

氏 名	わし 篤	お 尾	たかし 隆
授 与 学 位	工	学	博 士
学位授与年月日	昭和 63 年 3 月 25 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 原子核工学専攻		
学 位 論 文 題 目	原子カプラント異常症候導出及び異常診断システム の開発		
指 導 教 官	東北大学教授 梶山 一典		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 梶山 一典	東北大学教授 平川 直弘	
	東北大学教授 戸田 三朗	東北大学教授 竹田 宏	
	東北大学助教授 北村 正晴		

論 文 内 容 要 旨

1. 序 論

原子カプラント等の大型プラントの安全性向上を目的として異常症候導出や異常診断のシステム開発が盛んである。従来、これらのシステムには以下の様な問題点があった。

- (1) 一つのプラントの設計情報が各目的、抽象化レベルで重複して用意されている。
- (2) 人間の手で作成される基礎知識にヒューマンエラーが入り込む可能性がある。
- (3) 実際の問題に必要な異常診断システムの診断知識や診断時間が膨大になる。
- (4) 多くの異常診断システムは動的なプラントの時間変化情報を有効利用していない。

これらの問題を解決する為の方策として、筆者は

- (1) 各分野の安全知識はプラントの同一の設計情報を基に作成する。
- (2) わかりやすい具体的記述で、設計情報作成時のヒューマンエラーを少なくする。
- (3) 人間が介在しない事で、安全知識導出過程のヒューマンエラー発生を防止する。
- (4) 診断知識の変換、縮約、構造化により知識容量、診断時間を大幅に削減する。
- (5) プラントの異常症候に着目し、時間情報の有効利用を行う。

を考えた。これ等の方策に基づき、プラントの異常症候導出と異常診断を行うシステムの開発を進めた。

2. システムの全体構成

異常症候導出及び異常診断システムの全体構成をFig.1に示す。データベースエディタは特殊な構造のデータベースを構築する為の専用ツールである。定性的シミュレータは設計情報データベースを基にプラントの異常症候を導出する。導出された異常症候は異常原因と対応づけ

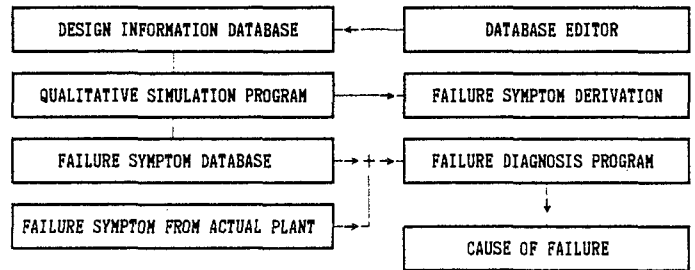


Fig.1 異常症候導出及び異常診断システムの全体構成

られ、異常症候データベースにまとめられる。異常診断プログラムは実プラントの出力異常症候についてデータベースを検索し、対応する異常原因を推定する。本システムに於ては先に述べた方針が全て考慮されている。

3. プラント設計情報データベース

プラントは構造と性質という互いに比較的独立した知識によって記述できる。データベースを、各コンポーネントや部品の結合と内部構造を記述する構造データと、構成材料の性質や部品の機能を記述する性質データとに分けて構成した。データは人間に理解しやすい具体的な記述にした。

構造データは上部構造と下部構造を持つ。上部構造はネットワークであり、プラント内の各コンポーネントや部品をノードで表し、それらの結合関係をブランチで表す。下部構造は上部構造の各ノードの内部構造を空間的配置通りに平面上のセルにより記述したものである。各セルは物質名と状態パラメータの値を持つ。

性質データファイルは物質や部品名の下に、物性や機能を事象の因果関係を表すプロダクションルールで記述している。条件節に隣または自身のセルの状態関係が記述され、結果節に条件節の状態が成立した場合のセルの状態遷移則が記述される。

4. 定性的シミュレーション

異常症候導出に於ては、プラント内の異常に於ける各部の状態パラメータの厳密な変化ではなく、現れる症候と起る事象が重要である。こうした知識は定性的な推論により設計情報から直接的に導出し得ると考え、構造、性質両データの体系の定性的シミュレーションプログラムの開発を行った。以下に、推論のアルゴリズムを説明する。

- (1) 構造データ中の着目セルの構成材料、部品の種類と状態を調べる。
- (2) 着目セルの隣のセルの構成材料、部品の種類と状態を調べる。
- (3) 両セルの種類と状態に該当するルールを物性データの中から選び出す。
- (4) 着目セルにそのルールを適用して次の時刻の状態を推論する。

この手順の推論を着目セルの四方隣のセル全てについて行い、更にこれを構造データ内全てのセル

について行う。

本定性的シミュレータ検証の為に、加圧水型原子力プラント二次系について、数値シミュレータの外乱、異常模擬データと導出異常症候を比較した。Fig.2に給水流量センサ故障による異常症候導出の結果例を示す。各種外乱、異常による各パラメータの時間的変動傾向は両者とも定性的に一致しており、適確な異常症候導出を行える事がわかった。

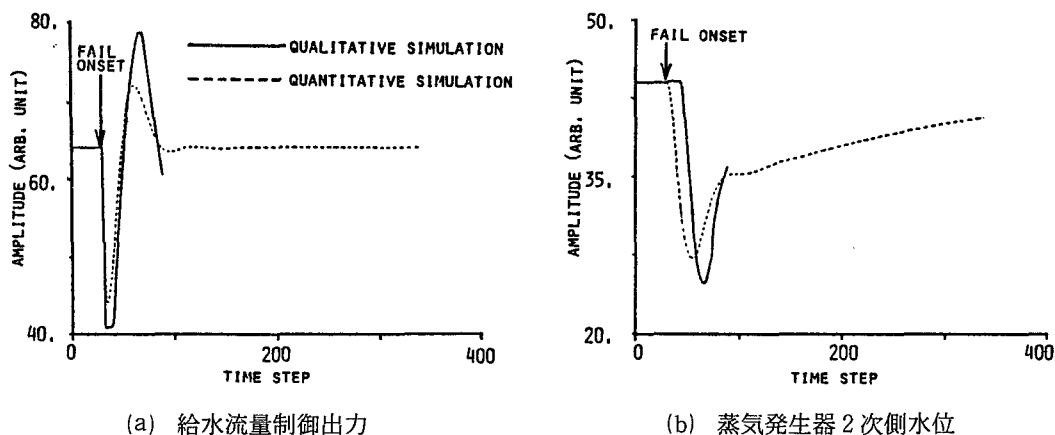


Fig.2 異常症候導出結果 (故障による給水流量センサ出力の飽和)

5. 異常症候データベース

定性的シミュレータより得られる異常症候とその異常原因は対応づけられ、異常症候データベースにまとめられる。診断知識容量、診断時間の大幅な削減の為に、異常症候は主要部分の検出、切出し、変換、縮約を施されて、検索効率の良い型式に構造化される。

主要部分の検出手法には、様々な定常レベルからの変動検出能力、高い検出感度が望まれる。本研究では、信号過程と測定過程のモデルを仮定し、カルマンフィルタにより信号の最小自乗推定値を求め、 χ^2 -検定にして検出する手法を開発した。

この検出後、20~30秒程度の期間を主要部分として切出す。始めの異常の直接の症候は変動が始まってすぐ表れ、その後はフィードバック効果や二次誘起異常、保護機器作動等の他の影響が支配的になると考えられるからである。

次に主要異常症候の変動パターンの特徴と変動強度の程度を抽出する為に、直交関数変換し低次の変換パラメータを求める。直交関数としては、増加、減少、一定と言った変化傾向を抽出するのに適している、二値の矩形波状のWalsh関数を採用した。

更に低次Walshパラメータは、主要異常症候の変動パターンと変動強度の定性的特徴を表す三値の強度記号に縮約される。この縮約には、標本異常症候群に関するそのパラメータの事前確率分布にベイズの定理を適用して得られる、事後確率分布を用いる。

縮約された異常症候は、データベースの検索時間削減の為にツリー型式に構造化され、各異常原因と対応づけられる。ツリー構造では、膨大な異常症候と異常原因の対応の中から、変換の次数、

即ち強度記号の個数だけの文字比較で原因を診断できる。

6. 異常診断プログラム

異常診断では、まず実プラントの異常症候を検出、切出し、変換、縮約する。更に縮約では事後確率から強度記号判定の情報量を求める。ツリー構造内で、平均情報量がある値より小さく、判断の確信度の高い経路に沿って探索し診断の柔軟化を図る。また各推定異常原因の平均情報量を診断結果の確信性の目安にする。更にフォールスアラームを避け、複数信号に基づく総合的診断を行う為、各信号による共通異常原因を推定結果とする。

本異常診断プログラム検証の為に、加圧水型原子力プラント2次系の数値シミュレータによる54種類の異常症候につき、5種類のセンサに基づく診断を行った。Table 1に給水流量センサ故障による異常症候に関する診断結果例を示す。各種異常について、実際の異常原因及び規模に最も近いデ

Table 1 異常診断結果(1900t/hでの給水流量センサ出力の固着)

信号	推定異常原因	情報量
蒸気発生器内水位	・蒸気発生器内水位センサ出力10%増加	5.66
	・給水流量センサ出力2000t/h固着	9.12
給水流量制御計出力	・給水流量センサ出力2000t/h固着	0.00
	・蒸気発生器内水位センサ出力10%増加	0.00
蒸気発生器給水流量	・給水流量センサ出力2000t/h固着	4.79
	・Aループ主蒸気逃し弁2%漏洩	5.45
主蒸気管内圧力	・給水流量センサ出力2000t/h固着	14.92
	・給水ポンプ回転数15減少	29.20
主蒸気管内流量	・給水流量センサ出力2000t/h固着	4.41
	・Aループ主蒸気逃し弁6%漏洩	24.60
総合判断	・給水流量センサ出力2000t/h固着	5.96

ータを診断結果として与え、ミニコンピュータや高速のマイクロコンピュータ上で現実的時間内で診断可能である事が確認できた。

7. 結 論

本研究では以下の開発と成果を得た。

- (1) ヒューマンエラーの少ない具体的共通設計情報データベース
- (2) ヒューマンエラーの無い異常症候導出を行う定性的シミュレータ
- (3) 時間的情報を含む効率的容量の異常症候データベース
- (4) 異常原因を効率的に推定する異常診断プログラム

以上により共通設計情報に基づく高信頼性、高効率の異常症候導出、異常診断システムが実現されたと考える。

審 査 結 果 の 要 旨

原子力発電のエネルギー需給に占める割合が大きくなってきた現在，原子力プラントの安全向上対策は益々重要となりつつある。そのための方策が幾つか行われており，異常診断手法の開発もその一つである。著者は，従来行われてきた原子力プラントの異常症候導出と異常診断技術の持つ問題点を克服するため知識工学的手法を用いた開発を提案し研究を行ってきた。本論文はその成果をまとめたもので全編5章よりなる。

第1章は序論で，本研究の目的と問題点解決の方針を明らかにしている。

第2章では，プラント構造と構成機器の材料および物性値を設計情報として人間の錯誤が入らぬように知識データベースを構築し，これを用いて異常症候導出と異常診断の基礎的データを作成する定性的模擬法を提案している。これによって，異常過渡応答の定性的な大きさと変化傾向を推論し迅速に表出することが可能になるとしている。

第3章では，第2章で提案した手法を用いて異常過渡応答から異常症候データベースを作成し，異常診断を行う処理法の詳細について述べている。すなわち，プラントの計装センサーの出力時系列データから主要変動部分を切り出し，ウォルシュ直交関数展開による変換係数を強度記号に縮約変換して特徴抽出を行い，これにより異常原因の検索を行うもので，従来になかった新しい手法を確立したものと見える。

第4章では，電気出力1000MW加圧水型原子力プラントの二次冷却系に対して本手法を適用した場合の結果について述べている。ここでは，原子炉シミュレータを用い人為的に生起させた代表的な異常に対して過渡応答を導出し，異常症候データベースを構築した。また，同様に程度の異なった種々の代表的な異常を生起させ，計装信号の解析と症候データベースの参照により異常原因を推論し適確な診断結果が得られることを確認している。以上の検証は，著者が提案し開発した手法が迅速で十分な信頼性のあることを示すもので，本研究の重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は，知識工学的手法を用いて原子力プラントの異常症候導出と診断を行うための方法を開発し，その安全性向上に有用な指針を提案したもので，その成果は原子核工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。