

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。

[技術情報室]

分置

# イベントツリー解析支援システムの開発

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1988年6月

住商エレクトロニクス株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

3  
2  
は使用しないよう注意して下さい。


This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術管理部 技術情報室

配 布 限 定  
PNC  2038 88-001  
1 9 8 8 年 6 月



## イベント・ツリー解析支援システムの開発

岡崎 俊二<sup>\*</sup>、田村 俊明<sup>\*</sup>、森 拓也<sup>\*</sup>

### 要 旨

確率論的安全評価（PSA）の一環として、イベント・ツリー解析が行われるが、イベント・ツリー作成やその定量的評価に於いては、プラントの知識のみならず、イベント・ツリー解析手法に関する知識が必要とされる。また、イベント・ツリーは、その手法の有する自由度故に解析者による差異や論理的整合性の不一致が生ずる傾向がある。

したがって、これまでのイベント・ツリー解析に係わる知識、即ちイベント・ツリー作成手順や作成規則をルールベース化しておき、解析者がプラントに関する知識を与えれば、標準的なイベント・ツリー解析が実施できる支援ソフトウェアシステムの開発が望まれていた。

そこで本件では、このような必要な情報を順次獲得しながら推論を進め、問題解決をおこなうシステムを実現するため、エキスパートシステム構築技法を応用してシステムを開発する事とした。これにより、イベント・ツリー解析に係わる知識を組み込み、解析者が会話形式で解析を進める事ができる柔軟な支援システムを効率よく開発する事ができた。

---

本報告書は、住商エレクトロニクス株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により、実施した研究の成果である。

契約番号：620D205

\*：住商エレクトロニクス株式会社

LIMITED DISTRIBUTION  
PNC SJ2038 88-001  
JUNE, 1988



## Development of the Event-Tree Analysis Assistant System

Shunji Okazaki\*, Toshiaki Tamura\*, Takuya Mori\*

### Abstract

An event-tree analysis which plays one of the important role in the Probabilistic Risk Assessment Program needs not only plant specific information but also the knowledge of event-tree development procedure and rules. The event tree has considerable latitude as to the definition of event heading and their order. Then, the structure of event tree tends to depend on an analyst and have logical inconsistency. Therefore, it is meaningful to develop a software system which requests an analyst to input necessary plant information and guides him to develop consistent and rational event-trees.

An expert-system development technique has been applied for the development of event-tree analysis assistant system. This technique is suitable for this program which resolves a problem with requesting and acquiring necessary data and inferring it iteratively.

This assistant system has been applied to a loop type fast breeder reactor event-tree development and shown its effectiveness.

---

Work performed by Sumisho Electronics Co.,Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

\* : Sumisho Electronics Co.,Ltd.

## 目 次

1. はじめに	1
2. イベント・ツリー解析手法	2
2.1 イベント・ツリーの解析に必要な情報	3
2.2 機能イベント・ツリーの作成	5
2.3 システム・イベント・ツリーの作成	7
2.4 システム・イベント・ツリーのの定量評価	10
3. イベント・ツリー解析支援システムの構成と操作手引	17
3.1 システムの全体構成	17
3.2 システムの起動と操作手引	29
4. プログラムの仕様	65
5. まとめ	70
6. 参考文献	71

図 表 一 覧

表2-1	局所燃料破損事象に於けるフロントライン・システムと各機器の成功基準	12
表3-1	起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー	61
表3-2	事故シーケンス・ランキングテーブル	62
表3-3	ユニークシステムコンビネーションランキングテーブル	63
図2-1	システム解析の全体構成とイベント・ツリー解析の位置付け	13
図2-2	イベント・ツリー解析の手順	14
図2-3	機能イベント・ツリーの例 －ループ型高速増殖炉に於ける局所燃料破損事象－	15
図2-4	システムイベント・ツリーの例 －ループ型高速増殖炉に於ける局所燃料破損事象－	16
図3-1	各モジュールの結合関係	18
図3-2	起因事象カテゴリーのフレーム表現	19
図3-3	プラント安全機能のフレーム表現	19
図3-4	フロントライン・システムのフレーム表現	19
図3-5	メインメニュー	29
図3-6	入力モジュールの開始画面	30
図3-7	データ入力画面（ディスクリプション）	32
図3-8	データ入力画面（コード）	32
図3-9	データ入力画面（発生頻度）	33
図3-10	データ入力画面（プラント安全機能）	33
図3-11	データ入力画面（PSF クロノロジー）	34
図3-12	データ入力画面（プラント安全機能選択）	35
図3-13	データ入力画面（従属性）	36
図3-14	データ入力モジュールの修正・表示メニュー画面	37
図3-15	データ入力モジュールの修正・表示モード画面	38
図3-16	従属性データの表示・修正メニュー画面	39
図3-17	従属性データの表示・修正モード画面	40
図3-18	プリント出力選択メニュー画面	41
図3-19	起因事象カテゴリー選択メニュー（FET）	42
図3-20	プラント安全機能選択メニュー	43
図3-21	機能イベントツリーの表示・修正画面	46

図3-22	起因事象カテゴリ選択メニュー (SET)	47
図3-23	フロントラインシステム選択メニュー	48
図3-24	データ入力画面 (SET, makes fail)	49
図3-25	データ入力画面 (SET, is backed up)	49
図3-26	データ入力画面 (SET, preceeds)	49
図3-27	間接情報の表示・削除メニュー	50
図3-28	成功基準の選択メニュー	51
図3-29	システムイベントツリーの表示・修正画面	52
図3-30	USC 抽出確認画面	53
図3-31	USC 抽出中の画面	54
図3-32	確率値入力画面	55
図3-33	起因事象カテゴリ選定メニュー (quant)	56
図3-34	表示・修正メニュー (quant)	57
図3-35	確率値の修正画面	57
図3-36	起因事象カテゴリ削除メニュー (quant)	58
図3-37	解析結果表示メニュー	59
図3-38	定量化システムイベントツリー選択メニュー	60
図3-39	定量化システムイベントツリー	64

## 1. はじめに

確率論的安全性評価（PSA）の一環として、システム解析が実施される。その過程で、イベント・ツリー解析が行われるが、これは解析対象プラントのPSA全体の枠組を与える重要な役割をはたす。

このイベント・ツリーの作成や、その定量的評価においては、プラントの知識のみならず、イベント・ツリー解析手法に関する知識が必要とされる。また、イベント・ツリーは、その手法の有する自由度故に、解析者による差異が生じたり、論理的整合性の不統一が生ずる傾向がある。そこで、これまでのイベント・ツリー解析経験において蓄積された知見を、イベント・ツリー解析手法に関わる知識として、ルールベース化しておき、これらを活用する事が望まれる。

以上の観点から、本件では、イベント・ツリー解析の手順を体系化し、各解析ステップでの作成規則をルールベース化する事により、これらの規則に関わるプラント情報を与えれば、標準的なイベント・ツリー解析が行える支援ソフトウェアシステムを開発する事とした。



## 2. イベント・ツリー解析手法

確率論的安全性評価のシステム解析全体におけるイベント・ツリー解析の位置付けを図2-1に示す。イベント・ツリー解析は、解析対象プラントで起こりうる潜在的事故のシナリオとその事故による影響（プラント損傷状態）を、系統立てた手順で漏れなく、そして冗長なく同定するための解析手段である。

イベント・ツリーの展開にあたって、その前段階として、先ず解析者が起因事象発生後のプラント応答を理解し、系統だてて明らかにするための手法としては、機能イベント・ツリー解析手法、またはイベント・シーケンス・ダイアグラム（ESD）手法の2手法が一般的に用いられている。これらの手法は、それぞれ特徴があるが、本件では米国のIREP等でもよく用いられている機能イベント・ツリー解析手法を用いたイベント・ツリー解析手法を対象として、解析支援システムを開発する事とした。

本節では、このイベント・ツリー解析の手順をまず体系的にまとめ、各解析ステップで必要とする入力情報とそれを用いた解析手順、及び注意すべき事項について述べる。

## 2.1 イベント・ツリー解析に必要な情報

図2-2 にイベント・ツリー解析手順の流れ図を示す。イベント・ツリーで同定する事故シーケンスは、起因事象とそれに応答する安全系設備の作動／不作動によって定まる。したがって、図2-2 に示すように、イベント・ツリー解析の開始に当たっては、起因事象カテゴリー、プラント安全機能及びそれらの機能を実現するためのフロントライン・システムに関する情報が必要となる。

プラント安全機能とは、異常事象（起因事象）発生時に、プラント内のエネルギー源を制御し、放射線災害を封じ込めるために、働かなければならない機能である。これら安全機能は、解析対象プラントのタイプや設計に応じて異なり、そのプラントが有する物理的な特徴に応じて、プラント設計時に考慮され、用意されているものである。通常、起因事象発生時にプラントを成功裏に停止させるためには、複数の安全機能が順次、正常に機能する事により達成される。そして、必要とされる機能は、プラント安全停止には必要不可欠であり、いずれかの機能でも喪失すると炉心損傷に至るものと位置付けられる。但し、必要な機能は起因事象のタイプによって異なる場合がある。例えば、ループ型高速増殖炉に於ける1次冷却材流出事象発生時には、原子炉液位確保機能が不可欠であるが、外部電源喪失事象などにおいては、このような機能は不要である。

フロントライン・システムとは、これらプラント安全機能を達成するための具体的なプラント設備である。ある安全機能を達成するためには、複数のフロントライン・システムが作動しなければならない場合もあるし、単体の作動で達成できる場合もある。また、複数のフロントライン・システムのいずれかが作動すれば機能達成できるよう多様性を有している場合もある。これらは全て、解析対象プラントの設計に依存するものである。

解析対象プラントにおいて、プラント緊急停止に至らしめるような異常事象（即ち、起因事象）は、マスターロジック・ダイヤグラム等の手法を用いて同定される。これらの起因事象は、それに対するプラントの応答、即ち、必要なプラント安全機能、有効な緩和設備に応じて、同様のものを1つのカテゴリーとして分類する事ができ、これらを起因事象カテゴリーと呼んでいる。これは同様のプラント応答を示す起因事象を予めグループ化するスクリーニング作業である。この作業により、イベント・ツリー解析は、これらの起因事象カテゴリーに対して実施すればよく、冗長なイベント・ツリーを作成する事なく、合理的に解析を行

う事ができる。

以上、起因事象カテゴリー、プラント安全機能及びフロントライン・システムに関する情報が用意されて、イベント・ツリー解析が開始される。

## 2.2 機能イベント・ツリーの作成

イベント・ツリー解析の第1ステップとして、まず、起因事象カテゴリーとプラント安全機能に関する情報から、各起因事象カテゴリー毎に、機能イベント・ツリーを作成する。

ここでは、まず各起因事象カテゴリー毎に、その影響緩和に必要なプラント安全機能を同定し、それらの応答順序を明らかにする。そして、この起因事象カテゴリー発生後のこれらプラント安全機能の成功・失敗に応じたプラント損傷状態（事故カテゴリー）を明らかにする事により、機能レベルでの事故シーケンスを表す。ここでプラント損傷状態とは、事故シーケンスの最終的なプラントへの影響形態を分類して現したものであり、以後に行われる事故影響評価解析へのインターフェイスの役割を果たすものである。このプラント損傷状態は、一般的には起因事象カテゴリーと失敗したプラント安全機能の組合せによって定まる。

しかし、起因事象によっては、特にプラント安全機能を果たす設備ではないが応答する可能性を有する設備があり、その作動・不作動が、後に続く安全機能設備の応答条件に影響を与えたり、プラント損傷状態を変える場合もある。また、起因事象発生から安全設備応答の途中に於ける現象論的な事象進展の程度によっては、その後必要となるプラント安全機能や損傷状態が変わってくる場合もある。

このような事故シーケンスに影響を及ぼす非安全系設備の応答や事象進展現象発生の可能性については、各起因事象毎に十分検討し、必要に応じて機能イベント・ツリーのヘッディングに加える必要がある。

図 2-3に機能イベント・ツリーの一例としてループ型高速増殖炉における局所燃料破損事象の機能イベント・ツリーを示す。この事象発生時に必要なプラント安全機能としては、原子炉停止機能と崩壊熱除去機能である。通常、原子炉停止機能を必要とする事象が発生した場合は、その機能に失敗すると炉心溶融に至る。しかし、この局所燃料破損事象の場合は、原子炉停止に失敗しても、その起因事象である局所燃料破損事象が炉心冷却が不可能なレベルまで拡大しなければ、プラントは通常運転を継続する事ができる。この局所燃料破損事象が拡大するか否かは、現象論的な事象進展の確率で与えられる性質のものである。したがって、この起因事象の機能イベント・ツリーの例では、“事象の拡大”というヘッディングを“原子炉出力停止”機能の次に追加してある。

このような機能イベント・ツリーを作成する事により、各起因事象カテゴリーに対するのプラントの機能レベルでの応答と、その影響（プラント損傷状態）を明示する事ができる。これにより、システム・イベント・ツリー作成の枠組みを与える事ができる。

## 2.3 システムイベント・ツリーの作成

システムイベント・ツリーは、2.2 で展開した機能イベント・ツリーの各機能の成功／失敗を、フロントライン・システムレベルに展開する事により作成される。作成にあたっては、以下の解析項目を順次処理していく。

- (1) 各プラント安全機能毎に有効で、利用可能なフロントライン・システムの同定
- (2) 各プラント安全機能内でのフロントライン・システムの順序の同定
- (3) フロントライン・システムの成功／失敗の組合せによる、プラント安全機能の成功基準の同定

以下に各解析項目の内容を述べる。

- (1) 各プラント安全機能ないでのフロントライン・システムの順序の同定  
— 一般に1つの安全機能には、複数のフロントライン・システムが関与しているが、有効又は利用可能なフロントライン・システムは、起因事象カテゴリーに応じて異なる。これは、外部電源喪失時には、補助冷却系の強制循環冷却モードが作動不能となるように、起因事象の影響により、物理的にフロントライン・システムの作動が不可となる場合があるためである。したがって、各起因事象カテゴリー毎にそれがフロントライン・システムに及ぼす影響を検討して、上記項目を同定する。
- (2) 各プラント安全機能内でのフロントライン・システムの順序の同定  
— イベント・ツリーのヘディングとしてのフロントライン・システムの順序は、事故シーケンスを明らかにする上では、厳密に規定されなければならないものではない。しかし、有意な事故シーケンスを簡潔に表現し、シーケンス数を最小にするように順序を与える事は、イベント・ツリー解析に続くフォールト・ツリー解析、定量評価解析にとっては重要である。この観点から、フロントライン・システムの順序を合理的に定める要因としては、システム間の物理的な作動可能順序と、システム間の機能的な相互関係がある。この関係は、以下に示す3つのルールにまとめる事ができる。

R 1 ; あるシステム ( S 1 ) が物理的、時間的にシステム ( S 2 )  
より先に作動する場合

S 1 → S 2

R 2 ; あるシステム ( S 1 ) の失敗が、他のシステム ( S 2 ) の機  
能を無効にする場合

S 1 → S 2

R 3 ; あるシステム ( S 1 ) が他のシステム ( S 2 ) の機能のバッ  
クアップとして用意されている場合

S 2 → S 1

なお、これら 3 ルールに該当せず、順序が確定しないシステムが存在する場合もあるが、このようなシステムの順序はイベント・ツリーを合理的に描く上では特に重要ではなく、適宜定めてよい。

(3) フロントライン・システムの成功／失敗の組合せによるプラント安全機能の成功基準の同定

—プラント安全機能を達成するためには、複数のフロントライン・システムが、全て正常に作動しなければならない場合もあるし、単体の作動で達成される場合もある。また、複数のフロントライン・システムのいずれかが作動すれば、機能達成できるように多様性を有している場合もある。これらプラント安全機能の成功基準は、プラントの設計段階において定められるものである。

この成功基準に係わる情報は (2) に於てヘディングの順序を定めるルール 2、3 でも一部用いられている。即ち、ルール 2 の場合は (S1. and. S2) であり、ルール 3 の場合は (S1. or. S2) である。但し、これらの情報だけではプラント安全機能としての成功・失敗を定める基準までは同定されない場合が多い。そこで、ここでは (2) の情報を補完するために、プラント安全機能の成功基準を与えることにより分岐条件を確立することができる。

以上の解析より、上記 3 項目が明らかになると、各プラント安全機能の成功・失敗を、フロントライン・システムレベルの成功・失敗に展開できる。これを、2.2 で同定した機能イベント・ツリーに組み込む事により、システムレベルでの

事故シーケンスを描いたシステム・イベント・ツリーが展開される。

但し、以上の解析手順は異なるプラント安全機能にまたがるフロントライン・システム間に従属性は無く、またプラント損傷状態は起因事象カテゴリーと失敗したプラント安全機能との組合せ定まるとする前提で行われている。そこで解析者は最後に、以下の観点からシステム・イベント・ツリーを十分検討し必要があれば、イベント・ツリーの分岐を変更したりプラント損傷状態を変更する必要がある。

- ・あるプラント安全機能のシステムの失敗が後に続くプラント安全機能のシステムの作動又は機能を無効にする場合。
- ・あるシステムが失敗したシーケンスが、機能イベント・ツリーで定めたプラント損傷状態と異なる状態に至る場合。

図2-4 にシステム・イベント・ツリーの例として、先に機能イベント・ツリーを示した局所燃料破損事象に対するシステム・イベント・ツリーを示す。表2-1 に、各プラント安全機能毎に有効かつ利用可能なフロントライン・システムとその成功基準をまとめて示す。このシステム・イベント・ツリーに於けるシーケンス7は、“原子炉出力停止”機能に失敗しているが、“事象の拡大”に関係なく炉心損傷(ULOF)に至っており、図2-3 の機能イベント・ツリーとは矛盾するシナリオとなっている。これは、このシーケンスに於ける原子炉停止機能の失敗が、原子炉停止信号の発生には成功(/A)しながらも、制御棒の挿入に失敗(B)しているため、原子炉停止信号により一次系主循環ポンプがトリップし、100%出力のまま炉心冷却材流量が喪失しているためである。



## 2.4 システム・イベント・ツリーの定量評価

システム・イベント・ツリーで同定された炉心損傷に至る一つ一つの事故シーケンスは、起因事象カテゴリーコードとフロントライン・システム・コードを用いて、以下の形式で表される。

- ・起因事象に対して、応答するフロントライン・システムが6個ある場合

$$I01*/F1*F2*/F3*/F4*F5*F6$$

I01 : 起因事象カテゴリー

Fx : フロントライン・システム(Fx)の失敗

/Fx : フロントライン・システム(Fx)の成功

このように表される事故シーケンスの発生頻度は、その起因事象カテゴリーの発生頻度と、それに応答する一連のフロントライン・システムの応答確率（成功及び失敗の確率）の積で与えられる。この一連のフロントライン・システムの応答確率は、各フロントライン・システムが互いに独立—即ち、あるフロントライン・システムの成功・失敗が他のシステムのそれに何ら影響しない—ならば、各システム毎の成功又は失敗確率の積が、一連のフロントライン・システムの応答確率となる。そして、一般に各フロントライン・システムの成功確率は、十分高く、近似的に1.0と見なせるので、一連のフロントライン・システムの応答の中で、失敗したフロントライン・システムのみ確率の積が、一連のフロントライン・システムの応答確率となる。

しかし、フロントライン・システムが全て互いに独立である場合は少なく、互いに共通のサポートシステム（電源系や動的機器の冷却系など）からサービスを受けていたり、共通の機器を有しているなど、互いに従属性を有しているフロントライン・システムが存在している場合が多い。このような場合は、一連のシステムの応答確率は、各システム単位の応答確率の単純な積とはならない。フロントライン・システムF1とF2の間に従属性がある場合、 $/F1 \cdot F2$ の応答確率は、 $/F1$ と $F2$ の確率の積より小さくなり、また $F1 \cdot F2$ の応答確率は、 $F1$ と $F2$ の確率より高くなる。したがって、このような従属性を有しているフロントライン・システムがある場合は、それらの共通のサポートシステムや機器を考慮した定量評価をおこなわなければならない。

そこで、事故シーケンスの定量化にあたっては、まずシステムイベント・ツリ

一で同定された全ての事故シーケンスから、従属性のあるフロントライン・システムの成功・失敗の組合せを選び出す。この組合せを、ここではユニーク・システム・コンビネーション(USC)と呼ぶ。

先のF1からF6の事故シーケンスの例において、F1とF2, F3とF5, F5とF6の間に従属性があるとすると、この事故シーケンスにおけるUSCは、 $/F1*F2$ と $/F3*F5*F6$ の2つであり、このUSCを用いて事故シーケンスを表記すると次のようになる。

I01- $/F1*F2$  -  $/F3*F5*F6$

この表記からは、 $/F4$  が除かれているが、これはF4が他のシステムと何ら従属性がない事、そして  $/F4$ は、システムF4の成功事象であるので、その確率は近似的に 1.0と見なしてよいためである。このように、各事故シーケンスを USCを用いて表記すると、その発生頻度は、起因事象カテゴリーの発生頻度と USCの確率の積で求まる。

このように、全事故シーケンスから、まず USCを選び出す事により、フロントライン・システム間の従属性を考慮した定量評価作業を最小限にする事ができ、事故シーケンスの定量評価を効率的に実施する事ができる。

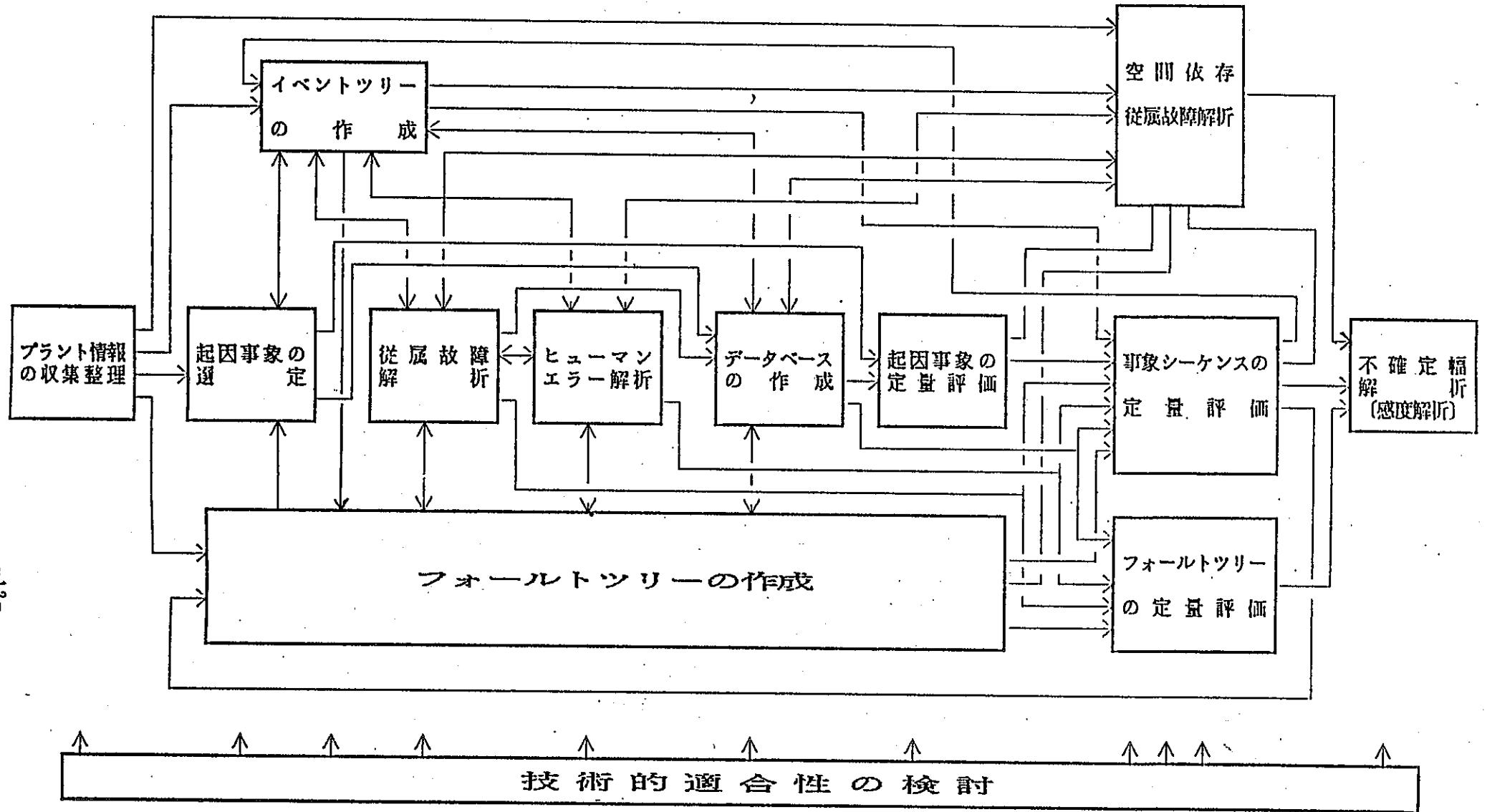


図 2 - 1 システム解析の全体構成とイベント・ツリー解析の位置付け

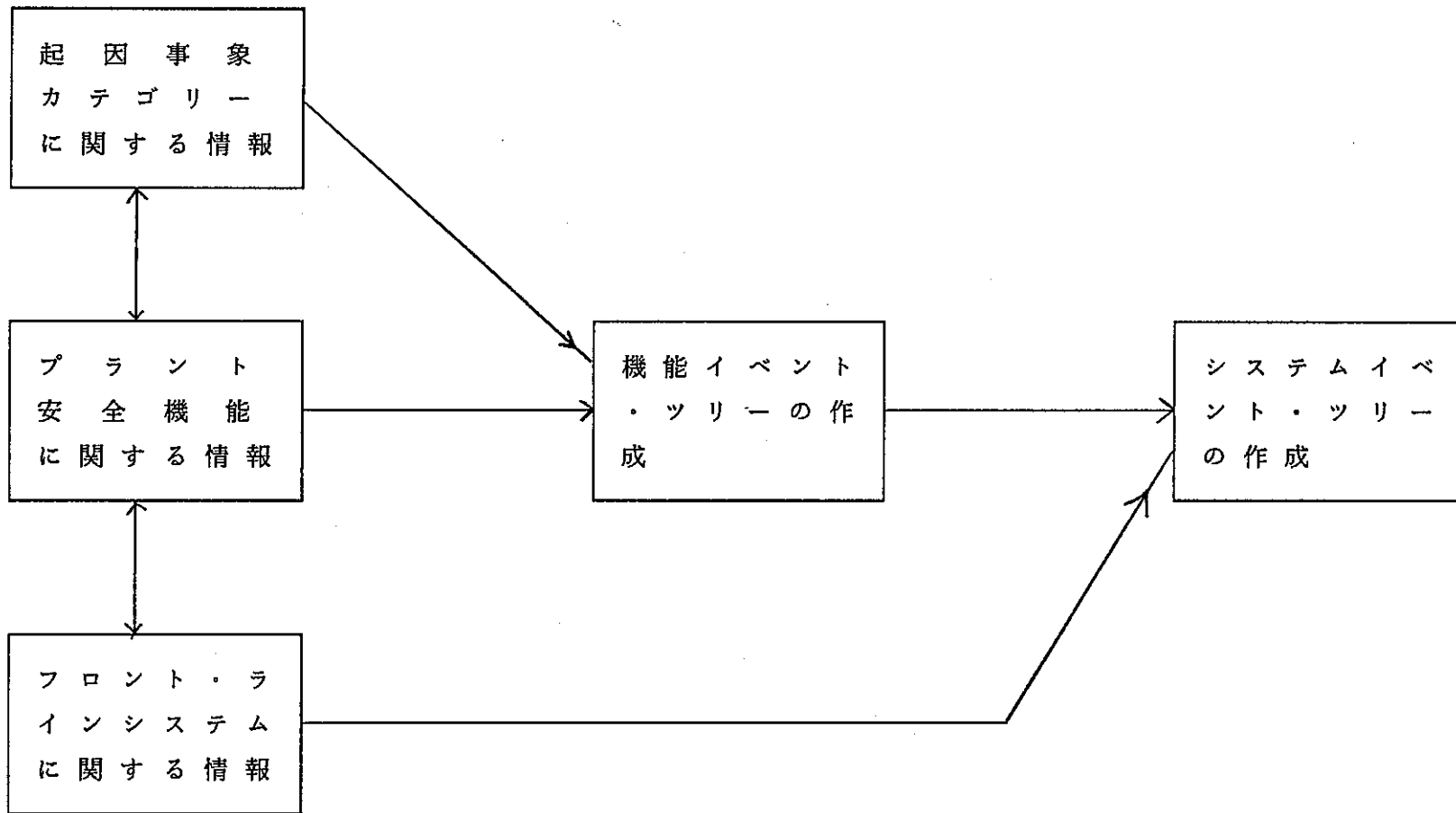
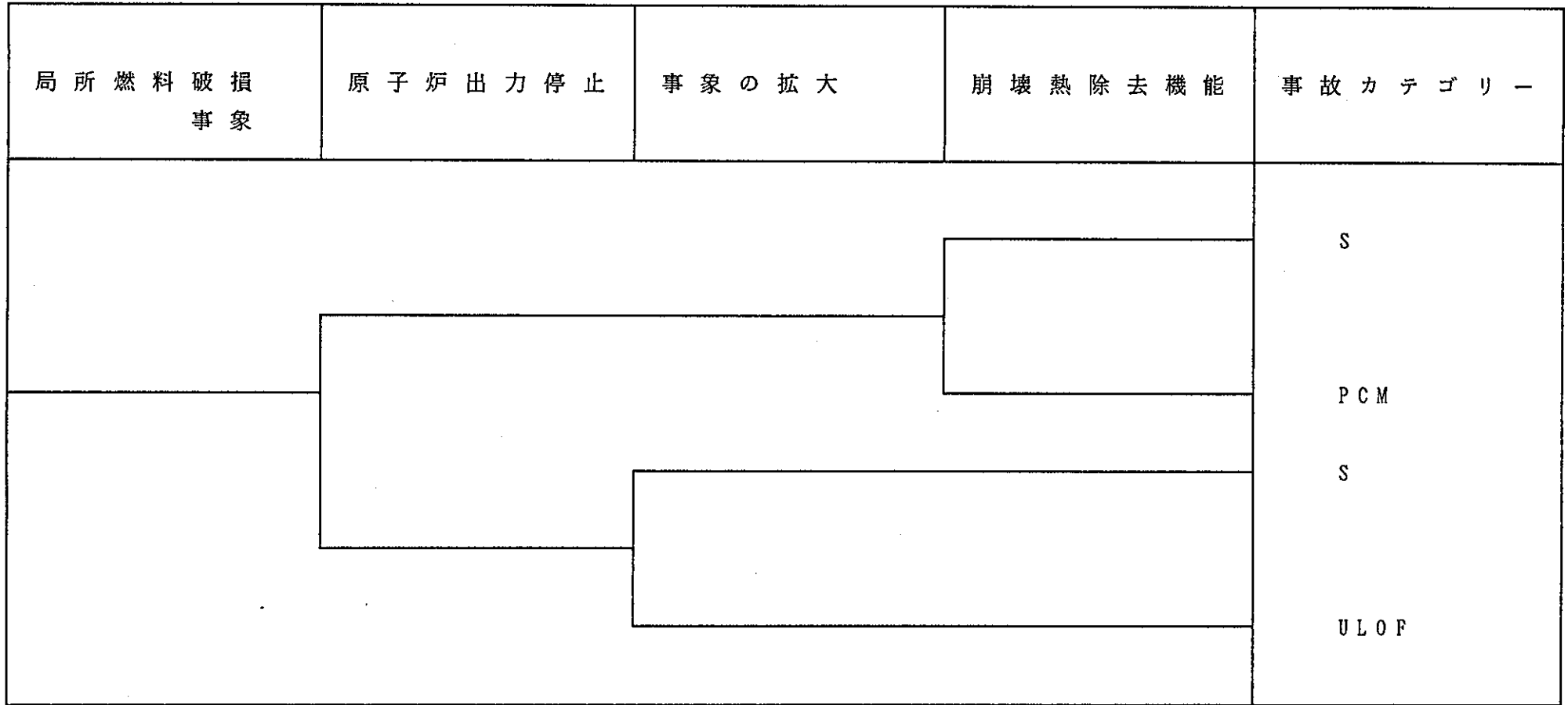


図 2 - 2 イベント・ツリー解析の手順



S : Success

PCM : Protected Core Meltdown

ULOF : Unprotected Loss of Flow

表 2 - 1 局所燃料破損事象に於けるフロント・ライン・システムと各機器の成功基準

プラント安全機能	有効なフロントライン・システム	成功基準
RP: Reduction of Reactor Power	A: Control Rod Insertion Signal B: Control Rod Insertion	/A・/B
AP: Accident Propagation	Q: Coolable Core Geometory	/Q
DH: Decay Heat Removal	C : Electrical Power D : ACS Short Term Forced Circulation (3 loops) E : ACS Long Term Forced Circulation (3 loops) E2: ACS Long Term Natural Circulation (3 loops) F : Maintenance Cooling System	/C・/D・/E /C・/D・/F C・/E2

System Event Tree

IE : I13 : Local Fault									Seq. No.	Accident Category
F.Code:	RP		AP	DH						
Code	A	B	Q	C	D	E	E2	F		
									1	Success
									2	Success
									3	PCM
									4	PCM
									5	Success
									6	PCM
									7	ULOF
									8	Success
									9	ULOF

図 2 - 4 システムイベント・ツリーの例  
 - ループ型高速増殖炉に於ける局所燃料破損事象 -

### 3. システムの構成と操作手引

本章では、開発したイベントツリー解析支援システムの構成とその操作について述べる。

#### 3.1 システムの全体構成

前章で述べたイベントツリー作成に関わる複雑な手順をプログラム化するために、本システムではエキスパートシステム構築技法を用いた。これは、この技法を用いることにより、より柔軟性のあるシステムの開発が可能であるためであり、また、効率的な開発が行えるためでもある。

本システムでは、パーソナルコンピュータ上のエキスパートシステム構築ツールの一つである Intelligence/Compilerを用いた。ただし、このツールのみでは、グラフィック操作が不十分であるので、C言語(Turbo-C)により画面表示部分を作成している。また、定量化の計算もC言語により行っている。

本イベントツリー解析支援システムは、以下に示す6つのモジュールに分かれている。

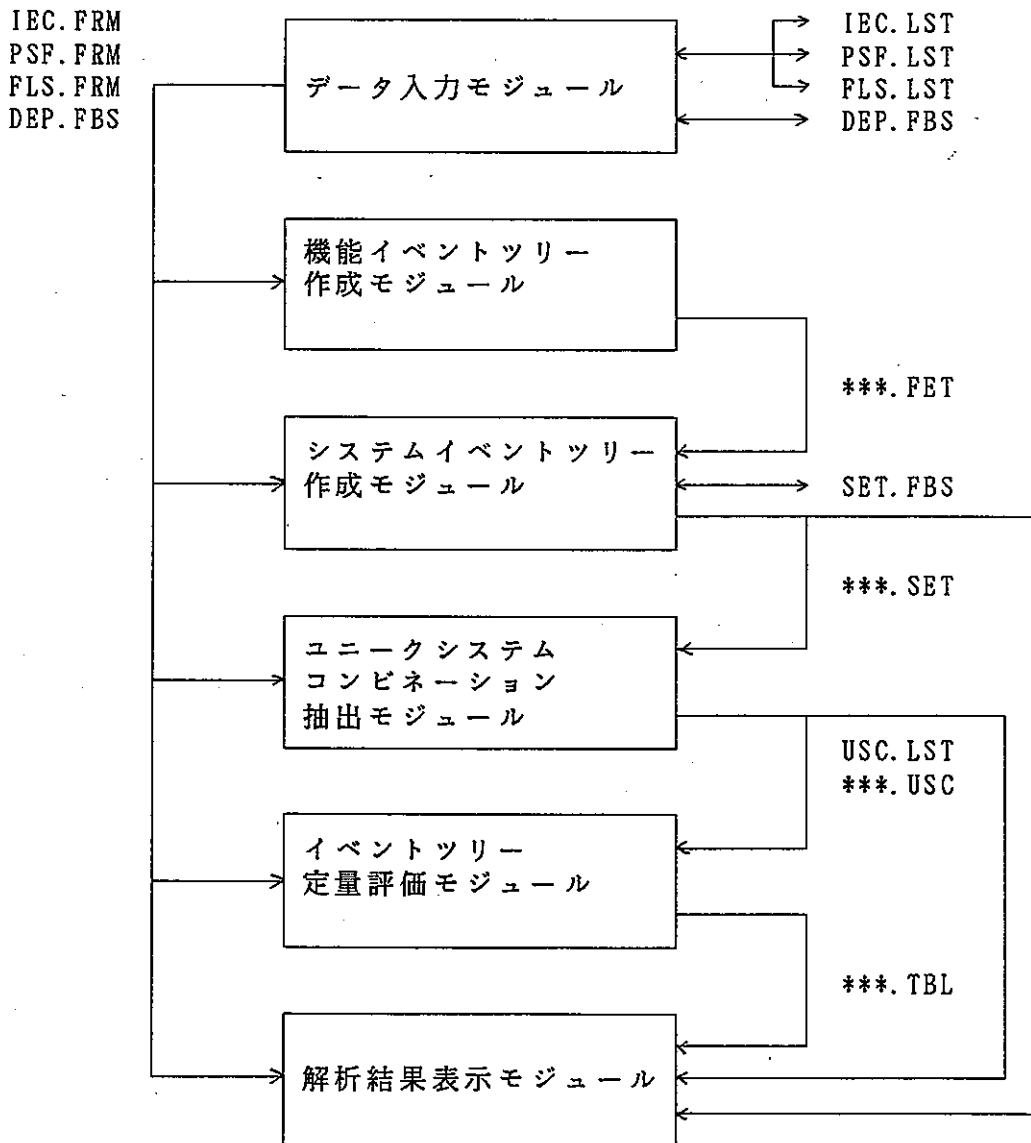
- ① データ入力モジュール
- ② 機能イベントツリー作成モジュール
- ③ システムイベントツリー作成モジュール
- ④ ユニークシステムコンビネーション抽出モジュール
- ⑤ イベントツリー定量評価モジュール
- ⑥ 解析結果表示モジュール

①は、以降のモジュールで共通に用いるデータの入力を行う。②～④はイベントツリー解析の定性的評価を行うモジュールである。その結果に対し、⑤で定量評価を行う。⑥は解析結果の表示である。

これらのモジュールは、情報をファイルを通して受渡ししている。図3-1に各モジュールの情報の結合を示す。

以下では、先ず、Intelligence/Compiler について説明した後、各モジュールの機能について述べることとする。





- IEC.FRM : 起因事象カテゴリ
- PSP.FRM : プラント安全機能
- FLS.FRM : フロントラインシステム
- DEP.FBS : フロントラインシステムの従属性
- \*\*\*.FET : 各起因事象カテゴリの機能イベントツリー
- SET.FBS : システムイベントツリー作成用データベース
- \*\*\*.SET : 各起因事象カテゴリのシステムイベントツリー
- USC.LST : ユニークシステムコンビネーション
- \*\*\*.USC : \*\*\*.SET のユニークシステムコンビネーション
- \*\*\*.TBL : ACCCAT.TBL, SEQCRANK.TBL, USCRANK.TBLの各表

図3-1 各モジュールの結合関係

### 3.1.1 Intelligence/Compiler

本システムで使用した Intelligence/Compilerは、パーソナルコンピュータ上で稼働するエキスパートシステム構築の開発環境である。

このツールの特徴としては、以下に示す種々のパラダイムを統合化した環境を提供していることにある。

- ① ルールベースプログラミング
- ② フレームベースプログラミング
- ③ ロジックベースプログラミング
- ④ 手続き型プログラミング

本システムでは、上記のプログラミングパラダイムを全て使用している。

また、推論形式としては、

- a. 前向き推論
- b. 後向き推論
- c. あいまい推論
- d. 準あいまい推論

がどの様な組合せでも使用することができるが、本システムでは、後向き推論のみを用いている。これは、プログラム中でバックトラックを多用するためである。

このツールは、C言語（MS-C）で記述されており、ユーザーがC言語を用いて機能を拡張することができる。本解析支援システムでも、数種の述語（関数）を拡張している。

このツールは、基本的なユーザーインターフェイスを有し、ルールから呼び出すことができる。本システムでは、特に以下の3種のインターフェイスを多用している。

- ① メニュー形式の選択インターフェイス
- ② データ入力インターフェイス
- ③ Yes/No選択インターフェイス

### 3.1.2 データ入力モジュール

本モジュールは、イベントツリー解析に必要な基本的な情報をユーザーから得て、データベース化するものである。これらの情報としては、以下がある。

- ① 起因事象カテゴリ
- ② プラント安全機能
- ③ フロントラインシステム
- ④ フロントラインシステム間の従属性

上記の情報のうち、機能イベントツリー作成には1と2、システムイベントツリー作成には1～3、ユニークシステムコンビネーションの抽出には3と4を、主に使用する。

#### (1)起因事象カテゴリ

このデータに関する情報としては、

- ① 起因事象カテゴリのデスク립ション
- ② 起因事象カテゴリ・コード
- ③ 起因事象カテゴリの発生頻度

である。このデータは内部的には、図3-2のようにフレームで表現している。デスク립ションがフレーム名、コードと発生頻度はそのフレームのプロット・バリューで表している。

①、②は、システム全体で利用する情報であるが、③は後述する定量評価モジュール、解析結果表示モジュールで使用する。そのため、③については、本モジュールでも、定量評価モジュールでも修正が行えるようになっている。

この起因事象カテゴリのデータは、IEC.LSTとIEC.FRMに出力される。前者は、アスキーファイルであり、後者は、以降のモジュールで利用されるフレーム・ファイルである。

#### (2)プラント安全機能

このデータに関する情報としては、

- ① プラント安全機能のディスクリプション
- ② プラント安全機能コード
- ③ そのプラント安全機能の喪失が炉心損傷に位たるか否か
- ④ プラント安全機能のクロノロジー

である。これらのデータは、図3-3に示すように、①がフレーム名、②～④がそのフレームのロット・バリューで表現している。

③、④は機能イベント・ツリー作成モジュールにおいて、ツリーの分岐を決定するための情報である。③において、そのプラント安全機能の喪失が直接、炉心損傷を引き起こす場合は Yes、そのプラント安全機能の喪失のみでは炉心損傷とならない場合は Noをバリューとして入力することになる。

これらの情報は、PSF.LSTとPSF.FRMに出力され、以後のモジュールでは後者が利用される。

### (3) フロントラインシステム

このデータに関する情報としては以下がある。

- ① フロントラインシステムのディスクリプション
- ② フロントラインシステムコード
- ③ そのフロントラインシステムの属するプラント安全機能のコード

これらの情報は、図3-4に示すフレームで表現されており、FLS.LSTとFLS.FRMに出力される。

### (4) フロントラインシステム間の従属性

フロントラインシステムには、共通の機器等を使用しているものがある。従って、イベント・ツリーの定量評価を実施する際には、これらのシステム間の従属性を考慮しなければならない。そのため、ここでは、あるフロントラインシステムが、他のどのフロントラインシステムと従属性を有するのかを入力する。これらの関係は、DEP.FBSに出力される。

Frame: IE\_Category  
Parent: Thing  
Slot: Code Value:  
Slot: Frequency Value:

Frame: Positive Reactivity Insertion  
Parent: IE\_Category  
Slot: Code Value: I01  
Slot: Frequency Value: 3.00E-002

図3-2 起因事象カテゴリーのフレーム表現

Frame: PlantSafetyFunc  
Parent: Thing  
Slot: Code Value:  
Slot: Failure Value:  
Slot: Chronology Value:

Frame: IE Mitigation  
Parent: PlantSafetyFunc  
Slot: Code Value: IM  
Slot: Failure Value: No  
Slot: Chronology Value: 1

図3-3 プラント安全機能のフレーム表現

Frame: FrontlineSys  
Parent: Thing  
Slot: Code Value:  
Slot: PSFcode Value:

Frame: Control Rod Insertion Signal [Automatic]  
Parent: FrontlineSys  
Slot: Code Value: A  
Slot: PSFcode Value: RP

図3-4 フロントラインシステムのフレーム表現

### 3.1.3 機能イベント・ツリー作成モジュール

本モジュールは、各起因事象カテゴリーに対し、機能イベント・ツリーを作成するモジュールである。

ある起因事象カテゴリーに対する機能イベント・ツリーの作成では、以下の3点が重要である。

- ① その起因事象カテゴリーに有効なプラント安定機能の同定
- ② プラント安全機能のクロノロジー
- ③ 各プラント安全機能での分岐の有無

①では、各起因事象カテゴリーに対して有効なプラント安全機能が異なる場合があるためである。そのため、前節のデータ入力モジュールで入力したプラント安全機能のデータベース中から、ユーザーが有効なプラント安全機能を選定する必要がある。

②のクロノロジーは、①において選定された有効なプラント安全機能が、プラント安全機能データベースのクロノロジーを基に自動的に決定される。

また、③の情報は、各プラント安全機能の喪失が炉心損傷に至るか否かがフレーム中でスロット・バリューで表現されている。

以上の情報を基に以下の手順で、ある起因事象カテゴリーに対する機能イベント・ツリーが自動作成される。

- a. i 番目のプラント安全機能の失敗側の分岐の場合：
  7. そのプラント安全機能の喪失が炉心損傷に至る場合、それ以降のプラント安全機能では分岐しない。
  4. さもない場合、i+1 番目のプラント安全機能で分岐する。
- b. i 番目のプラント安全機能の成功側の分岐の場合：
  7. i+1 番目のプラント安全機能で分岐する。
  4. i 番目が最後のプラント安全機能の場合、その起因事象カテゴリーは炉心損傷に至らず終局したものとする。

以上の手順で、各起因事象カテゴリーに対する機能イベント・ツリーを自動作成する。

### 3.1.4 システムイベント・ツリー作成モジュール

前節で述べた機能イベント・ツリーを基に、各起因事象カテゴリーに対するシステムイベント・ツリーを作成する。

システムイベント・ツリー作成においても、機能イベント・ツリー作成と同様に、以下の3点が重要である。

- ① 有効なフロントラインシステムの同定
- ② フロントラインシステムのクロノロジーの決定
- ③ 分岐情報（成功基準）

①は機能イベント・ツリー作成と同様にユーザーが選択する。しかし、②、③は機能イベント・ツリー作成と異なり、複雑な判断を行っている。

この②と③を決定するため、ユーザーから以下の2点の9情報を得る。

- a. あるフロントライン・システムの機能喪失が、他のシステムの機能喪失を引き起こすか否か
- b. あるフロントライン・システムが他のシステムのバックアップとして用意されているか否か

ただし、aは、制御棒挿入信号→制御棒挿入のような論理的・時間的な関係も含むものとする。

以上のa, bの関係から②と③を求める手順を例を用いて説明する。

#### (1) クロノロジー

今、あるプラント安全機能においてA, B, Cの3つのフロントライン・システムが有効であり、

7. Aの故障がBの故障を引き起こす。
- イ. Aの故障がCの故障を引き起こす。
- ウ. CがBのバックアップとなっている。

の関係があるとする。この場合、3つのフロントライン・システムのクロノロジーとしては、

$$\begin{array}{l}
 A \rightarrow B \\
 A \rightarrow C \quad \rightarrow \quad A \rightarrow B \rightarrow C \\
 B \rightarrow C
 \end{array}$$

となる。このように上記 a, b の関係からフロントライン・システムのクロノロジーが、基本的に求まる。

ここで、上記の a, b の関係のみでは、すべてのクロノロジーが定まらない場合がある。この場合は、ユーザーがそのフロントライン・システムを任意の位置に定めることになる。ただし、上記の a, b の関係は次に述べる成功基準においても、その情報を利用するので、正しく入力する必要がある。

## (2) 成功基準

③の成功基準でも、上記の a, b の関係を利用する。上記の例では、3つのフロントライン・システムからクロノロジーを基に、論理的には以下の7ヶの成功基準が考えられる。

$$\begin{array}{l}
 /A \quad /A/B \quad /A/C \quad /A/B/C \\
 /B \quad /B/C \\
 /C
 \end{array}$$

ここで、上記 a の関係 (ア、イ) では、先立つシステム (例では A) が含まれている必要がある。また、1つの成功基準中に b の関係 (ウ、例では B と C) が含まれることはない。従って、上記の7つの成功基準は、

$$/A \quad /A/B \quad /A/C$$

の3つに絞られる。

さらに、ある成功基準の subset/superset の成功基準は論理的には存在しないはずである。上記の3つの成功基準を例にとると、

$$\begin{array}{l}
 /A - /A/B \\
 /A - /A/C
 \end{array}$$

の2つの関係は互いに subset/superset であり、どちらかの成功基準が正しくな



いはずである。この判断としては、

「すべての有効なフロントライン・システムは、必ず成功に寄与する」

即ち、

「すべての有効なフロントライン・システムは、少なくとも一度は  
成功基準に現れる」

が挙げられる。

この関係から、上記の3つの成功基準を判定すると、/Aは除かれ、/A/Bと/A/C  
が成功基準と考えられる。本システムでは、ユーザーは、これらの成功基準の候  
補から選択することになる。

以上の a, b の関係、クロノロジー、成功基準、機能イベント・ツリーに基づ  
いてシステムイベント・ツリーを自動作成する。

### 3.1.5 ユニークシステムコンビネーション抽出モジュール

作成されたイベント・ツリーから、フロントライン・システム間の従属性のデータを用いて、各イベント・ツリーの事故シーケンスのシーケンスデジグネーションをユニークシステムコンビネーションの積として表す。その手順を以下の通りである。

- ① シーケンスデジグネーション中の成功システムのうち、それ以降のクロノロジーの失敗システムと従属性を持たないものを除く、
- ② 従属性を持つシステムをグループ化し、(ユニークシステムコンビネーション)、シーケンスデジグネーションをその積で表す。

### 3.1.6 イベント・ツリー定量評価モジュール

前節までで定性評価されたイベントツリーを、本モジュールでは定量評価する。本モジュールでは、以下の3つの表を作成する。

- ① 起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー
- ② 事故シーケンス・ランキングテーブル
- ③ ユニークシステムコンビネーションランキングテーブル

各表の内容は、以下の通りである。

#### (1) 起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー

ここでは、各起因事象カテゴリー毎に、そこで同定されている事故カテゴリー毎の発生頻度を集計して表示する。そして、各起因事象カテゴリー及び事故カテゴリーの重要度として、全炉心損傷発生頻度にしめる、それぞれを含む事故シーケンスの発生頻度の割合(パーセント表示)を示す。

ここで表示した値は、すべてリカバリー後の確率より求めた。

#### (2) 事故シーケンス・ランキングテーブル

炉心損傷に至る発生頻度の高い事故シーケンスを、主要な事故シーケンスとし

て上位20シーケンスを表示する。この場合も、リカバリー後の値である。

### (3) ユニークシステムコンビネーションランキングテーブル

各ユニークシステムコンビネーション毎に、それを含む事故シーケンスの発生頻度の合計を算出する。そして、各ユニークシステムコンビネーションの重要度として、全炉心損傷発生頻度に対する割合（パーセント表示）を表示する。表中のリカバリー後のユニークシステムコンビネーションの確率値は、最も起回事象が多い確率値を代表値として表示する。

### 3.1.7 解析結果表示モジュール

本モジュールは、イベントツリー解析の最終段階であり、種々の解析結果を表示する。

表示する結果は、以下の通り。

- ① 起回事象カテゴリー及び事故カテゴリー
- ② 事故シーケンス・ランキングテーブル
- ③ ユニークシステムコンビネーションランキングテーブル
- ④ 定量評価された各システムイベントツリー

## 3.2 システムの起動と操作手引

本節では、イベントツリー解析支援システムの起動と操作について述べる。

前節でも述べたように、本システムは6つのモジュールに分かれている。これらのモジュールは、メインメニューから起動することができる。以下では、メインメニューと6つのモジュールの各々について、その起動方法と操作方法を説明する。

### 3.2.1 メインメニュー

本解析支援システムは、PC-DOSのプロンプトに対し、

```
C> ETAAS
```

と入力する事で起動できる。正常に立ち上がると、図3-5に示したメインメニュー画面が現れる。

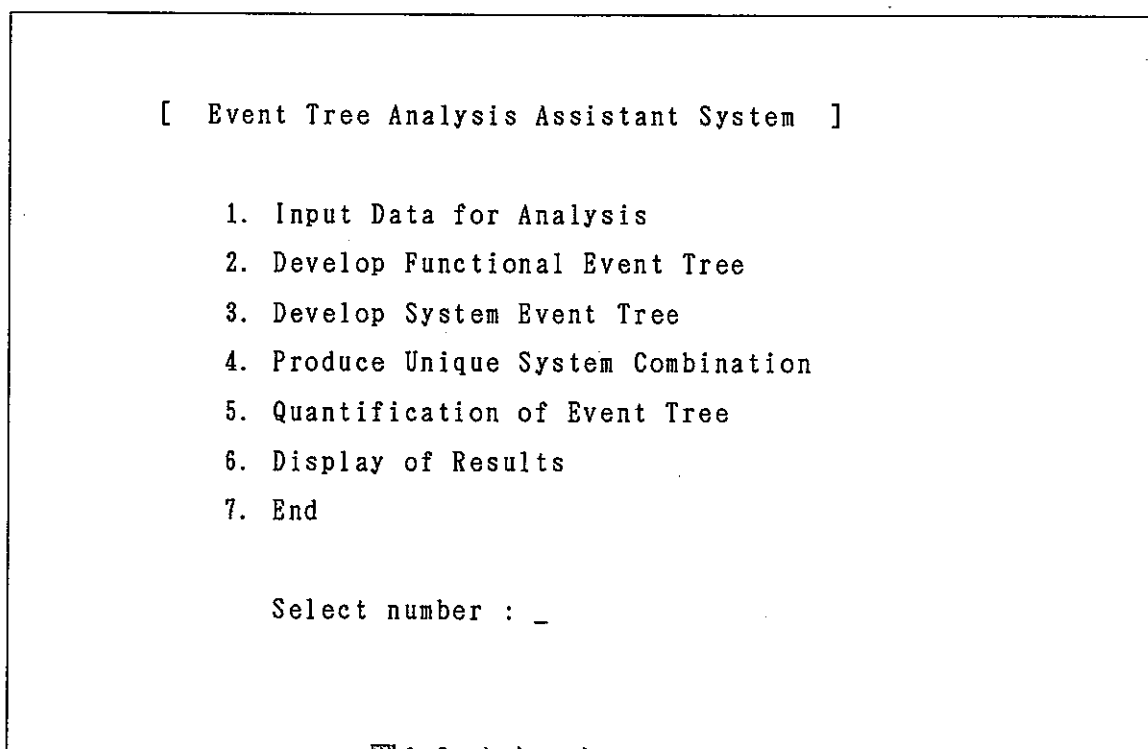


図3-5 メインメニュー

このメインメニューに対し番号を入力（リターンキーは不要）することで、以下の各モジュールを起動することができる。

- ① データ入力モジュール
- ② 機能イベントツリー作成モジュール
- ③ システムイベントツリー作成モジュール
- ④ ユニークシステムコンビネーション抽出モジュール
- ⑤ イベントツリー定量評価モジュール
- ⑥ 解析結果表示モジュール

各モジュールは、種々のデータファイルを生成する（図3-1）。例えば、機能イベントツリー作成モジュールでは、各起因事象に対する機能イベントツリーがファイルに出力される。このファイルは、システムイベントツリー作成モジュールで読み込まれ、システムイベントツリーの作成の基礎となる。このように、あるモジュールの出力ファイルは以後のモジュールの入力となるため、各モジュールは上記の順序で起動する必要がある。この順序は、通常のイベントツリー解析の手順である。

本解析支援システムを終了するには、メインメニューで7を選択する。

### 3.2.2 データ入力モジュール

メインメニューで、1を選択すると本モジュールが起動する（図3-6）。リターンキーで開始する。

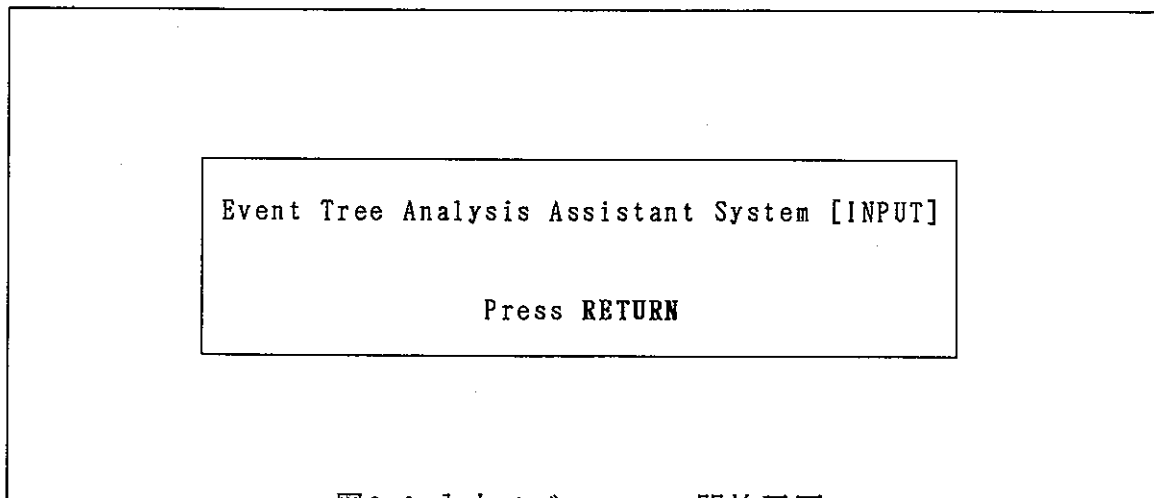


図3-6 入力モジュールの開始画面

このモジュールでは、以後のモジュールで共通に使用するデータの入力・修正を行いファイルに出力する。入力・修正するデータは、以下の4種類のデータである。

- ① 起回事象カテゴリー
- ② プラント安全機能
- ③ フロントラインシステム
- ④ フロントラインシステムの従属性

起動時点で上記のデータファイルがない場合は、直ちに各データの入力モードとなる。また、ファイルが存在する場合は、データの表示・修正のモードとなるが、この場合も最後に入力モードに移り新たなデータを追加入力することができる。

上記のデータで、起回事象カテゴリーは他のデータと独立であるが、残りの3種のデータは相互に関連がある。即ち、フロントラインシステムの入力・修正時にはプラント安全機能のデータを参照し、従属性データの入力・修正時にはフロントラインシステムデータを参照する。従って、上記のデータの入力・修正は、2→3→4の順序で入力する必要がある。

以下では、データ入力モードとデータ表示・修正モードの各々について述べる。

#### (1) データ入力モード

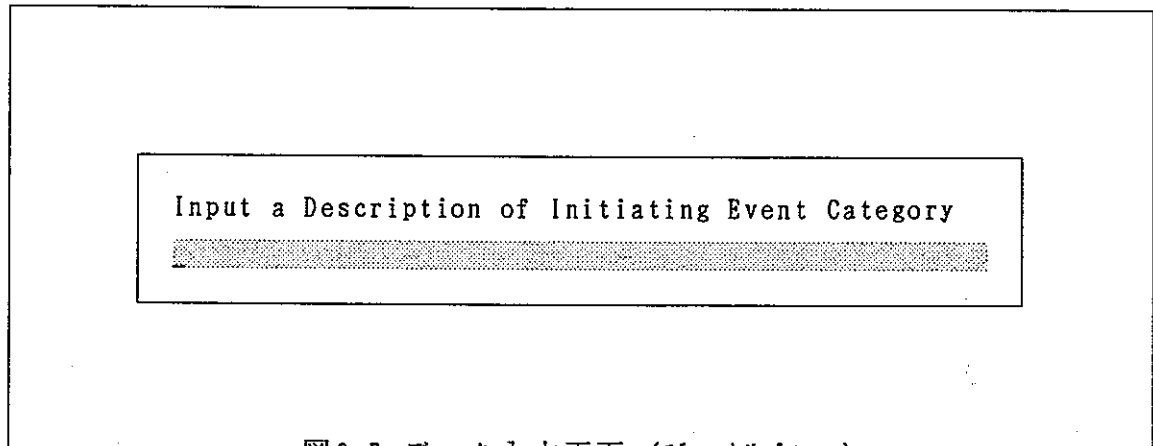
データファイルがない場合、あるいは、表示・修正モードの最後でデータ入力モードに移った場合に、データ入力モードとなる。

起回事象カテゴリー、プラント安全機能、フロントラインシステムの各データは、ほぼ同様の入力方法であるので、起回事象カテゴリーの入力を例にとり説明する。しかし、フロントラインシステムの従属性の入力は、他と異なるので、別個に説明する。

起回事象カテゴリーのデータは、以下の3項目で一組のデータとなっている。

- a. 起回事象カテゴリーのディスクリプション
- b. 起回事象カテゴリーのコード
- c. 起回事象カテゴリーの発生頻度

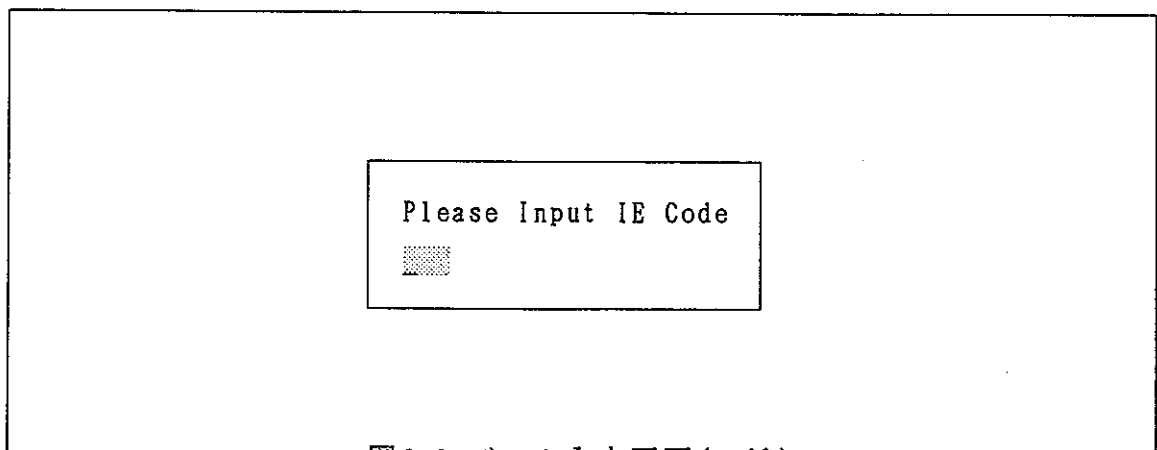
ディスクリプションはその起因事象カテゴリーの名称であり、以後の解析で画面上に表示されカテゴリーの識別に用いられる。図3-7 にディスクリプションの入力画面を示す。発生頻度の入力後は、再びこの画面となり、新たなカテゴリーの入力が可能となる。データ入力終了時には、この入力を空白のままリターンキーを押すことで起因事象カテゴリーの入力が終了する。



Input a Description of Initiating Event Category

図3-7 データ入力画面 (ディスクリプション)

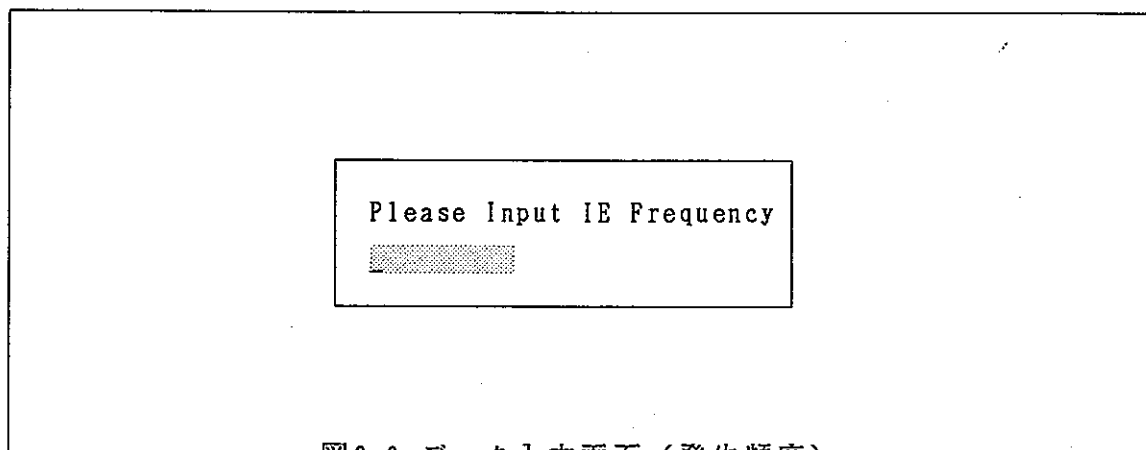
コードは、内部的には、その起因事象カテゴリーを表すものであり、シーケンスの表示等にも用いられる。図3-8 にコードの入力画面を示す。このコード自体は、後述の表示・修正モードでも修正することはできないので、入力には注意を要する。修正する場合は、そのコードのデータ自体を削除し、新たに登録し直さなければならない。また、起因事象カテゴリーとプラント安全機能には、各々3文字、2文字でなければならないという文字数の制限がある。



Please Input IE Code

図3-8 データ入力画面 (コード)

発生頻度は、その起因事象カテゴリーの発生頻度であり、入力画面を図3-9に示す。



The screenshot shows a rectangular window with a white background. In the center, there is a smaller rectangular box containing the text "Please Input IE Frequency" in a monospaced font. Below this text is a shaded rectangular area, likely representing a cursor or a selection box.

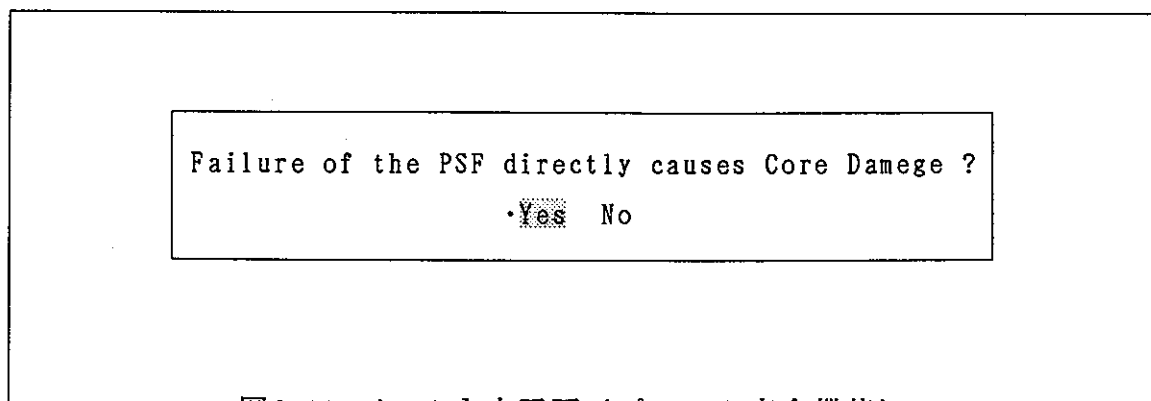
図3-9 データ入力画面（発生頻度）

ただし、この項目は、各データで内容が異なっており、各々、

- ア. 起因事象カテゴリー : 発生頻度
- イ. プラント安全機能 : そのプラント安全機能の喪失による  
炉心損傷の可否
- ウ. フロントラインシステム: プラント安全機能コード

である。

プラント安全機能では、その安全機能の喪失が直ちに炉心損傷に至るか否かを Yes/Noで入力する。入力は、YかNを入力しリターンキーを押すか、カーソル移動キーでYesあるいはNoを選択しリターンキーを押すことで行う（図3-10）。



The screenshot shows a rectangular window with a white background. In the center, there is a smaller rectangular box containing the text "Failure of the PSF directly causes Core Damage ?" in a monospaced font. Below this text, there are two options: "Yes" and "No". The "Yes" option is highlighted with a shaded rectangular area, indicating it is the selected option.

図3-10 データ入力画面（プラント安全機能）



さらに、プラント安全機能の入力の場合は、そのクロノロジーを同定する必要がある。その方法は、プラント安全機能がメニュー画面で表示されるので、そのメニュー中で最も早いクロノロジーのプラント安全機能を順次選択することで行う。

図3-11に選択中の画面を示す。ここでは、すでに1、2番目のクロノロジーのプラント安全機能が選択されており、3番目を選択する段階である。この場合、メニュー中には4つのプラント安全機能が表示されているが、その中で最も早いクロノロジーのプラント安全機能を選択することで、3番目のプラント安全機能を同定することになる。

<<< Chronology of Plant Safety Function >>>

Please Set Chronology of Plant Safety Function  
to Develop Event Tree

Select earliest Plant Safety Function

- Reduction of Reactor Power
- Accident Propagation
- Maintenance of Primary Sodium Inventory
- Decay Heat Removal

Select and Return

Chronology of Plant Safety Function

No.1 : IE Mitigation

No.2 : Initial Plant Response

図3-11 データ入力画面（PSFクロノロジー）

この図3-11と同様のメニュー画面は、以後の解析中に頻繁に現れる。操作方法はカーソル移動キーによりメニュー中の項目を選択し、リターンキーで確定する。メニュー項目が多い場合は、メニュー右側にスクロールバーが表示される。この場合、スクロールバー中の濃い部分が現在メニュー中に表示されている部分に対応し、カーソルを上下端以上に移動させるとメニュー項目とスクロールバーが順次変わる。

フロントラインシステムの選択メニューの場合は、1つのプラント安全機能を選択すれば良いので、リターンキーにより確定した後は、メニューは自動的に終了するが、複数の項目を選択する場合には、その都度メニュー画面が現れる。選択が完了した場合は、END キーでメニューを終了する。

また、フロントラインシステムの入力時には、プラント安全機能の選択メニュー画面が現れるので、そのフロントラインシステムが属するプラント安全機能を選択する。図3-12にその選択メニュー画面を示す。

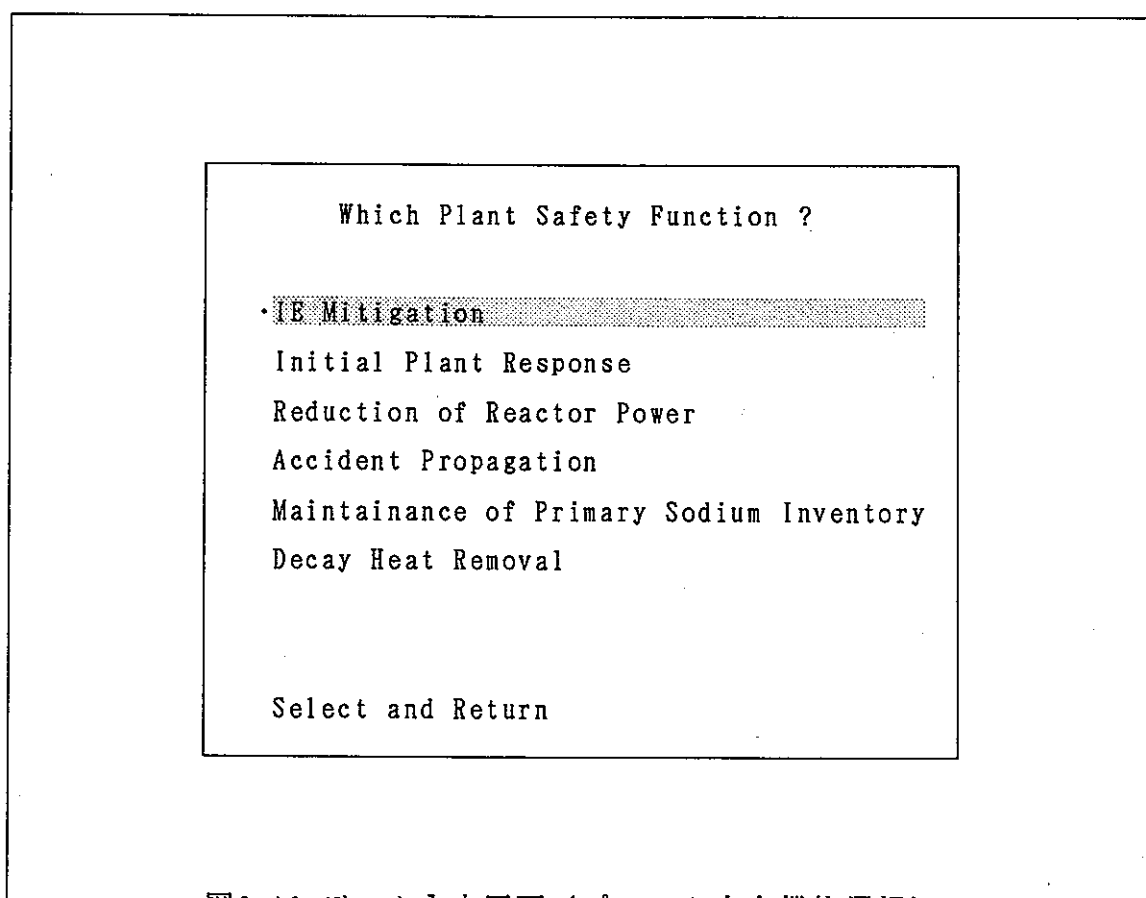


図3-12 データ入力画面（プラント安全機能選択）

フロントラインシステムの従属性の入力は、前述した起因事象カテゴリー、プラント安全機能、フロントラインシステムの入力とは異なる。

従属性のデータ入力には、従属性を持つ一組のフロントラインシステムを選定する必要がある。そのため、各々のフロントラインシステムに対し、メニュー中から従属性を有するフロントラインシステムを同定する（図3-13）。この時、メニュー中には、従属性の無いシステムのみが表示されている。また、従属性を有する全てのシステムを同定した後は、END キーで終了する。

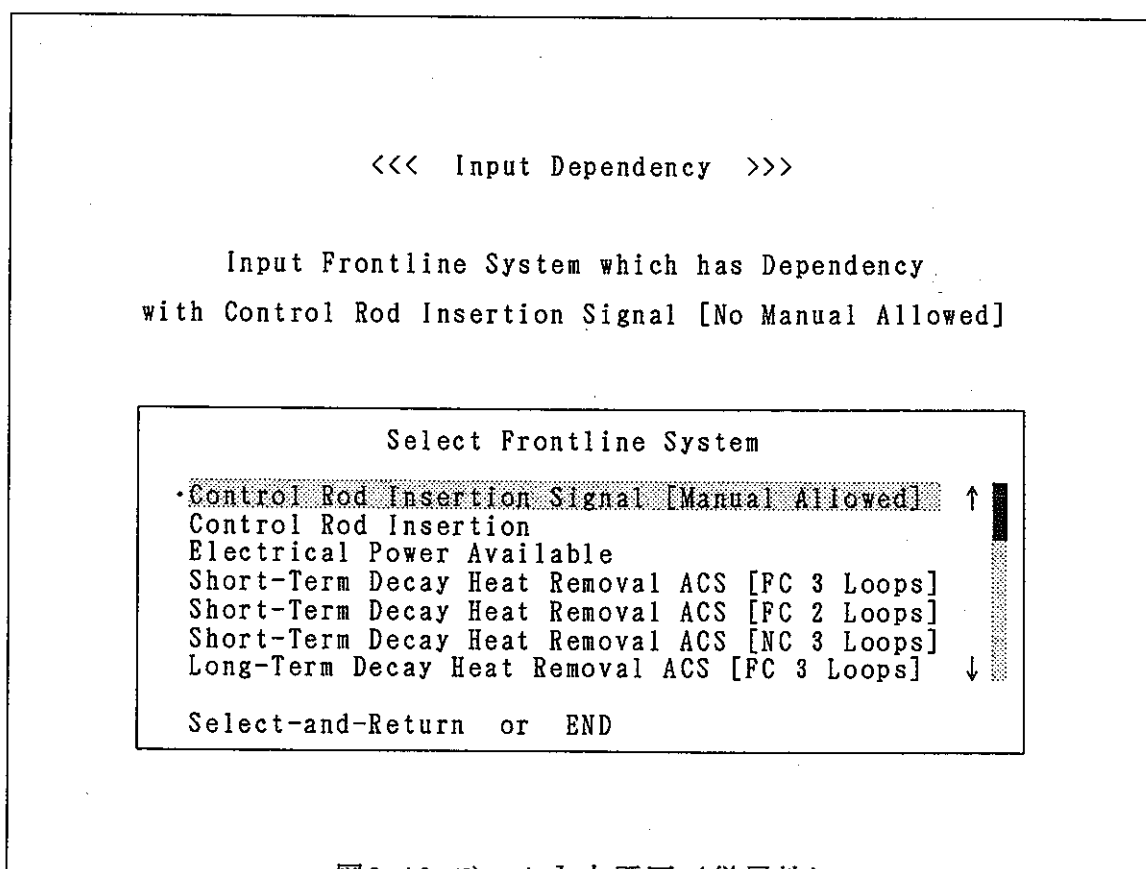


図3-13 データ入力画面（従属性）

以上の手順で、起因事象カテゴリー、プラント安全機能、フロントラインシステム、フロントラインシステムの従属性の入力が行える。これらが終了すると、次に述べる表示・修正モードに自動的に移る。

## (2) データ表示・修正モード

前述のデータ入力モードが終了するか、既にデータファイルが存在する場合、このデータ表示・修正モードに自動的に入り、図3-14に示すようなメニュー画面が現れる。このメニューで、表示・修正するデータを選択する。

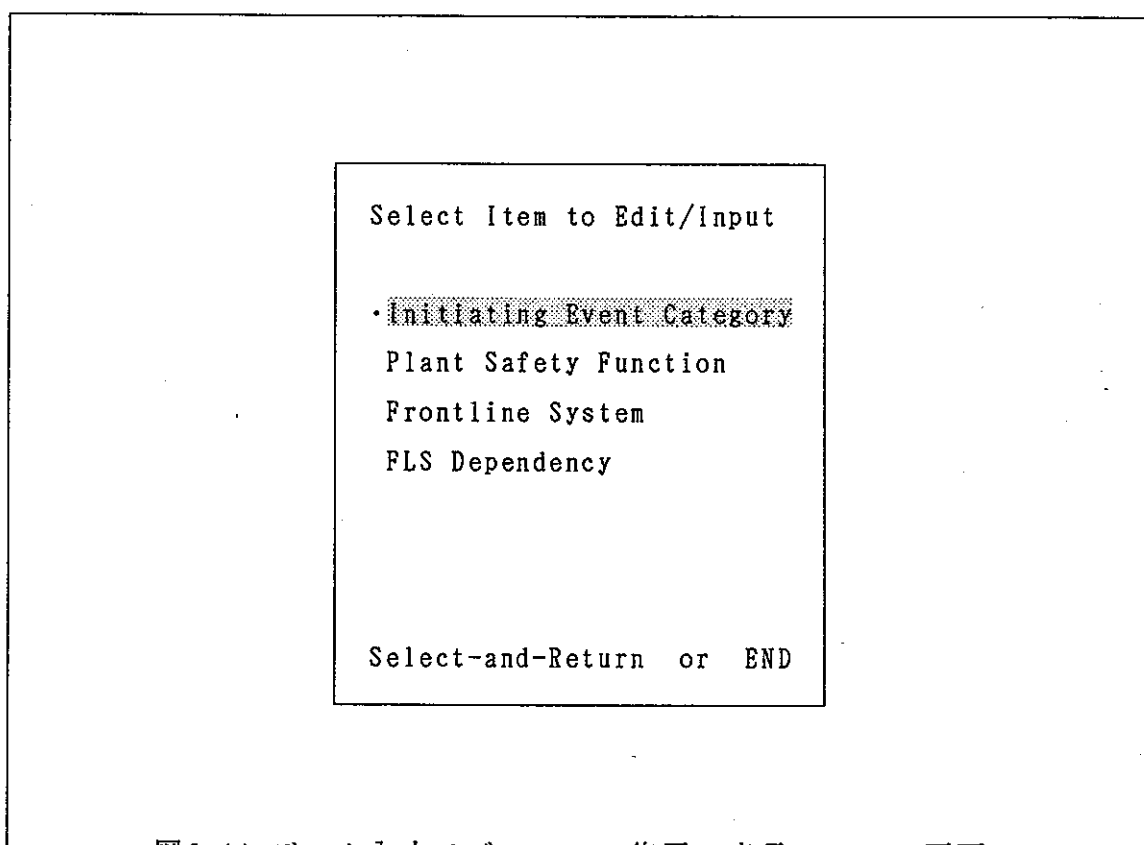


図3-14 データ入力モジュールの修正・表示メニュー画面

このモードでも、データ入力方法の差異は小さいため、以下では起回事象カテゴリーを例にとり説明する。また、フロントラインシステムの従属性のデータ表示・修正の場合は、他と異なるため別個に説明する。

図3-14のメニュー画面で起回事象カテゴリーを選択すると、図3-15に示すような表が現れる。画面上には10個のデータが表示され、それ以上のデータは次の画面以降で表示される。

List of Initiating Event Category

Code	Description	Frequency
I01	Positive Reactivity Insertion	3.00E-002
I02	Core Support Structure Failure	1.00E-007
I03	PHTS Cold Leg Rupture	1.00E-004
I04	PHTS Leakage Within Guard Vessels	7.50E-003
I05	PHTS Leakage Outside of Guard Vessels	5.60E-003
I06	MCS Leakage Below Hot Leg Nozzles	2.10E-003
I07	Loss of Flow in One or More Loops	3.30E+000
I08	Loss of Flow Capability in One Loop	2.50E-001
I09	Loss of Offsite Power	1.10E-001
I10	Loss of Feedwater	4.70E+000

Input Code to edit/delete, or return : \_

図3-15 データ入力モジュールの修正・表示モード画面

この画面中のデータでディスクリプション、あるいは、発生頻度の修正を行いたい場合は、そのコードを入力する（小文字でも良い）。修正は、前述の入力と同じ形式であるが、入力済みのデータが入力スペースに表示されている。カーソル移動キーを用いてカーソルを動かし、データを修正する。この時、最初にカーソル移動キー以外のキーを入力すると、表示されていたデータが消去されてしまうので注意を要する。また、データを修正した場合は、再表示の際に最下段に表示される。

データの削除は、ディスクリプションを空白にすることで行える。上記のように、最初の入力キーがカーソル移動キーでない場合は、表示データが消去され空白となるため、データの削除となる。

データの修正が終了した場合は、コードの入力の代わりにリターンキーのみを入力する。さらにデータがある場合は、10個ずつ表示され、修正することができる。

プラント安全機能の場合は、そのクロノロジーの修正も行える。

フロントラインシステムの従属性データの場合は、他のデータと異なった表示修正方法をとっている。この場合は、先ず、表示・修正すべきフロントラインシステムを選択する（図3-16）。

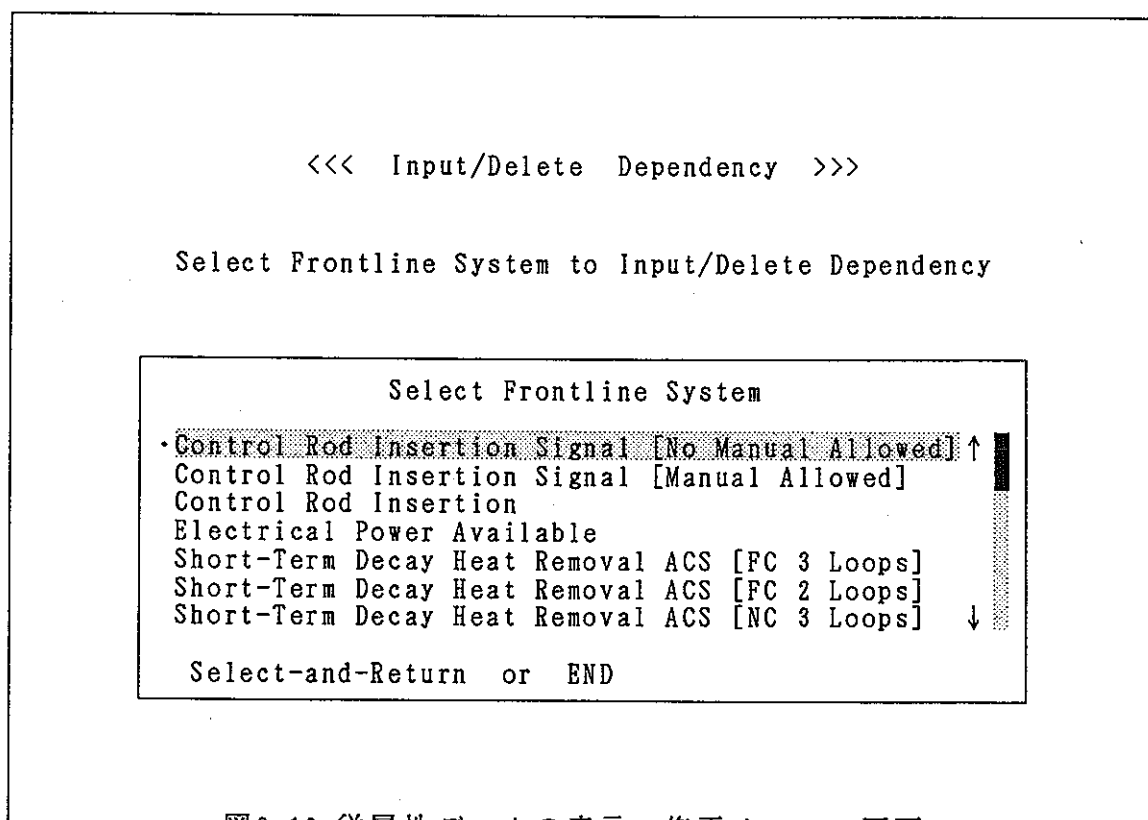


図3-16 従属性データの表示・修正メニュー画面

ここで、図3-16のメニュー中最上位の項目を選択したとすると、図3-17に示す表が現れる。これは、最初に選択したフロントラインシステムと表中のシステムが、従属性を有していることを示している。もし、この従属性が誤りであるならば、そのフロントラインシステムのコードを入力する。正しい場合は、リターンを入力する。

<<< Delete Dependency >>>

FLS : Control Rod Insertion Signal [No Manual] has dependency  
with following Frontline Systems.

---

Code	Description
M	IHTS Pump Main Motor Trip [Loss of Feed Water]

---

Input Code to delete, or return : \_

図3-17 従属性データの修正・表示モード画面

すべてのデータの表示・修正が終了すると、新たに追加のデータがあるか否かをYes/Noにより選択する。Yesの場合は、前述の入力モードとなり、複数のデータが入力できる。入力モード終了時は、自動的に表示・修正モードとなり、入力したデータを表示・修正できる。このように、データ表示・修正モードとデータ入力モードは、互いに切り替えることができる。

データ表示・修正モードを終了する場合は、入力モードに入るか否かの選択でNoを選択すれば良い。

データ入力モジュールの修正・表示メニュー画面（図3-14）で、ENDを入力すると、データがファイルに出力される。この時、起因事象カテゴリーとフロントライン・システムは、コードの英数字でソートされる。また、プラント安全機能は、そのクロノロジーに従って出力される。そのため、再度、このモジュールを起動するとソートされたデータが表示されることになる。

また、各データのプリンタ出力が可能である。この場合は、図3-18に示すメニューによりプリンタ出力するデータの選択ができる。メニュー項目中、最下位の all of aboveは、メニュー中の項目全てを出力するためである。

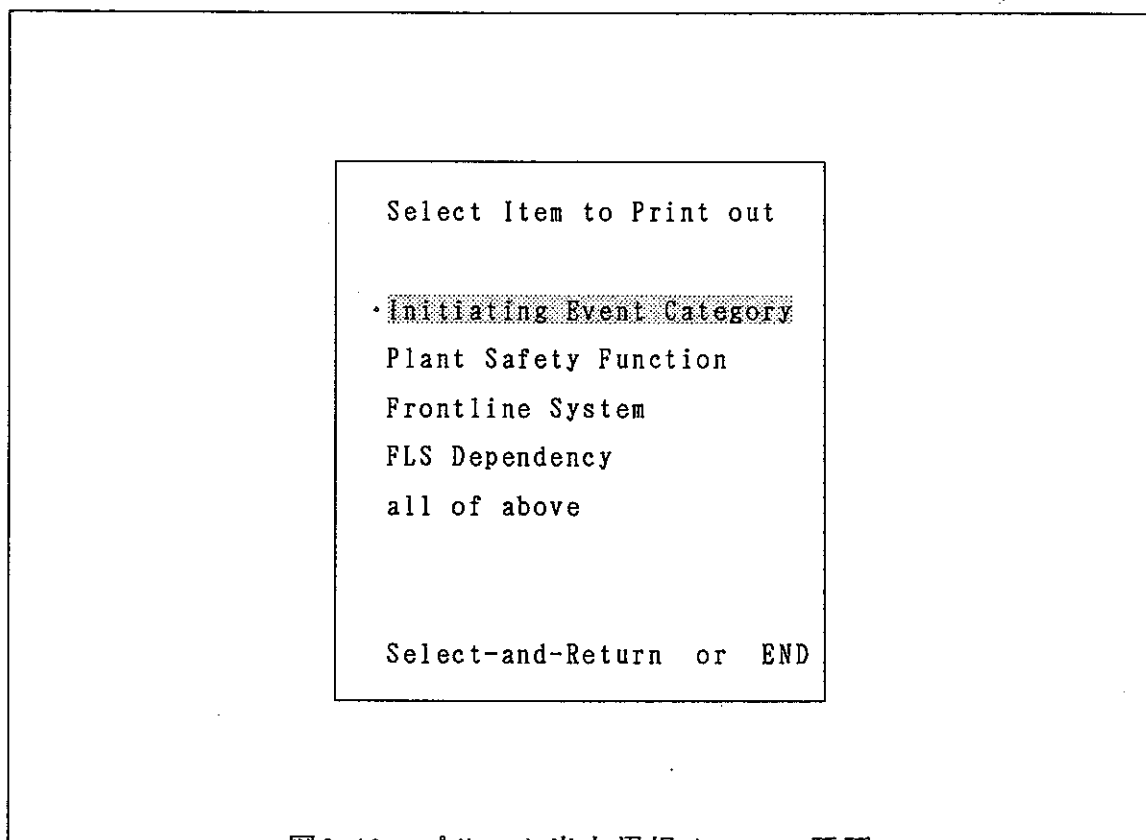


図3-18 プリント出力選択メニュー画面

プリント出力を選択しないか、あるいは、終了した場合、データ入力モジュールでの作業は終了し、図3-5に示すメインメニューに戻る。



### 3.2.3 機能イベントツリー作成モジュール

メインメニューで、2を選択すると本モジュールが起動する。このモジュールでは、各起因事象カテゴリーに対し、機能イベントツリーを作成する。

このモジュールは、2つに大別できる。1つは、ユーザーから情報を得て、機能イベントツリーを自動作成する部分であり、他はそのツリーの表示・修正の部分である。以下では、この各々について説明する。

#### (1) 情報取得とツリー自動作成

前項で述べたデータ入力モジュールでデータベース化された起因事象カテゴリーの各々について別個に機能イベントツリーを作成する。そのため、図3-19に示すメニューから起因事象カテゴリーを選択する。この画面では、メニューの下方に既に機能イベントツリーが作成されている起因事象カテゴリーが表示されている。メニュー中から、これらの起因事象カテゴリーを選択した場合は、その機能イベントツリーを再構築するか否かの選択ができる。再構築する場合は以下で述べる機能イベントツリーの作成手順を踏むことになり、また、再構築しない場合は後述する機能イベントツリーの表示となる。

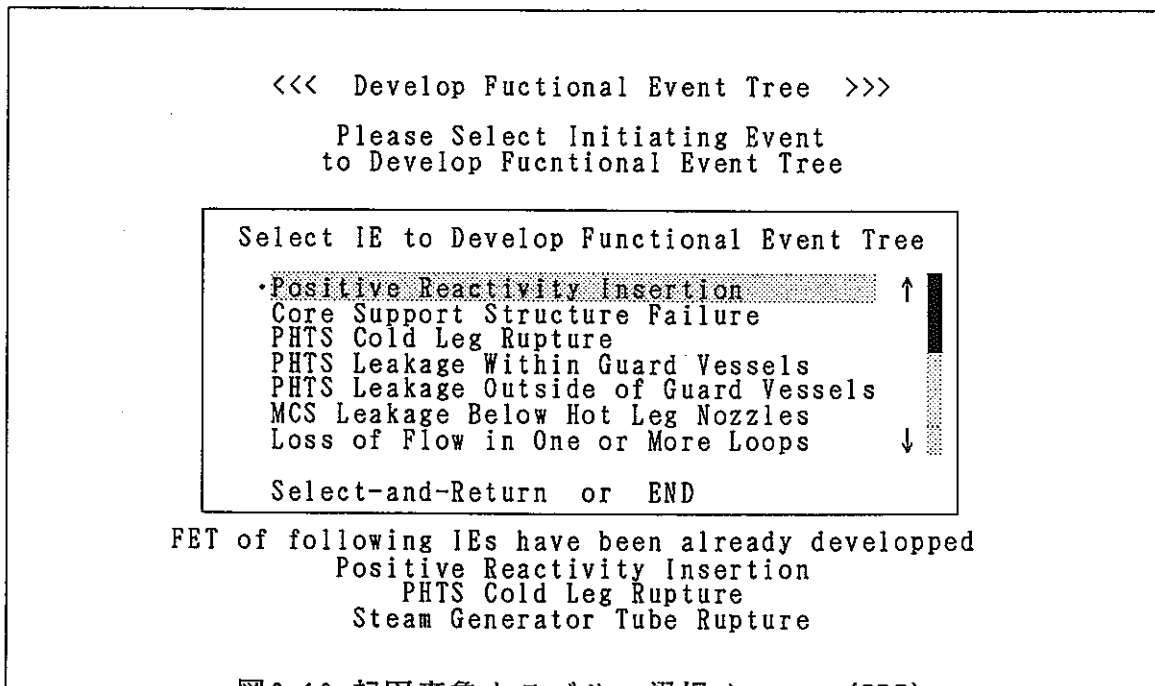


図3-19 起因事象カテゴリー選択メニュー(FET)

機能イベントツリーを作成するために、選択した起因事象カテゴリーに対し、有効なプラント安全機能を図3-20に示したメニューにより選択する。この図では、既に2つのプラント安全機能を選択しており、メニュー中の残りの安全機能は、この起因事象カテゴリーに対しては、有効ではない。この場合、END キーを押すことで、既に選択した2つの安全機能のみが有効であると同定したことになる。

```
<<< Develop Functional Event Tree >>>

IE : Positive Reactivity Insertion

Please Select Necessary/Effective/Applicable Plant Safety Function

Select Necessary PSF
- IE Mitigation
Initial Plant Response
Accident Propagation
Maintenance of Primary Sodium Inventory

Select-and-Return or END

Selected Plant Safety Function
Reduction of Reactor Power
Decay Heat Removal
```

図3-20 プラント安全機能選択メニュー

以上で、ある起因事象カテゴリーに対する機能イベントツリー作成のための情報が以下のように得られた。

- ① 有効なプラント安全機能
- ② そのプラント安全機能のクロノロジー
- ③ 各プラント安全機能の喪失が炉心損傷に至るか否か

これらはデータ入力モジュールで作成されたデータベースを基に得られた情報である。この情報を基に、機能イベントツリーが自動的に作成される。

## (2) 機能イベントツリーの表示・修正

作成された機能イベントツリーは、直ちに図3-21のように表示される。この表示画面では、ツリー修正モードと事故カテゴリ入力モードの2つがある。この2つのモードは、ESC キーにより切り替えることができる。起動直後は、ツリー修正モードである。

画面の枠中最上位には、起因事象カテゴリのコードとディスクリプションが表示される。その下の枠には、プラント安全機能、あるいは、事故カテゴリのディスクリプションが表示される。さらにその下の枠中には、プラント安全機能のコードが示してある。

表示直後は、イベントツリーの最も左に、丸いカーソルが位置している。このカーソルは、カーソル移動キーによりイベントツリーのプラント安全機能の位置に移動する。それに伴い、2段目の枠中にカーソルのあるプラント安全機能のディスクリプションが表示される。

このカーソルを用いて、表示されている機能イベントツリーの分岐の付加と削除の修正が可能である。分岐を付加、あるいは、削除したい位置へカーソルを移動し、INS キー及び DEL キーを押すことで修正できる。

また、画面の右に事故カテゴリの枠がある。ここでは、炉心損傷に至らない場合を Success で示している。その他の場合は F であり、ユーザーが事故カテゴリを入力する必要がある。ESC キーにより事故カテゴリの入力モードに移ると、画面の表示色が反転し、カーソルは右端のプラント安全機能の分岐点に移動する。ここで、上下のカーソル移動キーにより、どのシーケンスに対し、事故カテゴリを入力するかを決定できる。画面上部2段目の枠には、事故カテゴリのディスクリプションが表示される。

このモードでは、左右の移動キーにより、あらかじめ登録されている事故カテゴリを選択することが可能である。基本的な事故カテゴリは登録されているが、新たなカテゴリの追加も可能である。これは、INS キーを押すことで画面上で事故カテゴリのコードとディスクリプションの入力を行う。この事故カテゴリは、次項のシステムイベントツリーの作成にも用いるため、もれなく入力する必要がある。

事故カテゴリ入力モードから、ツリー修正モードには、再度、ESC キーを押すことで切り替えることができる。画面のプリンタ出力は、いずれのモードでも P を入力することで行える。また、この画面を終了したい場合は、どちらのモードでも S キーである。ただし、修正されたイベントツリーを保存しない場合は、Q を入力すると、ファイルに出力せずに終了となる。

終了後は、再び、図3-19の起因事象カテゴリーの選択メニューに戻る。他の起  
因事象カテゴリーに対し、機能イベントツリーを作成した後は、このメニューで  
END キーにより、メインメニューに戻ることができる。

Function Event Tree

IE : I13 : Local Fault

				Seq. No.	Accident Category
Code	RP	AP	DH		
				1	Success
				2	PCM
				3	Success
				4	ULOF

図3-21 機能イベントツリーの表示・修正画面

### 3.2.4 システムイベントツリー作成モジュール

このモジュールは、前項で作成された機能イベントツリーを基に、システムイベントツリーを作成するものである。このモジュールは、メインメニューの3で起動する。

このモジュールも、前項の機能イベントツリー作成モジュールと同様に、ユーザーから情報を得て、システムイベントツリーを自動作成する部分と、そのツリーを表示・修正する部分に分けられる。

#### (1) 情報取得とツリー自動作成

このモジュールでも、起因事象カテゴリーの選定をする必要がある。その際、選択可能なカテゴリーは、機能イベントツリーが作成済みのものに限られる。

図3-22に起因事象カテゴリーの選択メニューを示す。

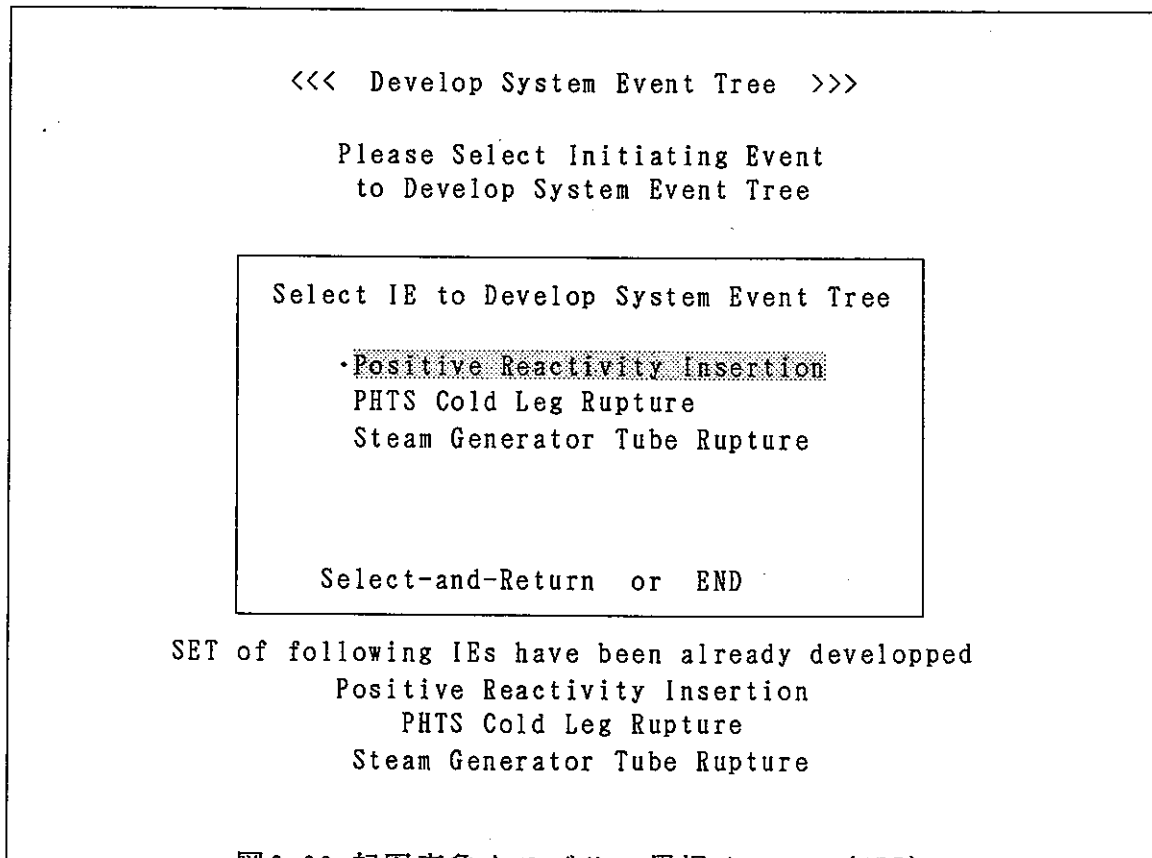


図3-22 起因事象カテゴリー選択メニュー (SET)

図中のメニューには、その時点までに機能イベントツリーが作成されている起  
因事象カテゴリーのみが選択対象となっている。また、メニューの下方には、既  
にシステムイベントツリーが作成されている起因事象カテゴリーが表示されてい  
る。これらの起因事象カテゴリーを選択すると、システムイベントツリーを再構  
築するか否かの確認がある。

次に、各プラント安全機能毎に、以下の情報をユーザーから取得する。

- 1 プラント安全機能を達成するために有効で利用可能なフロントラ  
インシステム
- 2 プラント安全機能内でのフロントラインシステムのクロノロジー
- 3 プラント安全機能を達成するための成功基準

1 については、メニューによりそのプラント安全機能におけるフロントライン  
システムを選定する（図3-23）。図中には、上方に起因事象カテゴリー、プラ  
ント安全機能、下方に既に選択されたフロントラインシステムが表示されている。  
終了は ENDキーである。

```
<<< Develop System Event Tree >>>

Please Select Necessary/Effective/Applicable Frontline System
      IE : Positive Reactivity Insertion
      PSF : Reduction of Reactor Power

  Select Necessary Frontline System
  • Control Rod Insertion Signal [Manual Allowed]
    Control Rod Insertion

  Select-and-Return or END

  Selected Frontline System
  Control Rod Insertion Signal [No Manual Allowed]
```

図3-23 フロントラインシステム選択メニュー

2と3については、クロノロジーと成功基準を直接ユーザーから情報取得するのではなく、以下に示す情報から間接的に得ている。

- a. あるシステムの故障が他のシステムの故障を引き起こすか否か
- b. あるシステムが他のシステムのバックアップとなっているか否か

この2つの間接情報は、図3-24、図3-25に示す画面でユーザーからの入力を得る。ただし、この2つの情報からクロノロジーが定まらない場合は、図3-26に示すように、ユーザーから直接システム間の順序を得ることになる。ただし、図3-25、26では、選択メニューのみを示している。

データ入力画面では、上方にフロントラインシステムとそのコードを表示している。また、選択メニュー中では、そのコードでフロントラインシステムを表している。

Frontline System for Reduction of Reactor Power

A : Control Rod Insertion Signal [No Manual Allowed]  
B : Control Rod Insertion

Failure of A makes B fail ?  
·Yes No

図3-24 データ入力画面 (SET, makes fail)

A is backed up by B ?  
·Yes No

図3-25 データ入力画面 (SET, is backed up)

A preceeds B ?  
·Yes No

図3-26 データ入力画面 (SET, preceeds)



以上で入力した間接情報は、確認のため図3-27のように表示される。このメニューを用いて、入力された間接情報の修正が可能である。

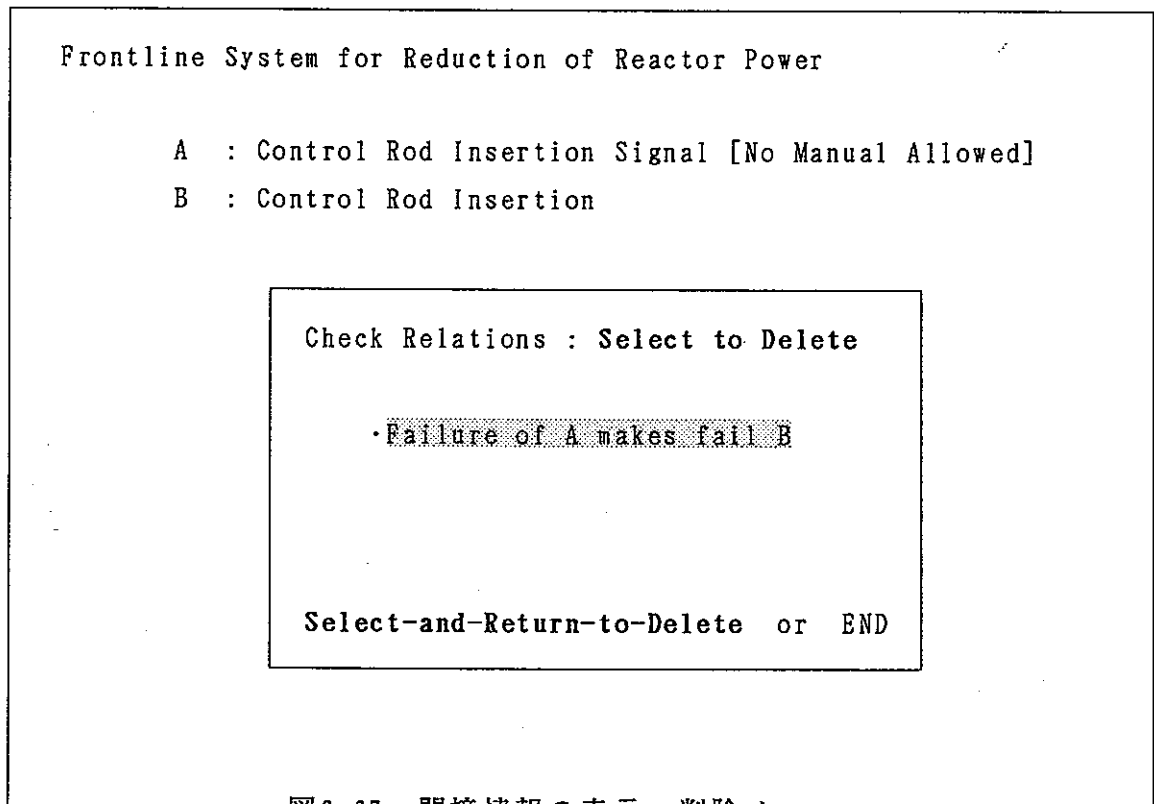


図3-27 間接情報の表示・削除メニュー

ここで、入力された間接情報が正しい場合は、END キーでこのメニューを終了する。正しくない場合は、その間接情報をカーソルキーで選択しリターンキーで削除する。この場合は、削除された情報を図3-25の入力画面により再度入力することになる。

また、これらの間接情報は事実ベース化され、以後の解析に用いられる。そのため、入力の項目は、解析を重ねることにより少なくなり、図3-24～26の入力画面を経ることなく、図3-27の表示・削除メニューに移る場合もある。

一方、成功基準については、その候補をメニューから選択するようになっている。この候補は、上記 a、b の情報から生成している。また、この選択の途中においても、候補の絞り込みを行っている。

図3-28に成功基準の選択メニューを示す。

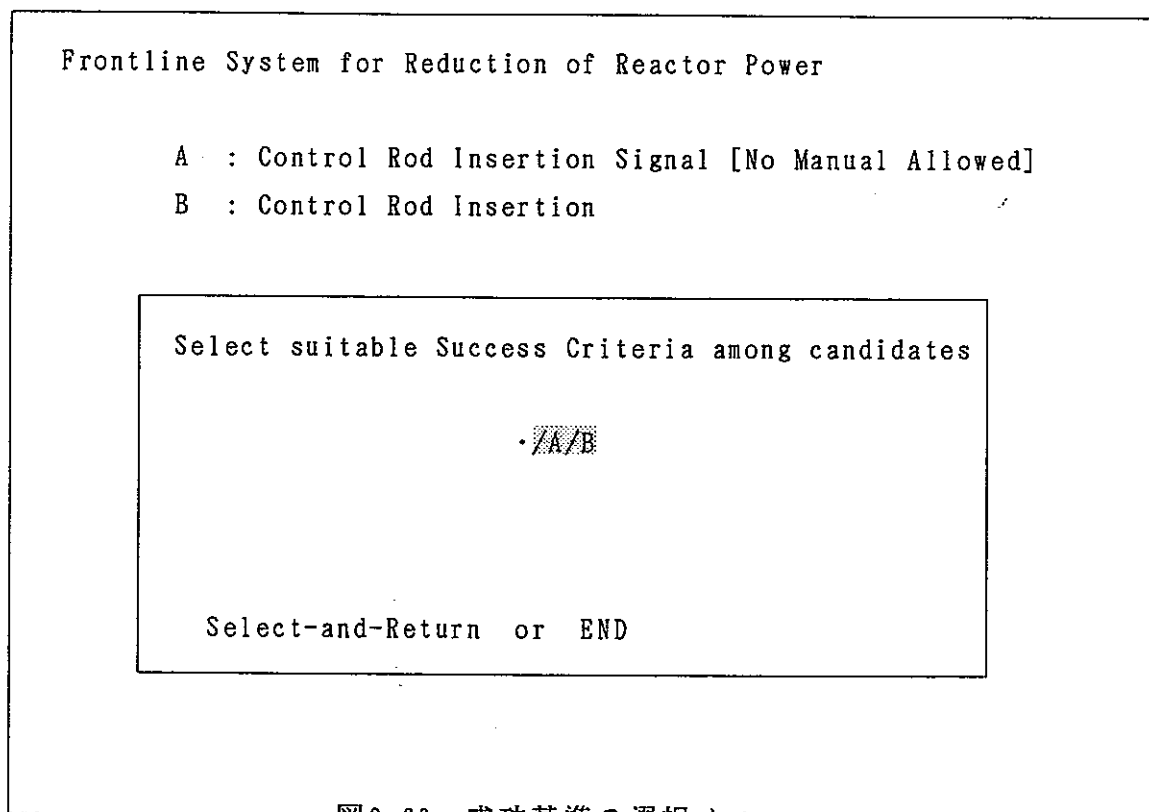


図3-28 成功基準の選択メニュー

以上で、あるプラント安全機能におけるシステムイベントツリー作成の情報が得られた。これを各プラント安全機能について繰り返すことにより、ある起因事象の対するシステムイベントツリーを自動生成することができる。

## (2) システムイベントツリーの表示・修正

図3-29にシステムイベントツリーの表示・修正画面を示す。前述の機能イベントツリーの場合と比べ、ディスクリプションの表示部分が若干異なる。他の表示や、機能は同じである。

System Event Tree

IE : I13 : Local Fault									Seq. No.	Accident Category
F.Code:		RP		AP	DH					
Code	A	B	Q	C	D	E	E2	F		
									1	Success
									2	Success
									3	PCM
									4	PCM
									5	Success
									6	PCM
									7	ULOF
									8	Success
									9	ULOF

図3-29 システムイベントツリーの表示・修正画面

### 3.2.5 ユニークシステムコンビネーション抽出モジュール

前項までで、各起因事象に対するシステムイベントツリーが作成された。このモジュールは、これらのシステムイベントツリー中の事故シーケンスから、定量的のためにユニークシステムコンビネーションを抽出する。

本モジュールは、作成されたシステムイベントツリー中の事故シーケンスを解析し、ユニークシステムコンビネーションを抽出する。

ユニークシステムコンビネーションが抽出されていないか、再抽出の場合は、用いる起因事象カテゴリーの確認がある（図3-30）。図では、3つの起因事象カテゴリーに対するシステムイベントツリーから、ユニークシステムコンビネーションが抽出されることになる。

```
<<< Produce Unique System Combination >>>

Initiating Event for Unique System Combination

Positive Reactivity Insertion
PHTS Cold Leg Rupture
Steam Generator Tube Rupture

Do you want to get USC from these IEs
  Yes No
```

図3-30 USC 抽出確認画面

この抽出の際には、データ入力モジュールでデータベース化されたフロントラインシステム間の従属性のデータが使用される。抽出には、文字情報の操作が極めて多いため、若干時間がかかる。抽出中は図3-31の画面となり、抽出中の起因事象カテゴリーが点滅する。

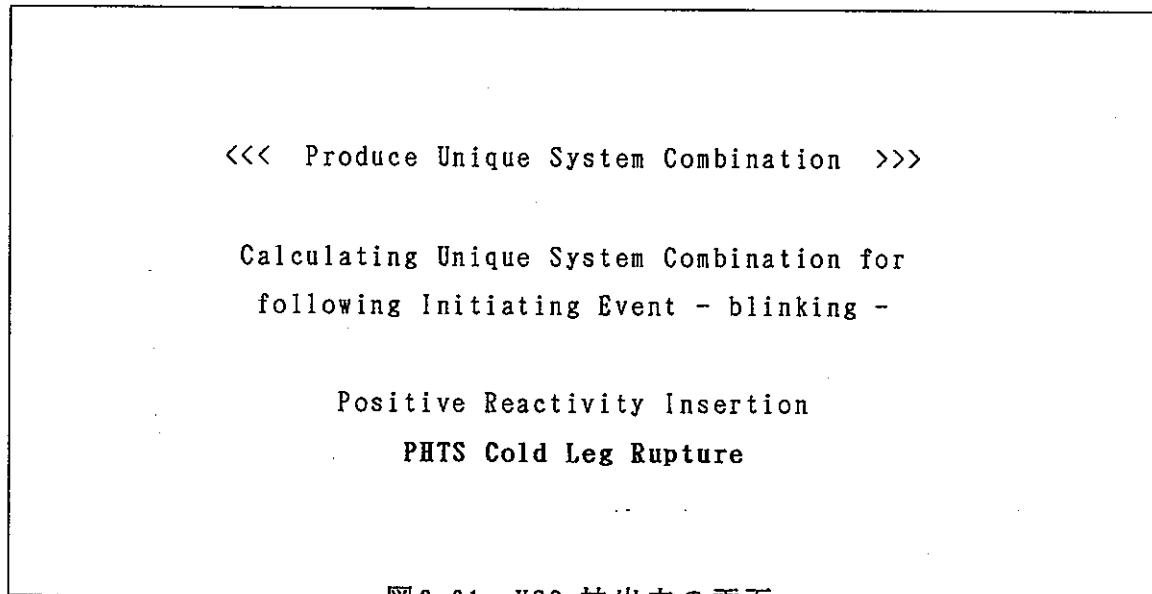


図3-31 USC 抽出中の画面

抽出されたユニークシステムコンビネーションは画面表示される。また、プリンターへの出力が可能である。

### 3.2.6 イベント・ツリー定量評価モジュール

前節まででイベント・ツリー解析の定性評価が終了した。これを基に本モジュールでは定量評価を行う。このモジュールの起動は、メインメニューで5である。

まず、前節で求められたユニークシステムコンビネーションに対し、確率値を入力する。その手順は、以下の通りである。

- ① そのユニークシステムコンビネーションの補修前の確率値の入力
- ② そのユニークシステムコンビネーションの補修後の確率値の入力
- ③ ②の補修後の確率値を持つ起因事象カテゴリーの選定
- ④ ②、③の繰り返し

①と②の確率入力画面は同様であるので、①の画面を図3-32に示す。また、③の画面を図3-33に示す。

```
<<< Input Probability of USC >>>

Unique System Combination : /C /D E F

This USC is used in following Initiating Events

I01 : Positive Reactivity Insertion
I12 : Steam Generator Tube Rupture

Probability of [ /C /D E F ] - before recovery -
██████████
```

図3-32 確率値入力画面

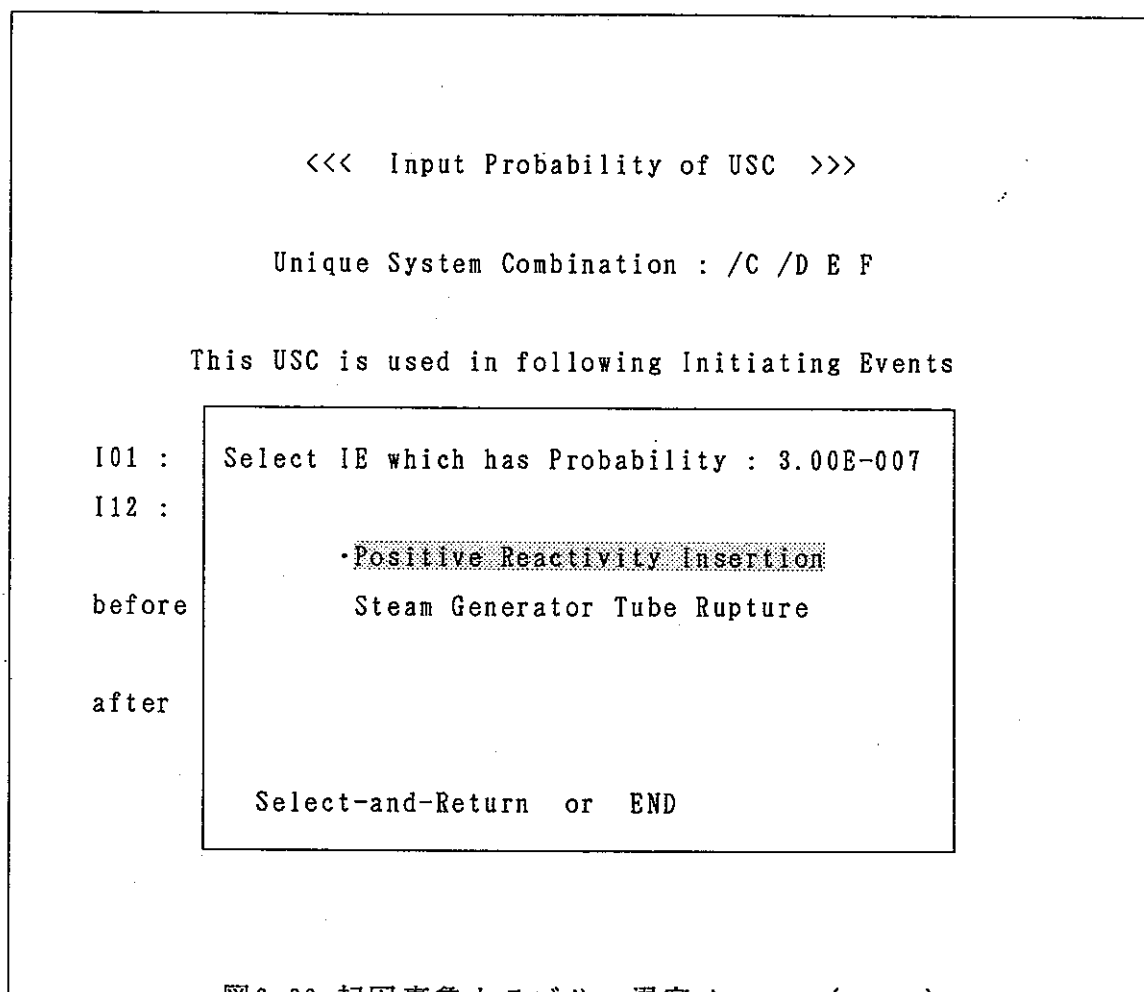


図3-33 起因事象カテゴリー選定メニュー(quant)

以上の手順を各ユニークシステムコンビネーションに対し行う。その後、プリンタ出力が可能である。

入力された各ユニークシステムコンビネーションの確率値の表示・修正が、図3-34に示すメニューから可能である。

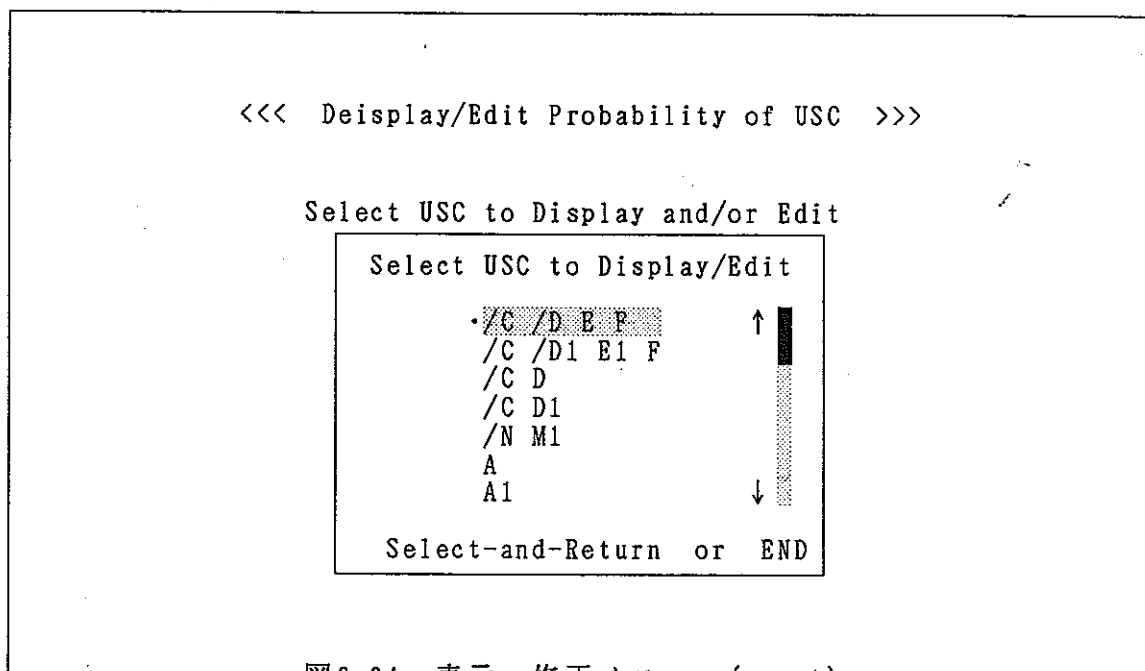


図3-34 表示・修正メニュー (quant)

図3-34で選択されたユニークシステムコンビネーションの確率値は、図3-35の画面で修正できる。

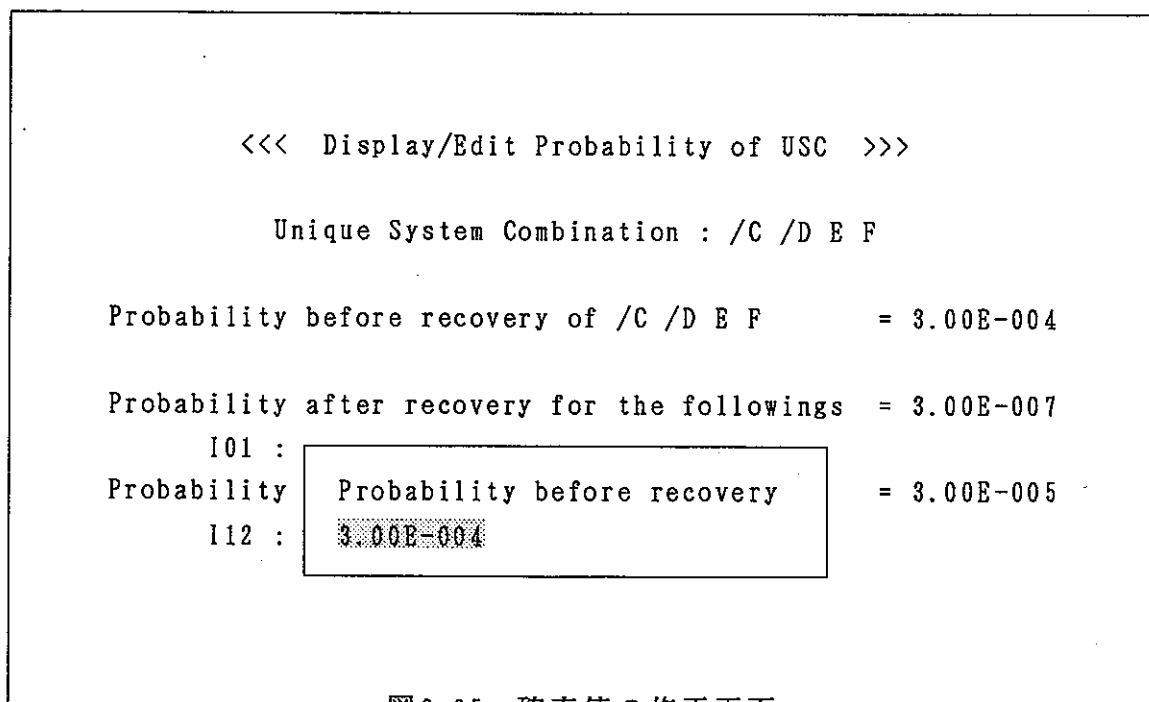


図3-35 確率値の修正画面



複数の起因事象カテゴリーが同じ確率値（修復後）を持つ場合は、図3-36の画面が現れる。このメニューを用いて、その起因事象カテゴリーの確率値を変更することができる。この場合は、カーソルキー・リターンキーにより起因事象カテゴリーを選定すると、図3-32のような入力画面となる。変更しない場合は、ENDキーでメニューを終了する。

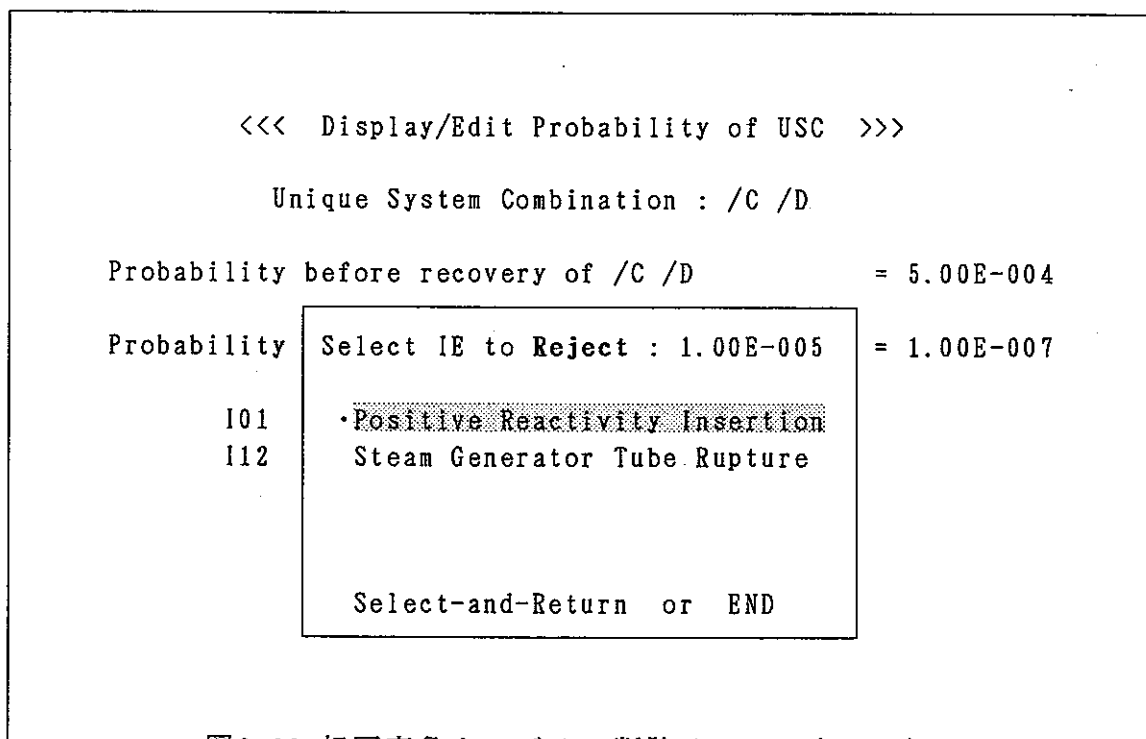


図3-36 起因事象カテゴリー削除メニュー(quant)

その後、データ入力モジュールで入力した各起因事象カテゴリーの発生頻度の修正が行え、また、プリンタ出力ができる。

以上のデータ入力が終了すると、以下の3つの表を作成する。

- a. 起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー別の炉心溶融発生頻度
- b. 事故シーケンスの炉心溶融発生頻度におけるランキング
- c. ユニークシステムコンビネーションの炉心溶融発生頻度におけるランキング

各システムイベント・ツリーの定量評価は、ここでは行わず、次に述べる解析結果表示モジュールの表示の際に行っている。

### 3.2.7 解析結果表示モジュール

本モジュールは、イベント・ツリー解析の最終段階であり、本システムの最終モジュールでもある。本モジュールは、メインメニューの6で起動する。

本モジュールでは、前節で作成した以下の3つの表と、定量評価された各起因事象カテゴリーに対するシステムイベント・ツリーが表示できる。

- a. 起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー別の炉心溶融発生頻度
- b. 事故シーケンスの炉心溶融発生頻度におけるランキング
- c. ユニークシステムコンビネーションの炉心溶融発生頻度におけるランキング

図3-37に本モジュールのメニュー画面を示す。

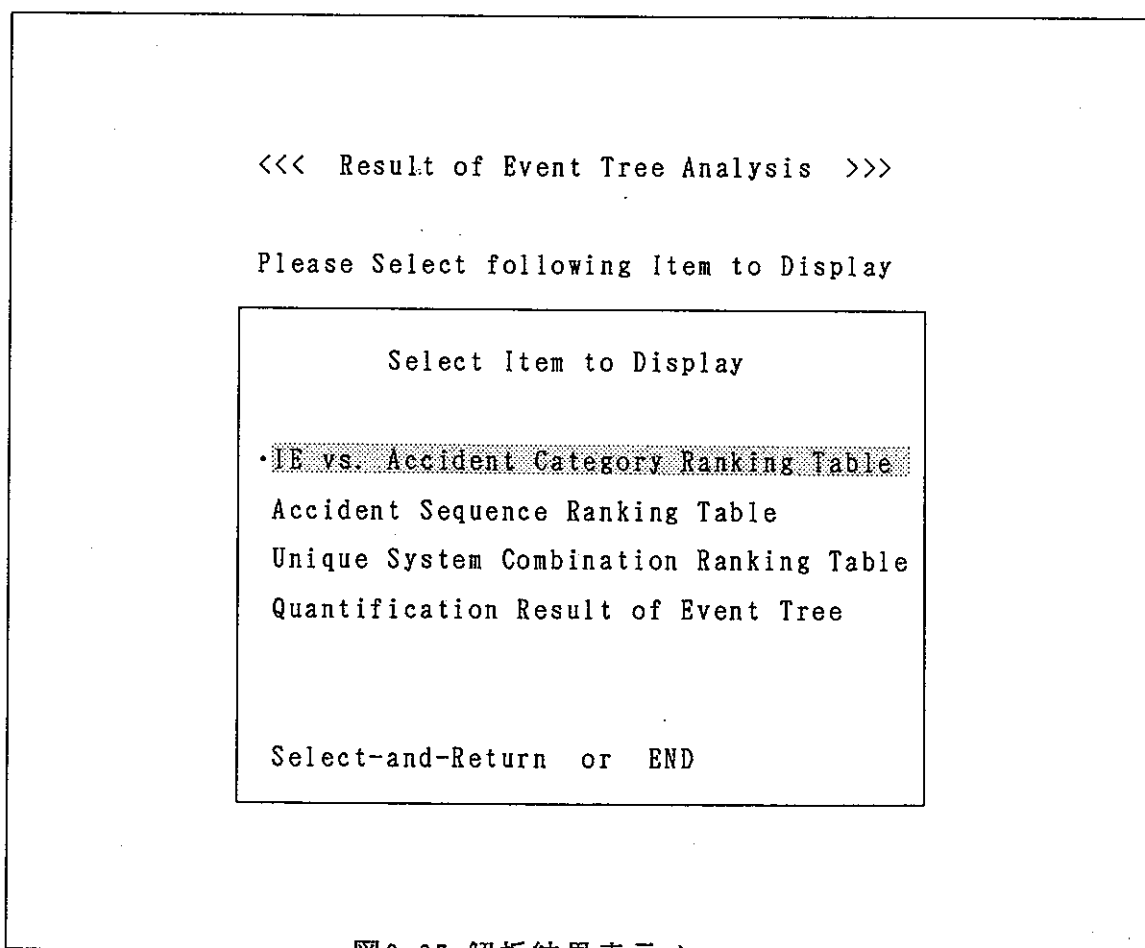


図3-37 解析結果表示メニュー

このメニューで最後の項目の定量化されたシステムイベントツリーの表示を選択すると、どのシステムイベントツリーを表示するかを選択メニュー（図3-38）が現れる。いずれかの起因事象カテゴリーを選択すると、表示確率値の打切り値の入力があり、その後、表示される。

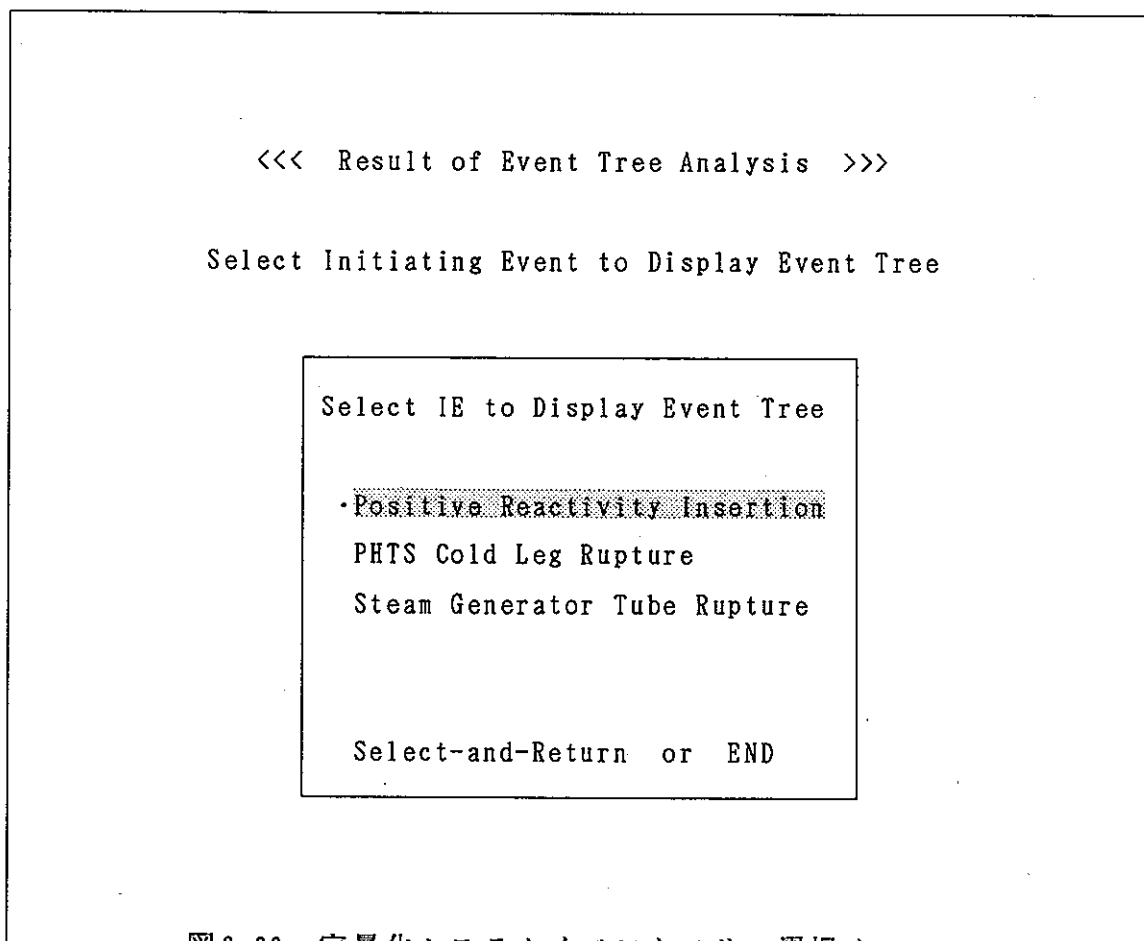


図3-38 定量化システムイベントツリー選択メニュー

以上のメニューにより、前述の3表と各イベントツリーが表示される。各々を表3-1～表3-3と図3-39に示す。

3種の表と各システムイベント・ツリーのプリンタ出力は、表示中にPを入力することで行える。

Event Tree Quantification Result

Init Event	Accident Category			IE	%
	UTOP (/Yr)	PCM (/Yr)	ULOF (/Yr)	Total (/Yr)	
I01	3.0E-7	3.1E-7	0.0	6.1E-7	41.0
I03	0.0	2.7E-7	1.0E-9	2.7E-7	18.0
I12	0.0	6.0E-7	3.0E-10	6.0E-7	40.4
I13	0.0	1.0E-8	2.0E-11	1.0E-8	0.7
Category Total (/Yr)	3.0E-7	1.2E-6	1.3E-9	1.5E-6	
Percentage (%)	20.2	79.7	0.0		

表3-1 起因事象カテゴリー及び事故カテゴリー

Accident Sequence Ranking Table. (Total Core Melt Frequency = 1.5E-6 / Yr)

No.	Sequence Designation	Accident Category	Frequency (/Yr)	Percentage of Total Core Melt Frequency (%)	Cumulative Frequency (/Yr)	Percentage of Cumulative Frequency (%)
1	I12-/C /D E F	PCM	4.5E-7	30.2	4.5E-7	30.2
2	I01-/C D	PCM	3.0E-7	20.2	7.5E-7	50.4
3	I01-A	UTOP	3.0E-7	20.2	1.1E-6	70.5
4	I03-H	PCM	2.0E-7	13.4	1.3E-6	84.0
5	I12-/C D	PCM	1.5E-7	10.1	1.4E-6	94.1
6	I03-J	PCM	5.0E-8	3.4	1.5E-6	97.4
7	I13-/C D	PCM	1.0E-8	0.7	1.5E-6	98.1
8	I01-/C /D E F	PCM	9.0E-9	0.6	1.5E-6	98.7
9	I03-I	PCM	9.0E-9	0.6	1.5E-6	99.3
10	I03-/C D1	PCM	3.6E-9	0.2	1.5E-6	99.5
11	I03-G	PCM	3.0E-9	0.2	1.5E-6	99.8
12	I03-A	ULOF	1.0E-9	0.0	1.5E-6	99.8
13	I03-0	PCM	9.0E-10	0.0	1.5E-6	99.9
14	I03-/C /D1 E1 F	PCM	4.5E-10	0.0	1.5E-6	99.9
15	I13-/C /D E F	PCM	3.0E-10	0.0	1.5E-6	99.9
16	I01-B	UTOP	3.0E-10	0.0	1.5E-6	99.9
17	I01-C E2	PCM	1.8E-10	0.0	1.5E-6	100.0
18	I12-B	ULOF	1.5E-10	0.0	1.5E-6	100.0
19	I12-A1	ULOF	1.5E-10	0.0	1.5E-6	100.0
20	I12-N-/C /D E F	PCM	1.2E-10	0.0	1.5E-6	100.0

表3-2 事故シーケンス・ランキングテーブル

USC Ranking Table. (Total Core Melt Frequency = 1.5E-6 / Yr)

No.	USC Designation	Probability of USC (before recovery)	Probability of USC (after recovery)	Frequency of Core Melt (/Yr)	Percentage of Total Core Melt Frequency (%)
1	/C D	5.0E-4	1.0E-5	4.6E-7	30.9
2	/C /D E F	3.0E-4	3.0E-7	4.6E-7	30.9
3	A	1.0E-5	1.0E-5	3.0E-7	20.2
4	H	2.0E-3	2.0E-3	2.0E-7	13.4
5	J	5.0E-3	5.0E-4	5.0E-8	3.4
6	I	1.0E-4	9.0E-5	9.0E-9	0.6
7	/C D1	6.0E-3	3.6E-5	3.6E-9	0.2
8	G	3.0E-4	3.0E-5	3.0E-9	0.2
9	O	9.0E-6	9.0E-6	9.0E-10	0.0
10	B	1.0E-8	1.0E-8	4.6E-10	0.0
11	/C /D1 E1 F	1.5E-3	4.5E-6	4.5E-10	0.0
12	C E2	2.0E-7	6.0E-9	2.8E-10	0.0
13	N	3.4E-4	2.7E-4	1.6E-10	0.0
14	A1	1.0E-8	1.0E-8	1.5E-10	0.0
15	Q	1.0E-3	1.0E-3	1.0E-11	0.0
16	N M1	5.5E-5	1.1E-5	6.8E-12	0.0
17	P	1.0E-2	1.0E-2	2.9E-12	0.0
18	C E3	1.0E-6	2.0E-8	2.0E-12	0.0
19	/N M1	6.0E-5	1.2E-6	7.2E-13	0.0

表3-3 ユニークシステムコンビネーションランキングテーブル

Event Tree Analysis

IE : I12 : Steam Generator Tube Rupture												Seq. No.	Sequence Designation	Accident Category	MSFBR (/Yr)	MSFAR (/Yr)
F.Code	IM		IP	RP			MS	DH								
Code	N	P	M1	A1	B	G	C	D	E	E2	F					
1.5E-2 (/Yr)												1		Success		
												2		Success		
												3	/C /D E F	PCM	4.5E-6	4.5E-7
												4	/C D	PCM	7.5E-6	1.5E-7
												5		Success		
												6	C E2	PCM	3.0E-9	9.0E-11
												7	B	ULOF	1.5E-10	1.5E-10
												8	A1	ULOF	1.5E-10	1.5E-10
												9		Success		
												10		Success		
												11	/N M1-/C /D E F	PCM	2.7E-10	<1.0E-12
												12	/N M1-/C D	PCM	4.5E-10	<1.0E-12
												13		Success		
												14	/N M1-C E2	PCM	<1.0E-12	<1.0E-12
												15	/N M1-B	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												16	/N M1-A1	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												17		Success		
												18		Success		
												19	N-/C /D E F	PCM	1.5E-9	1.2E-10
												20	N-/C D	PCM	2.5E-9	4.0E-11
												21		Success		
												22	N-C E2	PCM	1.0E-12	<1.0E-12
												23	N-B	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												24	N-A1	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												25		Success		
												26		Success		
												27	N M1-/C /D E F	PCM	2.5E-10	5.0E-12
												28	N M1-/C D	PCM	4.1E-10	1.7E-12
												29		Success		
												30	N M1-C E2	PCM	<1.0E-12	<1.0E-12
												31	N M1-B	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												32	N M1-A1	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												33		Success		
												34		Success		
												35	N-P-/C /D E F	PCM	1.5E-11	1.2E-12
												36	N-P-/C D	PCM	2.5E-11	<1.0E-12
												37		Success		
												38	N-P-C E2	PCM	<1.0E-12	<1.0E-12
												39	N-P-G	PCM	1.5E-11	1.2E-12
												40	N-P-B	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												41	N-P-A1	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												42		Success		
												43		Success		
												44	N M1-P-/C /D E F	PCM	2.5E-12	<1.0E-12
												45	N M1-P-/C D	PCM	4.1E-12	<1.0E-12
												46		Success		
												47	N M1-P-C E2	PCM	<1.0E-12	<1.0E-12
												48	N M1-P-G	PCM	2.5E-12	<1.0E-12
												49	N M1-P-B	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12
												50	N M1-P-A1	ULOF	<1.0E-12	<1.0E-12

図3-39 定量化システムイベントツリー

#### 4. プログラム仕様

本解析支援システムは、パーソナルコンピュータ上で稼働するエキスパートシステム構築ツールである Intelligence/Compilerを用いて開発した。また、グラフィックと計算部分では、C言語(Turbo-C)を用いている。

本システムは、6つのモジュールに分かれている。以下では、Intelligence/Compilerで開発した部分について、各々のモジュールのトップレベルルール中の述語と特に重要な述語について説明する。

また、C言語により開発した部分は、別個に説明する。

##### 4.1 データ入力モジュール

###### Load-Data-or-Input

データファイル(IEC.LST, PSF.LST, FLS.LST, DEP.FBS)が存在する場合は、ファイルからデータを読み込む。存在しない場合は、各々のデータをユーザーから得る。

###### Edit Data

データの表示・修正を行う。

###### Output to File

データのファイルへの出力(IEC.LST, IEC.FRM, PSF.LST, PSF.FRM, FLS.LST, FLS.FRM, DEP.FBS)を行う。

###### Print-Data

データのプリンタ出力。

###### List-and-Edit

起因事象カテゴリー、プラント安全機能、フロントラインシステムのデータの表示と修正を行う。

###### Input-or-Delete Dependency

フロントラインシステムのデータの入力、表示、修正を行う。



#### 4.2 機能イベントツリー作成モジュール

Load Data from File

データファイル(\*.FRM)を読み込む。

make FuncEventTree

機能イベントツリーの作成を行う。

make Tree

機能イベントツリー作成のメイン述語。

#### 4.3 システムイベントツリー作成モジュール

Load Data from File

データファイル(\*.FRM)を読み込む。

check FuncEventTree

機能イベントツリーの存在の確認。

make SystemEventTree

システムイベントツリーの作成。

get Necessary FLS for

有効なフロントライシステムを選定する。

make chronology of

フロントラインシステムのクロノロジーを決定する。

make success criteria of

成功基準を作成する。

make SSET for

システムイベントツリー作成のメイン述語。

#### 4.4 ユニークシステムコンビネーション抽出モジュール

Load Data from File

データファイル(\*.FRM, DEP. FBS)を読み込む。

check SystemEventTree

システムイベントツリーの存在の確認。

make UniqSystemCombination

ユニークシステムコンビネーションの抽出。

remove-independent-success-system

シーケンスデジグネーション中の独立な成功システムを除外する。

make-USC

ユニークシステムコンビネーション抽出のメイン述語。

#### 4.5 イベントツリー定量評価モジュール

Load Data from File

データファイル(\*.FRM)を読み込む。

check UniqSystemCombination

ユニークシステムコンビネーションの存在の確認。

get Probability

各ユニークシステムコンビネーションの確率値の入力。

get Frequency

各起因事象カテゴリーの発生頻度の修正。

Quantification

定量評価を行う。

#### 4.6 解析結果表示モジュール

Load Data from File

データファイル(\*.FRM)を読み込む。

check Quantification

定量評価ファイルの存在の確認。

get-ITEM-from-user

表示項目の選択とその表示。

#### 4.7 C言語プログラム

プログラムは、以下の4つの実行形式ファイルに分割した。

- 1) ファンクショナル・イベント・ツリーの表示編集
- 2) システム・イベント・ツリーの表示編集
- 3) システム・イベント・ツリー解析結果の出力
- 4) 解析結果一覧表の出力

このうち1) から3) までは、同一のソースコードであり、コンパイル時の指定により、目的の機能を持つ実行形式ファイルが作成される。

次ページに主な関数を示す。

```

----- TRDATA.C -----      :データの読み込み
int read_gcode(char *fname)   :ヘッダーコードの読み込み
int read_et(char *fname)     :ツリー構造の読み込み
int read_initevent(char *iefile,char *iename) :IEコード及び記述の読み込み
int read_psf(char *psfile)   :Primary Safety Function の読み込み
int read_accat(char *accatfile) :Accident Categoryの読み込み
read_seqdesigna(char *fname)  :Sequence Designationの読み込み
read_iename(char *fname,char *iename) :表示対象とするIEのコード読み込み
int rejectCR(char *line)     :行末の改行記号及び空白の除去
----- TRPLOT.C -----      :プロッタールーチン
plotinit(char *fname)       :プロッター初期化
----- TRMAIN.C -----      :メインルーチン
int ctableinit(int lines,int words) :読み込み用テーブルの初期化
int etinit(int ng,int nl)     :ET分岐構造保持用二進木の初期化
int btcopy(BTREE *ps, BTREE *pd) :ツリー構造(二進木)のコピー
int divide(BTREE *p)         :ツリー構造の分岐
BTREE * tree( BTREE *p ,const int depth ) :ETの構造解析, 二進木への格納
void treeprint(BTREE *root,FILE *fp) :ツリーのファイルへの出力
void seqdesignprint(BTREE *root,FILE *fp) :Sequence Designationのファイルへの出力
void main(int argc , char **argv) :メインルーチン
----- TRIMAGE.C -----      :イメージデータの処理(グラフィックス用)
void *prepare_imagebuf()
void * imageinit(void)
void storeimage(BTREE *p)
void loadimage(void)
void putmark(BTREE *p)
double getelev(BTREE *p)
----- TRBASE.C -----      :ツリーの処理
double getelev(BTREE *p)     :ツリーの表示位置計算
void getnum(BTREE *p)        :Sequence Numberの取得
void treenorm(BTREE *p)      :ツリーの規格化
----- TRBTDEL.C -----      :ツリーの処理
int btdelete(BTREE *p)      :ツリー構造の除去
void dummytree( BTREE *p , int n ) :ツリーの規格化
----- TRPROB.C -----      :各シーケンスの確率計算
read_usc(char *fname)       :Unique System Combinationデータの読み込み
double uscprob(char *p)     :Unique System Combinationの確率計算
double seqprob(char *seqdeg) :Sequence Designationの確率計算
----- TREDITAC.C -----      :Accident Categoryの入力, 編集
int editaccat(BTREE *root)
----- TREDIT.C -----
void move(BTREE *p)         :エディット用カーソルの移動
BTREE *cur_right(BTREE *p)  :右のノードの取得
BTREE *cur_left(BTREE *p)   :左のノードの取得
BTREE *cur_down(BTREE *p)   :下のノードの取得
BTREE *cur_up(BTREE *p)     :上のノードの取得
BTREE *cur_switch(BTREE *p) :隣のノードの取得
BTREE *cur_leftbottom(BTREE *p) :左下のノードの取得
BTREE *cur_rightbottom(BTREE *p) :右下のノードの取得
BTREE *cur_home(BTREE *p)   :一番上のノードの取得
BTREE *home_key(BTREE *root,BTREE *p) :Home-Keyの処理
int edit(BTREE *p)          :ツリーの編集
int savetree(BTREE *p,char *iename) :ツリーのファイルへの出力
----- TRGRPH-A.C -----
void graphinit()           :グラフィックスの初期化
void graphnorm(BTREE *p)   :座標値への変換
void ShowDescriptionP(BTREE *p) :記述欄の表示
probprint(char *buf,double x) :確率欄の表示
----- TRGRPH-B.C -----
void graph(BTREE *p)       :ツリーの表示
ShowSeqNum( double y , int seqnum) :sequence numberの表示
void ShowAccCategory( BTREE *p , char *str ) :Accident Category
void ShowSeqDesign( BTREE *p , char *str ) :Sequence Designation
void ShowProbability( BTREE *p , double prob ) :確率
void frame(BTREE *p)       :枠の表示
void ShowDescription(char *str) :記述欄の表示
void ShowInitEvent(void)   :IE欄の表示
void header(void)          :ヘッダー
----- TRINPRE.C -----      :各Unique Systemの確率入力
read_usc(char *fname)
main()
int rejectCR(char *line)

```

## 5. まとめ

確率論的安全性評価（PSA）の一環として、イベント・ツリー解析が行われる。本件では、イベント・ツリー解析手法に係わる知識、即ちイベント・ツリーの作成手順や作成規則をルールベース化しておき、解析者が対象プラントに関する知識を与えれば標準的なイベント・ツリー解析が実施できる支援ソフトウェアシステムを開発した。

本システムは、必要な情報を順次獲得しながら推論を進め、問題解決を行う機能を必要とするため、エキスパート・システム構築技法を応用した。これにより、イベント・ツリー解析に係わる知識を組み込み、解析者が会話形式で解析を進める事ができる支援システムを開発することができた。また本システムをループ型高速増殖炉プラントに適用しその有効性を確認した。

今後は、軽水炉等の異なるタイプのプラントにも数多く適用して、その問題点等を洗いだし、より柔軟で適用性が高く、洗練されたシステムに改良していくことがのぞまれる。

## 6. 参考文献

1. Breeding, R.J., Leahy, T.J, and Young, J, 1985. Probabilistic Risk Assessment Course Documentation, NUREG/CR--4350, SAND85-1495; Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
2. American Nuclear Society (ANS) and Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), 1983. PRA Procedures Guide, NUREG/CR-2300, Washington, DC.
3. Parsaya, K, Chignell, M, 1988. Expert Systems For Experts, John Wiley & Sons, Inc. New York.
4. Intelligence Ware, Inc. 1987. Intelligence/Compiler, 9800 S. Sepulveda Blvd., Suite 730, Los Angeles, CA 90045.