

# 制御用エキスパートシステム

3K-7

## - 定性的モデルに基づく診断機構 -

岩政 幹人\* 鈴木 淳三\* 持地 繁\*\* 神谷 昭基\*\*

(株)東芝 システム・ソフトウェア技術研究所\* 府中工場\*\*

### 1 はじめに

プラント制御タスクはリアルタイム性、安全性が要求され、診断、計画、設計などを含む広範なタスクである。我々は火力発電プラントを対象とした制御用エキスパートシステムの研究を行って来た。特に我々が興味を持つのは、経験的な制御知識の全く無い不測の事態に対するプラント制御の実現である[1][2]。本論文ではその診断機構について説明する。本診断機構は以下に示す特徴を持ち、不測の事態に対する診断を実現する。

- ・ 定性的モデルの利用
- ・ 後ろ向き(結果から原因の方向)推論
- ・ 仮説に基づく推論
- ・ 観測値に基づく故障仮説の生成

### 2 システム構成

図1に診断機構を含めた制御用エキスパートシステムのシステム全体構成を示す。不測の事態が発生したらまず診断機構が故障の仮説を生成し、その仮説に基づいて対策操作導出機構が対策操作を導出する。そして操作実行検証機構が実際にプラントに操作を実行して効果を検証しその結果をもとに再び診断機構を起動し、異常事態が回避されるまで診断-対策-操作検証を繰り返す(対策検証評価系と呼ぶ)。本論文で説明する診断機構は対策検証評価系を構成する重要な機能モジュールであり、推論部、偏差検知部、定性的モデルによって構成される。診断部が観測値と定性的モデルをもとに推論を実行し故障仮説を生成する。

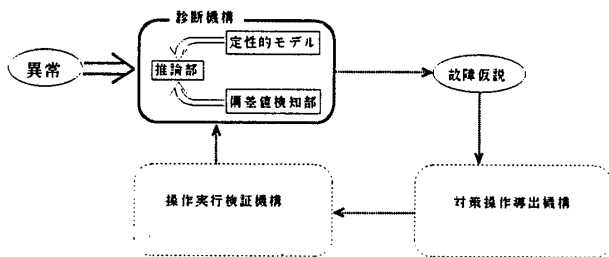


図1 システム構成

### 3 定性的モデル

本診断機構は各パラメータの正常値からの定性的なズレ(定性偏差)と対象の定性的モデルを用いて異常の原因を推論する。定性的モデルは、制御対象の物理パラメータ間の定性的な因果関係によって構成される。例えば気体の状態方程式

$$P = \text{const} \times m \times T / V$$

(P:圧力,m:質量,T:温度,V:体積)

は定性的に以下のようにモデル化される。

$$[P] = [m] + [T] - [V]$$

意味:Pの定性変化はm,Tの定性変化と同符号であり、Vの定性変化と異符号である

制御対象を支配する原理は物理法則、機器間の接続関係及びそれらの組み合わせであり、これらの原理をもとにして定性的モデルを構築する。

### 4 定性的モデルを用いた推論

#### 4-1 後ろ向き推論

定性的モデルを用いる診断手法には、前向き(原因から結果の方向)に推論を実行して診断を実現する方法がある[3]。しかしこの方法では異常原因の候補をあらかじめ仮定しなくてはならず、不測の事態には対応できない。そこで本診断機構では、観測された徴候(結果)から原因を後ろ向きに推論する事によって不測の事態に対する診断を実現した。

#### 4-2 仮説に基づく推論

推論に用いる知識は以下の性質を持つ

知識の不完全性:パラメータが全て観測可能とは限らない  
(例:気体の質量など)

モデルの不確実性:不測の異常事態を考慮すると定性的因果関係が正しくない可能性がある。

例えば気体の状態方程式を熱交換器などのタンクに適用した場合、タンクの破壊等の不測の事態では式は成り立たなくなる。逆に不測の事態に対する診断では異常な定性的因果関係の発見が診断の重要な要素となる。

これらの知識の不完全性やモデルの不確実性に対してはパラメータの定性偏差が正当性の仮説と、定性的因果関係の正当性の仮説を導入する。導入した仮説はその正当性を常に検証しながら推論を進める。得られた診断結果は仮説に依存するため故障仮説となる。

#### 4-3 観測値に基づく故障仮説の生成

推論はパラメータの定性偏差を、定性的因果関係のネットワークに定性伝播させることによって実現する。定性伝播は以下に示すように観測値の情報に基づいて制御される。

1)あるパラメータの定性偏差の原因が定性的因果関係により複数推論される場合には、推論を分岐させて互いに独立(他のパラメータの定性偏差を意識せず)に推論を進める。これは原因となるパラメータの定性偏差の少なくとも一つには、定性的因果関係から推論できる偏差が生じているからで

ある。

2)パラメータに観測値がある場合には推論結果と比較し、一致しなければそのパラメータから先の推論を実行せず他の選択枝の推論を続ける。一致したら、他の選択枝を枝刈りし効率を上げる。

3)パラメータに観測値がない場合には推論された定性偏差を仮定(仮説の導入)して推論を進める。

途中の推論結果(パラメータの定性偏差)はこのパラメータに関する観測値の有無、観測値との比較結果、外部パラメータ(定性的モデル上では、さらなる原因がない)かどうか、によって以下に示すように解釈され、推論の制御および故障仮説の生成を実行する。

観測値	観測値との比較	外部パラメータか	解釈と推論制御
あり	一致	yes	1
あり	一致	no	2
あり	不一致	-	3
なし	-	yes	4
なし	-	no	5

- 1 枝刈りを実行して推論を継続する。
- 2 このパラメータの偏差が原因である。故障仮説を生成して推論を停止する。
- 3 推論せず他の選択枝の推論を実行する。
- 4 仮説を立てて次の推論を実行する。
- 5 この偏差が故障の原因である可能性がある。故障仮説を生成して他の原因の推論を続ける。

3において、ある定性的因果関係式によって推論されたパラメータの定性偏差が観測値と全て不一致であったときは、その定性的因果関係が異常である可能性があるという故障仮説を生成し他の原因の推論を続ける。

このようにして生成される故障仮説は以下の3種類である

- (1) 原因となる外部パラメータの偏差
- (2) 原因である可能性のある外部パラメータの偏差
- (3) 定性的因果関係が異常である仮説

推論は(1)の故障仮説を生成するか、定性的モデルを全て探索し尽くすまで推論を続ける。得られた故障仮説は(1),(2),(3)の順に優先順位を付ける。

### 5 火力発電プラントへの適用例

本診断機構を火力発電プラントに適用した例を以下に示す。図2に火力発電プラントの構成の概要を示す。ボイラーの発生蒸気によりタービン・発電機が回転し、発電する。タービン排気蒸気は復水器で海水で冷却され水となり、再びボイラーに供給される。今この復水器の真空度が低下(圧力の上昇、 $P=[+]$ )してしまった不測の異常を考える。図3の診断結果に示すように定性的因果関係 $r1\sim r4$ と観測値の情報をもとに後ろ向きに $P=[+]$ を定性伝播し、最終的に復水器を冷却する海水の入り口温度の上昇( $Tin=[+]$ )が故障仮説として生成された。推論結果をもとにして異常事態を定性

的に説明すると海水温度の上昇( $Tin=[+]$ )により復水器での熱交換が減少( $H=[-]$ )し復水器の温度が上昇( $Tcond=[+]$ )それによって復水器の飽和水蒸気圧が上昇( $Psat=[+]$ )して復水器の真空度が低下( $P=[+]$ )したことが分かる。

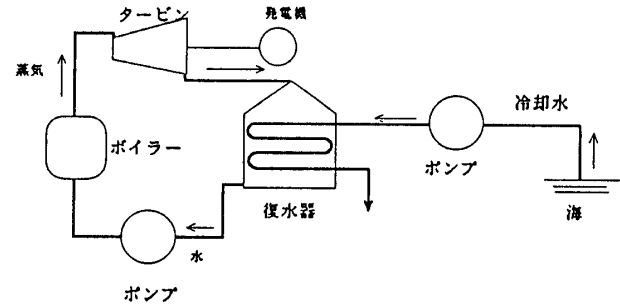
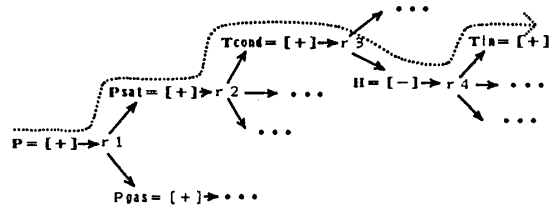


図2 火力発電プラント復水器周辺システム構成



P: 復水器真空度 P<sub>sat</sub>: 飽和水蒸気圧 P<sub>psat</sub>: 空気分圧 T<sub>cond</sub>: 復水器温度  
 H: エンタルピー Tin: 海水入り口温度  
 r1: 分圧の式 r2: 気体方程式 r3: エネルギーバランスの式  
 r4: 熱交換の式

図3 診断結果

### 6 まとめ

制御用エキスパートシステムにおいて、定性的モデルを利用する事によって不測の事態に対応する診断機構を開発した。今後対策検証評価系として統合し、柔軟な制御システムを構築する予定である。

### 謝辞

本研究はICOTからの委託テーマである「制御用エキスパートシステム」の研究の一部として行われたものであり、研究の機会を与えて頂いたICOT研究部の生駒部長代理、およびICOT第7研究室の新田室長に感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1]小沼千穂,他:不測事態に対応するプラント制御用エキスパートシステムー定性推論を組み込んだ推論機構の開発ー,第40回情全大(1990)
- [2]鈴木淳三,他:深い知識に基づく制御用エキスパートシステムー深い推論機構と詳細検証機構との融合ー 第11回知識知能システムシンポジウム(1990)
- [3]M.Gallanti,A.Stefanini,and L.Tomada,"ODS: a diagnostic system based on qualitative modeling techniques" Proc.of The Fifth CAIA(1989)