

生成する機能を作成した^{(13),(14)}。

3.4.1. 基本構成

プラント機能モデルは、オブジェクト指向言語である CLOS(Common LISP Object System) を用いて、SUN SPARC STATION 20 (メモリ 64MB) 上に構築した。CLOS は従来から人工知能研究における代表的な言語であった Common LISP を近年注目されているオブジェクト指向の考え方によりプログラミングできるように拡張したものである。現実の世界のモノ、概念をオブジェクトとして抽象化し、さらに同じ性質を持つオブジェクトをクラスとして、クラス群をより上位のクラスとして階層的にモデル化していくオブジェクト指向プログラミングは、対象プラントを人間にわかりやすい形で自然に表現することができる。また、オブジェクトがデータ(属性)とそれを操作する手続き(メソッド)をひとまとまりとして持つこと及び上位クラス概念を下部クラスが引き継ぐという継承のメカニズムによりシステムの開発とメンテナンスが容易に行える。

3.4.2. プラント状態の判断機能

判断機能は、原子力プラントのセンサー値から、ルールベース推論に基づきプラント状態を判断・認識するためのもので、オブジェクト指向言語である CLOS を用いて、原子炉プラント状態クラス、判断ルールクラスおよびデータクラスの 3 つのクラスにより実現されている。

原子炉プラント状態クラスは、原子炉プラント状態を導き出すために、段階的・階層的に原子炉の状態を表現した、抽象的なクラスであり、関連ルールの保持、判断結果の保持並びに判断結果の表示等を行う。

判断ルールクラスは、ユーザによって登録されたルールを、LISP 上に展開するためのもので、自然言語形式で入力されているルールの一つ一つの条件部・結論部は、システムが解釈可能な状態に翻訳され、そのデータは保管される。

データ・クラスとそのサブクラスであるルールデータ・クラスは、前者が推論結果のデータを、後者がルールを翻訳したデータオブジェクトをそれぞれ保存するためのものである。

本研究における判断機能は、単に現在のプラント状態を的確に判断することを支援するだけでなく、最終的には、判断者の経験、習熟度に合わせて対応でき、さらには将来型の自律分散協調プラントに相応しく運転実績を学習して自ら運転状態を判別するルールを改編し、追加するという先進的な機能を目指すものである。

以下に、プラント状態の具体的な判断の方法について、手順を追って説明する。

①データの読み込み

自律型プラントを模擬した PWR シミュレーターから、TCP/IP プロトコルを用いた通信機能を用いて、イーサネット経由でリアルタイムで運転データ(各機器類のセンサー値の集合)をプラント機能モデルに転送する。機能モデル側には 3 つのファイルが用意されており、一定時間間隔(数秒~数十秒)で順次、転送されたデータがこれらのファイルに上書きされる。プラント状態の判断の指令が出るとその時点で最新のデータが書き込まれたファイルが参照されることになる。複数のファイルを用意するのは、一つのファイルでは、プラント機能モデルがファイルを読み出し中に、PWR シミュレーター側から運転データを同じファイルに書き込まないようにするためである。

②判断値への変換

判断オブジェクトに読み込まれたセンサー値は数値情報であり、数値の微小な差異を問題にするとプラント各部の状態の組み合わせが無限に近く生成されてしまうことになる。そこで、温度、圧力、流量等の数値情報であるセンサー値を、定格運転時のプラント状態量からの隔たりに着目して定性的な基準で少数のグループ分類し、高低・大小等のラベルを各グループに与えた。以後、このラベルを判断値という。

③ルールベースによる判断

自律型原子力プラントはその機能に着目して、ツリー構造でモデル化されるものとする。②の判断値を基に、ツリー構造の末端のノードにおける各サブシステムの状態がルールにより判別される。さらにその判断結果を基に、より上位のサブシステムの状態を順次判別していく。これらルール群の詳細については参考文献⁽⁹⁾を参照していただきたい。

階層的な判断構造により、最終的なプラント状態だけでなく、例えば、一次ループ機能や二次側機能などのツリー構造の途中のノードにおける状態についても判断を下すことができる。

判断の対象となるプラント状態には無数の種類が想定されるが、用意されているルール群は典型的なプラント状態を判断できるように作成されている。

そこで、できるだけ判断可能な対象を拡げるため、「概ね確認」という次のような中間的な判断を導入した。すなわちセンサー値の定性的な表現である判断値を組み合わせるにより、ある機能を判定する場合、あるセンサーの判断値が条件に完全に一致していなくても、1 つだけ隣りにずれた値ならば、ある程度想定された状

態に近いとし、その組み合わせによる状態を概ね確認状態と定義する。これによって、判断結果にある程度の柔軟性を持たせることができる。ただし、2つ以上ずれた判断値を1つでも含んでいれば、その状態は未定義な状態とする。

この結果、あるセンサー値の組み合わせに対して、複数の状態が概ね確認され得ることになる。

下位機能の判断結果を幾つか組み合わせて、より上位の機能を判断する場合、下位機能に1つでも概ね確認の状態があれば、その組み合わせは全体として概ね確認されることになる。また、全てが完全に一致する組み合わせが存在せず、概ね確認された状態が複数ある場合には、それらの下位機能として、完全に一致したものを最も大きい割合で含むものを、その機能における状態の判定結果とする。また、下位機能に未定義状態を1つでも含んでいる場合は、その上位機能は未定義状態とする。

このようにして、順次、より上位の機能の状態の判定を進めていき、最終的にプラント状態が既知状態と判定、もしくは、準既知状態と判定されるか、あるいは、未定義な状態と判定される。

④判断ルールの自動生成

現在典型的な14種類のプラント状態を想定して、それらを判別するようルールを作っているが、実際にはプラント状態はもっと多様であり、実用システムではさらに詳細で精度の高い判断機能が要求されることになる。そのためには、プラントの設計・運転の経験的知識を抽出してルールの質を向上させていかなければならないが、「知識獲得のボトルネック」と言われるように、それらの作業は非常に困難であり、また、ルールが詳細になればなるほど計算機の負荷が大きくなり結果が出るまでの時間がかかるという問題がある。

そこで、過去の運転実績を利用して現在のプラント状態を推定するという事例ベース推論的なアプローチを将来、取り入れることを検討し、その基礎として判断ルールの自動生成機能およびプラント状態をデータベース化する機能を作成した。

判断ルールの自動生成機能は、プラント状態が14種類の何れかに近い状態として概ね確認されたケースあるいは未定義の状態と判断されたケースについて、最も一致の度合の高かった結果を利用して、その状態を確認するルールを自動的に生成するものである。

例えば以下のような判断が行われたとする。

条件部

- (THE 電気出力 OF 発電機 IS 中間)
- △(THE 判断状態 OF 原子炉状態 IS 発熱やや小)

- (THE 判断状態 OF 加圧器機能 IS 定格)
- (THE 判断状態 OF Aループ機能 IS 流れ定格・炉心部温度上昇やや小)
- △(THE 判断状態 OF Bループ機能 IS 流れ定格・炉心部温度上昇やや小)
- (THE 判断状態 OF 二次側機能 IS 低下・給水ポンプ1台停止)

結論部

- △(THE 判断状態 OF プラント状態 IS 二次側給水ポンプ1台停止)

ここで、○はルールが完全に一致していることを、△は概ね一致していることを示している。このとき、すでに確立しているルール群とは完全に一致しないが、すでに既知のプラント状態「二次側給水ポンプ1台停止」に近いある状態を示している。そこでこれを蓋然的な推論としてではなく確定的な一つのルールとして確立することは有益であろう。サブシステムの原子炉状態やBループ機能に関しても同様なことが言える。すると新しいルールは以下のようになる。

条件部

- (THE 電気出力 OF 発電機 IS 中間)
- (THE 判断状態 OF 原子炉状態 IS 発熱やや小-B)
- (THE 判断状態 OF 加圧器機能 IS 定格)
- (THE 判断状態 OF Aループ機能 IS 流れ定格・炉心部温度上昇やや小)
- (THE 判断状態 OF Bループ機能 IS 流れ定格・炉心部温度上昇やや小-B)
- (THE 判断状態 OF 二次側機能 IS 低下・給水ポンプ1台停止)

結論部

- (THE 判断状態 OF プラント状態 IS 二次側給水ポンプ1台停止-B)

下線部は新しい状態として仮に命名されたものである。このようにして未定義状態を含む様々なプラント状態を、それが成り立つルールの形で保存することにより、同じプラント状態が再び出現した場合、過去に生成されたルールと完全に一致することになる。

プラント状態のデータベース化機能とは、ルールベース推論に基づき判断が行われたあるプラント状態における機器オブジェクトの状態をいつでも再現可能な状態で保存することである。

以上の二つの機能はプラント機能モデル自体が自律的に、修正/拡張されるという先進的なマン・マシン・

インターフェースの基礎となるものである。今後は、運転中に出現する未経験のプラント状態について、類似したものを集約する等の組織化を行い、新たなプラント状態としてネーミングし、それを同定することのできる新ルールを自動的に生成するという機能に発展させていきたい。

図7にプラント機能モデルにおけるプラント状態判断過程、ルール・ベース付加の関連を示す。

3.4.3. プラント模型との接続

このプラント機能モデルはPWRプラント・シミュレータを対象としてルール作成を行い開発を進めてきた。この機能モデルの判断値、ルール群を変更し、プラント模型の運転状態、異常状態も判断できるようにした。前

述の様に温度、圧力ともPWRシミュレータとは異なり低い値にあることと、構成ループ数、構成機器も異なっているため、大幅な手直しを必要とした。表1にプラント各部における温度、流量、圧力等の測定値とセンサー値、判断値との対応を示す。

3.5. プラント状態自動分類機能

プラント機能モデルは、ある時刻におけるプラントの状態についての判断であり、時間的な推移等は考慮されていない。原子力プラントは時間とともにその状態が変化するものと考えられるべきものであり、実際運転モード、異常時、事故時などに対応して種々のプラント状態が存

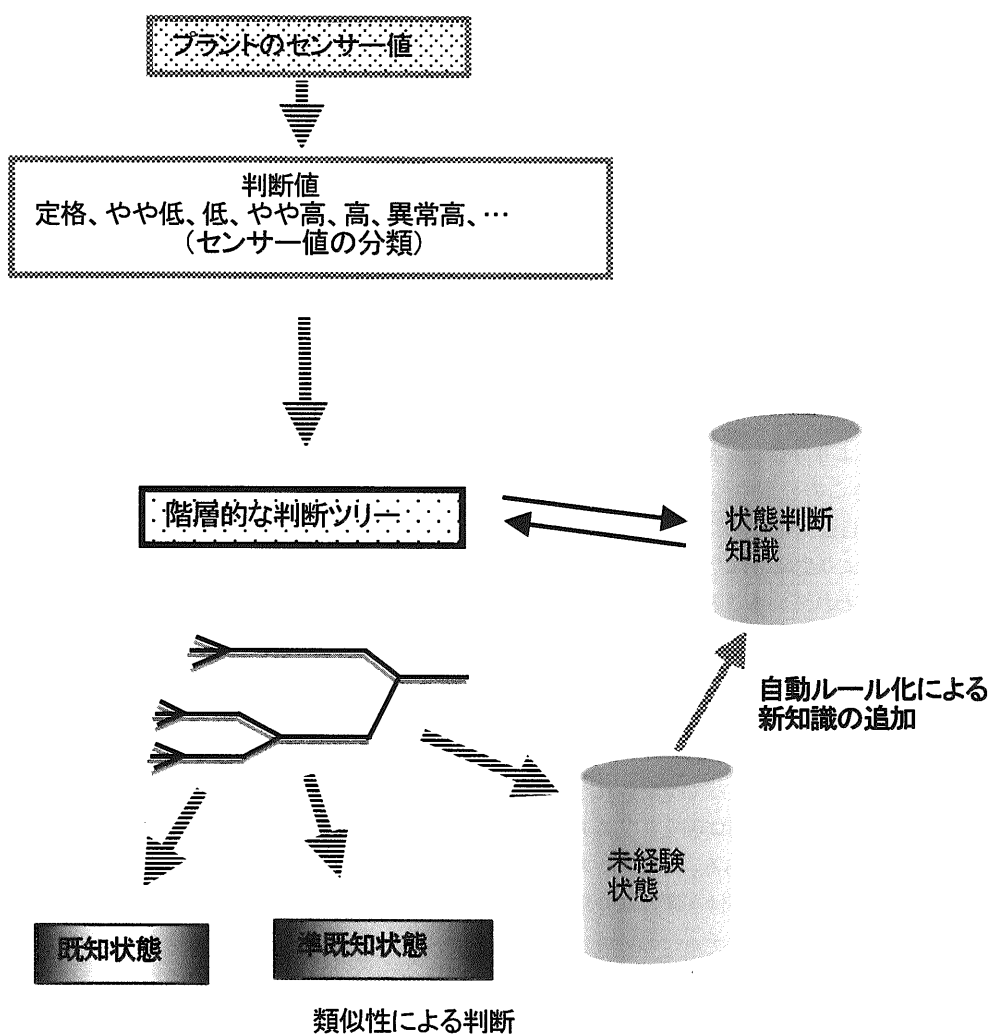


図7 プラント機能モデルによる判断過程

表1 プラント模型におけるセンサー値と判断値の対応

機器の部位	センサー値	プラント模型における測定値との対応	センサー値に基づく判断値
原子炉容器	入口温度	$(t4+t6)/2$	異常低 50 やや低 71 定格 75 高
原子炉容器	出口温度	$t5$	異常低 50 低 75 やや低 95 定格 105 高
原子炉容器	圧力	$p1$	低 200 定格 300 高
高温配管 A,B	代表温度	A: $(t5+t2)/2$ B: $(t5+t9)/2$	異常低 50 低 75 やや低 95 定格 105 高
高温配管 A,B	圧力	$p1$	低 200 定格 300 高
低温配管 A,B	代表温度	A: $(t3+t4)/2$ B: $(t8+t6)/2$	異常低 50 やや低 71(72) 定格 75(77) 高
低温配管 A,B	圧力	$p1$	低 200 定格 300 高
蒸気発生器 A,B	入口温度	A : $t2$ B : $t9$	異常低 50 低 75 やや低 95 定格 107(B105) 高
蒸気発生器 A,B	出口温度	A : $t3$ B : $t8$	異常低 50 やや低 64(60) 定格 72 高
蒸気発生器 A,B	圧力	$p1$	低 200 定格 300 高
蒸気発生器 A,B	蒸気圧力	A : $p2$ B : $p3$	零 10 低 80 やや低 100 定格 200 やや高 250 高
蒸気発生器 A,B	給水流量	A : $V2L$ B : $V2R$	零 1.0 異常低 3.0 低 6.0 定格 10.0 やや高 15.0 高
蒸気発生器 A,B	蒸気流量	A : $V2L$ B : $V2R$	零 1.0 異常低 3.0 低 6.0 定格 10.0 やや高 15.0 高
蒸気発生器 A,B	二次側保水温度	A : $t1$ B : $t7$	異常低 50 低 66 定格 81.5 高 91 異常高
一次冷却材ポンプ A,B	温度	A: $(t3+t4)/2$ B: $(t6+t8)/2$	異常低 50 やや低 71(72) 定格 75(77) 高
一次冷却材ポンプ A,B	流量	A : $V1L$ B : $V1R$	逆流 -1 ゼロ 1 自然循環 10 低 15 定格 20 高
加圧器	液相温度	$t5$	異常低 50 低 75 やや低 95 定格 105 高
加圧器	圧力	$p1$	異常低 180 低 200 定格 300 やや高 350 高
加圧器	サージ流量	0(固定データ)	-5 定格 5 (固定データ 0 : 常に定格と判断)
主給水ポンプ A,B	流量	A : $V2L$ B : $V2R$	零 1.0 異常低 3.0 低 6.0 定格 10.0 やや高 15.0 高

注) 各測定値の単位は、温度は℃、圧力はkPa、流量はg/sである。

在する。この場合には、運転員が、現在のプラント状態を他の状態との関連で理解することは状態判断、操作に貴重な支援となる。

この複数のプラント状態を自動的に分類する機能の開発を行った^{(15),(16)}。この機能は逐次学習法の一つである COBWEB 手法を用いて PWR プラントシミュレータあるいはプラント模型により生成される種々のプラント状態を相互の類似度により分類しておく。新たなプラント状態を付加したときこの分類中の位置を自動的に判定することができる。自動分類機能のプロラグラム化を行い、シミュレータにより生成されたプラント状態の分類結果が適正におこなわれていることを確認した。さらに、機能モデルでのサブシステム間の関連を使用しない、より自由な設定が可能となる機能向上を行った。

3.5.1. COBWEB について

COBWEB とは、Fisher ら⁽¹⁷⁾によって提唱された概念クラスタリング手法の一つで、移動ロボットシステムの研究などに用いられているものである。概念クラスタリングの方法は、教師なし学習と教師付き学習に分類することができるが、移動ロボットシステムにおいては、

- ・ 事前に教師付きでシミュレーション困難な想定不能な多種多様な状況に遭遇する可能性が高い
- ・ この様な状況下においても、何らかの観測値に基いた自動対応を行う必要がある

等といった条件が存在し、教師無し概念クラスタリング手法である COBWEB はこれらの条件に適合し移動ロボットシステムに適応しようと考えられている。さらに基本機能維持、自己防護、自己組織化そして自己改良等といった自律型プラントに求められている機能の条件にも COBWEB は適用し得ると考えた。

また、COBWEB を利用したツリー表示中に一定間隔で取り込まれるプラント状態の最新の状態を色分けなどにより運転員が識別できるようにしておけば、その属するクラスを注視することにより運転員がプラント状態の変化を理解するための支援となるものと考えられる。

COBWEB では、まず、分類基準となる類似の概念を持つものの集合をクラス $CK(k=1,2,\dots)$ と定義する。このクラス分けされた概念 Ck の i 番目の特徴 $A_i(i=1,2,\dots)$ が j 番目の値 $V_j(j=1,2,\dots)$ をとる場合、ある事例においてある特徴が認められる確率は $P_d = P(A_i = V_j)$ と表される。この時、あるクラスの事例がある特徴をもつ条件付き確率を、クラス内類似性(inter-class similarity)として定義し、このクラス内類似性と Bayes の法則等から導き出されるカテゴリユーティリティ(category utility) を次のように定義し、この CU 値により分類を行うものである。

$$CU = \frac{\sum_{k=1}^n P(C_k) [\sum_i \sum_j P(A_i = V_{ij} | C_k)^2 - \sum_i \sum_j P(A_i = V_{ij})^2]}{n} \dots(1)$$

3.5.2. COBWEB の基本操作

COBWEB の基本操作としては、新しい事例が入力されたときに、

- 操作1 既存のクラスへの新事例の追加
- 操作2 新事例のみの新しいクラスの生成

の2種類がある。これらの操作を示したものが、図8(a),(b)である。

まず、新事例 x を操作1によって既存のクラス A,B,C のそれぞれに暫定的に加え、各々の場合について CU 値を求める。次に操作2によって暫定的に新しいクラス D を生成し、この場合の CU 値を求める。以上の操作結果から、最大の CU 値の場合を、そのレベルでの最適な操作として採用する。階層的な樹状構造がすでに構築されている場合は、まず階層のレベル1について前述の一連の操作を行い最も適合するクラスを決定し、以降その決定されたクラスの子クラスについて同様の操作を再帰的に行っていく。この操作を、最終的に新事例のみからなるクラスを生成するまで続ける。

COBWEB の学習方法は、主として前述の操作1,2によって行われる。しかしながら、この学習される概念は遭遇する事例の順序によって変動し、特に事例が少数の場合には、遭遇する事例の順序にその結果が依存し、学

習の初期段階などでは偏ったクラスを生成する可能性が大きい。これを回避するための手法として、更に以下に示す2つの操作が用意されている。

- 操作3 既存の2つのクラスの結合
- 操作4 既存のクラスの違い

これらの操作により、一旦生成された階層構造が、部分的に再構成される。以上のような、4つの操作により COBWEB の概念クラスの構築は行われていく。

3.5.3. COBWEB による分類

COBWEB を用いたプラント状態の分類分けの有効性について検討するために、PWR プラントシミュレータから様々な状態のデータをランダムに18セット収集し、分類分けを行ってみた。まず、A から F までの6種類の状態をアルファベット順で読み込んで分類を行ってみた。その結果を図9(a)に示す。中間出力でも異なる状態の A,C,D と出力上昇と炉停止からなるグループに分かれている。出力上昇と炉停止が1グループになっているのは、判断対象のデータが、プラント停止状態から出力上昇に移る直後の状態(B)と、緊急停止による炉停止直前の状態(F)であって、相互に類似の値を示したためと思われる。今回の分類基準による分類では、適当なものと思われる。

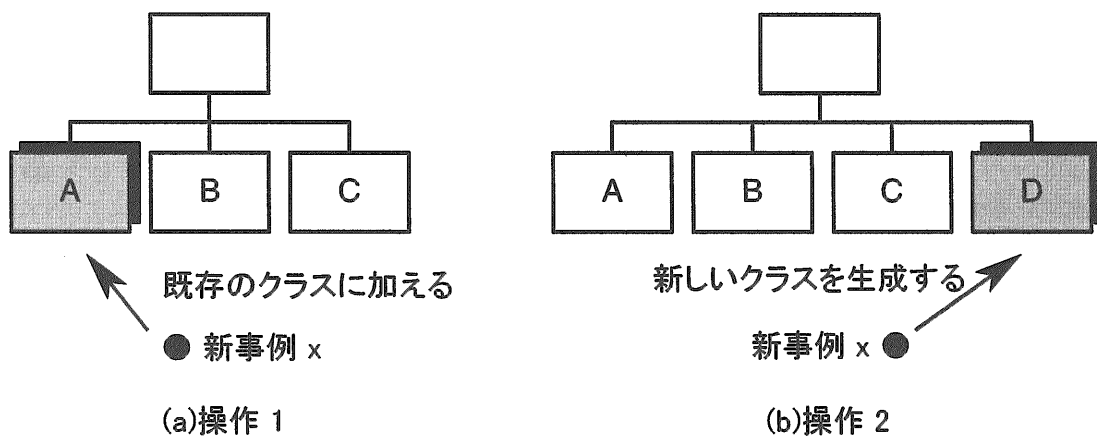


図8 COBWEB の基本操作1及び2

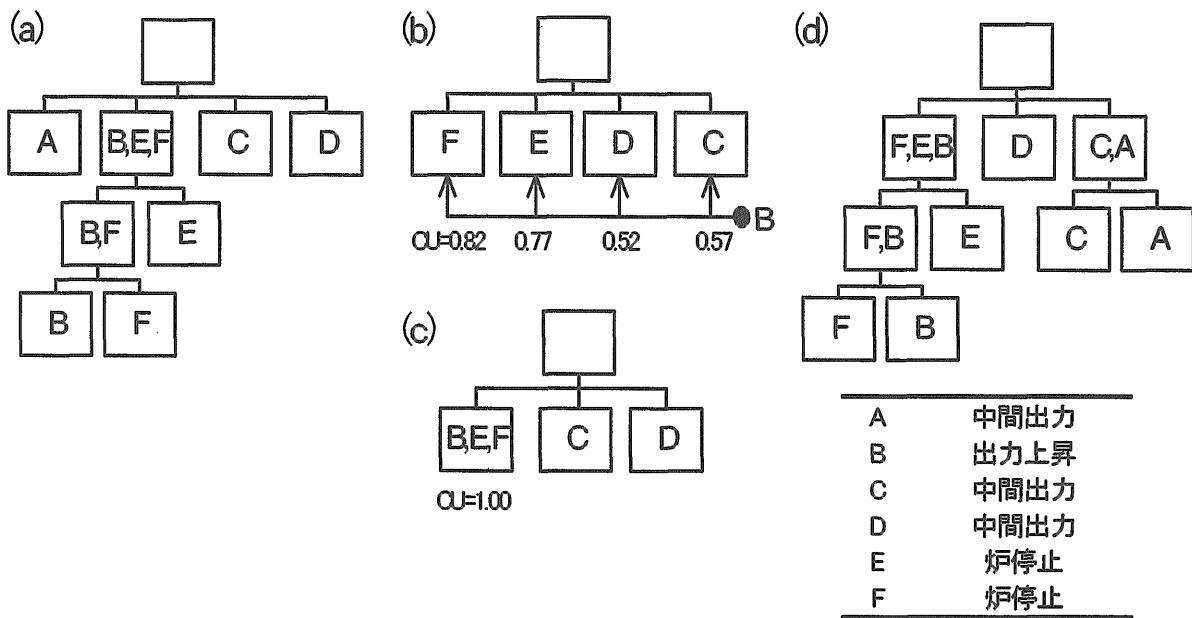


図9 COBWEBによる分類過程

次に、同じデータを前述の場合と逆の順番、Fから読み込む途中の、Bのデータが加えられる際のプロセスについて示したものが図9(b)である。COBWEBの操作では、最初の2個のデータは、それぞれが2個のクラスを作り、1個のクラスを形成することはない。したがって、「E」と「F」は別々のクラスを形成してしまう、そのため(b)に示すようにF~Cまで4つのクラスが形成される。この状態に新たにBを加えた場合には、(b)の図から明らかなように最大のCU値はFのクラスに加えた場合に得られる。ここで、操作3の「結合」を行った場合は(c)の図に示す様にさらに大きなCU値が得られる。この結果、BはFとEとともに3つの要素でクラスを形成することになり、このクラスについては(a)と同じ結果が得られ、操作3の有効性が認められる。しかしながら、この結果にさらにAを加えた場合の結果が(d)図であり、(a)図とは異なった結果が得られている。この点については、新しいデータが加えられる時点での既存の分類構造に依存し、異なった結果が得られるものと考えられる。

次に、今回収集したすべてのデータをアルファベット順で読み込み分類を行った結果を示したものが図10である。図中、説明のためにプラントの出力と時間の関係を略図で示してある。

すると、定格に移行する初期の段階、起動直後およびほぼ停止した状態、定格運転状態から停止に移行する過程そして運転停止直前の状態の各グループに分けることができ、実際に各データを詳細に調べこの結果と比較検討した結果も妥当なものであった。図中の各矢印の示

しているポイントについても、個々のデータから得られるプラントの状態とその変化等の情報と、分類された結果の構造はほぼ矛盾しないものであり、今回の基準による分類は適当であろうと思われる。

この結果に、同じプラント状態(I)を多数加え、その影響について検討した。Iを更に32加え(計33)全体で50の要素となった場合でも、後から加えられたIは、すべて同じクラスに含まれ分類上問題はなく、また全体の構造変化は起こらなかった。

3.5.4. 連続データの分類

PWR プラントシミュレータから得られるプラント状態が連続的に変化する際のデータを分類する事を検討した⁽¹⁸⁾。

基本的なプラント状態の変化として、(a)起動→定格→炉停止という状態を分類分けした。その結果得られたツリー構造を大きく6つのグループ(記号●■▲●○◇で表記)に分けて考えることにする。時間と出力変化の関係を示したグラフ上に、分類された結果を記号を用いて表したものが図11である。この図から、出力変化に対応した分類が適切に行われていることがわかる。

更に、連続的に変化していく状態を加えて分類した結果が図12である。ある状態から他の状態へとわずかでも変化が起こった場合に別のグループに分類され、プラント状態の変化を適切に判断していることがわかる。

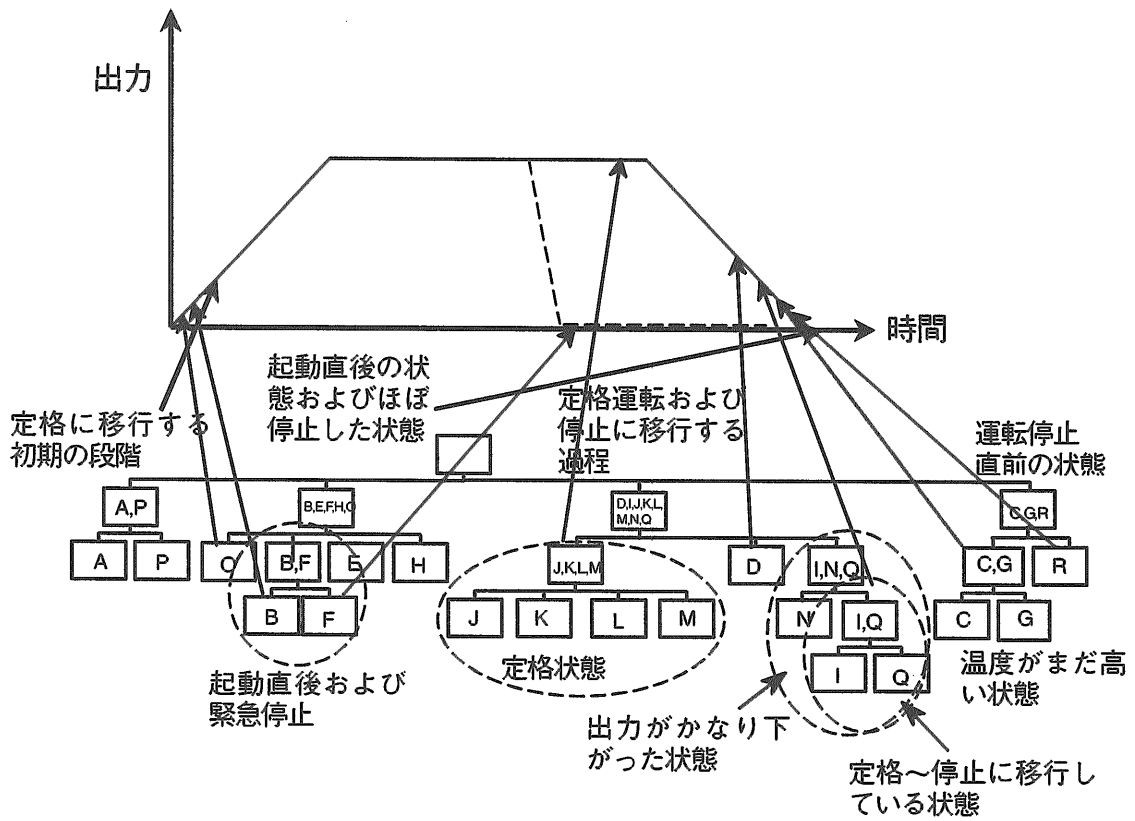


図 10 COBWEB による自動分類結果

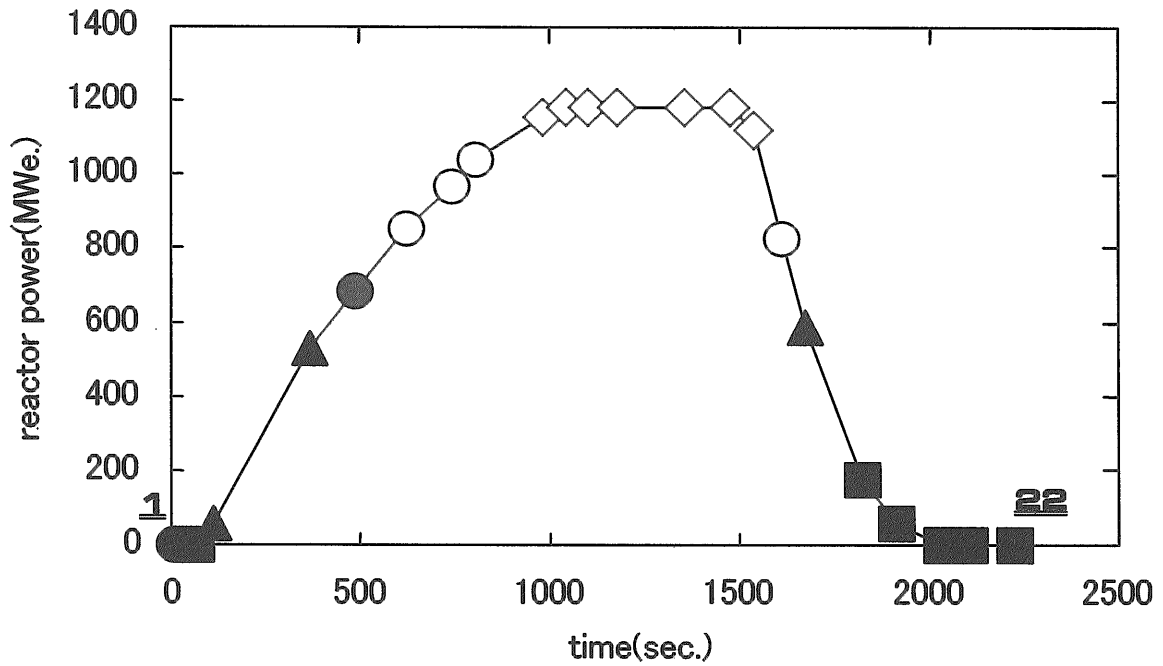


図 11 連続的に変化させたプラント状態の分類結果

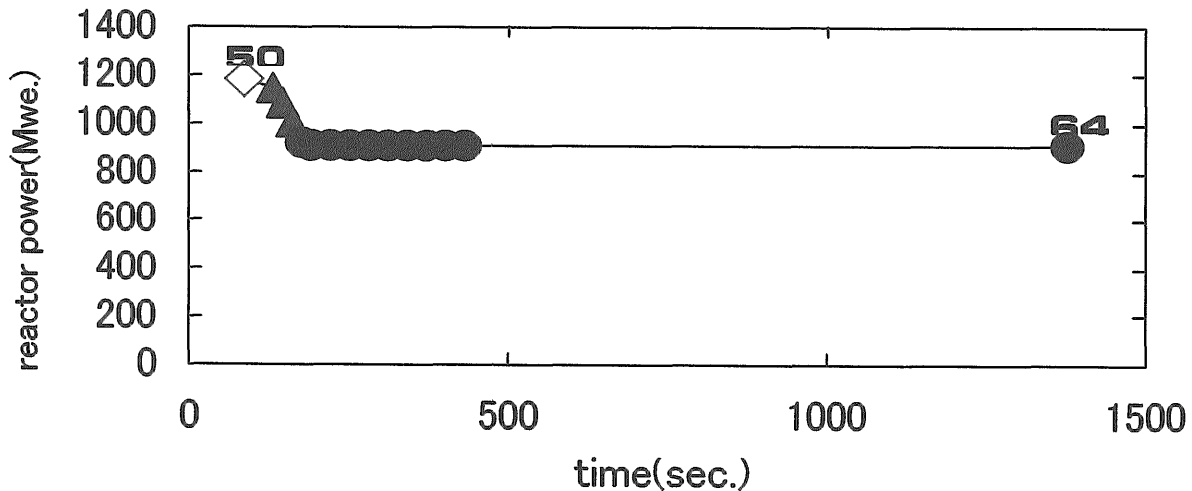


図12 プラント状態微小変化の判別例

3.5.5. プラント模型との接続

このプラント状態自動分類機能も PWR プラント・シミュレータを対象として開発を進めてきた。この自動分類機能において表 2 に示すプラント模型の各測定値を入力値データとし、プラント模型の運転状態の自動分類ができるようにした。各測定値からなる一群の値を1セットとして入力し、前述の逐次学習法によりプラント状態の分類を行った。この場合プラント模型からのデータを受け取れる様にすれば良く、プラント機能モデルで実施したルール、判断値の調整の様な作業は不要である。図 13 に分類の結果得られたツリー構造を示す。ツリー構造中の各枝の意味づけを図中に与えてある。定常運転状態が2箇所に見えてくるが、これは実際の装置が生成する物理量の微妙な条件の違いによる異同を判断している結果と思われる。図中左端部分の定常運転状態は運転開始後の定常状態に対応しており、右から2番目の群の定常運転状態は一度炉心温度を上昇させた後定常状態に戻した場合に対応している。

この実験で、プラント模型に対しても分類は適切に行われていることが確認できた。

3.5.6. プラント状態自動分類機能まとめ

プラントの状態の分類方法として、逐次学習法の1つである COBWEB を応用した分類方法を検討した結果、様々なプラント状態を適切に分類し、またシステムが経験していない未経験のプラント状態の変化に対しても適切な分類が行われ、有効な方法であることが認められた。

運転員に現在のプラント状態を過去に経験した状態

との類似度により分類・提示することはプラント運転状況把握を容易にするものと思われる。特に故障原因が明確でない突然の変化が発生した場合でもプラント状態判断、故障原因同定にとって貴重な支援情報となり得るものとする。しかしながら、本機能は分類された結果の各グループの意味やその状態の解釈を与えるものではない。この点については今後の検討課題のひとつであるが、各プラント状態の情報からそれらの属するグループ全体の意味や状態の解釈を 3.4. で説明したプラント機能モデルを利用して行うことが考えられる。

3.6. ロボット群動作状況の表示

自律型プラントでは、高度な機能を持ったエージェントの1つとして自律ロボット群が存在し保守作業を自律的に実施する事が想定される。

自律型プラント内におけるロボット群の動作状況を運転管理者に伝達する⁽⁹⁾ためには以下の情報を分かり易く表示する必要がある。

各ロボットのプラント内における位置情報、

プラント機器との関与状況。

ロボット相互間での情報伝達の有無、種類、協調関係。

ロボット群とそれらを統括する上位の管理機構との間の制御関係、階層関係。

これらをロボットの動的な行動に対応して表示していく必要がある。この表示についても三次元的画像表現を検討しており、ウインドウ環境、C++ Open Inventor を整備し開発中である。

図 14 は三次元的画像表現の一例であり、中央にプラント

表2 プラント模型各部測定値と対応する自動分類機能入力項目

プラント模型測定値	プラント状態自動分類機能 機能機器名	入力項目 センサー値
1次系炉心入口温度左右の平均値	原子炉容器	入口温度
1次系炉心温度	原子炉容器	出口温度
炉心圧力	原子炉容器	圧力
炉心圧力	加圧器	圧力
1次系炉心温度	加圧器	液相温度
1次系蒸気発生器入口温度	蒸気発生器 A	入口温度
1次系蒸気発生器出口温度	蒸気発生器 A	出口温度
炉心圧力	蒸気発生器 A	圧力
2次系蒸気発生器圧力	蒸気発生器 A	蒸気圧力
2次系流量	蒸気発生器 A	給水流量
2次系流量	蒸気発生器 A	蒸気流量
2次系蒸気発生器出口温度	蒸気発生器 A	二次側保有水温度
1次系蒸気発生器入口温度	蒸気発生器 B	入口温度
1次系蒸気発生器出口温度	蒸気発生器 B	出口温度
炉心圧力	蒸気発生器 B	圧力
2次系蒸気発生器圧力	蒸気発生器 B	蒸気圧力
2次系流量	蒸気発生器 B	給水流量
2次系流量	蒸気発生器 B	蒸気流量
2次系蒸気発生器出口温度	蒸気発生器 B	二次側保有水温度
2次系流量	主給水ポンプ A	流量
2次系流量	主給水ポンプ B	流量
1次系流量	一次冷却材ポンプ A	流量
左側ループ1次系炉心入口温度と 1次系蒸気発生器出口温度の平均値	一次冷却材ポンプ A	温度
1次系流量	一次冷却材ポンプ B	流量
右側ループ1次系炉心入口温度と 1次系蒸気発生器出口温度の平均値	一次冷却材ポンプ B	温度
左側ループ1次系炉心温度 =1次系蒸気発生器入口温度	高温配管 A	代表温度
炉心圧力	高温配管 A	圧力
右側ループ1次系炉心温度 =1次系蒸気発生器入口温度	高温配管 B	代表温度
炉心圧力	高温配管 B	圧力
左側ループ1次系炉心入口温度と 1次系蒸気発生器出口温度の平均値	低温配管 A	代表温度
炉心圧力	低温配管 A	圧力
右側ループ1次系炉心入口温度と 1次系蒸気発生器出口温度の平均値	低温配管 B	代表温度
炉心圧力	低温配管 B	圧力

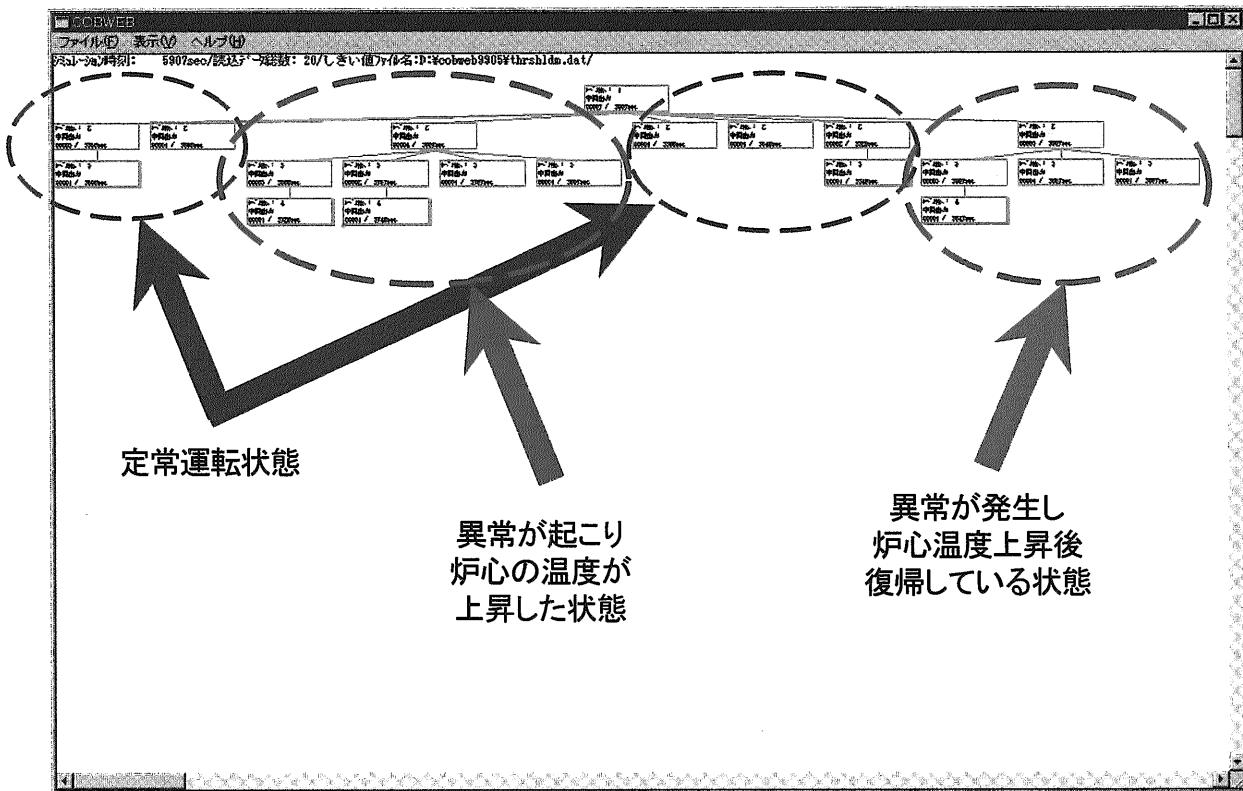


図 13 自動分類機能によるプラント模型の状態分類結果

模型があり、理研で開発したロボット3台がそれを取り囲んで観察している。実際のロボットの行動に伴って画像中のロボット位置も変化し、ロボット間の情報のやりとりも画像的に表示する事を検討中である。

3.6.1. ロボット群行動のシミュレーション

理化学研究所で開発中のロボット群行動の表示に先立ち、表示方法の要件検討のため、ロボット群行動のシミュレーションプログラム (ARSP: Autonomous Robot Simulation Program) を作成した。

6個の同等のサブシステムより構成された仮想的なプラントを対象とし、プラント内を巡回ロボット群が点検のため移動しているとした。各サブシステムは正常状態、軽故障状態、重故障状態の3状態を取り、単位時間当たりの故障率を一定として乱数を用いて故障を発生させている。

軽故障の場合は1組3台のロボットにより修復され、重故障の場合は1組5台のロボットにより修復されるとした。

3.6.2. 個々のロボット行動

プラントの内を巡回しているロボットは当初すべて

同等とし、以下の機能を与えた。

- ①プラント内のサブシステム間をあらかじめ決められた順番に従って移動していくが、他のロボットが現に検査中の場合はそこを飛ばして次へ移動する。
- ②サブシステムとの距離が60単位以内(ロボットサイズは32単位)になるとサブシステムの状態を検出して正常・軽故障・重故障の判断を行う。
- ③故障しているサブシステムを最初に発見したロボットがリーダーロボットとなる。
- ④リーダーロボットは他のロボットにサブシステムの故障情報を伝える。
- ⑤他のロボットに現在の役割を尋ねる。
- ⑥巡回行動中のロボットの中から距離の近い順に照明ロボット、修理ロボットの役割を割り付け集合させる。重故障の場合は2組の照明・修理ロボットを集合させる。照明ロボット：指定された場所に移動しサブシステムを照らす。修理ロボット：指定されたサブシステムの修理を行う。必要ロボット数が集まらない場合は⑤の役割の問い合わせを繰り返す。
- ⑦修理完了後サブシステムが正常状態に戻ったことを他のロボットに知らせる。