

# 地層処分システム隔離性能に関する 稀頻度事象定量化手法の検討(Ⅳ)

## (要 約)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

1996年3月

技 術 資 料		
開示区分	レポ ー ト No.	受 領 日
Σ	J1222 96-005	1996.6.7
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

株式会社 三菱総合研究所

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

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い合わ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

技術協力部 技術管理室

## 地層処分システム隔離性能に関する 稀頻度事象定量化手法の検討 (Ⅳ)

大久保博生\*

### 要 旨

本年度は、まず、稀頻度事象の核種移行への影響解析フレームの全体像を明らかにするため、一例として、火成活動シナリオに対する計算ケースの想定並びに試解析を実施した。また、地震・断層シナリオ及び隆起・侵食シナリオに対するインフルエンス・ダイヤグラム上の境界条件への反映プロセスの検討を行った。

次に、地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響の重要度評価を行うため、専門家の知見を反映するための一般的な評価項目の検討、及び火成活動シナリオに対する具体的な専門家判断の必要項目を例示した。

最後に、既存のデータベースシステムとの結合性を考慮したシナリオ自動展開ツールのビジュアル化機能の追加、さらに、リスク評価やFEPの階層的情報活用への本ツールの適用性についての概略的検討を行った。

---

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：070D0265

事業団担当部課及び担当者：東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

竹安 正則 殿

\* 地球環境研究センター エネルギー・資源研究部

Study of Quantitative Assessment Methods of Events with  
an Extremely Low Frequency of Occurrence Concerning  
Performance of Waste Disposal Isolation System : Part(IV)

Hiroo Ohkubo\*

Abstract

This year, in the first step, in order to clear an overall frame for the consequence analysis of events with an extremely low frequency of occurrence in the groundwater scenario, an illustrated example of assuming calculational cases and the analysis have been demonstrated for the volcanism scenario, while the fault-activation scenario, and uplift and erosion scenario were discussed how to reflect them on the boundary conditions in the influence diagram.

Secondly, for the purpose of evaluating the significance of influence of external events in the groundwater scenario, which items should be prepared for reflecting expert opinions on the scenario analysis was discussed, generally, and then listing up the requisite items of expert judgement for the volcanism scenario.

Finally, considering the connection with the existing data base system, a function of visualization was added to the scenario-generator system developed last year, and the applicability of this tool to risk assessment and handling the hierarchical information system was also discussed.

---

This report is the result of research conducted by Mitsubishi Research Institute, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No.:070D0265

Department, section, and the name of staff in charge:

Masanori Takeyasu, Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development Division, Tokai Works

\* Energy and Natural Resources Dept., Research Center for Environment and Development.

# 目 次

	頁
まえがき .....	1
1. 稀頻度事象とファーフィールドの F E P' s をつなぐ境界条件 .....	3
となるパラメータの変化に着目した地下水シナリオに対する 稀頻度事象の影響の整理	
1.1 火成活動シナリオに対する計算ケースの具体化 .....	3
1.2 地震・活断層シナリオ .....	9
1.3 隆起・侵食シナリオ .....	1 1
2. 専門家の主観的な判断を用いて稀頻度事象の影響を .....	1 5
定量化するための評価項目の抽出	
3. 地下水シナリオ解析システムの検討 .....	1 9
3.1 地下水シナリオ自動展開ツールのビジュアル化 .....	1 9
3.2 シナリオのリスク評価への活用及び F E P の階層的情報 .....	2 0
の明示への活用の検討	
3.3 既存データベースシステムとの結合性の検討 .....	2 2
あとがき .....	2 5
参考文献 .....	2 7

# 表 目 次

	頁
表 1 火成活動シナリオ試解析用ケース例 .....	8
表 2 計算ケース設定に用いた火成活動シナリオ関連事象 の複合的影響 .....	8
表 3 地震・断層シナリオ関連の定量的概念 .....	1 1
表 4 断層運動による水理地質学的影響 .....	1 1
表 5 (1) 隆起・侵食によって生じ得る処分場性能の潜在的な変化 .....	1 3
表 5 (2) 隆起・侵食によって生じ得る処分場性能の潜在的な変化 .....	1 4
表 6 エキスパート判断の必要な項目 .....	1 8
表 7 モデル化の範囲境界（ボーダライン）の例 .....	1 8

# 目 次

	頁
図 1 P S Mを用いたシナリオ解析のステップ .....	3
図 2 Creation of an External Process System Model .....	4
Description of Vulcanism EFEP for Repository	
Process System Model(PSM).	
図 3 ファーフィールドの簡易化されたプロセス・システム .....	5
モデルにおけるインフルエンス・ダイアグラム	
図 4 火成活動 E F E P に対するインフルエンス・ダイアグラム .....	6
図 5 地下水移行シナリオに対する変動解析モデル体系 .....	7
ー各サブモデル例ー	
図 6 全計算ケース及び K - I 基本ケースの全線量率曲線の比較 .....	9
図 7 断層活動 E F E P に対するインフルエンス・ダイアグラム .....	1 0
図 8 隆起・侵食 E F E P に関するインフルエンス・ダイアグラム .....	1 2
図 9 F E P 連鎖の重要度評価のための評価項目の階層化 .....	1 6
図10 シナリオ解析フローにおけるトータル・インフルエンス .....	1 7
・ダイアグラムの位置付け	
図11(1) シナリオ自動展開ツール出力ビジュアル化例 .....	1 9
ー全経路表示ー	
図11(2) シナリオ自動展開ツール出力ビジュアル化例 .....	2 0
ーデータベース情報表示ー	
図12 F E P 連鎖のリスク値を重要度情報として取り扱う概念 .....	2 1
図13 階層的情報のビジュアル化ツールの画面表示 .....	2 2
図14 既存データベースとの結合性を考慮した地下水シナリオ .....	2 3
自動展開ツール及びビジュアル化ツール	

## ま え が き

火成活動、地震活動、断層活動等の稀頻度事象は、高レベル放射性廃棄物の地層処分の解析・評価において考慮される地下水シナリオ、すなわち人工バリア、天然バリアを通じて地下水により核種が生物圏に放出されると考えるシナリオに多様性かつ不確実性を与える。そのため、これらの影響を評価することは、地下水シナリオの評価上重要である。

この地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響を評価するために、本研究では、これまでに、稀頻度事象を考慮にいたした地下水シナリオの相関関係図（インフレンスダイアグラム）の作成、及びそれらの相関関係とモデルあるいはパラメータの対応の検討を行った。また、地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響を定量化することを目的として、専門家の主観的な判断を取り入れ、それを定量化するための手法の検討を行った。さらに、FEP's [特徴 (Features)、影響を及ぼす過程 (Processes)、事象 (Events)] の相関関係に基づいて構築されるシナリオの作成を支援するためのシステム（シナリオ作成支援システム）の検討を行った。これらの知見に基づき、稀頻度事象を考慮したシナリオを具体的に検討・作成していくためには、稀頻度事象とファーフールドのFEP'sをつなぐ境界条件（水理、機械、熱、化学に関係するパラメータ）に着目し、地下水シナリオに対する個々の稀頻度事象の影響を境界条件の変化として整理することが必要である。また地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響を専門家の主観的な判断を用いて定量化することも必要となる。さらに、シナリオ作成支援システムの一部として昨年度試作したシナリオ自動展開ツールの機能追加、FEP'sに関するデータベースシステムとの連結などにより、一連のシナリオ解析をより効率的に行えるシステムを構築することが課題として挙げられる。

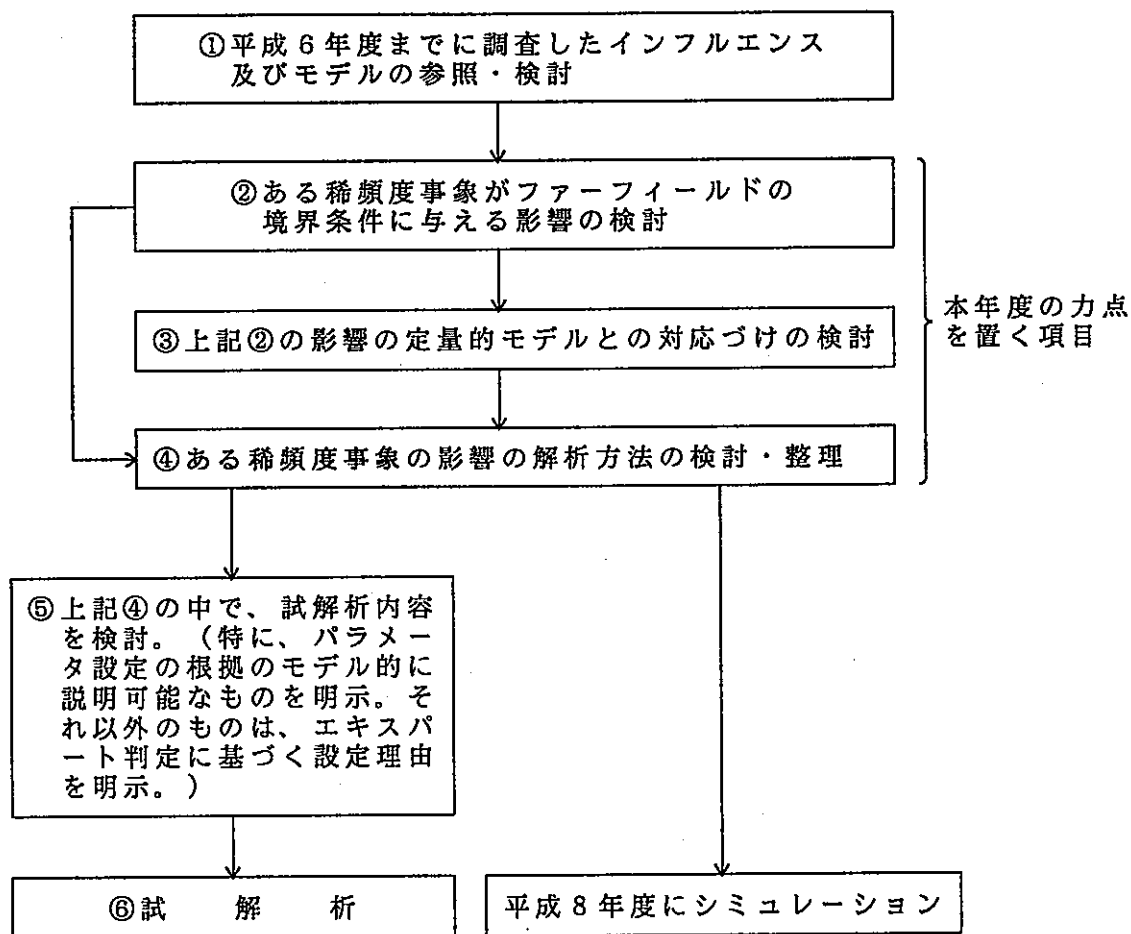
本年度は、稀頻度事象の発生により変化するファーフールドのFEP'sとの境界条件（水理、機械、熱、化学に関係するパラメータ）に着目し、地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響を整理する。また、稀頻度事象の影響に対して専門家の主観的な判断を求める場合に対象となる評価項目の抽出を行う。この際、専門家の主観的な判断を定量化するため、これまでに検討したAHP法を用いること



を念頭に置く。また、これまで検討してきたシナリオ作成支援システムの高度化を含めたシナリオ解析システムの整備・構築のための検討を行う。

よって、我が国の高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に資することを目的とする。

なお、稀頻度事象の影響を評価するための解析フレーム全体像とその中での本年度作業の位置付けの概略を下記に示した。



## 1. 稀頻度事象とファーフィールドの F E P's をつなぐ境界条件となるパラメータの変化に着目した地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響の整理

### 1.1 火成活動シナリオに対する計算ケースの具体化

前年度までに実施している火成活動シナリオ解析のための予備的検討内容<sup>(1)</sup>  
<sup>(2)</sup>や図1をもとに、火成活動が地下水移行に与える影響を計算するまでのプロセスを具体的に実施した。

一般には、F E P 相間行列やEPSMの概念<sup>(4)</sup>（図2参照）をもとに、火成活動を起点とするF E P連鎖を生成するシナリオ自動展開ツールの活用が考えられる。しかし、ここでは図1に示すステップに基づき、まず、図2のP S Mの部分で、4つの境界条件変化のうち処分場システムと直接関連しているもののみ取り出して書き直したインフルエンス・ダイアグラムを図3に、また、火成活動を起点とするE P S Mを図4にそれぞれ示した。

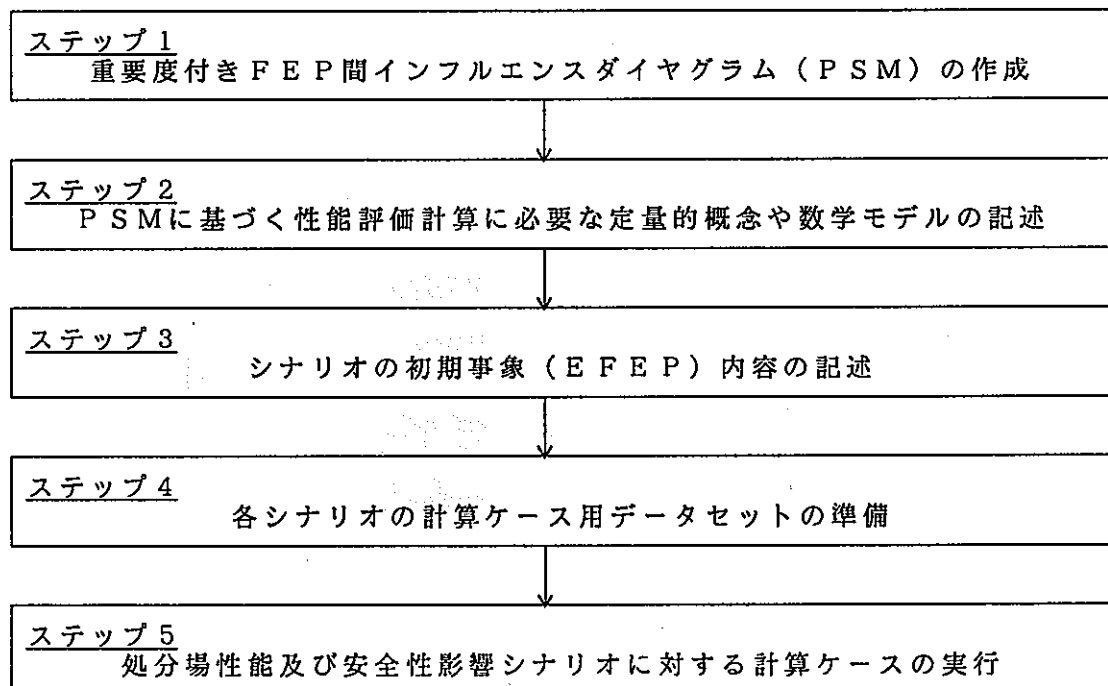


図1 P S M を用いたシナリオ解析のステップ

出典：(4)

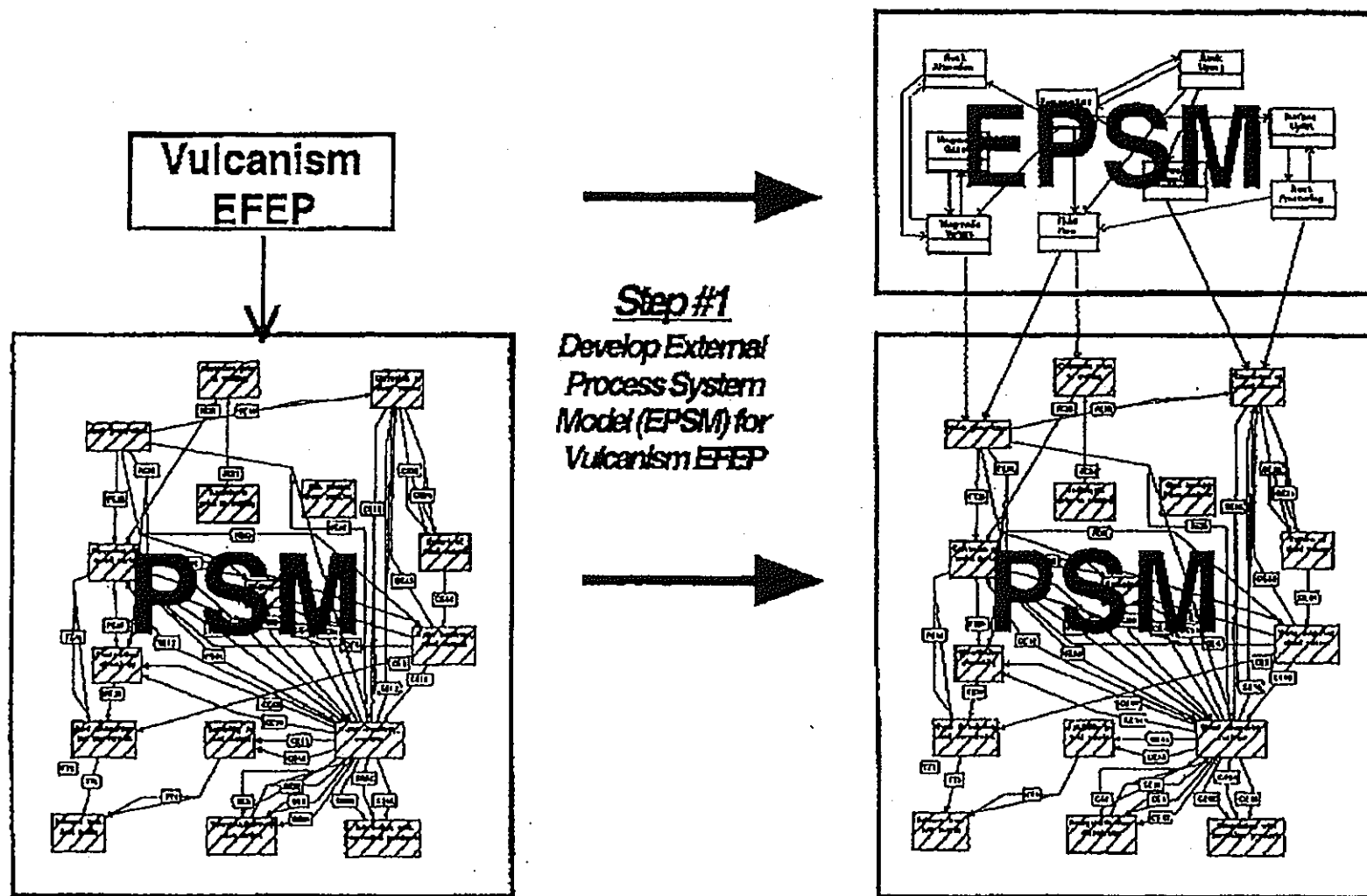


图2 创建 Vulcanism EFEP 的外部过程系统模型描述 (EPSM) 为 Repository Process System Model (PSM)。

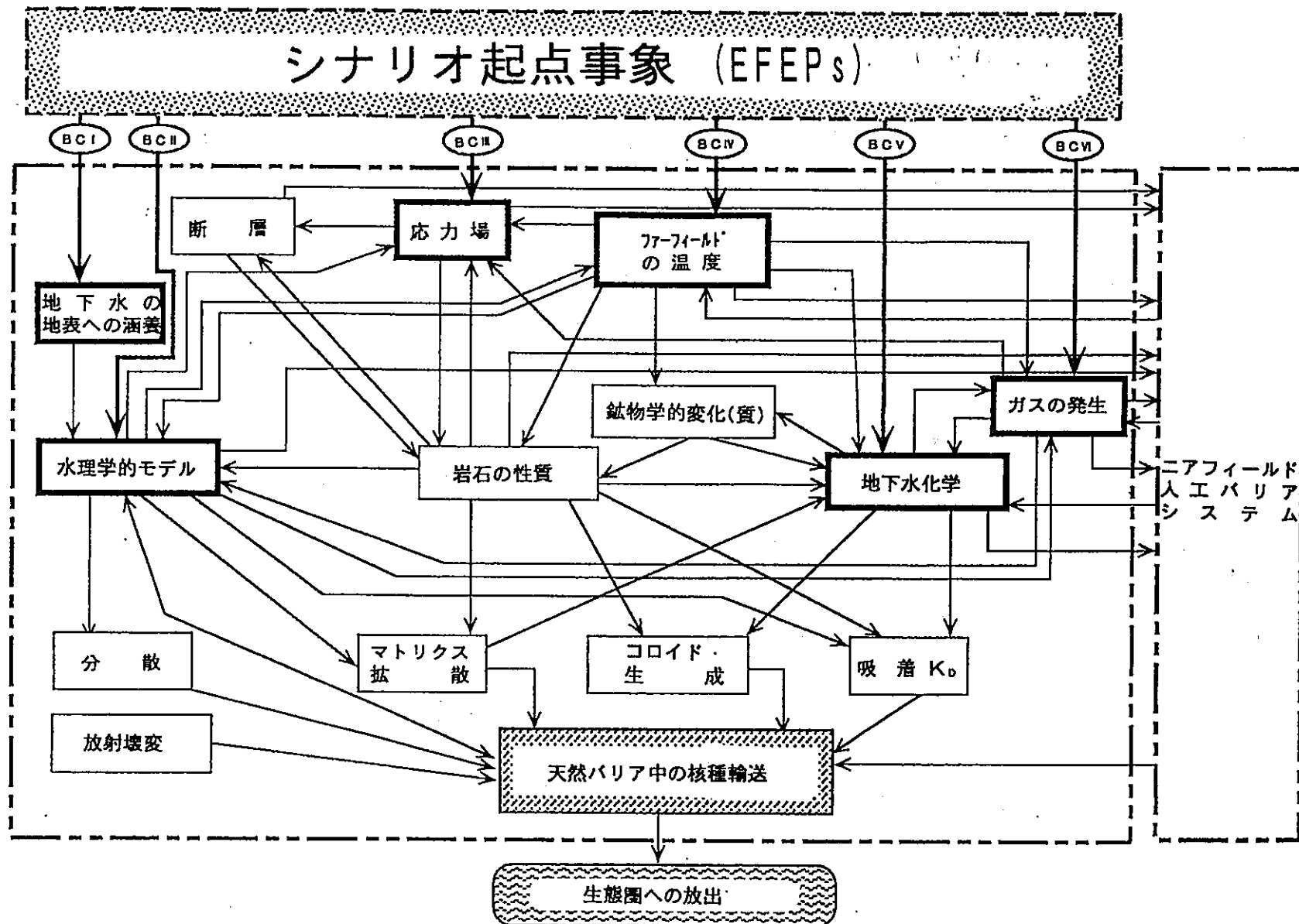


図3 ファーフィールドの簡易化されたプロセス・システム・モデルにおけるインフルエンス・ダイアグラム

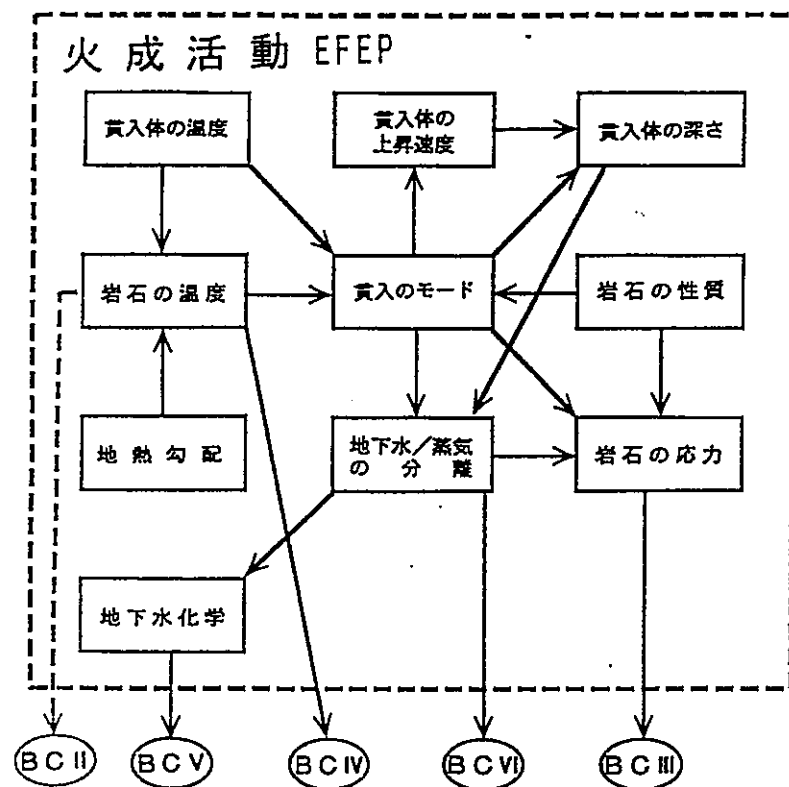


図4 火成活動 EFEP に対するインフルエンス・ダイアグラム

これらのステップに基づき、前年度調査した各 FEP 関連の数学モデル<sup>(3)</sup> から構成し得る解析フレーム全体像の検討を行った（図5参照）。但し、EP SM部の取り扱いに関しては、エキスパート判定の必要なものもあると考えられるため、今回の試解析では EP SM部のモデル解析は対象から外した。

また、今回の具体的な試解析では、

- ・ 廃棄物パッケージ設計や H L W 廃棄物形態の類似点
- ・ Kristallin-I（以下 K-I と略記）情報・データの豊富さ
- ・ スイスで今後百万年間で火成活動が実際に起きることの稀頻度性
- ・ 第3者への信頼感を意識し、基本ケースである H3 レポート以外の情報源を敢えて使うこと

といった観点から、Nagra（スイス）による K-I での検討例<sup>(5)</sup>を参考とした。

計算コードとしては、火成活動がもたらし得る主要な化学及び輸送への影響を算定できる MENTOR<sup>(4)</sup>（Model with an Evolving Near-field and Transport Of Radionuclides）コード（K-I と同じデータを用いてかなり良い精度で一致した

# 核 種 移 行

- ・ 亀裂／マトリクス輸送モデル (ECLIPSE) ... FF24, FF30, FF32, FF35, FF36, FF37, NF27
- ・ 液相／コロイド上核種輸送モデル ... FF34, NF22
- ・ EBS核種輸送モデル (SYVAC (Vaultモデル), STRENG, MESHNOTE, CALIBRE, PAGODA, AREST) ... NF3, NF23, NF21, NF37

## 力 学

- ・ 亀裂伝播モデル ... FF1 (変位不連続法)
- ・ 断層生成モデル (FEMMA, 3DEC, DYNA3D) ... FF2
- ・ 空隙率－応力解析モデル ... FF19, FF20, NF39
- ・ 応力－ずれ等解析モデル (3DEC, ABAQUS) ... NF39

- ・ 熱応力 (FEMMA, 3DEC) ... FF4, NF4
- ・ 熱－岩石特性解析モデル (ECLIPSE500) ... FF18

- ・ オーバーパック機械的損傷 (ABAQUS) ... NF5, NF6

- ・ 水理学的モデル (MODFLOW, TOUGH2, ECLIPSE) ... FF8, FF26, FF38
- ・ 二相流解析モデル (TOUGH2, ECLIPSE) ... FF7

- ・ 熱・質量伝達解析モデル (TOUGH2, ECLIPSE500) ... NF11, NF25

- ・ 熱解析モデル (TOUGH2, ECLIPSE500, HEATING-6, HEATING-5) ... FF5
- ・ 温度伝播モデル (TOUGH2, ECLIPSE500, COYOTE) ... NF2

## 水 理 学

## 熱 学

## 化 学

- ・ 地球化学モデル (PHREEQE, EQ3/6, DISSOL) ... FF6, FF17, NF10
- ・ 空隙水化学／地下水化学モデル (CHECKMATE, ARASE, IDREACT) ... FF10, NF1
- ・ 二層表面錯体モデル (HARPHRQ)／地球化学モデル (PHREEQE, MINEQL, EQ3/6) ... FF11, FF27, NF26
- ・ コロイド生成・移動 (DLVO理論) ... FF12
- ・ 鉱物－水反応経路モデル (PHREEQE, DISSOL, SOLVEQ) ... FF13, FF14, FF16, NF12
- ・ 気体生成／地球化学モデル (EQ3/6, PHREEQE) ... FF15
- ・ 水－岩石相互作用系化学解析モデル (MPATH, CHEMFRONTS, Lichtner ('85, '92)) ... FF23
- ・ コロイド輸送モデル ... FF25
- ・ 腐食反応速度モデル (PHREEQE, EQ3/6, CHEQMATE) ... NF7, NF13, NF14, NF33
- ・ ゲル－水反応モデル (EQ3/6) ... NF9, NF17, NF18
- ・ 溶解度モデル (EQ3/6, PHREEQE) ... NF15

図5 地下水移行シナリオに対する変動解析モデル体系 ー各サブモデル例ー

ことを実証済のもの）を用いた。具体的には表 1 に示すいくつかの変動要因を組み合わせた表 2 のような計算ケースを設定した。また、これらの計算ケースに対応する入力データの設定とその根拠のモデル解析的解釈を概略的に示した。

表 1 火成活動シナリオ試解析用ケース例

<p><u>温度上昇の影響 (BCⅣ)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スメクタイト粘土のイライト化速度の増加に伴う緩衝材性能の劣化</li> <li>・放射性元素の溶解度の増加（但し、25℃～100℃に対するデータの質はあまり良くなく、100℃を越えるデータは皆無に近い）</li> </ul>
<p><u>地下水化学への影響 (BCⅤ)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・錯陰イオンの増加</li> <li>・（特に強酸状態に対する）pHの変化の可能性</li> <li>・（特に酸化状態に対する）酸化還元電位の変化の可能性</li> </ul> <p>これらの影響に対し、計算では 2 組の地下水組成を選定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－高塩化物／中性／低塩水</li> <li>－高硫化物及び高重炭酸塩／酸性／酸化された希釈水</li> </ul>
<p><u>ガス生成への影響 (BCⅥ)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・深部マグマ体に帰因する自由ガス相の生成</li> </ul> <p>従来の 2 相水理学的モデルでは深部の水力学的に飽和しているサイトに対しては適用できないが、火成活動シナリオの評価では必要。しかし、今回の試解析では考えない。</p>
<p><u>応力場への影響 (BCⅢ)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・（本来は、熱－水－応力連成解析を行うところだが、ここでは）地下水流速及び流路の変化に伴うファースフィールドの流れ場における各種パラメータの変化（K-I の基本ケースデータ値からの変動を与える）</li> </ul>

注) ( ) 内の BC… は、図 3 で定義された境界条件変化を意味する。

表 2 計算ケース設定に用いた火成活動シナリオ関連事象の複合的影響

Case Identifier	Far-Field Flow Properties	Backfill Thickness	Dissolution Rate of HLW Glass	Radioelement Solubilities
Base Case	K-1*	K-1	K-1	K-1
A	Altered†	K-1	K-1	K-1
B	Altered	Altered	K-1	K-1
C	Altered	Altered	Altered	K-1
D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub>	Altered	Altered	Altered	Altered

\* "K-1" means data from Kristallin-I report used for these parameters.

† "Altered" means parameters are assumed to be changed by magmatic intrusion.

K-Iの基本ケース及び各計算ケースA～Dに対してMENTORコードで計算した主要放射性核種の線量率及び両者（計算ケースとK-I基本ケース）の全線量率曲線の比較・検討を行った（図6参照）。

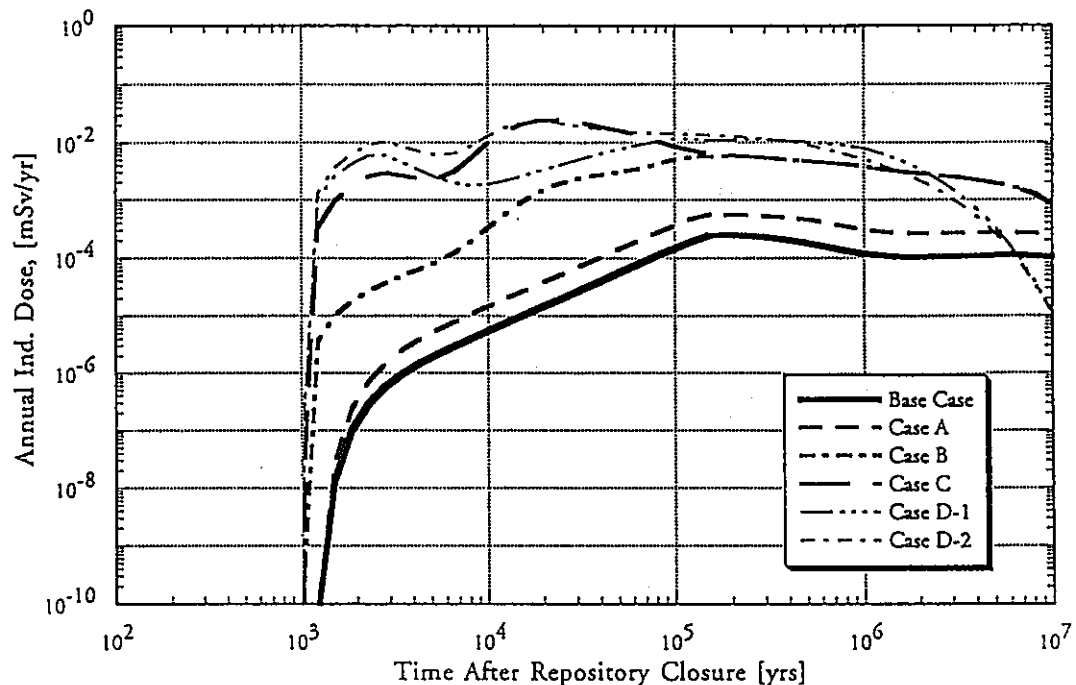


図6 全計算ケース及びK-I基本ケースの全線量率曲線の比較

## 1.2 地震・活断層シナリオ

地震・活断層を起点とするEPSMを図7に示す。

活断層は、他のシナリオ、特に、火成活動及び隆起・侵食によっても引き起こされる。“すでに存在している断層の特性”には、現存する岩石の不連続部の方向や長さ、処分場に対する空間的な位置、移動の時期や変位の履歴、構造地質学、亀裂の鉱物化、等に関する情報が含まれる。火成活動シナリオ同様、サイト特性によって処分場近隣の将来的な活断層発生規模及び頻度を低減もしくは防止し得る。さらに処分場近隣の未検知もしくは特定できない断層も問題となり得る。最終的には、断層運動により、ファーフールドの温度や地下水化学の変化に至る可能性も考えられるが、非常に低い影響と考えられるので、ここでは検討対象が



ら除いた。

本調査では、断層・地震シナリオ関連の定量的概念とそれらの関係式等を検討した。その結果を表3に示す。また、断層運動による水理地質学的影響の調査結果を表4のように整理して示す。

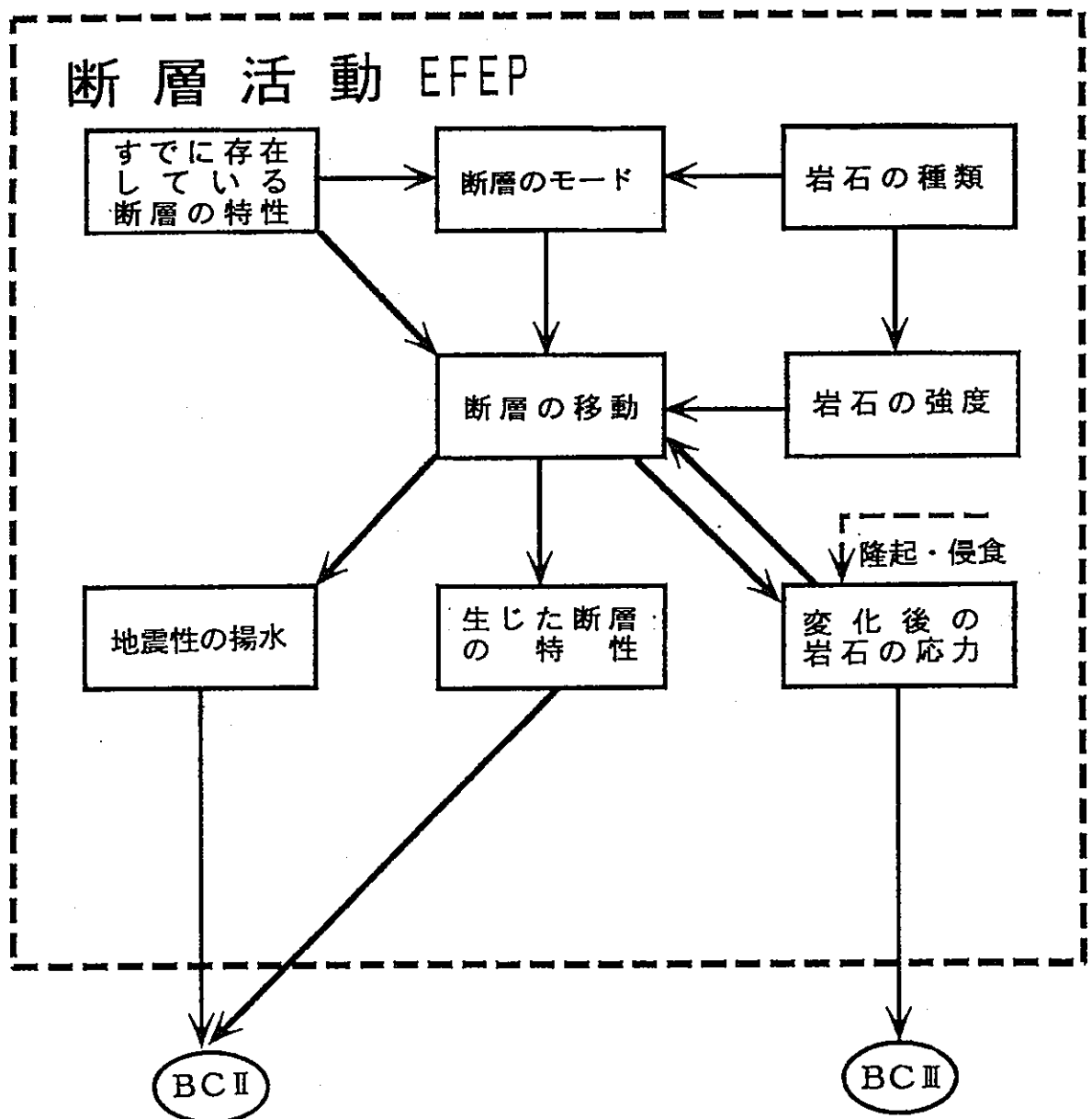


図7 断層活動EFEPに対するインフルエンス・ダイアグラム

表3 地震・断層シナリオ関連の定量的概念

- 最大地震滑動と破断長さ
- 最大有限移動と断層全長
- 断層に関する地震活動度
- 地震破断規模と頻度分布
- 地震で発生する応力レベルと応力サイクルのパターン
- 大規模地震に対比し得る剪断応力
- 断層運動発生頻度
- 断層活動の程度 ( $10^3$ /年に動く規模 EX. 1 cm～数 m)  
と地震再発間隔→地震再発間隔と地震生成活断層長さ及び滑動率
- 地震断層の長さ、移動量と地震規模 (マグニチュード)
- 地震モーメント (断層移動、総断面積等) と地震性活断層の長さ
- 地震リスク

表4 断層運動による水理地質学的影響

- 振動による水圧伝導率の変化
- 地震揚水  
ダイラタンシー／拡散モデル  
震源域の圧壊による一過性の相当量の水の流出、流体揚水モデルと  
断層バルブ・モデル
- 等震歪モデル
- 地下水面上昇
- 間隙圧の変化
- 透水性の増大
- 水圧特性の循環 (断層特性のヒステリシスに伴う)

### 1.3 隆起・侵食シナリオ

図8には、隆起・侵食を起点とするEPSMを示す。“隆起のモード”とは、日本列島の構造地質上の要因で、隆起の連続性 (定常／エピソード (EX. 河岸段丘)) や隆起の原因 (EX. マグマ溜りの反跳、膨張など) を示す。境界条件に与える影響の他に非常に重要な事象として、地圏中の輸送経路の短縮化が指摘し得る。確かに、100万年の間に処分場が地表に露出することは完全には否定できないだろう。

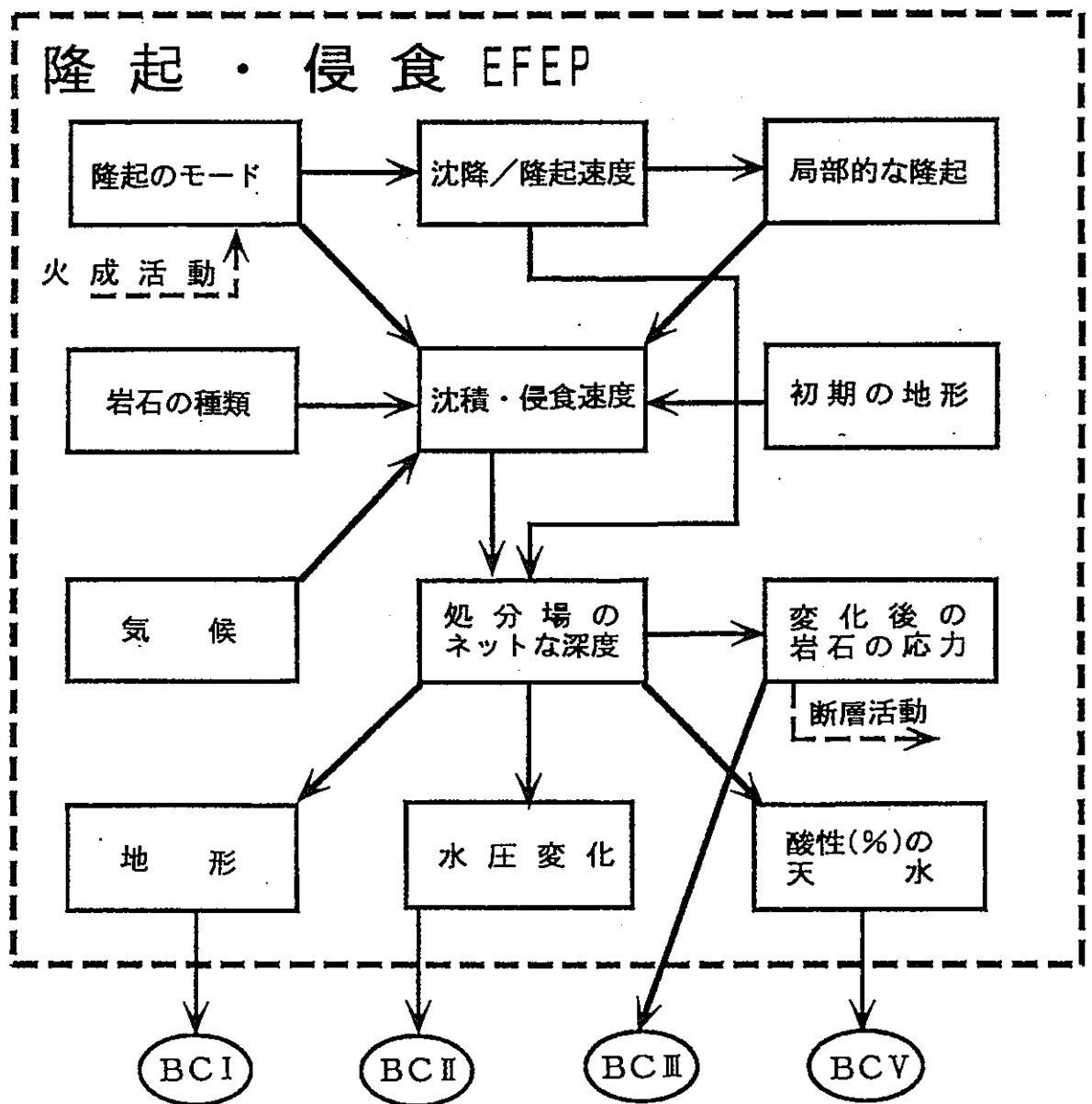


図 8 隆起・侵食 EFEP に関するインフルエンス・ダイアグラム

本調査で検討した隆起・侵食シナリオにおける処分場性能の水理学、熱学、化学、力学的な潜在的变化を整理したものを表5に示す。

表5(1) 隆起・侵食によって生じ得る処分場性能の潜在的な変化

パラメータ	変化の内容（原因等）
水 理	
岩石の空隙率	以下の原因による岩石空隙率の変化 a) 岩石の過負荷からの解放 b) 地表水の深部への循環による亀裂鉱物の溶解／沈澱
平均透水係数	以下の原因による平均透水係数の変化 a) 岩石の過負荷からの解放 b) 地表水の深部への循環による亀裂鉱物の溶解／沈澱
亀裂生成頻度	岩石の過負荷からの解放による新しい亀裂の生成
亀 裂 の 開 口	以下の原因による亀裂開口（及び流体の濡れ表面積）の変化 a) 岩石の過負荷からの解放 b) 地表水の深部への循環による亀裂鉱物の溶解／沈澱
動 水 勾 配	地表の上昇と地形の変化による動水勾配の増加
処 分 場 深 度	隆起・侵食速度の関数として、処分場深度の経時的低下

表 5 (2) 隆起・侵食によって生じ得る処分場性能の潜在的な変化

パラメータ	変化の内容（原因等）
温 度	処分場深度の低下に伴う温度の増加
化 学	
pH	岩石・緩衝材系での電荷バランス上で示されるpH値の増加
Eh	酸性の地表水の深部への循環によるEh値の増加
陽イオン濃度	a)初期の地表水が薄い天水と混合することによる陽イオン濃度の低下 b)初期の地表水が相対的に濃度の高い海水と混入することによる陽イオン濃度の増加
陰イオン濃度	a)初期の地表水が薄い天水と混合することによる陰イオン濃度の低下 b)初期の地表水が相対的に濃度の高い海水と混入することによる陰イオン濃度の増加
力学的安定性	
緩衝材の侵食	粘土粒子の除去による緩衝材サイズの減少
緩衝材の透水性	以下の原因による透水性の増加 a)侵食による粘土の除去 b)変化した地下水との反応による化学的変化
オーバーバックの位置	緩衝材の質量と耐性容量の減少に伴うオーバーバックの沈下
処分孔の破壊 （高速流路）	以下の原因による透水性の増加 a)侵食による粘土の除去 b)変化した地下水との反応による化学的変化 c)力学的負荷の解放
立坑の破壊 （高速流路）	以下の原因による透水性の増加 a)侵食による封鎖物の除去 b)力学的負荷の解放

## 2. 専門家の主観的な判断を用いて稀頻度事象の影響を定量化するための評価項目の抽出

H L W処分性能評価プロセスにおけるエキスパート・オピニオンの反映のしかたとして、インフルエンス・ダイアグラム上の各F E P連鎖の重要度をA H P法<sup>(6)</sup>などの主観的評価手法の援用によって求めることの適切さについては、既にH 4年度<sup>(1)</sup>, H 5年度<sup>(2)</sup>の報告書で述べた通りである。

そこで、本研究では、次のステップとして、A H P法を適用することを念頭において、まず一般的な評価項目の検討・設定を行い、さらに第1章などの調査結果を基に具体的な評価項目の検討・設定を行った。

まず、一般的な評価項目を検討し、図9に示すような階層的な整理を行った。

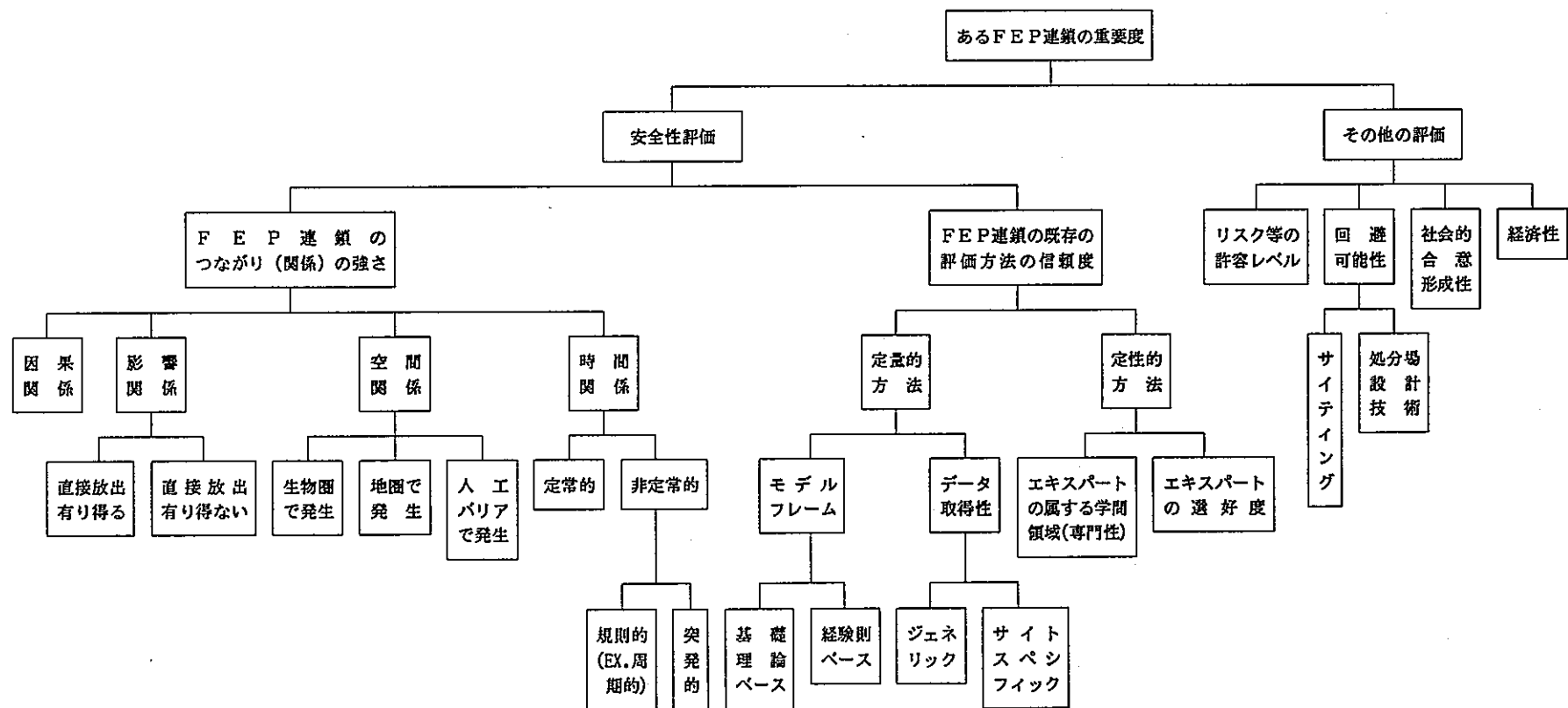


図9 FEP連鎖の重要度評価のための評価項目の階層化

次に、第1章で試解析した火成活動シナリオに対する評価プロセスを念頭に置きつつ、エキスパート判断の役割や位置付けを明らかにするため、本研究でのシナリオ解析フレームの全体像（図10参照）を検討した。

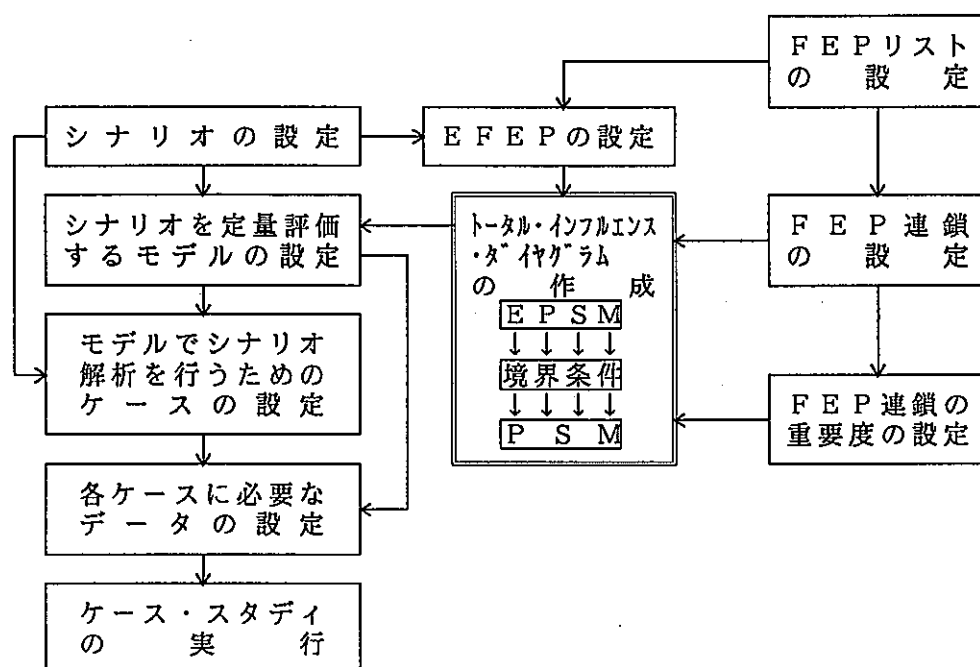


図10 シナリオ解析フローにおけるトータル・インフルエンス・ダイアグラムの位置付け

このシナリオ解析フレームにおいて、エキスパート判断が求められる項目を検討し、その結果を表6に示した。特に今回の試解析の対象となった火成活動シナリオの場合で、モデル化を行うべきかどうかのボーダーラインとなり得る例を表7に示した。



表6 エキスパート判断の必要な項目

- モデル化の範囲
  - EX. E F E P 自身の発生メカニズム
- モデル化の範囲でもモデル解析不能なF E P連鎖
- モデル化の範囲でモデル解析可能なF E P連鎖でも
  - －モデルの適切性
  - －データの適切性
  - －解析結果の妥当性

表7 モデル化の範囲境界（ボーダライン）の例

- 火山岩形成モデル
- マグマ溜り規模推定モデル
- マグマ結晶作用のモデル化 → 活動期間推定
- 噴火経路物理モデル
  - （マグマの粘性、火道の大きさ、火道上の溶岩の厚さ等を反映）
- マグマ溜り進化モデル → 進化のタイム・スケール推定
- マグマ溜りの温度、組成変化等ダイナミクス
- 火山性脈動、発生メカニズムのモデル
  - （割れ目に沿ったマグマ移動） → 微動発生条件
- マグマ揮発成分の化学・物理連成モデル
- 貫入マグマ量、熱流量推定モデル
- マグマ上昇、噴出プロセス（熱、流体力学）モデル

### 3. 地下水シナリオ解析システムの検討

#### 3.1 地下水シナリオ自動展開ツールのビジュアル化

前年度に試作した地下水シナリオ自動展開ツールの情報をファイルへ出力可能なように改良した。さらに、3.3節の検討結果を踏まえ、ビジュアル表示が可能な言語を用いて出力された情報を読み込み、ビジュアル表示するプログラムを作成した。その一例を図11(1)(2)に示す。

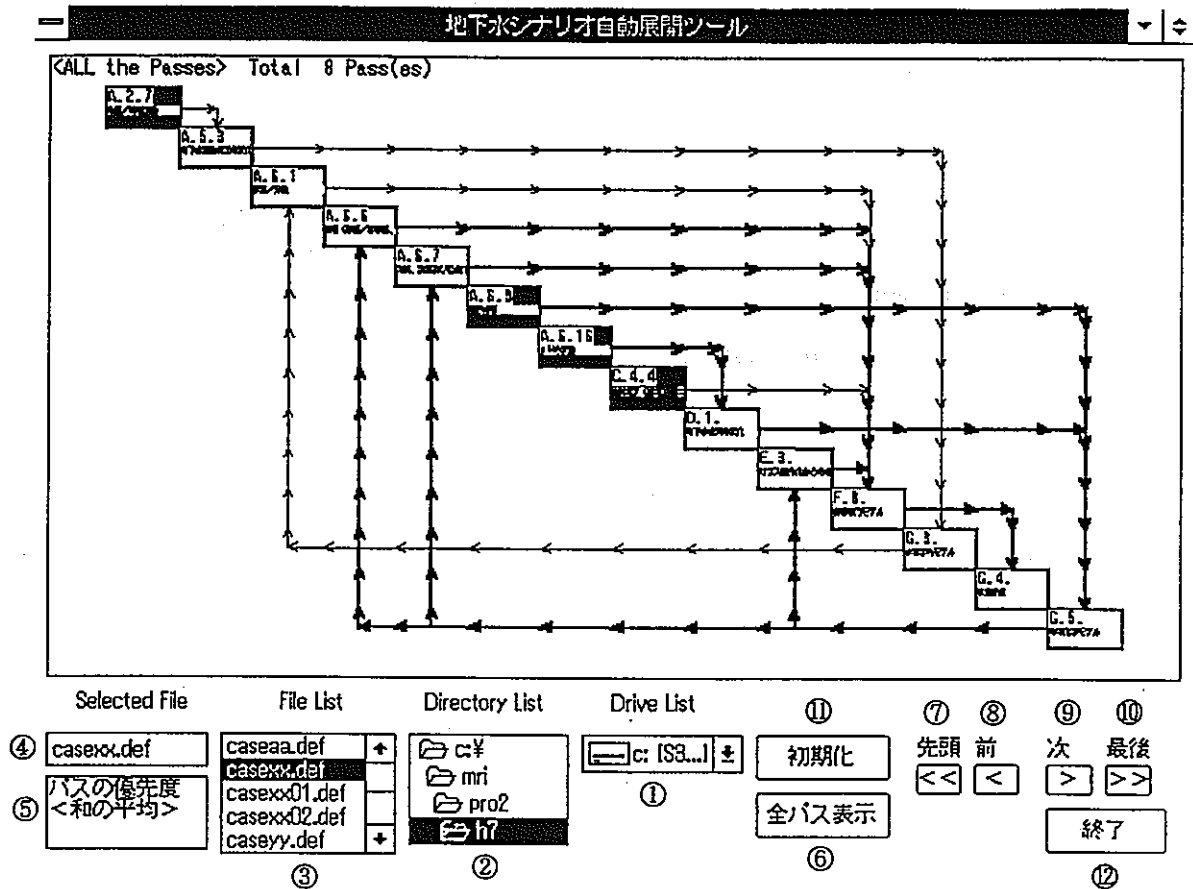


図11(1) シナリオ自動展開ツール出力ビジュアル化例  
－全経路表示－

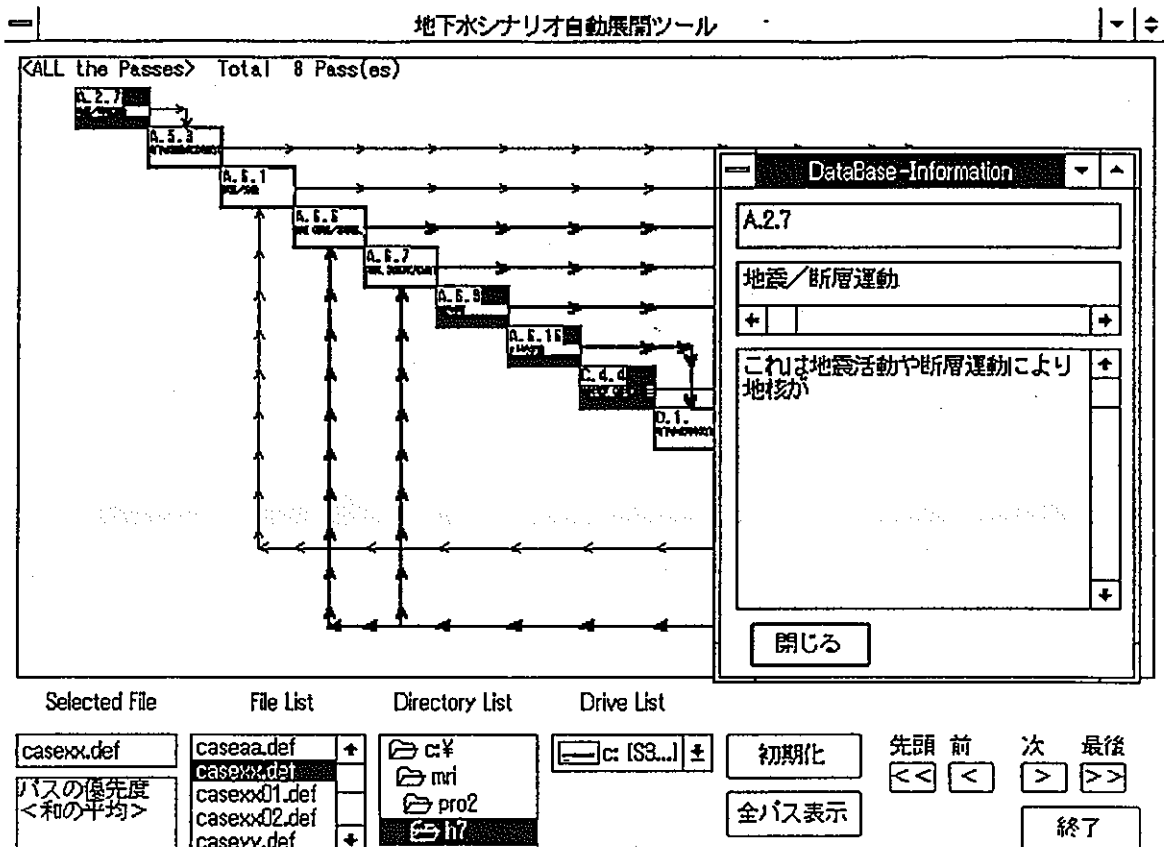


図11(2) シナリオ自動展開ツール出力ビジュアル化例  
ーデータベース情報表示ー

### 3.2 シナリオのリスク評価への活用及びF E Pの階層的情報の明示への活用 の検討

H L W処分リスク評価を安全評価の観点から行うためには、まず、地下水移行シナリオをF E P連鎖をもとに作成した後、各シナリオのリスクを求めるために、そのシナリオに関与するF E P（連鎖）の発生確率とその影響（F E P連鎖の場合にはそれらのシリーズ）とを計算した結果を情報として与える必要がある。その情報は、前年度作成したシナリオ自動展開ツールの中では、各F E P（又はパラメータ）連鎖間の重要度の一種として取り扱うことが可能である。その概念を図12に示す。

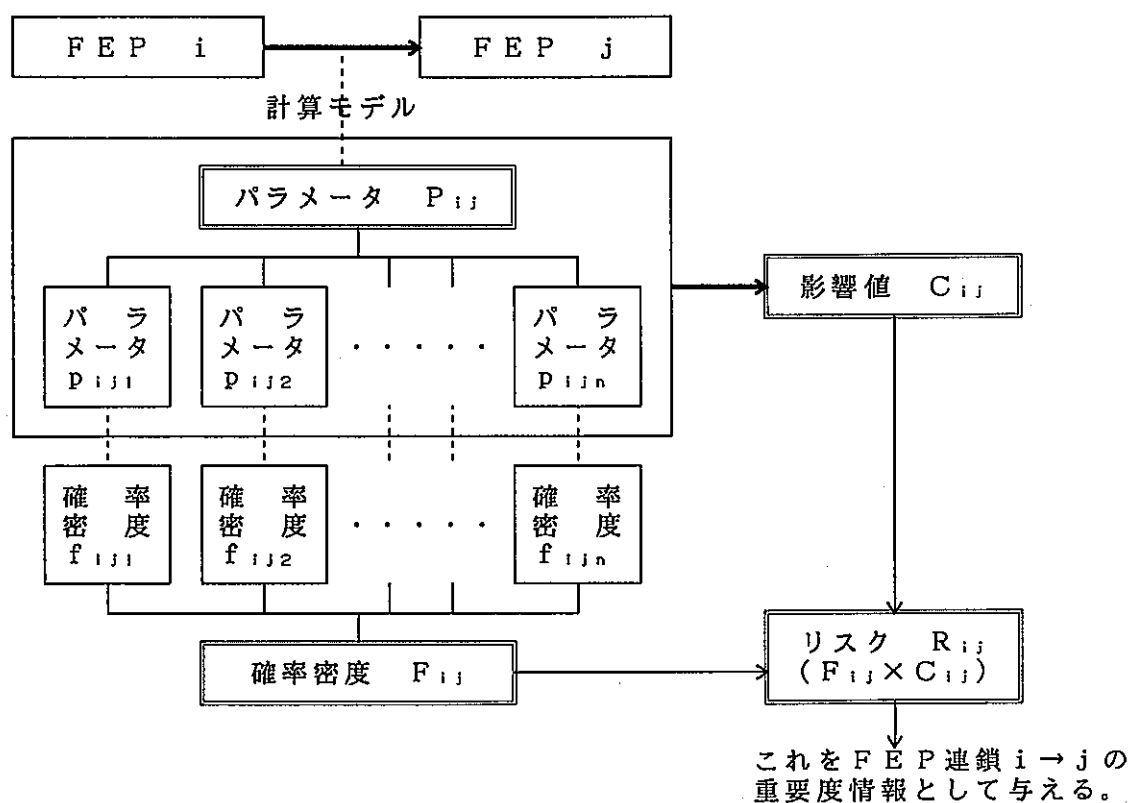


図12 FEP連鎖のリスク値を重要度情報として取り扱う概念

次に、シナリオ解析で対象とするFEPをいくつかの視点から階層化しておき、その最上位レベルに対するFEP（ここではスーパーFEPと呼ぶことにする）のみを入力マトリクスの対角成分に、それ以外の下位に属する任意の2つのスーパーFEP（ここではサブFEPと呼ぶことにする）間の情報をその2つのスーパーFEPの行と列を要素とする交叉部に表示できるようなシステムの概念（図13参照）を検討した。このシステムでは、前年度<sup>(3)</sup>に検討した各FEPに関連するパラメータ同士の連鎖を扱うことも可能である。

ー	地下水自動展開ツールのビジュアル化（２）				▼	▲																									
〈All the Passes〉 Total X Pass(es)																															
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">A</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">X</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">D</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">F</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">Z</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">G</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">J</td> </tr> </table>							A		X				D						F		Y	Z			G						J
A		X																													
	D																														
		F		Y																											
Z			G																												
				J																											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Selected File</span> <span>FileList</span> <span>DirectoryList</span> <span>DriveList</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">           パスの優先度         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">           1 へ         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">           終了         </div> </div>																															

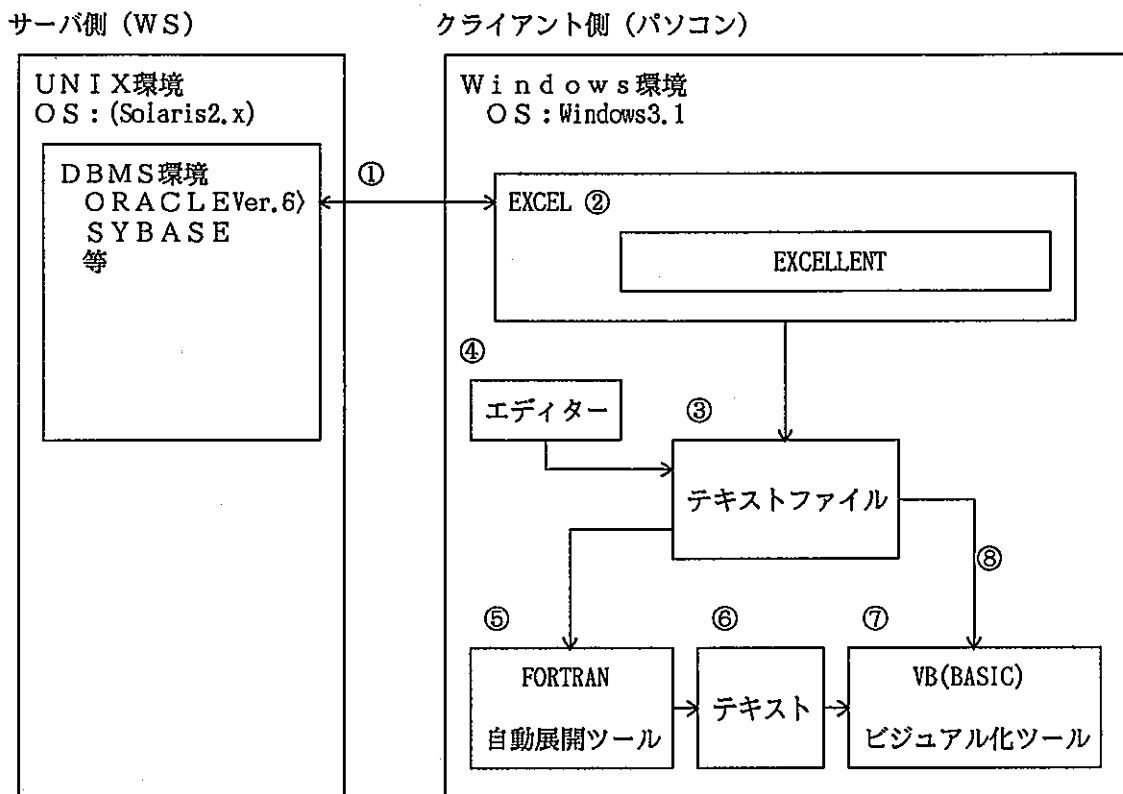
図13 階層的情報のビジュアル化ツールの画面表示

### 3.3 既存データベースシステムとの結合性の検討

地下水シナリオ自動展開ツールと既存データベースシステムとの結合方法について、リンク方法とその特徴、メリット・デメリットを検討した。

まず、データベースやビジュアル化ツールの環境であるGUIやコンピュータの動向を検討し、次に、HLWシナリオ解析支援システムの構築について検討した。

その結果、3.1節で作成したビジュアル化ツールを既存のデータベース情報とリンクすることが図14に示すように可能であることが明らかとなった。



- ①イーサネットLAN方式でTCP/IP通信プロトコルを使用した通信ソフトを使用する。
- ②表計算ソフトEXCELのADD INソフトとしてEXCELLENTを使用し、UNIX上のRDB (ORACLE, SYBASE, Informix, Ingres, ADABAS)に対してアクセスし、EXCELのワークシート上にデータを貼り付ける。
- ③EXCELのワークシート上のデータをEXCELのテキストファイル変換機能を使用してテキストファイルへ変換する。
- ④地下水自動展開ツールに必要な③以外のデータを作成する。
- ⑤FORTRAN言語を用いて開発した地下水自動展開ツールでシナリオを自動展開する。
- ⑥自動展開ツールの計算結果である。
- ⑦VisualBasic言語を用いて地下水自動展開ツールの結果をビジュアル表示する。
- ⑧ビジュアル化した画面上のFEP (連鎖) をクリックすることにより付随する情報をテキストファイルより抽出 (間接的なDB内のデータの参照)

図14 既存データベースとの結合性を考慮した地下水シナリオ自動展開ツール及びビジュアル化ツール

# あ と が き

本年度の実施内容は、以下の通りである。

- (1) 前年度までに検討している火成活動シナリオに対し、影響解析の全体像を明らかにするとともに具体的な核種移行計算までの影響解析手順の検討を実施した。また、火成活動以外のシナリオとして、地震・断層、隆起・侵食を起点とするシナリオの概略的検討を行った。
- (2) (1)の検討結果を踏まえ、本研究での、シナリオ解析に専門家の知見を反映するための評価項目の検討を行った。
- (3) 前年度に試作したシナリオ自動展開ツール出力のビジュアル化機能を、既存のデータベース情報との結合性の検討結果を踏まえた上で、具体的に追加した。また、リスク評価やF E Pの階層的情報の明示への活用の本ツールの適用性についての概略的検討（概念設計等）を行った。

今後の課題としては、火成活動シナリオの影響に対する具体的な解析、他の稀頻度事象を起点とするシナリオについての影響解析手順の検討と試解析の実施、火成活動シナリオで定量的な評価が困難な評価項目に対する専門家知見の反映、また、以上の検討結果を通じた影響解析フレーム全体像の整理、本年度検討したデータベース及びF E Pの階層的情報の明示への活用を前提としたシナリオ自動展開ツールの改良、などが考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) (株)三菱総合研究所  
「地層処分システム隔離性能に関する稀頻度事象定量化手法の検討(Ⅰ)」  
PNC委託研究成果報告書、PNC ZJ1222 93-001(1993).
- (2) (株)三菱総合研究所  
「地層処分シナリオ隔離性能に関する稀頻度事象定量化手法の検討(Ⅱ)  
ー地下水シナリオの変動に関する概略的検討ー」 PNC委託研究成果報告書、  
PNC ZJ1222 94-001 (1994).
- (3) (株)三菱総合研究所  
「地層処分シナリオ隔離性能に関する稀頻度事象定量化手法の検討(Ⅲ)  
ー地下水シナリオの変動のモデル化に関する概略的検討ー」  
PNC委託研究成果報告書、PNC ZJ1222 95-001 (1995).
- (4) M. Apted et al. : 「Process System Modeling of Volcanism, Fault-  
Activation, and Uplift and Erosion Scenarios」 QSI-9524-1, Feb.(1996).
- (5) Nagra : 「Kristallin-I, Safety Assessment Report」 Technical Report  
93-22, July (1994).
- (6) 刀根 : 「ゲーム感覚意思決定法－AHP入門－」 日科技連(1986).



Study of Quantitative Assessment Methods of Events with  
an Extremely Low Frequency of Occurrence Concerning  
Performance of Waste Disposal Isolation System : Part(IV)

(Summary)

(REPORT ON RESULT OF PNC-COMMISSIONED RESEARCH)

March, 1996

Mitsubishi Research Institute, Inc.

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.

Please contact about this paper as follows below:

Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management  
Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation  
9-13, 1-chome, Akasaka , Minato-ku, Tokyo 107, Japan

Study of Quantitative Assessment Methods of Events with  
an Extremely Low Frequency of Occurrence Concerning  
Performance of Waste Disposal Isolation System : Part(IV)

Hiroo Ohkubo\*

Abstract

This year, in the first step, in order to clear an overall frame for the consequence analysis of events with an extremely low frequency of occurrence in the groundwater scenario, an illustrated example of assuming calculational cases and the analysis have been demonstrated for the volcanism scenario, while the fault-activation scenario, and uplift and erosion scenario were discussed how to reflect them on the boundary conditions in the influence diagram.

Secondly, for the purpose of evaluating the significance of influence of external events in the groundwater scenario, which items should be prepared for reflecting expert opinions on the scenario analysis was discussed, generally, and then listing up the requisite items of expert judgement for the volcanism scenario.

Finally, considering the connection with the existing data base system, a function of visualization was added to the scenario-generator system developed last year, and the applicability of this tool to risk assessment and handling the hierarchical information system was also discussed.

---

This report is the result of research conducted by Mitsubishi Research Institute, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No.:070D0265

Department, section, and the name of staff in charge:

Masanori Takeyasu, Geological Isolation Technology Section, Waste  
Technology Development Division, Tokai Works

\* Energy and Natural Resources Dept., Research Center for Environment  
and Development.

## 地層処分システム隔離性能に関する 稀頻度事象定量化手法の検討（Ⅳ）

大久保博生\*

### 要 旨

本年度は、まず、稀頻度事象の核種移行への影響解析フレームの全体像を明らかにするため、一例として、火成活動シナリオに対する計算ケースの想定並びに試解析を実施した。また、地震・断層シナリオ及び隆起・侵食シナリオに対するインフルエンス・ダイアグラム上の境界条件への反映プロセスの検討を行った。

次に、地下水シナリオに対する稀頻度事象の影響の重要度評価を行うため、専門家の知見を反映するための一般的な評価項目の検討、及び火成活動シナリオに対する具体的な専門家判断の必要項目を例示した。

最後に、既存のデータベースシステムとの結合性を考慮したシナリオ自動展開ツールのビジュアル化機能の追加、さらに、リスク評価やFEPの階層的情報活用への本ツールの適用性についての概略的検討を行った。

---

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：070D0265

事業団担当部課及び担当者：東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

竹安 正則 殿

\* 地球環境研究センター エネルギー・資源研究部

## TABLE OF CONTENTS

Foreword .....	1
1. Arrangement on Influences of Events with an Extremely Low Frequency of Occurrence in the Groundwater Scenario by Changing the Boundary Conditions such as Parameters Connecting the Initial Events and FEP's in the Far Field .....	3
1.1 Trial of Calculation for Volcanism Scenario .....	3
1.2 Fault-Activation Scenario .....	1 1
1.3 Uplift and Erosion Scenario .....	1 3
2. Selection of Items for Quatifying Influence of Events with an Extremely Low Frequency of Occurrence by Using Expert Judgment .....	1 6
3. Discussion on the Groundwater Scenario Analysis System .....	2 0
3.1 Visualization of the antomatic tool generating the groundwater scenario .....	2 0
3.2 Discussion on the Applicability of Scenario Analysis to a Risk Assessment and a Display of Hierarchical Information of FEP .....	2 1
3.3 Discussion on the Connection to an Existing Data Base System .....	2 3
Afterword .....	2 5
References .....	2 7

## CONTENTS OF TABLES

Table 1	Example of the Cases for a Trial Calculation of -----	9
	Volcanism Scenario	
Table 2	Cumulative Impacts of a Volcanism Event Used -----	1 0
	to Define Calculational Cases	
Table 3	Quantitative Concept associated with Earthquake -----	1 2
	and Fault-Activation Scenario	
Table 4	Hydrogeological Effects accompanying Fault Movement -----	1 3
Table 5(1)	Potential Changes in Repository Performance -----	1 4
	Arising from Uplift and Erosion.	
Table 5(2)	Potential Changes in Repository Performance -----	1 5
	Arising from Uplift and Erosion.	
Table 6	Requisite Items for Expert Judgement -----	1 9
Table 7	An Example of the Boundary out of Modeling -----	1 9

## CONTENTS OF FIGURES

Figure 1	Step of Scenario Analysis Using Process System Model	4
Figure 2	Creation of an External Process System Model Description of Vulcanism EFEP for Repository Process System Model(PSM)	5
Figure 3	Influence Diagram of Simplified Process System Model for the Far Field	6
Figure 4	Influence Diagram for the Vulcanism EFEP (External FEP)	7
Figure 5	Models already investigated in H6 report to analyze the alternative scenarios in the groundwater migration scenario	8
Figure 6	Summary Comparison of Total Dose-Rates Curves of All Computational Cases and Kristallin-I Base Case	10
Figure 7	Influence Diagram for the Fault-Activation EFEP	12
Figure 8	Influence Diagram for the Uplift and Erosion EFEP	14
Figure 9	A Hierarchical Representation of General Items for Assessing the Significance of FEP Chain	17
Figure 10	Concept of Total Influence Diagram in the Scenario Analysis Flow	18
Figure 11(1)	An Example of Visualization of Output from Improved Scenario Generator — Display of All the Passes —	20
Figure 11(2)	An Example of Visualization of Output from Improved Scenario Generator — Display of Date Base Information —	21
Figure 12	A Concept of Treating the Value of Risk of FEP Chain as an Information of Significance	22
Figure 13	Concept of a Display of Visualization Tool for Hierarchical Information Data	23
Figure 14	Scenario Generator and Visualization Tool Linked to an Existing Data Base	24

## Foreword

Events with an extremely low frequency of occurrence such as volcanism, earthquake and fault-activation etc. are considered to be important in the assessment of groundwater scenario since they may cause variety and uncertainty to the groundwater scenario.

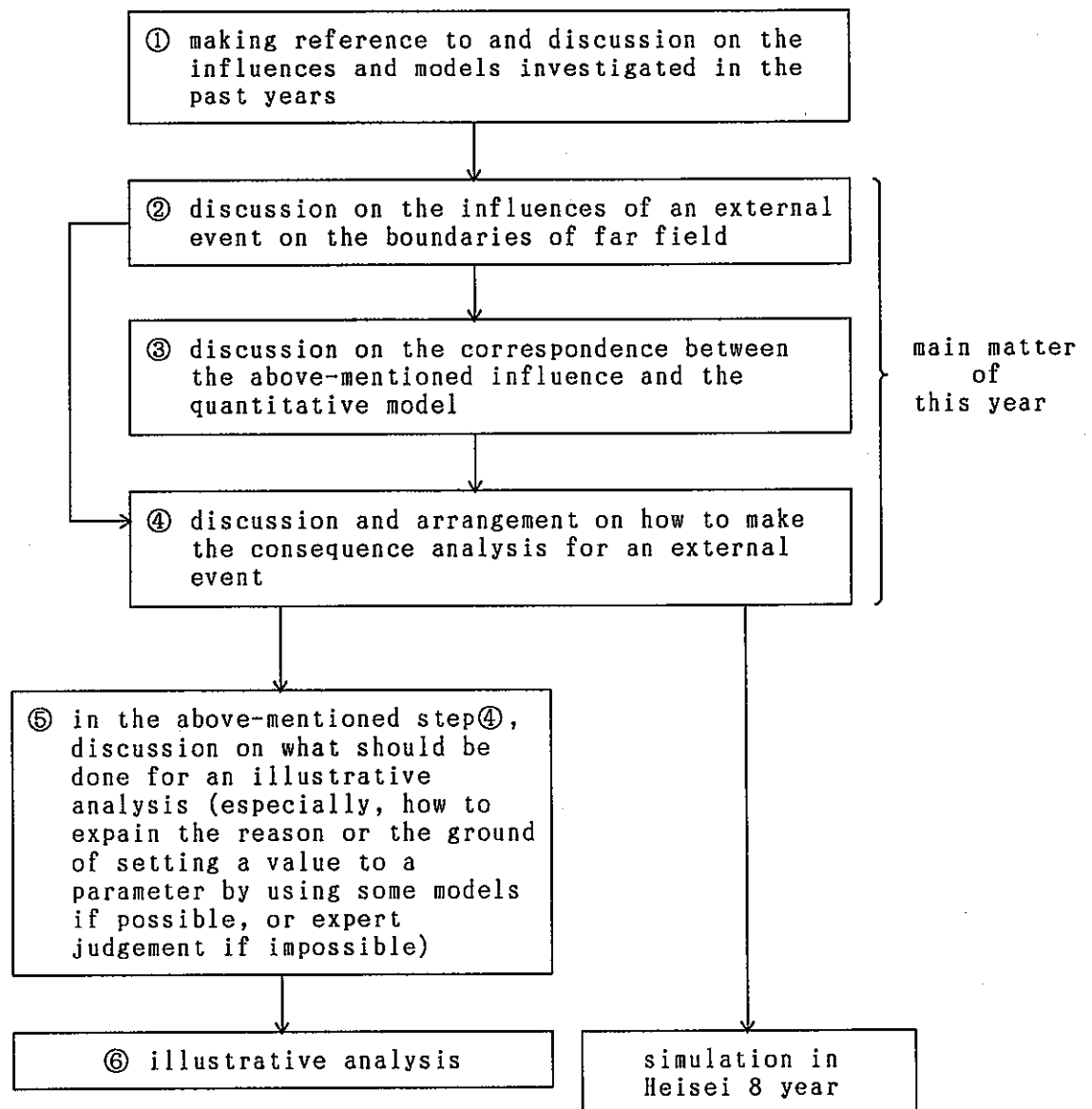
In the past years, to evaluate the influences caused by them on the groundwater scenario, the influence diagram representing the correlations among FEP's (features, events, processes) and parameters has been discussed, and it has been discussed how to deal with the subjectivity of experts for the quantification of them. Further, scenario-generator system has been discussed in order to support to construct the scenarios using the correlation among FEP's. Concretely, it is necessary to arrange these influences as the changes of hydrological, mechanical, thermal and chemical boundary conditions to combine them with far-field FEP's. It may be also necessary to quantify them with the aid of expert opinions. And it is said to be a matter to develop an integrated system to promote a more efficient scenario analysis, by improving the pilot scenario-generator tool developed last year and connecting it with a data base system.

This year, the first matter is to arrange the influences of events with an extremely low frequency of occurrence on the above-mentioned boundary conditions. The second matter is to list up the items for the expert judgment, based on the AHP's framework. And the third matter is to discuss on how to arrange and construct the scenario analysis system including the advancement of the scenario-generator system.

Through these efforts, this report aims to contribute to the performance assessment of Japan's HLW disposal.



Further, a flowchart is described as below to show the total steps for evaluating influences of events with an extremely low frequency of occurrence, and to clear the main matters of this year in this flowchart.



# 1. Arrangement on Influences of Events with an Extremely Low Frequency of Occurrence in the Groundwater Scenario by Changing the Boundary Conditions such as Parameters Connecting the Initial Events and FEP's in the Far Field

## 1.1 Trial of Calculation for Volcanism Scenario

Referring to the preliminary studies for the analysis on volcanism scenario<sup>(1)(2)</sup> and Figure 1, a process to the calculation for volcanism scenario (indirect release case) was illustrated. Generally, it might be better to use the scenario generator tool which can generate FEP's chains initiated by volcanic activity, based on the concepts such as FEP's correlation matrix and EPSM (External Process System Model)<sup>(4)</sup> (see Figure 2). But, in this study, according to the steps shown in Figure 1, first of all, as a part of PSM(Process System Model), influence diagram with the FEPs directly related to changes in the four boundary conditions was rewritten in Figure 3, while a part of EPSM initiated by volcanic activity was shown in Figure 4.

Based on these steps, a total image of analytical framework, which could be constructed by using (or combining) some mathematical models for FEP's as investigated in the last year<sup>(3)</sup>, has been discussed (see Figure 5). In this illustrative analysis, however, the modeling of EPSM part has not been done, because the analysis of EPSM part would entail an elicitation of expert judgements.

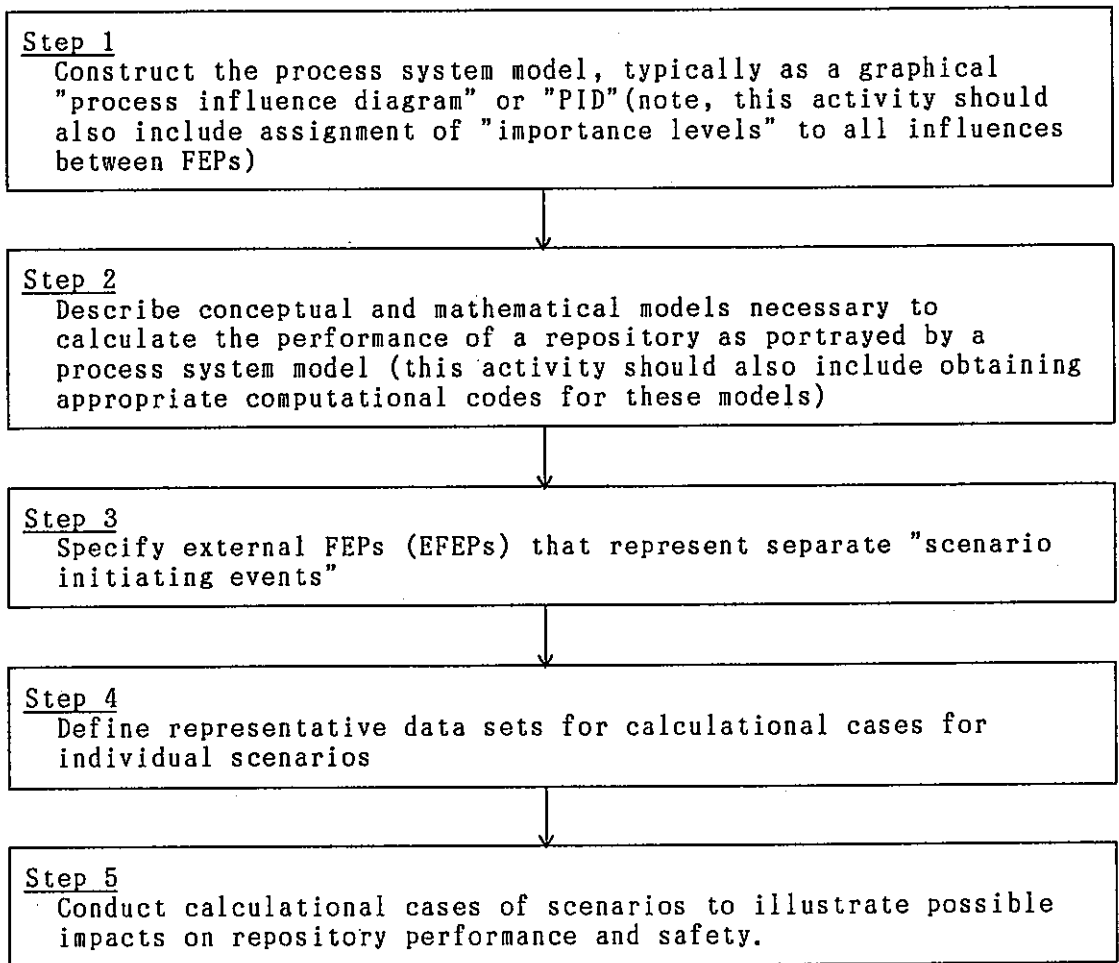


Figure 1 Step of Scenario Analysis Using Process System Model

Source : (4)

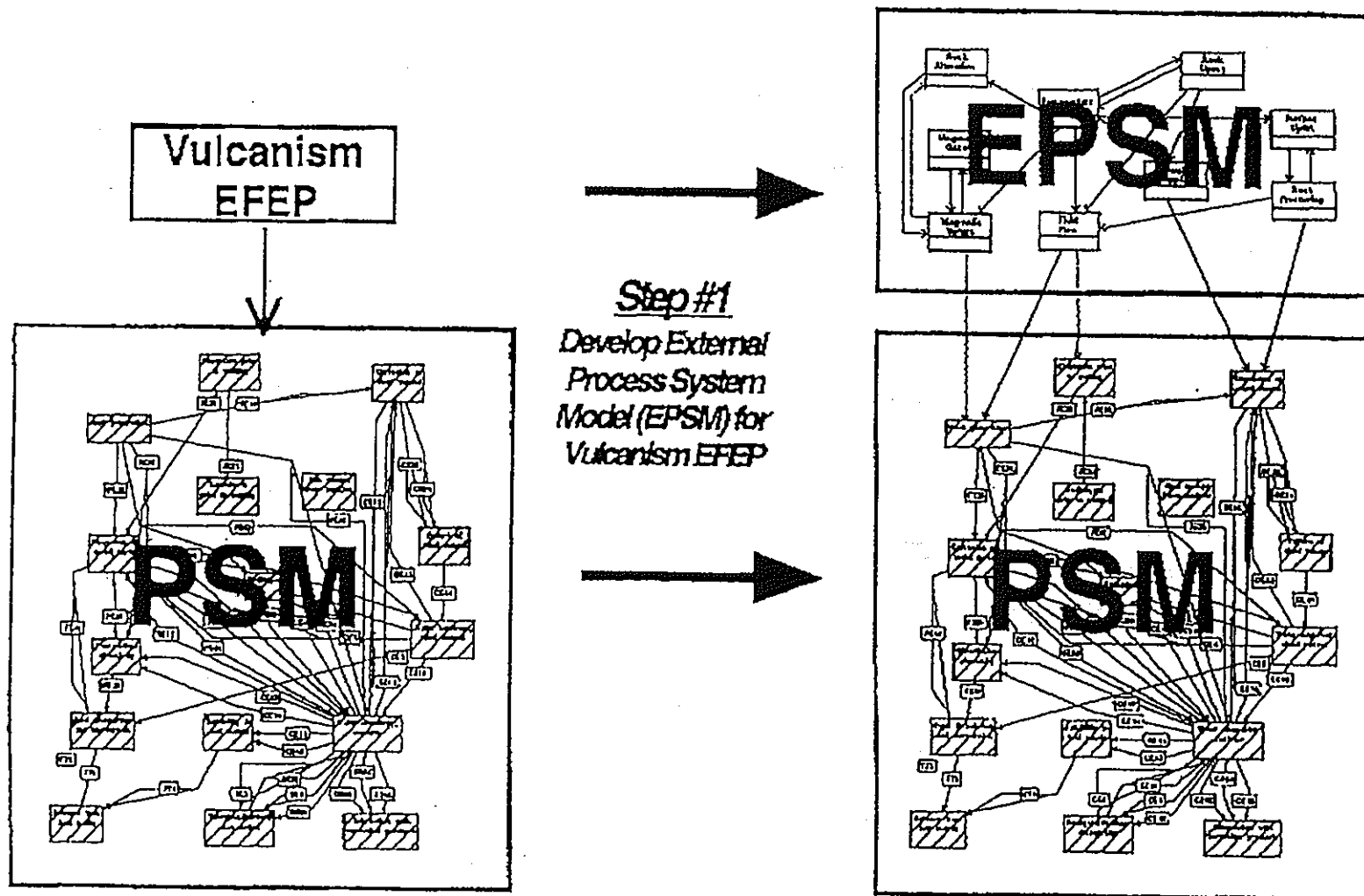


Figure 2 Creation of an External Process System Model Description of Vulcanism EFEP for Repository Process System Model (PSM)

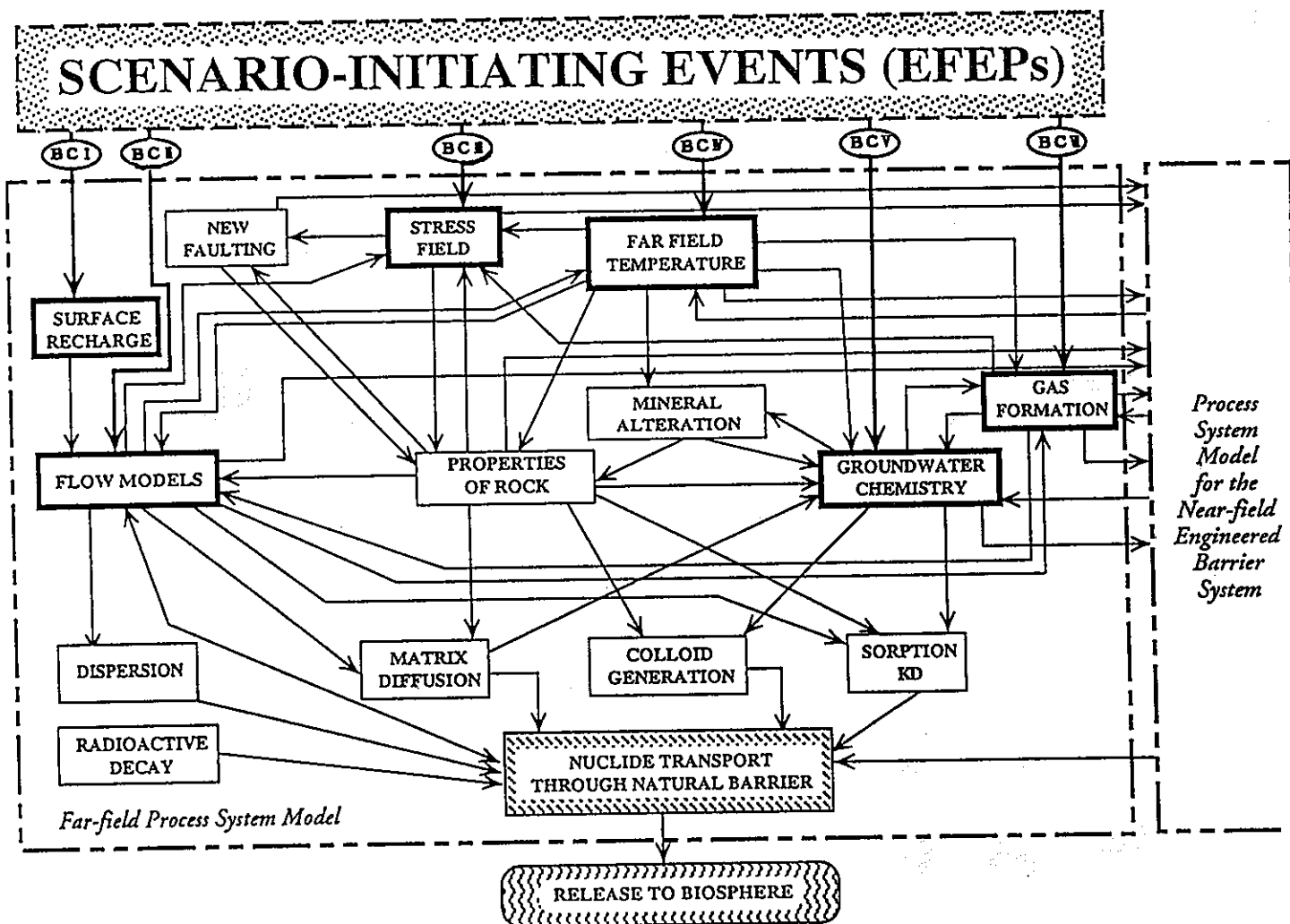


Figure 3 Influence Diagram of Simplified Process System Model for the Far Field

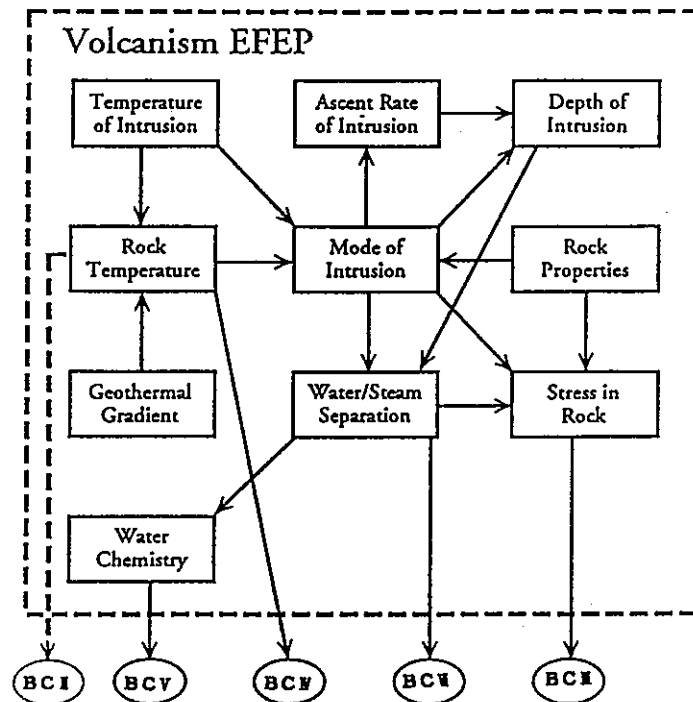


Figure 4 Influence Diagram for the Volcanism EFEP (External FEP)

In this trial, the result obtained in Kristallin-I (K-I)<sup>(5)</sup> is referred as a "Base Case" for four reasons;

- a) the similarity in waste package design and HLW waste form between Nagra and PNC,
- b) the great detail of information and data provided in the Kristallin-I report,
- c) the extremely low possibility of an actual magmatic event occurring in Switzerland even over the next million years will help assure these illustrative calculations are not misused or misapplied, and
- d) selection of the Heisei-3 report (PNC, 1992) as a "Base Case" might raise unwarranted and unintended concerns by subsequent reviewers.

For the calculation, the MENTOR<sup>(4)</sup> (Model with an Evolving Near-field and Transport Of Radionuclides) code, which has shown a good agreement with the reported results of K-I under the same data, has been selected.

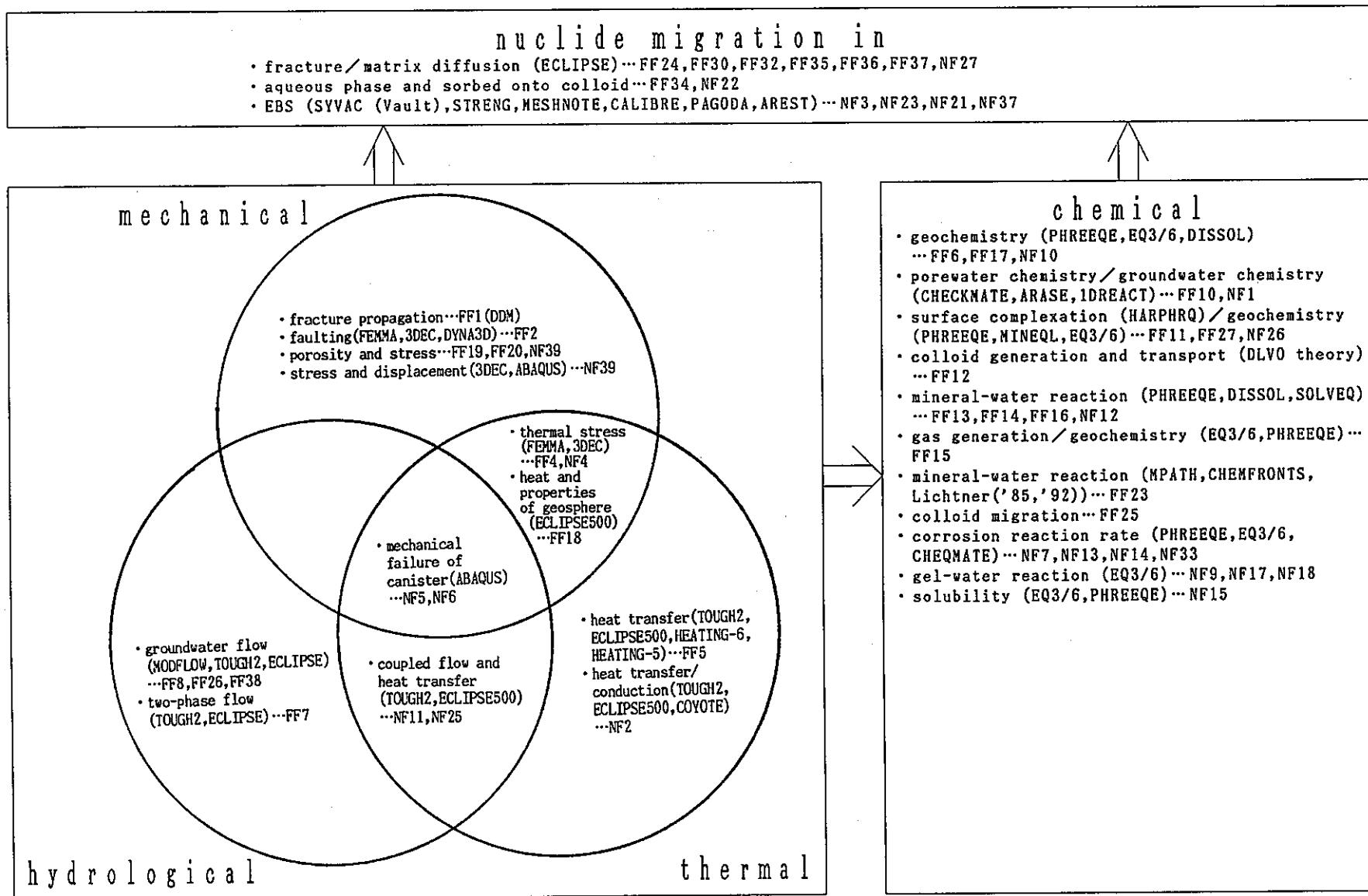


Figure 5 Models already investigated in H6 report to analyze the alternative scenarios in the groundwater migration scenario

Table 2 shows this actual calculation cases which has been set by combining four variational factors of Table 1. Further, the reason or the ground of setting a value to an input data has been explained by using some mathematical models.

Table 1 Example of the Cases for a Trial Calculation  
of Volcanism Scenario

Influence of Temperature Rise (BCIV)

- degradation of buffer performance arising from enhanced illitization rates of smectite clays.
- enhanced solubility of radioelements (the poor quality of thermodynamic data for most radioelements at temperatures above 25°C; at temperatures above 100°C, which are certainly possible under certain volcanism scenarios, the effect of temperature on radioelement solubilities is almost non-existent)

Influence on Groundwater Chemistry (BCV)

- the addition of additional complexing anions
- a possible change in pH (especially to strongly acidic conditions)
- a possible change in redox potential (especially to oxidizing conditions). For the illustrative purposes of these calculations two different (not necessarily bounding) groundwater compositions have been selected:
  - a high-chloride/ neutral pH/ reducing brine
  - a high-sulfate and high-bicarbonate/ acidic/ oxidizing dilute water

Influence on Gas Formation (BCVI)

- The formation of a free-gas phase at the repository depth, attributable to a deep-seated magmatic body. Two-phase hydrological models are not typically applied in repository programs examining deep, hydrologically saturated sites, but they may be necessary to understand and evaluate some volcanism scenarios. No effort has been devoted to two-phase flow modeling for this calculational case.

Influence on Stress Field (BCIII)

- (Although fully coupled thermo-hydro-mechanical codes should have been employed essentially), for the purposes of this illustrative calculational case, certain far-field flow parameters have been altered from their base values of the K-1 analysis. These Modifications are intended to simulate changes in flow rates and flow paths that might be impacted by a volcanism event.

Note: parenthesis means a change of boundary condition defined in Figure 3



Table 2 Cumulative Impacts of a Volcanism Event Used to Define Calculational Cases

Case Identifier	Far-Field Flow Properties	Backfill Thickness	Dissolution Rate of HLW Glass	Radioelement Solubilities
Base Case	K-1*	K-1	K-1	K-1
A	Altered†	K-1	K-1	K-1
B	Altered	Altered	K-1	K-1
C	Altered	Altered	Altered	K-1
D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub>	Altered	Altered	Altered	Altered

\* "K-1" means data from Kristallin-I report used for these parameters.

† "Altered" means parameters are assumed to be changed by magmatic intrusion.

A comparison of dose rates of key radionuclides and total dose rates curves has been made between the base case of K-1 and the calculational cases A to D of the MENTOR code, and the results have been discussed (see Figure 6).

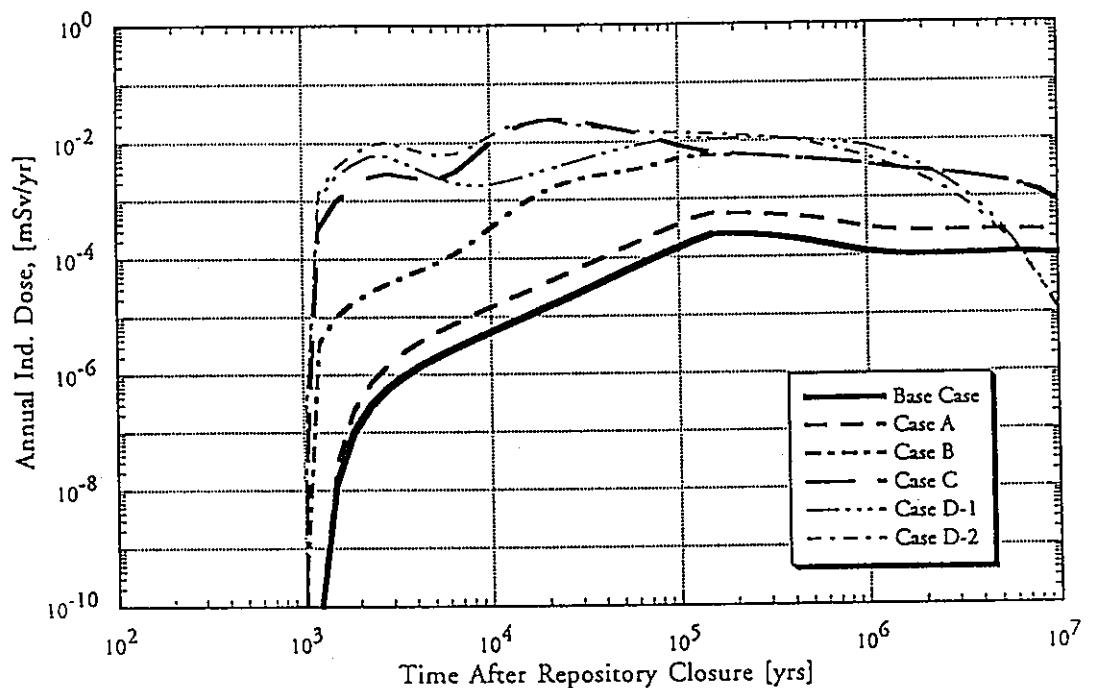


Figure 6 Summary Comparison of Total Dose-Rates Curves for All Calculational Cases and Kristallin-I Base Case

## 1.2 Fault-Activation Scenario

A schematic influence diagram for the fault-activation EFEP is presented in Figure 7. Boundary conditions that are speculated to be changed by consideration of a fault-activation scenario are shown. Fault activation may also arise from other scenarios, particularly uplift and erosion, as well as volcanism.

The FEP termed "Existing Fault Characteristics" includes information such as orientation and length of existing rock discontinuities, their spatial position relative to the repository, past history of timing and displacement of movements, tectonic regime, fracture mineralization, etc. As with the volcanism scenario, it is assumed that through site characterization will reduce or mitigate the magnitude and frequency of future fault activation near the repository site. This raises the issue of contending with undetected or uncharacterized faults near the repository. Finally, while it is possible that faulting might lead to changes in far-field temperatures and groundwater chemistry, it is judged that such effects are likely to be extremely minor, hence they will not be further considered at this time.

In this research, the quantitative concepts and their relationships associated with earthquake and fault-activation scenario have been discussed, the result of which is shown in Table 3. And the hydrogeological effects accompanying fault movement have been also investigated as shown in Table 4.

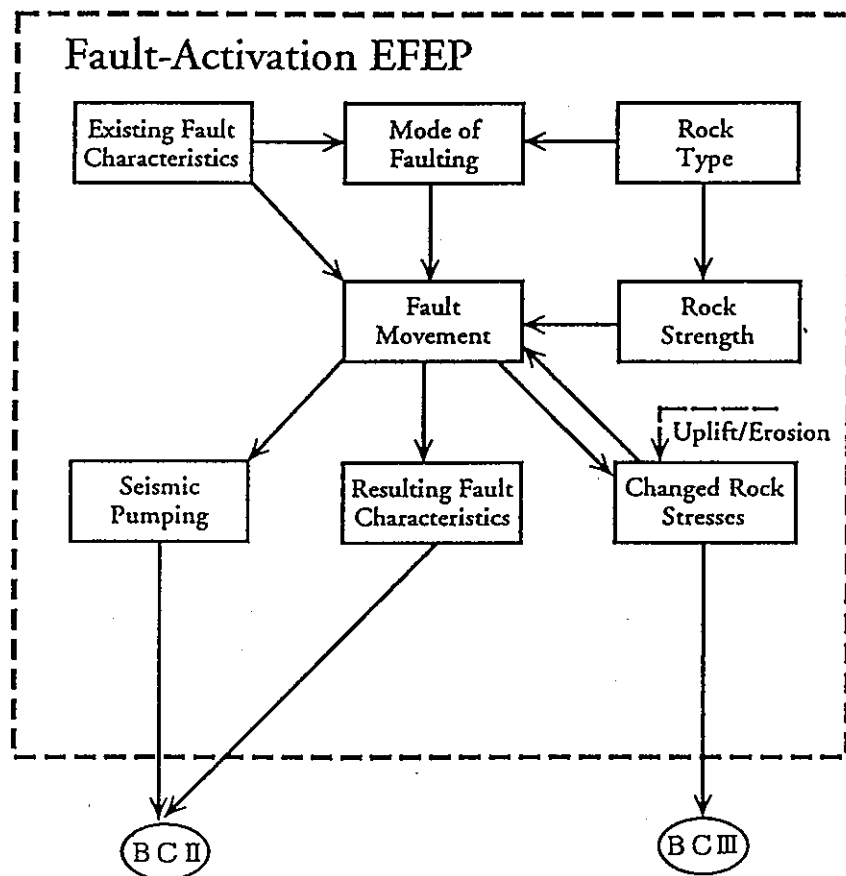


Figure 7 Influence Diagram for the Fault-Activation EFEP

Table 3 Quantitative Concept associated with Earthquake and Fault-Activation Scenario

- maximum seismic slip and rupture length
- maximum finite displacement and total fault length
- seismicity associated with faulting
- size-frequency distribution of earthquake ruptures
- stress levels and pattern of stress cycling caused by earthquake
- shear stress comparable with the larger observed earthquakes
- frequency of occurrence of fault movement
- degree of fault activity (EX. order of cm~m/10<sup>3</sup> years) and recurrence interval of earthquake → recurrence interval of earthquake, length of the seismogenic active fault and slip rate
- length of an earthquake fault, amount of displacement and scale of earthquake (magnitude)
- earthquake moment (fault displacement, total areas of the fault of the fault etc.)
- earthquake risk

Table 4 Hydrogeological Effects accompanying Fault Movement

- hydraulic conductivity changes caused by shaking
- seismic pumping
  - dilatancy-diffusion model
  - substantial transient outflows of water driven by the collapse of the dilatant zone, fluid pumping and fault valve models
- coseismic strain model
- groundwater table rises
- change in pore pressure
- increase in permeability
- cycling of hydraulic properties (accompanied by hysteresis of the fault properties)

### 1.3 Uplift and Erosion Scenario

Figure 8 shows a schematic influence diagram for the uplift and erosion EFEP, with boundary conditions that are speculated to be altered for such a scenario. The "Mode of Uplift" refers to factors such as the tectonic regime of the Japanese islands, the continuity of uplift (steady-state v.s. episodic), and the underlying cause of uplift (e.g., rebound, inflation of a magma chamber, etc). In addition to the impact on boundary conditions shown, an extremely important consequence of uplift and erosion is the potential for shortening of the path length in geosphere transport calculations. Indeed, surface exposure of the nuclear waste repository over a million time frame cannot be totally discounted under certain extreme assumptions.

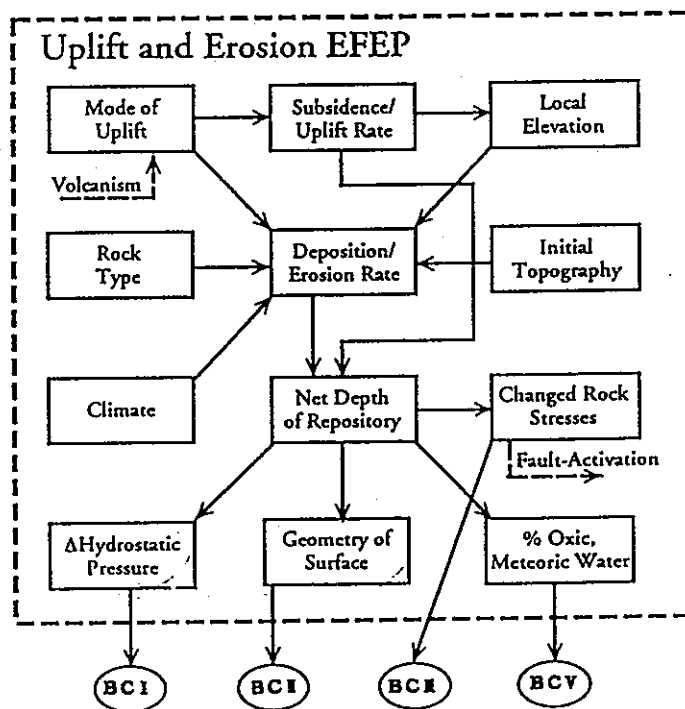


Figure 8 Influence Diagram for the Uplift and Erosion EFEP

Table 5 shows a result of discussion and arrangement on the potential hydrological, thermal, chemical and mechanical changes of the performance at a disposal site.

Table 5(1) Potential Changes in Repository Performance Arising from Uplift and Erosion.

Parameter	Description
Hydrology	
Rock Porosity	Change in rock porosity because of a) unloading of rock overburden, or b) dissolution/precipitation of fracture minerals by deeper circulation of surface waters.
Average Hydraulic Conductivity	Change in average hydraulic conductivity of rock because of a) unloading of rock overburden, or b) dissolution/precipitation of fracture minerals by deeper circulation of surface waters.
Fracture Frequency	Generation of new fractures because of unloading of rock overburden.
Fracture Aperture	Changes in fracture aperture (and correlated factors such as flow-wetted surface area) because of a) unloading of rock overburden, or b) dissolution/ precipitation of fracture minerals by deeper circulation of surface waters.
Hydraulic Gradient	Increases in magnitude because of increased elevation and change in geometry of surface.
Repository Depth	Decreases with time as a function of uplift and erosion rates.
Temperature	Decrease with decreasing depth of repository.

Table 5(2) Potential Changes in Repository Performance  
Arising from Uplift and Erosion.

Parameter	Description
<b>Chemistry</b>	
pH	Increase as indicated by charge balance considerations in a rock-buffered system (Hanor, 1993)
Eh	Increase because of deep circulation of oxic surface waters.
Cation Concentrations	a) Decreases because of mixing of initial subsurface waters with dilute meteoric water, or b) increases because of mixing of initial subsurface waters with relatively concentrated sea water.
Anion Concentrations	a) Decreases because of mixing of initial subsurface waters with dilute meteoric water, or b) increases because of mixing of initial subsurface waters with relatively concentrated sea water.
<b>Mechanical Stability</b>	
Buffer Eroded	Reduction in size of buffer by removal of clay particles.
Buffer Permeability	Increase in permeability because of a) removal of clay by erosion, or b) chemical modification by reaction with changed groundwater.
Canister Position	Canister may sink as buffer mass and bearing capacity are reduced.
Emplacement Tunnel Damaged (Fast pathway)	Increase in permeability because of a) removal of clay by erosion, b) chemical modification by reaction with changed groundwater, or c) mechanical unloading.
Shaft Seals Damaged (Fast pathway)	Increase in permeability because of a) removal of sealants by erosion, or b) mechanical unloading.

## 2. Selection of Items for Quantifying Influence of Events with an Extremely Low Frequency of Occurrence by Using Expert Judgment

As already reported in Refs. (1) and (2), AHP method is appropriate for subjective assessment to assign a value of significance for each FEP's chain in the influence diagram in order to reflect expert opinion in the performance assessment of HLW disposal.

Thus, as a next step in this research, bearing in mind the applicability of AHP method to this assessment, a general items have been discussed and listed up, followed by the step of a concrete discussion based on the general items referring to the results of chapter 1.

A result of listing up the general items is shown in Figure 9, where they are arranged hierarchically.

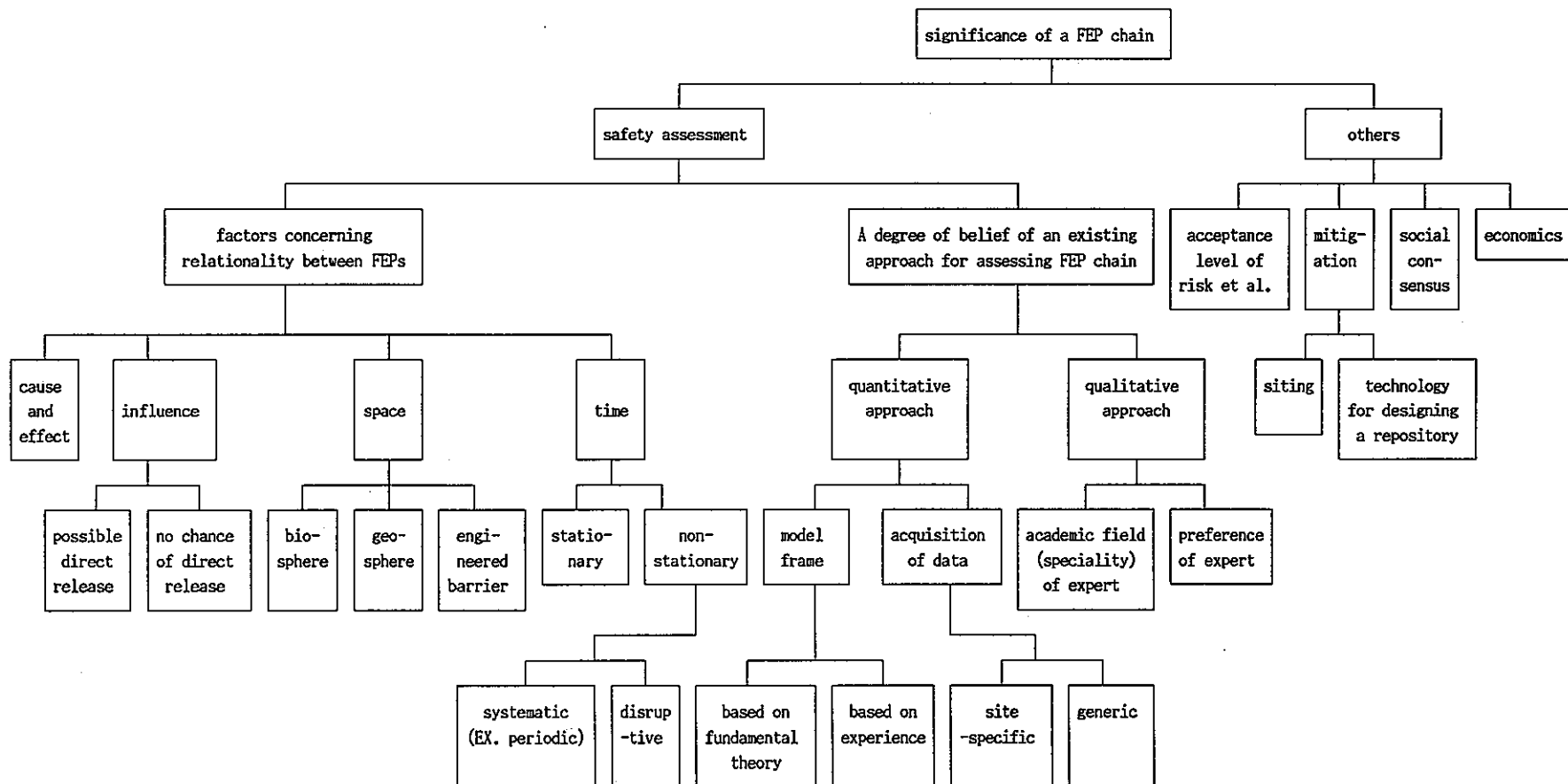


Figure 9 A Hierarchical Representation of General Items for Assessing the Significance of FEP Chain



Next, in order to clear a role and a position of expert judgement, an integrated image for the scenario analysis framework in this research was discussed as shown in Figure 10, considering the assessment procedure for volcanism scenario illustrated in chapter 1.

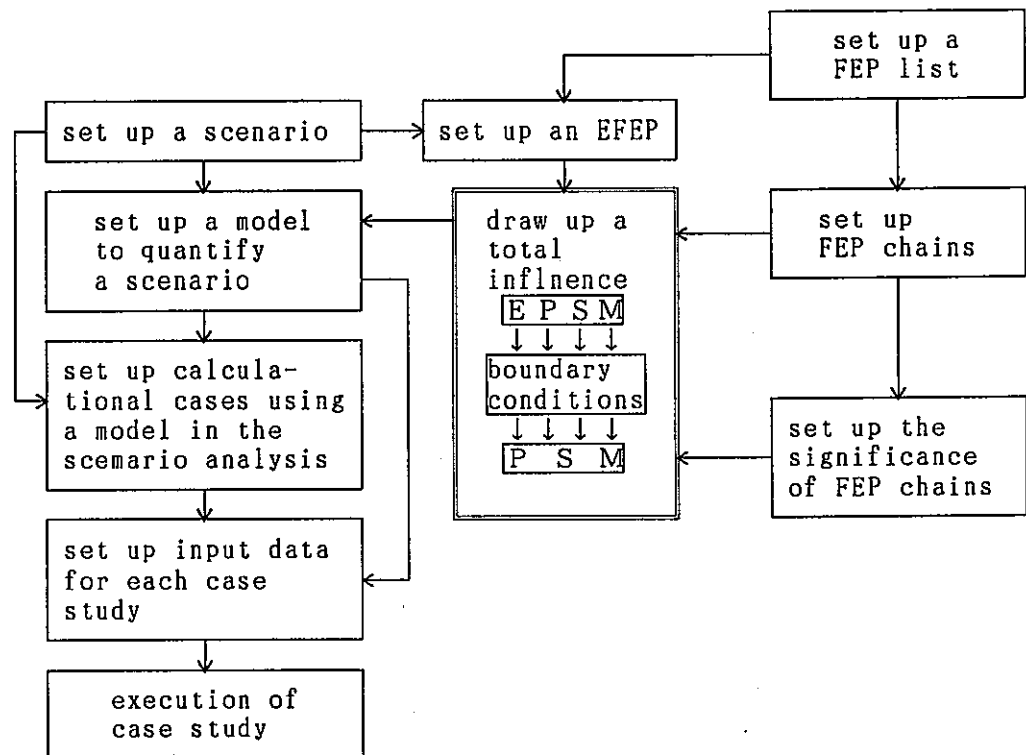


Figure 10 Concept of Total Influence Diagram in the Scenario Analysis Flow

In this scenario analysis framework, the requisite items for expert judgement have been discussed as shown in Table 6. Further, an example of the boundary out of modeling has been shown in Table 7 for the volcanism scenario.

Table 6 Requisite Items for Expert Judgement

- how to determine the boundary of mathematical model use  
EX. EFEP's mechanism of generation and dynamics etc.
- how to determine FEP's chain impossible to be analyzed by mathematical model although it is within the above-mentioned boundary
- how to determine the propriety of model, data and the calculational result for the FEP's chain which can be modeled

Table 7 An Example of the Boundary out of Modeling

- model of volcanic rock generation process
- model of estimating the scale of magma reservoirs
- model of magma's crystallization  
→ estimation of a period of volcanic activity
- physical model of a path of eruption (viscosity of magma, scale of vent, thickness of lava on vent etc.)
- model of evolution of magma reservoir
- model for temperature and changes of composition of magma reservoir
- model of volcanic tremor (magma migration along the fracture)
- combined chemical and physical model for plutonic devolatilization
- model of estimating magma's intrusion scale and magma's heat flux
- (thermo-hydrological) model of magma's rise and eruption process

### 3. Discussion on the Groundwater Scenario Analysis System

#### 3.1 Visualization of the automatic tool generating the groundwater scenario

A pilot scenario-generator developed last year has been improved to visualize its output information, based on the result discussed in section 3.3. An example of output of improved tool was illustrated in Figures 11(1)(2).

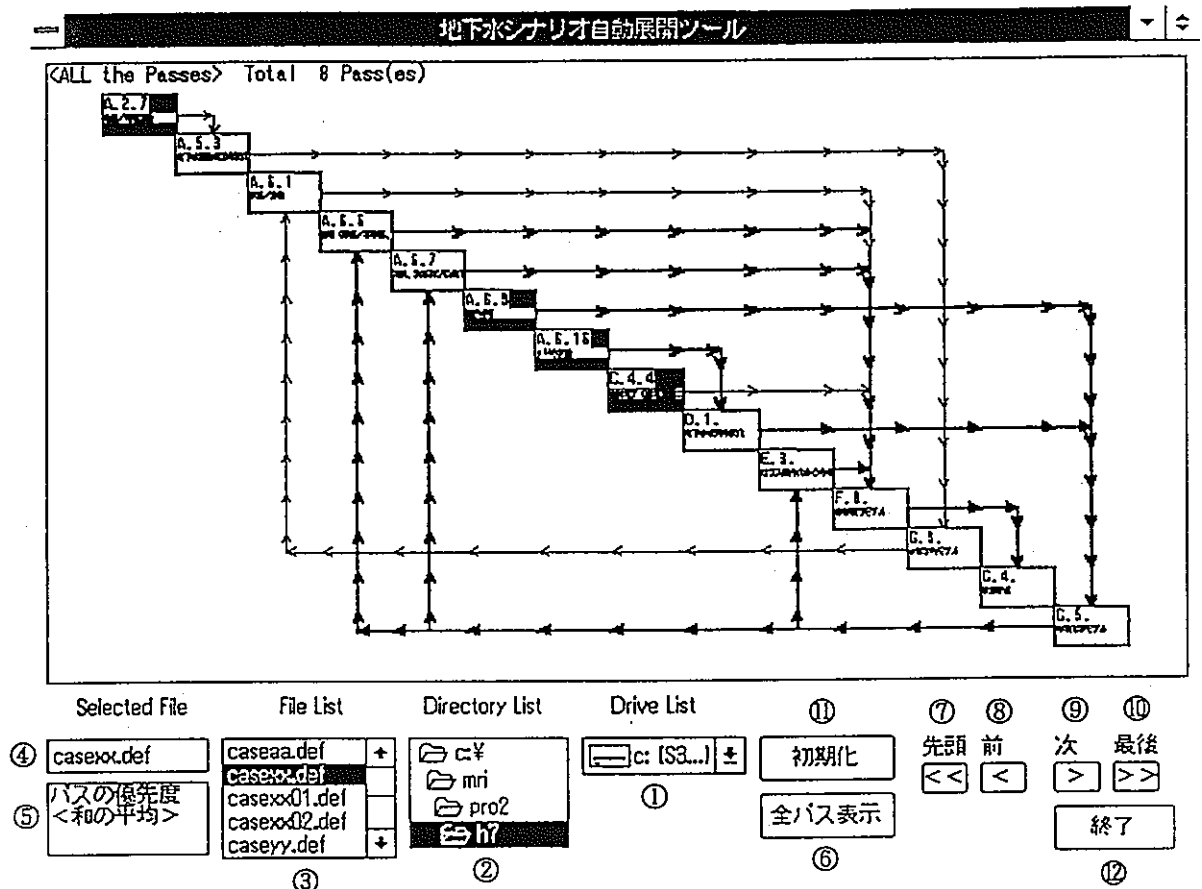


Figure 11(1) An Example of Visualization of Output from Improved Scenario Generator  
- Display of All the Passes -

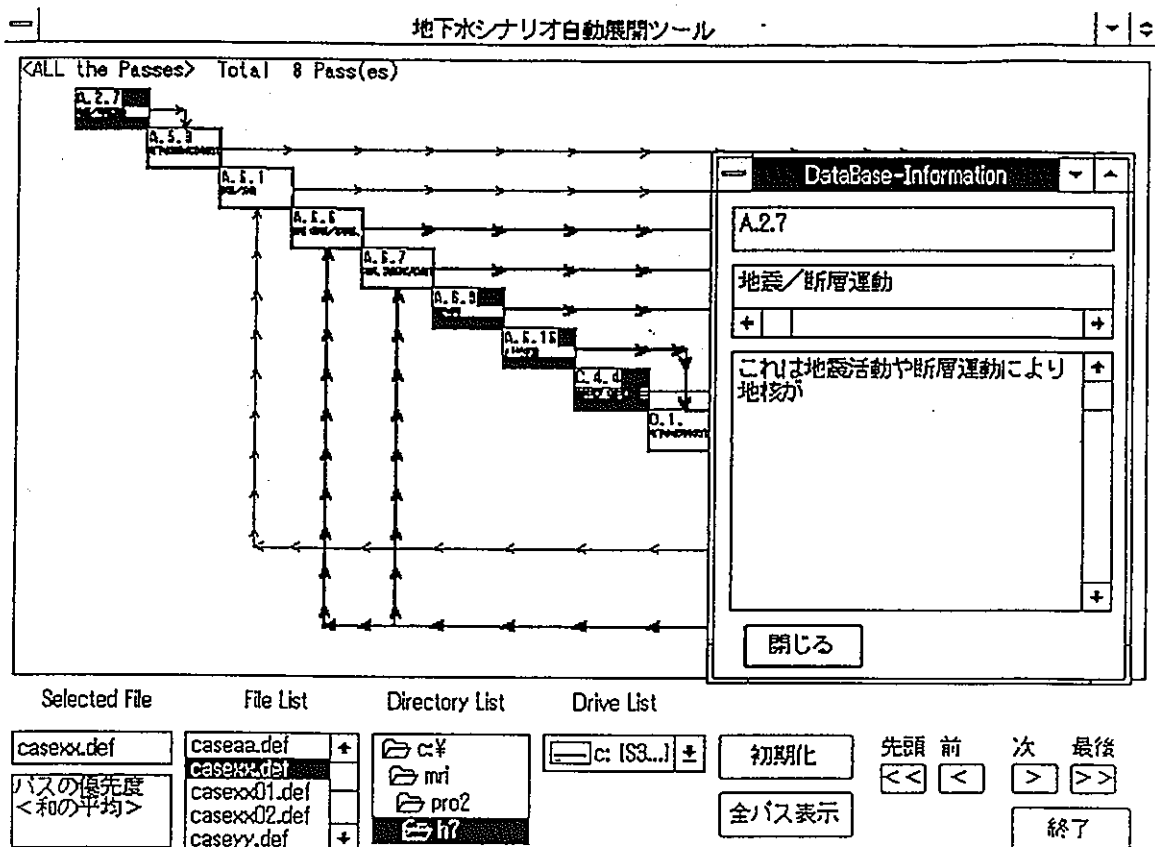


Figure 11(2) An Example of Visualization of Output  
from Improved Scenario Generator  
—Display of Date Base Information—

### 3.2 Discussion on the Applicability of Scenario Analysis to a Risk Assessment and a Display of Hierarchical Information of FEP

In order to evaluate the HLW disposal risk for the purpose of safety assessment, the information on the calculational results of the probability of occurrence of FEP (chain) and its consequence (or the series of them along FEP chains) will be required after generating the FEP chain along the groundwater senario.

That information may be treated like the significance of FEP (or parameter) chain defined in the framework of the scenario generator system developed last year. This concept is shown in Figure 12.

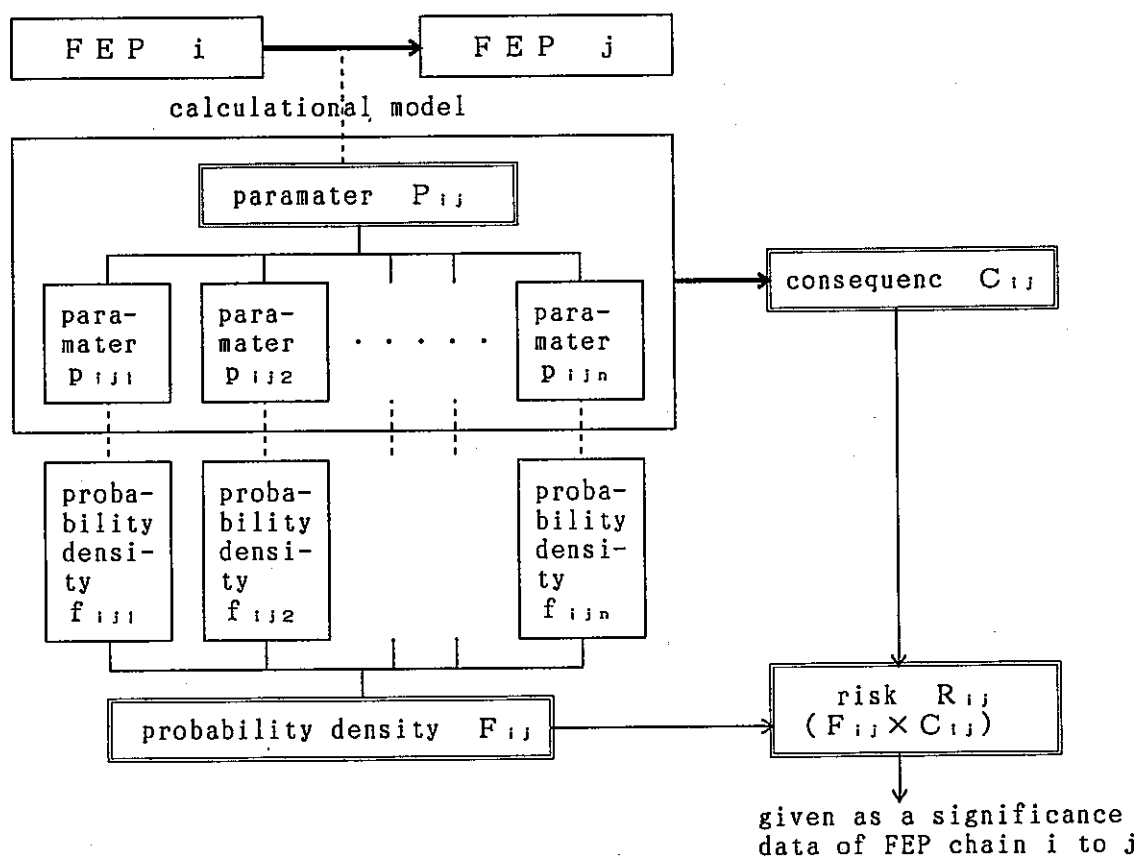


Figure 12 A Concept of Treating the Value of Risk of FEP Chain as an Information of Significance

Next, a concept of a display system has been discussed where a higher ranked FEP, called super FEP, is lined up on the diagonal while the information about lower ranked FEPs connecting two super FEPs, called sub FEP, is displayed at the non-diagonal element on the matrix as shown in Figure 13. The parameter chain discussed in last year<sup>(3)</sup> could be also treated in this system.

—
visualization of scenario generator (2)
▼ ▲

<All the Passes> Total X Pass(es)

A		X		
	D		click	
		F		Y
Z			G	
				J

Selected File

FileList

DirectoryList

DriveList

priority  
of pass

Figure 13 Concept of a Display of Visualization Tool  
for Hierarchical Information Data

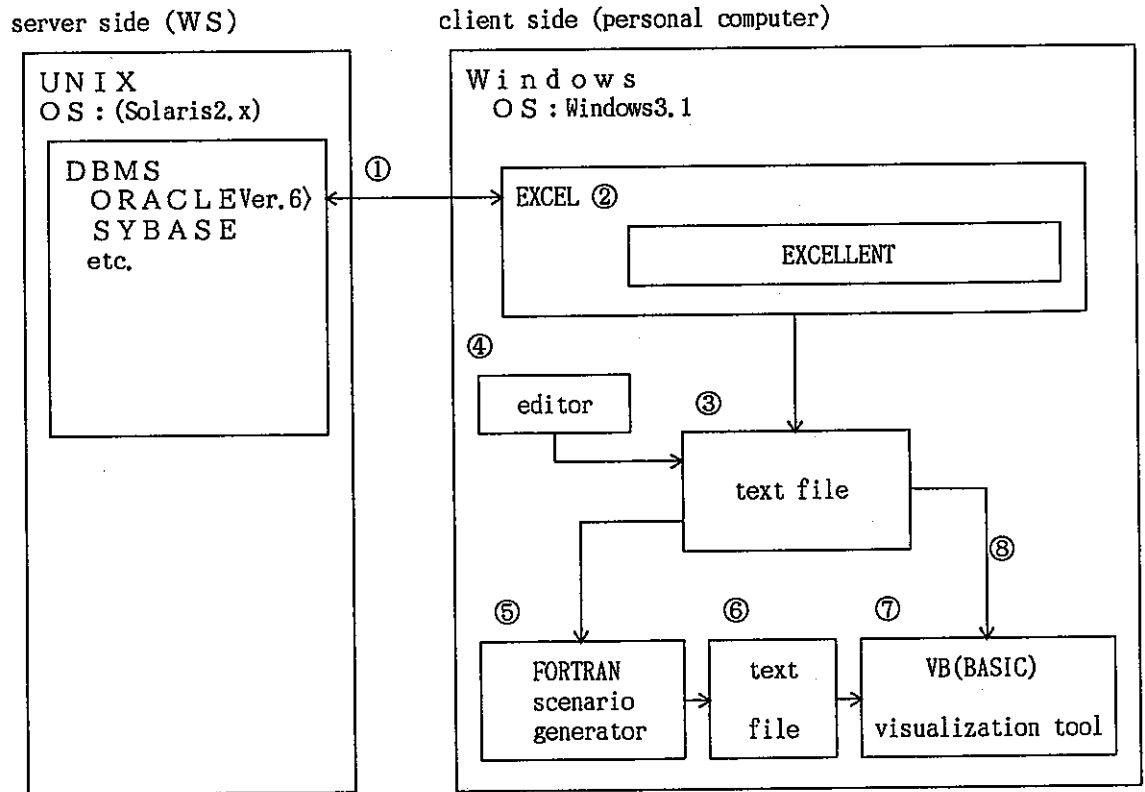
### 3.3 Discussion on the Connection to an Existing Data Base System

A discussion has been made on how to link the scenario generator system to an existing data base system through the investigation of the characteristics such as the merit and demerit.

First, investigation and discussion have been made on the trend of the circumstances of data base and visualization tool such as the GUI (Graphical User Interface) and computer machine.

After then, a discussion has been made on the construction of a HLW scenario analysis supporting system.

As a result, it has been cleared that the visualization tool developed in section 3.1 can be connected to an existing data base information system (see Figure 14).



- ① Use a communication software using TCP/IP communication protocol by Ethernet LAN mode.
- ② Use EXCELLENT as ADD IN software of table calculation software EXCEL, then access to RDB (ORACLE, SYBASE, Informix, Ingres, ADABAS) on UNIX, and put the data on the worksheet of EXCEL.
- ③ Transform the data on the worksheet of EXCEL to text file using text file transforming function of EXCEL.
- ④ Generate the required data except for ③ by using scenario generator.
- ⑤ Run the scenario generator developed by use of FORTRAN language.
- ⑥ Output of scenario generator.
- ⑦ Display the output of scenario generator by use of Visual Basic language.
- ⑧ Display the related information picked out from text file by clicking FEP(chain) on the visualized picture. (indirect referring to the data of DB)

Figure 14 Scenario Generator and Visualization Tool Linked to an Existing Data Base

## Afterword

This year, the following three tasks have been performed;

- (1) In order to clear a concept of total system of this scenario analysis, an illustrated example of the consequence analysis has been shown for volcanism scenario, referring to the results obtained in the last few years. And, the preliminary investigation and discussion have been made on fault-activation, and uplift and erosion scenarios.
- (2) Referring to the results obtained from task (1), a discussion has been made on how to set the assessment items to reflect expert opinion in the scenario analysis.
- (3) According to the result of a discussion on how to connect the pilot scenario generator developed last year to an existing data base information, a function of visualization of its output has been added to the scenario generator. Further, a preliminary discussion (with a conceptual design) has been made on how to apply this scenario generator to risk assessment and/or display of hierarchical information of FEP.

The next main matters to be considered are listed up as follows;

- execution of consequence analysis for volcanism scenario
- discussion on the procedure of consequence analysis and execution of illustrative analysis for the other EFEPs initiated scenario
- reflection of expert opinion on the assessment factors in the volcanism scenario which may be hard to be expressed quantitatively
- arrangement of the overall framework of consequence analysis
- improvement of the scenario generator based on this preliminary result of using data base and displaying the hierarchical information about FEP.



## References

- (1) MRI : 「Study of Quantitative Assessment Methods of Events with an Extremely Low Frequency of Occurrence concerning Performance of Waste Disposal Isolation System : Part(I)」 Report on Result of PNC - Commissioned Research, PNC ZJ1222 93-001 (1993).
- (2) MRI : 「Ibid(Ⅱ) - Preliminary Study on Alternative Groundwater Scenario -」 ibid PNC ZJ1222 94-001 (1994).
- (3) MRI : 「Ibid(Ⅲ) - Preliminary Study on the Modeling of Alternative Groundwater Scenario -」 ibid PNC ZJ1222 95-001 (1995).
- (4) M. Apted et al. : 「Process System Modeling of Volcanism, Fault-Activation, and Uplift and Erosion Scenarios」 QSI-9524-1, Feb.(1996).
- (5) Nagra : 「Kristallin-I, Safety Assessment Report」 Technical Report 93-22, July (1994).
- (6) K. Tone : 「Game Feeling Decision Making Method - AHP Guide -」 Nikkagilen (1986).