

JAERI - M  
88-044

知識工学に基づく原子炉異常診断のための  
知識ベース作成法に関する一検討

1988年3月

青柳 俊彦\*・吉田 一雄・廣田 康浩\*\*  
藤木 和男・鴻坂 厚夫

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 山田軽印刷所

知識工学に基づく原子炉異常診断のための知識ベース作成法に関する一検討

日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部

青柳 俊彦<sup>\*</sup>・吉田 一雄・廣田 康浩<sup>\*\*</sup>

藤木 和男・鴻坂 厚夫

(1988年2月受理)

エキスパートシステムの手法を用いて原研で開発した原子炉異常診断システムDISKETの知識ベースの作成作業は、シミュレータにより生成した各種の原子炉過渡挙動データ（模擬事故データ）に含まれる各種のアラーム及びパラメータ変化についての多量のデータを、原子炉過渡解析に豊富な経験を有する技術者が、工学的判断に基づいて分類整理する手作業に多く依存している。

そこで本研究では、知識ベース作成時に分析者の主観の入る余地を少なくし、且つ作業に要する労力低減を図るアプローチとして、統計学の手法の一つである「因子分析」の方法に着目し、上記の各種アラーム及びパラメータ変化についてのデータの分析に適用することにより、過渡事象を分類、識別するのに役立つデータを抽出して、異常診断用エキスパートシステムの知識ベースの原型版を作成することを試みた。

試作した知識ベースを用いてシミュレータで発生させたデータによる事故の診断を行った結果、事故分類（大、中、小の3レベル）の中の中位にあたる、事故群の識別には十分な性能が発揮され、統計学的手法の応用は知識ベースの原型版作成に有効であることが判った。

---

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

\* 九州旅客鉄道会社

\*\* 株式会社CSK

AN APPROACH TO BUILD A KNOWLEDGE BASE FOR REACTOR  
ACCIDENT DIAGNOSTIC EXPERT SYSTEM DISKET

Toshihiko AOYAGI<sup>\*</sup>, Kazuo YOSHIDA, Yasuhiro HIROTA<sup>\*\*</sup>  
Kazuo FUJIKI and Atsuo KOHSAKA

Department of Reactor Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 1, 1988)

In the development of a rule based expert system, one of key issues is how to acquire knowledge and to build knowledge base (KB). On building the KB of DISKET, which is an expert system for nuclear reactor accident diagnosis developed in JAERI, several problems have been experienced as follows. To write rules is a time consuming task, and it is difficult to keep the objectivity and consistency of rules as the number of rules increase. Further, certainty factors (CFs) must be often determined according to engineering judgement, i.e. empirically or intuitively. A systematic approach was attempted to handle these difficulties and to build an objective KB efficiently.

The approach described in this report is based on the concept that a prototype KB, colloquially speaking "an initial guess", should first be generated in a systematic way and then is to be modified and/or improved by human experts for practical use.

Statistical methods, principally Factor Analysis, were used as the systematic way to build a prototype KB for the DISKET using a PWR plant simulator data. The source information is a number of data obtained from the simulation of transients, such as the status of components and annunciators etc., and major process parameters like pressures,

---

\* Management Administration Department, Kyushu Railway Company

\*\* Research and Development Department, CSK Corp.

temperatures and so on.

The results of diagnoses shows that the statistical method, Factor Analysis, is powerful for building a prototype of knowledge base of an expert system for reactor accident diagnosis like DISKET.

Keywords: Knowledge Base, Reactor Diagnostic System, Reactor Accident, DISKET, Factor Analysis, Multivariate Analysis

## 目 次

1	はじめに	1
2	原子炉異常診断システムDISKET	2
2.1	DISKETの概要	2
2.2	知識ベース作成上の問題点	3
3	因子分析の適用	4
3.1	因子分析の応用による知識ベース作成の概要	4
3.2	因子分析について	5
4	知識ベース原型版の作成	9
4.1	事故データマトリックスの作成	9
4.2	事故の分類	9
4.3	ルールの作成	11
5	知識ベース原型版の性能評価	14
6	まとめ	15
	謝 辞	15
	参考文献	16
	付 録	44

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Reactor Accident Diagnostic System DISKET .....	2
2.1 Overview of the DISKET System .....	2
2.2 Problems on Building a Knowledge Base .....	3
3. Factor Analysis .....	4
3.1 Concept of Building Knowledge Base using Factor Analysis Method .....	4
3.2 Outline of Factor Analysis Method .....	5
4. Building Prototype Knowledge Base .....	9
4.1 Making Transient Data Matrix .....	9
4.2 Classification of Transients .....	9
4.3 Rule Extraction .....	11
5. Performance Evaluation of Prototype Knowledge Base .....	14
6. Discussion .....	15
Acknowledgement .....	15
Reference .....	16
Appendix .....	44

## 1. はじめに

米国TMI (Three Mile Island) 2号炉の事故以来、原子力発電所における異常発生時の運転員の負担を軽減し、誤操作等の人的過誤を防止して、事故の早期収拾および影響の軽減を図るためのプラント設計の改良が重視されるようになった。その中でも特に、異常時に必要となる大量の情報処理のため計算機技術を積極的に利用した支援システムの開発が重点的に推進されるようになった。

原子力プラントにおける計算機利用は既にTMI事故以前から主として計装、制御の分野で進められていた。TMI事故以後の支援システムの開発において特徴的な点は、従来からの数値情報処理に加え、曖昧さを含む情報の総合的分析や、それに基づく診断、最適な運転指示の提示等に適用するため、記号処理技術の広範な利用が図られている事である。

一方、新しい情報処理技術の流れとして人工知能研究から派生した「知識工学」と呼ばれる計算機応用分野が、ここ10年程の間に急速に台頭した。従来からの人工知能研究が、人間が行う様々な知的活動の計算機上での実現、という遠大な課題をテーマにしているのに対し、知識工学では対象となる領域(世界)を、それに関する「知識」が計算機上に表現可能な程度に限定した上で、計算機による推論や問題解決を行う手法である。知識工学の中でも、とりわけ特定の専門分野における専門家の判断、推測等の過程を模擬する「エキスパートシステム」については、学界のみならず産業界でも近年その開発が広く行なわれるようになった。

原研原子炉安全解析研究室はにおいても既に昭和56年より、原子炉の異常事象の診断および原因の同定のために知識工学の手法を応用したプログラムの開発に着手し、昭和60年に原子炉異常診断システムDISKET (DIagnostic Sysytem based on Knowledge Engeneering Technique) の1次版の開発を終了した<sup>1), 2)</sup>。DISKETの基本的な構成は通常のエクスパートシステムと同じく、推論機構(または推論エンジンとも呼ぶ)と知識ベースから成るが、原子炉の各種物理パラメータの時間変化の効果を推論の過程で取扱えるようにする等、従来のエクスパートシステムには見られない特徴を備えている。

エキスパートシステムの開発はこの様に盛んであるが、その重要部分である知識ベースの作成は、内容、構造が応用分野毎に特殊な知識に強く依存する関係から、個々のケースでアプローチが異なり、一般的な方法論は確立されていない。DISKETの1次版の場合は、後でも述べるようにPWRを模擬したシミュレータにより生成した各種の原子炉過渡挙動データ(模擬事故データ)に基づいて知識ベースを作成した。その作業は模擬事故データ毎に含まれる各種のアラーム及びパラメータ変化についての多量のデータを、原子炉過渡解析に豊富な経験を有する技術者が、工学的判断に基づいて分類整理する手作業に多く依存している。このような方法に頼ってでは、将来実用規模の異常診断システムに対する知識ベース構築の際に技術的な困難に陥ることが予想される。このため、より系統的(システムティック)な手法を整備する必要がある。

そこで本研究では、知識ベース作成時に分析者の主観の入る余地を少なくし、且つ作業に要する労力低減を図るアプローチとして、多量のデータを統一的に扱うのに適する統計学的手法の適



用を検討した。その中でも特に多数のデータ中に存在する隠れた特徴要素を抽出するために用いられる「因子分析」の方法に着目し、上記の各種アラーム及びパラメータ変化についてのデータの分析に適用することにより、過渡事象を分類、識別するのに役立つデータを抽出して、異常診断用エキスパートシステムの知識ベースの原型版を作成することを試みた。

本報告は、このような試みの結果を取りまとめたものである。本研究の成果の概要については、別の形態<sup>3), 4), 5)</sup>で発表されているが、本報は、それらの技術的内容を具体的に記述したものである。

## 2. 原子炉異常診断システム DISKET

### 2.1 DISKET の概要

DISKET (DIagnostic Sysytem based on Knowledge Engeneering Technique) は原研原子炉安全解析研究室で開発を進めている、原子炉異常事象の診断、および原因の同定のためのエキスパートシステムである。図 2.1 に DISKET の概念を示す。システムの構成は、原子炉過渡事象の際に発生するアラーム信号やパラメータ変化の特徴から異常の種類・原因を同定するための情報(知識)を格納した「知識ベース」と、当研究室で独自に開発した「推論機構 IERIAS<sup>1)</sup>」(Inference Engine for Reactor Accident Identification System) から成立っている。

知識ベースはルール型表現の知識ベースと呼ばれるタイプのもので、構成はデータ定義部とルール記述部からなる。前者は仮説(Hypothesis)と生起事象(観測される事象という意味から Findings と呼ぶ) からなり、後者は仮説、生起事象相互の関係を記述した次の 3 つの表現型式からなる。

FF ルール：生起事象間の関係

FH ルール：生起事象と仮説との関係

HH ルール：仮説間の関係

これらは所謂「IF～THEN・・・」型式のルールと呼ばれるもので、

「条件部(が成立てば)→実行部(が成立する)」

という型式のルールである。詳しくは文献(1)を参照されたい。

知識ベースの作成に際しては、種々のプラントデータから診断のための規則を知識として抽出し、それらをルールの形で知識ベースに蓄積する。したがって情報の流れは図 2.1 に白抜き矢印で示したようになる。一方、診断を行なう際は黒の矢印で示されるように、原子炉プラントから送られてくるプラントデータを知識ベースにルール型式で蓄えられた診断規則と照合することにより、事故の種類や原因の同定を行なう。

エキスパートシステムとしては、医療診断用に米国スタンフォード大学で開発された MYCIN<sup>6)</sup> 等が著名であるが、その目的からして時間変化する物理量の取扱いはあまり考慮されていない場合が多い。即ち、対象とする体系(医療診断では患者)のある時間断面での状態、Symptom に

用を検討した。その中でも特に多数のデータ中に存在する隠れた特徴要素を抽出するために用いられる「因子分析」の方法に着目し、上記の各種アラーム及びパラメータ変化についてのデータの分析に適用することにより、過渡事象を分類、識別するのに役立つデータを抽出して、異常診断用エキスパートシステムの知識ベースの原型版を作成することを試みた。

本報告は、このような試みの結果を取りまとめたものである。本研究の成果の概要については、別の形態<sup>3), 4), 5)</sup>で発表されているが、本報は、それらの技術的内容を具体的に記述したものである。

## 2. 原子炉異常診断システム DISKET

### 2.1 DISKET の概要

DISKET (DIagnostic Sysytem based on Knowledge Engeneering Technique) は原研原子炉安全解析研究室で開発を進めている、原子炉異常事象の診断、および原因の同定のためのエキスパートシステムである。図 2.1 に DISKET の概念を示す。システムの構成は、原子炉過渡事象の際に発生するアラーム信号やパラメータ変化の特徴から異常の種類・原因を同定するための情報(知識)を格納した「知識ベース」と、当研究室で独自に開発した「推論機構 IERIAS」<sup>1)</sup> (Inference Engine for Reactor Accident Identification System) から成立っている。

知識ベースはルール型表現の知識ベースと呼ばれるタイプのもので、構成はデータ定義部とルール記述部からなる。前者は仮説 (Hypothesis) と生起事象 (観測される事象という意味から Findings と呼ぶ) からなり、後者は仮説、生起事象相互の関係を記述した次の 3 つの表現型式からなる。

FF ルール：生起事象間の関係

FH ルール：生起事象と仮説との関係

HH ルール：仮説間の関係

これらは所謂「IF ~ THEN・・・」型式のルールと呼ばれるもので、

「条件部 (が成立てば) → 実行部 (が成立する)」

という型式のルールである。詳しくは文献(1)を参照されたい。

知識ベースの作成に際しては、種々のプラントデータから診断のための規則を知識として抽出し、それらをルールの形で知識ベースに蓄積する。したがって情報の流れは図 2.1 に白抜き矢印で示したようになる。一方、診断を行なう際は黒の矢印で示されるように、原子炉プラントから送られてくるプラントデータを知識ベースにルール型式で蓄えられた診断規則と照合することにより、事故の種類や原因の同定を行なう。

エキスパートシステムとしては、医療診断用に米国スタンフォード大学で開発された MYCIN<sup>6)</sup> 等が著名であるが、その目的からして時間変化する物理量の取扱いはあまり考慮されていない場合が多い。即ち、対象とする体系 (医療診断では患者) のある時間断面での状態、Symptom に

基づいて推論を行うが、異なる物理量変化の時間的な前後関係は考慮されない場合が多い。一方、原子炉ではアラーム信号あるいはパラメータの増減についての発生時刻の時間的關係は、異常事象の種類・原因の診断上、大きな意味をもつ。そこで、DISKETの開発に当っては、推論機構IERIASに事象変化の時間的前後関係を取り扱う機能を持たせた。次に示すのはDISKETの知識ベース中のルール表現の例である。

主給水ポンプ (PMSGFW) がトリップすればタービントリップソレノイドに通電した (TURSTR) という警報が発信されタービントリップとなる場合のルール。

F (PMSGFW, #, F) → F (TURSTR, T)

ここで、#記号は過去に設定条件を満たす値になったことがあるかどうかの検索のために用いている。即ち主給水ポンプがトリップしたことがあれば (過去にTrueからFalseになったことがあれば)、主給水ポンプ回復後もこのルールは満足されることを意味している。

また条件部には「事象Aの後事象Bが発生するならば」、という意味での前後関係として

A AFTER B →

という記述が可能である。

この他にDISKETの特徴としては、知識ベースを複数のユニット (知識ユニット) に分割することが可能で、場合毎の状況に応じて必要となる知識ユニットのみを参照する (これは、推論の流れを制御するルールにより可能) ことにより効率的推論が行なえるようになっている事が挙げられる。

なお、異常診断のための知識ベースを構築する際には、実際のプラントの過渡変化データは収集が困難なため、先に述べたように3ループPWR型プラントを模擬した小型の訓練用シミュレータにより発生させた原子炉過渡挙動データ (模擬事故データ)<sup>7), 8)</sup> を用いてシステムの開発を進めている。

## 2.2 知識ベース作成上の問題点

一般に、エキスパートシステムの開発において、最も重要な課題の一つは、知識の獲得、すなわち知識ベースの作成である。現在、エキスパートシステムの開発活動と関連して、知識ベース開発支援用の各種ツールの開発、グラフィック等を用いたユーザーインターフェイスの開発等が各分野で盛んに行なわれているが、対象となる世界に関する知識の獲得方法自体について、特に応用を意識した研究は数少ないように思われる。その理由の一つは、エキスパートシステム開発における知識獲得、すなわち知識ベース作成の問題は、個々の応用分野の内容に強く依存し、研究レベルからの一般的、系統的アプローチが難しいためであると考えられる。したがって、原子炉異常診断を始めとする実際の応用のための知識ベース作成では、各適用分野の専門家各自の経験、知識を基にシミュレーション結果等のデータを解釈するに際して、かなりの部分を試行錯誤的な作業で行なっているのが現状である。このような方法に伴う問題点として、以下の諸点が挙げられる。

- (1) 知識ベースの作成は専門家の手作業に依存しており、作成に費やす時間及び労力は多大である。また、専門家毎に異なる知識ベースが出来上がると言っても過言ではなく、作成過程

でルールの客観性を欠く恐れがある。

(ii) ルール型表現を仮定した場合、ルール数の増加に伴い、ルール間の矛盾や重複を防ぐ、いわゆる整合性のチェックが困難になる。これはルール型表現以外、例えばフレーム型表現の知識ベースについても規模が大きくなれば同様である。

(iii) ルールに与えられる確信度の決定は、専門家の経験と勘に大きく依存する。

もとより、エキスパートシステムはその名の通り、専門家の経験、知識を可能な限り計算機上に移し替えようとする物であるから、知識ベース作成に関与する専門家毎に異なる知識ベースが構築されるのはやむを得ないとも言える。しかし、個々のエキスパートシステムが対象とする専門分野（例えば原子炉の異常診断）については、その分野の専門家の中に共通の認識とも言える知識が存在するであろう。更に知識ベース作成時の労力のかかなりの部分は、このような共通認識に当る知識の計算機上への移し替えに対応していると考えられる。

DISKETの知識ベースは前述の様にPWRのシミュレータで発生させた模擬事故のデータを、軽水炉安全解析、動特性解析の専門家が、その知識・経験に基づいて分析して作成したもので、その作業は試行錯誤的な部分がかかりを占めている。したがって上記と同様の問題点を含んでいると云える。

これらの問題点を解決するためには、知識ベースの客観的、効率的な作成手法の検討が必要である。そこで、知識ベースの作成において、専門家の手を煩わせる前に、その分野の専門家ならば誰もが共通して持っていると考えられる部分、いわば知識の共通部分ともいえるものに対応した知識ベースの原型版を効率的に、且つ出来るだけ客観的と考えられる手段で構築する方法について検討した。

すなわち、図 2.2 に示すように、シミュレータ等から得た多数の基礎データに基づいて、一般性のある手法によって系統的にルールを作成し、知識ベース原型版を構築する。この知識ベース原型版をもとに、専門家がルールを追加・修正することによって、実用のエキスパートシステムに供する知識ベースを完成することができるのではないかと判断した。

### 3. 因子分析の適用

#### 3.1 因子分析の応用による知識ベース作成の概要

統計学手法の1つである因子分析を用いた知識ベース原型版作成手法の概要について図 3.1 に示す。まず、シミュレータで各種の異常事故を模擬し、その結果より各事故の際に発生するアラーム信号（発生（ON）を1、発生なし（OFF）を0で表わす）、主要パラメータの増減の特徴（減少は-1、殆ど増減なし0、増加は+1）等をデータとして入手し、それらから模擬事故とアラーム信号、主要パラメータの増減（0, ±1）の対応表（事故データマトリックスと呼ぶ）を作成する。

この事故データマトリックスに因子分析を適用することにより、共通因子を有する模擬事故

でルールの客観性を欠く恐れがある。

(ii) ルール型表現を仮定した場合、ルール数の増加に伴い、ルール間の矛盾や重複を防ぐ、いわゆる整合性のチェックが困難になる。これはルール型表現以外、例えばフレーム型表現の知識ベースについても規模が大きくなれば同様である。

(iii) ルールに与えられる確信度の決定は、専門家の経験と勘に大きく依存する。

もとより、エキスパートシステムはその名の通り、専門家の経験、知識を可能な限り計算機上に移し替えようとする物であるから、知識ベース作成に関与する専門家毎に異なる知識ベースが構築されるのはやむを得ないとも言える。しかし、個々のエキスパートシステムが対象とする専門分野（例えば原子炉の異常診断）については、その分野の専門家の中に共通の認識とも言える知識が存在するであろう。更に知識ベース作成時の労力のかかなりの部分は、このような共通認識に当る知識の計算機上への移し替えに対応していると考えられる。

DISKETの知識ベースは前述の様にPWRのシミュレータで発生させた模擬事故のデータを、軽水炉安全解析、動特性解析の専門家が、その知識・経験に基づいて分析して作成したもので、その作業は試行錯誤的な部分がかかりを占めている。したがって上記と同様の問題点を含んでいると云える。

これらの問題点を解決するためには、知識ベースの客観的、効率的な作成手法の検討が必要である。そこで、知識ベースの作成において、専門家の手を煩わせる前に、その分野の専門家ならば誰もが共通して持っていると考えられる部分、いわば知識の共通部分ともいえるものに対応した知識ベースの原型版を効率的に、且つ出来るだけ客観的と考えられる手段で構築する方法について検討した。

すなわち、図 2.2 に示すように、シミュレータ等から得た多数の基礎データに基づいて、一般性のある手法によって系統的にルールを作成し、知識ベース原型版を構築する。この知識ベース原型版をもとに、専門家がルールを追加・修正することによって、実用のエキスパートシステムに供する知識ベースを完成することができるのではないかと判断した。

### 3. 因子分析の適用

#### 3.1 因子分析の応用による知識ベース作成の概要

統計学手法の1つである因子分析を用いた知識ベース原型版作成手法の概要について図 3.1 に示す。まず、シミュレータで各種の異常事故を模擬し、その結果より各事故の際に発生するアラーム信号（発生（ON）を1、発生なし（OFF）を0で表わす）、主要パラメータの増減の特徴（減少は-1、殆ど増減なし0、増加は+1）等をデータとして入手し、それらから模擬事故とアラーム信号、主要パラメータの増減（0, ±1）の対応表（事故データマトリックスと呼ぶ）を作成する。

この事故データマトリックスに因子分析を適用することにより、共通因子を有する模擬事故

毎にいくつかの事故群に分類し、次にアラーム及び主要パラメータ増減挙動と、分類された事故群との相関係数を計算して、この結果からルールの抽出と確信度の決定を行なう。そして、これらのルールを収集、整理することにより、知識ベース原型版を作成する。詳細については、3章で具体的な例を用いて説明する。

なお、本報告で扱っているものと同じシミュレータによる模擬事故データの中、アラーム信号についての因子分析の試みは、既に原研、藤井らによって報告<sup>9)</sup>されているが、本作業ではこれを一歩進め、上に述べたように主要パラメータ増減挙動についてのデータを追加し、更に次章に述べるように因子分析を段階的に適用する等の工夫を加えると同時に、その結果を具体的にルール作成に応用し、知識ベース原型版の作成を行なった。

### 3.2 因子分析について

因子分析とは、様々な事象間の相互関連の強さを分析し、それら事象の背後に潜む共通の因子を探る統計的方法であるが、ここでは簡単な例による基本モデルを用いて、因子分析の概念について述べる。

いま  $n$  人について、数学、物理、化学のテストの点数が各  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  で得られているものとする。テストの点数は、簡単のため平均 0, 分散 1 に標準化されているものとする。一般に、各々のテストの点数の間には相関々係があり、物理の成績がよい学生は数学の成績もよく、また化学も得意である、という相関が見られる。このように 3 つのテストの間に相関々係があり、その相関を高める要因として少数個の因子を考えることにより、相互の関係を説明しようとするのが、因子分析である。この場合には、理科的能力が高いことにより数学、物理、および化学の点数をよくしている、と考えることができる。

理科的能力という 1 つの因子で  $n$  回のテストの点数の関係を説明できる時、次のようなモデルが想定される。

$$\left. \begin{aligned} x_{1j} &= a_1 f_j \\ x_{2j} &= a_2 f_j \\ x_{3j} &= a_3 f_j \end{aligned} \right\} (j=1, 2, 3 \dots, n) \quad (3.1)$$

ここで、 $f_j$  は理科的能力を現す因子  $f$  (平均 0, 分散 1 とする) の  $j$  番目のサンプル (学生) における値である。 $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  は 3 つのテストの点数と因子  $f$  に対する関連の強さを表わす因子負荷量と呼ばれるものである。

ところで、因子  $f$  は 3 つのテストに共通に作用しているが、その他に、特定のテストに対してのみ作用すると想定される因子  $v$  が存在すると考えられる。前者は共通因子と呼ばれる。後者は特殊因子 (あるいは独自因子) と呼ばれ、各テスト固有の変動を表わす。したがって、前述のモデルは、 $x_i = a_i f + v_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) という形になる。 $j$  番目のサンプルに対する具体的な表式で表わせば、

$$\begin{aligned}x_{1j} &= a_1 f_j + v_{1j} \\x_{2j} &= a_2 f_j + v_{2j} \quad (j=1, 2, 3, \dots, n) \\x_{3j} &= a_3 f_j + v_{3j}\end{aligned}\quad (3.2)$$

$v_{1j}$  :  $x_1$  の特殊因子

$v_{2j}$  :  $x_2$  の特殊因子

$v_{3j}$  :  $x_3$  の特殊因子

となる。 $v_1, v_2, v_3$  は平均0, 分散  $u_1^2, u_2^2, u_3^2$  をもつ確率変数である。上記のようなモデルが成立つ時,  $x_i$  の分散は ( $f$  の分散1, 平均0,  $v$  の平均0 という性質により),

$$\begin{aligned}\left(\frac{1}{n}\right) \sum_j x_{ij}^2 &= \left(\frac{1}{n}\right) \sum_j (a_i f_j + v_{ij})^2 \\ &= a_i^2 + u_i^2 \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)\end{aligned}\quad (3.3)$$

$x_i, x_j$  の共分散は,

$$\begin{aligned}r_{ij} &= \left(\frac{1}{n}\right) \sum_k x_{ik} x_{jk} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_k (a_i f_k + v_{ik}) (a_j f_k + v_{jk}) \\ &= a_i a_j \quad (i \neq j; i, j=1, 2, 3)\end{aligned}$$

となる。

これを行列  $\Sigma$  で表わすと対称行列で,

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} \\ \cdot & 1 & r_{23} \\ \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1^2 + u_1^2 & a_1 a_2 & a_1 a_3 \\ \cdot & a_2^2 + u_2^2 & a_2 a_3 \\ \cdot & \cdot & a_3^2 + u_3^2 \end{bmatrix}\quad (3.4)$$

となる。

一般に,  $p$  個の変量の間、の相関々係を  $m$  個の共通因子で説明すると仮定して, 次のようなモデルが考えられる。

$$\left. \begin{aligned}x_1 &= a_{11} f_1 + \dots + a_{pm} f_m + v_p \\ \dots &\dots \\ x_1 &= a_{p1} f_1 + \dots + a_{1m} f_m + v_1\end{aligned}\right\} \quad (3.5)$$

または, 行列で表わして,

$$\begin{matrix} X & = & A & \cdot & F & + & V \\ (p \times \ell) & & (p \times m) & & (m \times \ell) & & (p \times \ell) \end{matrix} \quad (3.6)$$

ここで,  $A$  は因子負荷量行列,  $F$  は因子得点ベクトル,  $V$  は独自因子の得点ベクトルである。

前述の因子が1つの場合のモデルと同様に, 共通因子 ( $f_1, f_1, \dots, f_m$ ) はそれぞれの平均0, 独自因子 ( $v_1, v_2, \dots, v_p$ ) は平均0, 分散  $u_1^2, u_2^2, \dots, u_p^2$  と仮定する。更に, 通常、の因子分析モデルにおいて, 次の仮定がある。

(1) 共通因子 ( $f$ ) と独自因子 ( $v$ ) は無相関。

(2) 異なる独自因子 ( $v_1, v_2, \dots, v_p$ ) は互に無相関。

(3) 異なる共通因子 ( $f_1, f_1, \dots, f_m$ ) は互に無相関。

このような仮定を持つ因子を直交因子と呼ぶ。すなわち、因子分析によって推定される潜在因子が相互に関連がないことを仮定している。これに対して、得られた因子がある程度相関してもよいという立場で求められる因子を斜交因子と呼ぶ。

直交因子の場合、 $p$ 変量ベクトル  $x$  の分散共分散行列  $\Sigma$  は、

$$\Sigma = \begin{matrix} & A & A' & + & U \\ (p \times p) & (p \times m) & (m \times p) & & (p \times p) \end{matrix} \quad (3.7)$$

のように表わされる。ここで、 $A'$  は  $A$  の転置行列、 $U$  は独自因子の分散  $u_n^2$  を成分とする対角行列である。

$\Sigma$  の対角要素は、

$$1 = \sigma_{ii} = h_i^2 + u_i^2 \quad (h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2) \quad (3.8)$$

と表わされる。ここで、共通因子負荷量の平方和 ( $h_i^2$ ) は共通性と呼ばれるもので、 $x_{ij}$  が他の全ての変数と全体的にどの程度の関連があるかを示すものである。また、 $u_i^2$  は特殊性と呼ばれ、共通性が大きければ、当然特殊性は小さくなる。

さて、式 (3.7) で表わされた  $\Sigma$  は、モデル (3.6) に基づいて計算されたものであるから、実際に得られる観測データとは一致しない。すなわち、 $p$ 変量 (例えば  $p$ 種のテスト) を、 $n$ サンプル (個体) について測定して得られるデータを、表 3.1 のように  $\{x_{aj}\}$  ( $a=1, 2, \dots, n$ ;  $j=1, 2, \dots, p$ ) で表わす。

これから、標本分散・共分散行列  $V$  を計算する。

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1p} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \\ \cdot & \cdot & & \\ V_{p1} & V_{p2} & \dots & V_{pp} \end{bmatrix}$$

ただし

$$V_{ii} = \frac{\sum (x_{ai} - \bar{x}_i)(x_{ai}' - \bar{x}_i')}{(n-1)} \quad (3.4)$$

この標本共分散  $V_{ii}'$  は、母共分散  $\sigma_{ii}'$  の不偏推定値ではあるが、一般には等しくない。そのうえ、上の因子分析モデルでは、 $\sigma_{ii}'$  (3.7 の  $\Sigma$  の成分) は、 $\sum a_{im}^2$ ,  $\sum a_{im}'^2$ ,  $u_i^2$  のみによって規定されるから、両者に食違いの生じるのはやむをえない。そこで、誤差行列  $E$  を導入して

$$V = \Sigma + E \quad (3.10)$$

と書く。いま、ある方法で因子負荷量  $a_i$  と特殊因子の分散  $u_i^2$  を推定し、これらを (3.7) 式



に代入して $\lambda$ を求め、その $\lambda$ と $V$ との差から行列 $E$ を計算する。もし、 $E$ の各要素がなんらかの基準で十分小さいといえるなら、(3.7)式のモデルは検証されたことになる。この基準の取り方、および $a_{ij}$ ,  $u_i^2$ の推定方法については、種々の方法が考察されている。

因子分析のモデルの考え方としては、この他に表3.1に示すデータマトリックスのデータ構造をできるだけ簡潔に記述する立場などがあるが、数学的手法とあわせて詳細は専門解説書<sup>10), 11)</sup>に譲り、ここでは推定された因子の解釈に関連する因子軸の回転について述べる。

推定された共通因子と因子負荷量は積和の形でしか現われないので、分離してそれぞれを一意に定めるためには、なんらかの別の条件を付与する必要がある。この性質を、幾何学的解釈から回転(rotation)の不定性とよび、実際上は、抽出した共通因子に実質科学上の意味付けがしやすいように、回転すなわち変換を施すのである。その代表的なものとして、次の方法がある。

(1) 主因子法

(2) バリマックス法

(1)は、因子負荷量の平方和が最大になるように因子軸を決定する方法である。(2)は、1つの変数がある特定の因子で高い因子負荷量を持ち、他の因子に対しては非常に低い値を持つように因子軸を選択する方法である。

上記のような方法以外にも勿論多数の方法があるが、例えば一旦ある方法を用いて設定した因子軸 $f_1$ ,  $f_2$ を $\theta$ だけ直交回転させて、

$$f_1' = f_1 \cos \theta + f_2 \sin \theta$$

$$f_2' = f_1 \sin \theta + f_2 \cos \theta$$

と新しい座標軸を設定できる(原点回りの直交回転ならば、 $f_1, f_1'$ は同じ性質を持つことが知られている)。直観的には、図3.2に示すような変換に相当する。すなわち、はじめ①②のグループは、 $f_1$ 因子負荷量が大きく、③④は $f_2$ 因子負荷量が大きい。この因子軸 $f_1, f_2$ を $\theta$ だけ回転させることにより、①②の $f_1'$ に、③④は $f_2'$ に近づく。すなわち、因子軸の回転により、2つのグループの差がより明かとなる。

このように、因子軸の回転によって、因子の解釈をしやすいようにすることがしばしば行なわれる。因子軸が多数ある場合には、因子軸を2つずつ選ぶ場合の全ての組合せについて回転を行なう。

以上のような直観的な回転に対して、解析的に行なう基準バリマックス法もあるが、主旨は同じである。より詳細には、多変量解析の参考書(例えば参考文献<sup>11)</sup>)を参照されたい。

以上、因子分析について簡単に述べたが、本報告で述べる結果では、統計処理プログラムとして、原研計算機システム(FACOM M-380, OSW)上で使用可能な富士通製ANALYST/ANALYZE(統計データ処理パッケージ/統計解析サブプログラム)<sup>12), 13)</sup>を利用した。ANALYST/ANALYZEは、重回帰分析、因子分析、判別分析、主成分分析、数量化理論および検定などの統計解析の機能を持つプログラムである。因子分析については、ANALYSTの中のFACTORコマンドを用いる。FACTORコマンドでは、因子抽出の手法として、一般的な主因子法を、因子軸の回転方法としては、バリマックス回転を用いている。

## 4. 知識ベース原型版の作成

### 4.1 事故データマトリックスの作成

プラントシミュレータにより発生させた34の過渡事象に関する模擬事故データ<sup>7), 8)</sup> から, 39種のアラームについてのON/OFFデータ, および圧力, 温度等の38種類のプラントパラメータを数値データとして入手した。数値データの中, 1次冷却材ポンプ全数(3台)停止の場合のデータの例を図4.1に示す。

アラームのデータについては, 当該過渡事象に際して, 各アラーム信号が発せられる場合(ON)は数値1を, 発せられない場合(OFF)は0を, それぞれ対応させる。また数値データについては, 過渡変化中に増加変化を示すパラメータに対しては1, 減少変化を示すパラメータに対しては-1, 変化なしまたは殆ど変化なしのパラメータに対しては0を対応させる。例えば, 図4.1に示した数値データについては, B LOOPの主冷却材流量は最初急激に減少し, その後ほぼ一定となっている。この場合のデータ変化は, ほぼ一定となる以前の初期段階の特徴から見て減少変化であると考え, -1を対応させる。このようにして模擬事故毎のアラーム及び数値データの値(-1, 0, 1)を2次元(77×34)の表にまとめたものを表4.1に示し, 以下「事故データマトリックス」と呼ぶ。なお, これらの-1, 0, 1を対応させたアラーム及び数値データを以後便宜上すべてアラームと呼び, また過渡事象を「事故」と表わす。表4.1に示した模擬事故, およびアラームの一覧を各々, 表4.2, 表4.3に示す。

作成した事故データマトリックスを検討すると, アラームの現れ方にはいくつかのパターンが見られ, それにより事故の種類判別または事故群への分類が可能となることが示唆される。そこで, アラームの出現パターンが示す傾向を作り出す原因となるもの(すなわち因子)を抽出するため統計学的手法の1つである因子分析法を適用して, この事故データマトリックスの分析を行った。

### 4.2 事故の分類

上述のようにして作成した事故データマトリックスに対して因子分析を行ない, 事故の分類を試みた。この際の考え方を図4.2に示す。即ち因子分析の結果から因子負荷量マトリックスと呼ばれるものが得られる。図中に示す因子1, 因子2等は因子分析によって抽出された因子で, その下の数字は因子に対する, 各事故の関連の強さを表わす因子負荷量である。すなわち, 図4.2において, 事故1は因子1に対しては因子負荷量0.93で強い関連を示し, 因子2, 因子3に対しては関連が弱いことを示している。また, 図の四角で囲まれた事故のグループは, 因子1に対して強い関連を持つ事故の集合と考えられる。同様に, その下のグループは, 因子2に対して大きな因子負荷量を持つグループという具合に分類できる。

このように, 事故データマトリックスの因子分析の結果を用いて, 事故を各因子に対応する事故群に分類することが可能と考えられる。

まず、34の「事故」全部を対象に、事故データマトリックス（表 4.1）を用いて因子分析を行ったところ、表 4.4 に示すように5つの因子（FACTOR 1～5）が抽出された。ここで得られた因子負荷マトリックスを「因子負荷マトリックス(1)」とする。これらの因子の持つ意味を検討したところ、因子1はスクラムを伴う事故に対して強い相関をもつ因子であり、他の4つの因子についてはスクラムを伴わない事故に対して強い相関をもつ因子であることが分かった。表 4.4 に示すように、因子1の寄与は他の因子に比べ非常に大きい（13.72 で、他の因子については約3以下）。これは事故データマトリックス中のアラーム出現パターンにおいてスクラムの与える影響が大きいことを意味するが、この様に1つの因子の寄与率が圧倒的に大きい場合には、その他の意味のある因子が分析結果に表われていない可能性がある事が知られている<sup>11)</sup>。そこで、以後の分析ではスクラムの影響以外の、他の因子の影響も明確に抽出できるように、事故データマトリックスをスクラムを伴う事故（表 4.5）に対するものと伴わない事故（表 4.6）に対するものの2つのマトリックスに分割し、各事故群に対して因子分析を行なう事とした。

スクラムを伴う事故の因子分析結果から得られた因子負荷マトリックス（因子負荷マトリックス(2)とする）を表 4.7 に、またスクラムを伴わない事故の因子負荷マトリックス（因子負荷マトリックス(3)とする）を表 4.8 に示す。

スクラムを伴う事故については、表 4.7 に示す「因子負荷マトリックス(2)」から分かるように、2つの主要な因子が抽出された。2つの因子に対する因子負荷量を検討した結果、表 4.7 中の四角で囲んだ5事象についてはFACTOR 2の方が因子負荷量が大きく、しかも全て0.5以上の値である。従ってFACTOR 2はこれら5事象に共通の特徴、原因を示すものと考えられ、事故の具体的内容からこの場合は「炉心熱除去系の故障」を意味する因子と解釈された。しかしFACTOR 1については、このような適切な意味を解釈できなかったため、前述のスクラムに係わる因子の場合の対策と同様に、FACTOR 1に関係した事故群（表 4.7 中で上記の5事象以外の事象）についての事故データマトリックスに対して再び因子分析を行なったところ、表 4.9 に示すように、3つの主要な因子が抽出された（因子負荷マトリックス(4)とする）。抽出された因子に対する各事故の因子負荷量を検討した結果、新しいFACTOR 1については「2次側熱除去系の故障」と解釈され、新しいFACTOR 2およびFACTOR 3については、共に「圧力制御の故障」に係わる因子と解釈された。

スクラムを伴う事故に関する以上の分類結果を整理すると、表 4.10 に示すようになる。ここで、事故群A 1は因子負荷マトリックス(4)におけるFACTOR 2およびFACTOR 3に強い関連を持つと解釈される事故群であり、A 2は同じくFACTOR 1の事故群、A 3は因子負荷マトリックス(2)におけるFACTOR 2にそれぞれ強い関連を持つと解釈される事故群である。（「発電機トリップ」に関しては、表 4.9 の因子1と因子3の双方に大きな因子負荷量が見出されるが、事故の原因から考えて事故群A 2に分類した。）

スクラムを伴わない事故に対して同様の因子分析を行なった結果、表 4.8 に示す「因子負荷マトリックス(3)」から分かるように、4つの主要な因子に基づいて分類された。分類された各事故群を各々B 1, B 2, B 3, B 4とし、各事故群に対して物理的な意味付けを行なった結果を表 4.11 に示す。（表 4.8 中、「加圧器スプレイ弁誤閉」「蒸気発生機水位低誤検知」については、各FACTORに対する因子負荷量がどれも顕著な値を示していない為、先に述べた「発電機トリッ

プ」の例と同様、原因等事故の内容により分類を決定した。）

なお、ここまで述べてきた事故分類の際に用いられた「因子負荷マトリックス(1)～(4)」は、3章で述べた因子軸回転後のものである。例えば、因子負荷マトリックス(3)は18個の事故に関する情報を含んでいるが、因子軸の回転前には、図4.3に示すような因子パターン（因子負荷量）を示しているものが（因子2と因子4の組合わせを因子軸とする場合）、因子軸の回転を行なった結果、図4.4に示す因子パターンとなる。図4.3と図4.4を比較すると、回転によって事故を示す点（CID(1)～CID(18)）が2つの因子軸に近づいているのがよく分かる。このように、事故分類には因子解釈が容易になるように因子軸回転後の因子負荷マトリックスを用いている。

ところで、DISKETの知識ベースの中の表現では、各事故は推論によって検証されるべき事故仮説として扱われる。そこで、以上に述べた因子分析による事故分類を考慮して知識ベース原型版の事故仮説の階層構造を図4.5に示す構成とした。即ち、はじめに大分類として、「スクラムを伴う事故」と「スクラムを伴わない事故」の2種類に分類し、次に、前述の因子分析の結果に基づく事故群を中分類として採用した。最後に、各事故群に含まれる個々の事故仮説を小分類とした。以下の節では、この分類に従い各事故仮説を検証する為のルール作成方法について説明する。

### 4.3 ルールの作成

DISKETによる原子炉異常診断においては、事故仮説の階層構造に従って大分類、中分類、小分類の順に、それぞれの階層の中での事故（群）判別ルールを適用する。しかし、以下のルール作成に関する説明では、今回の検討における実際の作業手順、考え方と並行して記述するため、(1)中分類、(2)小分類、(3)大分類の順でそれぞれに対応したルール作成方法について述べる。

#### (1) 中分類のルール

異常診断のルールは、観測信号（アラーム）により事故の種類を同定するためのものであるから、それらを作成するためには、先ず分類された事故群とアラームとの関連性を調べる必要がある。そこで、前述の因子負荷マトリックスと事故データマトリックスから、事故群に対応した因子負荷量とアラームとの間で各事故に対する数値の分布についての相関係数を計算し、得られた相関係数に基づきルールの抽出と確信度の決定を行なった。

相関係数の計算には、前出の統計処理パッケージANALYST/ANALYZEの中のCORR コマンドを利用した。

実際に行った作業の説明に先立って、相関係数について簡単に説明しておく。

2変量  $x$ 、 $y$  の分散を  $S_{xx}$ 、 $S_{yy}$ 、共分散を  $S_{xy}$  とすれば

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n, \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / n$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / n$$

このとき

$$r_{xy} = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}$$

を  $x$ ,  $y$  の相関係数という。  $x$  が増加 (減少) する際、  $y$  も増加 (減少) する傾向にあれば、  $r_{xy}$  は正となり、逆に  $x$  と  $y$  の増加 (減少) 傾向が逆であれば  $r_{xy}$  は負となる。

まず、事故分類の際に求めた「因子負荷マトリックス(2)~(4)」と事故データマトリックスから新たに相関計算用データマトリックス(1)~(3)を作成する(表 4.12~表 4.14)。これらのデータマトリックスの行方向の並びは各事故に対応しており、始めの数列の実数の並びは、事故群への分類に用いた「因子」に対する各事故の因子負荷量を示す。その右の各列は、左側の各事故に対応した模擬事故データにおけるアラームの値である。ただし、各表中の事故群に属する事故の間で値が共通なアラームについてはデータを省略してある(そのため表により列方向の長さに違いが生じている)。作成したデータマトリックス(1)~(3)に基づいて、各因子負荷量の列データと各アラームの列データ相互の間の相関を求めた結果が、表 4.15~表 4.17 に示した「相関マトリックス(1)~(3)」である。

次に、これらの「相関マトリックス」の各要素である相関係数を検討した。正の相関係数の値の大きなものは、該当するアラームと事故群との間に強い関連性があると考えられるので、そのアラームが観測されれば、該当する事故群に属する事故が発生している、すなわち

$$F(\text{アラーム } k) \rightarrow H(\text{事故群 } A_i \text{ (の中のある事故が発生)})$$

という事故の中分類に相当するルールを作成できる。どのアラームと事故群の関係をルールとして採用するか基準となる相関係数の下限値(あるいは閾値)については任意性があるが、作成できるルールの数が一事故群当り 5~6 程度になる事を目安として選択の基準を検討し、ここでは 0.4 以上の相関係数に対応する関係について中分類のルールを作成した。なお負の相関係数については、該当する事故群を否定するルールを作成することも可能と考えられるが、今回の作業では取り扱っていない。

ここでルールに与える確信度は、統計学においては関連性を示す指標の 1 つとして相関係数の 2 乗を「決定係数」として用いていることを考慮し、今回の検討では、そのアナロジーとして相関係数の 2 乗をルールの確信度の値として使用した。

例えば、アラーム 1 と事故群 A 1 の間の相関係数が 0.89 であったとすれば、次のようなルールを抽出することができる。

$$F(\text{アラーム } 1, T) \rightarrow H(\text{事故群 } A 1, (0.89)^2)$$

これは、

「もし、アラーム 1 が発信しているならば、事故群 A 1 であることが確信度  $(0.89)^2$  でいえる。」

というルールである。

以上の手順によって作成した中分類のルールの一部を図 4.6 に示す。

## (2) 小分類のルールの作成

小分類のルールとは、上記の中分類のルールによって識別された事故群の中から、特定の事故を識別するためのルールである。その作成に際しては先ず、表 4.18 に示すように事故の分類の結果に基づいて、事故データマトリックスの模擬事故項目を事故群毎に並べ替え、事故群毎に対応するアラームを検討した。

その結果、幸いな事に各事故毎にその事故を識別するために有用なアラームが存在する事が分

った。例えば、図 4.7 は、事故群 A 3 のグループに着目し、各事故でのアラーム信号の ON/OFF 状態を示したものである（表記を簡略にするため事故の名称は 1～5 と省略）。この中から、事故の識別に適用可能なアラームを探すと、例えば、「4KV ブレーカ自動停止」のアラーム信号は、事故 3 に対してのみ現われるので、事故 3 を識別するのに用いることができる。

したがって、この場合には次に示すルールを作成することができる。

$F(4KV \text{ ブレーカ自動停止}, T) \rightarrow H(\text{事故 3}, 0.2)$

同様に、主蒸気管隔離弁の信号からも、次のルールが作成できる。

$F(\text{主蒸気管隔離弁}, T) \rightarrow H(\text{事故 5}, 0.2)$

ここで、確信度の値 0.2 は、次のような基準で決定した。すなわち、各事故毎に事故を識別するのに適用可能なアラームの数を 3～6 個見つけることができることから、ある事故を 1 つの信号だけでなく、これら複数の信号の重なりで同定するために、個々のルールには比較的小さな確信度 0.2 を与えた。（注）

なお、上の様な 1 対 1 の対応で識別に使用可能なアラームは、事故群によっては必ずしも十分な数だけ抽出できる訳ではないので、その場合には、

$F((\text{アラーム } i, T) \& (\text{アラーム } j, T)) \rightarrow H(\text{事故 } m, 0.2)$

$F(\text{アラーム } k, T) \rightarrow H(\text{事故 } n, 0.2) \text{ OR } H(\text{事故 } 1, 0.2)$

といった、複数対応のルールで補っている。

以上の手順によって作成した小分類のルールの一部を図 4.8 に示す。

### (3) 大分類のルールの作成

大分類について識別するルール群は、スクラムを伴う事故か、伴わない事故かを判断するルールである。スクラムの発生の有無については、発信したアラームが直接的に原子炉スクラムを引起こす（原子炉保護系、制御系の機能としてスクラム信号を発信させる）ものか否かの区別に基づいて、アラームと事故仮説大分類を関係付けるルールを作成した。各ルールの確信度については、前述の小分類の場合と同様に、複数（5～6）個のルールが同時に成立して初めて有意（確信度  $> \sim 0.6$ ）な結論が得られるように、一律 0.2 とした。例えば、

$F(\text{タービントリップ}, T) \rightarrow H(\text{スクラムを伴う事故}, 0.2)$

といったルールである。

図 4.9 に作成した大分類のルールの一部を示す。

なお、本報告で作成した知識ベース原型版のプログラムリストを付録として添付する。

## (2) への脚注

DISKET における確信度の合成計算方法にはルール成立条件によって数通り<sup>(1)</sup>あるが、最も簡単な場合には次の様になる。いま仮説 C を支持するルール A とルール B が同時に、それぞれ確信度  $Cf(A)$ ,  $Cf(B)$  で成立した場合、仮説 C の成立に関する確信度  $Cf(C)$  は、

$$Cf(C) = Cf(A) + Cf(B) - (Cf(A) \times Cf(B))$$

で与えられる。 $Cf(A) = Cf(B) = p$  (一定) とすると上の式の右辺は

$$2p - p^2 = 1 - (1 - p)^2$$

となる。同様にある仮説を支持する  $n$  個のルールが同時に同一の確信度  $p$  で成立した場合、仮説

の成立に関する合成確信度は上と同様の計算を繰り返して、

$$Cf_n = 1 - (1 - p)^n$$

となる。p=0.2とすると、このCfnの値はn=3で0.488、n=4で0.590、n=5で0.672となる。一般にエキスパートシステムで確信度を用いた場合、仮説の確信度が0.6～0.7以上あれば、その仮説の成立はほぼ確かであると考えられる場合が多い（逆に、そのようにルールの確信度を調整する場合もある）。したがって小分類ルールが5～6個集まってある事故仮説を支持するためには、各ルールの確信度として、0.2程度が望ましい。

なお、米国スタンフォード大学における医療診断（感染症識別）支援エキスパートシステム、MYCIN<sup>6)</sup>では、ある事象を知っているか否かの基準（閾値）として、経験的に得られた確信度0.2を採用している。したがってその類推で言えば、ここで扱っている異常診断の場合に、事故の同定に適用されるルールの数が1つのみで、その確信度が0.2の時、当該事故は認識されている、と考えるものである。

## 5. 知識ベース原型版の性能評価

以上のように因子分析を応用して作成した知識ベース原型版について、その性能評価を行なった。方法としては、4.2で述べたA1～A4、B1～B4の7つの事故群から、診断の対象とする事故を各1例ずつ任意に選択し、それらの事故についての模擬事故データを用いて診断を行なった。ここでは、その診断の一例を紹介する。

診断の対象とした事象は、主冷却ポンプ全数停止である。この事故は、過負荷運転等により、1次ループの3台の主冷却ポンプの電源が母線から切離され、冷却材流量が急減すると共に、主冷却ポンプトリップによる信号で、原子炉はスクラムするという事象である。

図5.1に示す診断結果は、事故発生後5秒後のもので、大分類については、スクラムを伴う事故であることが同定されている。中分類についても、確信度0.92で「炉心熱除去系の故障」と同定されている。小分類については、目標とする主冷却ポンプ全数停止が相対的に高い確信度で同定されているが、この確信度は他の分類レベル、すなわち大分類、中分類で同定された場合に比べて小さな値となっている。これは、小分類の各ルールは一律0.2の確信度であって、且つこの場合、成立したルール数が若干少ないためと考えられる。

また、他の事故群に属する事故についても診断を行なった結果、小分類について明確には識別できないケースがあったが、その場合でも中分類のレベルまでは、的確に診断できることが分かっている。このような結果から見て小分類レベルのルールについては、4.3で述べたような機械的な方法でなく、より詳細に事故の特徴を検討する等の作業が必要であろう。

今回の因子分析法に基づく知識ベース原型版の作成では、中分類についてのルール作成に因子分析の結果を直接反映させているので、中分類の診断が的確に行なわれていることは、今回試みたアプローチがほぼ妥当なものであることを示していると云えよう。また小分類については性能が不十分な点については、専門家の知識を用いた、ルールの追加・修正、ルールの重み付け等の改良が必要であることを示唆している。

の成立に関する合成確信度は上と同様の計算を繰り返して、

$$Cfn = 1 - (1 - p)^n$$

となる。p=0.2とすると、このCfnの値はn=3で0.488、n=4で0.590、n=5で0.672となる。一般にエキスパートシステムで確信度を用いた場合、仮説の確信度が0.6～0.7以上あれば、その仮説の成立はほぼ確かであると考えられる場合が多い（逆に、そのようにルールの確信度を調整する場合もある）。したがって小分類ルールが5～6個集まってある事故仮説を支持するためには、各ルールの確信度として、0.2程度が望ましい。

なお、米国スタンフォード大学における医療診断（感染症識別）支援エキスパートシステム、MYCIN<sup>6)</sup>では、ある事象を知っているか否かの基準（閾値）として、経験的に得られた確信度0.2を採用している。したがってその類推で言えば、ここで扱っている異常診断の場合に、事故の同定に適用されるルールの数が1つのみで、その確信度が0.2の時、当該事故は認識されている、と考えるものである。

## 5. 知識ベース原型版の性能評価

以上のように因子分析を応用して作成した知識ベース原型版について、その性能評価を行なった。方法としては、4.2で述べたA1～A4、B1～B4の7つの事故群から、診断の対象とする事故を各1例ずつ任意に選択し、それらの事故についての模擬事故データを用いて診断を行なった。ここでは、その診断の一例を紹介する。

診断の対象とした事象は、主冷却ポンプ全数停止である。この事故は、過負荷運転等により、1次ループの3台の主冷却ポンプの電源が母線から切離され、冷却材流量が急減すると共に、主冷却ポンプトリップによる信号で、原子炉はスクラムするという事象である。

図5.1に示す診断結果は、事故発生後5秒後のもので、大分類については、スクラムを伴う事故であることが同定されている。中分類についても、確信度0.92で「炉心熱除去系の故障」と同定されている。小分類については、目標とする主冷却ポンプ全数停止が相対的に高い確信度で同定されているが、この確信度は他の分類レベル、すなわち大分類、中分類で同定された場合に比べて小さな値となっている。これは、小分類の各ルールは一律0.2の確信度であって、且つこの場合、成立したルール数が若干少ないためと考えられる。

また、他の事故群に属する事故についても診断を行なった結果、小分類について明確には識別できないケースがあったが、その場合でも中分類のレベルまでは、的確に診断できることが分かっている。このような結果から見て小分類レベルのルールについては、4.3で述べたような機械的な方法でなく、より詳細に事故の特徴を検討する等の作業が必要であろう。

今回の因子分析法に基づく知識ベース原型版の作成では、中分類についてのルール作成に因子分析の結果を直接反映させているので、中分類の診断が的確に行なわれていることは、今回試みたアプローチがほぼ妥当なものであることを示していると云えよう。また小分類については性能が不十分な点については、専門家の知識を用いた、ルールの追加・修正、ルールの重み付け等の改良が必要であることを示唆している。



## 6. ま と め

原子炉の異常診断を目的としたエキスパートシステムの知識ベース作成に際し、その原型版の作成に統計学手法（因子分析）が有効であることが確かめられた。すなわち、事故に関する判断基準について、専門家ならばほぼ共通に持つであろう知識を抽出するのに、多数のアラーム信号のデータと、各事故との関係を因子分析法により分析する事により、どの「事故群」に属する事故が発生しているかを判別するルール群を抽出する事ができた。このようなルール抽出に係わる問題は、より一般的にはエキスパートシステム（あるいは知識ベースシステム一般）における「知識獲得」の問題の一部であり、今回の試みはそれに対して1つの有効な手法を提案できたものとする。

今回作成した知識ベース原型版は、決して十分なものでなく、特に小分類レベルのルールの作成方法に関しては改善の余地がある。すなわち専門家による細部の検討を通じて知識の追加、修正等を行なって、より性能の良い知識ベースと改良すべきであろう。その際、小分類のルールの確信度の決定方法に関しても、検討の余地があると考えられる。すなわち、本報告では、ルールの多少にかかわらず確信度0.2を与えているため、診断結果としては他の事故と比較して相対的に高い確信度で同定されているが、中分類レベルでの診断に比べれば小さい値となっていて、事故の識別が明確でない。これについても専門家の経験によって、確信度を修正するのも一手段であるが、本報告の中分類レベルのルールの作成に用いた決定係数のような判断基準があると、修正が容易になると考えられる。

このほかの問題点としては、時系列データの取扱いがある。事故データマトリックスを作成する際に、シミュレータから得られた種々の時系列数値データ（例えば図3.1）を（-1, 0, 1）に変換しているが、事故の種類によって事故の進展が異なるため、どのような時間幅で数値の増減を判断するか、また複雑な変動をする場合の解釈をどうするか等、必ずしも一意的（機械的）には処理できない部分がある。

この問題に対しては、画像処理やデジタル通信等の分野で応用されている様に、時系列データの直交関数による展開係数を用いて、デジタル化を行なう等の方法が考えられる。原子力の分野においても鷲尾<sup>14)</sup>らによって、直交関数系の1つであるWalsh関数を用いて、時系列データをバイナリ信号に変換し、診断に応用する試みがなされている。このような時系列データの処理を検討し、統計学的手法と組み合わせることにより、より効率的で客観性の高い知識ベース原型版作成法を構築できる可能性も考えられる。

## 謝 辞

本研究を行なうに当って、因子分析を初めとする多変量解析の手法について御指導いただいた計算センター副主任研究員 藤井 実氏に感謝の意を表します。

## 6. ま と め

原子炉の異常診断を目的としたエキスパートシステムの知識ベース作成に際し、その原型版の作成に統計学手法（因子分析）が有効であることが確かめられた。すなわち、事故に関する判断基準について、専門家ならばほぼ共通に持つであろう知識を抽出するのに、多数のアラーム信号のデータと、各事故との関係を因子分析法により分析する事により、どの「事故群」に属する事故が発生しているかを判別するルール群を抽出する事ができた。このようなルール抽出に係わる問題は、より一般的にはエキスパートシステム（あるいは知識ベースシステム一般）における「知識獲得」の問題の一部であり、今回の試みはそれに対して1つの有効な手法を提案できたものとする。

今回作成した知識ベース原型版は、決して十分なものでなく、特に小分類レベルのルールの作成方法に関しては改善の余地がある。すなわち専門家による細部の検討を通じて知識の追加、修正等を行なって、より性能の良い知識ベースと改良すべきであろう。その際、小分類のルールの確信度の決定方法に関しても、検討の余地があると考えられる。すなわち、本報告では、ルールの多少にかかわらず確信度0.2を与えているため、診断結果としては他の事故と比較して相対的に高い確信度で同定されているが、中分類レベルでの診断に比べれば小さい値となっていて、事故の識別が明確でない。これについても専門家の経験によって、確信度を修正するのも一手段であるが、本報告の中分類レベルのルールの作成に用いた決定係数のような判断基準があると、修正が容易になると考えられる。

このほかの問題点としては、時系列データの取扱いがある。事故データマトリックスを作成する際に、シミュレータから得られた種々の時系列数値データ（例えば図3.1）を（-1, 0, 1）に変換しているが、事故の種類によって事故の進展が異なるため、どのような時間幅で数値の増減を判断するか、また複雑な変動をする場合の解釈をどうするか等、必ずしも一意的（機械的）には処理できない部分がある。

この問題に対しては、画像処理やデジタル通信等の分野で応用されている様に、時系列データの直交関数による展開係数を用いて、デジタル化を行なう等の方法が考えられる。原子力の分野においても鷲尾<sup>14)</sup>らによって、直交関数系の1つであるWalsh関数を用いて、時系列データをバイナリ信号に変換し、診断に応用する試みがなされている。このような時系列データの処理を検討し、統計学的手法と組み合わせることにより、より効率的で客観性の高い知識ベース原型版作成法を構築できる可能性も考えられる。

## 謝 辞

本研究を行なうに当って、因子分析を初めとする多変量解析の手法について御指導いただいた計算センター副主任研究員 藤井 実氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 横林 正雄、吉田 一雄、山本 稔、鴻坂 厚夫 「知識工学を用いた原子炉異常診断システムの推論機構：IERIAS)」 JAERI-M 84-205 (1984)
- (2) Yokobayashi, M., K. Yoshida, A. Kohsaka & M. Yamamoto : "Development of Reactor Accident System DISKET Using Knowledge Engineering Technique," J. Nucl. Sci and Tech., 23[4], 300~314(1986)
- (3) 青柳 俊彦、吉田 一雄、廣田 康浩、藤木 和男、鴻坂 厚夫 「知識工学に基づく原子炉異常診断のための知識ベース作成法に関する一検討」 日本原子力学会分科会、E 1 8 (1986)
- (4) K. Yoshida, T. Aoyagi, K. Hirota, K. Fujii, M. Yokobayashi and A. Kohsaka : An Approach of Building Knowledge Base for Reactor Accident Diagnostic Expert System. ANS Topical Meeting on Artificial Intelligence and other Innovative Computer Applications in Nuclear Industry. USA (1987)
- (5) 鴻坂 厚夫、横林 正雄、松本 潔、藤井 実 「統計的处理方法による原子炉異常診断のための知識ベース作成法に関する検討」 電気学会論文誌C 108巻、4号掲載予定 (1988)
- (6) Buchanan, Bruce G. & Edward H. Shortliffe : "Rule-Based Expert Systems, The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programing Project" Addison Wesley Publishing (1984)
- (7) 村上 善光、内藤 彰、横林 正雄 「PWRプラントシミュレータによる事故解析・その1 (一次系の事故解析)」 JAERI-M 83-048 (1983)
- (8) 村上 善光、内藤 彰、横林 正雄 「PWRプラントシミュレータによる事故解析・その2 (二次系の事故解析)」 JAERI-M 83-081 (1983)
- (9) 藤井 実、横林 正雄、室伏 明 「PWRプラントシミュレータの事故解析データに対する多変量解析」 JAERI-M 85-023 (1985)

- (10) 藤沢 偉作 「多変量解析法」 現代数学社 (1985)
- (11) 奥野 忠一他 「多変量解析法(改)」 日科技連出版社 (1979)
- (12) 富士通 「FACOM OS IV ANALYST解説書(統計データ処理パッケージ)」(1981)
- (13) 富士通 「FACOM OS IV ANALYST/ANALYZEコマンド説明書(統計データ処理パッケージ/統計解析サブシステム)」(1982)
- (14) 鷲尾 隆、北村 正晴、梶山 一典 原子力プラント安全性関連知識自動生成システムの開発(Ⅱ)、日本原子力学会「昭61分科会」Oct. 1986 九州大学(1986)

表 3.1 因子分析のためのデータ

	テ ス ト						
	x 1	x 2	...	x i	...	x p	
サ ン プ ル ( 個 人 )	1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1i}$	...	$x_{1p}$
	2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2i}$	...	$x_{2p}$
	:	:	:	:	:	:	:
	$\alpha$	$x_{\alpha 1}$	$x_{\alpha 2}$	...	$x_{\alpha i}$	...	$x_{\alpha p}$
	n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	...	$x_{ni}$	...	$x_{np}$



表 4.2 分析に用いた模擬事故

スクラムを 伴う 模擬事故	RCSPL1	主冷却ポンプ 1 台停止
	RCSPL2	主冷却ポンプ 2 台停止
	RCSPLA	主冷却ポンプ全数停止
	RCSPSL	主冷却ポンプ 1 台軸固着
	PRFVSO	加圧器逃し弁開固着
	PSPVO1	加圧器スプレイ弁誤開
	CPRPFH	加圧器圧力高誤検知
	CPRPFL	加圧器圧力低誤検知
	CRDWDF	制御棒引抜誤信号
	SGSLL	主蒸気管破断
	TURTRP	タービントリップ
	GENTRP	発電機トリップ
	CCWTL	復水器循環水全喪失
	CSSLFH	蒸気発生器水位高誤検知
	FWFPL	給水流量部分喪失
FWFTL	給水流量全喪失	
スクラムを 伴わない 模擬事故	RCSUTR	蒸気発生器伝熱管破損
	RCSLSL	主冷却管小破断
	PSPVCS	加圧器スプレイ弁誤閉
	CRDUCI	制御棒連続挿入
	CRDUCW	制御棒連続引抜
	CRDRTF	原子炉自動停止不可
	CLATEH	低温側温度高誤検知
	CRDDR1	制御棒 1 本落下
	CVTLFH	体積制御タンク水位高
	CVTLFL	体積制御タンク水位低
	CHAGFI	充填流量喪失
	SDVLA	大気放出弁漏洩
	TGVFO1	タービン制御弁誤開
	TGVFC1	タービン制御弁誤閉
	TURRBF	タービン自動ランバック不可
	CCWPL	復水器循環水部分喪失
	CSSLFL	蒸気発生器水位低誤検知
	HPHDPL	高圧給水加熱器ポンプ停止

表 4.3 因子分析に用いたアラーム

アラーム	説明	単位	範囲
ATRPRE	原子炉トリップ		
ATRPTR	原子炉トリップ		
ATRPGE	原子炉トリップ		
AINISI	原子炉トリップ		
AINISG	原子炉トリップ		
ACRDSTP	原子炉トリップ		
ACRDBTM	原子炉トリップ		
ACRDWIL	原子炉トリップ		
ALEVPRH	原子炉トリップ		
ALEVPRL	原子炉トリップ		
APREPRH	原子炉トリップ		
APREPRL	原子炉トリップ		
ATEPRLH	原子炉トリップ		
APREPRH	原子炉トリップ		
AFLRCSL	原子炉トリップ		
APREVTL	原子炉トリップ		
ATEMLDH	原子炉トリップ		
AFLCHAH	原子炉トリップ		
AFLCHAL	原子炉トリップ		
ATEAVRF	原子炉トリップ		
ATEAVGH	原子炉トリップ		
ATEAVGL	原子炉トリップ		
ALESGE	原子炉トリップ		
ALESGBH	原子炉トリップ		
ALESGBL	原子炉トリップ		
ALESGCH	原子炉トリップ		
ALESGCL	原子炉トリップ		
AFLSLH	原子炉トリップ		
APRSLL	原子炉トリップ		
AVISOLC	原子炉トリップ		
AVSDVAR	原子炉トリップ		
AVISOWF	原子炉トリップ		
APRECVL	原子炉トリップ		
ARUNBTR	原子炉トリップ		
AOFTDRL	原子炉トリップ		
AVOLRGT	原子炉トリップ		
ATRPBR4	原子炉トリップ		
ARADMAL	原子炉トリップ		
FLRCS1	原子炉トリップ		
FLRCS2	原子炉トリップ		
FLRCS3	原子炉トリップ		
GFRCS1	原子炉トリップ		
GFRCS2	原子炉トリップ		
GFRCS3	原子炉トリップ		
PREPRZ	原子炉トリップ		
LEVPRZ	原子炉トリップ		
TEMPRL	原子炉トリップ		
TEMPRT	原子炉トリップ		
TEMHL1	原子炉トリップ		
TEMHL2	原子炉トリップ		
TEMHL3	原子炉トリップ		
TEMAVE	原子炉トリップ		
QFLUX	原子炉トリップ		
SPCROD	原子炉トリップ		
FLCHAG	原子炉トリップ		
TEMLED	原子炉トリップ		
TEMVCT	原子炉トリップ		
LEVSG1	原子炉トリップ		
LEVSG2	原子炉トリップ		
LEVSG3	原子炉トリップ		
PRESG1	原子炉トリップ		
PRESG2	原子炉トリップ		
PRESG3	原子炉トリップ		
FLMFW1	原子炉トリップ		
FLMFW2	原子炉トリップ		
FLMFW3	原子炉トリップ		
TEMPFW	原子炉トリップ		
FLMSF1	原子炉トリップ		
FLMSF2	原子炉トリップ		
FLMSF3	原子炉トリップ		
PRETR1	原子炉トリップ		
QGENETR	原子炉トリップ		
PRCONT	原子炉トリップ		
TECONT	原子炉トリップ		
NUMTUR	原子炉トリップ		
PRCOND	原子炉トリップ		







表 4.7 因子負荷マトリックス② (スクラムを伴う事故の因子分析結果：  
四角枠内の値が高いので該当事故を事故群 A 3 に分類)

	* * * * * ROTATED FACTOR PATTERN ( LOADING MATRIX ) * * * * *	
	FACTOR 1	FACTOR 2
RCSP11	0.117503	0.652267
RCSP12	0.383630	0.778880
RCSP1A	0.217223	0.608925
RCSP1L	0.532201	0.550878
PRFVSO	0.681874	0.348671
PSPVO1	0.691636	0.483317
CPRPFH	0.778260	0.428671
CPRPFL	0.704970	0.300957
CRDWDF	0.863275	0.342629
SGSLL	0.124931	0.515166
TURTRP	0.913231	0.331448
GENTRP	0.738242	0.372183
CCWTL	0.305283	-0.176651
CSGLFH	0.800754	0.121088
FWFPL	0.829574	0.281244
FWFTL	0.803206	0.445071
	6.744969	3.290085

模主主主主加加加加制主主  
 擬冷冷冷冷圧圧圧圧御蒸一電水氣水水  
 事却却却却器器器器棒氣ヒ機器發流流  
 故ボボボボ逃ス圧圧引管ント循環生量量  
 ンンンンしプ力力抜破トリ環器部全  
 ププププ弁レ高低誤斷リッ水水分喪  
 1 2 全 1 開イ誤誤信 ップ全位喪失  
 台台全台固弁換換号 プ 喪高失  
 止 止 止 固 着 誤 知 失 誤 知  
 停 停 停 軸 着 誤 知 失 誤 知  
 止 止 止 固 着 誤 知 失 誤 知

VP

表 4.8 因子負荷マトリックス(3) (スクラムを伴わない事故の因子分析結果)

	ROTATED FACTOR PATTERN ( LOADING MATRIX )			
	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
RCSUTR	0.184673	0.499156	0.376857	0.032594
RCSLSL	0.034400	0.178517	0.703610	0.007276
PSPVCS	0.027380	-0.069372	0.192418	-0.035572
CRDUCI	0.178885	0.267206	0.619845	-0.196416
CRDUCW	0.004113	0.770109	0.008114	-0.005187
CRDRTF	0.850914	-0.031658	0.061540	0.200255
CLATEH	0.381052	0.441494	0.551696	0.027547
CRDDR1	0.922093	0.233942	0.002945	-0.019051
CVTLFH	-0.053235	-0.026025	0.635634	0.022147
CVTLFL	0.119282	0.645650	0.257681	0.042504
CHAGFL	0.011644	-0.097506	0.464559	-0.021527
SDVLA	0.542281	0.329152	0.371332	-0.212411
TGVFO1	0.076707	0.773136	-0.104305	-0.032706
TGVFC1	0.928782	0.188774	0.040842	0.006646
TURRBF	0.267173	0.612249	-0.084759	-0.060497
CCWPL	0.046806	-0.016672	-0.030284	0.776940
CSSLFL	-0.003370	-0.057931	-0.126833	-0.040434
HPHDPL	0.042335	-0.006538	-0.019705	0.049440
VP	3.042740	2.748242	2.234867	1.841468

\*\*\*\*\* ROTATED FACTOR PATTERN ( LOADING MATRIX ) \*\*\*\*\*

管破損  
熱断イ入抜止誤下クク  
伝破レ挿引停高落ンン失漏御御動水水熱  
器小プ統統動度本タタ喪弁制制自環器加  
生管ス連連自温I御御量出ンンン循生水  
発却器棒棒炉御棒制制流放ビビビ器発給  
気冷圧御御子温御積積填気一一一水気圧  
蒸主加制制原低制体体充大タタタ復蒸高

ク不可  
バツ失知  
ン分低誤ン  
ン部位器

表 4.9 因子負荷マトリックス(4) (スクラムを伴う事故に関する表 4.7 の中, FACTOR 1 に関係した事故に関する再分析結果)

	ROTATED FACTOR PATTERN ( LOADING MATRIX )		
	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
PRFVSO	-0.121366	0.763757	0.235285
PSPVO1	-0.055712	-0.184648	0.793217
CPRPFH	0.098801	0.337033	0.636797
CPRPFL	-0.159749	0.880465	-0.320926
CRDWDF	0.526428	0.617285	0.110690
TURTRP	0.784814	0.578648	0.197156
GENTRP	0.620522	0.106629	0.667828
CCWTL	0.778141	-0.226608	0.164701
CSGLFH	0.784814	0.578648	0.197156
FWFPL	0.872853	0.089751	-0.101117
FWFTL	0.901832	-0.350607	0.026616
-----			
VP	4.127832	2.750638	1.767102

模加加加加制々発復蒸給給  
 擬圧圧圧圧御一電水氣水水  
 事器器器器棒ピ機器發流流  
 故逃ス圧圧引ント循生量量  
 しプ力力抜トリ環器部全  
 弁レ高低誤リッブ全位喪失  
 開イ誤誤信ッブ喪高失  
 固弁検検号ブ喪誤  
 着誤知  
 開弁検知  
 誤知  
 失誤  
 檢知

\* \* \* \* \* ROTATED FACTOR PATTERN ( LOADING MATRIX ) \* \* \* \* \*

表 4.10 因子分析の結果  
(その1:スクラムを伴う模擬事故)

	模 擬 事 故	物理的意味付け
事故群 A 1 (因子 1)	加圧器逃し弁開固着 加圧器スプレイ弁誤開 加圧器圧力高誤検知 加圧器圧力低誤検知 制御棒引抜誤信号	圧力制御の故障
事故群 A 2 (因子 2)	タービントリップ 発電機トリップ 復水器循環水全喪失 蒸気発生器水位高誤検知 給水流量部分喪失 給水流量全喪失	2次側熱除去系の故障
事故群 A 3 (因子 3)	主冷却ポンプ1台停止 主冷却ポンプ2台停止 主冷却ポンプ全数停止 主冷却ポンプ1台軸固着 主蒸気管破断	炉心熱除去系の故障

表 4.11 因子分析の結果  
(その2:スクラムを伴わない模擬事故)

	模 擬 事 故	物理的意味付け
事故群 B 1 (因子 1)	原子炉自動停止不可 制御棒1本落下 大気放出弁からの漏洩 タービン制御弁誤閉	出力と冷却の急激な不整合
事故群 B 2 (因子 2)	蒸気発生器伝熱管破損 加圧器スプレイ弁誤開 制御棒連続引き抜き低 体積制御タンク水位低 タービン制御弁誤開 タービン自動ランバック不可 蒸気発生器水位低誤検知	出力と冷却の穏やかな不整合
事故群 B 3 (因子 3)	主冷却管小破断 制御棒連続挿入 低温側温度高誤検知 体積制御タンク水位高 充填流量喪失	1次系インベントリーの減少
事故群 B 4 (因子 4)	復水器循環水部分喪失 高圧給水加熱器ポンプ停止	給水系機能喪失

表 4.12 事故群A 1, A 2 とアラームの相関計算用データマトリックス(1)

	CID( 1)	CID( 2)	CID( 3)	ACRDSTP	ACRDBTM	ACRDWIL	ALEVPRH	ATEAVGL	ALESGBH	ALESGCH	PREPRZ	LEVPRZ	TEMPRL
PRFVSO	0.235664	0.737852	0.231194	0	1	1	1	0	0	0	-1	-1	1
PSPVO1	0.123171	-0.212314	0.778552	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	1
CPRPFH	0.398891	0.232180	0.561997	1	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
CPRPFL	0.076227	0.901977	-0.290446	0	1	1	1	0	0	0	0	1	-1
CRDWDF	0.719070	0.383237	-0.080546	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
TURTRP	0.959848	0.250048	-0.076191	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
GENTRP	0.787593	-0.168230	0.440237	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCWTL	0.657053	-0.496841	-0.073574	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
CSGLFH	0.959848	0.250048	-0.076191	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
FWFPL	0.773790	-0.214821	-0.367768	1	0	0	0	1	1	1	0	-1	0
FWFTL	0.680774	-0.645618	-0.238027	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0





表 4.14 事故群 B 1 ~ A 4 とアラームとの相関計算用データマトリックス(3)

	CID( 1 )	CID( 2 )	CID( 3 )	CID( 4 )
RCSUTR	0.184673	0.499156	0.376857	0.032594
RCSLSL	0.034400	0.178517	0.708610	0.007876
PSPVCS	0.027380	-0.069372	0.192418	-0.035572
CRDUCI	0.178885	0.267206	0.619845	-0.196416
CRDUCW	0.004113	0.770109	0.008114	-0.005187
CRDRTF	0.850914	-0.031658	0.061540	0.200255
CLATEH	0.381052	0.441494	0.551696	0.027547
CRDRR1	0.922098	0.233942	0.002945	-0.019051
CVTDFH	-0.053235	-0.026025	0.635634	0.022147
CHACFL	0.011544	-0.097506	0.464559	-0.021527
SDVLA	0.542281	0.329152	0.371332	-0.212411
TGVFO1	0.076707	0.773136	-0.104305	-0.032706
TGVFC1	0.928782	0.188774	0.040842	0.006646
TURRFB	0.267173	0.612249	-0.084759	-0.060497
CCWPL	0.046806	-0.015672	-0.030281	0.776940
CSSLFL	-0.003870	-0.057931	-0.126833	-0.040434
HPHDPL	0.042335	-0.008538	-0.018705	1.049440
ACRDBTM	0.101100	0.000100	0.000100	0.000100
ACRWIL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ALVPRH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ALVPRL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
APRPRL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATPPRL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
APREVTH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
APREVTL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATEMLDH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATLCHAH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATLCHAL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATEAVRF	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATEAVGH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATEAVGL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ALESGE	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ALESGL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
AFLSLH	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
APRSLL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
AVSDVAR	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ARUNBTR	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
AORTDRL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ATRPBR4	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ARADNAL	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLRCSI	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLRCS2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLRCS3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PREPRZ	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
LEPRZ2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMPL1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMHL1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMHL2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMHL3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMAVE	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
QFLUX	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
SPROD	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLCHAG	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMLD	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMVCT	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
LEVSG1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
LEVSG2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
LEVSG3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PRESG1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PRESG2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PRESG3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ELMEW1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ELMEW2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
ELMEW3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
TEMPW	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLMSF1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLMSF2	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
FLMSF3	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PRETR1	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
QGENETR	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
NUMTUR	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100
PRCOND	0.000100	0.000100	0.000100	0.000100

表 4.15 相関マトリックス(1) (事故群 A 1, A 2 とアラーム)

-- CORRELATION MATRIX --

VARIABLE NAME	CID( 1)	CID( 2)	CID( 3)
CID( 1)	1.000000		
CID( 2)	-0.379142	1.000000	
CID( 3)	-0.391240	-0.040931	1.000000
ACRDSTP	0.655814	-0.738299	0.135897
ACRDBTM	-0.474167	0.767161	-0.205572
ACRDWIL	-0.873913	0.505421	0.284322
ALEVPRH	-0.688952	0.700773	0.160834
ATEAVGL	0.229308	-0.530544	-0.495773
ALEGBH	0.250768	-0.718476	-0.513258
ALESGCH	0.250768	-0.718476	-0.513258
PREPRZ	0.247877	0.112091	-0.757554
LEVPRZ	-0.321270	-0.614514	0.699781
TEMPRL	-0.688952	0.700773	0.160834

表 4.16 相関マトリックス(2) (事故群A 3とアラーム)

## -- CORRELATION MATRIX --

VARIABLE NAME	CID( 1)	CID( 2)
CID( 1)	1.000000	
CID( 2)	-0.323524	1.000000
AINISI	-0.270512	0.057684
AINISG	-0.456409	0.139199
ACRDSTP	-0.456409	0.139199
ALEVPRH	0.263614	-0.324736
ALEVPRL	-0.108526	0.268049
APREPRH	-0.201701	0.127876
APREPRL	-0.091623	0.034796
ATEPRLH	0.233806	-0.088351
APRERTH	0.086820	-0.060388
AFLRCSL	-0.611169	0.666617
ATEMLDH	0.109348	-0.117586
AFLCHAH	0.086820	-0.060388
AFLCHAL	-0.254023	0.015820
ATEAVRF	-0.096342	-0.101020
ATEAVGH	-0.059167	0.182009
ATEAVGL	-0.359346	0.424071
ALESGBH	-0.382666	0.355393
ALESGBL	-0.168185	-0.356076
ALESGCH	0.202773	-0.333205
ALESGCL	-0.168185	-0.356076
AFLSLH	0.544664	0.282942
APRSLL	-0.673418	0.324059
AVISOLC	-0.185643	-0.141998
AVSDVAR	0.280498	0.690122
AVISOWF	-0.270512	0.057684
APRECVL	-0.280498	-0.690122
ARUNBTR	-0.141800	0.032203
AVOLRGT	0.141800	-0.032203
ATRPBR4	-0.366390	0.251594
FLRCS1	-0.375489	0.380808
FLRCS2	0.225954	-0.300343
FLRCS3	-0.126552	-0.194421
GFRCS1	0.366390	-0.251594
GFRCS2	0.641337	-0.626668
GFRCS3	0.390485	-0.551292
PREPRZ	0.163580	-0.197700
LEVPRZ	-0.642854	0.565108
TEMPRL	-0.044391	-0.001823
TEMPRT	0.086820	-0.060388
TEMAVE	-0.653888	0.026291
SPCROD	0.362038	-0.152861
FLCHAG	0.254023	-0.015820
TEMLED	0.602227	-0.286031
TEMVCT	0.499707	-0.365603
LEVSG1	-0.280498	-0.690122
LEVSG2	-0.280498	-0.690122
LEVSG3	-0.056889	-0.748999
PRESG1	0.754682	-0.360934
PRESG2	0.808424	-0.535174
PRESG3	0.808424	-0.535174
TEMPFW	-0.230883	0.141217
PRCONT	-0.456409	0.139199
TECONT	-0.456409	0.139199
NUMTUR	0.003747	0.157047
PRCOND	-0.688729	-0.083710

表 4.17 相関マトリックス(3) (事故群B 1~B 4とアラーム)

-- CORRELATION MATRIX --

VARIABLE NAME	CID( 1)	CID( 2)	CID( 3)	CID( 4)
CID( 1)	1.000000			
CID( 2)	-0.009746	1.000000		
CID( 3)	-0.192395	-0.126580	1.000000	
CID( 4)	-0.167274	-0.338198	-0.334714	1.000000
ACRDBTM	0.372619	0.199255	-0.330932	-0.143927
ACRDWIL	-0.277023	0.483559	0.231192	-0.114876
ALEVPRH	-0.192733	-0.260192	-0.302325	-0.099253
ALEVPRL	-0.342860	-0.184666	0.646654	-0.240592
APREPRL	-0.243807	-0.097424	0.482473	-0.115170
ATEPRLH	-0.169323	-0.269631	-0.022527	-0.095426
APREVTH	-0.100479	0.320310	0.034671	-0.033977
APREVTL	-0.276093	-0.050393	0.709094	-0.206628
ATEMLDH	-0.181111	-0.292844	0.215982	-0.084372
AFLCHAH	-0.164065	-0.065106	0.429873	-0.061231
AFLCHAL	-0.299437	-0.383903	0.424127	-0.097939
ATEAVRF	0.638893	0.164570	0.412851	-0.317846
ATEAVGH	0.447596	-0.238515	-0.137231	0.090179
ATEAVGL	-0.160274	-0.041573	0.569939	-0.206451
ALESGE	0.289652	-0.270150	-0.187636	-0.149774
ALESGCL	-0.192733	-0.260192	-0.302325	-0.099253
AFLSLH	0.695168	-0.316659	-0.431694	-0.084682
APRSL	-0.055829	0.008068	0.352078	-0.222017
AVSDVAR	0.554420	-0.058830	-0.094337	-0.008480
ARUNBTR	0.447224	0.204400	-0.196535	-0.265567
AOFTDRL	0.447596	-0.238515	-0.137231	0.090179
ATRPBR4	-0.181111	-0.292844	0.215982	-0.084372
ARADMAL	-0.051493	0.199443	0.139119	-0.041777
FLRCS1	-0.055829	0.008068	0.352078	-0.222017
FLRCS2	-0.055829	0.008068	0.352078	-0.222017
FLRCS3	-0.055829	0.008068	0.352078	-0.222017
PREPRZ	-0.189289	-0.299177	-0.167596	0.102485
LEVPRZ	0.216972	-0.067787	-0.905481	0.356671
TEMPRL	-0.169323	-0.269631	-0.022527	-0.095426
TEMHL1	-0.029000	-0.116573	-0.469704	0.195166
TEMHL2	-0.029000	-0.116573	-0.469704	0.195166
TEMHL3	-0.029000	-0.116573	-0.469704	0.195166
TEMAVE	-0.029000	-0.116573	-0.469704	0.195166
QFLUX	-0.718777	-0.328513	-0.094308	0.342498
SPCROD	0.369815	0.831646	-0.056953	-0.462118
FLCHAG	0.203508	0.411259	-0.250769	0.052441
TEMLED	0.055829	-0.008068	-0.352078	0.222017
TEMVCT	0.057440	-0.325754	0.231001	-0.203333
LEVSG1	-0.720096	0.027503	0.240668	0.046773
LEVSG2	-0.791026	0.120681	0.320222	0.030709
LEVSG3	-0.659382	0.225084	0.430428	0.071480
PRESG1	0.475405	-0.211723	-0.499857	0.177714
PRESG2	0.475405	-0.211723	-0.499857	0.177714
PRESG3	0.475405	-0.211723	-0.499857	0.177714
FLMFW1	-0.831215	0.046366	-0.144568	0.270563
FLMFW2	-0.831215	0.046366	-0.144568	0.270563
FLMFW3	-0.780880	-0.067600	-0.246094	0.187721
TEMPFW	-0.373798	0.105268	-0.214584	0.225229
FLMSF1	-0.831215	0.046366	-0.144568	0.270563
FLMSF2	-0.831215	0.046366	-0.144568	0.270563
FLMSF3	-0.780880	-0.067600	-0.246094	0.187721
PRETR1	-0.780880	-0.067600	-0.246094	0.187721
QGENETR	-0.645924	-0.073180	-0.222334	0.330878
NUMTUR	0.447596	-0.238515	-0.137231	0.090179
PRCOND	-0.011303	-0.327655	-0.458781	0.808267

表 4.18 事故データマトリックス (事故群に基づき整理し直したもの)

	A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	B 3	B 4
ATPRE	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ATPTR	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ATRPG	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0
AINIS	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AINISG	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ACRDSTP	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0
ACRDBTM	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ACRDWIL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 1 1 0 0 0	1 0 0 0 0 0	0 0
ALEVPRH	0 1 1 0 1	1 1 1 1 1 1 1	0 0 1 1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0
ALEVPRL	1 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0 0	1 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 1 0 0 0 0 0	1 1 0 1 0 0	0 0
APREPRH	0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
APREPRL	1 1 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0	1 0 0 0 1 0	0 0
ATEPRRH	1 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
APRERTH	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AFLRCSL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
APREVTM	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
APREVIL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0	1 1 0 1 0 0	0 0
ATEMLDH	0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	0 0
AFLCHAH	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0	0 0
AFLCHAL	0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 1 0	0 0
ATEAVRF	1 0 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 0 0 1 0 0 0	1 1 1 1 0 0	0 0
ATEAVGH	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ATEAVGL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 1	1 1 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 1 0 0 0 0	0 0
ALESCE	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0
ALESGBH	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ALESGBL	0 0 0 0 0	0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ALESGCH	0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ALESGCL	0 0 0 0 0	0 0 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0
AFLSLH	1 1 1 1 1	1 1 0 1 1 1 1	0 1 1 1 1 1	1 1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0
APRSL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
AVISOLC	0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AVSDVAR	1 1 1 1 1	1 1 0 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AVISOWF	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
APRECVL	0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ARUNBTR	1 1 1 1 1	1 0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	0 1 1 0 0	0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AOFIDRL	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
AVOLRGT	0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
ATRPBR4	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	0 0
ARADMAL	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
FLRCS1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1 1-1 1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
FLRCS2	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	-1-1-1 1 1	0 0 0 0 0	-0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
FLRCS3	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1-1-1-1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
GFRCs1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
GFRCs2	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	-1-1-1 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
GFRCs3	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1-1-1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
PREPRZ	-1-1-1 1 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	0 0 1 0 0	-1 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
LEVPRZ	-1 1 0 1-1	-1 0 0 1-1 0	0 1 1 1 1	0 0 1 0 0	-1 0 0 1 0 0 0	-1 1-1-1-1 0	0 0
TEMPRL	1 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
TEMPRT	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
TEMHL1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	0-1-1-1-1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1-1 0 0 0	0 0
TEMHL2	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1-1 0 0 0	0 0
TEMHL3	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	0-1-1-1-1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1-1 0 0 0	0 0
TEMAVE	-1-1-1-1-1	-1-1 0 1-1-1	0 1 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0-1-1 0 0 0	0 0
QFLUX	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	-1 0 0 0 1 0 1 0	0-1-1 0 0 0	0 0
SPCROD	0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 1 1 1 1	1 0 1 1 1 1 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLCHAG	0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 1 0 0	0 0
TEMLD	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
TEMVCT	0 0 0 1 0	0 0 0 1 1 0	0 0 0 0 1 0	0 0 1 0 0	-1 0 0 0 1 0 0 0	0 1 0 0 1 0	0 0
LEVSG1	-1-1-1-1-1	-1-1 1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	-1 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
LEVSG2	-1-1-1-1-1	-1-1 1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
LEVSG3	-1-1-1-1-1	-1-1 1 1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 1	0 1 0 0 0 0	0 0
PRESG1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	0 1 0 1 1	1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
PRESG2	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1	1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
PRESG3	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 1 1	1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLMFW1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLMFW2	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLMFW3	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	0-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 1	0 1 0 0 0 0	0 0
TEMPFW	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0	-1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	0 0
FLMSF1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	0-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLMSF2	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
FLMSF3	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	0-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 1	0 1 1 0 0 0	0 0
PRETRI	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
QGENETR	-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1-1	-1-1-1-1-1	0-1-1-1	0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0 0 0	0 0
PRCONT	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
TECONT	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
NUMTUR	-1-1-1-1 0	0 1 1-1 0 0	0-1 0 1 0	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0
PRCOND	-1-1-1-1-1	-1-1 1-1-1-1	1-1 1-1-1	1 0 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 0 0 0	1 1

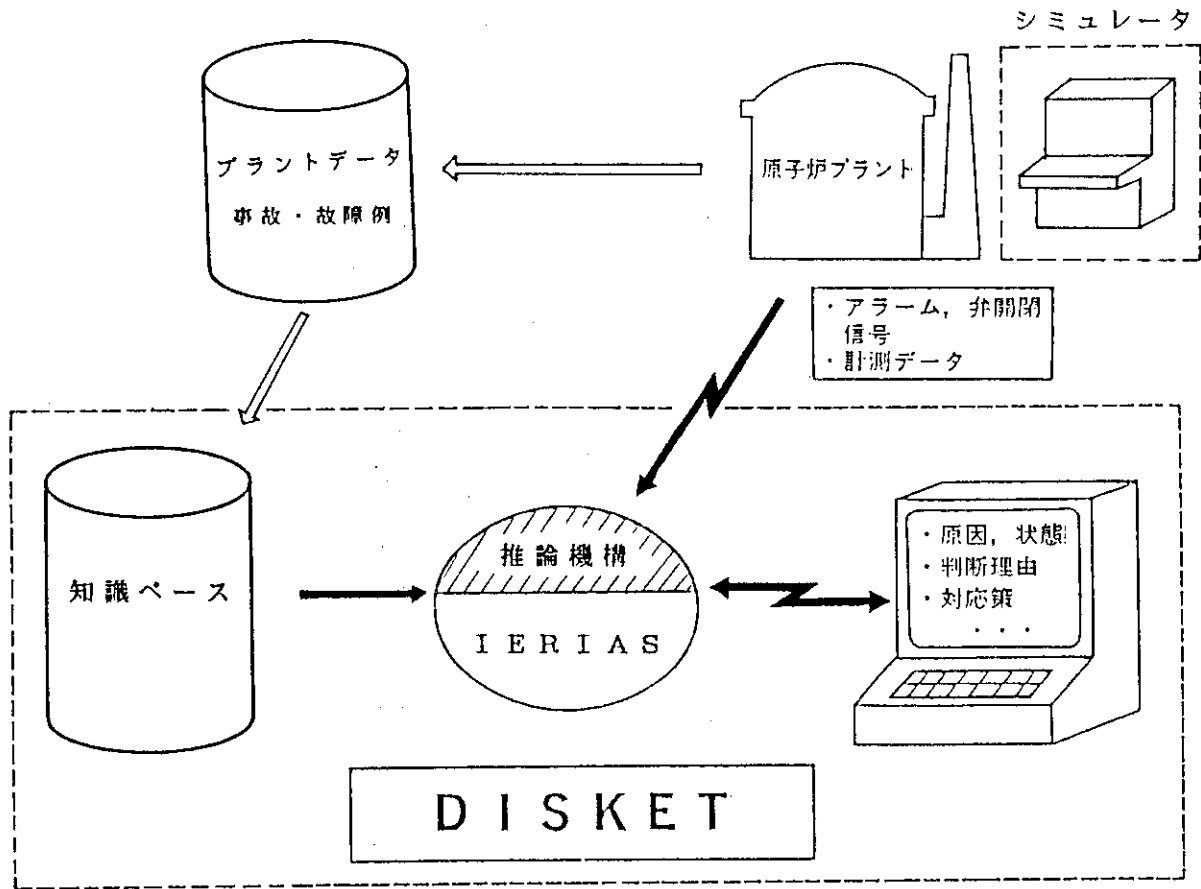


図 2.1 知識工学を応用した原子炉異常診断システムDISKETの概念

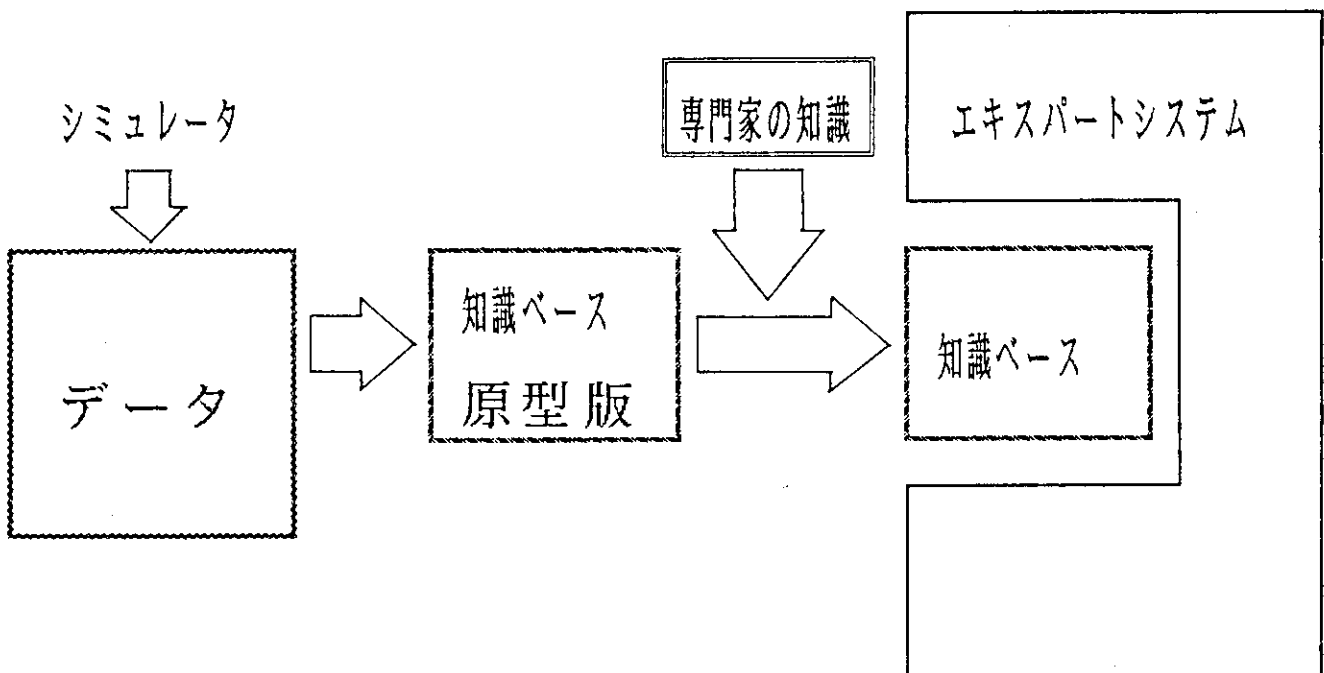


図 2.2 知識ベースの客観的・効率的作成手法の検討

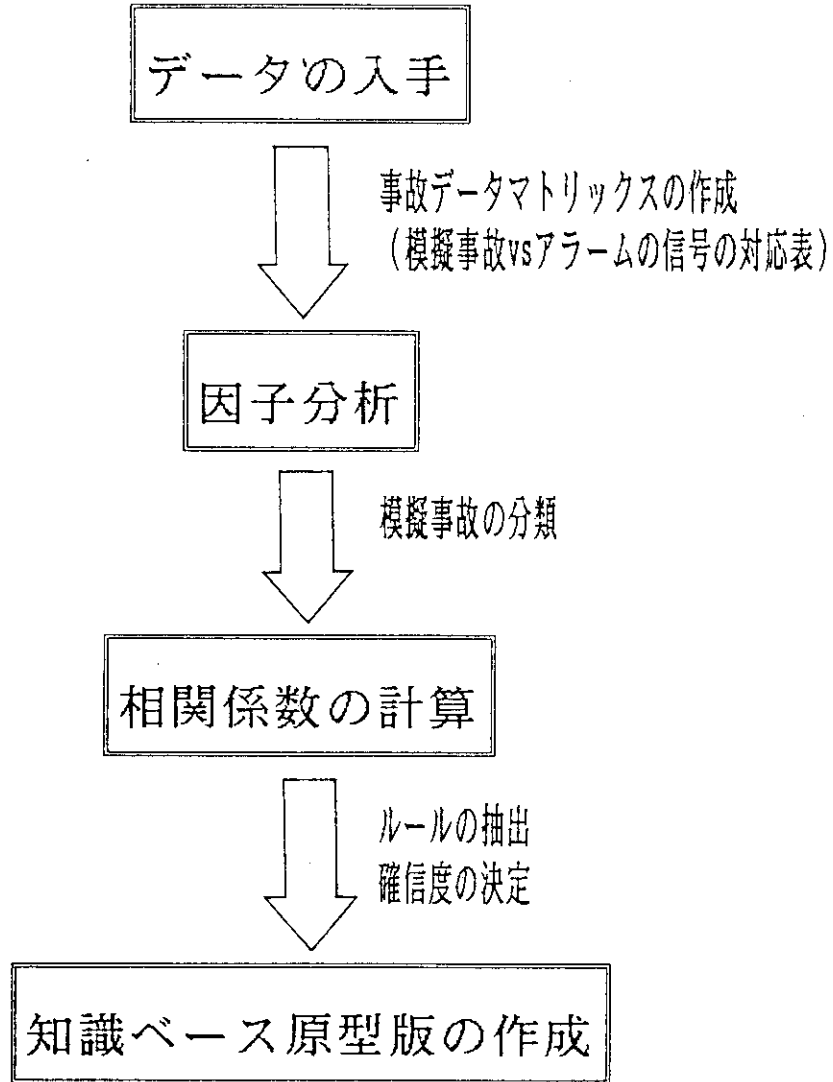


図 3.1 統計学手法を用いた知識ベース原型版作成法の概要

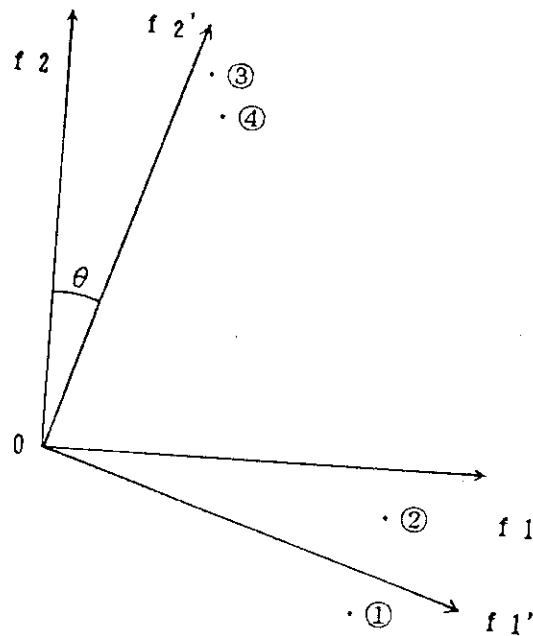


図 3.2 直交回転の概念

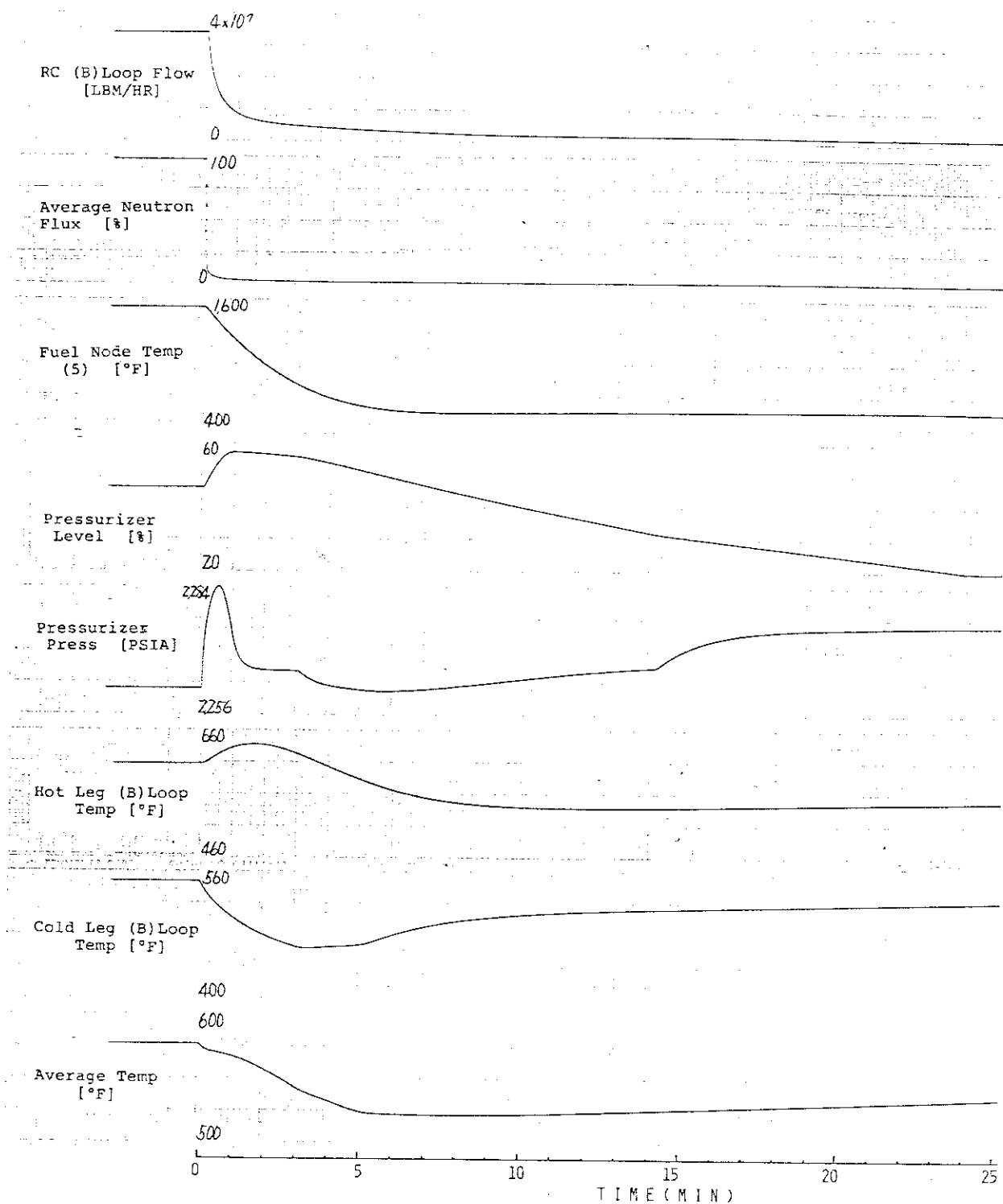
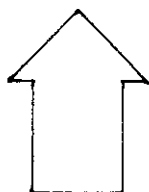


図 4.1 プラントシミュレータで発生させた模擬事故の数値データの例  
(主冷却ポンプ全数停止, 文献(7)より)



因子負荷量マトリックス

	因子 1	因子 2	因子 3	...
事故 1	0.93	0.19	0.04	
事故 10	0.92	0.23	0.01	
事故 8	0.85	-0.03	0.06	
...	...	...	...	...
事故 7	0.01	0.79	0.01	
事故 2	-0.05	0.64	0.21	
事故 11	0.11	0.60	0.05	
...	...	...	...	...
事故 9	0.17	0.02	0.71	
事故 3	0.01	0.19	0.64	
...	...	...	...	...
	13.72	3.01	2.32	



因子分析

事故データマトリックス

77777	...
ララララ	...
11111	...
△△△△△	...
12345	...
事故 1	11100010010000100000101110
事故 2	11100010010000100000101100
事故 3	11100010100000100000100100
事故 4	11100010100000100000110110
事故 5	110000110101000010001001100
...	000000101010000010101010000
...	11100010100100000000000100
...	00000000000000000000000000

図 4.2 因子分析を用いた因子の抽出と事故分類

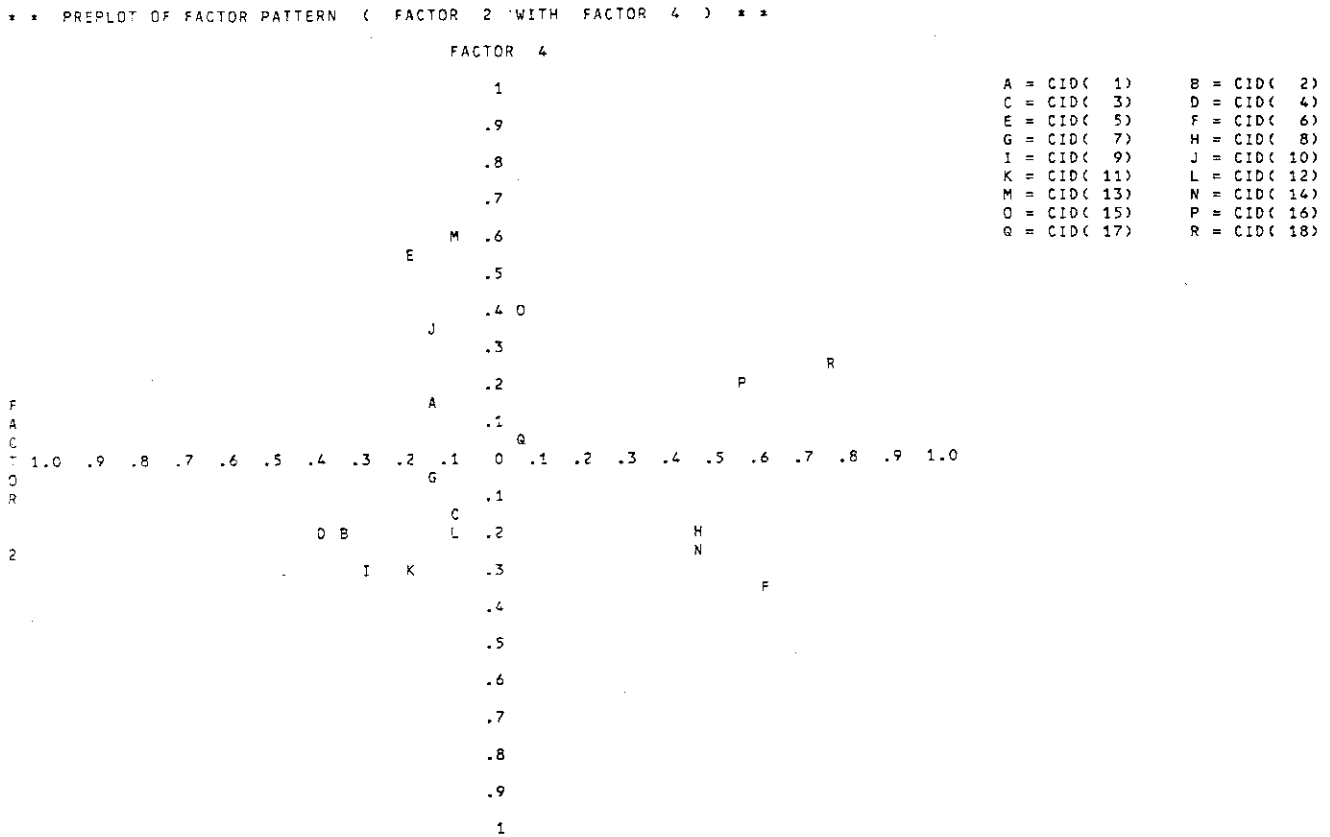


図 4.3 因子パターン (因子軸回転前)

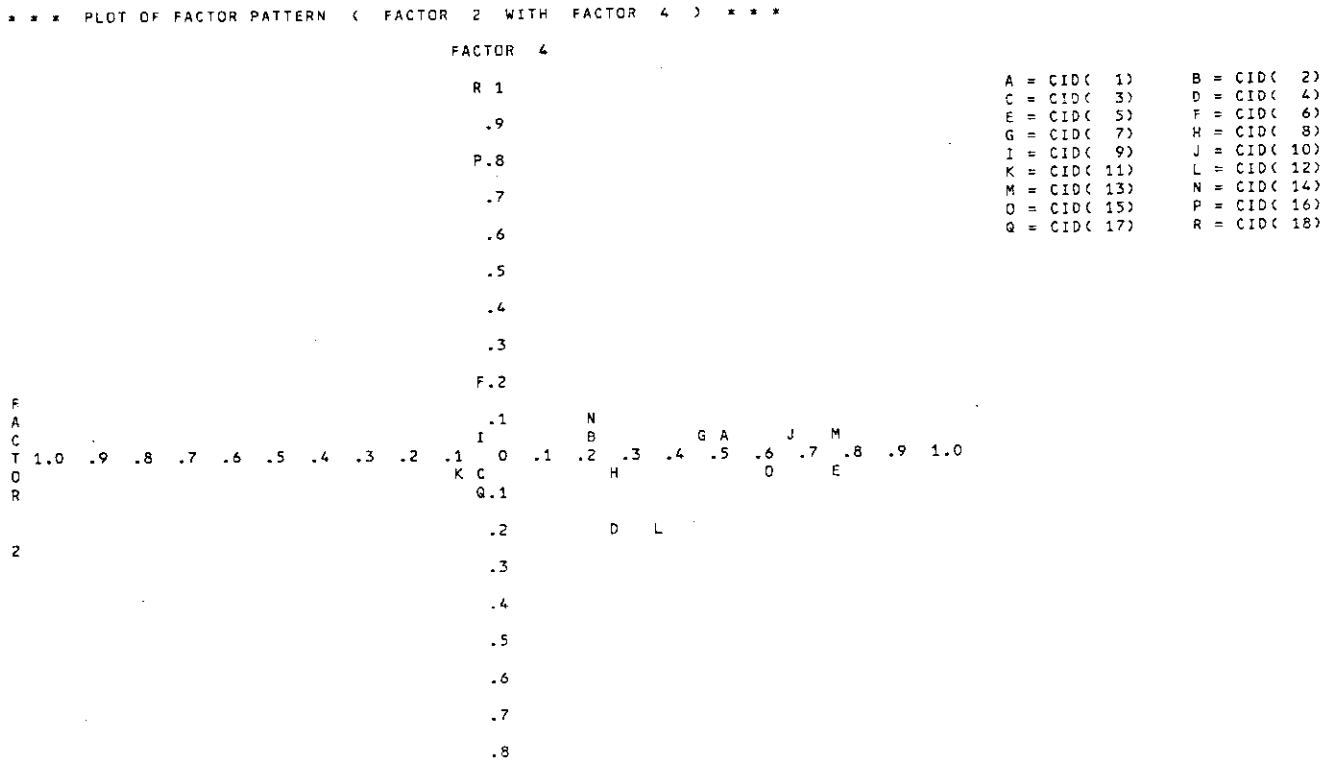


図 4.4 因子パターン (因子軸回転後)

原子炉事故

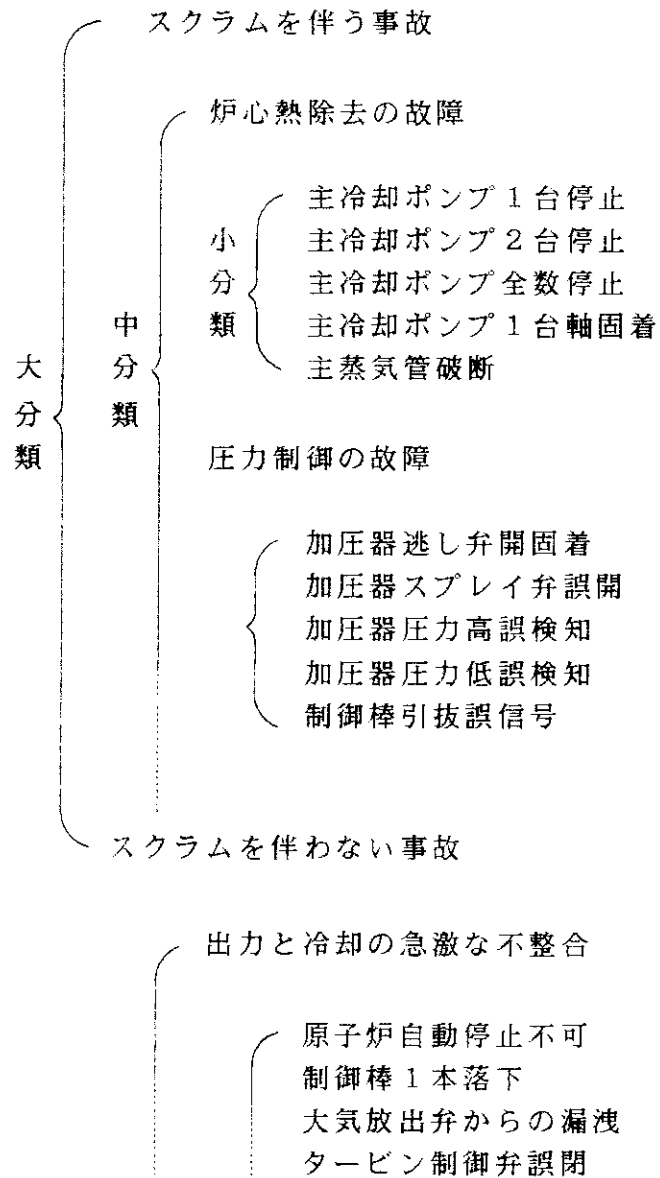


図 4.5 因子分析に基づく知識ベースの事故仮説分類

```

#
*IF
H(BB,0.5:*)
*THEN
F(ACRDWIL,T) -> H(FACTB2,0.23)
F(ALEVPRL,T) -> H(FACTB3,0.40)
F(APREPRL,T) -> H(FACTB3,0.23)
F(APREVTL,T) -> H(FACTB3,0.49)
F(AFLCHAH,T) -> H(FACTB3,0.17)
F(AFLCHAL,T) -> H(FACTB3,0.17)
F(ATEAVRF,T) -> H(FACTB1,0.39),H(FACTB3,0.16)
F(ATEAVGH,T) -> H(FACTB1,0.19)
F(ATEAVGL,T) -> H(FACTB3,0.31)
F(AFLSLH,T) -> H(FACTB1,0.47)
F(AVSDVAR,T) -> H(FACTB1,0.31)
F(ARUNBTR,T) -> H(FACTB1,0.19)
F(AOFTDRL,T) -> H(FACTB1,0.19)
#
H(LLEVPRZ,0.5:*) -> H(FACTB3,0.81)
(1:H(LTEMHL1,0.5:*),H(LTEMHL2,0.5:*),H(LTEMHL3,0.5:*)) -> H(FACTB3,0.21)
H(LTEMAVE,0.5:*) -> H(FACTB3,0.21)
H(LQFLUX,0.5:*) -> H(FACTB1,0.50)
H(HSPCROD,0.5:*) -> H(FACTB2,0.68)
H(HSPCROD,*:0.5) & H(LSPCROD,*:0.5) -> H(FACTB4,0.21)
(1:H(LLEVSG1,0.5:*),H(LLEVSG2,0.5:*),H(LLEVSG3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.51)
(1:H(HPRESG1,0.5:*),H(HPRESG2,0.5:*),H(HPRESG3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.22)
(1:H(LPRESG1,0.5:*),H(LPRESG2,0.5:*),H(LPRESG3,0.5:*)) -> H(FACTB3,0.24)
(1:H(LFLMFW1,0.5:*),H(LFLMFW2,0.5:*),H(LFLMFW3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.68)
(1:H(LFLMSF1,0.5:*),H(LFLMSF2,0.5:*),H(LFLMSF3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.68)
H(HNUMTUR,0.5:*) -> H(FACTB1,0.19)
H(LPRCOND,0.5:*) -> H(FACTB3,0.20)
H(HPRCOND,0.5:*) -> H(FACTB4,0.64)
H(LPRETR1,0.5:*) -> H(FACTB1,0.60)
H(LQGENETR,0.5:*) -> H(FACTB1,0.40)
*END
#

```

図 4.6 中分類ルールの例

アラーム	事故群 A3				
	事故 1	事故 2	事故 3	事故 4	事故 5
4KVブレーカ自動停止	0	0	1	0	0
主蒸気隔離弁閉	0	0	0	0	1
主蒸気流量高	0	1	1	1	1
主蒸気圧力低	1	0	0	0	1
:			:		

F (4KVブレーカ自動停止, T) -> H (事故3, 0.2)  
 F (主蒸気隔離弁閉, T) -> H (事故5, 0.2)

図 4.7 小分類のルールの抽出例

```

*IF
H(FACTA2, 0.5:*)
*THEN
F(ATEAVGL, T) -> H(FWFPL, 0.2), H(FWFTL, 0.2)
(1:F(ALESGBL, T), F(ALESGCH, T))
-> H(FWFPL, 0.2), H(FWFTL, 0.2), H(CCWTL, 0.2)
(1:F(ALESGBH, T), F(ALESGCH, T))
-> H(CSGLFH, 0.2)
F(AVISOLC, T) -> H(CSGLFH, 0.2)
F(AVOLRGT, T) -> H(GENTRP, 0.2)
H(HSPCROD, 0.5:*) -> H(FWFPL, 0.2)
H(HTMVCT, 0.5:*) -> H(CSGLFH, 0.2), H(FWFPL, 0.2)
H(LTEMPFW, 0.5:*) -> H(FWFPL, 0.2)
H(HNUMTUR, 0.5:*) -> H(GENTRP, 0.2)
H(LNUMTUR, 0.5:*) -> H(CSGLFH, 0.2), H(CCWTL, 0.2)
H(HPRCOND, 0.5:*) -> H(CCWTL, 0.2)
*END
#
# NO.3
#
*IF
H(FACTA3, 0.5:*)
*THEN
F(AINISI, T) -> H(SGSLL, 0.2)
F(AINISG, T) -> H(SGSLL, 0.2)
F(ACRDSTP, T) -> H(SGSLL, 0.2)
    
```

図 4.8 小分類のルール

```

#
*FH RULE
#
#
F(ATRPRE,T) -> H(AA,0.2)
F(ATRPRE,F) -> H(BB,0.2)
F(ATRPTR,T) -> H(AA,0.2)
F(ATRPTR,F) -> H(BB,0.2)
F(ATRPGE,T) -> H(AA,0.2)
F(ATRPGE,F) -> H(BB,0.2)
F(ACRDBTM,T) -> H(AA,0.2)
F(ACRDBTM,F) -> H(BB,0.2)
F(ALESGE,T) -> H(AA,0.2)
F(ALESGE,F) -> H(BB,0.2)
F(AFLSLH,T) -> H(AA,0.2)
F(AFLSLH,F) -> H(BB,0.2)
F(AVSDVAR,T) -> H(AA,0.2)
F(AVSDVAR,F) -> H(BB,0.2)
F(ARUNBTR,T) -> H(AA,0.2)
F(ARUNBTR,F) -> H(BB,0.2)
F(AOFTDRL,T) -> H(AA,0.2)
F(AOFTDRL,F) -> H(BB,0.2)

```

図 4.9 大分類ルールの例

\*\* TAXONOMY CERTAINTY (-1-) 1986 OCT. 07,08:00:05

CERTAIN FACTOR	TAXONOMY MNEMONIC	EXPLANATION
0.83	AA	FAILURE WITH SCRAM
0.20	BB	FAILURE WITHOUT SCRAM

\*\* TAXONOMY CERTAINTY (-2-) 1986 OCT. 07,08:00:05

CERTAIN FACTOR	TAXONOMY MNEMONIC	EXPLANATION
0.92	FACTA3	FAILURE REACTOR HEAT REMOVAL
0.48	FACTA2	FAILURE OF SECONDARY HEAT REMOVAL
0.44	FACTA1	FAILURE OF PRESSURE CONTROL

\*\* TAXONOMY CERTAINTY (-3-) 1986 OCT. 07,08:00:05

CERTAIN FACTOR	TAXONOMY MNEMONIC	EXPLANATION
0.51	RCSPLA	LOSS OF REACTOR COOLANT ALL PUMPS
0.23	RCSP2	LOSS OF REACTOR COOLANT TWO PUMPS
0.23	SGSL1	SG STEAM LINE LEAK
0.23	RCSPSL	LOSS OF REACTOR COOLANT ONE PUMP SHAFT LOCK
0.23	RCSP1	LOSS OF REACTOR COOLANT ONE PUMP

図 5.1 知識ベース原型版を用いた診断の例

## 付録 知識ベース原型版ソースリスト

知識ベースソースリスト中の仮説，データ，ルール，知識ユニット等の定義及び使用法については参考文献1)，2)を参照のこと。

```

#####
#
# KNOWLEDGE BASE USING STATISTICAL METHOD (OCT.02, 1986)
#
#####
***DATA DEFINITION
**HYPOTHESES
*TAXONOMY
NRA      NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT
AA       .FAILURE WITH SCRAM (0.47)
FACTA1   ..FAILURE OF PRESSURE CONTROL (0.31)
PRFVSO   ...PRESSURIZER RELIEF VALVE STICKS OPEN
PSPVO1   ...PRESSURIZER SPRAY CONTROL ONE VALVE FAILS OPEN
CPRPFH   ...PRESSURIZER PRESSURE CONTROL FAILS HIGH
CPRPFL   ...PRESSURIZER PRESSURE CONTROL FAILS LOW
CRDWDF   ...ROD CONTROL FAILURE DEMAND WITHDRAWAL
#
FACTA2   ..FAILURE OF SECONDARY HEAT REMOVAL (0.38)
TURTRP   ...TURBINE TRIP
GENTRP   ...LOSS OF MAIN GENERATOR
CCWTL    ...TOTAL LOSS OF CIRCULATING WATER
CSGLFH   ...SG-B LEVEL CONTROL FAILS HIGH
FWFPL    ...PARTIAL LOSS OF FEEDWATER
FWFTL    ...TOTAL LOSS OF FEEDWATER
#
FACTA3   ..FAILURE REACTOR HEAT REMOVAL (0.31)
RCSPL1   ...LOSS OF REACTOR COOLANT ONE PUMP
RCSPL2   ...LOSS OF REACTOR COOLANT TWO PUMPS
RCSPLA   ...LOSS OF REACTOR COOLANT ALL PUMPS
RCSPSL   ...LOSS OF REACTOR COOLANT ONE PUMP SHAFT LOCK
SGSLL    ...SG STEAM LINE LEAK
#
#
BB       .FAILURE WITHOUT SCRAM (0.53)
FACTB1   ..POWER COOLING MISMATCH (0.22)
CRDDR1   ...DROPPED CONTROL ROD P-6 CONTROL BANK A
CRDRTF   ...AUTO REACTOR TRIP FAILS
SDVLA    ...LEAKAGE OF ATOMOSPHERIC STEAM DUMP VALVE
TGVFC1   ...TURBINE GOVERNOR VALVE FAILS CLOSE
#
FACTB2   ..POWER COOLING MISMATCH MILD (0.33)
PSPVCS   ...PRESSURIZER SPARY CONTROL TWO VALVES FAIL CLOSE
CRDUCW   ...UNCONTROLLED CONTINUOUS WITHDRAWAL OF CONTROL ROD
CVTLFL   ...V.C. TANK LEVEL CONTROL FAILS LOW
TGVFO1   ...TURBINE GOVERNOR VALVE FAILS OPEN
TURRBF   ...FAILURE OF AUTO TURBINE RUNBACK
CSGLFL   ...SG-B LEVEL CONTROL FAILS LOWH
#
FACTB3   ..FAILURE OF PRIMARY INVENTORY (0.33)
RCSUTR   ...SG U-TUBE RUPTURE
RCSLSL   ...SMALL LEAK OF REACTOR COOLANT SYSTEM
CRDUCI   ...UNCONTROLLED CONTINUOUS INSERTION OF CONTROL ROD
CLATEH   ...RTD IN COLD LEG A FAILS HIGH
CVTLFH   ...V.C. TANK LEVEL CONTROL FAILS HIGH
CHAGFL   ...LOSS OF CHARGING FLOW
#
FACTB4   ..FAILURE OF FEEDWATER SYSTEM (0.11)
CCWPL    ...PARTIAL LOSS OF CIRCULATING WATER
HPHDPL   ...LOSS OF H.P.HEATER DRAIN PUMP
#
#
*INTERNAL HYPOTHESIS

```



#	
HFLRCS1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 2
LFLRCS1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 2
HFLRCS2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLRCS2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HFLRCS3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLRCS3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HGFRCS1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LGFRCS1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HGFRCS2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LGFRCS2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HGFRCS3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LGFRCS3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPREPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPREPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HLEVPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LLEVPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMPRL	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMPRL	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMPRT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMPRT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPREPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPREPRZ	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMHL1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMHL1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMHL2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMHL2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMHL3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMHL3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMAVE	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMAVE	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HQFLUX	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LQFLUX	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HSPCROD	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LSPCROD	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HFLCHAG	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLCHAG	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMLED	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMLED	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPREVCT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPREVCT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMVCT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LTEMVCT	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HLEVSG1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LLEVSG1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HLEVSG2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LLEVSG2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HLEVSG3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LLEVSG3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPRESG1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPRESG1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPRESG2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPRESG2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HPRESG3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LPRESG3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HFLMFW1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLMFW1	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HFLMFW2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLMFW2	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HFLMFW3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
LFLMFW3	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3
HTEMPFW	APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3

LTEMPFW APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HFLMSF1 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LFLMSF1 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HFLMSF2 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LFLMSF2 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HFLMSF3 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LFLMSF3 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HPRETR1 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LPRETR1 APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HQGENETR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LQGENETR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HPRCONT APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LPRCONT APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HTECONT APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LTECONT APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HLERWST APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LLERWST APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HNUMTUR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LNUMTUR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HPRCOND APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LPRCOND APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HATRPRE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LATRPRE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HATRPTR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LATRPTR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HATRPGE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LATRPGE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HACRDBTM APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LACRDBTM APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HAFLCHAL APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LAFLCHAL APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HALESGE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LALESGE APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HAVSDVAR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LAVSDVAR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HARUNBTR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LARUNBTR APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
HAOFTDRL APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3  
LAOFTDRL APPLY CONDITION OF KNOWLEDGE UNIT 3

#

#

#\*TREATMENT (TREATMENT HYOYHESIS IS OMITTED FORM THIS KB)

#

#

\*\*FINDINGS

\*BEGIN QUATIONNAIRE

#

\*MULTIPLE CHOICE

TYPE OF PROBLEM:

NPPA NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

OTHA OTHER ACCIDENT

#

# ANNUNCIATORS

#

\*CHECKLIST

ANNUNCIATORS OF TRIP:

ATRPRE REACTOR TRIP

ATRPTR TURBINE TRIP

ATRPGE GENERATOR TRIP

\*CHECKLIST (2)

ANNUNCIATORS OF CONTROL ROD:

ACRDSTP ROD STOP

ACRDBTM ROD BOTTOM  
ACRDWIL ROD WITHDRAW LIMIT

#

\*CHECKLIST (5)

ANNUNCIATORS OF PRESSURIZER:

ALEVPRH PRESSURIZER LEVEL HIGH  
ALEVPRL PRESSURIZER LEVEL LOW  
APREPRH PRESSURIZER PRESSURE HIGH  
APREPRL PRESSURIZER PRESSURE LOW  
ATEPRLH PRESSURIZER RELIEF LINE HIGH TEMP.  
ATEPRTH PRESSURIZER RELIEF TANK HIGH TEMP.  
APRERTH PRESSURIZER RELIEF TANK HIGH PRESS.

#

\*CHECKLIST (5)

ANNUNCIATORS OF PRIMARY LOOP:

AFLRCSL LOW REACTOR COOLANT FLOW  
ATEAVRF DEVIATION OF TAVG/TREF  
ATEAVGH AVERAGE TEMPERATURE HIGH  
ATEAVGL AVERAGE TEMPERATURE LOW

\*CHECKLIST (5)

ANNUNCIATORS OF CVCS:

APREVTH VOLUME CONTROL TANK HIGH PRESS.  
APREVTL VOLUME CONTROL TANK LOW PRESS.  
ATEMVTH VOLUME CONTROL TANK HIGH TEMP.  
ATEMLDH LETDOWN FLOW HIGH TEMP.  
AFLCHAH CHARGING FLOW HIGH  
AFLCHAL CHARGING FLOW LOW  
ALEVRWL REFUEL WATER STORAGE TANK LOW LEVEL

#

\*CHECKLIST (5)

ANNUNCIATORS OF SG AND STEAM LINE:

ALESGB STEAM GENERATOR LEVEL ERROR  
ALESGBH STEAM GENERATOR B ALARM HIGH LEVEL  
ALESGBL STEAM GENERATOR B ALARM LOW LEVEL  
ALESGCH STEAM GENERATOR C ALARM HIGH LEVEL  
ALESGCL STEAM GENERATOR C ALARM LOW LEVEL  
AFLSLH STEAM LINE FLOW HIGH  
APRSLL STEAM LINE PRESSURE LOW  
AVISOLC STEAM LINE ISOLATION  
AVSDVAR STEAM DUMP ARMED

#

\*CHECKLIST (5)

ANNUNCIATORS OF FEEDWATER SYSTEM:

AVISOWF FEEDWATER ISOLATION  
AHTRWFT FEEDWATER HEATER TROUBLE  
APRECVL CONDENSER VACCUM TROUBLE  
APRECON CONTAINMENT PARTIAL PRESSURE HIGH  
ALPHPHD HIGH PRESSURE HEATER DRAIN TANK LEVEL HIGH  
ALPHPHL HIGH PRESSURE HEATER DRAIN TANK LEVEL LOW

#

\*CHECKLIST (2)

ANNUNCIATORS OF TURBINE GENERATOR SYSTEM:

ARUNBTR TURBINE RUNBACK  
ASPTURL TURBINE ZERO SPEED  
AOFDRL AUTO STOP OIL TO DRAIN  
AVOLRGT VOLTAGE REGULATOR TROUBLE  
ATRPEXF EXCITER FIELD BREAKER TRIP  
ATRPBR4 4KV BREAKER AUTO TRIP

#

\*CHECKLIST (3)

OTHER ANNUNCIATORS:

ARADMAL RADIATION MONITOR ALARM

```

AINISI      SAFETY INJECTION INITIATION
ABLCSI      SAFETY INJECTION BLOCK
AINISG      CONSEQUENCE LIMITING SAFEGUARD INITIATION
#
# REACTOR TRIP CONDITIONS
*CHECKLIST
SCRAM CONDITIONS:
SCRAM       REACTOR SCRAM
SRCSL1      RCS LOW FLOW 1/3
SRCSL2      RCS LOW FLOW 2/3
SPRFXH      POWER RANGE FLUX HIGH
STURTR      TURBINE TRIP
SPRZPL      PRESSURIZER LOW PRESSURE
SPRZPH      PRESSURIZER HIGH PRESSURE
SPRZLH      PRESSURIZER HIGH LEVEL
SOVRTE      OVER TEMPERATURE
SOVRPO      OVER POWER
SSGLEL      SG LOW LEVEL
SSISIG      SI SIGNAL ON
#
# TURBINE TRIP CONDITIONS
*CHECKLIST
TURBINE TRIP:
TURTRIP     TURBINE TRIP
TURST       TURBINE TRIP SOLENOID TROUBLE
TURCPH      CONDENSER HIGH PRESSURE
TURSPD      TURBINE OVER SPEED
TURLBF      TURBINE LATCH BUTTON OFF
TURTBO      TURBINE TRIP BUTTON ON
#
# ENGINEERED SAFEGUARDS SYSTEM ACTUATION CONDITIONS
*CHECKLIST
ESS SIGNALS:
ESSACT      ESS SIGNAL ACTUATION
ESCOPH      CONTAINMENT PRESSURE HIGH
ESPRLL      PRESSURIZER BOTH LEVEL AND PRESS. LOW
ESSGHP      DIFFER.PRESS. SG AND S.H HIGH
ESSTFH      STEAM FLOW HIGH
ESSLPL      STEAM LINE PRESSURE LOW
ESTAVL      AVERAGE TEMPERATURE LOW
#
# NUMERICAL
#
*NUMERICAL (0 150) (5 I)
FLRCS1      REACTOR COOLANT FLOW NO.1 LOOP (%)
*NUMERICAL (0 150) (5 I)
FLRCS2      REACTOR COOLANT FLOW NO.2 LOOP (%)
*NUMERICAL (0 150) (5 I)
FLRCS3      REACTOR COOLANT FLOW NO.3 LOOP (%)
*NUMERICAL (7 I)
GFRCS1      GRADIENT OF COOLANT FLOW NO.1 LOOP (%)
*NUMERICAL (7 I)
GFRCS2      GRADIENT OF COOLANT FLOW NO.2 LOOP (%)
*NUMERICAL (7 I)
GFRCS3      GRADIENT OF COOLANT FLOW NO.3 LOOP (%)
*NUMERICAL (0 250) (5 I)
PREPRZ      PRESSURIZER PRESSURE (KG CM2.G)
*NUMERICAL (0 100) (5 I)
LEVPRZ      PRESSURIZER LEVEL (%)
*NUMERICAL (7 I)
LEVPRZ      PRESSURIZER LEVEL (%)
*NUMERICAL (7 I)
LEVPRZ      DEVIATION OF TAVG AND PRESSURIZER LEVEL (-)
*NUMERICAL (7 I)

```

TEMPRL PRESSURIZER RELIEF LINE TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMPRT PRESSURIZER RELIEF TANK TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PREPRT PRESSURIZER RELIEF TANK PRESSURE (KG CM2.G)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMHL1 HOT LEG TEMPERATURE NO.1 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMHL2 HOT LEG TEMPERATURE NO.2 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMHL3 HOT LEG TEMPERATURE NO.3 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMCL1 COLD LEG TEMPERATURE NO.1 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMCL2 COLD LEG TEMPERATURE NO.2 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMCL3 COLD LEG TEMPERATURE NO.3 LOOP (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMAVE AVERAGE TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMDEV DEVIATION OF TAVG AND TREF (-)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 QFLUX AVERAGE NEUTRON FLUX (%)  
 \*NUMERICAL (0 220) (7 I)  
 LCRODA CONTROL ROD POSITION GROUP A (STEP)  
 \*NUMERICAL (0 220) (5 I)  
 LCRODB CONTROL ROD POSITION GROUP B (STEP)  
 \*NUMERICAL (0 220) (5 I)  
 LCRODC CONTROL ROD POSITION GROUP C (STEP)  
 \*NUMERICAL (0 220) (5 I)  
 LCRODD CONTROL ROD POSITION GROUP D (STEP)  
 \*NUMERICAL (0 80) (5 I)  
 SPCROD CONTROL ROD SPEED (STEP MIN)  
 \*NUMERICAL (5 I)  
 FLCHAG CHARGING FLOW (TON HR)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMLED LET DOWN FLOW TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PREVCT VOLUME CONTROL TANK PRESSURE (KG CM2.A)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TEMVCT VOLUME CONTROL TANK TEMPERATURE (DEG.C)  
 #  
 # SECONDARY SYSTEM  
 \*NUMERICAL (0 100) (7 I)  
 LEVSG1 SG LEVEL NO.1 (%)  
 \*NUMERICAL (0 100) (7 I)  
 LEVSG2 SG LEVEL NO.2 (%)  
 \*NUMERICAL (0 100) (7 I)  
 LEVSG3 SG LEVEL NO.3 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PRESG1 SG STEAM PRESSURE NO.1 (KG/CM2.G)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PRESG2 SG STEAM PRESSURE NO.2 (KG/CM2.G)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PRESG3 SG STEAM PRESSURE NO.3 (KG/CM2.G)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMFW1 MAIN FEEDWATER FLOW NO.1 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMFW2 MAIN FEEDWATER FLOW NO.2 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMFW3 MAIN FEEDWATER FLOW NO.3 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)

TEMPFW MAIN FEEDWATER TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMSF1 MAIN STEAM FLOW NO.1 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMSF2 MAIN STEAM FLOW NO.2 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 FLMSF3 MAIN STEAM FLOW NO.3 (%)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 LESGLP SG LEVEL DEVIATION (-)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 PRETR1 TURBINE FIRST STAGE PRESSURE (KG/CM2.G)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 QGENETR GENERATOR POWER (MWE)  
 \*NUMERICAL (0 10) (7 I)  
 PRCOND CONDENSER PRESSURE (KG/CM2.A)  
 \*NUMERICAL (0 10) (7 I)  
 PRCONT CONTAINMENT PRESSURE (KG/CM2.A)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 TECONT CONTAINMENT TEMPERATURE (DEG.C)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 LERWST REFUEL WATER STORAGE TANK LEVEL (M)  
 \*NUMERICAL (7 I)  
 NUMTUR TURBINE ROTATION NUMBER (RPM)

#

# PUMP

\*CHECKLIST (3)

PUMPS:

PMRCP1	REACTOR COOLANT PUMP 1A	RCP-1A
PMRCP2	REACTOR COOLANT PUMP 2A	RCP-2A
PMRCP3	REACTOR COOLANT PUMP 3A	RCP-3A
PMCHAG	CHARGING PUMP	1-CH-P1A
PMRHR	RHR PUMP	RH-P-1A
PMSGFW	SG FEEDWATER PUMP	FW-P-1B
PMAFW	SG AUX. FEEDWATER PUMP	FW-P-3A
PMCIRA	CIRCULATING WATER PUMP	CW-P-1A
PMCIRB	CIRCULATING WATER PUMP	CW-P-1B
PMCIRS	EMERGENCY SERVICE WATER PUMP	SW-P-1A
PMCOND	CONDENSER PUMP	CN-P-1A
PMCNSP	CONTAINMENT SPRAY PUMP	1-CS-P1A
PMSIS	SIS PUMP	1-SI-P1A
PMVACU	VACCUM PUMP	1-VP-P2A
PMHPHD	HP HEATER DRAIN PUMP	SD-P-1A
PMLPHD	LP HEATER DRAIN PUMP	SD-P-2A
PMBOA	BORIC ACID TRANSFER PUMP	1-CH-P2A
PMRCIR	INSIDE RECIRCULATION PUMP	RS-P-1A
PMPWST	PWST PUMP	PG-P-1

#

\*CHECKLIST (5)

HEATER:

HTRBUP BACK UP HEATER ON  
 HTRPRP PROPORTIONAL HEATER ON

#

# VALVE

#

# OPEN...TRUE CLOSE...FALSE

#

\*CHECKLIST (5)

VALVE POSITION:

VP455A	PRESSURIZER SPRAY VALVE A	PCV 455A
VP455B	PRESSURIZER SPRAY VALVE C	PCV 455B
VP455C	PRESSURIZER RELIEF VALVE	PCV 455C
VM563	PRESSURIZER RELIEF MOTOR VALVE	MOV 563

V1115B RWST EXIT VALVE TO CHARGING LINE LCV 1115B  
 V1115C VCT EXIT VALVE LCV 1115C  
 VL1460A LET DOWN LINE VALVE LCV 1460A  
 #  
 # STEAM LINE VALVE  
 \*CHECKLIST (10)  
 VALVE POSITION OF SECONDARY SYSTEM:  
 VT105A STEAM DUMP VALVE TO MAIN CONDENSER TCV 105A  
 VH104 STEAM DUMP VALVE TO ATMOSPHERE HCV MS 104  
 VT101A MAIN STEAM ISOLATION VALVE A TV MS 101A  
 VT101B MAIN STEAM ISOLATION VALVE B TV MS 101B  
 VT101C MAIN STEAM ISOLATION VALVE C TV MS 101C  
 VTGV1 TURBINE GOVERNOR VALVE 1 TGV 1  
 VTGV2 TURBINE GOVERNOR VALVE 2 TGV 2  
 VTGV3 TURBINE GOVERNOR VALVE 3 TGV 3  
 VTGV4 TURBINE GOVERNOR VALVE 4 TGV 4  
 #  
 # FEEDWATER LINE VALVE  
 VF478 FEEDWATER CONTROL VALVE A (MAIN) FCV 478  
 VF488 FEEDWATER CONTROL VALVE B (MAIN) FCV 488  
 VF498 FEEDWATER CONTROL VALVE C (MAIN) FCV 498  
 VM151A AUX. FEEDWATER VALVE TO SG A MOV FW 151A  
 VM151B AUX. FEEDWATER VALVE TO SG B MOV FW 151B  
 VM151C AUX. FEEDWATER VALVE TO SG C MOV FW 151C  
 #  
 VL102A CONDENSATE STORAGE TANK EXIT VALVE TO CO. LCV CN 102A  
 VL123A VALVE FROM 4TH HTR TO CONDENSER LCV SD 123A  
 #  
 # YES/NO  
 \*YESNO (5)  
 YREVFL1 REVERSE FLOW LOOP 1  
 \*YESNO (5)  
 YREVFL2 REVERSE FLOW LOOP 2  
 \*YESNO (5)  
 YREVFL3 REVERSE FLOW LOOP 3  
 \*YESNO (5)  
 YTEMCH1 COLD LEG TEMPERATURE HIGHER THAN HOT LEG LOOP 1  
 \*YESNO (5)  
 YTEMCH2 COLD LEG TEMPERATURE HIGHER THAN HOT LEG LOOP 2  
 \*YESNO (5)  
 YTEMCH3 COLD LEG TEMPERATURE HIGHER THAN HOT LEG LOOP 3  
 #  
 \*END QUATIONNAIRE  
 #  
 \*\*\*GENERAL KB  
 \*\*KU  
 \*FH RULE  
 #  
 F(ATRPRE,T) -> H(AA,0.2)  
 F(ATRPRE,F) -> H(BB,0.2)  
 F(ATRPTR,T) -> H(AA,0.2)  
 F(ATRPTR,F) -> H(BB,0.2)  
 F(ATRPGE,T) -> H(AA,0.2)  
 F(ATRPGE,F) -> H(BB,0.2)  
 F(ACRDBTM,T) -> H(AA,0.2)  
 F(ACRDBTM,F) -> H(BB,0.2)  
 F(ALESGE,T) -> H(AA,0.2)  
 F(ALESGE,F) -> H(BB,0.2)  
 F(AFLSLH,T) -> H(AA,0.2)  
 F(AFLSLH,F) -> H(BB,0.2)  
 F(AVSDVAR,T) -> H(AA,0.2)  
 F(AVSDVAR,F) -> H(BB,0.2)

```

F(ARUNBTR,T) -> H(AA,0.2)
F(ARUNBTR,F) -> H(BB,0.2)
F(AOFTDRL,T) -> H(AA,0.2)
F(AOFTDRL,F) -> H(BB,0.2)
#
F(FLRCS1,*:95) -> H(LFLRCS1, 1.0)
F(FLRCS1,105:*) -> H(HFLRCS1, 1.0)
F(FLRCS2,*:95) -> H(LFLRCS2, 1.0)
F(FLRCS2,105:*) -> H(HFLRCS2, 1.0)
F(FLRCS3,*:95) -> H(LFLRCS3, 1.0)
F(FLRCS3,105:*) -> H(HFLRCS3, 1.0)
F(GFRCS1,*: -2) -> H(LGFRCS1, 1.0)
F(GFRCS1,2:*) -> H(HGFRCS1, 1.0)
F(GFRCS2,*: -2) -> H(LGFRCS2, 1.0)
F(GFRCS2,2:*) -> H(HGFRCS2, 1.0)
F(GFRCS3,*: -2) -> H(LGFRCS3, 1.0)
F(GFRCS3,2:*) -> H(HGFRCS3, 1.0)
F(PREPRZ,*:154) -> H(LPREPRZ, 1.0)
F(PREPRZ,163:*) -> H(HPREPRZ, 1.0)
F(LEVPRZ,*:44) -> H(LLEVPRZ, 1.0)
F(LEVPRZ,50:*) -> H(HLEVPRZ, 1.0)
F(TEMPRL,77:*) -> H(HTEMPRL, 1.0)
F(TEMPRT,52:*) -> H(HTEMPRT, 1.0)
F(PREPRT,0.2:*) -> H(HPREPRT, 1.0)
F(TEMHL1,*:310) -> H(LTEMHL1, 1.0)
F(TEMHL1,330:*) -> H(HTEMHL1, 1.0)
F(TEMHL2,*:310) -> H(LTEMHL2, 1.0)
F(TEMHL2,330:*) -> H(HTEMHL2, 1.0)
F(TEMHL3,*:310) -> H(LTEMHL3, 1.0)
F(TEMHL3,330:*) -> H(HTEMHL3, 1.0)
F(TEMAVE,*:286) -> H(LTEMAVE, 1.0)
F(TEMAVE,305:*) -> H(HTEMAVE, 1.0)
F(QFLUX,*:95) -> H(LQFLUX, 1.0)
F(HQFLUX,105:*) -> H(HQFLUX, 1.0)
F(SPCROD,0.05:*) -> H(HSPCROD, 1.0)
F(FLCHAG,*:7) -> H(LFLCHAG, 1.0)
F(FLCHAG,25:*) -> H(HFLCHAG, 1.0)
F(TEMLED,*:273) -> H(LTEMLED, 1.0)
F(TEMLED,293:*) -> H(HTEMLED, 1.0)
F(TEMVCT,*:52) -> H(LTEMVCT, 1.0)
F(TEMVCT,54:*) -> H(HTEMVCT, 1.0)
F(LEVSG1,*:40) -> H(LLEVSG1, 1.0)
F(LEVSG1,48:*) -> H(HLEVSG1, 1.0)
F(LEVSG2,*:40) -> H(LLEVSG2, 1.0)
F(LEVSG2,48:*) -> H(HLEVSG2, 1.0)
F(LEVSG3,*:40) -> H(LLEVSG3, 1.0)
F(LEVSG3,48:*) -> H(HLEVSG3, 1.0)
F(PRESG1,*:47) -> H(LPRESG1, 1.0)
F(PRESG1,57:*) -> H(HPRESG1, 1.0)
F(PRESG2,*:47) -> H(LPRESG2, 1.0)
F(PRESG2,57:*) -> H(HPRESG2, 1.0)
F(PRESG3,*:47) -> H(LPRESG3, 1.0)
F(PRESG3,57:*) -> H(HPRESG3, 1.0)
F(FLMFW1,*:70) -> H(LFLMFW1, 1.0)
F(FLMFW1,90:*) -> H(HFLMFW1, 1.0)
F(FLMFW2,*:70) -> H(LFLMFW2, 1.0)
F(FLMFW2,90:*) -> H(HFLMFW2, 1.0)
F(FLMFW3,*:70) -> H(LFLMFW3, 1.0)
F(FLMFW3,90:*) -> H(HFLMFW3, 1.0)
F(TEMPFW,*:210) -> H(LTEMPFW, 1.0)
F(TEMPFW,230:*) -> H(HTEMPFW, 1.0)
F(FLMSF1,*:70) -> H(LFLMSF1, 1.0)

```



```

F(FLMSF1,90:*) -> H(HFLMSF1, 1.0)
F(FLMSF2,*:70) -> H(LFLMSF2, 1.0)
F(FLMSF2,90:*) -> H(HFLMSF2, 1.0)
F(FLMSF3,*:70) -> H(LFLMSF3, 1.0)
F(FLMSF3,90:*) -> H(HFLMSF3, 1.0)
F(QGENETR,*:795) -> H(LQGENETR, 1.0)
F(QGENETR,886:*) -> H(HQGENETR, 1.0)
F(PRCONT,0.62:*) -> H(HPRCONT, 1.0)
F(NUMTUR,*:1600) -> H(LNUMTUR, 1.0)
F(NUMTUR,2000:*) -> H(HNUMTUR, 1.0)
F(PRCOND,*:0.07) -> H(LPRCOND, 1.0)
F(PRCOND,0.09:*) -> H(HPRCOND, 1.0)
#
# SECOND LEVEL HYPOTHESIS
**KU
*COND F(NPPA, T)
*HH RULE
#
# NO.1 (FACTA1-3 ; TRANSIENTS WITH SCRAM)
#
*IF
H(AA,0.5:*)
*THEN
F(AFLRCSL,T) -> H(FACTA3,0.43)
F(ATEAVGL,T) -> H(FACTA3,0.17)
F(AVSDVAR,T) -> H(FACTA3,0.47)
F(APRECVL,F) -> H(FACTA3,0.47)
F(ALEVPRH,T) -> H(FACTA2,0.42)
F(ALEVPRL,T) -> H(FACTA1,0.58)
F(APREPRH,T) -> H(FACTA1,0.25)
F(ATEPRLH,T) -> H(FACTA1,0.49)
(1:H(LFLRCS1,0.5:*),H(LFLRCS2,0.5:*),H(LFLRCS3,0.5:*))
-> H(FACTA3,0.34)
H(LLEVPRZ,0.5:*) -> H(FACTA1,0.40),H(FACTA2,0.40)
H(HLEVPRZ,0.5:*) -> H(FACTA3,0.31)
H(LTEMAVE,0.5:*) -> H(FACTA1,0.42),H(FACTA2,0.42)
H(HTEMLD,0.5:*) -> H(FACTA1,0.31),H(FACTA2,0.42)
H(HTEMVCT,0.5:*) -> H(FACTA1,0.24),H(FACTA2,0.24)
(1:H(HPRESG1,0.5:*),H(HPRESG2,0.5:*),H(HPRESG3,0.5:*))
-> H(FACTA1,0.62),H(FACTA2,0.62)
(1:H(LPRESG2,0.5:*),H(LPRESG3,0.5:*))
-> H(FACTA3,0.28)
H(HPRCONT,0.5:*) -> H(FACTA3,0.20)
H(HTECONT,0.5:*) -> H(FACTA3,0.20)
H(HPRCOND,0.5:*) -> H(FACTA3,0.46)
*END
#
# NO.2 (FACTB1-3 ; TRANSIENTS WITHOUT SCRAM)
#
*IF
H(BB,0.5:*)
*THEN
F(ACRDWIL,T) -> H(FACTB2,0.23)
F(ALEVPRL,T) -> H(FACTB3,0.40)
F(APREPRH,T) -> H(FACTB3,0.23)
F(APREVTL,T) -> H(FACTB3,0.49)
F(AFLCHAH,T) -> H(FACTB3,0.17)
F(AFLCHAL,T) -> H(FACTB3,0.17)
F(ATEAVRF,T) -> H(FACTB1,0.39),H(FACTB3,0.16)
F(ATEAVGH,T) -> H(FACTB1,0.19)
F(ATEAVGL,T) -> H(FACTB3,0.31)
F(AFLSLH,T) -> H(FACTB1,0.47)

```

```

F(AVSDVAR,T) -> H(FACTB1,0.31)
F(ARUNBTR,T) -> H(FACTB1,0.19)
F(AOFTDRL,T) -> H(FACTB1,0.19)
#
H(LLEVPRZ,0.5:*) -> H(FACTB3,0.81)
(1:H(LTEMHL1,0.5:*),H(LTEMHL2,0.5:*),H(LTEMHL3,0.5:*)) -> H(FACTB3,0.21)
H(LTEMAVE,0.5:*) -> H(FACTB3,0.21)
H(LQFLUX,0.5:*) -> H(FACTB1,0.50)
H(HSPCROD,0.5:*) -> H(FACTB2,0.68)
H(HSPCROD,*:0.5) & H(LSPCROD,*:0.5) -> H(FACTB4,0.21)
(1:H(LLEVSG1,0.5:*),H(LLEVSG2,0.5:*),H(LLEVSG3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.51)
(1:H(HPRESG1,0.5:*),H(HPRESG2,0.5:*),H(HPRESG3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.22)
(1:H(LPRESG1,0.5:*),H(LPRESG2,0.5:*),H(LPRESG3,0.5:*)) -> H(FACTB3,0.24)
(1:H(LFLMFW1,0.5:*),H(LFLMFW2,0.5:*),H(LFLMFW3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.68)
(1:H(LFLMSF1,0.5:*),H(LFLMSF2,0.5:*),H(LFLMSF3,0.5:*)) -> H(FACTB1,0.68)
H(HNUMTUR,0.5:*) -> H(FACTB1,0.19)
H(LPRCOND,0.5:*) -> H(FACTB3,0.20)
H(HPRCOND,0.5:*) -> H(FACTB4,0.64)
H(LPRETR1,0.5:*) -> H(FACTB1,0.60)
H(LQGENETR,0.5:*) -> H(FACTB1,0.40)
*END
#
# THIRD LEVEL HYPOTHESIS
#
**KU
*COND F(NPPA, T)
#
*HH RULES
#
# NO.1-1 (SUB-GROUP A1)
#
*IF
H(FACTA1,0.5:*)
*THEN
F(AINISI, T) -> H(PRFVSO,0.2)
F(APREPRH, T) -> H(CPRPFH,0.2)
F(APRERTH, T) -> H(PRFVSO,0.2)
F(ATEMLDH, T) -> H(CPRPFL,0.2)
F(AFLCHAH, T) -> H(PRFVSO,0.2)
F(AFLCHAL, T) -> H(CPRPFL,0.2)
F(AEAVRF, F) -> H(PSPV01,0.2)
F(AVISOWF, T) -> H(PRFVSO,0.2)
#
H(HPREPRZ, 0.5:*) -> H(CPRPFL,0.2)
H(HLEVPRZ, 0.5:*) -> H(PSPV01,0.2)
H(HFLCHAG, 0.5:*) -> H(CPRPFL,0.2)
H(HTEMVCT, 0.5:*) -> H(CPRPFL,0.2)
H(HTEMVCT, *:0.5) & H(LTEMVCT,*:0.5) -> H(CRDWDF,0.2)
H(HTEMPRT, 0.5:*) -> H(PRFVSO,0.2)
*END
#
# NO.1-2 (SUB-GROUP A2)
#
*IF
H(FACTA2, 0.5:*)
*THEN
F(AEAVGL, T) -> H(FWFPL,0.2),H(FWFTL,0.2)
(1:F(ALESGBL,T),F(ALESGBH,T))
-> H(FWFPL,0.2),H(FWFTL,0.2),H(CCWTL,0.2)
(1:F(ALESGBL,T),F(ALESGBH,T))
-> H(CSGLFH,0.2)
F(AVISOLC, T) -> H(CSGLFH,0.2)

```

```

F(AVOLRGT, T) -> H(GENTRP,0.2)
H(HSPCRD,0.5:*) -> H(FWFPL,0.2)
H(HTEMPVCT,0.5:*) -> H(CSGLFH,0.2),H(FWFPL,0.2)
H(LTEMPFW,0.5:*) -> H(FWFPL,0.2)
H(HNUMTUR,0.5:*) -> H(GENTRP,0.2)
H(LNUMTUR,0.5:*) -> H(CSGLFH,0.2),H(CCWT,0.2)
H(HPRCOND,0.5:*) -> H(CCWT,0.2)
*END
#
# NO.1-3 (SUB-GROUP A3)
#
*IF
H(FACTA3, 0.5:*)
*THEN
F(AINISI, T) -> H(SGSLL,0.2)
F(AINISG, T) -> H(SGSLL,0.2)
F(ACRDSTP, T) -> H(SGSLL,0.2)
F(ALEVPRH, T) -> H(RCSPLA,0.2), H(RCSPSL,0.2), H(SGSLL,0.2)
F(ALEVPRL, T) -> H(RCSPL1,0.2), H(RCSPL2,0.2)
(1:F(APREPRH,T),F(APREPRL,T)) -> H(SGSLL,0.2)
F(AFLCHAL, T) -> H(SGSLL,0.2)
F(ATEAVGH, T) -> H(RCSPSL,0.2)
(1:F(ALESGBH,T),F(ALESGBL,T)) -> H(RCSPL1,0.2),H(RCSPSL,0.2)
(1:F(ALESGBL,T),F(ALESGBH,T)) -> H(SGSLL,0.2)
F(AVISOWF,T) -> H(SGSLL,0.2)
F(ATRPBR4, T) -> H(RCSPLA,0.2)
H(LFLRCS1,0.5:*) & H(LFLRCS2,0.5:*) & H(LFLRCS3,0.5:*)
-> H(RCSPLA,0.2)
H(LLEVPRZ, 0.5:*) & H(HLEVPRZ,0.5:*) -> H(RCSPL1,0.2)
H(HTEMLED, 0.5:*) -> H(RCSPLA,0.2), H(SGSLL,0.2)
H(HPRESG1,0.5:*) & H(HPRESG2,0.5:*) & H(HPRESG3,0.5:*)
-> H(RCSPSL,0.2)
H(LPRESG1,0.5:*) & H(LPRESG2,0.5:*) & H(LPRESG3,0.5:*)
-> H(SGSLL,0.2)
*END
#
# NO.2-1 (SUB-GROUP B1)
#
*IF
H(FACTB1, 0.5:*)
*THEN
F(ATRPGE, T) -> H(CRDRTF,0.2)
F(ACRDSTP, T) -> H(SDVLA,0.2)
F(ACRDBTM, T) -> H(CRDDR1,0.2)
F(ATEAVGH, T) -> H(CRDRTF,0.2)
F(ALESGE, T) -> H(CRDRTF,0.2),H(SDVLA,0.2)
F(AVSDVAR, T) -> H(CRDRTF,0.2),H(TGVFC1,0.2)
F(ARUNBTR, T) -> H(CRDDR1,0.2),H(SDVLA,0.2)
F(AOFTDRL, T) -> H(CRDRTF,0.2)
H(LPREPRZ, 0.5:*) -> H(SDVLA,0.2)
H(LLEVPRZ, 0.5:*) -> H(SDVLA,0.2)
(1:H(LPRESG1,0.5:*),H(LPRESG2,0.5:*),H(LPRESG3,0.5:*))
-> H(SDVLA,0.2)
H(LTEMPFW, 0.5:*) -> H(CRDRTF,0.2), H(SDVLA,0.2)
H(HNUMTUR,0.5:*) -> H(CRDRTF,0.2)
H(HPRCOND,0.5:*) -> H(CRDRTF,0.2)
H(LPRCOND,0.5:*) -> H(SDVLA,0.2)
*END
#
# NO.2-2 (SUB-GROUP B2)
#
*IF

```

```

H(FACTB2, 0.5:*)
*THEN
F(ATRPGE, T) -> H(CSGLFL, 0.2)
F(ACRDSTP, T) -> H(TURRBF, 0.2), H(CSGLFL, 0.2)
F(ACRDBTM, T) -> H(TURRBF, 0.2)
F(ALEVPRH, T) -> H(CSGLFL, 0.2)
F(APREVTH, T) -> H(CVTLFL, 0.2)
#F(ATEAVRF, T) -> H(CVTLFL, 0.2), H(RCSUTR, 0.2)
F(ALESGE, T) -> H(CSGLFL, 0.2)
(1 : F(ALESGBL, T), F(ALESGL, T)) -> H(CSGLFL, 0.2)
F(AFLSLH, T) -> H(CSGLFL, 0.2)
*END
#
# NO.2-3 (SUB-GROUP B3)
#
*IF
H(FACTB3, 0.5:*)
*THEN
F(ARADMAL, T) -> H(RCSUTR, 0.2)
F(AVSDVAR, T) -> H(RCSUTR, 0.2)
F(ACRDWIL, T) -> H(RCSLSL, 0.2)
F(ALEVPRL, T) -> H(RCSUTR, 0.2)
F(APREPRL, T) -> H(RCSUTR, 0.2), H(CHAGFL, 0.2)
F(APREVTL, T) -> H(RCSUTR, 0.2)
F(ALEVPRL, F) -> H(CLATEH, 0.2)
F(APREPRL, T) -> H(RCSLSL, 0.2)
F(ATEPRLH, T) -> H(PSPVCS, 0.2)
F(ATEMLDH, T) -> H(CHAGFL, 0.2)
F(AFLCHAL, T) -> H(CHAGFL, 0.2)
F(AFLCHAH, T) -> H(RCSLSL, 0.2)
F(AFLCHAL, T) -> H(CVTLFH, 0.2)
F(ATEAVGL, T) -> H(RCSLSL, 0.2), H(CRDUCCI, 0.2)
F(ATRPBR4, T) -> H(CHAGFL, 0.2)
(1: H(LFLRCS1, 0.5:*), H(HFLRCS2, 0.5:*), H(HFLRCS3, 0.5:*))
    -> H(CRDUCCI, 0.2)
(2: H(LTEMHL1, 0.5:*), H(HTEMHL2, 0.5:*), H(HTEMHL3, 0.5:*))
    -> H(CRDUCCI, 0.2), H(CLATEH, 0.2)
H(HSPCROD, 0.5:*) -> H(CRDUCCI, 0.2), H(CLATEH, 0.2)
H(LFLCHAG, 0.5:*) -> H(CVTLFH, 0.2)
H(LTEMLED, 0.5:*) -> H(CRDUCCI, 0.2)
H(HTEMVCT, 0.5:*) -> H(CRDUCCI, 0.2)
*END
#
# NO.2-4 (SUB-GROUP B4)
#
*IF
H(FACTB4, 0.5:*)
*THEN
H(HPRCOND, 0.5:*) -> H(CCWPL, 0.5), H(HPHDPL, 0.5)
*END

```