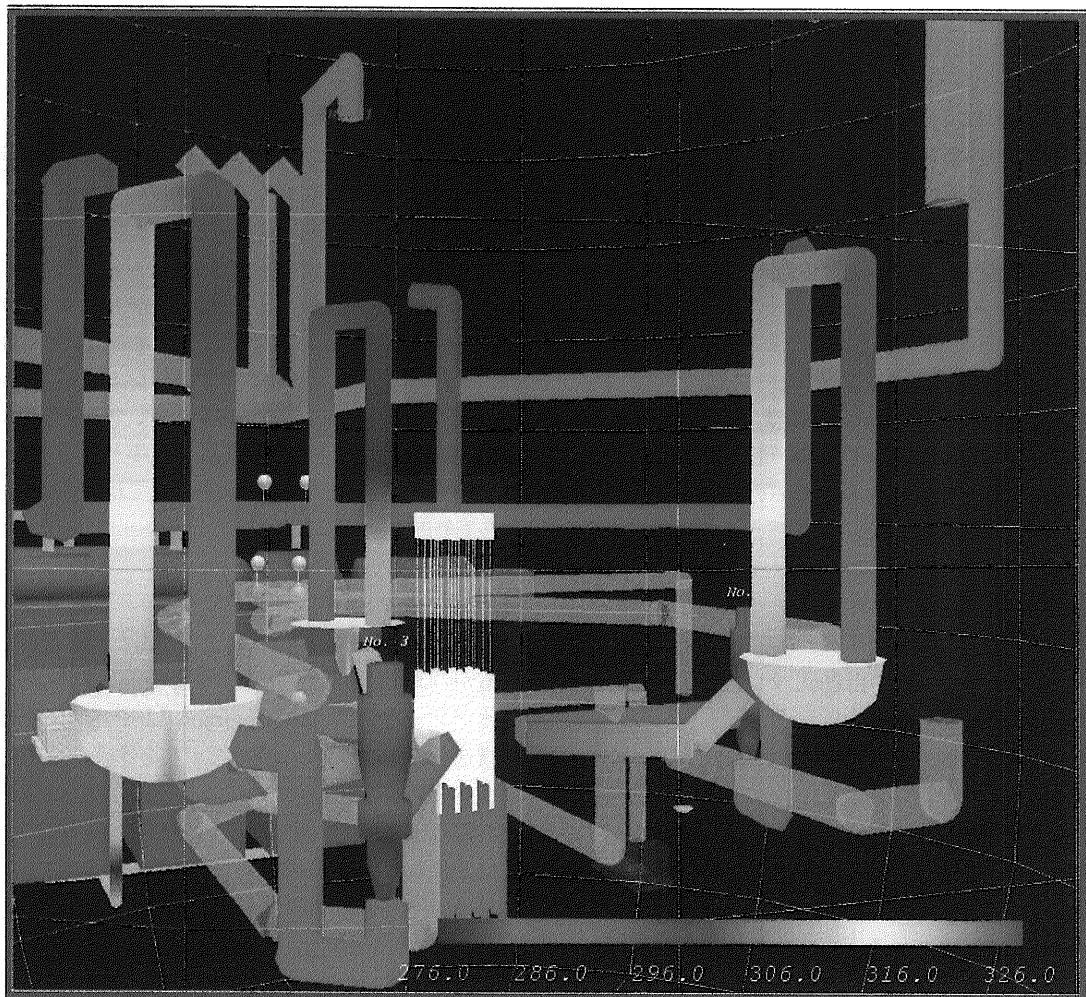


図6 三次元画像表示機能によるプラント状態表示例

トである。作成した機器の全体配置の様子は図6に見られる。

表示には、形状表示（機器の形状のみ）と状態量表示（温度・流量・圧力などの状態量）の2種類を作成した。前者は、プラントを構成する全ての機器について用意してある。後者は、状態量を表示する必要がある機器（格納容器、圧力容器、蒸気発生器、配管、ポンプ、炉心部等）について、状態量の分布が分かるように機器の表面に塗りつぶしコンター図として表示する様になっている。圧力容器、蒸気発生器には内部の状態量表示データがあり、蒸気発生器、加圧器、逃がしタンクには、内部の水位を表示するためのデータが用意されている。

全ての機器に対して、削除、拡大、縮小、三次元任意方向への移動・回転を行うことができ、面表示の他ワイヤー・フレーム表示への切り替えができる。主要機器については、形状・状態量表示の切り替え、状態量データの取り込み、内部状態量の表示、透過・半透過表示の各種機能が与えられている。図6はこれらの機能を活用した表示例である。蒸気発生器、加圧器は半透過表示となっており、内部の水位がわかる。圧力容器も半透過表示で、内部の炉心部、制御棒が見える。また、配管に沿った温度分布の様子が色彩変化で表現されている。

更に、視点の移動を任意の方向に行うことができ、プラント内のいわゆるウォーク・スルーが行える。その際、クリッピングの範囲を適切に設定しておいて、視点の移動につれて機器がクリッピングの面で切れ内部が見える様にする事もできる。

### 3.3.3. 三次元画像表示インターフェース部

これらの三次元画像データの操作は、AVS 自身が持っている GUI でも行うことができる。しかし、必要のないメニュー機能があること、メニューの階層が多すぎること、キーボード入力を避けたいことから、本機能専用の操作部を作成し、以下の特徴を持たせた。

- (1)常に主メニューが表示されている。
- (2)すべての操作をマウスクリックのみで行える。
- (3)ウォークスルーの移動の指定が、マウスクリックで簡単にできる。
- (4)事前に設定した視点位置への移動が瞬時に可能。
- (5)過去の視点位置を再現できる。

さらに、通常、本表示機能を使う際には、機器ごとに違う種類の状態量を監視するのではなく、温度なら温度、圧力なら圧力というように、すべての機器がひとつの種類の状態量を表示している画面が基本になると思われる。そこで、状態量ごとにグループ化を行って、そのグループを選択するメニューを作成した。このグループ化

のメニューを使用することにより、現在提示されているカラー画像が示している状態量を取り違えてしまう事を防げる。

### 3.3.4. 異常状態の注意喚起方法

異常状態の機器の注意を喚起するために、拡大、点滅、振動、画面中心への表示の機能を整備した。PWR プラント・シミュレータからのデータを受け取り、急激に状態量の変化する機器については上記動作が自動的に実施され運転員の注意を喚起する様になっている<sup>(11)</sup>。

### 3.3.5. PWR プラント・シミュレータ、プラント模型との結合

PWR プラント・シミュレータとのプロセス間通信機能を作成し、三次元画像表示機能とプラント・シミュレータを結合した。この通信では、G2 からファイル転送が行われる。ファイルを3つ用意することで、表示の途中でファイルが書き換えられることを防いでいる。ファイル転送の頻度は、自由に設定することができる。この通信により、自律型原子力プラントの状態量を、三次元カラーグラフィックスで、ほぼリアルタイムに表示することが可能となった。プロセス間通信は、PWR プラント・シミュレータの画面上で、通信の開始および終了のボタンをマウスクリックすることにより行える。

プラント状態が色彩を用いた3次元画像によりリアルタイムに近い速度で表示する事が可能となり<sup>(11)</sup>、直感的に理解容易なプラント状態表示が実現されている。

同様の事をプラント模型と三次元画像表示機能との間でも実現した。PWR プラント・シミュレータは現実の原子力プラントを模擬しているが、プラント模型は小型の模擬装置であり前述の様に圧力レベル2気圧、温度も120℃と低いため、それに合わせて状態量に対応する色彩範囲を調整した。

## 3.4. プラント機能モデル

プラント状態を監視システムがあたかも理解しているかのように振る舞う事が望ましい。この目的のためにオブジェクト指向言語 Common LISP を用い階層的な構造を持ったプラント機能モデルを作成<sup>(12)</sup>した。この機能モデルに基づきマン・マシン・インターフェースが各種の判断を下し、情報提示・運転支援を行うことが期待される。更に、このプラント機能モデルはプラント状態の変化、運転経験の蓄積、運転員（人間）の習熟等に合わせて柔軟に変化していくべきものである。

機能モデルにおいては、プラント状態を判断するとともに未経験プラント状態に対しては判断ルールを自動