

プラント運転手順の自動導出システム

3H-7

林 俊文* 池田 旬**

*東芝 原子力技術研究所 **東芝 機器エンジニアリングセンター

1. はじめに

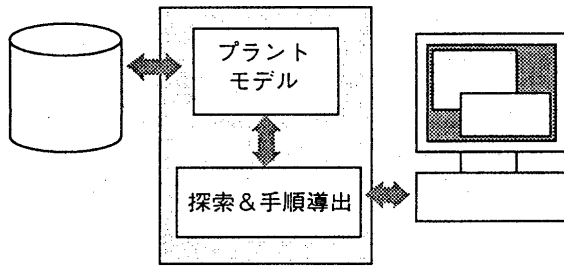
沸騰水型原子力プラントの異常・事故時の運転手順を動的に導出するシステムを開発した。

一般に、原子力プラントでは、多重の安全設備が設けられている。これらの安全設備を有効に活用し、より一層の安全を達成するために、いくつかの運転支援システム¹⁾が開発されてきた。これらのシステムは、プラントを安全な状態に導く運転操作手段を導出することを目的とするもので、プラントの状態/故障モードとそれに対応する予め定められた運転操作手順を知識ベース化し、プラントのプロセスデータの変化に基づいて適切な運転操作を選択するものである。

これら従来の支援システムに対して、本システムは、予め定められた手順ではなく、プラントの構造モデルを基に、正常に機能する機器を組み合わせ、手順を導出するという特徴を持つ。

2. システム概要

本システムは、図-1に示すようにプラントの構造を記憶するためのデータベース部、運転手順を導出するための推論部、結果をプラント運転員に対話的に提供するインターフェース部の三つから構成されている。



データベース部 推論部 インターフェース部

図-1 システム構成

これらの三つの部分は、異なるプロセスとして実現され、プロセス間通信によって、お互いにデータを交換しながら処理を進める。したがって、これらのプロセスは物理的に異なる計算機上に分散して配置することもできる。

データベース部は、配管、弁、ポンプ、タンクなどの接続関係と属性を記憶している。属性とは、配管の太さ、設計圧力、電動弁、電動ポンプの電源、ポンプの能力などである。これらはリレーショナルデータベースとして記録されている。

推論部は、データベース部からデータを入力し、適当なデータ変換を施してプラントのオブジェクトモデルを構築する。プラントの運転手順はこのモデルを対象に、後述する処理を進めることによって導出される。推論部は、Common LispとCLOSを使用して実現されている。

インターフェース部は、プラント運転員の要求を受け付けて推論部に要求を送り、推論部からの結果を表示する。プラント運転員は、表示された結果を基に最終的な判断を行う。この部分はグラフィカルユーザーインターフェースを実現するため、オブジェクト指向のシステムとして実装されている。

以下、推論部を中心に説明する。

3. 運転手順導出の方法

原子力プラントの安全にとっては、原子炉の冷却、放射能の隔離、格納容器の冷却が本質的である。これらは、物質および熱の移動を制御することによって達成される。一方、原子力プラントには、常用・非常用を含め、多くの配管、弁、ポンプが装備されており、これらは物質と熱の移動を制御するための要素と見ることが出来る。推論部は、これらの機器を適切に組み合わせ、上記の目的を達成するための運転方法を導出する。典型的な例として、原子炉を冷却するための水の注入は、外部の水源から原子炉への水の移送として導出される。

推論部は、この様に運転手順を導出するために、オ

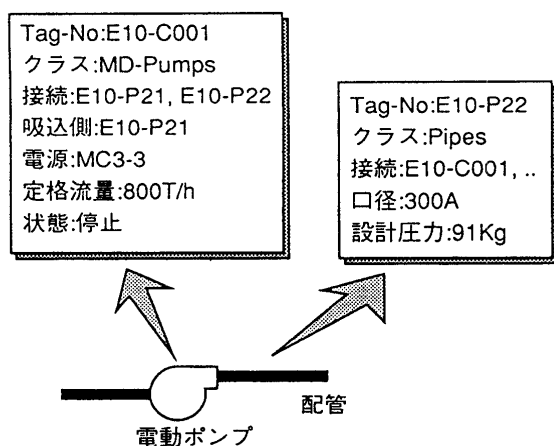


図-2 モデルの概念

プロジェクトモデルを使用する。このモデルでは、プラントの機器一つ一つに対応するオブジェクトを生成することによってプラントを表現する。

図-2にモデルの概念を示す。各機器に対応するオブジェクトは、機器に固有の番号として付けられたTag-Noを使用して識別される。オブジェクトは機器の種類を区別するために、クラスによって分類され、機器の属性、例えば電動ポンプの電源、定格流量、配管の口径、設計圧力等はオブジェクトのスロットとして表される。また、配管等の接続関係もスロットを使用して、相互参照ポインターとして表現される。さらに、プロセス信号を監視することで、機器の状態をオブジェクトの動的な属性として反映する。

推論部は次の2ステップの処理をプラントのオブジェクトモデルに適用して運転手順を導出する。

ステップ1：オブジェクトモデルにおける結合関係をグラフとして考え、水のシンク（例えば原子炉）から、オブジェクトの接続関係を辿りながら、ソース（水源）までのパスを探索していく。ソースは、特定の機器に対応するインスタンスとして指定される場合と性質を指定される場合（例えば、水があるところなどどこでもよい場合）がある。探索の過程では各オブジェクトの属性を調べながら、故障している部分はもちろん、オブジェクトの性能に関する属性（配管の口径、途中通過する機器の状態等）の評価を行い、その結果に基づくベストファーストサーチでシンクを探す。

ソースからシンクへのパスが探索されると、次にこのパスをプラントの他の部分から隔離する弁を探す。これらの結果は、探索中の評価項目と合わせて評価し、一定の基準を満足するまで探索を続行する。

ステップ2：パスが見つかったら、そのパスを構成する弁、隔離弁、ポンプの操作方法と順序を決める。

以上の2ステップは、インタフェース部からの要求に基づいて、プラント運転員が適切と認める運転操作が見つかるか、あるいは適当なものがないと判明するまで繰り返される。

4. 時間変化への対応

本システムは、オンラインでの作動を前提としているため、オブジェクトには、動的に変化する属性が存在する。例えば、導出した運転手順で使用されるポンプが、実際には故障して行いて動かない場合等である。

このような時間変化に対応する為に、ATMS²⁾で使用されている仮説の管理方法を応用した。すなわち、導出される手順で使用される機器が正常であることを仮説とし、導出された手順が適切であることを、その仮説から導かれる結論と考える。

例えば、手順Pが、ポンプp1、弁v1、弁v2を使用するとし、p1,v1,v2が正常であるという仮説をそれぞれ、 Γ_{p1} , Γ_{v1} , Γ_{v2} とする。手順PにATMSノード γ_P に対応させ、次のように正当化する。

$$\Gamma_{p1}, \Gamma_{v1}, \Gamma_{v2} \Rightarrow \gamma_P$$

後で、例えばp1が故障した場合は、 Γ_{p1} が成立しなくなるので、上の正当化が崩れ手順Pが不適であることが解かる。

尚、本システムでは仮説の生成とそれによるパスの正当化を探索に平行させて行なう。

5. まとめ

原子力プラントの異常・事故時の運転手順を動的に導出するシステムを開発した。本システムを、いくつかの想定事故シナリオに適応した結果、適切な運転手順を導出できることが実証された。

本システムは通産省補助事業による開発成果の一部である。

参考文献

- [1] Y. Takizawa, T. Hayashi, N. Saijou, and T. Morioka, *A Post Trip Operational Guidance System for BWR Plants*, Nuclear Engineering and Design 110(1989) 385-393
- [2] Johan de Kleer, *An Assumption-based TMS*, Artificial Intelligence 28(1986) 127-162
- [3] 林、廣瀬、池田、原子力プラントマン・マシンシステムの開発、日本原子力学会「1989年会」要旨集 B32