

地層処分性能評価における シナリオ解析の高度化（ ）

- 成果報告書 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2002年2月

株式会社 三菱総合研究所

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)
2002

地層処分の性能評価におけるシナリオ解析の高度化 ()

- 成果報告書 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

大久保博生*

要 旨

まず、核燃料サイクル開発機構（以下サイクル機構とする）が作成した人工バリアに関する FEP 情報データの記述レベルや記載内容等について、最新の情報を踏えて多角的に検討した。具体的には、記述項目の統一、記述の詳細度や他の FEP との相関性のチェック、第 2 次取りまとめとの照合、第 2 次取りまとめ以降の情報の反映などを行い、FEP 毎に記載内容を整理・変更した。

次に、シナリオ作成プロセスに関する検討を行った。具体的には、シナリオ作成プロセスの透明性及びわかりやすさの向上に向けた検討として、処分場の物理化学的特性間の相関マトリクス（RES 形式）概念に基づき、処分場システムの表現、FEP 特性の定義やプロセス相互作用について考察を行った後、実際に、第 2 次取りまとめに基づく RES 相互作用マトリクスの作成を試みた。

最後に、地層処分システムに対して強い摂動を生ずるシナリオをより現実的に解析するための評価技術に関する検討を行った。具体的には、地震、断層、岩脈貫入の各シナリオに関してどのような概念モデルが考えられるのかを検討・提示した。

以上の検討結果により、今後の性能評価におけるシナリオ解析の高度化の方向性と取り組むべき課題が明確化された。

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター

処分研究部 システム解析グループ

* 株式会社 三菱総合研究所

**The Advanced Scenario Analysis
for Performance Assessment of Geological Disposal
(Document Prepared by Other Institute, Based on the Trust Contract)**

Hiroo Ohkubo *

Abstract

First of all, with regard to the FEP information data on the Engineered Barrier System (EBS) developed by JNC, description level and content of the FEPs have been examined from various angles on the basis of the latest research information. Each content of the FEP data has been classified and modified by means of integrating descriptive items, checking detail levels and correlations with other FEPs, collating with the H12 report, and adding technical information after H12 report.

Secondly, scenario-modeling process has been studied. The study has been conducted by evaluating representation of the repository system, definition of FEP properties, and process interactions based on the concept of the interaction matrix (RES format) which represents influences between physicochemical characteristics of the repository, followed by an experimental development of the actual RES interaction matrix based on the H12 report as the examination to improve the transparency, traceability and comprehensibility of the scenario analysis process.

Lastly, in relation to the geological disposal system, assessment techniques have been examined for more practical scenario analysis on particularly strong perturbations. Possible conceptual models have been proposed for each of these scenarios; seismic, faulting, and dike intrusion.

As a result of these researches, a future direction for advanced scenario analysis on performance assessment has been indicated, as well as associated issues to be discussed have been clarified.

This work was performed by Mitsubishi Research Institute, Inc. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division
Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

* Mitsubishi Research Institute, Inc. (MRI)

目 次

1.	はじめに	1
2.	FEP リストの記述に関する情報整理	2
2.1	はじめに	2
2.2	FEP に基づくシナリオ構築	2
2.3	本章の目的	3
2.4	FEP リストの体系に関する検討	4
2.4.1	マトリクスを用いたリストの整理	4
2.4.2	FEP リストの階層構造	5
2.4.3	海外のレポートに記載されている FEP リストとの比較	8
2.5	各 FEP データの記載内容についての検討	10
2.6	FEP データ	12
2.7	今後の課題	15
3.	シナリオ解析システムの検討	17
3.1	序	17
3.2	化学工学的アプローチ (ChEng 法) によるシナリオ解析の概要	17
3.2.1	処分場システムの表現	18
3.2.2	プロセスと相互作用	20
3.2.3	第 2 次取りまとめを基本にした RES 相互作用マトリクス	27
3.2.4	今後の展開について	31
3.3	シナリオ解析プロセスに関する考察	32
3.3.1	はじめに	32
3.3.2	シナリオ解析の検討事項	33
3.3.3	シナリオ解析プロセス概念の例示的検討	42
4.	変動シナリオに関する解析技術の検討	49
4.1	序	49

4.2	シナリオの発端となる FEP：「弱い」摂動と「強い」摂動	49
4.3	地震シナリオ	53
4.3.1	地質学的環境に与える影響	53
4.3.2	人工バリアシステムに与える影響	54
4.3.3	コンパートメントモデル化の検討	58
4.4	断層シナリオ	60
4.4.1	地質学的環境に与える影響	61
4.4.2	人工バリアシステムに与える影響	63
4.4.3	コンパートメントモデル化の検討	65
4.5	岩脈貫入シナリオ	66
4.5.1	地質学的環境に与える影響	67
4.5.2	人工バリアシステムに与える影響	68
4.5.3	コンパートメントモデル化の検討	73
4.5.4	直接的影響による放射性核種放出に関する評価	75
5.	おわりに	77
	参考文献	79
	付録	81
A.	第 2 次取りまとめの FEP に関するレビュー	82
A.1	序	82
A.2	海外の FEP リストとの比較	82
A.3	FEP の追加・改良の提案	84
A.3.1	上位 FEP 内での下位 FEP の細分類化について	84
A.3.2	「水理学的」及び「物質移動」FEP を含むことについて	85
A.3.3	「摂動的」FEP の個別のリスト化について	86
A.3.4	多相条件	89
A.3.5	処分場の全バリアを含むことについて	89
A.4	第 2 次取りまとめ及び NEA の FEP の比較	108
B.	第 2 次取りまとめに基づく RES マトリクスのための FEP リスト	116
C.	第 2 次取りまとめに基づく RES マトリクスのためのインフルエンシリスト	144
	添付資料	224
	<u>記録</u> FEP データ	

表 目 次

表 1	基本プロセスと特定プロセス	20
表 2	ChEng 法と生の言語に基づくアプローチ法の比較	27
表 3	シナリオ解析のための段階的方法の例	34
表 4	第 2 次取りまとめ変動シナリオの発端となる事象の強弱対比表	50

付録

付・表 A-1(1)	第 2 次取りまとめの FEP リスト：日本語版	91
付・表 A-1(2)	第 2 次取りまとめの FEP リスト：英語版	92
付・表 A-2	SKI が監査した最終 FEP リスト	95
付・表 A-3	NEA の FEP リスト	104
付・表 A-4	第 2 次取りまとめの FEP と NEA の FEP との比較	110

添付資料

添付資料・表 1	第 2 次取りまとめの FEP リストに基づく RES マトリクス	228
----------	-----------------------------------	-----

目 次

図 1	マトリクスと階層構造の整理と比較	6
図 2	化学工学的プロセスシステムの図解化	18
図 3	処分場システムシナリオ解析のための ChEng 法簡略図 (システムの構成要素)	19
図 4	SKI シナリオ解析のための PID 構造レイアウト	19
図 5	FEP ベースのシナリオ解析に対する ChEng 法アプローチの 第 2 次取りまとめに基づく RES フォーマット表現	22
図 6	一般のバリア構成要素「バリア X」に関する 二つの FEP の二元的影響を図式化したもの	24
図 7	Tsang によってまとめられた連成プロセス	25
図 8	FEP ベースのシナリオ解析に対する ChEng 法アプローチの 第 2 次取りまとめに基づく RES フォーマット表現	30
図 9	重要な特質に基づく FEP の RES マトリクスの例	36
図 10	シナリオ解析の多層構造の図解化	41
図 11	シナリオ解析プロセスの基本概念	44
図 12	シナリオ解析におけるケース設定までのプロセス	45
図 13	シナリオ開発手法の適用例 (第 2 次取りまとめの FEP リストを用いた場合)	46
図 14	解析ケース設定概念の一例	48
図 15	第 2 次取りまとめ式構造に基づくシナリオ解析	51
図 16	地震シナリオとオーバーパック沈下の概念図	55
図 17	第 2 次取りまとめ型水平処分場概念における放射性核種放出を 一般的なコンパートメントモデルで概念化したもの	58
図 18	オーバーパック沈下の原因となる地震事象の 一般化コンパートメントモデル	59

図 19	埋設孔内の緩衝材の流出とオーバーパック沈下につながる 地震シナリオを示すコンパートメントの段階的進行	60
図 20	亀裂性母岩の不連続に関する定義	61
図 21	ニアフィールドにおける断層シナリオの図式化	64
図 22	断層による緩衝材の部分的喪失と母岩への直接放出を表わす 一般化コンパートメントモデル	66
図 23	上昇する岩脈が、掘削影響領域(EDZ)、ベントナイト緩衝材、 HLW ガラス固化体から構成される処分場に接近する様子	69
図 24	薄板状の岩脈に沿って上昇するマグマについて 考えられるある展開	70
図 25	飽和状態(水圧 2000 パール)での石英 曹長石 正長石の コテクチック熔融を表わす 3 成分系位相図	72
図 26	様々な含水成分における石英 曹長石 正長石の 「花崗岩」系に対する初期溶融時の圧力-温度変化曲線	72
図 27	薄板状の岩脈に沿って上昇するマグマについて 考えられる別の展開	73
図 28	3 種類の二次的変動の可能性が考えられる岩脈貫入シナリオ	74

添付資料

添付資料・図 1-1	FEP リスト(ガラス固化体とその近傍)の階層構造	225
添付資料・図 1-2	FEP リスト(オーバーパック)の階層構造	226
添付資料・図 1-3	FEP リスト(緩衝材)の階層構造	227

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下サイクル機構）殿は、我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の研究成果を取りまとめ、平成11年11月に「第2次取りまとめ」を国へ提出した。これに伴い、現在第2次取りまとめ以降の地層処分研究に関する課題がまとめられ、今後実施される概要調査地区の選定ならびに安全基準等の作成に向けた、国内研究機関の役割分担が議論されている段階である。

その中で、シナリオ解析技術の開発に関して、

- ・具体的な地質環境に対する地上からの調査による地質環境の情報に基づく Features, Events and Processes^(注)（以下 FEP）データベースが例示できること
- ・具体的な地質環境を対象として、抽出された FEP を基に概略的にシナリオを構築することができること

などの課題に取り組むこととしており、2005年頃に予定されている概要調査地区の選定への反映を一つのマイルストーンとして研究開発を進めている。このため、第2次取りまとめにおいて蓄積した成果を含めて、シナリオ解析に関連する情報を体系的に整理することにより、具体的な地質環境を想定したシナリオ解析を行うための高度化を進めておく必要がある。そこで、本研究では、第2次取りまとめにおいてまとめられたシナリオに関連する知見に対して、最新の研究情報を踏まえた多角的な検討を行う（第2章）とともに、シナリオ解析の透明性やわかりやすさの向上のための検討と課題の整理を行う（第3章）。さらに、これまで簡略かつ保守的に行われてきた地震・断層、および火成活動に関して、より現実的なシナリオおよびモデルを用いて解析するための評価技術について検討する（第4章）。

^(注) 地層処分システムに影響を及ぼすと考えられるシステムの特徴（Features）、そこで生じる事象（Events）や過程（Processes）を言う。

2. FEP リストの記述に関する情報整理

2.1 はじめに

サイクル機構が発表した第2次取りまとめでは(JNC,1999)⁽⁷⁾、国内外での研究例を参考にして、安全評価上重要な現象について、見落としがないように、包括的 FEP リスト(以下第2次取りまとめの FEP リスト)が作成されている。また、各 FEP について安全評価上の取扱いの判断や、シナリオの作成に資するために、これまで得られている知見や理解が、FEP データとして別途取りまとめられている。これらの情報について、最新の研究情報を踏まえて多角的な研究を行うと共に、整合的、かつ体系的に整理することを目的に、

最新の研究情報を踏まえた各 FEP データに関する検討

記述レベルの整合性を考慮した、シナリオ解析に最適な FEP リストの階層構造に関する検討

を行った。

2.2 FEP に基づくシナリオ構築

シナリオを作成する際には、国際的なコンセンサスが得られている体系的アプローチとして(OECD/NEA,1991)⁽¹⁶⁾、地層処分概念や地層処分システムの構成を踏まえたシステムの性能やそれに関係するすべての特質(Feature)、事象(Event)、プロセス(Process)を、抜け落ちがないように、包括的な FEP リストとして整理し、FEP 間の相関関係の把握を踏まえて適切なシナリオを作成するという方法が採用されている。また、各 FEP について、安全評価上の取扱いの判断やシナリオの作成に資するために、これまでの研究から得られている知見や理解を、FEP データとして別途取りまとめる。

FEP リストは、地層処分システムに関係する全ての事象を網羅していることが求められる。また同時にシナリオ解析に適した階層構造を有していることも重要である。FEP リストを階層的に整理した場合、全 FEP が同じ階層(レベル)に属していれば、シナリオを構築する際に、常に同じレベルからのシナリオ構築が可能となり、また、各 FEP データの記述レベルを統一することも容易となる。

各 FEP データには、安全評価のためのシナリオを構築する上で必要な情報が記載されることが求められており、それぞれの FEP が、安全評価に対してどのような影響を与えるか、また、影響の程度である感度がどれくらいなのかを明記することも重要である。

地層処分システムにおいては、システム内で発生する現象が非常に長期に亘るものであることから、将来挙動の記述には不確実性が伴う。従って、各 FEP に内在する不確実性も、シナリオ解析上の重要な情報であり、FEP データに明記する必要がある。また、各 FEP の不確実性がどのように伝播するかを記述するために、FEP 間の相関を明らかにしておくことも重要である。

上記した事柄に留意しつつ、FEP リストおよびデータを整理し、FEP 間の関連性を考慮したインフルエンスダイグラムを参照しながら、これらを組み合わせたものとしてシナリオを記述する。従って、FEP データ中に他の FEP との関連についての記述があれば、シナリオを構築する上での有益な情報となる。

以上のような情報が含まれた FEP データは、シナリオの設定、シナリオから導かれる解析ケースの設定、およびそれぞれの FEP が有する不確実性に対応したモデルやパラメータの変更のための基盤となる。

2.3 本章の目的

本章の目的は、第 2 次取りまとめの FEP リスト、および FEP データの記載内容について、安全評価のためのシナリオ作成への適用性の向上などを目指して、多角的に検討を加えることである。

具体的には、第 2 次取りまとめの FEP リストの体系が、シナリオを構築するのに適したものになっているかどうかを検討する。検討に際しては、FEP リストが網羅的であるか、またリストの階層構造がどのようになっているかに注目して、検討を行う。また、海外のレポートに記載されている FEP リストとの比較を通じた検討も行った。

一方、FEP データの記載内容の検討に際しては、

各 FEP の記述レベルは適切であるか？

各 FEP の記述の詳細度に偏りはないか？

他の FEP との相関に関する記述があるか？

相関関係に不整合はないか？

第 2 次取りまとめに記載されている情報が網羅されているか？

第 2 次取りまとめの記述と FEP の記述に顕著な不整合はないか？

適宜、サイクル機構の内外で蓄積された知見を取り込んでいるか？

の各点に注意しつつ、データの記載内容を充実することとした。

なお、本章においては、人工バリア（ガラス固化体とその近傍、オーバーパック、緩衝材）に関する FEP についてのみを検討の対象とする。

2.4 FEP リストの体系に関する検討

2.4.1 マトリクスを用いたリストの整理

第 2 次取りまとめにおいて、「地層処分システムを構成する場」と「分類された現象・特性」からなるマトリクスを用いて第 2 次取りまとめの FEP リストが作成されている（付・表 A-1）。

FEP リストを、マトリクスを用いて整理することにより、システムの個々の構成要素での現象・特性に対する理解と網羅性の確認が容易となる。例えば、「G-1.1 ガラス固化体の熱物性」という FEP が、包括的 FEP リストにあるが、これに対応するオーバーパックおよび緩衝材についての FEP、すなわち「OP-1.1 オーバーパックの熱物性」および「B-1.1 緩衝材の熱物性」という FEP を採用することによって、人工バリアの構成要素での熱物性については網羅的に FEP リストに取り入れることができる。また、各 FEP を、分類された現象・特性と関連付けて理解することができ、シナリオを実際に分析していくには必要のない FEP を削除することによって、FEP の数を大きく減らすことができる。

しかしながら、マトリクスを用いて FEP リストを整理する場合の問題も指摘できる。まず、関連する特性・事象・プロセスを描写する上での完全性の評価についてである。再度、熱物性を例に説明すると、熱的現象・特性としては、「熱物性」、「温度」、「熱膨張」（ガラス固化体については、「崩壊熱の発生」が追加されている。）の 3 つの項目が FEP リストに採用されているが、これらの項目だけで、熱的現象・特性に関する FEP として完全だろうかといっ

た思いを引き起こさせる。分類された現象・特性にどのような FEP が含まれるかは容易に推測でき、例えば、熱的現象・特性という分類において、現在の FEP リストでは「熱物性」に含まれている「熱伝導」や「融点」などを、新たに別途の FEP として加えることもできると思われる。また、「熱伝導」や「融点」は物性というよりは、むしろ現象であることから、別途新たな FEP として整理した方が良いと思われる。

先に述べたように、マトリクスを用いて FEP リストを整理した場合、特性・事象・プロセスを描写するのに適切な FEP が含まれていれば、人工バリアの構成要素に対する網羅性を確認することは容易であるが、適切な FEP が含まれていることを保証するものではない。

他の欠点としては、FEP の定義の曖昧さが挙げられる。「熱物性」などは人工バリア構成要素を網羅するには適した名称だが、極めて一般化された名称であり、記述されるべき内容の具体性に乏しい。「水理特性」、「力学特性」、「化学特性」、「物質移動特性」に対する FEP についても同じことが言える。また、「物質移動特性」とは、緩衝材などの人工バリア構成要素そのものの移動特性を意味しているのか、または、人工バリアの構成要素が有している、核種の移行を支配する特性を意味しているのかが分かり難い。

更に、FEP の中には、分類されている現象・特性と記述内容との関連がはっきりしないものもある。幾何形状/間隙構造という FEP は、物質（核種）移動現象・特性として分類されているが、これは新たに、「幾何学的現象・特性」という欄を作成し、そこに分類することも考えられる。また、包括的 FEP リストでは、オーバーパック（腐食生成物を含む）と緩衝材についての幾何形状/間隙構造についての FEP は存在するが、ガラス固化体については存在しない。ガラス固化体の幾何形状/間隙構造について FEP として取扱わなくてもよい明確な理由が不明であり、また網羅性の観点からも、ガラス固化体の幾何形状/間隙構造に関する FEP を包括的 FEP リストに追加することが適当だと思われる。

2.4.2 FEP リストの階層構造

次に、FEP リストの階層構造について検討を行った。リストの階層構造を

調べることによって、リストの網羅性の検証、項目間の関連性、およびデータとしての記述内容が整合的になっているかどうかを検証することが可能になる。

本章では、第2次取りまとめのFEPリストのマトリクスを参考にして、「人工バリアシステム」を最上位の階層とし、その下の階層をバリア内の場所を指定するために、「ガラス固化体とその近傍」、「オーバーパック（腐食生成物を含む）」、「緩衝材」の3つに分けた。各場所で発生すると思われる現象を記述するために、場所の階層の下を、「熱的現象・特性」、「水理的現象・特性」、「力学的現象・特性」、「化学的現象・特性」、「放射線学的現象・特性」、「物質（核種）移動現象・特性」、「システムの攪乱となり得る現象」と分類した。ここまでは、第2次取りまとめのFEPリストのマトリクス構造を反映した階層構造である。「現象・特性」の直下の階層には、安全評価で考慮すべき現象を列挙し、最下層には、列挙された現象に影響を及ぼすと思われる特性を配置した。このようなルールに従ってFEPリストを整理したものを、添付資料・図1に示す。

ここで、検証の例として、「ガラス固化体とその近傍」の「熱的現象・特性」についての階層構造を取り上げて議論を展開する。この部分の階層構造と、第2次取りまとめのFEPリストとを比較したのが図1である。

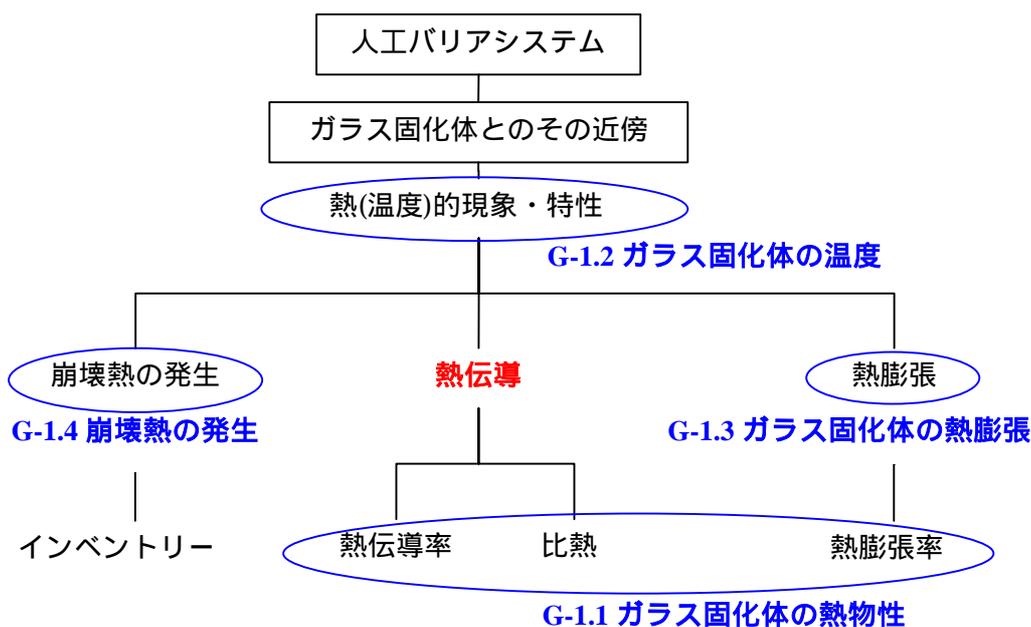


図1 マトリクスと階層構造の整理と比較
(ガラス固化体とその近傍での熱的現象・特性)

図 1 の階層構造から、ガラス固化体とその近傍で起こる熱的な現象としては、「崩壊熱の発生」、「熱伝導」、「熱膨張」の 3 つが考えられ、それぞれの現象に影響を与える特性としては、「崩壊熱の発生」が「インベントリ」、「熱伝導」が「熱伝導率」と「比熱」で、「熱膨張」が「熱膨張率」であることが分かる。

第 2 次取りまとめの FEP リストと比較してみると、まず第 2 次取りまとめの FEP リスト中の「G-1.2 ガラス固化体の温度」に相当する FEP が、階層構造の中では、「熱（温度）的現象・特性」という熱に関する最も最上位の項目にしか当てはまらないことが分かる。これは、「温度」という言葉が曖昧であり、FEP の名称が、非常に一般化されたものであることが原因である。温度の何に対する FEP なのかがより分かりやすい、「温度の変化」または「温度の影響」等に名称を変更することも考えられる。「OP-1.2 オーバーパックの温度」と「B-1.2 緩衝材の温度」に関しても同じことが言える。また、応力に関する FEP（G-3.2,OP-3.2,B-3.2）も、言葉の曖昧さに起因する同様の問題があり、「応力の発生」など、より現象を具体的に表現する名称に変更することを検討するべきかもしれない。

次に、各熱的現象について検討してみると、まず熱膨張については、「G-1.3 ガラス固化体の熱膨張」という FEP と一致しており、熱膨張に影響を与える特性である熱膨張係数も、「G-1.1 ガラス固化体の熱物性」で記述される。しかしながら、熱伝導現象については、現象に影響を与える特性である、熱伝導率および比熱を記述する「G-1.1 ガラス固化体の熱物性」は存在するが、「ガラス固化体の熱伝導」という FEP は第 2 次取りまとめの FEP リストには見当たらない。

また、崩壊熱の発生については、「G-1.4 崩壊熱の発生」という FEP と一致しているが、この現象に影響を与える特性であるインベントリを記述する FEP が見当たらない。

このように、同じ熱的現象であるにも関わらず、その現象に影響を及ぼす特性に関する FEP がないもの（崩壊熱の発生）、特性に関する FEP があるが、その特性が影響を及ぼす現象を記述する FEP がないもの（熱伝導）、現象も特性もいずれも記述する FEP が存在しているもの（熱膨張）、の 3 つに現象の記

述レベルが区分される。前述したように、第2次取りまとめのFEPリストでは、熱膨張という現象はFEPとして採用され、熱伝導という現象は採用されなかったという明白な理由が明らかではない。

また、化学に関するFEPに関しても、名称が曖昧になっていることに起因する問題点を、階層構造から見るることができる。「地下水化学」というFEP(G-4.2,OP-4.2,B-4.2)があるが、これが、地下水の化学特性を意味しているのか、または地下水と人工バリアの構成要素との反応を意味しているのか曖昧である。しかしながら、後者ではないということがオーバーパックと緩衝材に関して、「地下水との反応」という別のFEP(OP-4.3,B-4.3)が存在していることから判断される。このことから、「地下水化学」というFEPは、地下水の組成に関するFEPであると思われる、そうであるならば、「化学特性」(G-4.1,OP-4.1,B-4.1)と同等と扱うべきだと判断され、名称を「地下水化学特性」と変更するべきであろう。

また、第2次取りまとめのFEPリストでは、「OP-4.4 オーバーパックの腐食」、「G-6.3 ガラス固化体からの核種の溶出」、「OP-6.3 腐食生成物」および「B-6.3 緩衝材中での核種の移行」のFEPをより詳細な現象にFEPを細分化している。このように、現象を細分化できる項目は他に存在しており(例、「G-4.3 ガラス固化体の溶解」を「G-4.3.1 加水分解による溶解」と「G-4.3.2 水和反応による溶解」)。腐食と核種移行に関するFEPだけ細分化する理由が明白ではない。しかしながら、オーバーパックの腐食と核種移行という二つの現象は地層処分システムにおいて非常に重要であり、これまでに多くの研究が行われ、蓄積された知見および情報も非常に多い。従って、現象の重要性、および現象に関する情報量の多さから、FEPを細分化することも妥当だと思われる。一方では、このような理由でFEPを細分化した場合、階層構造の中で他より多く階層が分かることになり、FEPデータとしての記述内容が整合的では無くなることも考えられる。

2.4.3 海外のレポートに記載されているFEPリストとの比較

海外のFEPリストは、地層処分システムに対する疑問と、地層処分について調査している実施機関および規制当局から挙げられた問題点をもとにして

作成されている例が多い(例えば、SKB,1999⁽¹⁹⁾、Nagra,1994⁽¹⁴⁾)。これら海外の FEP リストは、地層処分システムの長期安全性に関心を向けている様々な関係者からの疑問、問題から生まれたものであり、「生の言語に基づいた」FEP リストと呼ぶことができる。

一方、第 2 次取りまとめの FEP リストは、廃棄体、オーバーパック、緩衝材の物理化学的現象・特性に注目して整理されている。このような FEP リストは、「生の言語に基づいた」FEP リストに対して、「工学的見地に基づいた」FEP リストと呼べる。「工学的見地に基づいた」FEP リストでは、シナリオ解析には適していない、体系化されておらず、また的外れな FEP を排除することができることから、「生の言語に基づいた」FEP リストよりは明らかに短くなる。例えば、OECD/NEA がまとめた International FEP リスト(OECD/NEA,2000)⁽¹⁷⁾には、「種の進化」という項目まで、FEP リストに加えられている。付・表 A-4 に、第 2 次取りまとめの FEP リストと OECD/NEA がまとめた International FEP リストとの比較の一覧表を示す。

以上の検討から明らかになった点を以下に整理する。

- マトリクスを用いた FEP リストを整理することによって、既に提示されている FEP が人工バリアの構成要素に対して網羅的であるかどうかを容易に判断できる。
- マトリクスによって整理することが、適切な項目が FEP として全て含まれていることを保証するものではない。
- 第 2 次取りまとめの FEP リストには、名称の定義が曖昧なものがあり、また、現時点でのマトリクス構造に適さない FEP も存在している(例、幾何形状/間隙形状)。
- FEP リストの階層構造を検討した結果、マトリクスによる整理と階層構造による整理の間に十分な整合性が取れない可能性がある。
- 「生の言語に基づいた」海外の FEP リストと比べると、第 2 次取りまとめの FEP リストは、「工学的見地に基づいた」FEP リストと言える。

2.5 各 FEP データの記載内容についての検討

各 FEP データの記載レベルの適切さについて検討する場合、全 FEP が同一の階層レベルで整理されるわけではないこと 各 FEP について、現在得られているそれぞれの知見レベルが異なっていること 安全評価の観点から見ると、各 FEP の影響度は異なっていること、などから、全ての FEP に対して共通な記述レベルの深さを要求することが必ずしも適切であるとは考え難い。

以上のことから、記述レベルを同じにするのではなく、むしろ、安全評価における重要度が高く、知見レベルも高いものについては、詳細に記述し、安全評価における重要性は高いが、知見レベルが低いもの、及び知見レベルは高いが、安全評価における重要性が低いものについては、概括的な記述にとどめる、といったルールに従って記述するのが今回は適切であると考えられる。

他の FEP との相関関係を確認するために、包括的 FEP リストの RES マトリクスを作成した（添付資料・表 1）。RES マトリクスを用いることによって、各 FEP が、どの FEP に影響を及ぼしているかを確認することが容易であり、また、冗長なインフルエンスが示されていないかも確認する。

上記のことを踏まえて、FEP リストに基づいてシナリオの解析を行うために適した FEP データの記述を行うために、各 FEP データを以下の構成に従って再整理した。

なお、最新の研究成果についての知見を記載内容に取り入れるために、サイクル機構担当者および専門家の方のご意見を伺った。

- ・ FEP の名称

当該 FEP の名称を記述する。

- ・ 当該 FEP の概要

当該 FEP で記述される内容の概要を記述する。

- ・ 発生可能性、安全性への影響機構及び感度

当該 FEP が、現象についての記述の場合には、その現象が、地層処分システムにおいて発生する可能性について記述する。また、当該 FEP が安全評価上、どのような影響を与えるかを簡略に整理し、また、安全性に与える影響の程度である感度についても記述する。

- ・現象理解の現状

ここでは、最新の研究成果も含めて、これまで得られている重要な知見を用い、当該 FEP に相当する特性または現象についての詳細を記述する。また、ここで議論している特性または現象が核種移行にどのような影響を与えるかを、別途「核種移行への影響」として整理し、上記した安全性への影響機構及び感度についてのより詳細な情報を記述する。

シナリオを解析する上で、不確実性に対して適切な取り扱いをすることが必要であり、FEP データにおいても、不確実性を明確にすることが重要である。このことから、当該 FEP で記述されている特性または現象、およびそれらが核種移行に及ぼす影響を理解する上で、現時点での主要な不確実性についても記述した。

- ・性能評価での取扱いとその理由

当該 FEP に相当する特性または事象が第 2 次取りまとめにおいてどのように取り扱われているかを記述する。また、当該 FEP が安全評価に及ぼす影響、また不確実性に対する新たな知見が得られた場合の当該 FEP の取扱い等を今後の課題として記述した。

- ・当該 FEP に相関がある FEP

RES マトリクスとしての整理より確認された、当該 FEP と相関がある FEP を上流側と下流側に分けて記述した。

- ・参考文献

当該 FEP データで引用した文献を示す。

2.6 FEP データ

第2次取りまとめの FEP データ（人工バリアのみ）の記載内容に関する情報を整理した。なお、網羅性の観点から、第2次取りまとめの FEP データに対して新たに「G-6.2 幾何形状/間隙構造」を追加した。また、「B-3.3 緩衝材の膨潤」という FEP の名称を「B-3.3 緩衝材の体積変化」と変更した。これは、飽和による体積変化である膨潤だけでなく、他の要因による体積変化についても記載するためである。

本研究でデータを整理した FEP は以下の通りである（本整理において追加、変更した FEP を下線で示す）。

G. ガラス固化体とその近傍

G-1.1 ガラス固化体の熱物性

G-1.2 ガラス固化体の温度

G-1.3 ガラス固化体の熱膨張

G-1.4 崩壊熱の発生

G-3.1 ガラス固化体の力学特性

G-3.2 ガラス固化体の応力

G-3.3 ガラス固化体の割れ

G-4.1 ガラス固化体の化学特性

G-4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学

G-4.3 ガラス固化体の溶解

G-4.4 ガスの発生/影響

G-4.5 微生物の影響

G-4.6 有機物の影響

G-4.7 コロイドの形成

G-4.8 ガラス固化体の化学的変質

G-5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊

G-5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解

G-5.3 ガラス固化体の放射線損傷

G-6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性

G-6.2 幾何形状/間隙構造

G-6.3 ガラス固化体からの核種の溶出

G-6.3.1 核種の調和的な溶出

G-6.3.2 沈澱/溶解

G-7.1 ガラス固化体の組成不良

OP. オーバーパック（腐食生成物含む）

OP-1.1 オーバーパックの熱物性

OP-1.2 オーバーパックの温度

OP-1.3 オーバーパックの熱膨張

OP-3.1 オーバーパックの力学特性

OP-3.2 オーバーパックの応力

OP-3.3 オーバーパックの破損

OP-3.4 オーバーパックの腐食膨張

OP-3.5 オーバーパックの沈下

OP-4.1 オーバーパックの化学特性

OP-4.2 オーバーパックの地下水化学

OP-4.3 オーバーパックと地下水の反応

OP-4.4 オーバーパックの腐食

OP-4.4.1 全面腐食

OP-4.4.2 孔食

OP-4.4.3 すきま腐食

OP-4.4.4 応力腐食割れ

OP-4.5 腐食生成物の生成

OP-4.6 ガスの発生/影響

OP-4.7 微生物の影響

OP-4.8 有機物の影響

OP-4.9 コロイドの形成

OP-5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊

OP-5.2 腐食生成中の間隙水の放射線分解

- OP-5.3 腐食生成物の放射線損傷
- OP-6.1 腐食生成物の物質移動特性
- OP-6.2 幾何形状/間隙構造
- OP-6.3 腐食生成物中での核種の移行
 - OP-6.3.1 移流/分散
 - OP-6.3.2 拡散
 - OP-6.3.3 収着
 - OP-6.3.4 沈澱/溶解
 - OP-6.3.5 コロイドによる移行
 - OP-6.3.6 ガスによる移行
- OP-7.1 オーバーパックの製作不良

B. 緩衝材

- B-1.1 緩衝材の熱物性
- B-1.2 緩衝材の温度
- B-1.3 緩衝材の熱膨張
- B-2.1 緩衝材の水理特性
- B-2.2 緩衝材の飽和
- B-2.3 緩衝材中での地下水流動
- B-3.1 緩衝材の力学特性
- B-3.2 緩衝材の応力
- B-3.3 緩衝材の体積変化
- B-3.4 緩衝材の変形
- B-3.5 緩衝材の流出
- B-4.1 緩衝材の化学特性
- B-4.2 緩衝材中の地下水化学
- B-4.3 緩衝材と地下水の反応
- B-4.4 ガスの発生/影響
- B-4.5 微生物の影響
- B-4.6 有機物の影響

- B-4.7 コロイドの形成
- B-4.8 緩衝材の化学的変質
- B-4.9 塩の蓄積
- B-5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊
- B-5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解
- B-5.3 緩衝材の放射線損傷
- B-6.1 緩衝材の物質移動特性
- B-6.2 幾何形状/間隙構造
- B-6.3 緩衝材中での核種の移行
 - B-6.3.1 移流/分散
 - B-6.3.2 拡散
 - B-6.3.3 収着
 - B-6.3.4 沈澱/溶解
 - B-6.3.5 コロイドによる移行
 - B-6.3.6 ガスによる移行
- B-7.1 緩衝材の製作不良
- B-7.2 緩衝材の施工不良

なお、上記した FEP データの構成（「FEP の名称」、「当該 FEP の概要」、「発生可能性、安全性への影響機構および感度」、「現象理解の現状」、「性能評価での取り扱いとその理由」、「当該 FEP に関連がある FEP」、「参考文献」）に従い、データの整理を行った。全 FEP データの記述は添付した CR-ROM を参照されたい。

2.7 今後の課題

第 2 次取りまとめの FEP リストの体系について検討した結果から、マトリクスを用いた手法だけではなく、海外の FEP リストで見られる「生の言語に基づく」手法や、また階層構造を用いた手法から、想定される全ての項目を挙げ、それをマトリクスで整理する際に、多角的に FEP リストを検証し、階層的であり、かつマトリクスで整理する利点も活かされた FEP リストを構築

していくことが必要だと思われる。

FEP リストが、シナリオを構築するための部品であるということを認識すれば、各 FEP に関する情報を管理しておくことが、シナリオを解析する上でも非常に重要であることが分かる。ここでの情報には、既に分かっていることだけでなく、地層処分に関連した不確実性を含む必要がある。それらの情報の質と量は、研究・開発の進歩に伴い、時間経過とともに変化していくものである。例えば、変化していく情報を統一的に管理するツールを作成し、そのツールに、ある FEP に関する情報の変化が、シナリオ解析にどのような影響を与えるのかといったことを記録する機能を持たせておけば、FEP リストからのシナリオ構築、および解析という一連の作業がより効果的になることが期待できる。

3. シナリオ解析システムの検討

3.1 序

本章は、シナリオ解析への「化学工学的（ChEng）」アプローチについて考察するものである。このアプローチにおいて処分場システムは、人工及び天然バリアの双方に基づいて個別の物理的な区分に分けられている。ChEng法に用いられている特質・事象・プロセス（FEP）は、それぞれのバリアにおける予測可能な特性として基本的に定義される。それらは以下の通りである。

- ・ 力学的特性
- ・ 熱的特性
- ・ 化学的特性
- ・ 水理学的特性^(注1)
- ・ 放射線学的特性^(注2)

本章の目的は、シナリオ解析におけるChEng法を評価し、その適用性で考えられる課題について検討することである。内容としては、全ての物理的構成要素と物理化学的特性に関するレビュー、またそれに基づき一連のシナリオ解析システムとするための初期のRES相互作用マトリクスの開発がある。そのRESマトリクスには第2次取りまとめに関連した初期の記述形式のFEPリストと影響も含まれている。第2次取りまとめのFEPに関するレビューについては2章並びに付録Aを参照のこと。

3.2 化学工学的アプローチ（ChEng法）によるシナリオ解析の概要

シナリオ解析の計算ケースの設定に用いるためのFEPの文書化・監査及び体系化への新しいアプローチとして、図2で概念的に示されているように、特定の構成要素とプロセスが一对一の関係と時系列によって結び付けるというアプローチが考えられる。これは、化学工学的なプロセスモデリングと似ていることがわかる。

(注1) 核種移行（物質移動）特性の取り扱いについては付録A（特にA.3.2項）を参照。

(注2) 本章は放射性廃棄物処分に関わる問題についての解析をより優れたものにするため人工バリアシステム（EBS）にこのFEPを追加することを提案するものである。

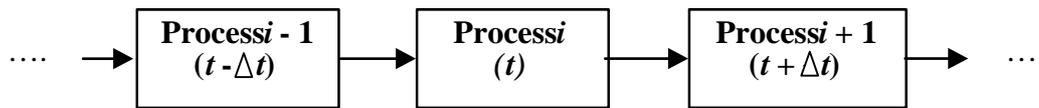


図2 化学工学的プロセスシステムの図解化

構成要素とプロセスが時系列によって結ばれ、お互いに一対一の関係を作りあげている。 t は時間を、 Δt は任意の持続時間を示している。

このような手法が処分場システムに適用されると、図3のようなバリア構成要素を図式化したRESマトリクスを生成する。処分場の母岩が掘削影響領域(EDZ)とファーフィールド母岩に随意に分割化されるということは第2次取りまとめ分冊2「地層処分の工学技術」(JNC, 1999)⁽⁶⁾の中でも主要な論点となっている。

本節においては、FEPベースによるシナリオ解析におけるChEng法を「生の言語に基づいた」アプローチとを比較する。ChEng法に関する長短所についての論評は海外のシナリオ解析に関わった経験が基となっている。

3.2.1 処分場システムの表現

図3は処分場システムにおけるChEng法の図を抽出・簡素化したものである。図3を図4(SITE94(SKI, 1996)⁽²¹⁾より、プロセス影響図中に表示された「生の言語に基づいた」FEPsを簡素化したもの)と比較すると、両者の処分場システムの表現における類似点を見出すことができる。双方とも処分場システムの構成要素間の相互作用を示すことが可能であり、また、どの隣接する構成要素もその相互作用は、物理的/化学的特性とフラックスの間に連続性を必要とする。隣接するバリアの接点をまたがる運動量・エネルギー・質量の移動については明白に考慮されなくてはならない。^(注)

^(注) 通常シナリオと変動シナリオ(火山活動など)が、処分場内の、特に人工バリアシステムにおいて、気液混合の二相状態の成因となる可能性があるのは一つの関心事である。放射性核種移行の分岐経路となり得るコロイドの問題もまたある。従って、様々なバリア構成要素を通過する気体または固体(コロイド)の挙動に関連する移動特性とプロセスを「水理学的特性」に加えることも考えられる(付録A(A.3.2項)を参照)。

ChEng 法簡略図は、それぞれの構成要素を実際空間にあるものとして結び付けている点から、処分場システムを効率的に図式化したものといえる。物理的に隣り合った構成要素同士が一对一の関係を持っていることが、ChEng 法マトリクス図に効率的に示されている。さらには、最終的な性能評価の際に重要な要素となる放射性核種の移動方向についても、この図を使って表わすことが可能である。

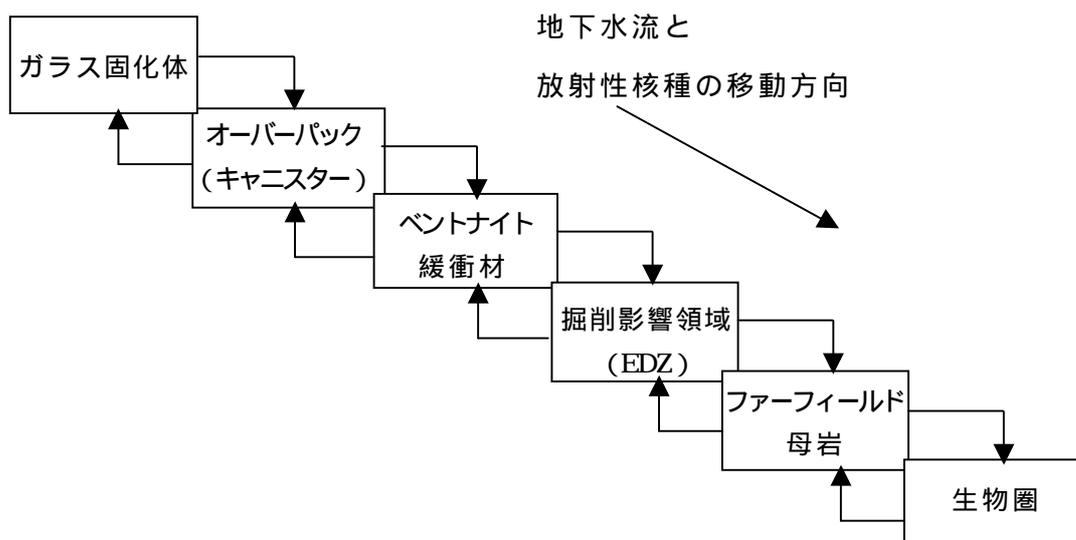


図3 処分場システムシナリオ解析のための ChEng 法簡略図
(システムの構成要素)

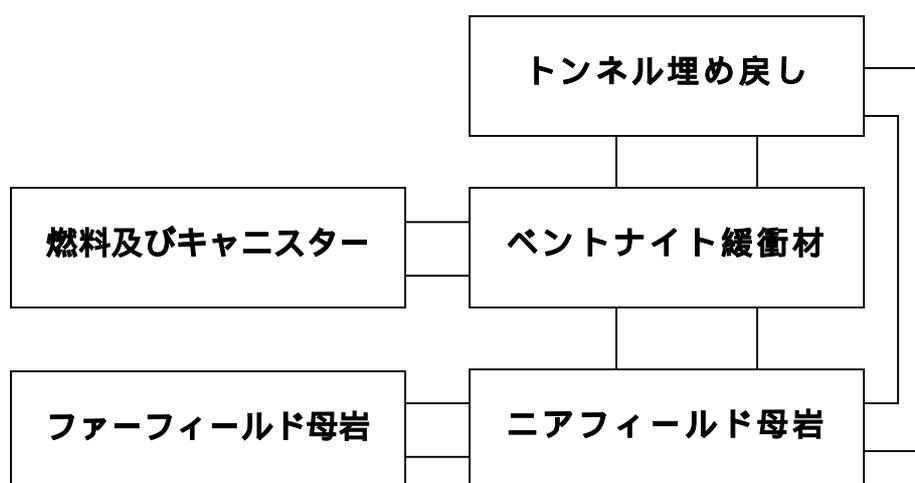


図4 SKI シナリオ解析のための PID 構造レイアウト

3.2.2 プロセスと相互作用

(1) FEP 特性の定義

表 1 は基本となる特性とプロセス及びその移動量を簡単に編集したものである。基本特性 / プロセスとしては熱的、水理学的、力学的、化学的プロセスなどがあり、そのそれぞれに多様な特性 / プロセスが含まれている。モデル作成者はそのような特殊なプロセスに関して実際にモデルを作成し、計算を実行することができる。ChEng 法マトリクスにおいて対角線上の FEP セルの特性をどのように定義するのは未定であるが、二つの可能性があると考えられる。

表1 基本プロセスと特定プロセス

基本プロセス	特定プロセス	移動
熱的	熱伝導、対流、放射線、など	エネルギー / 質量
水理学的	地下水流、二相流、など	質量 / 運動量
力学的	亀裂、など	運動量
放射線学的	放射線分解、放射線損傷、など	放射線
化学的	溶解 / 沈殿、腐食、など	質量

一つ目は、「特性」という言葉によって指し示されるのは単にバリアの熱的、力学的、放射線学的、化学的特性のみである可能性があるため（例えば、熱伝導度、透水性、降伏応力、中性子吸収、等）、物理的 / 化学的状态（例えば、温度、地下水組成、亀裂現象など）からは区別されるべきなのではないかということである。物質的特性は、物質がある状態から異なる状態に変化する間だけに発生するプロセスに影響を与える。このような狭義的な考え方においては、特性は、摂動時にシステムが応答するまでの時間とともに、定常状態（もしそのような状態が可能ならば）に到達するまでに必要な時間にも影響を及ぼすことになる。定常状態に到達した後は、時間変動に影響を与えるバリア特性に関するデータは必要ないであろう。しかしながら、ChEng 法は、時間とともに処分場システムがどのように進展し得るのか、また、未来の仮想事例（シナリオ）が通常シナリオにどのような摂動を与え得るのか、ということを考えるためのものであるから、ChEng

法マトリクス中の対角線上の要素をバリア特性だけで定義したのでは適切ではないと思われる。

そこで、二つ目の解釈を提案する。この場合、「特性」という言葉はバリアの特性と状態の二つを意味するものとする。対角線上の FEP をこのように解釈することにより、ChEng 法では、安定状態（長期的、通常の）と摂動状態（シナリオ）の両方に対して柔軟に考慮することができるようになる。

(2) 基本的な ChEng 法の RES マトリクス

従来の「生の言語に基づいた」FEP シナリオ解析へのアプローチと比べると、ChEng 法がよりいっそう簡潔なものであることは明らかである。「生の言語に基づいた」手法では、処分場システムを記述するのに数百個の FEP を同定するのが典型であるが、ChEng 法では、主要な FEP の数は、分析に選択されるバリアの数などによって異なるとはいえ、大体 20-30 程度に集約可能である。図 5 は、ChEng 法のための完全な RES フォーマットの例である。それぞれのバリア構成要素が熱的、化学的、力学的、水理学的特性に関する FEP（黄色の部分）を含んでいる。また、第 2 次取りまとめの FEP リストにはないが、最初に「放射性核種インベントリ」という FEP を含めている。

図 5 の対角線外のセルに注目すると、赤色のセルは隣接するバリア構成要素間の連続的影響（影響）を表わしている。よって、「HLW の熱的特性」と「オーバーパックの熱的特性」の間には連続する熱移動があることがわかる。対角線外にあらわされたこれらの連続的影響は ChEng 法に対して境界を効果的に定義するものである；二組の赤色連続セルによってつくられた境界の外側に位置している多数の白い対角線外のセルについてであるが、この連続的影響が注意深く規定されたものであれば、これらの白色セルを性能評価に用いるのは適当ではない。RES フォーマット（もしくはプロセス影響図（PID）のフォーマットでさえも）の中に表わされた ChEng 法は特別に簡明なのであり、シナリオ解析を行うにあたって大いなる利点となるであろう。

図 5 の中で赤い連続セルによって作られた帯の間にあるその他の対角線外のセルは同じバリア内のある特性が別の特性に与える影響を表わしている。特性 / プロセスのこのような二元的相互作用については本章の次項において後述すること

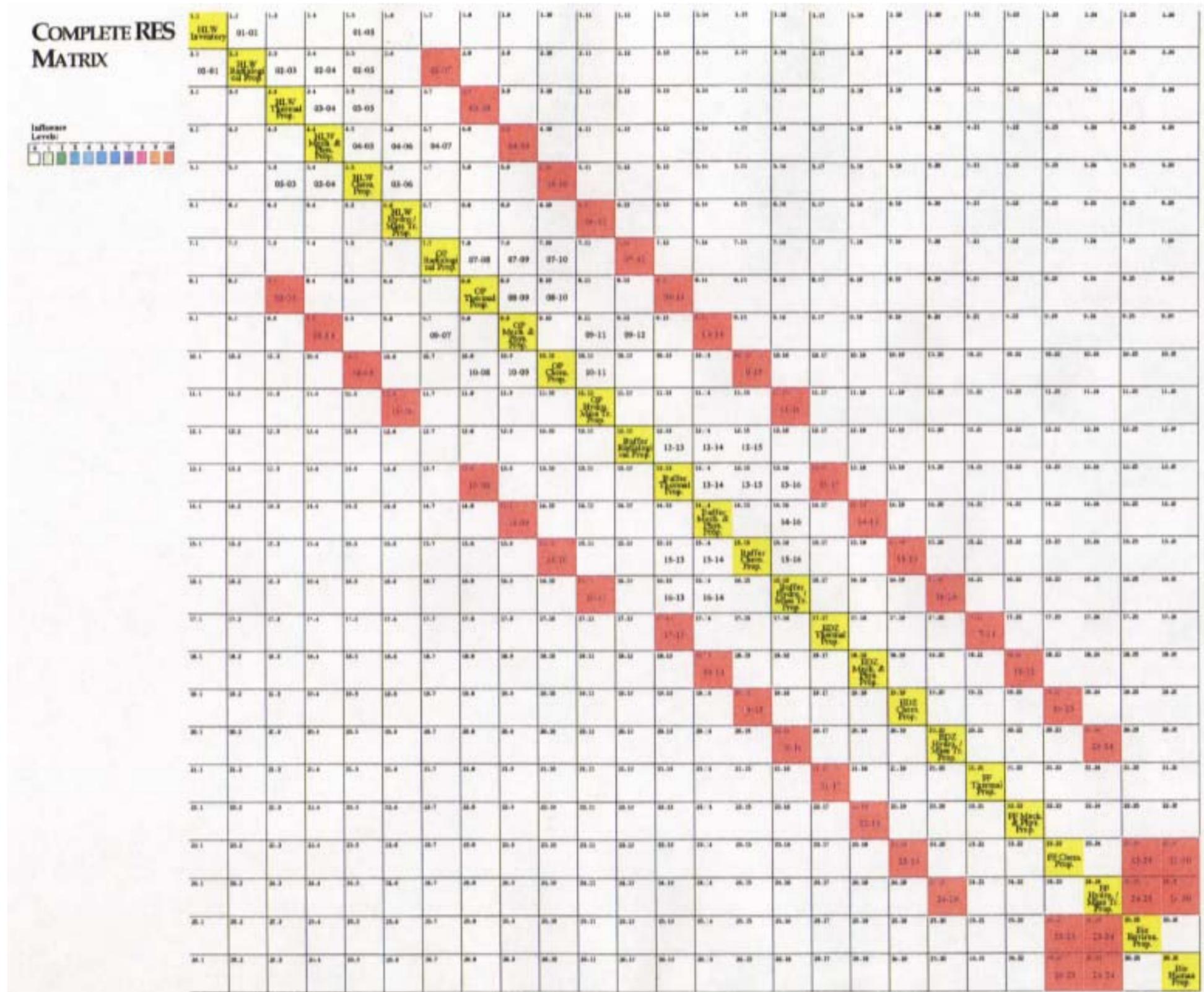


図5 FEP ベースのシナリオ解析に対する ChEng 法アプローチの第 2 次取りまとめに基づく RES フォーマット表現

黄色セルは基本特性 / プロセスの FEP を、赤色セルは隣接バリア構成要素の連続状況を、連続セルによって作られた帯の間にあるセルは特定バリア構成要素のある FEP が別の FEP に与える基本的な影響を表わす。

とする。対角線上の黄色セルは対称であるが、これは特性 A の特性 B への影響を示す対角線外のセルのそれぞれが、特性 B の特性 A への影響を示す対角線外のセルと相対していることを示している。この FEP 同士の対についても後の項で論ずることにする。

(3) 各 FEP の多様な特性と影響

この簡潔さにはそれでも欠点もある。図 5 によると、各 FEP は多数の異なる「特性」を持つことになる。例えば、「HLW の化学特性」には溶解速度、溶解度、多数の相とその数、主要・非主要成分の組成などが含まれる。これら全ての「特性」が性能評価において等しく重要なのではない。また、これらの特性の相対的重要性はシナリオによって変化し得るものである。

ある FEP が別の FEP に与える影響を考えたとき、図 5 の対角線上のセルが多様な特性を持つという問題はさらに複雑となる。対角線外のセルは、ある FEP の別の FEP に対して与える影響についての情報を示している。例えば、「バリア X の熱的特性」FEP による「バリア X の化学的特性」FEP への影響を考えてみよう(図 6 参照)。バリア X の溶解の動的特性、平衡定数、吸着平衡に与える温度による影響(右上セル 1-2)は、図 6 中に示される対角線外の要素に全て包含されている。しかしながら、これらの温度による影響の全てが性能評価において等しく重要性を持つわけではない。FEP 解析への「生の言語に基づいた」アプローチではそれぞれの特性に個別の FEP が設けられている。このことは、FEP の数を(RES フォーマットと PID スタイルフォーマットの両方において)増やす一因にはちがいないが、「特性」が詳細化されることによって、それぞれの FEP の相対的重要性を、お互いに与え合う影響とともに明白に定義することができる。

対照的に、一つの対角線上のセルの中に全ての特性を集めた ChEng 法では、各 FEP への単独の影響レベルと、別の FEP に与える影響レベルを指定するのは困難である。影響レベルを定めないことには、性能評価のモデル作成者は最重要プロセスから特定の関連プロセスを抜き出すための性能評価の計算を容易に行うことができない。

しかし、このような一つの「特性」FEP の中に多数の「生の言語」FEP を組み込んだ ChEng 法に関する問題に対処する方法もある。最も簡単なのは、現在の

1.1 Barrier "X" Thermal Properties	1.2 1-2
2.1 2-1	2.2 Barrier "X" Chemical Properties

図6 一般のバリア構成要素「バリア X」に関する二つの FEP の
二元的影響を図式化したもの

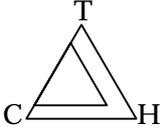
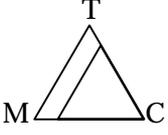
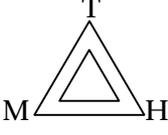
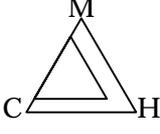
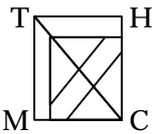
RES フォーマット用コンピュータ・プログラム（図 5 を作成するのに使われたようなもの）を用いて、使用者が特定のバリア構成要素を強調できるような機能を付け加える方法である。一個のバリアを強調することによって、そのバリアについての詳細な FEP がまとまって表示され、各特性とプロセスが同様の RES フォーマット上に個々の FEP として表わすことができるようになる。

(4) プロセス相互作用

あるバリア構成要素において、多様なプロセスがほぼ同時に相互作用し得る。これを連成プロセスと呼ぶ。連成プロセスの型は、図 7 のように Tsang(1987)⁽²³⁾ によってまとめられた。ChEng 法図では、二元的な相互作用は対角線外のセルによって示され、それぞれの影響レベルが色分け表示されているが、連成プロセスの相互作用と影響レベルを ChEng 法図を使って表わすのには二つの問題点がある。

まず、基本プロセスについてであるが、二つの基本プロセス間の相互作用は多様なプロセス / 特性間における相互作用が集積されたものだといえる。前項で述べたとおり、特定のプロセス / 特性間の様々な相互作用についての影響レベルを区分するのに一種類の数値（この場合は色）を用いるのでは十分とはいえない。

例えば、温度の廃棄体溶解と溶解度への影響は、図5に示されたChEng法図では、熱的特性が化学的特性に与える影響を示すボックスにあるように、同じ影響レベルが指定される。他にも数多くの例を挙げることができる。結局このような図から性能評価の簡易化計算ケースを導き出すのは困難だとモデル作成者が感じることもあるだろう。

No.	Type	Example
1.	T = C	相変化
2.	T = H	浮揚流
3.	T = M	熱で生成した亀裂
4.	H = C	溶解と沈殿
5.	H = M	水理学的亀裂
6.	C - M	応力腐食
7.		熱水理学系における 化学的反応及び輸送
8.		熱化学的変形による 力学的応力の変化を伴う熱力学的影響
9.		熱による亀裂岩体の水理力学的挙動
10.		化学的輸送に影響する可能性のある (亀裂における)水理力学的影響
11.		熱水理場における亀裂中の化学的反応と輸送

注) T = 熱的、M = 力学的、H = 水理学的、C = 化学的。

「 - 」は弱い結合を、「 = 」は強い結合を示す。

図7 Tsang(1987)⁽²³⁾によってまとめられた連成プロセス

次に、連成プロセスに関する問題がある。ChEng 法図では、二つのプロセスについてはどの結合も表現できるが（図 7、タイプ 1-6）、3 つ以上のプロセスの完全結合（図 7、タイプ 7-11）を直接表わすことは不可能である。

ChEng 法における完全な連成プロセスの表現に関する限界は、従来の FEP ベースのシナリオ解析における「生の言語」に基づいたアプローチに関する限界にもなる。この問題を解決する方法は多数考えられる。例えば、放射性廃棄物処分後 300-1000 年以上経過すると、その埋設地点から発生する応力、温度、化学組成の変化は、大きく消散する。そのような変化がないとすれば、連成プロセスは放射性核種の放出率の計算には含める必要がないと通常みなされる。変化の大きい状況（例えば、廃棄体埋設後の最初の 300 年間や、火山活動シナリオなどによる状況）については、図 5 内の対角線外セルについて文書化された記述により、性能評価コードの範囲内での連成プロセスモデリングの有無とその方法について表わすことが可能である。例えば連成プロセスコードの多くは、連成プロセスへの二元的な段階的アプローチをとっている：はじめに温度 水理結合が、次に温度 化学結合、そして水理 化学結合がモデル作成される。このような連成プロセスモデル作成の段階的アプローチに対しては、現在の ChEng 法 RES フォーマットによる二元的な表現で十分である。

最後に、この RES フォーマットに示された ChEng 法 FEP の利点について、影響レベルの追加を想定した上で述べることにする。例えば、図 6 において、バリア X の熱的特性による化学的特性への影響（右上セル 1-2）を大とし、化学的特性の熱的特性に与える影響（左下セル 2-1）は小と仮定する。これは熱化学的結合が「一方通行」の結合（熱 化学）としてよいことを示唆するものである。一方、セル「1-2」とセル「2-1」がお互いに与え合う影響を大とする場合には、熱的過程と化学的過程の結合を完全結合としなくてはならない（熱 化学）。よって、影響レベルに基づいて対角線外のセルを色分けした RES マトリクス図を見れば、使用者は即座に連成プロセスの強弱を知ることができる。

(5) ChEng 法と生の言語に基づいた FEP の比較のまとめ

この節の論評は、FEP ベースのシナリオ解析における革新的な ChEng 法と旧来の「生の言語に基づいた」アプローチとの考えられる相違点を強調することを目

的として述べられた。二つの手法はそれぞれ包括的で相互に転換可能であり、同じ情報を異なる方法で表現することが可能な二つの言語のようで、使用目的や使用者によってどちらを使うべきかが決まると考えられる。ChEng 法には明白な利点はいくつかある（表 2 参照）。一番明白な利点は ChEng 法が実際の処分場構成要素（廃棄体、緩衝材、母岩など）に基づく FEPs を用いていることである。二番目の利点は 4 タイプの物理化学的特質 / 特性から成る簡易なセットが各構成要素（熱的、水理的、力学的、化学的）として定義されていることで、それは連成プロセスモデリングにおいても広く認識されている（例えば Tsang,1987⁽²³⁾を参照。）

表2 ChEng 法と生の言語に基づくアプローチ法の比較

ChEng 法 (JNC) の長・短所

長 所	短 所
<ul style="list-style-type: none"> • トップダウン的アプローチ • RES マトリクスのサイズのコンパクト化・簡明化 • 2つの対角成分間の相互作用の可逆性の強さを各影響方向の影響レベルの差で表示可能(連成プロセスかどうかの判定が可能) • モデリングに直結しやすい • 技術 / R&D 向き 	<ul style="list-style-type: none"> • 1つの対角成分に多数の要素が含まれるため、対角成分間の相互作用が多対多関係となり複雑化する。また、各要素毎に影響レベル(重要度)を付与できない(階層化による対処が必要) • 3つ以上のプロセスが同時に発生する連成プロセスを直接表現できない(2元的なプロセスの組み合わせ表示は可能)

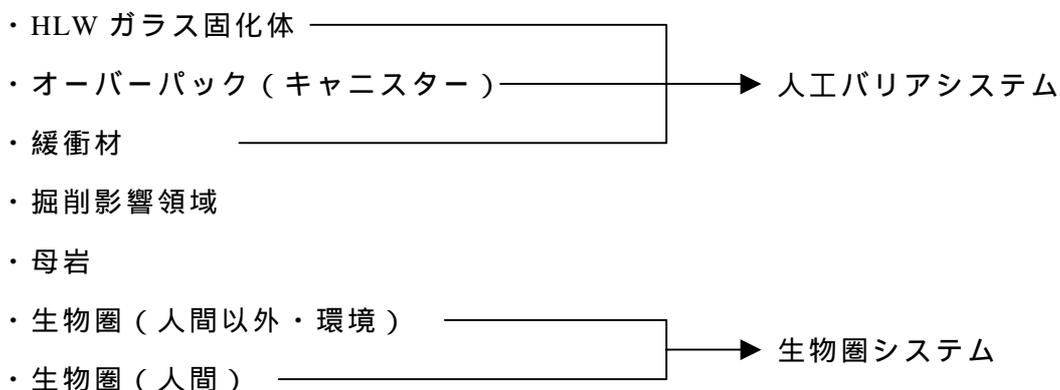
生の言語に基づくアプローチ法 (SKI,NEA 等) の長・短所

長 所	短 所
<ul style="list-style-type: none"> • ボトムアップ的アプローチ • 単層 • ステークホルダー向き 	<ul style="list-style-type: none"> • FEP 数が膨大なため、複雑になりやすい • 表現が長くなり理解しづらい

3.2.3 第 2 次取りまとめを基本にした RES 相互作用マトリクス

先に例示した ChEng 法のマトリクスは、本アプローチを用いて日本における HLW 地層処分システムに対する RES 相互作用マトリクスの草案を作成する起点となるものである。FEP は主に第 2 次取りまとめに記述された処分場の人工及び

天然バリアシステム (JNC, 1999)⁽⁶⁾⁽⁷⁾に基づいて定義される。それらとは：



各々のバリアシステムは、バリアシステムの性能を評価するときに重要となるバリアシステムの特性を規定するために数個の FEP を必要とする。生物圏 (非バリアシステムとみなす) を除いては、主要な特性は以下のように分類される：

熱的特性

力学的及び物理的特性

化学的特性

水理学的 / 物質移動特性

放射線学的特性

HLW ガラス固化体システムは、処分場に埋設された廃棄物のインベントリ (ソースターム) を規定するために、もう一つの FEP を追加する。生物圏については二つのシステムに区分することを提案する。：1) 植物及び人間以外の動物の生態系とともに、生物以外の要素にも影響を与える処分場の独立した評価を可能とする環境生物圏、2) 処分場性能の人間に与える影響を特別に規定する人間生活圏。従って、処分場システム全体を記述するために最低 26 個の FEP を提案する。

この RES 相互作用マトリクスの目的は、各システムの構成要素に関わる基本特性だけでなく、システム構成要素の性能に対する理解と評価に重要となる特性に関連するプロセスを含むためにこれらの FEP を定義することである。各 FEP の詳細については、付録 B の中で、これらのシステムとその特性について記述された第 2 次取りまとめの関連部分を参照しながら記述した。これら FEP の詳細な記述においては、特定の安全性や性能に関する機能とのつながりについても述べてある。

図 8 は第 2 次取りまとめに基づいた完全な RES 相互作用マトリクスを提案するものである。主要な FEP は黄色のセルによって表わされ、マトリクスの対角線を構成している。このマトリクスとその関連データベースは、RES 型マトリクス構築だけのために Filemaker Pro[®]を用いてあらかじめ開発した専用コンピュータ・プログラムを使って作られたものである。

本章 3.2.2(2)で述べたように、対角線外のセルは FEP 同士が与え合う影響を表わしている。対角線外の影響セルには二種類の「タイプ」がある。：1) 隣接するバリア構成要素間の連続状態を表わすもの、2) 同一のバリア、もしくは隣接するバリアのある特性が別の特性に与える影響を表わすもの。連続影響セルは赤色で表わされている。「特性」影響セルはバリアシステムの性能評価において認知される重要性（影響レベル）によって主観的に色分けされている。影響レベルの度数は「0」から「9」までであるが、重要性レベル「10」は必要とされる連続影響セルのために残しておく。最低度数である重要性レベル「0」は、白い（無色の）セルで示されている。影響「0」はある特性の別の特性に与える影響が全くないか、もしくは考慮不要であることを示しており、計算結果の信頼性を損うことなく安全評価から省略可能であることを示唆するものである。影響度「9」は、ある特性の他の特性に与える影響がバリア構成要素の性能に多大な影響を与える結果となることを表わしている。安全評価からこのような影響を省略した場合、計算結果の信頼度が多大に失われてしまうことになるだろう。図 8 には影響レベルごとの色別コードを設けた。以下の 2 点については特別に述べておきたい。：1) 今後の評価では、重要な影響セルが追加され得ること、2) 様々な影響セルに与えた重要性レベルは予備的なものであり、今後知識の充実などに基づいて変更し得ること。予備的な重要性レベルは、シナリオ解析における RES 相互作用マトリクスの用法を図解するために設定されたものである。最終的な重要性レベルは特性に関する感度分析などの研究に基づいて専門家集団によって決定されるのが望ましい。図 8 にある「色分けされた」一連の影響セルの各定義については、第 2 次取りまとめを適宜参照しつつ、付録 C において記述した。

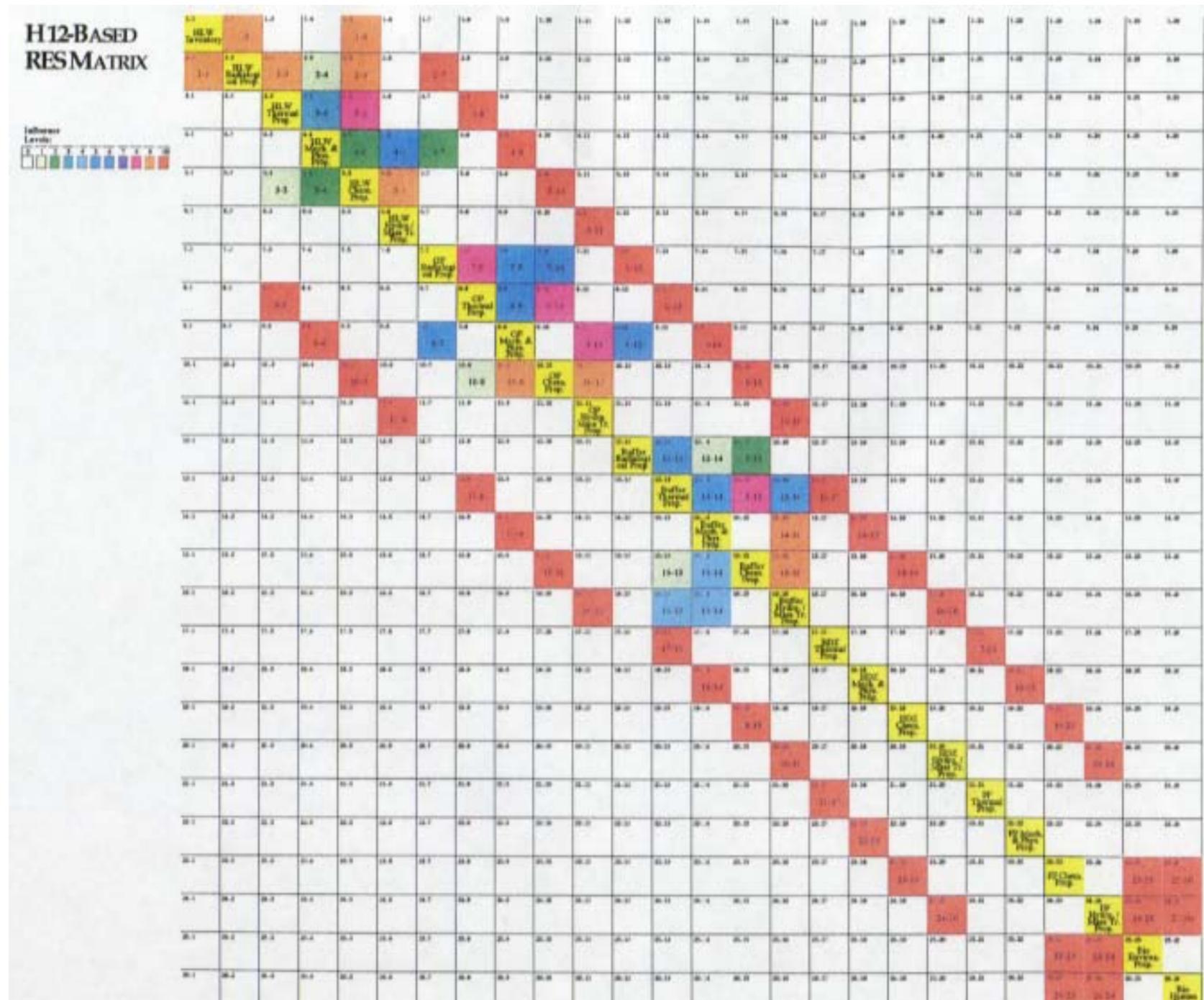


図8 FEP ベースのシナリオ解析に対する ChEng 法アプローチの第 2 次取りまとめに基づく RES フォーマット表現

黄色セルは基本特性 / プロセスの FEP を、赤色セルは隣接バリア構成要素の連続状況を、連続セルによって作られた帯の間にあるセルは特定バリア構成要素のある FEP が別の FEP に与える基本的な影響を表わす。これらの基本影響セルの相対的重要性は色別コードで示されている。

3.2.4 今後の展開について

開発の初期段階ではあるが、今回検討したシナリオ解析に対する新しい手法はシナリオ解析の透明性や追跡性といった観点において有益なものとなる可能性があると言える。とはいえ、シナリオ解析の FEP に基づく全ての手法は単なる手段にすぎないということ、また、性能評価のモデル作成者によって適切に用いられ管理された場合にのみ、それが有益な手段となり得るということは覚えておかななくてはならない。本項では、ChEng 法の正しい用法と管理について、FEP ベースのシナリオ解析に関わってきた経験を基にして論じることとする。ChEng 法の主要な FEP として基本プロセス / 特性を用いる際には、モデル作成者はまず、FEP リスト作成の初期段階で、あり得る特定プロセスの全てについて熟考し、記録しなくてはならない。基本プロセス / 特性 FEP ごとにあり得る全ての特定プロセスを同定するのは重要なことである。

次に、モデル作成者は、不適切かつ重要でない特定プロセス（例えば、月の引力効果の放射性元素溶解度への影響など）を定め、削除すべきである。この情報についても、後々詳細な検討の際に出る疑問点に十分に答えられるよう記録しておかななくてはならない。

その後には、モデル作成者は特定プロセス間の影響とそのレベルの判定について評価し記録すべきである。結果は RES マトリクス（または PID）フォーマットに表わすことができる。FEP とその相互作用のシステムに有向グラフ法(Harary et al.,1965)⁽⁴⁾を用いる可能性も十分にある。最後に、評価ケースは有向グラフ法の最大経路長方式を使って導き出すこともできる。^(注)

まとめとして、シナリオ解析において ChEng 法を実行するにあたって考慮に入れるべきことは以下の通りである。

FEP リスト作成：

^(注) 有向グラフ理論は、他の構成要素の状態や特性に影響を与え得る構成要素間の相互作用を量的、また図解的に記述するために数学者と技術者によって開発された。この理論は米国による宇宙計画の（FEP 解析と類似の）システム解析において有効に用いられ、中でも長期派遣宇宙探査における構成要素間の相互作用を調査するのに役立った。有向グラフ理論は、代数や幾何学、あるいは三角法などに類似した数学的論理と処理の形式である。

- a. 処分場システムの全ての構成要素をリストアップする
- b. 処分場システムの全ての基本プロセスをリストアップする
- c. 構成要素ごとの各基本プロセスについて全ての特定プロセスをリストアップする

不適切かつ重要でない、あり得るとはいえない特定プロセスの削除

全ての特定プロセス相互作用を仮定、有向グラフ法または RES マトリクスフォーマットで結果を表示

相互作用の影響レベルの判定

コンピュータ・プログラムを用いた評価ケースの導出

作成されるプロセス（結合、完全結合、単一方向結合を含む）の分類

実施にあたってはこれらの各段階について文書化することは不可欠である。シナリオ解析に関する ChEng 法と関連する全ての情報を同定、グラフ化、文書化できるコンピュータ・プラットフォームを構築することを強く提案する。コンピュータ・ソフトのコンポーネントの多くは既にあり、性能を追加するためにあらかじめ変更を加えることも可能である。有向グラフ法については特定シナリオに関連する主要なプロセスと特性を決定する際のシナリオ解析の一助になるものとして特に推薦する。

3.3 シナリオ解析プロセスに関する考察

以上の検討は、シナリオ解析の基本的構造として、特に RES マトリクス形式を用いた場合の ChEng 法の概念を中心に議論してきたものであるが、その概念を用いてシナリオ解析ケースの設定までをどのように行えばよいかについては言及していなかった。そこで、ここでは、RES / PID 形式から概念モデルや解析ケースへの落とし込みまでのプロセス（シナリオ解析プロセス）についての考察を行うものとする。

3.3.1 はじめに

まず、「シナリオ」という語は以下のように定義される (Chapman et al., 1995)⁽¹⁾。

「シナリオはプロセスと事象の仮定の結果であり、処分場システムの将来的挙動及び状態の変動範囲を例証し、安全ケースを作成または評価するた

めに考案された一式である。あり得るシナリオの全てを個別に記述することも実際には可能であるが、その必要はない。しかしながら、全てを検討し、実現性の最も高い未来とともに、広く認知される懸念に特徴付けられる実現性の低い未来に対処することによって、処分場の安全性に関する十分に頑健な審査がもたらされるだろう。

シナリオ解析は陸軍の不測事態対応計画を基礎としている (Chapman et al., 1995)⁽¹⁾。その計画において立案者は、敵による未来事象に関する推論的な質問 (「what if?」) を行い、様々な対応の効果を検証する。同じようなシステム解析は米国の遠隔宇宙探査計画にも適用され、地球から遠く離れ直接介入も修復もかなわないところで生ずる推論的「what if?」事象に際し、探査のハードウェアとソフトウェアのパーツがどのような反応をし得るか評価するために使われた。

放射性廃棄物処分場に関するシナリオ解析の様々な体系的アプローチを記述した報告書は数多い (例 ; NEA, 1992⁽¹⁵⁾; Chapman et al., 1995⁽¹⁾, Eng et al. 1994⁽²⁾; Goodwin et al., 1991⁽³⁾; Nagra, 1994⁽¹⁴⁾; JNC, 1999⁽⁷⁾; SKB, 2001⁽²⁰⁾; Stenhouse et al., 2001⁽²²⁾)。なお、シナリオ解析は「広く認知される懸念に特徴付けられる実現性の低い未来」に対処する必要があるため、これらの体系的なシナリオ解析アプローチは全て、地層処分に関連する特質、事象、プロセスのリストの編成、検討、調査をその第一歩としている。

3.3.2 シナリオ解析の検討事項

シナリオ解析を行う場合には、以下のような検討事項が考えられる。

FEP または *FEP* に相当する情報を用いたシナリオ解析をどのように進めたらよいか？

シナリオを作成するのに *FEP* をどのように用いればよいか？ (*FEP* を直接用いるのは最適な方法か？)

FEP 間の相関関係を効果的に構築・表示し (*RES* マトリクス?) その後シナリオと計算ケースを作成するにはどうしたらよいか？

技術的整合性、透明性とわかりやすさを兼ね備えた体系的なシナリオ解析の方法論をどのように開発すればよいか？

- シナリオ解析を通じて計算ケースをどのように同定するべきか？

- シナリオ解析のプロセスの中でいつ/どこで専門家の判断を取り入れるべきか？

FEP に基づくシナリオと計算ケースを統合的に同定するための一つの例を表 3 に示す。

表3 シナリオ解析のための段階的方法の例

第 1 段階	包括的な予備 FEP を作成する。
第 2 段階	いくつかの代表的（もしくは一般的）特質（特性と状態：必ずしも上位 FEP でなくてもよい）を規定する。その理由は； <ul style="list-style-type: none"> - 特質はプロセスや事象と比べると比較的安定した FEP の結合となり得る。特質における特性の一組は入力パラメータとして比較的容易にプロセスとモデルにリンクすることができる。また、特質における状態の一組は入力/出力のどちらとしてでも比較的簡単にプロセスとモデルにリンクすることができる（このことはそのようなアプローチがシナリオと計算ケースを統合的に作成するためのわかりやすく理解しやすい方法に寄与することを意味する）。
第 3 段階	特質を用いて影響図（ID）あるいは RES マトリクスを作成する（RES マトリクスの場合、特質は対角線上のセルに配置される）。
第 4 段階	特質との関係を考慮しながら（特質がプロセス及び/または事象を入力出力したものであるということをイメージしながら）ID または RES マトリクス上にプロセスと事象を割り当てる。
第 5 段階	特質、プロセス、もしくは事象の補助的な、あるいはより詳細な表現を導入し得る階層構造を構築する。この段階においては、それらを割り当てやすくするために必要に応じて予備 FEP リストの改良を行う。
第 6 段階	それらの階層から科学的根拠あるいは判断の理由を記録しながら特質、プロセス、事象を選び出す。この段階においては（商品化または開発された）コンピュータ・ソフトを利用するのも有効と考えられる。それらの中で関連性を持つ特質、プロセス、事象の一組がシナリオに相当することになる。
最終段階	潜在的代替モデルそして/またはデータの不確実性をそれらのシナリオに割り当てる。この段階では前の段階に比べてより深い階層から特質、プロセス、事象を選び出すことになる。

表 3 の段階的なアプローチ (RES マトリクスの例を図 9 に示す) はまさしく正当な方法である。

表 3 を発展させたより詳細な段階をこれから紹介するが、これは MRI の過去の経験や以前に引用した様々な参考文献から生み出されたものである。

評価する処分場システムの境界条件を規定する。例えば、人工バリアシステムは第 2 次取りまとめか、あるいはスウェーデンの KBS-3 コンセプト、もしくはその他の設計と同様の構成であるか？母岩とするものは何か？どのようなタイプの廃棄物が処分されるか、またそれはどの放射性核種インベントリを伴うか？オーバーパックの材料は何か、また埋設の予想寿命はどのくらいか？そのような境界条件を現段階で検討・規定することは困難である。従って、これ以降では、第 2 次取りまとめの処分場設計と関連情報が初期の「システム境界条件」を表わすものと想定して進めることとする。

海外の FEP リストを含む全ての FEP を監査する。監査を記録する (例；参加者、実施場所/日時、監査対象リスト、FEP の選別基準、選択した FEP 形式 (即ち、「生の言語に基づいた」vs.「化学工学的 (ChEng 法)」)、監査のピアレビューを行った者、等) ことはこの上もなく重要である。また、モデル作成者はこの時点で技術専門家の助言を仰ぐのが望ましい。なぜなら一般的にそのような専門家たちがシナリオ解析と安全評価に適する QA/QC に必要な概念モデル、データ、解説文書に関する情報源を最も多く持っているからである。

「ステップ 監査」の FEP セットから、処分場の通常予想される進展 (他にも様々な言い方があるが、ここでは便宜上「基本ケース」と呼ぶこととする) に関する FEP を基本ケース FEP の限定セットとして特定し抜き出す。こうして単独の特質を持つ FEP が多くの別個の FEP を集めグループを形成する (「上位 FEP」と呼ばれることもある)^(注)。処分場の性能

(注) 例えば、「緩衝材の化学特性」FEP が必然的に含むものには以下のようなものがある：鉱物相と有機物相のリスト、これらの相の発生量 / 組成 / 加水分解反応定数 / 溶解速度定数、体積吸着係数値、そして緩衝材の化学特性と性質に特有のその他多くの特質など。

(即ち、人工/天然バリアを通じた放射性核種のソースターム放出)を表わすために必要最低限の FEP のセットを用いるのが望ましいと考えられる。対照的に、他の処分場プログラム(例; Nagra, 1994⁽¹⁴⁾; SKB, 2001⁽²⁰⁾; Stenhouse et al., 2001⁽²²⁾)は「生の言語に基づいた」FEP 形式を選択しており、極めて多く(数百の)の FEP を用いることを選んだ。いずれの形式にも長・短所がある(表 2 参照)ため、どちらの方法が「最良」かという問いに正しい答えはないが、少なくとも現在の第 2 次取りまとめの FEP リストを用いる場合には 2.4 節で述べたような問題点があるため、FEP の形式とそれに含まれる FEP の数については、日本の放射性廃棄物処分計画の方針と計画全般を踏まえて、プロセスのあり方を検討すべきであろう。

「ステップ 監査」のリストからシナリオの発端となる FEP を特定し抜き出す。それらは処分場の予想される進展とは異なるシナリオが生ずる原因となるような外的な(あるいは内的な)想定外の事象を表わし得る。これらはシナリオの発端となる FEP であり、断層、火成活動、地震、気候変動、隆起・侵食などの事象を含む。立地選定の見込み基準を設定するにあたり、現時点で実施主体が最も関心を持っているのが火成活動と断層/地震と考えられるため、それらのシナリオを重要視するのが賢明だろう。

「ステップ 監査」のリストから留保 FEP を特定し抜き出す。簡素化のため最初からそれらが基本ケース FEP に含まれることはないであろう。しかしそのような留保 FEP を考慮することによって、処分場システムの隔離性能を高めることが期待できる。例えば「不可逆性吸着」あるいは「吸着ヒステリシス」が留保 FEP となり得るが、完全に評価することについては困難なこれらの現象が、実際の処分場性能の向上化には作用するであろうことはまず間違いない。

ステップ の基本ケース FEP をプロセスシステムモデル(PSM)に編成する。PSM というのは、基本ケース FEP が互いにどのように影響を与え合うかを体系的に表わす簡単な表またはマトリクス、あるいはグラフである。RES マトリクス形式は数学的には隣接行列、相互作用行列とも呼

ばれ、基本ケース FEP をマトリクスの対角線要素とするアプローチで、初心者にも使い易い形式と言える。表形式は第 2 次取りまとめの FEP リスト（付・表 A-1(1)）のように全ての基本ケースが上段と左端の列に置かれるアプローチで、プロセス影響図（PID）形式は因果関係の論理的な流れを有向グラフを用いて表現するアプローチで、グラフ理論による最短経路探索アルゴリズム(Ibaraki et al., 1991)⁽⁵⁾を用いて、最重要パス（シナリオ）を見出す場合により有効な表示形式と言える。FEP とその相互作用を記載するのにどれがより相応しいということはない。それらは全て位相的に同等であり、どの形式を選択するかはまぎれもなく任意の問題である。ある形式がある一定の状況に対してより適応性が高いということはある（例えば技術者以外の利害関係者は、FEP の数が 30 個以下のように少数の場合グラフ表現を好む傾向があるが、FEP の数が 100 個以上になると、RES, PID いずれの形式がより有効かを判定するのは難しい）。シナリオ解析の目的が全ての国内利害関係者とのコミュニケーションの円滑化にあるとすると、どの形式がより優れているか確定するまでは、RES と PID グラフの二つの形式を用いることが賢明と思われる。

基本ケース PSM を記録する。各基本ケース FEP が別の FEP と互いに与え合う影響を考察し、この影響に関する判定を記録するべきである。影響の概念モデル（及び代替概念モデル）と関連する計算 / 数学モデルを記述しなくてはならないが、これには影響に関するどの判定も含まれるべきである。例えば「ごくわずかな影響と考えられたので基本ケースから外されたもの」または「影響を評価するのに用いられた境界解析」あるいはモデル作成者がその後の安全評価に用いるモデルをどのように検討して抽出したのかに関するその他の記述などである。影響の計算モデルに関連するデータも、この影響に関する記述を含むこれまでのあらゆる解析・研究と同様に記録しておくべきである。

計算モデル（例；第 2 次取りまとめで用いられたコード）をリンクして、実証済みのコード、解析解などに対する計算モデル（あるいはサブモデル）の基準を作る。

基本ケースの解析を実行する。ステップ の境界条件に第 2 次取りまとめが用いられる場合は、第 2 次取りまとめの基本ケース解析が当該解析に相当する。

ステップ から任意のシナリオの発端となる FEP を選び、このシナリオカテゴリーに特定の変動ケースを規定し、基本ケース PSM の FEP に与えられる具体的な影響として予想されるものを記録する。この段階は、技術専門家とモデル作成者が共同で行うのがよいだろう。まず、モデル作成者が基本ケース FEP に予想される具体的な変化を記述し記録する。次に全プロセスにおいて QA/QC の良い点が得られるように技術専門家にこの記録を検討してもらう。最終的な記録は、：(a) 各 FEP と別の FEP が与え合う影響を検討し、基本ケースの記述が適切かあるいは変更する必要があるかを定める（例えば「火成活動」の検討は、高温による緩衝材の鉱物学的変質を技術専門家がより重要視することにつながるだろう）、(b) 新しい FEP を検討する必要があるかどうか確認する（「火成活動」は 2 相状態の形成を導き得るので、揮発性放射性核種の気化移動について検討する必要があるかもしれない）、そして(c) 最後に、新たなまたは改正されたプロセスサブモデルと関連データが必要かどうか確認する。

基本ケース PSM をステップ で規定した特定シナリオ変動ケース用に再構成するとともに、新たなサブモデルが境界条件（例えば、緩衝材の流出あるいは塩水から淡水への転換に起因する緩衝材質量の継続的喪失など）の検討が必要な場合には総合的な計算モデルを改正する。

変動ケースのシナリオ解析を実行する。この段階は基本的にステップ と の反復である。これらは様々な仮定や概念モデルまたはデータに対する処分場性能の感度を調査するための感度研究とみなしてよいだろう。最終解析として他の設計概念を検討する。新しい設計概念ごとに、システム境界条件に関するステップ からもう一度これらの全段階をやり直すことが賢明であるだろう。

「技術的整合性と透明性とわかりやすさを兼ね備えた体系的なシナリオ解析の方法論をどのように開発すればよいか?」という課題は、シナリオ解析の様々

な計算ケース（多層）の全てを FEP に基づく形式的、体系的でありながらわかりやすい方法で互いに関連づけるにはどうしたらよいかという問題と同意である。図 10 はシナリオ解析の多層構造をどう考えるべきかについて視覚的な呈示を意図したものである。これらの層は以下の検討から生まれた。

- (a) レファレンスケースに対する変動シナリオの解析
- (b) 変動設計の解析（例えば、第 2 次取りまとめで示された垂直対平行の廃棄体設置案）あるいは
- (c) 代替概念モデルの解析（例えば、第 2 次取りまとめで検討したような亀裂母岩を媒体とする流れと移動に関する様々な概念モデル）

図 10 では、ピラミッド最上段の青色層がレファレンスケースの PSM を表わしている。ChEng 法 FEP のシンプルなセットはこのような最上位の PSM に全くふさわしい。

最終的には第 2 次取りまとめの基本設計に対する特定シナリオの影響を検討する必要性が生ずるかもしれない。これは図 10 の二段目に赤色の PSM 層で示されており、例として気候変動シナリオとなっている。^(注) 赤色 PSM 層には、最上段の青色 PSM 層の全 FEP とともに、気候変動シナリオに特有の新しい FEP または改正された FEP（例；処分場の地下水塩分濃度の周期的変化）が追加されることになる。

断層や岩脈貫入のような、より極端に「強い」変動シナリオについては、図 10 に緑色の層で示したような更に詳細な PSM 層を設けてもよいだろう。この層もやはりレファレンスケースを示す最上段の青色 PSM 層を含むが、このシナリオの検討から派生する強い摂動によって、新たな FEP または本来の FEP を改正したものが含まれることになるだろう（例えば、緩衝材の変質、緩衝材のひび割れ / 亀裂流れ、溶融マグマへの放射性核種の包含、等）。

図 10 に紫色の PSM 層で示された最下段層は、FEP リストの調査から得られた具体的な処分場概念に関連する全 FEP の一式を表わしている。概念的には、この紫色の層があらゆるシナリオ解析の全 FEP の基礎を表わしている。

^(注) なお、更に低い位置にある層は最上段の青色 PSM 層に含まれるグループ FEP のより詳細な記述あるいは情報を表わし得る。

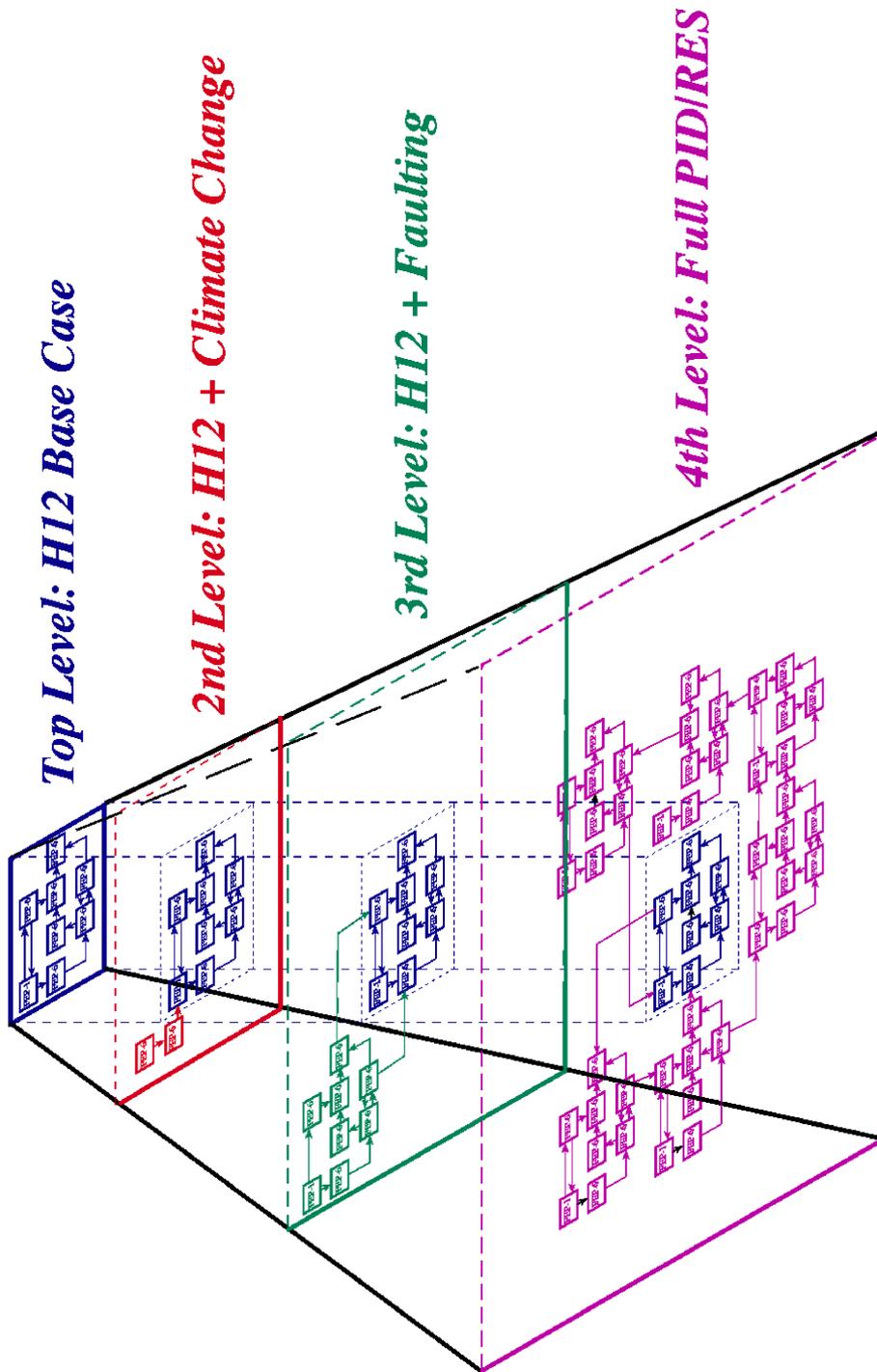


図1 シナリオ解析の多層構造の図解化

まとめると、FEP に基づく独自のシナリオ解析アプローチを始めるにあたり、以下の指針について検討すべきである。

- シナリオとシナリオ解析を定義する。
- シナリオ解析の目的を提示する。
- シナリオ解析の定められた目的に最も適合する表現形式（例；ChEng vs. 生の言語に基づく FEP、RES vs. PID、等）を決定する。
- 段階的方法で既存の FEP リストを編成、監査、選別する。
- レファレンスケースのプロセスシステムモデルを記述するのに必要な最小限の FEP（図 10 の青色レベル）を選ぶ。
- 処分場の隔離性能を向上させることがはっきり認められる場合には留保 FEP をリストアップする。
- 新たなシナリオの発端となり得る重要な自然現象を特定し、各シナリオを記述するため必要に応じて基本 PSM を改正する。
- 基本ケースとシナリオ変動ケースの反復計算を行う。
- （a）代替概念モデルあるいは（b）代替処分場設計概念に対応するため必要に応じて基本 PSM を変更する。
- （QUASAR ソフトなどの）QA/QC プログラムの全作業を実施し、全段階の記録化、追跡性、透明性を確認する。^{（注）}

3.3.3 シナリオ解析プロセス概念の例示的検討

本項では、シナリオ解析プロセス（FEP データ情報に基づいてシナリオを生成

^{（注）} シナリオ解析支援 QA データベースシステム（QUASAR）の導入によって、シナリオ計算の必要性、計算ケース内容、パラメータ変更理由、計算の限界、計算結果の信頼性、などに関する疑問に対する回答として、見通し良く、追跡可能で、統合的で、整合的で、効率的（迅速）なシナリオ解析関連情報の文書化・管理が行えるようになる。但し、QUASAR 自体にはシナリオを（自動）生成するプロセス/システム機能は含まれていない。そこで最終的には、PID/RES 生成プロセスと解析ケース設定プロセスを組み込み、一連のシナリオ開発手順をシステム化した上で、シナリオ解析プロセス全体の QA を高めるために QUASAR のシステム概念を適用することが考えられる。

し、解析ケースを設定するまでの一連のプロセス)としてどのような概念が考えられるのかを検討・整理した。即ち、

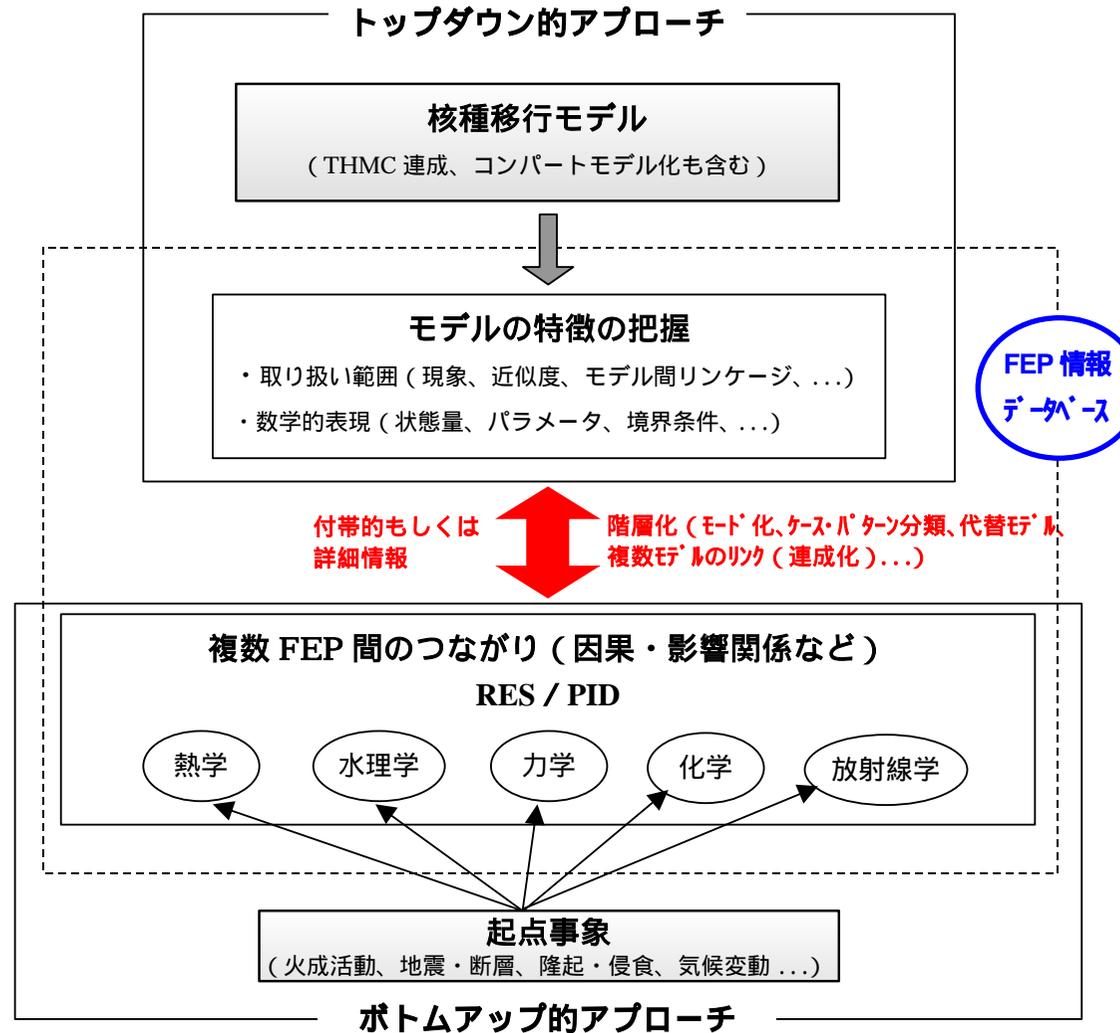
シナリオ作成に必要な基本的情報源(これは通常、FEP 情報データベースとして用意されているべきもの)を活用すること(ボトムアップ的アプローチ)

最終的な性能評価に適用される核種移行モデルを中心とするモデル体系を念頭に置くこと(トップダウン的アプローチ)

という双方の要求を満足するためには、RES マトリクスの対角成分としてどのようなレベルの Features (properties & states) を設定し、それに付随して同非対角成分として Processes & Events を設定すべきか、といった問題に帰着すると考えられる。

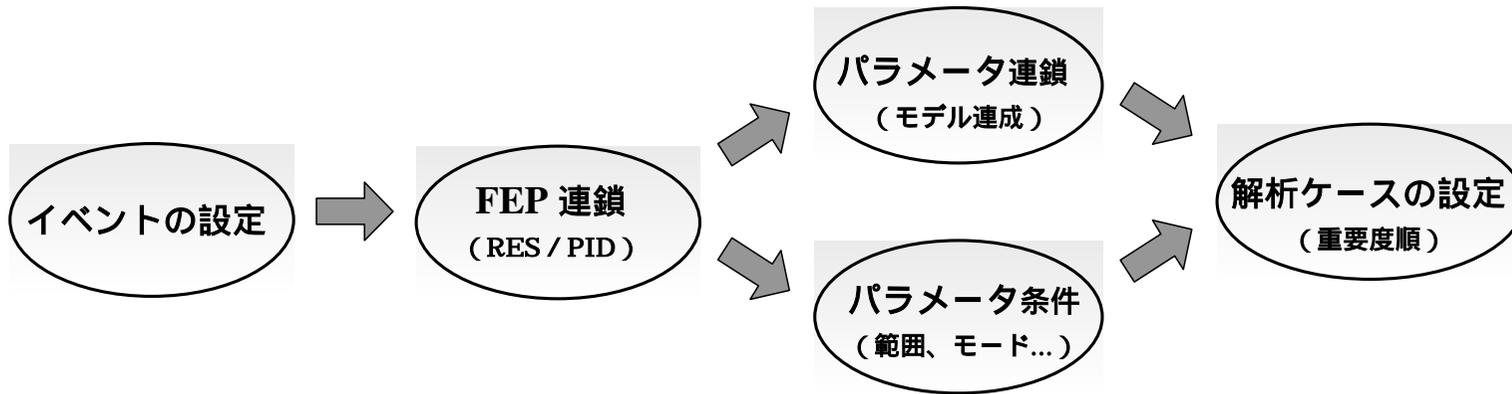
この問題を解決するには、多分、性能評価モデルの特徴を把握した上で、これらのモデル・パラメータへの関連データ・情報の反映を効率良く行えるように、FEP データ情報源から FEP 連鎖を導く方法を開発しなければならない。そのためには、図 11 に示すように、トップダウン的アプローチとボトムアップ的アプローチの接点となり得る領域において、FEP 情報源から、パラメータのモード化やケース・パターン分類化、モデル結合などが行えるようなモデル・パラメータ・データ等に関する詳細情報を、RES マトリクスの各成分毎に階層的に整理・設定しておく必要があると考えられる。この場合、FEP 情報とパラメータ情報との連携方法については、図 12 に示すようなプロセス概念が考えられ、このフローに基づけば、何らかの外乱事象の発生に起因したシナリオを生成すると同時に、そのシナリオに対応する解析ケースがルーチンワーク的に設定可能になると言える。

そこで、パラメータ情報とともにシナリオを生成する方法の一例として、緩衝材の熱的及び化学的現象・特性にのみ着目した場合のシナリオ開発プロセスを検討した。まず、第 2 次取りまとめの FEP リストから関連する FEP を抽出し、それを RES マトリクス形式に展開した結果を図 13 に示す。ここでは、まず、対角成分(緑色)を決定し、次にそれらの影響関係から非対角成分(黄色;但し、直接的に関係する場合は青色で表示)を設定していき、同時に各マトリクス成分に関連するモデル・パラメータ(モデルの入出力)を階層的に整理していくというものがある。但し、ここでは、第 2 次取りまとめの FEP リストにはないが、「核種濃度」



FEP 情報
データベース

図11 シナリオ解析プロセスの基本概念



前提：FEP 情報データベースに、パラメータ情報を記載しておく必要がある。

注)FEP 連鎖からパラメータ連鎖の生成方法については一例として H6～H8 年度に概念的な検討を行っている。
(MRI,1995～1997)⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

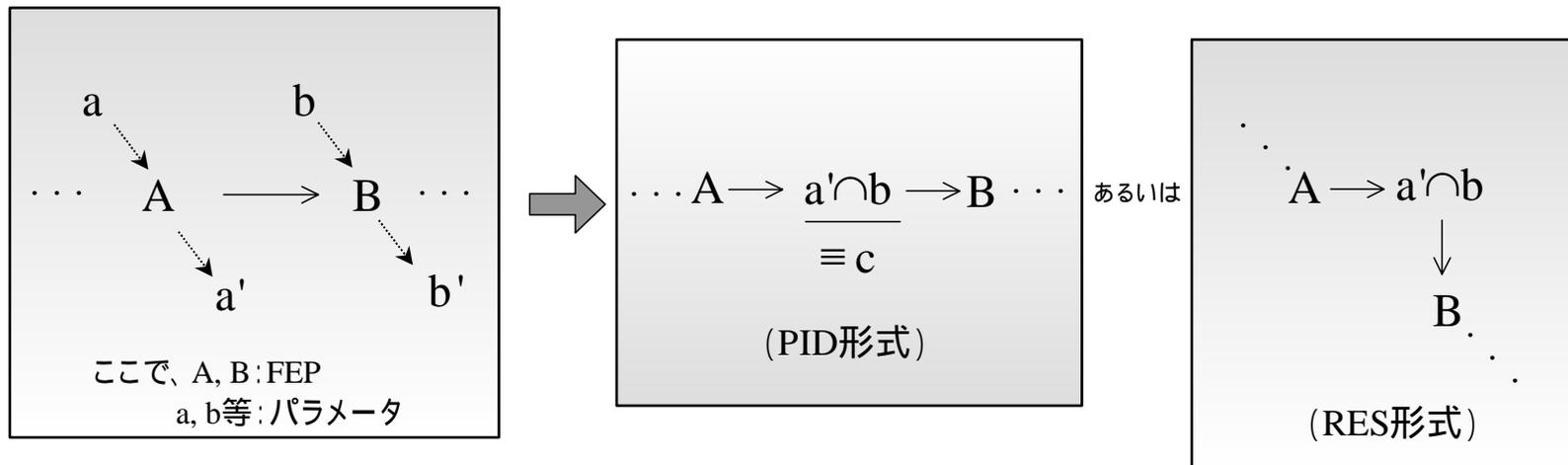


図12 シナリオ解析におけるケース設定までのプロセス

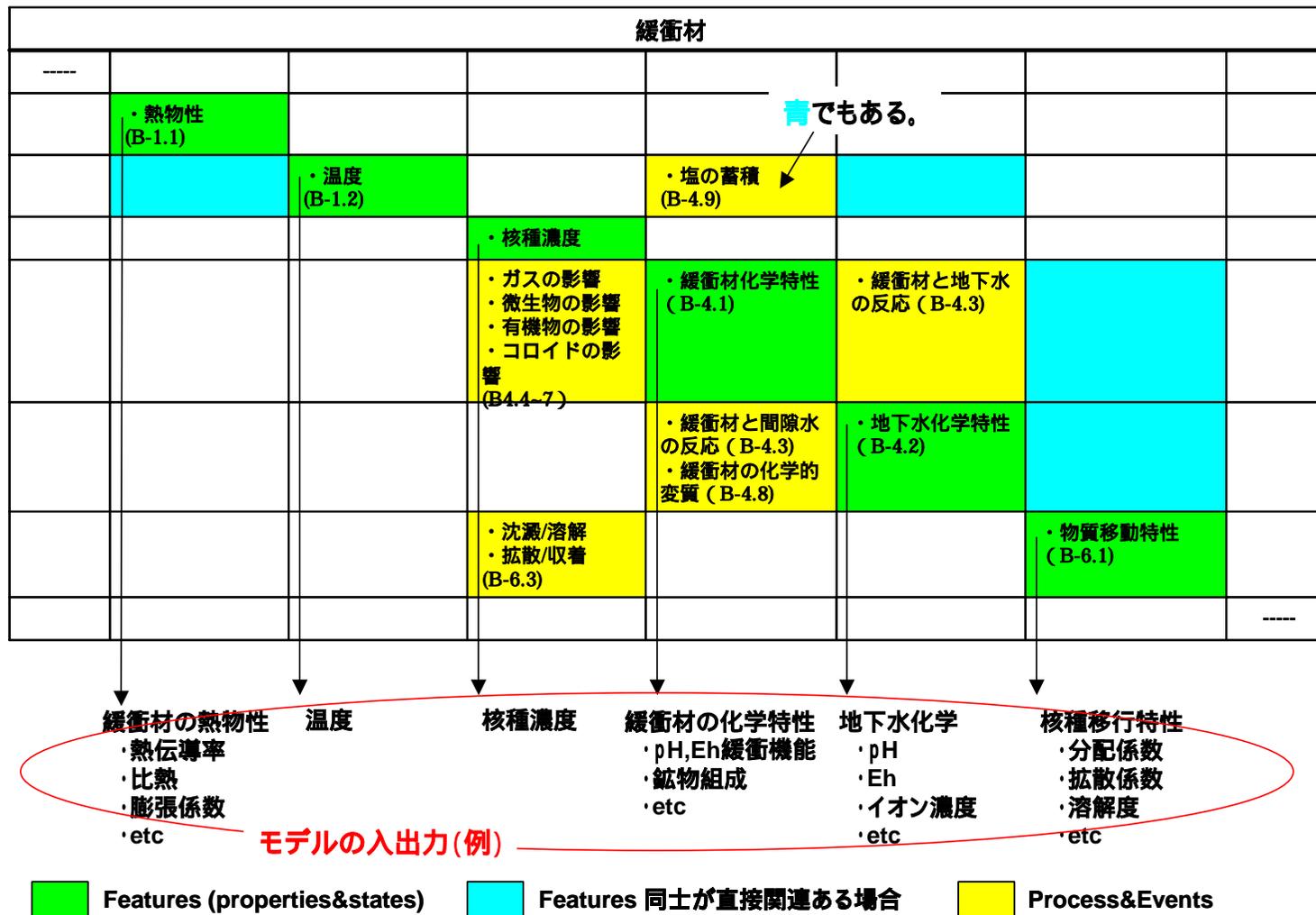


図13 シナリオ開発手法の適用例（第2次取りまとめのFEPリストを用いた場合）
 - 緩衝材の熱的および化学的現象・特性のみを考慮した場合について -

という FEP を新たに導入することによって、FEP 連鎖の終点を便宜的に定めた。この RES マトリクスを PID 形式に展開・整理すると、図 14 のようになる。即ち、岩脈貫入が発端となって核種濃度への影響伝播プロセス（経路）が全て表示されると共に、それぞれの FEP に関連するパラメータ情報（入出力データ項目）が一群となって明示することが可能となる。そこで、この入出力データを組み合わせたモデル化（パラメータ・モデル連鎖）が行えれば、それに含まれるパラメータなどに対して取り得る値の範囲や動態的变化モード等の具体的入力条件の設定が可能になる。

また、このような例題を通じて、以下のような問題点も指摘し得る。即ち、曖昧な FEP が存在する。（例えば、「緩衝材の物質移動特性」と「緩衝材中の核種の移行」）

どのレベルまでの Features が必要なかが明白ではない。（例えば、「核種濃度」という FEP は第 2 次取りまとめの FEP リストには存在しない。）モデルの入出力として対応付けが容易なものとそうでないものが混在している。（例えば、「温度」（容易）と「物質移動特性」（困難））

そこで、以上の検討結果に基づき、今後のシナリオ解析プロセスではどのようなことが検討対象となり得るのか、その基本事項を以下にリスト・アップした。

FEP リスト自体の見直し

モデルへの反映を念頭に置きつつ、ボトムアップ的アプローチのスタートとなり得るより網羅的な FEP リストを作成。

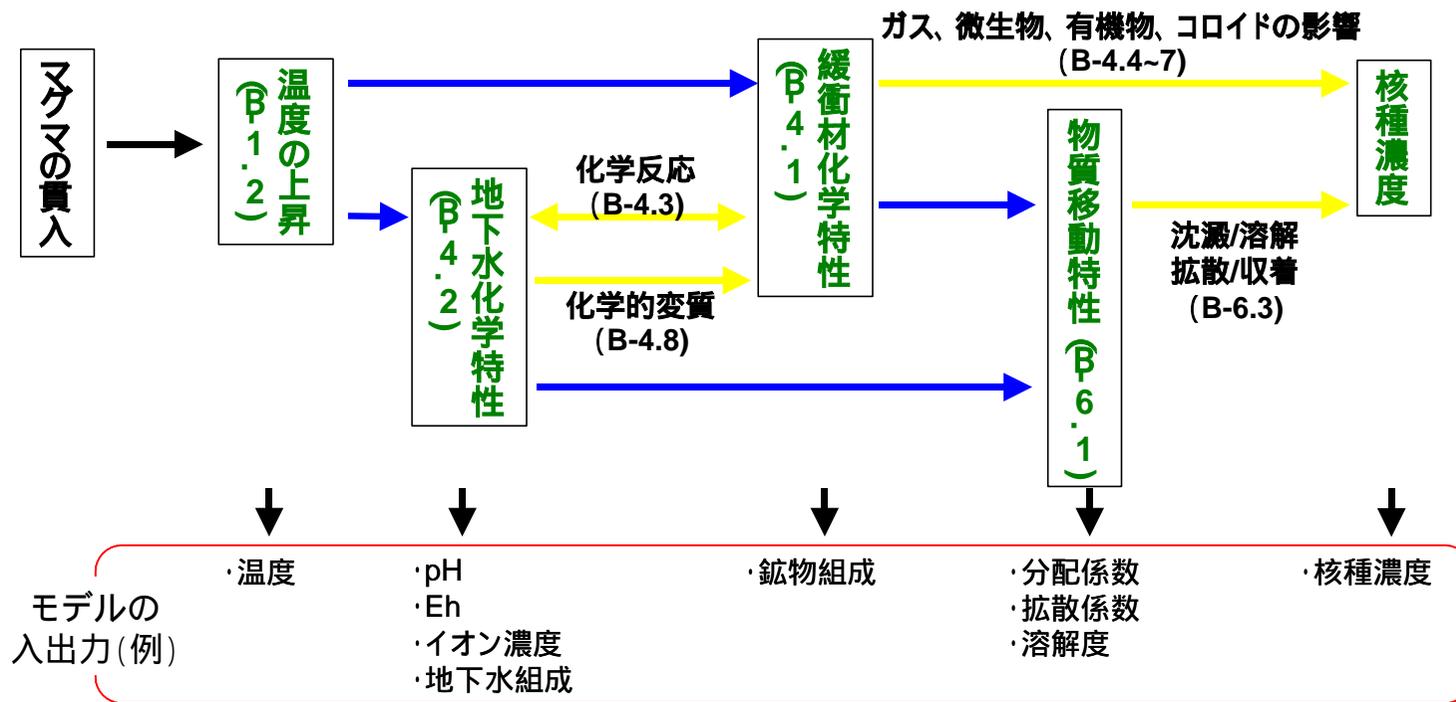
解析モデルに基づき、Features を抽出する。

Features を抽出する段階で、解析モデルを特定し、モデルに必要な入出力データを抽出する。（ボトムアップ的アプローチとトップダウン的なアプローチの接点）

なお、この時点で FEP のスクリーニングやグループ化が必要となる可能性も有り得る。

パラメータ情報の整理

各 Features に相当する入出力データを整理し、データベースにまとめる。



FEP連鎖をもとにした入出力データ(モデル)連鎖の作成

入力データの条件設定(範囲、モードなど)

解析ケースの設定

図14 解析ケース設定概念の一例

- 岩脈貫入による緩衝材温度の上昇が核種濃度に与える影響 -

4. 変動シナリオに関する解析技術の検討

4.1 序

本章の目的は、シナリオ解析における変動ケースをより現実的にモデル化するために要求され得るものとその方法論について検討することである。「現実的」という語はここでは、放出量の計算結果が信憑性のある値よりもかなり高く導き出されてしまうような、必要以上に簡易化された幾何形状や保守的な仮定、及び/またはデータを回避することと定義する。本検討が課題とするシナリオのカテゴリーは以下の通りである：

- ・ 地震
- ・ 断層
- ・ 火山活動（岩脈貫入）

第2次取りまとめで示される「変動シナリオ」を、ここでは「弱い」摂動（バリアやバリア機能の喪失がない場合のバリアの諸性質の変化）と「強い」摂動（バリアの諸性質の変化並びにバリアやバリア機能の喪失）との対比から規定する。その目的は、起こり得る「強い」摂動を概念化し、関連する未解決の問題を確認し、それらをどのように規定すればよいかということについて提案することである。提案は概して次の二つのカテゴリーに分けられる：

- ・ 「強い」摂動によって生ずる限界的な状況のモデル化（解析上の取り扱い方針も含む）
- ・ 適切なデータの収集 / より優れた評価モデルの開発

シナリオ解析の確率論的側面については本章では述べられていないが、今後考慮すべき問題であると思われる。生物圏への直接放出ケース（接近シナリオ）のモデル化は、その性質上、岩脈貫入ケースとして検討されている。

4.2 シナリオの発端となる FEP：「弱い」摂動と「強い」摂動

第2次取りまとめでは以下のように述べられている（総論、ページ -6）。「...将来起こり得る [処分場システム] の挙動に関するシナリオは、システムの進展に影響を与え得る処分システムの特質と多様な事象とプロセス [features (特質)、events (事象)、processes (プロセス) = FEPs] を考慮することによって構築さ

れる」。図 15 (第 2 次取りまとめ総論 第 5 章 図 5-2) は、第 2 次取りまとめで使われたシナリオの専門用語や定義を表わしている。図 15 において分類されたシナリオを概略で示すと以下のようになる。

地下水シナリオ (放射性核種が地下水流によって生物圏に運ばれたとき)

A. 基本シナリオ (地質学的環境が安定し、現在の状況と変わらないとき)

B. 変動シナリオ

接近シナリオ (放射性核種の生物圏への直接放出)

本章の試みは、「 B. 変動シナリオ」を概念的に検討し、シナリオの発端となる FEP が「弱い」摂動か「強い」摂動かによってそれぞれの範疇に分類することである。

「弱い」摂動、「強い」摂動とは何を意味するものか？本章においては、(人工・天然の両バリアを含む)処分場システムの特質を(徐々にまたは即時に)変化させ、バリア機能を(徐々にまたは即時に)低下させ得るが、バリアの幾何形状には変化をもたらさないような外的事象を「弱い」摂動、一方、バリアの特性を(徐々にまたは即時に)変化させ、一つ以上のバリア機能を喪失させ、バリアの幾何形状を変化・喪失させるような外的事象を「強い」摂動と考えることによって、便宜的に区別することを推奨する。表 4 はこれらを簡単なマトリクスで整理したものである。

なぜシナリオの発端となる事象を弱い摂動と強い摂動に分ける方がよいのか？その根本的な理由は、「基本シナリオ」(図 15)、それは即ち処分場システムが将来継続的に現在の状況から不変であるという仮定に基づく処分場システムの通常進展シナリオであるが、そのシナリオ用に作成された安全評価モデルが、「変動シナリオ」に関して後に行われる解析の最初の基本となるものとして典型的に

表4 第 2 次取りまとめ変動シナリオの発端となる事象の強弱対比表

発端となる事象	バリア特性	バリア機能	バリアの幾何形状
「弱い」摂動	(徐々に、あるいは即時の)変化	(徐々に、あるいは即時の)変化	変化なし
「強い」摂動	(徐々に、あるいは即時の)変化	(徐々に、あるいは即時の)変化 / 喪失	(徐々に、あるいは即時の)変化 / 喪失

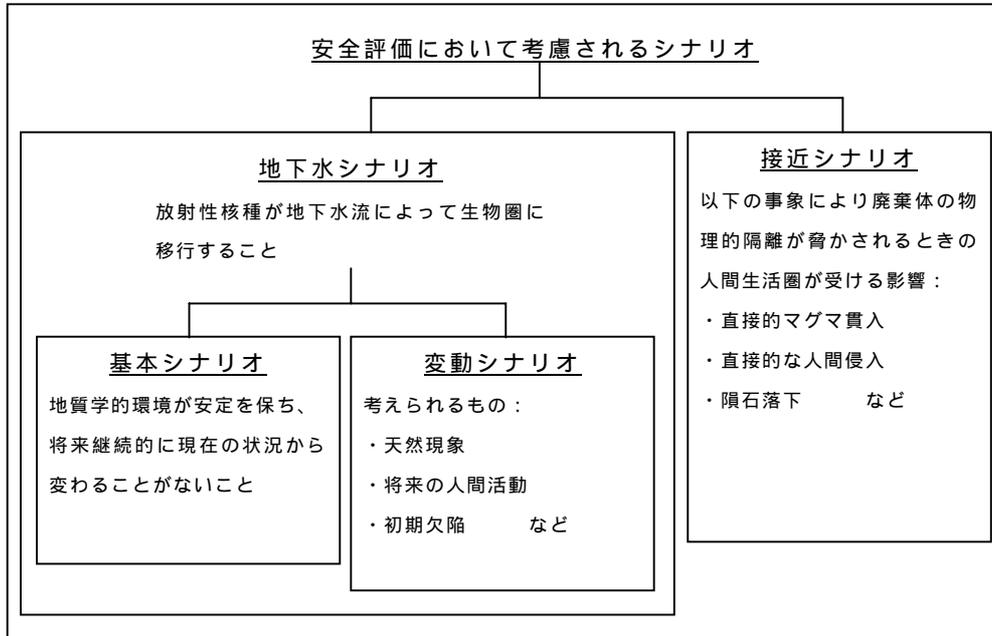


図15 第2次取りまとめ式構造に基づくシナリオ解析

機能するからである。そのようなモデル（以下、「基本ケースモデル」）はシナリオ解析の論理的な起点となるものであり、「基本ケースモデル」の性能と特質は、定義としては、安定かつ不変な状況（この「状況」はバリア特性、バリア機能、バリアの幾何形状を意味する）のモデル化を目的としている。そのような簡単な性能や特質は、「基本シナリオ」の計算には有効であるが、定義によって状況変化を想定するような複雑なシナリオ解析に同じコード/モデルが用いられる場合には限界をきたすものとなり得る。

例えば、第2次取りまとめの解析に用いられた人工バリアシステム（EBS）の優秀なモデル/コードである MESHNOTE は、一定の境界条件の下に一定数のバリア領域において一定一様な諸性質を持つとともに、固定円筒座標系のバリア・インターフェイスに基づいている。シナリオの影響を計算するために MESHNOTE

を利用できるようにいくつかの便宜的な「近似」が考案された。^(注)例えば、MESHNOTE の計算設備では、それぞれで定義されたバリア領域ごとに別個の特性（もしくは境界条件）を与えて連結させた。もう一つの「近似」として、緩衝材を二つ（もしくはそれ以上）の領域にさらに分割した。はじめは、分割した緩衝材領域の全てが初期の緩衝材特性を持っていた。しかししばらくすると、オーバーパックの腐食生成物量の拡大によって起こる流出／侵食または圧密化により、緩衝材が損失したことを反映して、分割した緩衝材領域のうちの一つ以上において特性が変化した。従って、異なる部分または特別に分割された領域では、処分場の時間スケール（ $\leq 10^6$ 年）に亘り、その特性に段階的な変化が生ずることとなる。これと同じアプローチを、掘削影響領域や、応力再配分領域、無傷の母岩領域などの異なる母岩の部分に適用することができる。

しかしながら、これらの便宜的な「近似」は、バリア特性に変化を与える（けれどもバリア機能や幾何形状の喪失を伴わないような）比較的弱い摂動を評価するにとどまるものである。更に、基本ケースモデルを用いることによってできるのは、考えられるシナリオに基づいて生ずる全てのバリア特性の変化（即時的変化、一時的変化、周期的変化、など）を近似することだけである。特に、もしバリア特性における変化がことのほか緩慢に起こった場合、多数に分かれた基本ケ

^(注) 「近似」とは、「仮定の目的に適した厳密でない結果」と定義する。MESHNOTE を用いる際、システムの構成要素の特性は一つの恒常的な特性であると仮定される。無論そのような特性は空間的な尺度と時間を経ると実質的には同質とはいえない。よって、それが厳密でない記述、あるいは近似である。また、シナリオのシステム特性に生ずる変化、例えば経時的な侵食作用による緩衝材の母岩への喪失を取り扱うことにおいて、緩衝材特性（例えば密度 - いうまでもなく直接的に遅延係数を変化させる - など）は実際には時とともに変化し続け、その広がった容量を厳密で正確な方法で数学的に記述することはある意味（できたとしても）容易ではない。従って、外側の緩衝材区分を用いて、密度・遅延係数・空隙率などの特性に時空間に亘って生ずる、実際にはあり得ない複雑な変化を近似的にモデル化することとなる。全ての性能評価は常に近似である。しかしながら後述するように、シナリオ解析（特に「強い摂動」）には MESHNOTE やそれに似た計算コードよりもコンパートメントモデルを用いる方がより優れた近似のために有効であるところでは提案している。

ースモデルの計算を連結することは、シナリオ解析の方法論としては遅々として非効率的なものとなるであろう。領域分割法を用いたとしても、時空間に亘ってこれらの特性に起こる連続的变化を十分に近似し得ない領域では、一様な初期特性（放射性核種濃度を含む）と変わらない結果を生むだけである。

更に、いくつかの異なるコード / 概念的モデルがニアフィールド（MESHNOTE など）とファーフィールド（MATRICS など）に用いられるため、これらのコードのインターフェイスに適切な境界条件を適合させることが常に懸念されている。

まとめとしては、「基本シナリオ」の安全評価モデルとコードは、第2次取りまとめで定義されたように、ある限られた「変動シナリオ」を近似的に取り扱うために便宜的に用いることができる。これらを本章では、時間の経過に従ってバリア特性に変化を示すが、バリア機能やバリアの幾何形状の喪失につながるような強い摂動ではない、弱い摂動として類別する。次節では、強い摂動がどのようにモデル化され得るかについて概念的に検討することにする。

4.3 地震シナリオ

第2次取りまとめは、日本全土に頻発し、実質上遍在すると考えられている地震現象（地震など）から起こり得る摂動について検討している。これら潜在的摂動は、地質学的環境（母岩、水理場、地球化学など）への影響もしくは人工バリアシステム（EBS）への影響に区分される。

4.3.1 地質学的環境に与える影響

第2次取りまとめ分冊1、2.3.2項（ -33 から -39 ページまで）では、地震活動によって起こり得る地質学的摂動について検討している。地震が処分場の地質学的環境に与え得る4つの基本的影響は以下の通りである。

- ・ 地盤の揺れと加速
- ・ 地下水化学
- ・ 地下水流
- ・ 母岩の歪

釜石鉱山やその他の地で集められた証拠によると、地盤の揺れは深度が大きくなるにつれて大きく弱まることがわかる。地震事象に関連する地下水化学と地下水流における小さな変化もまた、処分場システムの隔離性能に与える影響としては一時的（時間とともに消散する）で（季節的变化に比べて）無視してよい程度であることを示している。 10^{-8} から 10^{-10} 以下の歪が岩盤に発生すると見積られた地震では、水圧の変化は全く確認されなかった。逆に、その数値以上の歪が理論的に発生した地震のうち 60% 以上において、（数 KPa オーダーの）水圧の変化が実際にあり、水圧の変化を生ずる地震は処分場の母岩に残存歪を発生する可能性があることを示している。そのような歪の蓄積は、現存の岩盤の断裂あるいは新たな断裂の発生によって、亀裂生成をもたらす得る。

このような地震から起こり得る影響のうち最初の 3 つについては、結果として起こる摂動の規模が小さく、持続時間も少ないことから考慮不要である。母岩の歪については、処分場性能に関連する影響はおそらく、母岩における亀裂の増大によって起こる透水係数の増加によるものだろう。第 2 次取りまとめでは、地震事象を母岩の歪に関連させ、そのような蓄積歪を母岩亀裂及び / もしくは母岩の透水係数に変換するために必要な定量的モデルをまだ持っていない。この意味においては、地震による歪の影響は実際は、小規模な（おそらく地域的な）母岩の亀裂生成が透水係数の緩慢な連続的变化をもたらすという「断層」シナリオのサブ・カテゴリーである。このような変化は、母岩の機能もしくは幾何形状を失うことなく、母岩の特性（透水係数 / 透水性）だけが変化すると考えられるので、「弱い」摂動と言えるだろう。

4.3.2 人工バリアシステムに与える影響

第 2 次取りまとめ（分冊 2 付録 D.3（英語版））では、地震が人工バリアシステムに与える影響について、特に地震事象により飽和したベントナイト中で生ずる超過空隙水圧の蓄積・分散についてもまた調査している。第 2 次取りまとめのデータについての完全な批評的評価は本章の範囲外であるが、第 2 次取りまとめによる証拠が予備的なものであるということと、その証拠が典型的な地震事象から生ずる空隙水圧において測定される変化は大きくはないだろうという結論を支持しているということは明白である。同じ第 2 次取りまとめの証拠は例えば、模

擬地震事象によって最初に緩衝材内の空隙水圧が増加することについても示している。地盤の揺れに対する廃棄体容器の向きの影響、複数の地震事象から生ずる歪の拡大効果や蓄積、飽和ベントナイトに関する適切な構成要素モデル、（液体が排出したとき、または、排出していないときの）母岩の典型的な境界条件、非線形の応力 歪特性のモデル化など、この摂動の規模に関する未解決の問題は未だに重要性を保ち続けている。

これらの問題が未解決であるため、一定の地震事象が飽和緩衝材内に過剰な空隙水圧を与えるというシナリオについて検討すべきであることを提案したい。そのような事象に基づく潜在的影響のうち主要なものを図 16 で概念的に示した。図 16a に示すように、シナリオは、一つの（もしくは再発した）地震事象から始まる。

もし空隙水圧が静岩力と母岩の張力の和を一瞬でも上回ると、母岩に水圧による亀裂が生じ、この新しい亀裂に沿って飽和緩衝材の一部が流出することが予想される（図 16b 参照）。ファーフィールド内の放射性核種移行を計算するための安全評価に用いられるような簡略的で概念的な流れモデルが新しい亀裂の生成自体によって大きく変わるということはありそうもない。しかしながらこの仮定

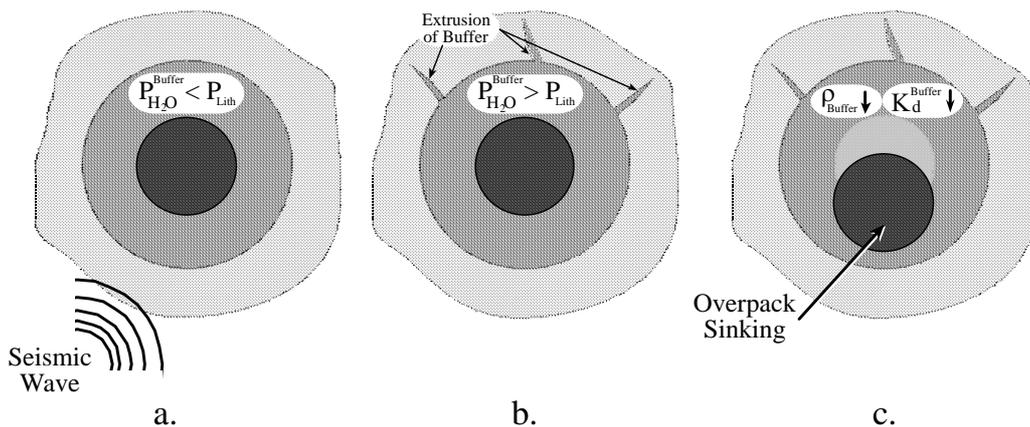


図16 地震シナリオとオーバーパック沈下の概念図

はおそらく緩衝材の流出率（BENTFLOW 実験（分冊 2、付録 D.5（英語版））に似た試験用器材に対して計画的に余分の圧力を加えることから得られる「流出性」）に関するデータを収集するとともに、流出した緩衝材が詰まった新しい亀裂のまわりの合成流れの挙動に関する FRACMAN コードを使って詳細な流れモデルを作成することによって試す必要があるだろう。母岩に対する「強い」摂動であることを証明する明白なデータがないので、図 16b によって示されている状況は、第 2 次取りまとめの安全評価にあるような実在する概念的な計算コードによって評価することができる「弱い」摂動のケースであると考えられる。

地震事象によって引き起こされる過剰な空隙水圧と亀裂から生ずる「強い」摂動（図 16c）であり得るものの一つにオーバーパック沈下（第 2 次取りまとめ 分冊 2 付録 D.2（英語版））がある。オーバーパック沈下は緩衝材の密度が低下（その結果、比較的重量がある HLW 廃棄体による負荷を支える力学的「耐性」能力も低下）することによって促進されることが考えられる。第 2 次取りまとめによると、処分場の高圧状態で起こるベントナイトと砂から成る圧密混成物のレオロジータクシ学的特性に関して実際適用できる法則はまだ確立されていない。ベントナイト緩衝材の負荷（母岩と緩衝材の間の流体の境界条件（液体が排水しているか / 液体が閉じ込められているか）の性質）の反応の仕方によっては、緩衝材密度の低下がオーバーパック沈下のきっかけとなるかもしれない。

（地震事象あるいは自然現象にかかわらず）オーバーパック沈下は、1）ソースターム・モデルに用いられる円筒型幾何形状を喪失する結果となる 2）オーバーパックが母岩と直接接触した場合には緩衝材の機能（放射性核種吸着、コロイドフィルトレーションなど）の喪失につながる、と考えられる。オーバーパック沈下に関連する技術やモデル作成について数々の潜在的な問題を以下に論じていくが、その前に、この「強い」摂動が処分場の長期的安全にとって重要かどうかまず決定すべきと考えられる。オーバーパック沈下は重大な問題だろうか？

オーバーパック沈下が安全性に重大な影響を及ぼすかどうか評価するためには、オーバーパックが最終的に埋設地点のボアホールもしくはドリフトの底に落ち着くという限界的な状況（図 16c）をモデル化するべきである。この時点では、母岩の内部に HLW 廃棄体からの直接的な移流による放出経路があり、重要な緩衝材機能（放射性核種吸着、コロイドフィルトレーションなど）は失われてしまっ

ている。この直接経路に加えて、移動したオーバーパックを包囲する埋設地点のボアホール/ドリフト内に残った緩衝材を通して少しずつ拡散する放出経路も残されている。この非対称な幾何形状の二つの経路を結合するには、コンパートメント・モデルを用いるのがよいと考えられる。処分場評価のためにコンパートメント・モデルが開発されてきているが、それは、コンパートメント・モデルが高い順応性を持ち、どの幾何形状にも適しており、求める水準に応じて細分することができるからである。このオーバーパック沈下の最終的な状況から生じた結果は同じモデルとデータを用いたオーバーパックが沈下しない場合の結果と比較することができる上、同じモデルとデータを使うことによって廃棄体ごとの影響を直接的に対比することが可能になる。

オーバーパック沈下の結果が重大な影響を持つと示唆するものと仮定すると、技術やモデル化についての一連の未解決の問題は、地震現象が緩衝材に過剰な圧力を与え流出させるかどうか、もしそうならそれはどのようにして起こるのか、またこの流出がオーバーパック沈下の沈下速度と規模にどのような経時的影響を与え得るかということを理解することによって考えることができる。これらの問題には以下のものが含まれる：

- ・ 単一のもしくは複数の水理的亀裂事象は繰り返し起こる地震事象から予測できるか？
- ・ 水理的亀裂と生じた亀裂に沿って生ずる緩衝材の流出の範囲、速度、規模はどのくらいか？
- ・ 流出した緩衝材の潜在的喪失によって生ずる緩衝材特性（密度、 K_d 、負荷耐性）の経時変化とはどのようなものか？
- ・ 地震事象による緩衝材の空隙水圧の上昇は、他にも影響（HLW 廃棄体の分解、隣接する廃棄体への圧力/応力の伝播）を及ぼすことがあるか？
- ・ 流出した緩衝材は吸着した放射性核種の優先的な放出経路にもなり得るか？
- ・ オーバーパック沈下は廃棄体の垂直もしくは水平方向の位置について大きな問題となるか？
- ・ 緩衝材の関連するレオロジー・モデル及び緩衝材と母岩の間の流体境界条件を考慮するとして、オーバーパックはどの程度の速さでどの深さまで沈む

か？

これら未解決の問題をさらに調査するのに加え、もしこの強い摂動から生じた限界的な状況が許容できないほど高い放出をもたらすものと示されるならば、オーバーパック沈下の実際的な進展をモデル化することが必要になるであろう。繰り返しになるが、利用可能なコンパートメント・モデルでは、沈下するオーバーパックのゆるやかに下降し変化する幾何形状を比較的簡単にモデル化することができる。

4.3.3 コンパートメントモデル化の検討

ここで求めているのは、前項で提案されたような概念モデルに基づく計算の実行ではなく、概念モデルが実際の変動ケース解析においてどのように取り扱われ得るかをより具体的な展望として例証することである。

3.3.1 項で述べたシナリオの原義に立ち戻れば、どのシナリオも処分場に想定され得る全シナリオのうちの1つにすぎない。「火成活動」や「断層」などの特殊なタイプのシナリオであろうとも、変動ケースは基本的に数限りなくあると考えられる。従ってあり得るシナリオの全てを、あるいはあり得る「強い摂動」シナリオ(即ち、バリア機能の喪失またはバリアそのものの喪失が生ずるシナリオ)ですらその全てを例証することが不可能なのは明らかである。そこで図 17、図 18 は、コンパートメントモデル作成の枠組みにおいて特定の変動シナリオがどのように概念化され得るかを示した例である。

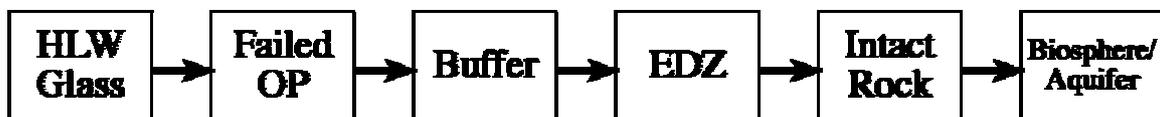


図17 第2次取りまとめ型水平処分場概念における放射性核種放出を一般的なコンパートメントモデルで概念化したもの
「破損オーバーパック」と「掘削影響領域」の二つのコンパートメントは解析に応じて随意に検討するのがよいだろう。

図 17 は第 2 次取りまとめ型水平設置処分場概念における基本ケースの放射性核種放出率をモデル化する一般的なコンパートメントセットを表わしたものである。破損オーバーパックなどのバリアの関与は含んでも無視してもよい。さらに母岩のような単独バリアの空間的分離を基本ケースの「掘削影響領域 (EDZ)」と「無傷の母岩」のようにサブコンパートメントに分割するのもまた自由である。

図 18 は地震シナリオ変動ケースの一例をコンパートメントモデルで示したものである。この場合、連続的な地震事象によって静岩圧を超える大きな地盤圧力が緩衝材内に生じ、それが母岩の亀裂と緩衝材の流出につながると想定される。緩衝材密度が低下するとともにオーバーパックが移動し、やがて埋設孔内で静止するだろう (図 19)。ついにはオーバーパックが直接母岩に接し、HLW から母岩への放射性核種の直接放出経路を形成することもあり得る。なお、この場合の緩衝材特性は、本来の幾何学とオーバーパックが母岩に接触する時間との間で継続的に変化する。

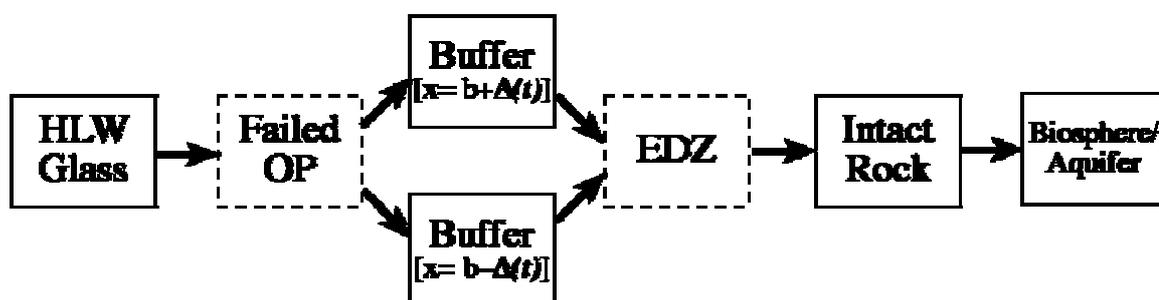


図18 オーバーパック沈下の原因となる地震事象の
一般化コンパートメントモデル

“ ” はオーバーパックの下方方向に増加する位置ずれを時間の関数 (t) で表わし、“ b ” は緩衝材の本来の厚さ、“ EDZ ” は掘削影響領域を表わす。破線のコンパートメントはソースターム放出の概念モデルとして随意に検討してもよいだろう。

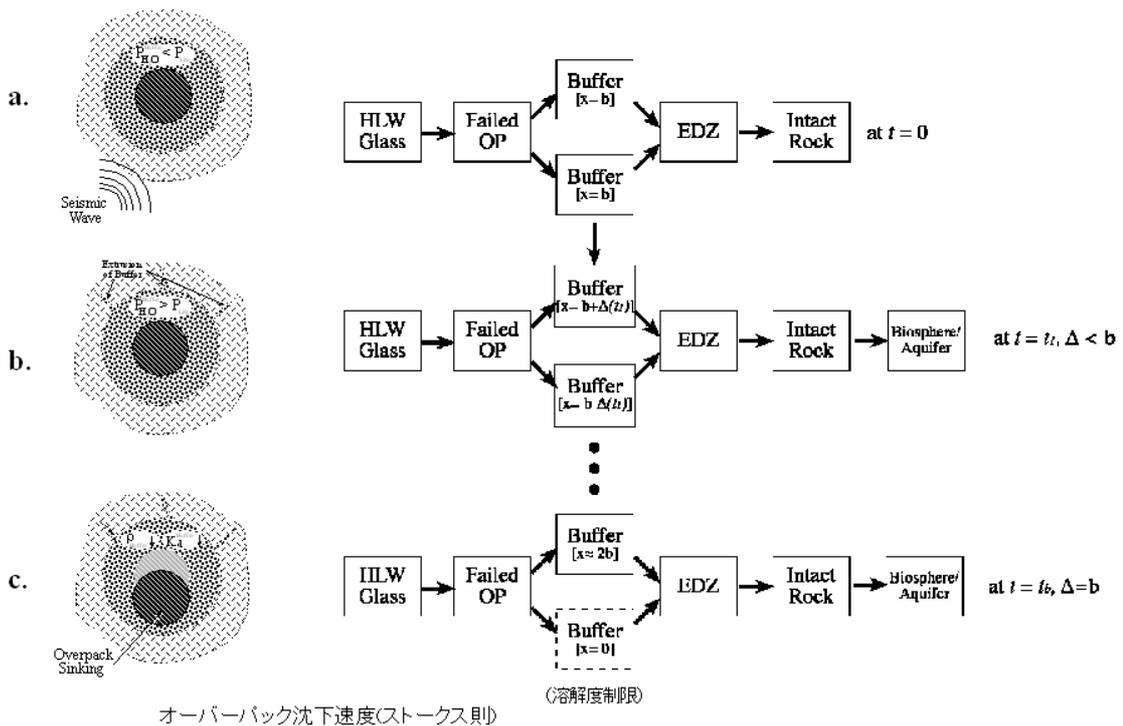


図1 埋設孔内の緩衝材の流出とオーバーバック沈下につながる地震シナリオを示すコンパートメントの段階的進行

「緩衝材」コンパートメントの特性はどちらも継続的に変化し続け、オーバーバックが埋設孔の底に接する時 (t_b) まで止まらない。そのとき下位の「緩衝材」コンパートメントを放出量計算に考慮することはもはやない。また「生物圏」コンパートメントは省略した。それは $t=0$ では処分場から生物圏への放射性核種放出はありえないので、無用な利害関係者の動揺を避けるという単純な理由によるものである。

4.4 断層シナリオ

断層活動は第2次取りまとめ(総論、5.6.3項)では明確に変動シナリオであると評価されていない。母岩の不連続性についての基本的概念と定義は「断層シナリオ」の論議には欠かせない。図20は、Pusch and Hökmark, 1992⁽¹⁸⁾に基づく次のような有用な定義付きの図案を示している。

- ・ 亀裂/節理 (fractures/joints) (4次の断裂) は互いに平行なユニットで形成された母岩の切れ目で、自己の岩面に生じた(溝が掘られた)切れ目が大概 2-7 m 間隔を伴って比較的短く (<10 m) 広がったもので、(肉眼で) 最

もよく観察される構造的特徴である。

- ・ 亀裂帯 (fracture zones) (2 次 - 3 次の断裂) は短い間隔で並ぶ互いに連結した裂け目で、概して地質構造の圧力により生じ、50-150 m オーダーの間隔で幅 1-10 m に及ぶものと定義される。
- ・ 剪断帯 (shear zones) (1 次 - 2 次の断裂) とは母岩が強烈に粉碎して大規模な剪断が起こった結果であり、数キロメートルにも及ぶことがある。幅と間隔は亀裂帯と同程度である。

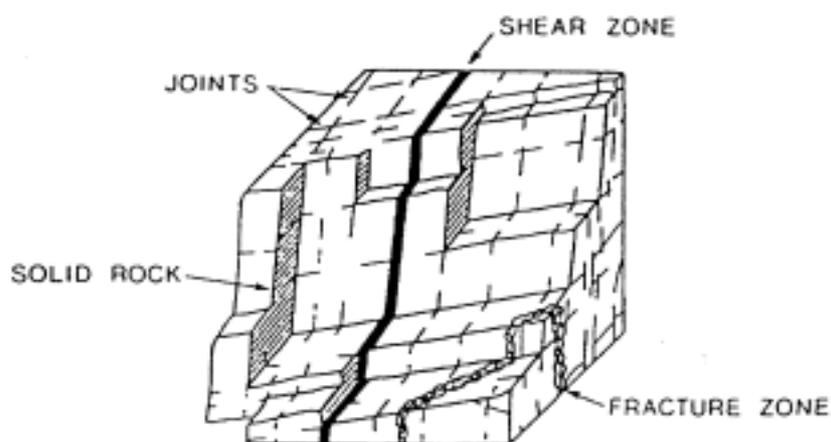


図20 亀裂性母岩の不連続に関する定義 (Pusch and Hökmark, 1992⁽¹⁸⁾より)

4 次以下の母岩の断裂は、母岩の水理学的に活性な部位 (即ち水理場もしくは流れ系) を表わし、処分場建設中や廃棄体埋設中に生ずる空間で発生する。逆に、3 次以上の断裂は、母岩を貫通した主要な水みちの特質を表わし、処分場内で断裂からどのくらい離れているかわからない場所には廃棄体が埋設されることはないと思われる。そこで、「断層シナリオ」は、おそらく 4 次の亀裂 / 節理が 3 次の亀裂帯への再活性化あるいは転化したものか、もしくは 3 次の断裂を 4 次 (かそれ以下) の断裂と誤認識した結果のいずれかであると想像できる。

4.4.1 地質学的環境に与える影響

母岩内で異なる特性を持つ新しい「断層」 (もしくは古く、検知されない断層の再活性化) の生成は、比較的率直な意味での「弱い」摂動である。第 2 次取り

まとめの「基本シナリオ」は、人工バリアシステムと実在する主要な水みち特性（即ち断層破碎帯）との間に 100m 長の経路があって、放出された放射性核種を上層の帯水層へ迅速に垂直移動させると想定している。よって、新しく出現した大きな断層（亀裂帯）は、人工バリアシステムから帯水層へ垂直に移動する間の経路長が短縮化したものと簡略に概念化される。初期の主要な水みち特性と新たに生成された断層の間に存在する過去に放出した放射性核種の再放出について考えることでわずかにある種の複雑さが生まれるが、この影響は比較的とるに足らないものである。

人工バリアシステムの突端や主要な水みち特性から見て、次にどこで断層が生じ得るかをどうやって同定するかが今後より重要な問題となると考えられる。この問題に唯一明白な答えはない。無論、処分場の地下掘削中に行われるであろうレーダー断層撮影法や地震断層撮影法によって、処分場閉鎖後に活性化する恐れのある母岩の断裂／亀裂を同定することは可能である。同様に、地下掘削を通じて断裂や亀裂の位置を地図化すれば、隣接する非掘削母岩に実在し得る未探知の断裂／亀裂を推測する際の統計的基礎として利用できる。しかし今後できる断層の人工バリアシステムの突端からの距離や流れ特性について、完全なる確信をもって断定することは不可能である。

しかし、重要なのは、*母岩における大規模な断層は重大な問題か？*ということである。重要ではないと答えるいくつかの理由がある。まず、前述したように、今後起こり得る母岩における断層は、既存の安全評価モデルによってわずかな近似を用いて簡単に対処することができるので「弱い」摂動とみなすことができる。次に、第2次取りまとめの人工バリアシステムと似た設計に対して Nagra によって計算された以前の「ロバスト・シナリオ」によると、処分場システムの天然バリアの部分がなくても許容範囲程度の低レベルの放出率が達成できるということである。3番目として、処分場のレイアウト（第2次取りまとめ総論、5.6.1項）を具体的に考慮することも、母岩内の新たな断層の位置にかかわらず、広範囲に分布した複数の廃棄体から放出される放射性核種に与え得る影響を減らすのに効果的である。4番目として、シナリオというのは今後起こり得る事象や状況の例示であり、そのような事象の発生時期や場所、規模に関する便宜的な同定については確実なものとすることはできない。かわりに、いろいろな想定を用いた様々

なシナリオ計算ケースを実行することによって、処分場性能の全体的な頑健性を確立することは可能である。

4.4.2 人工バリアシステムに与える影響

新たな断層の生成（または古い断層の再活性化）は、断層に沿って生じた累積的変位（図 21a）次第では、人工バリアシステムに対する「強い」摂動を示し得る。剪断による数ミリメートル単位の変位では、緩衝材もしくはオーバーパックの健全性（と、結果的に機能）を物理的に崩壊させるのには不十分である（図 21b）が、10 cm 以上の断層の変位（図 21c）では、緩衝材とおそらく長寿命（寿命 1000 年以上）のオーバーパックの健全性と機能を喪失させることだろう。

地震事象 / オーバーパック沈下ケース同様、第一段階は長期的な処分場の安全性にとってこの「強い」摂動が重要かどうかを決めることとする。人工バリアシステムにおける大規模な断層は重大な問題か？

中程度の変位（10 mm 以下、図 21b 参照）については、主要な摂動により、HLW ガラス固化体から母岩へ放射性核種が移行するときの、緩衝材内の拡散する経路長が短縮されると思われる。この「弱い」摂動は既存のソースターム・コードとモデルを用いて容易に近似できると思うが、重要な問題は変位が累積的なものかあるいは単発の事象であるかということである。

断層に関する限界的ケース（10 cm 以上の変位、図 21c 参照）は、バリア機能と幾何形状の喪失に付随して、閉じ込められた緩衝材バリア（とおそらく長寿命オーバーパック）の断裂につながると推定される。その結果廃棄体は、拡散バリアを介在せずに母岩 / 掘削影響領域と隣接することとなる。更に、廃棄体と処分場の上層部分（上層帯水層システム）の間を直接つなぐ放出経路を生成し得る高透水性の断層（新しい、あるいは再活性化した亀裂帯）も存在することも考えられる。同じ断層が、近隣にはあるが物理的には崩壊していない廃棄体からの放射性核種の迅速な放出経路として作用することもあり得る。

地震事象 / オーバーパック沈下シナリオと同様、コンパートメント・モデルはそのような断層によって崩壊した人工バリアシステムの複雑で非対称の幾何形状を評価するのに適している。物理的に崩壊した廃棄体と、近隣にはあるが崩壊していない廃棄体の双方にとっての迅速な放出経路は同時にモデル化することが可

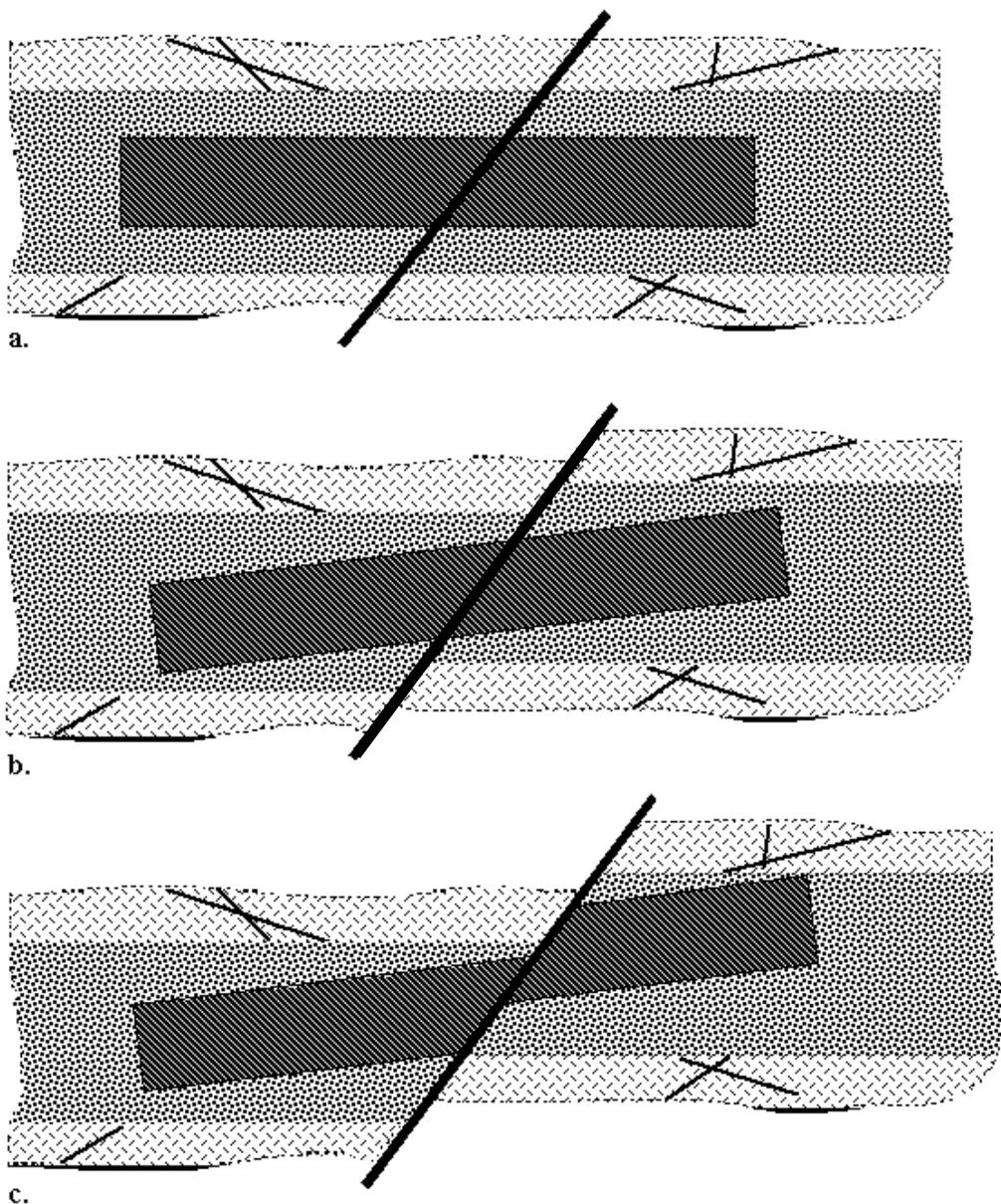


図21 ニアフィールドにおける断層シナリオの図式化

a. 全く変位がないとき b. 中程度の変位があるとき c. 多大な変位があるとき

能であり、また結果を適合することもできる。この限界的な断層シナリオをモデル化する際最も難しいのはモデルそのものではなく、新たな亀裂帯に適用するための適切なデータを収集することである。もし、この「強い」摂動シナリオについてより現実的な取り扱いを考えるならば、現実的な流れ、吸着、地球化学上の制約条件を決定しなくてはならない。そのようなデータの代表的な値については、地下研究実験や亀裂性母岩の流れに関する地域的データの編集（第2次取りまと

め 分冊 1 第 3 章) など、過去の研究から収集することができるものもある。それらのデータおよび新しい情報を収集し評価した後、人工バリアシステムとニアフィールドにおける断層の相対的影響を評価することができる。

4.4.3 コンパートメントモデル化の検討

図 22 は断層シナリオ向けに変化を加えたコンパートメントモデルを示している。図 22(a)の変動ケース(断層の傾斜角が小さい場合)は、放射性核種が直接母岩に放出されるほどに緩衝材の剪断変形が生じた場合を想定している(緩衝材の機能不全)。この概念化において、断層による母岩自体の損傷はほとんどないこと、また断層の後でさえも緩衝材を通して母岩への放射性核種の継続的拡散放出が予想される。しかしながら現実的に考えると、HLW から母岩への移流経路の直接放射性核種放出は、緩衝材を通るあらゆる継続的拡散フラックスを大きく上回ることが予想される。同様に、HLW から母岩への直接移流経路によって緩衝材のコロイドフィルトレーション機能もまた失われると考えられる。

図 22(b)は断層シナリオのもう一つの変動ケース(断層の傾斜角が大きい場合)を示したものである。このケースでは、(図 22(a)と同様に)断層によって緩衝材機能が失われるが、それとともに、廃棄体と身近な生物圏もしくは上部の帯水層の間に迅速経路を形成する亀裂帯が生ずる。この特定のコンパートメントを系統だててモデル化しようとするときには、亀裂帯の輸送特性が必要になるだろう。なお、「断層」コンパートメントの検討が明示的に行われることにより、断層と周囲の母岩との間の放射性核種の交流もまたコンパートメントモデルに含めることができることを述べておく。

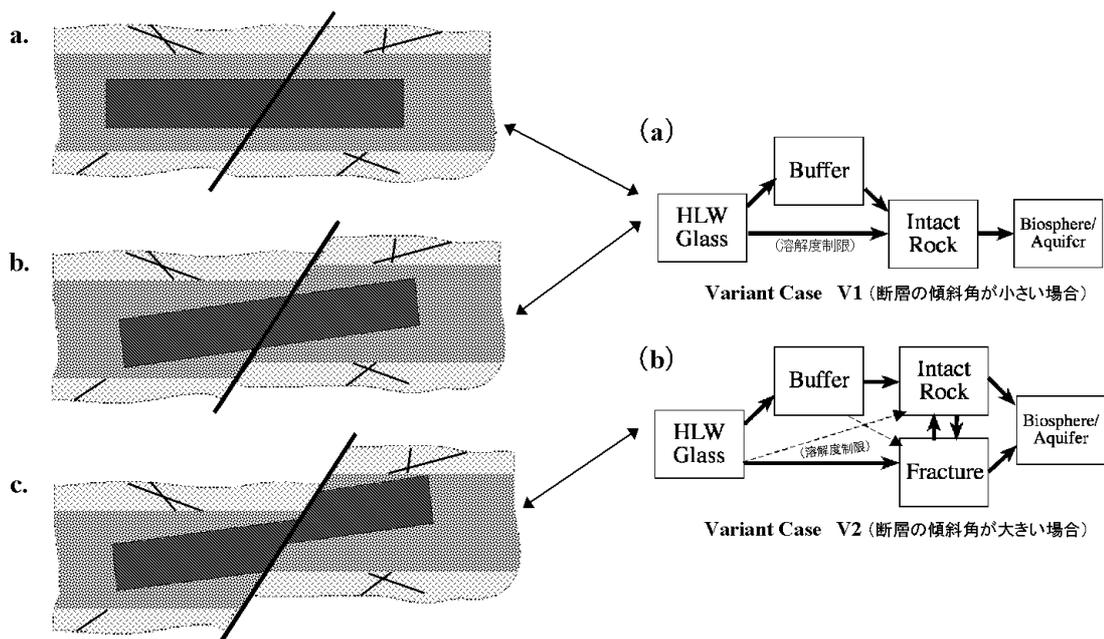


図1 断層による緩衝材の部分的喪失と母岩への直接放出を表わす一般化コンパートメントモデル

二つの変動が示されている：変動ケース V1 は（例えば軟岩が自己密封したため）断層による母岩への影響がなく緩衝材の喪失のみがあった場合を、変動ケース V2 は緩衝材の喪失があった上に新たな断層が人工バリアシステムから生物圏まで広がった場合を示している。その他の変動ケースもまた考えられる。明確化のためオプションの「破損オーバーパック」と「掘削影響領域」のコンパートメントは省略した。なお、一般には点線矢印で示される経路も考えられる。

4.5 岩脈貫入シナリオ

岩脈貫入変動ケースを含む火山活動シナリオは、第2次取りまとめ（総論、5.6節）において計算されることはなかった。岩脈とは、通常、既存の亀裂や断層または脆弱な水平面に沿って、冷えた母岩に貫入したマグマによって形成されるほぼ垂直の薄板のことである。岩脈はその厚みに対して大きく横に広がった板状の物体で、それらは互いに平行に接している。冷たく巨大な母岩と熱を取り交わすことで冷却され、最終的に凝固する。貫入が始まってからマグマの塊が冷えるまでの間、周囲の母岩には熱的、水理的、力学的、化学的摂動が生ずる。マグマが高温であるので、岩脈が比較的短期間（数週間から2～3年）で凝固した場合も、母岩が周囲の状態に戻るまでに長期間を要することが予想される。マグマは

母岩の同じ部分に繰り返し貫入するかもしれない。このような継続的貫入シナリオでは、マグマは過去の貫入によって凝固したマグマと岩壁との隙間に貫入することが多い。継続的貫入の別のケースでは、岩脈は地表まで張り出し、マグマの噴出経路を形成する。これらのケースにおいては、母岩に生ずる摂動は単発の貫入の場合と比べてより強く、より長期間に亘るものになるだろう。

高レベル放射性廃棄物処分場の近くで起こる岩脈貫入は、それが単発的でも継続的でも、結果として生ずる摂動が処分場の温度と流れ、力学的・地球化学的条件を変えると予想されるので、処分された放射性廃棄物の長期的隔離に影響を及ぼすかもしれない。非常に稀だがより重大な状況においては、貫入した岩脈と直接ぶつかってしまう廃棄体もあるだろう。処分場の潜在的な性能評価の観点からは、最終的に岩脈貫入シナリオを潜在的な変動シナリオ（と、おそらく「接近シナリオ」）に含める必要が出てくるだろう。

4.5.1 地質学的環境に与える影響

岩脈貫入によって母岩に生ずる摂動は以下のように分類される：

熱 水理学的：まず、高速・高温で移動するマグマが近隣の母岩に熱を与える。急激な温度上昇が空隙水圧を高め、局所的な地下水流速が増加する。冷却後は凝固した岩脈が不透水性となるため、局所的な流れ場が歪められる。

力学的：本来高温ではない母岩が加圧、加熱されることで、以下のような力学的影響が生ずる。：

- ・ 新たな亀裂 / 節理の形成
- ・ 空隙率と透水性の変化
- ・ 熱的応力と加圧による既存の亀裂の変形、変位、復活

力学的変化はさらに流れ場に影響を与える。

化学的：岩脈貫入が地下水化学に与える影響について二つ考えられる。第一の影響は岩脈（あるいは他のマグマ性物体）に由来し得る熱水が直接加わることである。第二の影響は温度上昇による速度定数と鉱水の平衡定数の変化である。これらのプロセスは互いに排他的ではなく、両者結合して地下水組成に影響を与えることも考えられる。

以前の解析では、単発的または継続的岩脈貫入(MRI, 1998)⁽¹¹⁾に関するシステム

の熱 - 水理的連成プロセスの研究が行われた。単発的な貫入についての解析では、急激な温度上昇のもとで加圧した空隙水によるパルス速度の伝播などの岩脈による母岩への影響を示している。パルス速度の規模は岩脈に近いところほど大きい。岩脈から 400 m 離れたところでもそのような影響を受けることがある。パルスは最終的には巨大な母岩内に吸収される。1 m 厚の岩脈であれば一年以内に冷却する。岩脈の結晶後は、岩脈の下流における地下水流速は減少する。

継続的貫入については、岩脈と一定距離を隔てた場所との間で数千年間に亘り、比較的一定の温度プロファイルが示されている。岩脈内のマグマ流が比較的少量であるため、岩脈の温度は急速に下降する。温度プロファイルと違って、流体圧は増加した後、結晶化していない岩脈さえも地下水の流れを阻害するので、減少する。

母岩における主な影響は流れ場と地下水地球化学に関するものと思われる。岩脈が処分場上流の離れた場所に貫入すると、まず、ニアフィールドの温度と圧力にゆるやかな上昇が認められるだろう。長期的には岩脈による阻害の影響によって、流速が減少すると予想される。

もし貫入が処分場より下流で起こると、最初は周囲とは逆の方向に流れが生ずるが、長期的には周囲の流れ場は元の状態に戻ると考えられる。しかし、岩脈の近くで新たに形成された亀裂が生物圏につながる経路を短縮することもあり得る。

処分場内で岩脈貫入が起こると、以前の研究結果(MRI, 1998)⁽¹¹⁾にもあったように、母岩の地下水流速においてゆるやかな上昇が見られるだろう。新たに形成された亀裂か、あるいは既存の亀裂が破壊したものが生物圏への放射性核種の移行経路を変更したり短縮することもあり得る。

4.5.2 人工バリアシステムに与える影響

以前のシナリオ解析と計算プロジェクト(MRI, 1999)⁽¹²⁾では、処分場に岩脈が貫入したときの放射性核種の放出への間接的な影響について研究され、モデル化された。「間接的影響」とは、岩脈との直接的衝突はないが、近隣の岩脈によって摂動が引き起こされるときに廃棄体が受ける影響と定義される。解析は、放射性核種の生物圏への放出率を調べるため、MRI, 1998⁽¹¹⁾から得た研究結果(速度増加に関する時空間の分布)を用いて行われている。

対照的に、「直接的影響」とは、この項で述べる通り、岩脈が数個の廃棄体に直接衝突したときに起こる影響と定義される。以前のプロジェクトではこの影響についての研究はされていない。「直接的影響」は「間接的影響」と比べてより重大な影響を処分場システムに与えると考えられる。

岩脈貫入がニアフィールドと人工バリアシステムに与える直接的影響を評価するために、まず、考えられる事象を定性的に評価する。図 23、24、27 は貫入マグマがニアフィールドと衝突した際に与え得る影響を図示したものである。

図 23 は上昇する岩脈が第 2 次取りまとめ型の代表的なニアフィールド、即ちガラス固化体とそれを保護するベントナイト緩衝材に接近しているときの様子を表わしている。緩衝材の外側には、掘削によって母岩より多くの亀裂が入っている層状の岩盤（「掘削影響領域」または EDZ）がある。岩脈がニアフィールドと衝突したとき、貫入したマグマ流について二種類の展開が想像できる。

まず、図の 24(a)に示されている通り、緩衝材が不透水性であり、また、溶けにくい鉱物性の相を持っているので、最初はマグマは亀裂を埋めながら、掘削影響領域の一部に沿って横向きに流れると考えられる。その後、マグマ源の状況（速度、圧力、頻度、再注入量など）によって、マグマはそれより高く上昇するのをやめて凝固（「静止」）し、徐々に熱を失って行くだろう。ひとたび凝固すると、

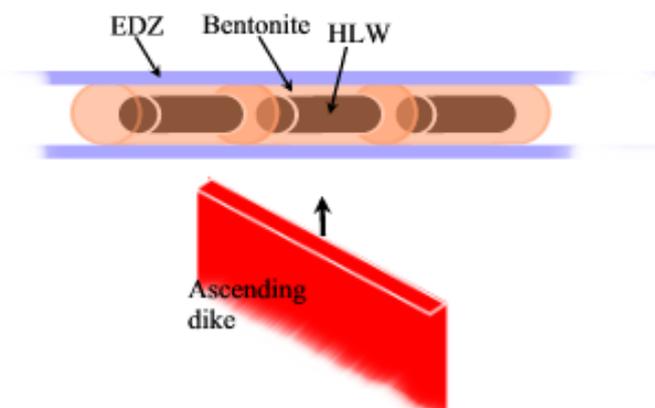


図23 上昇する岩脈が、掘削影響領域（EDZ）、ベントナイト緩衝材、HLW ガラス固化体から構成される処分場に接近する様子

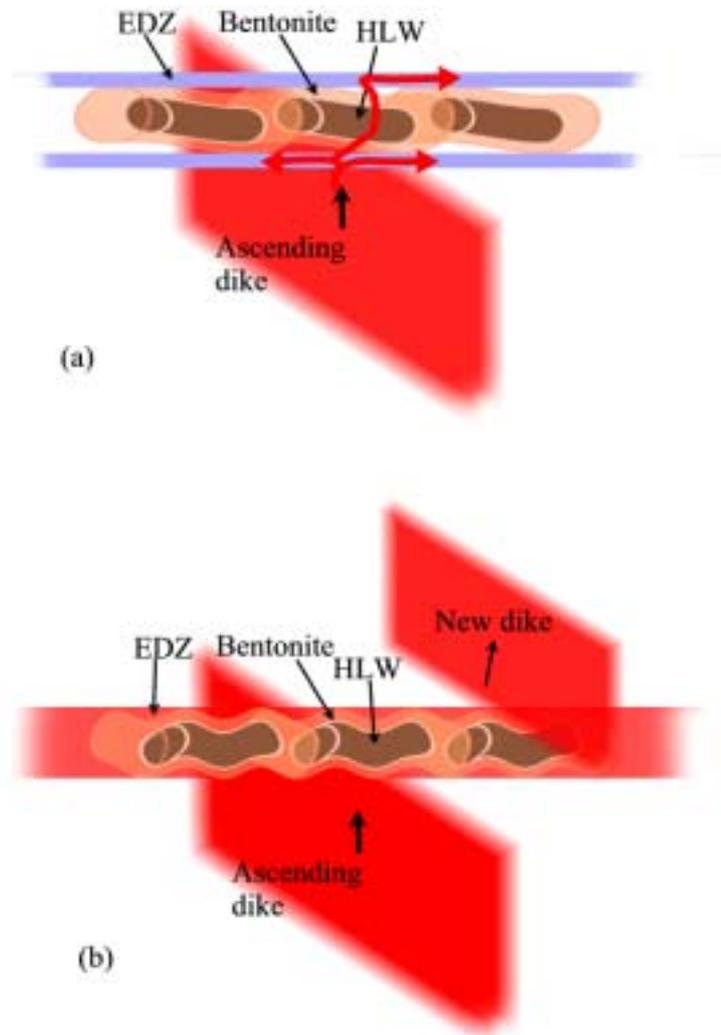


図24 薄板状の岩脈に沿って上昇するマグマについて考えられるある展開：

- a. マグマが人工バリアシステムに生じた亀裂に沿って広がる。
- b. その後、マグマと溶けたガラス固化体とベントナイトとの混合物質が新たに形成された岩脈に沿って上昇し続ける。

結晶化したマグマと緩衝材は廃棄体内への水流を阻害する不透水性のバリアを形成し、人工バリアシステムの一部から母岩への放射性核種放出を一時的に「封鎖」と考えられる。長期的には、結晶化した岩脈が脆く、亀裂を生じやすいことから、水流に対する不透水性が失われるだろう。

一方、図 24b に示したように、マグマが新旧の亀裂性母岩領域を貫いて上昇し続ける場合もある。母岩とマグマの特性（応力場、密度差、マグマ注入の頻度と量など）によっては、マグマが最終的に地表まで到達し、一定期間噴出すること

もあり得る。岩脈の注入と噴出が数十年から数百年にまで亘って持続し、MRI, 1999⁽¹²⁾において既に記述されたように、母岩の流れに対して起こり得るより長期間の摂動をもたらすことも考えられる。

そのような垂直なパイプを通して新しいマグマが継続的に流れ、ニアフィールドの温度が接近するマグマの温度（一般的な玄武岩マグマで~1100℃）と同程度まで引き上げられることもあり得る。ニアフィールドが加熱され、温度が上昇し続ける状況のもとでは、人工バリアシステムに対して一連の摂動が生ずることが予想される。温度 200℃ 台では、ベントナイト緩衝材のスメクタイト成分などの含水層から水分が蒸発し、多数の雲母状の相を形成する。こうして緩衝材の膨潤能力と可塑性が失われると考えられる。約 600-700℃ では不変だったホウケイ酸ガラス廃棄体の一部が溶け始める。深さ 500-1000 m に位置する処分場の飽和状態においては、「花崗岩」の 3 成分系位相図（図 25、26 参照）にも見られる通り、緩衝材の部分的熔融^(注 1)が 800-900℃ で始まる。これらのコテクチック熔融^(注 2)は溶けたホウケイ酸ガラス固化体（と含有する放射性核種）と融合し、そしておそらく上昇する岩脈マグマと混合し、溶岩流か火山灰プルームのいずれかとなって地表に噴出するだろう。耐火性で熔融されない人工バリアシステム構成物質の一部もまた上昇するマグマとともに移行することがあるかもしれないが、そのような物質が放射線学的影響をもたらす可能性は低い。

限界的ケースとして、緩衝材と母岩の局所的な応力状態や対照的な透水性とレオロジー特性によっては、急速に貫入した岩脈が人工バリアシステムの一部を物理的に破壊することもあり得る。HLW ガラス固化体と緩衝材を含む人工バリアシステムを構成する物質のある量が、わずかに熔融しただけでも持ち上げられて直接地表に噴出することも考えられる（図 27 参照）。そのように溶け出していない

(注 1) 緩衝材は長石（曹長石、正長石）と石英（ベントナイトに自然発生したものまたは緩衝材を形成する際に加えられたと考えられるもの）と粘土鉱物とで構成される多相集合体である。基本的にベントナイトとは、その特質において一般的な花崗岩的成分を持つ火山性物質の水和性変質体であるので、「花崗岩」の熔融特性はこの緩衝材システムの優良なアナログであると言える。

(注 2) 互いに固溶体をつくらぬ n 種の結晶集合体よりなる n 成分系固相から、一定圧力の下で n 種未満の結晶が液と平衡を保って溶融する現象。

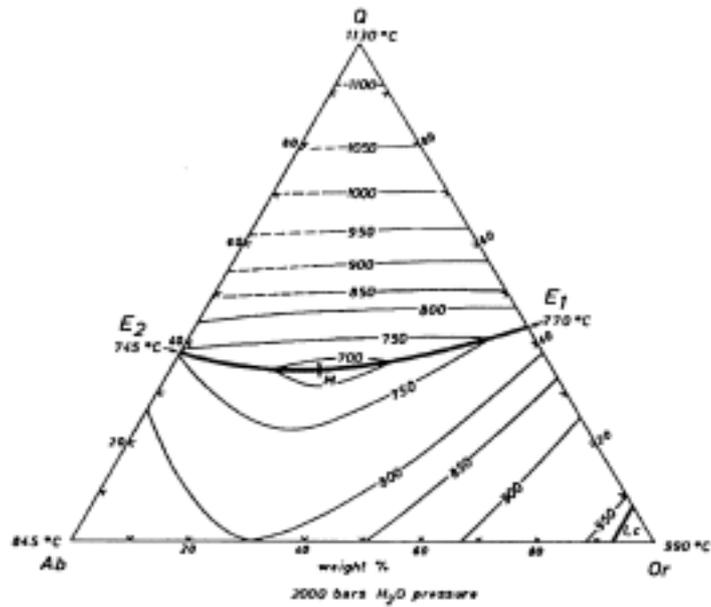


図25 飽和状態（水圧 2000 バール）での石英 - 曹長石 - 正長石のコテクチック融融を表わす 3 成分系位相図

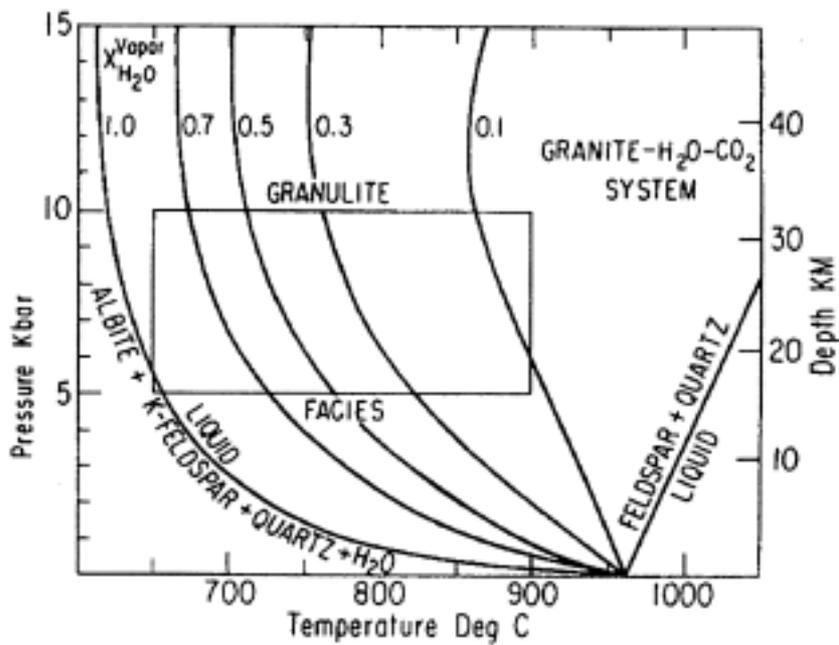


図26 様々な含水成分における石英 - 曹長石 - 正長石の「花崗岩」系に対する初期融融時の圧力-温度変化曲線

(もしくは部分的に溶け出したにすぎない)放射性核種含有物質が溶岩流と一体化するかまたは火山灰として噴出することもあるだろう。

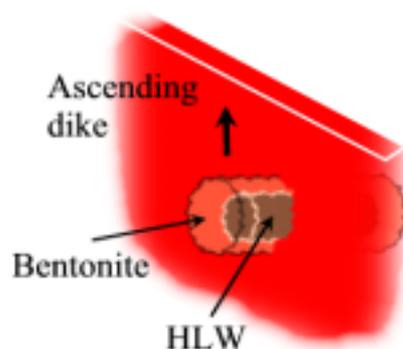


図27 薄板状の岩脈に沿って上昇するマグマについて考えられる別の展開：
マグマがベントナイト緩衝材を打ち破り、ガラス固化体を溶かし、地表に熔融物質を運搬する。

4.5.3 コンパートメントモデル化の検討

図 28 は岩脈 / 火成岩貫入に考えられる数多くの変動ケースのうちの一例を示すものである。この場合、岩脈貫入が廃棄体に及ぼす影響が3種類考えられる。

- (a) 天然バリアの特性だけが変化する(弱い摂動)。
- (b) 人工バリアと天然バリアの両方の特性が熱的、水理学的、化学的、力学的影響の連成を経てその機能を変化、喪失させる(強い摂動)^(注)。
- (c) 岩脈マグマが直接廃棄体に衝突し、バリア機能が失われる。

図 28 に関して、(a)の場合、母岩に唯一の変化が生ずる。このケースでは不透水性の岩脈に隣接する損傷を受けた母岩が異なる輸送特性を持つ個別のコンパートメントとしてモデル化される。(b)の場合、連成的影響が結合して緩衝材の石化およびひび割れを生じさせ、それが廃棄体と母岩をつなぐ亀裂による移流流れの原因となることが想定される。母岩自体は垂直方向の不透水性凝固岩脈によって切断されることがさらに予想される。岩脈によって損傷を受けた母岩は直ち

(注) シナリオ解析とは別の取り組みであるがその一助となるものとして、そのような影響を最新の連成プロセスコードを使って別にモデル化する必要があるだろう。

に岩脈と密着するが、もとの母岩とは異なる水理的輸送特性を持つことがあり得るので、別個のコンパートメントとしてモデル化する。最後に、(c)の廃棄体の場合、HLWは上昇するマグマに同調して地表まで運ばれるが、地表での侵食プロセスが当該コンパートメントから生物圏コンパートメントへの直接放出経路の形成を支配すると推測される。

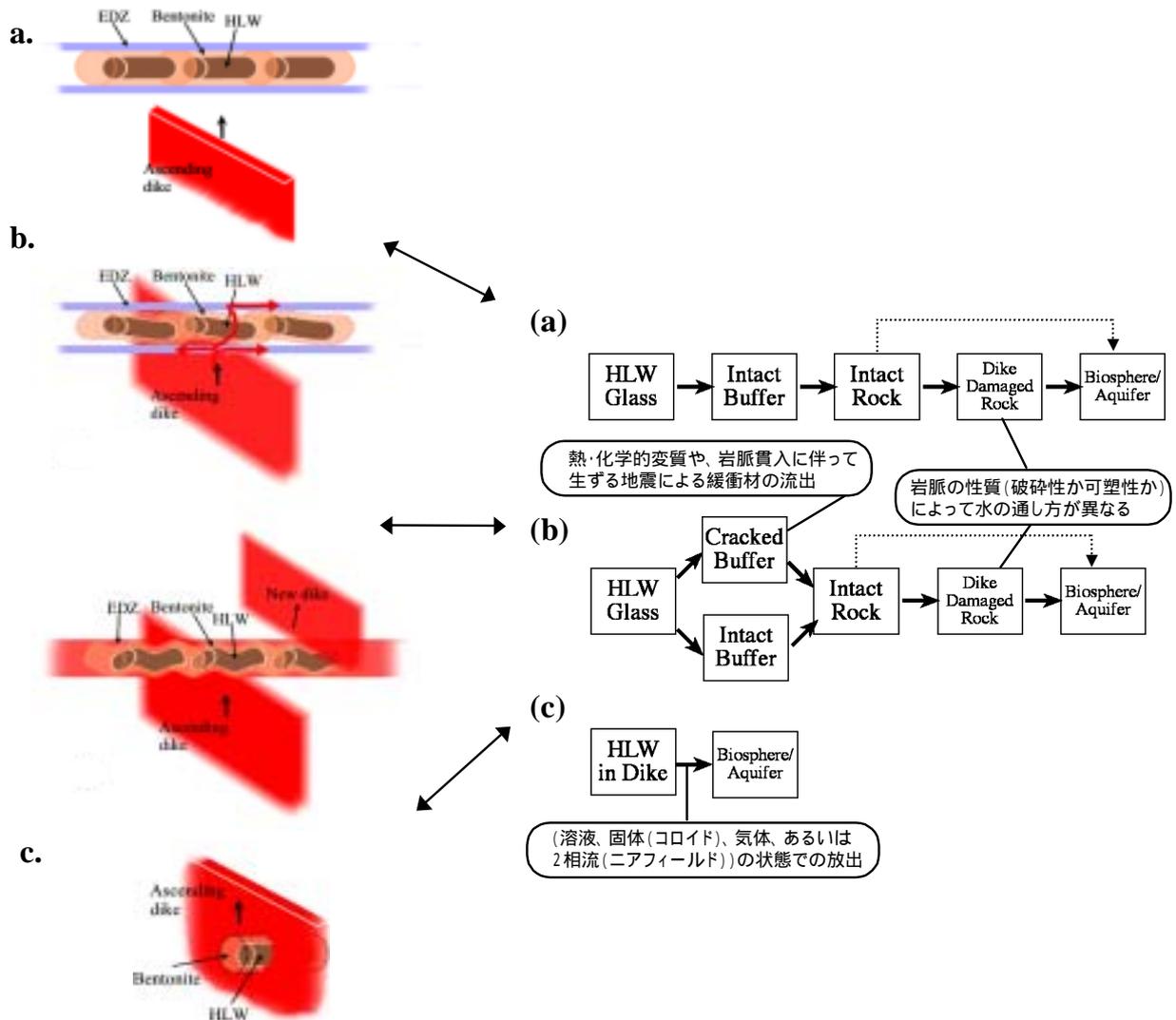


図28 3種類の二次的変動の可能性が考えられる岩脈貫入シナリオ

- (a) 「岩脈によって損傷した母岩」コンパートメントだけを伴う「弱い」摂動を受ける廃棄体
 - (b) 「ひび割れ(石化)した緩衝材」と「岩脈によって損傷した母岩」コンパートメントを伴う「強い」摂動を受ける廃棄体、そして、
 - (c) 岩脈にHLW放射性核種が混入し地表で侵食される
- (注) 一般には点線矢印で示される経路も考えられる。

4.5.4 直接的影響による放射性核種放出に関する評価

上昇するマグマが溶けた廃棄体を地表まで運搬する場合、生物圏への放出については、在来型のモデルやコードよりむしろ、岩脈に沿ったマグマの挙動に基づく評価を行うべきである。噴出が長期間に及ぶと、溶けた廃棄体のマグマによる移行の過程で、廃棄体物質が時空間に亘って広がり、希釈され始めるだろう。溶けた物質がマグマ流と完全に混和していると想定すると、放射性核種の生物圏への放出率は次の方程式を使って算出できる：

$$R(t) = v_m C_m(t) \quad (1)$$

v_m はマグマの速度 [m/yr] を、 $C_m(t)$ はマグマ流と溶けた廃棄体物質との混成物質中の放射性核種濃度を表わしている。

累積的な放出は、噴出の開始時間と終了時間を指定し、上の方程式を時間で積分することによって求められる。

もし噴出期間が比較的短い場合は、時間に依存する放出率を考える必要はない。むしろ、以下の方程式を用いることによって、噴出期間における累積的放出を直接求めることができる：

$$R = \int_{t_1}^{t_2} \frac{M(t)}{t_2 - t_1} dt \quad (2)$$

ここで、 t_1 と t_2 は岩脈の噴出の開始時間（年）と終了時間（年）を、 $M(t)$ は噴出の間に移行した放射性核種の総インベントリを表わす。方程式の時間積分はこの期間の崩壊と生成について考慮しているが、持続期間が比較的短いときにはそれは無視してさしつかえない。

当然、どちらのケースでも、最も重要なのは岩脈によって運搬された放射性核種の量に関する情報である。また、岩脈貫入の時間に関する情報も必要である。時間とマグマの速度に関する情報は、岩脈の厚さや幅と同様、火成活動の知識があれば推測することは可能である。しかしながら、マグマによって運ばれる放射性核種の量を決めることはやや骨の折れる問題である。

岩脈によって放出される放射性核種の量は、影響を受ける廃棄体の数とその影響の受け方次第で変わると考えられる。図 27 に示されたような切断型の場合は、

岩脈が比較的薄い形状を持つことから (MRI, 1998) ⁽¹¹⁾、岩脈によって切断された廃棄体中の放射性核種だけが地表まで運ばれると合理的に想定することができる。

図 24b に示されたような影響では、速い流れのマグマによって、何個の廃棄体が影響を受けるか、また人工バリアシステムの熔融物質が運ばれるかどうかを確定するために、岩脈と処分場との相互作用について詳細な解析が必要と考えられる。

そのような解析には、以下の事項に関するモデル化または定性的検討が必要となるだろう：

- ・ 処分場の幾何形状と物質的状况に基づいて規定されたマグマ流体力学
- ・ 貫入したマグマによって起こる摂動に対する物質の熱的、化学的、力学的反応
- ・ 処分場物質を巻き込むマグマ性同化プロセス

この解析では、岩脈の特質（即ち岩脈の厚さ、マグマの速度、マグマの温度など）の取り得る範囲を考慮して、溶けたガラス廃棄体がマグマ流と混ざって地表まで到達するときの条件を作成すべきである。

5. おわりに

本年度の実施内容は、以下の通りである。

(1) FEP の記述に関する情報整理

FEP リストの構造及び記述内容が、シナリオ解析に適しているか、また、最新の研究結果を踏まえているかを検討することを目的として、マトリクス及び階層的手法を用い、FEP リストの構造を検討し、また文献やインタビューから得られた情報を記述内容に加えた。RES マトリクスを用いて、FEP 間の相関も確認し、不確実性についても記述することによって、シナリオ解析に適した FEP データが整理された。

(2) シナリオ解析システムの検討

ChEng 法に基づいてシナリオ解析システムのあり方について検討を行うことを目的とし、処分システムの物理的コンポーネント及び FEP の物理化学的特性に関する本概念の特徴を監査・レビューした。その結果、EBS の FEP 間の相互関係に必要な情報源が整理され、第 2 次取りまとめに基づく処分場の物理化学的特性間の相関マトリクス (RES 形式) が試作された。また、FEP 情報からシナリオ解析ケース設定までのシナリオ解析プロセスについての考察を行い、今後の課題が明瞭化された。

(3) 変動シナリオに関する解析技術の検討

第 2 次取りまとめで論じられた変動シナリオをより現実的に評価解析するための手法を検討することを目的とし、特に緊急性の高い課題である地震・断層及び火成活動 (岩脈貫入) に関する「強い」摂動 (バリアの諸性質の変化並びにバリアやバリア機能の喪失) ケースを取り扱うための解析概念として概念モデルを検討し、コンパートメント・モデルの適用性や詳細プロセスのモデル化の必要性が提示された。

以上の検討により、第 2 次取りまとめまでに蓄積された成果を含めたシナリオ解析

の今後の高度化の方向性がより具体的に明示できたと同時に、今後取り組むべき課題として以下の点が指摘された。

(必要に応じシナリオ解析プロセスにも配慮した) FEP リストのより体系的な整理

シナリオ解析プロセスの具体的検討・試行とルーチン化

シナリオ解析の透明性、追跡性を高めるための ChEng 法関連の全情報の同定、グラフ化及び文書化

変動シナリオ解析概念に適合したモデル化概念の詳細検討とデータの収集

参 考 文 献

- (1) N.A. Chapman, J. Andersson, P. Robinson, K. Skagius, C. Wene, M. Wiborgh and S. Wingefors : “ Systems analysis, scenario construction & consequence analysis definition for SITE-94 ” , SKI Technical Report 95:26, Stockholm, Sweden (1995).
- (2) T. Eng, J. Hudson, O. Stephansson, K. Skagius and M. Wiborgh : “ Scenario development methodologies ” , SKB Technical Report 94-28, Stockholm, Sweden (1994).
- (3) B.W. Goodwin : “ Scenario analysis for the post-closure assessment of the Canadian concept for nuclear fuel waste disposal ” , AECL draft report 91/07/25 Subsequently published as AECL-10717, COG-93-7, Pinawa, Canada (1991).
- (4) F. Harary, R.Z. Norman and D. Cartwright : Structural Models : An Introduction to the Theory of Directed Graphs, Wiley, New York (1965).
- (5) 茨木、福島 :FORTRAN77 最適化プログラミング, 岩波コンピュータサイエンス, 岩波書店 (1991) .
- (6) JNC : “ わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 2 地層処分の工学技術 ” , JNC TN1400 99-022 (1999) .
- (7) JNC : “ わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 3 地層処分システムの安全評価 ” , JNC TN1400 99-023 (1999) .
- (8) MRI : “ 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 () ” , PNC ZJ1222 95-002 (1995).
- (9) MRI : “ 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 () ” , PNC ZJ1222 96-004 (1996).
- (10) MRI : “ 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 () ” , PNC ZJ1222 97-003 (1997).
- (11) MRI : “ 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 () ” , PNC ZJ1222 98-003 (1998).

- (12) MRI : “ 地層処分システム隔離性能に対する天然事象影響の定量化() ” , JNC TJ1400 99-046 (1999).
- (13) MRI : “ 地層処分の性能評価手法の高度化に関する研究 ” , JNC TJ8400 2001-007 (2001) .
- (14) Nagra : “ Kristallin- , Safety Assessment Report ” , Nagra Technical Report NTB 93-22 (1994).
- (15) NEA : “ Systematic Approaches to Scenario Development: Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories. Report of the NEW Working Group on the identification and selection of scenarios for the safety assessment of radioactive waste disposal ” , NEA/OECD, Paris, France (1992).
- (16) OECD/NEA : “ Review of Safety Assessment Methods ” , A Report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee, OECD Nuclear Energy Agency (1991).
- (17) OECD/NEA : “ Features, Events and Processes (FEPs) for Geological Disposal of Radioactive Waste ” , An International Database (2000).
- (18) R. Pusch and H. Hökmark : “ Characterization of near-field rock : A basis for comparison of repository concepts ” , SKB Technical Report 92-06, Stockholm, Sweden (1992).
- (19) SKB : “ SR97-Identification and structuring of process ” , SKB Technical Report TR-99-20 (1999) .
- (20) SKB : “ Project SAFE: Scenario and system analysis ” , SKB Technical Report 01-13, Stockholm, Sweden (2001).
- (21) SKI : “ SKI SITE-94, Deep Repository Performance Assessment Project ” , SKI Report 96:36, December (1996).
- (22) M.J. Stenhouse, W.M. Miller and N.A. Chapman : “ System Studies in PA: Development of Process Influence Diagram (PID) for SFR-1 Repository Near-Field + Far-Field ” , SKI Technical Report 01:30, Stockholm, Sweden (2001).
- (23) C.F. Tsang Ed. : Coupled Processes Associated with Nuclear Waste Repositories, Academic Press, Inc. (1987).

付 録

A. 第2次取りまとめのFEPに関するレビュー

A.1 序

サイクル機構は第2次取りまとめ（付・表 A-1 参照）に基づき、HLW シナリオ解析のための特性・事象・プロセス（FEP）のリストを作成した。ここでは、この FEP リスト及びその他 FEP の候補として挙げられるべき事項について、（1）第2次取りまとめのレビュー及び編集過程で蓄積された知識、（2）海外の FEP リストの知識、に基づいてコメントする。

A.2 海外の FEP リストとの比較

海外の FEP リストは、“What if?（だったらどうなる？）” 式の疑問と、地層処分場に HLW を処分することについて調査している実施機関及び規制当局から挙げられた問題点を融合したものを基に作成された（付・表 A-2, 付・表 A-3 参照）。これらの海外の FEP リストは「生の言語に基づいた」と呼ぶことができる。なぜなら、地層処分場の長期的性能に関心を寄せる様々な利害関係者から発せられた疑問から生まれたものだからである。

そのような生の言語に基づいた FEP を監査し、分類することによって、次のことがスウェーデンの SKI 及びその他の処分場関連プログラムから示された。即ち、処分場の挙動をプロセスシステムモデルとして完全に描き出すには、FEP 同士の相互作用（影響）について明らかにしなければならないということである。その後、このプロセスシステムモデルは有効性をもって、「通常シナリオ」から「断層活動」「地震活動」「気候変動」等、多様な変動シナリオまで含む様々なシナリオを描き出すことができるのである。

これとは逆に、付・表 A-1 の FEP は、FEP とシナリオ解析に対するもう一つ別の「化学工学的見地に基づいた」アプローチを表わしている。例えば、

- ・ HLW 廃棄体
- ・ オーバーパック
- ・ 緩衝材

のような処分場システムの特殊な空間バリアを特定することもできる。

これらのバリア構成物について、重要な物理化学的特性を例えば以下のように

分類できる。

- ・ 化学的特性
- ・ 熱的特性
- ・ 水理学的特性
- ・ 力学的特性
- ・ 放射線学的特性
- ・ 物質移動特性

FEP に対するこのような化学工学的見地に基づいたアプローチでは、基本的に、処分場の隣接する物理的バリア間を通り抜ける質量・エネルギー・放射線・運動量のフラックスの大きさで、処分場システムを説明する。それ故、それぞれのバリア内の FEP と隣接するバリア間の FEP 同士の相互作用は、処分場のプロセスシステムモデルを描き出すのに、FEP に対する生の言語に基づいたアプローチに全く類似した方法で評価され関連づけられることになる。

「化学工学的見地」に基づく FEP (付・表 A-1) と海外の「生の言語」に基づく FEP を比較すると、即座にいくつかの点が明らかになる。まず第一に、海外のリストはサイクル機構のそれよりはるかに長く広範なものである。本文 3 章の検討の一環として、付・表 A-2 とのマッチングを行うために付・表 A-1 の下位 FEP のリストを広範化している。次に、NEA のリストは、処分場シナリオを実際に分析していくには曖昧で、体系化されておらず、また的外れな FEP (例えば、「居住」「希ガス」「種の進化」) を多く含んでいる。付・表 A-1 は付・表 A-2 と比較するのが最も適切である。

付・表 A-1 と付・表 A-2 の比較の中で、付・表 A-1 の全ての上位 FEP とほとんどの下位 FEP が付・表 A-2 の FEP とマッチングすることが分かる。二つの下位 FEP 「調和的な溶解」と (付・表 A-1 にはないが) その逆の「非調和的な溶解」は、付・表 A-2 にはない。これは、理由の一つとして付・表 A-2 が HLW ガラスというよりは使用済燃料をベースにしているからであり、また、廃棄物マトリクスの溶解を実際に数学的に定式化するのは、概して大変細かい情報を書き連ねることになるため、FEP レベルでリストすることができないからである。さらに、「非調和的な溶解」は一般に、廃棄体の挙動の主要なプロセスではない。ここでいう外見上の「非調和的な溶解」とは、一緒に先行して生ずる HLW ガラスの調

和的な溶解とある溶解度制限固相で同時に分離沈殿することから生じるものであり、最終的に「非調和的な」溶解に行き着くということである。ところが実際の「非調和的な溶解」は予測されておらず、「溶解」も「沈殿」も含んでいる以上、付・表 A-1 からは外すべきと考えられる。

A.3 FEP の追加・改良の提案

化学工学的見地に基づく現在の FEP リストには、さらに関連する潜在事項が数多くあるが、これらについて以下に検討する。

A.3.1 上位 FEP 内での下位 FEP の細分類化について

付・表 A-1 で明らかなように、第 2 次取りまとめの FEP は、実際には 2 つ以上の独立した特性・事象・プロセスを含んだ上位 FEP である。例えば、付・表 A-1 の中で、「HLW ガラスの熱的特性」は「G-1.1 ガラス固化体の熱物性」、「G-1.2 ガラス固化体の温度」、「G-1.3 ガラス固化体の熱膨張」、「G-1.4 崩壊熱の発生」を含む。従来、生の言語に基づいた FEP によるシナリオ解析の中では、これら下位 FEP は個別にリストされ、他の全ての FEP に対する影響について個々に示される。

サイクル機構が行っているように、上位 FEP を利用することには次のようなメリットがある。他の全ての下位 FEP を上位 FEP と関連付けることで理解される。上位 FEP を使うことで、FEP の項目数を大きく減らすことができるし、プロセス影響モデルや RES マトリクスのような、FEP に基づく様々なシナリオ解析の図式もまた、大幅に減らすことができる。

上位 FEP について、いくつかの欠点も指摘できる。まず、関連する特性・事象・プロセス描写の完全性評価である。挙げられている上位 FEP にはどんな下位 FEP が含まれるべきかは容易に推測できる。例えば、上述の「HLW ガラスの熱的特性」について言うならば、「ガラス固化体の熱伝導性」や「融点」を、付・表 A-1 にリストしなかった下位 FEP に加えることもできよう。このように、上位 FEP の存在は、各上位 FEP のもとに適切な下位 FEP が全て含まれているだろうかといった思いを引き起こす。

上位 FEP に関するもう一つの欠点は、下位 FEP の定義の曖昧さである。再び上

述の「HLW ガラスの熱的特性」で見ると、下位 FEP にも、極めて一般化された形で「G-1.1 ガラス固化体の熱物性」がリストされているのである。にもかかわらず、下位 FEP には、一見 G-1.1 の一部とみなされ得る「G-1.3 ガラス固化体の熱膨張」と「G-1.4 崩壊熱の発生」という項目も追加されている。G-1.3 と G-1.4 を下位 FEP にリストしたのは随意のように見える。さらに、前述したように、「融点」や「熱伝導性」といった下位 FEP の他の関連事項は個別にリストされてはいないのである（本文 2 章の 2.4.2 項を参照）。

一つの上位 FEP を下位 FEP に細分類化することの最後の欠点は、こうした個々の下位 FEP の相対的な重要度を容易には明確化できないことである。例えば G-1.4 は、他の FEP や処分場の挙動に多大な影響を及ぼすという点で大変重要であるのに対し、G-1.3 は処分場の長期的挙動に比較的わずかな影響しか及ぼさない。それ故、重要度の異なる下位 FEP を複数含む上位 FEP に、一つの「重要度レベル」を割り当てるのは難しい。さらに、下位 FEP の中には経時的に、あるいは仮定されたシナリオから生じた摂動のために、重要度が変化するものもある。このようなタイプの重要度の変化もまた、上位 FEP の形式中では示し難いのである。

以上のような欠点を解決するためには、挙げられた上位 FEP に属する下位 FEP の全てを完全にリスト化しなければならない。本文 3 章の検討の一環として、付・表 A-2 に基づいて下位 FEP に関する以上のような監査やリスト作成を試みる。

A.3.2 「水理学的」及び「物質移動」FEP を含むことについて

FEP の中に「水理学的特性」と「物質移動特性」を個別に載せると、内容的に重複しかねない。サイクル機構はもともと、*放射性核種の物質移動と水理特性を* 区別して検討しようとしたのかもしれないが、シナリオ解析には水理特性のみ関連し得るといえる。なぜなら、水理特性は、処分場から生物圏への放射性核種の物質移動のフラックスをも表わすものだからである。さらに、「放射性核種の化学」という FEP を「化学」という FEP から切り離すことは論理的ではあるとはいえ、「放射性核種の物質移動」を「水理学」から切り離すのは、非論理的である。

各バリア毎の「物質移動」FEP と「水理学的」FEP を統合した方がより望ましい。この分類された FEP に対して「物質移動」という言葉はより厳密な意味を持ち得る用語ではあるかもしれないが、分類した FEP をまとめる用語として「水理

学」という言葉を使うことを推奨する。なぜなら、従来、結合したプロセスのモデル化（処分場の研究に関連する用語）で引合に出される用語は「熱的-水理学的-力学的-化学的（THMC）」プロセスだからである。この結合されたプロセスという重要な用語と矛盾しないように、「物質移動」FEP は、それぞれの構成要素について、「水理学的」FEP の中の同じ構成要素に分類されるべきである。この「水理学的」FEP は、特殊なバリア構成要素を通るあらゆる化学的構成要素（水、放射性核種、コロイド、安定元素、ガス）の挙動に関する全ての下位 FEP を含むと解釈されるべきである。

A.3.3 「摂動的」FEP の個別のリスト化について

FEP に基づいたシナリオ解析の一般的な手法は、FEP とそれらの影響を、*予期される条件*の下での処分場システムの挙動がどのようなものかという点を中心に示すプロセスシステムモデルの記述に結合させることである。次に、ある特定の時期に特定の地域で特別の性質をもつマグマ溜りの貫入のようなシナリオ発端事象（通常、「外的 FEP」あるいは「EFEP」と呼ばれる。例については、付・表 A-2 参照）が仮定され明確化される。そして、この EFEP の THMC 摂動は、処分場の最初のプロセスシステムモデルを通じて伝播していくのである。現在挙げられている上位 FEP は、新たに下位 FEP が追加されるべきか否か（例えば母岩内の多相、ガス-水流れの導入、岩盤あるいは HLW ガラスの溶解など）を一つ一つ調べていかなければならない。さらに、これらの摂動によりいくつかの FEP の相対的重要度が変わり得る。

同様の方法により、付・表 A-1 にリストされている「摂動」FEP は「内的 FEP」あるいは「IFEP」と呼ぶことができる。これらは、*予期される条件*とは異なり、処分場の*内的な*仮定された状況である。IFEP は基本的なプロセスシステムモデルの記述から除き、「IFEP」として別個にリストすべきであろう。これらの IFEP は非常に重要で第 2 次取りまとめや他の処分場安全性評価の中で十分考慮されるべきである。付・表 A-1 のように、あるいは付・表 A-2 の EFEP と同様に、FEP のリスト全体の中に「IFEP」と銘打って入れることも容認され得る。とはいえ、そのような IFEP は、処分場の予期される条件やその進展を示すために作られるプロセスシステムモデルの一部とはなり得ないのは確かである。

付・表 A-1 にはさらに IFEP を追加し、考慮すべき項目がある。緩衝材の流出、オーバーパックスの腐食生成物の広がりによる緩衝材の高密化や、オーバーパックスの沈下、などは全て、付・表 A-1 では下位 FEP として挙げられているが、IFEP として追加されるべきとも考えられる。IFEP である可能性のあるものをより詳細に監査するために、また、これらの IFEP を処分場の予期される条件を示している FEP から区別するために、ワークショップの開催などのアプローチを検討すべきである。実際の IFEP は、評価するに当たり、処分場の設計に部分的に左右されるであろう。

なお、IFEPs は以下のような段階的方法で取り扱われるべきと考えられる。

Step 1. 重要な IFEP を同定し、簡単に記述する。例えば「オーバーパックス沈下は、HLW ガラス固化体を収容するオーバーパックスの密度が大きくなり重力に応じて周囲を緩やかに取り囲む緩衝材を通して沈むという仮定 IFEP である」というようにである。その他の概念化について、例えばオーバーパックス沈下がストークスの法則あるいはその他のレオロジー的歪の法則に従って仮定されたかどうかなどを記述に加えることも可能である。無論、単に IFEP を仮定することが、それがあり得るまたは起こるということの意味するのではない。それに関しては次の段階、Step 2 で判断する。

Step 2. 仮定 IFEPs の全データに関する詳細な調査が参照され、検討されるべきである。あり得ないプロセスであることが自然の法則によって明らかである場合（例えば光速を上回る速度が必要なときなど）、または確率分析が到底起こりえないと示していてそのことに議論の余地がない場合、あるいはこの IFEP が起こらないことを示す実験証拠が十分にある場合（あいにくオーバーパックス沈下に関するデータはどっちつかずである）でなければ、IFEP の影響について Step 3 でさらに詳しく検討するべきである。

Step 3. IFEP は、当該システムを記述した（「プロセスシステムモデル」とも呼ばれる）シンプルな「基本ケース」FEP リストに、専門の技術者と科学者から（関連技術分野の教育を受けた者以外のモデル作成者は除外して）構成したチームによって適用されるべきである。

ChEng 法 FEP リスト中の人工バリアと母岩の特性を記述した 10-20 個の FEP が「基本ケース」プロセスシステムモデルに適合することを提案する。このチームは仮定 IFEP がバリアの状態特性をどう変え得るかを特定する「予想される」モデルについて、簡単に記述すべきである。実際、専門家はあり得る代替概念モデルの仮定にできるだけ努めるべきである。新たな FEP は必要に応じて付け加えなくてはならない（例えば緩衝材の石化作用には、既存の空隙よりむしろ緩衝材内の亀裂形成が HLW から母岩への放射性核種放出を決定付けるかもしれないということが必要になり得る）。また、これらの専門家は、そのような変化の方向と大きさとタイミングについて、直接テストするかまたは彼ら自身が最良の判断を下すことによって、情報提供を行わなくてはならない（即ち専門家は、たとえ「データ」が「専門家の判断」を唯一の拠り所にしたものにすぎなくとも、データ表を作成しなくてはならない）。予想される特性の変化に関する値域幅が単一の値のかわりに提供されることもあるだろう。専門家は些細な変化であれば処分場システムの性質や安全性に影響を与えるには及ばないと考えがちであるが、そうだからといってどの変化の記述も怠るべきではない。それは次の段階、Step 4 で行われるモデル作成者の仕事である。

Step 4. モデル作成者は Step 3 の仮定モデル（「予想される」モデルでもどの代替概念モデルでも）を選んで、これらの変化を改正された評価モデルに変換しなくてはならない。しかしながら、この改正モデルを使って計算結果を出す前に、モデル作成者はこれらの変換したモデルが適切に近似された（前の答えを参照のこと）バリアの特性と状態の変化であることを確認するため、Step 3 の専門家とともに検討を行わなくてはならない。その後モデル作成者は改正モデルと Step 3 で作成された新規のデータ表を用いて新たに計算を行うことができる。モデル作成者は提供データの値域から選択して処分場の性能と安全性の感度をテストすることができる。

Step 5. Step 4 の結果あらわれる安全性の感度を踏まえて新しいデータや

概念モデルの開発が指摘されるかもしれない。このようにしてモデル作成者は結果を直接 R&D プログラムにフィードバックし、安全性を確認するために必要となる主要な研究分野の方向性を効率的に指し示すことができる。

A.3.4 多相条件

付・表 A-1 は、処分場について単一相の水に関する条件のみをまとめたものであるが、シナリオ解析には、多相条件が重要になる場合が多々あり得る。そのような条件には、最初は不飽和であった緩衝材が再び周囲の岩盤から飽和状態となるというような予期される進展シナリオも、火成岩の貫入のような変動シナリオも、両方含まれる。さらに、放射性核種が、ガスや固体コロイドのような溶解種として移動する可能性もある。であるから、それぞれのバリアについての「水理学」FEP は、溶液や気相、固相への物質変化を表わすものとして適切に考えられなければならない。このようなことは確かに「水理学」の定義を拡張してしまうかもしれないが、シナリオ解析の「化学工学的見地に基づく」アプローチを明快かつ完全に保つためには、「水理学」FEP の一語が、バリア内及びバリア間のあらゆる物質移動を包含するものとして考えられるべきである。

A.3.5 処分場の全バリアを含むことについて

熱的・水理学的・力学的・化学的 (THMC) 特性は、掘削影響領域 (EDZ) と無傷の岩盤という 2 つの岩盤地帯に対し上位 FEP として考慮されるべきである。しかし、「放射線学的」FEP については、この岩盤地帯に含める必要はないだろう。ほとんどの EBS の設計について、放射線効果 (放射線損傷、放射線分解) は、EBS によってさえぎられ、また 1000 年に及ぶ封じ込め期間の間に減衰していくため、さほど重大なことではないと考えられる。もちろん、「放射線学的」FEP を含めてもよいが、現実的には、2 つの岩盤地帯における他の FEP に対するこの FEP の影響は無視できるほどでしかないと予想される。

最後に、「生物圏」に関する FEP の組み入れも、急務である。実際の放射線学的フラックスの年間ベクレルによる測量は、ほとんど安全性の直接的指標にならないため、自然放射線フラックスで規格化された線量もしくは放出率のような別

の安全性指標に切り替えなければならない。さらに急務なことは、「人体への影響 / 線量」と「生態系への影響」という生物圏に関する FEP を別個に考慮すべきことである。生態系への影響とリスクは、放射性廃棄物の地層処分場を検討している国々で最近特に目立ちつつある問題である。

HLW Glass

1. Thermal

- G-1.1 Thermal properties
- G-1.2 Temperature of glass
- G-1.3 Thermal expansion of glass
- G-1.4 Decay heat generation

2. Hydrological

3. Mechanical

- G-3.1 Mechanical properties
- G-3.2 Mechanical stress
- G-3.3 Glass cracking

4. Chemical

- G-4.1 Chemical properties
- G-4.2 Porewater chemistry
- G-4.3 Glass dissolution
- G-4.4 Gas generation and effects
- G-4.5 Microbial activity
- G-4.6 Organics
- G-4.7 Colloid formation
- G-4.8 Glass alteration

5. Radiological

- G-5.1 Radioactive decay and ingrowth
- G-5.2 Radiolysis
- G-5.3 Radiation damage

6. Mass transport

- G-6.1 Mass transport property of glass and steel corrosion products
- G-6.2 Pore structure in glass
- G-6.3 Radionuclide release from glass
 - G-6.3.1 Congruent dissolution
 - G-6.3.2 Dissolution/precipitation

7. Perturbation

- G-7.1 Glass defects and poor quality control in fabrication

Overpack

1. Thermal

- OP-1.1 Thermal properties of overpack
- OP-1.2 Temperature of overpack
- OP-1.3 Thermal expansion of overpack

2. Hydrological

3. Mechanical

- OP-3.1 Mechanical properties
- OP-3.2 Mechanical stress
- OP-3.3 Overpack breaching
- OP-3.4 Volumetric expansion due to corrosion
- OP-3.5 Overpack sinking

4. Chemical

- OP-4.1 Chemical properties of overpack
- OP-4.2 Porewater chemistry
- OP-4.3 Interaction of overpack and corrosion product with porewater
- OP-4.4 Corrosion
 - OP-4.4.1 Uniform corrosion
 - OP-4.4.2 Pitting corrosion
 - OP-4.4.3 Crevice corrosion
 - OP-4.4.4 Stress corrosion cracking
- OP-4.5 Production of corrosion product
- OP-4.6 Gas generation
- OP-4.7 Microbial activity
- OP-4.8 Organics
- OP-4.9 Colloid formation

5. Radiological

- OP-5.1 Radioactive decay and ingrowth
- OP-5.2 Radiolysis
- OP-5.3 Radiation damage

6. Mass transport

- OP-6.1 Mass transport properties of overpack and corrosion product
- OP-6.2 Pore structure in corrosion product
- OP-6.3 Radionuclide migration in corrosion product
 - OP-6.3.1 Advection/dispersion
 - OP-6.3.2 Diffusion
 - OP-6.3.3 Adsorption
 - OP-6.3.4 Precipitation/dissolution
 - OP-6.3.5 Colloid migration

7. Perturbation

- OP-7.1 Overpack defects and poor quality control in fabrication

Buffer

1. Thermal

- B-1.1 Thermal properties of buffer
- B-1.2 Temperature of buffer
- B-1.3 Thermal expansion of buffer

2. Hydrological

- B-2.1 Hydrological properties of buffer
- B-2.2 Water saturation of buffer
- B-2.3 Hydraulic flow in buffer

3. Mechanical

- B-3.1 Mechanical properties of buffer
- B-3.2 Mechanical stress
- B-3.3 Swelling of buffer
- B-3.4 Deformation of buffer
- B-3.5 Extrusion of buffer

4. Chemical

- B-4.1 Chemical properties of buffer
- B-4.2 Porewater chemistry
- B-4.3 Interaction of buffer with porewater
- B-4.4 Gas generation and effects
- B-4.5 Microbial activity
- B-4.6 Organics
- B-4.7 Colloid formation
- B-4.8 Chemical alteration of buffer
- B-4.9 Salt accumulation

5. Radiological

- B-5.1 Radioactive decay and ingrowth
- B-5.2 Radiolysis
- B-5.3 Radiation damage

6. Mass transport

- B-6.1 Mass transport properties of buffer
- B-6.2 Pore structure
- B-6.3 Radionuclide migration in buffer
 - B-6.3.1 Advection/dispersion
 - B-6.3.2 Diffusion
 - B-6.3.3 Adsorption
 - B-6.3.4 Precipitation/dissolution
 - B-6.3.5 Colloid migration
 - B-6.3.6 Gas driven/mediated transport

7. Perturbation

- B-7.1 Buffer defects and poor quality control in fabrication
- B-7.2 Inadequate buffer emplacement

付・表 A-2 SKI が監査した最終 FEP リスト

FEP NAME	
WASTE CATEGORY	
	Waste characteristics (initial): SYSTEM DESCRIPTION
	Inventory
	Long-term physical stability
	Heterogeneity of waste forms (chemical, physical)
	Waste: radionuclide decay and growth
	Waste: radiological/radiation effects
	Radiolysis
	Radiation damage of the matrix including embrittlement
	Recoil of alpha-decay
	Gas generation: He production
	Waste: gas generation and effects
	Formation of gases
	Active methane, carbon dioxide and other active gases
	Chemical changes due to gas production
	Hydrogen by metal corrosion
	Waste: heat generation
	Radioactive decay; heat
	Waste: thermo-mechanical effects
	Thermal cracking
	Material property changes
	Waste: thermo-chemical effects
	Thermally induced chemical changes (water chemistry)
	Waste: electro-chemical effects
	Electrochemical gradients
	Electrical effects of metal corrosion
	Waste degradation/corrosion/dissolution
	Precipitation and dissolution
	Source terms (expected)
	Source terms (other)
	Chemical changes due to dissolution
	Internal corrosion of pour-canister due to waste
	Corrosion of pour-canister (pitting/uniform, internal and external agents, gas generation eg. H2)
	Fracturing
	Waste: geochemical reactions/regime
	Chemical gradients, osmosis (INCLUDE in FEP description)
	Chemical kinetics (INCLUDE in FEP description)
	Complex formation: wastes
	Chemical changes due to metal corrosion
	Chemical changes due to gas production
	Chemical effects: geochemical change
	Solubility within matrix
	Recrystallization
	Redox potential
	Dissolution chemistry
	Interactions with corrosion products and waste
	Waste: radionuclide chemistry
	Speciation
	Complex formation: wastes
	Solubility within fuel matrix
	Recrystallization
	Solubility and precipitation
	Waste: specific factors
	Colloid formation: wastes
	Damaged or deviating HLW
	Role of the eventual channeling within the canister (new FEP: PREFERENTIAL PATHWAYS)
FEP NAME	
OVERPACK CATEGORY	
	Overpack materials/construction: SYSTEM DESCRIPTION

FEP NAME	
CANISTER CATEGORY	
	Canister materials/construction: SYSTEM DESCRIPTION
	Inventory
	Canister: corrosion/degradation processes
EFEP	Container failure (early)
	Container failure (long-term)
	Container healing (include in FEP description: corrosion)
	Corrosion (including partial corrosion)
	Pitting
	Precipitation and dissolution
	Radiation damage to container (embrittlement)
	Uniform corrosion
	Structural container metal corrosion: localised
	Structural container metal corrosion: bulk
	Structural container metal corrosion: crevice
	Structural container metal corrosion: stress corrosion cracking
	Chemical changes due to metal corrosion
	Chemical reactions (copper corrosion)
	Role of chlorides in copper corrosion
	Corrosive agents, Sulphides, oxygen etc
	Backfill effects on Cu corrosion
	Swelling of corrosion products
	Canister: gas production and effects
	Hydrogen: corrosion of container steel
	Gas transport in the waste container
	Canister: microbiological effects/microbial activity
	Canister: thermo-mechanical effects
	Differing thermal expansion of canister and backfill
	Thermal cracking
	Canister: electro-chemical effects
	Electrochemical gradients
	Coupled effects (electrophoresis)
	Natural telluric electrochemical reactions (INCLUDE in FEP description)
	Canister: stress/mechanical effects
EFEP	Container failure (early)
	Canister movement
	Mechanical canister damage (failure)
	Creeping of copper
	Stress corrosion cracking
EFEP	Loss of ductility
	Cracking along welds
	External stress
	Hydrostatic pressure on canister
	Internal pressure
	Swelling of corrosion products
	Canister: geochemical reactions/regime
	Chemical kinetics
	Container corrosion products
	Precipitation and dissolution
	Speciation of corrosion products (INCLUDE in water chemistry)
	Chemical effects: Interactions of waste package and rock
	Chemical gradients (electrochemical effects and osmosis)
	Canister: radionuclide transport through containers
	Release of radionuclides from the failed canister
	Canister: specific factors
	Role of the eventual channeling within the canister (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Radiation effects on canister
EFEP	Random canister defects - quality control
EFEP	Common cause canister defects - quality control
EFEP	Material defects, e.g. early canister failure

FEP NAME	
BUFFER/BACKFILL	
Buffer/backfill characteristics: SYSTEM DESCRIPTION	
	Backfill characteristics
	Hydraulic conductivity
	Long-term physical stability
Buffer/backfill: resaturation/desaturation	
Buffer/backfill: mechanical effects	
	Preferential pathways in the buffer/backfill
	Mechanical effects: local fractures/cracks (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Mechanical failure of buffer/backfill (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Swelling pressure
	Movement of canister in buffer/backfill
	Uneven swelling of bentonite
	Swelling of corrosion products
Buffer/backfill: thermal effects	
	Convection (contaminant transport)
	Hydrothermal alteration
	Variations in groundwater temperature
	Differing thermal expansion (canister-backfill; buffer-host rock)
	Thermal effects on the buffer material
	Soret effect
	Natural thermal effects
	Thermal effects (eg. concrete hydration)
	Thermo-chemical effects
	Thermal effects and transport (diffusion) effects
Buffer/backfill: electro-chemical effects	
	Natural telluric electrochemical reactions
Buffer/backfill: gas effects	
	Groundwater flow due to gas production
	Gas transport: gas phase and in solution
	Chemical effects: gas generation
	Transport of active gases
Buffer/backfill: microbiological effects/microbial activity	
Buffer/backfill: degradation	
	Degradation of the bentonite by chemical reactions
	Coagulation of bentonite
	Radiation effects on bentonite
	Erosion of buffer/backfill

FEP NAME	
BUFFER/BACKFILL	
	Buffer/backfill: geochemical regime
	Chemical gradients (INCLUDE in FEP description: water chemistry)
	Chemical kinetics (INCLUDE in FEP description: water chemistry)
	Precipitation and dissolution
	Chemical changes due to waste degradation
	Chemical changes due to gas production
	Chemical changes due to complex formation
	Chemical changes due to colloid production
	Chemical changes due to sorption
	Chemical changes due to speciation
	Isotopic dilution
	Chemical changes due to corrosion
	Saturation of sorption sites
	Effects of bentonite on groundwater chemistry
	Reactions with cement pore water (INCLUDE in chemical degradation)
	Redox front
	Thermochemical changes
	Saline (or fresh) groundwater intrusion
	Effects at saline-freshwater interface
	Changes in groundwater flow direction (INCLUDE in FEP description)
	Biogeochemical changes
	Buffer/backfill: radionuclide transport processes
	Groundwater flow; advection/dispersion (saturated conditions)
	Diffusion (bulk, matrix, surface)
	Unsaturated transport
	Groundwater flow: fracture
	Groundwater flow: effects of solution channels (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Soret effect
EFEP	Transport of chemically active substances into the near-field
	Buffer/backfill: radionuclide chemistry
	Precipitation, dissolution, recrystallisation, re-concentration
	Sorption (linear, non-linear, irreversible)
	Speciation
	Solubility effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Sorption effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Changes in sorptive surfaces
	Transport of radionuclides bound to microbes
	Buffer/backfill: specific factors
EFEP	Faulty buffer emplacement
	Colloid transport (inorganic and organic; porous and fractured media)
	Extreme channel flow of oxidants and nuclides (PREFERENTIAL PATHWAYS)
EFEP	Inadequate backfill or compaction, voidage
	Anion exchange

	FEP NAME
	Near-field rock: elements/materials: SYSTEM DESCRIPTION
	Inventory
	Vault geometry
	Rock properties (porosity, permeability, hydraulic head, conductivity)
	Near-field rock: degradation
	Rock property changes (fractures, pore blocking, channel formation/closure)
	Borehole seal failure (including investigation boreholes and shaft/tunnel)
	Borehole seal degradation (including investigation boreholes and shaft/tunnel)
	Creeping of rock mass
	Subsidence and caving
	Physico-chemical degradation of concrete
	Near-field rock: hydraulic effects/groundwater flow
	Unsaturated transport
	Groundwater flow due to gas production
	Groundwater flow (saturated conditions; including fracture flow)
	Groundwater flow: effects of solution channels (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Repository thermally-induced groundwater transport
	Naturally thermally-induced groundwater transport
	Thermo-hydro-mechanical effects
	Resaturation
	Disturbed zone (hydromechanical) effects
	Saturated groundwater flow
	Changes in groundwater chemistry and flow direction
	Near-field rock: mechanical effects
	Formation of cracks
	Changes in in-situ stress field
	Changes in moisture content due to stress relief
	Differential elastic response
	Non-elastic response
EFEP	Repository-induced seismicity
EFEP	Externally-induced seismicity
	Differing thermal expansion of host rock zones
EFEP	Uneven swelling of bentonite
	Thermally-induced stress/fracturing in host rock
	Excavation-induced stress/fracturing in host rock
	Near-field rock: thermal effects
	Convection
	Hydrothermal alteration
	Variations in groundwater temperature
	Thermal effects (e.g. concrete hydration)
	Thermal effects and transport (diffusion) properties
	Thermal effects on hydrochemistry
	Thermal differential elastic response
	Thermal non-elastic response
	Near-field rock: gas effects and transport
	Transport in gases or of gases
	Hydrogen: corrosion of structural steel
	Methane/CO2 production: effects of microbial growth on properties of concrete
	Gas transport in the near field, as gas phase and in solution
	Accumulation of gases under permafrost
EFEP	Methane intrusion
	Transport of active gases

	FEP NAME
NEAR-FIELD ROCK	
Near-field rock: microbiological/biological activity	
	Microbial activity
	Transport of microbes into the near-field
	Rock property changes: microbial pore blocking
	Biogeochemical changes
Near-field rock: geochemical regime	
	Chemical gradients (INCLUDE in FEP description: water chemistry)
	Chemical kinetics (INCLUDE in FEP description: water chemistry)
	Pore blockage: concrete
	Cement-sulphate reaction: concrete
	Changes in pore water composition, pH, Eh: concrete
	Chemical changes due to waste degradation
	Chemical changes due to gas production
	Chemical changes due to complex formation
	Chemical changes due to colloid production
	Chemical changes due to sorption
	Chemical changes due to speciation
	Fracture mineralisation
	Fluid interactions: dissolution
	Chemical effects: interactions of waste package and rock
	Physico-chemical phenomena/effects (eg. colloid formation)
	Reconcentration
	Thermochemical changes
	Chemical effects of rock reinforcement
EFEP	Saline (or fresh) groundwater intrusion
	Effects at saline-freshwater interface
	Non-radioactive solute plume in geosphere (effect on redox, effect on pH, sorption)
	Physico-chemical degradation of concrete
	Changes in groundwater flow direction
Near-field rock: radionuclide chemistry	
	Precipitation, dissolution, recrystallisation, reconcentration
	Sorption (linear, non-linear, irreversible)
	Speciation
	Solubility effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Sorption effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Changes in sorptive surfaces
	Dilution (mass, isotopic, species)
Near-field rock: radionuclide transport processes	
	Groundwater flow; advection/dispersion (saturated conditions)
	Diffusion (bulk, matrix, surface)
	Soret effect
	Transport of radionuclides bound to microbes
Near-field rock: specific factors	
	Colloids
EFEP	Incomplete vault or borehole closure
EFEP	Unmodelled design features
EFEP	Inadequate design: shaft seal and exploration borehole seal failure
EFEP	Open boreholes
	Extreme channel flow of oxidants and nuclides (PREFERENTIAL PATHWAYS)
EFEP	Poor quality construction
EFEP	Material defects (e.g. early canister failure)
EFEP	Abandonment of unsealed repository
EFEP	Effects of phased operations

FEP NAME	
FAR-FIELD	
	Rock properties: SYSTEM DESCRIPTION
	Rock properties (porosity, permeability, discharge zones, fractures)
	Hydrogeological effects
	Rock property changes (porosity, permeability, fractures, pore blocking)
	Dewatering
	Geothermal gradient effects
	Salinity effects on flow
	Saturated groundwater flow
	Variations in groundwater temperature
	Gas-induced groundwater transport
	Naturally thermally-induced groundwater transport
	Groundwater recharge
	Thermal effects: fluid pressure, density, viscosity changes
	Thermal effects: fluid migration
EFEP	Saline (or fresh) groundwater intrusion
	Groundwater conditions (saturated/unsaturated)
	Changes in geometry and driving forces of the flow system
	Changes in groundwater flow direction
	Physical/mechanical effects
EFEP	Repository-induced seismicity
EFEP	Externally-induced seismicity
	Fault activation
	Differential elastic response
	Non-elastic response
	Thermal effects
	Geothermal gradient effects
	Thermal differential elastic response
	Thermal non-elastic response
	Gas effects and transport
	Gas transport Into and through the far-field (gas phase and in solution)
	Multiphase flow and gas driven flow
	Effects of natural gases
	Transport of active gases
	Microbiological/biological activity
	Microbial activity
	Transport of radionuclides bound to microbes
	Biogeochemical changes

FEP NAME	
FAR-FIELD	
Geochemical regime	
	Groundwater composition changes (pH, Eh, chemical composition)
	Fracture mineralisation
	Weathering, mineralisation
	Dissolution of fracture fillings/precipitations
	Far field hydrochemistry - acids, oxidants, nitrate
EFEP	Saline or freshwater intrusion
EFEP	Effects at saline-freshwater interface
	Chemical gradients (electrochemical effects and osmosis)
	Non-radioactive solute plume in geosphere (effect on redox, effect on pH, sorption)
	(LINK to NEAR FIELD)
Radionuclide chemistry	
	Complexation by organics (including humic and fulvic acids)
	Precipitation, dissolution, recrystallisation, reconcentration
	Sorption (linear, non-linear, irreversible)
	Speciation
	Chemical changes due to sorption, complex formation, speciation, gas, solubility
	Solubility effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Sorption effects (pH and Eh; ionic strength, complexing agents, colloids)
	Changes in sorptive surfaces
	Transport of radionuclides bound to microbes
	Dilution (mass, isotopic, species)
Radionuclide transport processes	
	Groundwater flow; advection/dispersion (saturated conditions)
	Diffusion (bulk, matrix, surface)
	Unsaturated transport
	Groundwater flow: fracture
	Groundwater flow: effects of solution channels (PREFERENTIAL PATHWAYS)
	Soret effect
	Transport of radionuclides bound to microbes
	Gas-mediated transport
Specific factors	
EFEP	Boreholes - unsealed
	Colloids: formation & effects (including inorganic and organic colloid transport)
EFEP	Incomplete vault closure
EFEP	Rock properties - undetected features
EFEP	Inadequate design: shaft seal or exploration borehole seal failure
EFEP	Extreme channel flow of oxidants and nuclides
EFEP	Undetected features (e.g. faults, fracture networks, shear zones, discontinuities, gas)
	Shaft and borehole seal degradation

FEP NAME	
GEOLOGY/CLIMATE	
Seismic events/major land movement	
	Earthquakes
	Regional uplift and subsidence (e.g. orogenic, isostatic)
EFEP	Externally-induced seismicity
EFEP	Natural seismicity
Rock deformation	
	Faulting/fracturing: activation
	Faulting/fracturing: generation
	Faulting/fracturing: change of properties
	Major incision
	Movements at faults
	Formation of new faults
	Formation of interconnected fracture systems
Metamorphic processes	
Erosion/weathering (surface)	
	Erosion
	Changes in topography
	Weathering
	Extreme erosion and denudation: glacial-induced (e.g. coastal/stream erosion)
	Coastal erosion due to sea-level change
	Erosion: Glacial
	Stream erosion
	Sedimentation
EFEP	Land slide
	Freshwater sediment transport and deposition
	Marine sediment transport and deposition
	Solifluction
Groundwater flow and effects	
	Variation in groundwater recharge
Surface water flow and effects	
	Hydrological change
	Flooding
	Precipitation, temperature and soil water balance
	Snow melt
	River flow and lake level changes
Sea-level effects	
EFEP	Sea level change
Magnetic effects	
EFEP	Changes in the Earth's magnetic field
Glaciation/glacial effects	
EFEP	Glaciation
EFEP	Glacial/interglacial cycling effects (including sea level changes)
EFEP	Permafrost
	Accumulation of gases under permafrost
EFEP	No ice age
Climate effects (natural)	
EFEP	Climate change
EFEP	Pluvial periods
EFEP	Insolation
Specific factors	
EFEP	Anthropogenic climate change (greenhouse effect)
	Greenhouse-induced effects (e.g. sea level change, precipitation, temp.)
EFEP	Wind
EFEP	Tsunamis

付・表 A-3 NEA の FEP リスト

IDENTIFIER	FEP Title
NEA0	ASSESSMENT BASIS
NEA0.01	Impacts of concern
NEA0.02	Timescales of concern
NEA0.03	Spatial domain of concern
NEA0.04	Repository assumptions
NEA0.05	Future human action assumptions
NEA0.06	Future human behavior (target group) assumptions
NEA0.07	Dose response assumptions
NEA0.08	Aims of the assessment
NEA0.09	Regulatory requirements and exclusions
NEA0.10	Model and data issues
NEA1	EXTERNAL FACTORS
<i>NEA1.1</i>	<i>REPOSITORY ISSUES</i>
NEA1.1.01	Site investigation
NEA1.1.02	Excavation/construction
NEA1.1.03	Emplacement of wastes and backfilling
NEA1.1.04	Closure and repository sealing
NEA1.1.05	Records and markers, repository
NEA1.1.06	Waste allocation
NEA1.1.07	Repository design
NEA1.1.08	Quality control
NEA1.1.09	Schedule and planning
NEA1.1.10	Administrative control, repository site
NEA1.1.11	Monitoring of repository
NEA1.1.12	Accidents and unplanned events
NEA1.1.13	Retrievability
<i>NEA1.2</i>	<i>GEOLOGICAL PROCESSES AND EFFECTS</i>
NEA1.2.01	Tectonic movement
NEA1.2.02	Deformation, elastic, plastic or brittle
NEA1.2.03	Seismicity
NEA1.2.04	Volcanic and magmatic activity
NEA1.2.05	Metamorphism
NEA1.2.06	Hydrothermal activity
NEA1.2.07	Erosion and sedimentation
NEA1.2.08	Diagenesis
NEA1.2.09	Salt diapirism and dissolution
NEA1.2.10	Hydrological/hydrogeological response to geological changes
<i>NEA1.3</i>	<i>CLIMATIC PROCESSES AND EFFECTS</i>
NEA1.3.01	Climate change, global
NEA1.3.02	Climate change, regional and local
NEA1.3.03	Sea level change
NEA1.3.04	Periglacial effects
NEA1.3.05	Glacial and ice sheets, local
NEA1.3.06	Warm climate effects (tropical and desert)
NEA1.3.07	Hydrological/hydrogeological response to climate changes
NEA1.3.08	Ecological response to climate changes
NEA1.3.09	Human response to climate changes

IDENTIFIER	FEP Title
<i>NEA1.4</i>	<i>FUTURE HUMAN ACTIONS</i>
NEA1.4.01	Human influences on climate
NEA1.4.02	Motivation and knowledge issues (inadvertent/deliberate human actions)
NEA1.4.03	Un-intrusive site investigation
NEA1.4.04	Drilling activities (human intrusion)
NEA1.4.05	Mining and other underground activities (human intrusion)
NEA1.4.06	Surface environment, human activities
NEA1.4.07	Water management (wells, reservoirs, dams)
NEA1.4.08	Social and institutional developments
NEA1.4.09	Technological developments
NEA1.4.10	Remedial actions
NEA1.4.11	Explosions and crashes
<i>NEA1.5</i>	<i>OTHER</i>
NEA1.5.01	Meteorite impact
NEA1.5.02	Species evolution
NEA1.5.03	Miscellaneous and FEPs of certain relevance
NEA2	DISPOSAL SYSTEMS DOMAIN: ENVIRONMENTAL FACTORS
<i>NEA2.1</i>	<i>WASTES AND ENGINEERED BARRIERS</i>
NEA2.1.01	Inventory, radionuclide and other material
NEA2.1.02	Waste form materials and characteristics
NEA2.1.03	Container materials and characteristics
NEA2.1.04	Buffer/backfill materials and characteristics
NEA2.1.05	Seals, cavern/tunnel/shaft
NEA2.1.06	Other engineered features materials and characteristics
NEA2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)
NEA2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in wastes and EBS)
NEA2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)
NEA2.1.10	Biological/biochemical processes and conditions (in wastes and EBS)
NEA2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)
NEA2.1.12	Gas sources and effects (in wastes and EBS)
NEA2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)
NEA2.1.14	Nuclear criticality
<i>NEA2.2</i>	<i>GEOLOGICAL ENVIRONMENT</i>
NEA2.2.01	Excavation disturbed zone, host rock
NEA2.2.02	Host rock
NEA2.2.03	Geological units, other
NEA2.2.04	Discontinuities, large scale (in geosphere)
NEA2.2.05	Contaminant transport path characteristics (in geosphere)
NEA2.2.06	Mechanical processes and conditions (in geosphere)
NEA2.2.07	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in geosphere)
NEA2.2.08	Chemical/geochemical processes and conditions (in geosphere)
NEA2.2.09	Biological/biochemical processes and conditions (in geosphere)
NEA2.2.10	Thermal processes and conditions (in geosphere)
NEA2.2.11	Gas sources and effects (in geosphere)
NEA2.2.12	Undetected features (in geosphere)
NEA2.2.13	Geological resources

IDENTIFIER	FEP Title
NEA2.3	<i>SURFACE ENVIRONMENT</i>
NEA2.3.01	Topography and morphology
NEA2.3.02	Soil and sediment
NEA2.3.03	Aquifers and water-bearing features, near surface
NEA2.3.04	Lakes, rivers, streams and springs
NEA2.3.05	Coastal features
NEA2.3.06	Marine features
NEA2.3.07	Atmosphere
NEA2.3.08	Vegetation
NEA2.3.09	Animal populations
NEA2.3.10	Meteorology
NEA2.3.11	Hydrological regime and water balance (near-surface)
NEA2.3.12	Erosion and deposition
NEA2.3.13	Ecological/biological/microbial systems
NEA2.4	<i>HUMAN BEHAVIOUR</i>
NEA2.4.01	Human characteristics (physiology, metabolism)
NEA2.4.02	Adults, children, infants and other variations
NEA2.4.03	Diet and fluid intake
NEA2.4.04	Habits (non-diet related behaviour)
NEA2.4.05	Community characteristics
NEA2.4.06	Food and water processing and preparation
NEA2.4.07	Dwellings
NEA2.4.08	Wild and natural land and water use
NEA2.4.09	Rural and agricultural land and water use (including fisheries)
NEA2.4.10	Urban and industrial land and water use
NEA2.4.11	Leisure and other uses of environment
NEA3	<i>RADIONUCLIDE/CONTAMINANT FACTORS</i>
NEA3.1	<i>CONTAMINANT CHARACTERISTIC</i>
NEA3.1.01	Radioactive decay and in-growth
NEA3.1.02	Chemical/organic toxin stability
NEA3.1.03	Inorganic solids/solutes
NEA3.1.04	Volatiles and potential for volatility
NEA3.1.05	Organics and potential for organic forms
NEA3.1.06	Noble gases
NEA3.2	<i>CONTAMINANT RELEASE/MIGRATION FACTORS</i>
NEA3.2.01	Dissolution, precipitation and crystallisation, contaminant
NEA3.2.02	Speciation and solubility, contaminant
NEA3.2.03	Sorption/desorption processes, contaminant
NEA3.2.04	Colloids, contaminant interactions and transport with
NEA3.2.05	Chemical/complexing agents, effects on contaminant speciation/transport
NEA3.2.06	Microbial/biological/plant-mediated processes, contaminant
NEA3.2.07	Water-mediated transport of contaminants
NEA3.2.08	Solid-mediated transport of contaminants
NEA3.2.09	Gas-mediated transport of contaminants
NEA3.2.10	Atmospheric transport of contaminants
NEA3.2.11	Animal, plant and microbe mediated transport of contaminants
NEA3.2.12	Human action-mediated transport of contaminants
NEA3.2.13	Foodchains, uptake of contaminants in

IDENTIFIER	FEP Title
<i>NEA3.3</i>	<i>EXPOSURE FACTORS</i>
NEA3.3.01	Drinking water, foodstuffs and drugs, contaminant concentrations in
NEA3.3.02	Environmental media, contaminant concentrations in
NEA3.3.03	Non-food products, contaminant concentrations in
NEA3.3.04	Exposure modes
NEA3.3.05	Dosimetry
NEA3.3.06	Radiological toxicity/effects
NEA3.3.07	Non-radiological toxicity/effects
NEA3.3.08	Radon and radon daughter exposure

A.4 第2次取りまとめ及びNEAのFEPの比較

まず最初に、第2次取りまとめのFEPの名称をNEAのFEPリストと比較したが、NEAのFEPの方が一般性が高いため、このような比較には限界がある。NEAのリストは、せいぜい抜け落ちがないかどうかのチェックに使えるということである。従って、第2次取りまとめのFEPのレビューは、当社スタッフの個人的な経験に基づくものである。

FEP名の設定は、例えば、漠然としたタイトルのFEPの多くは除外されてきたように、ここ10年間に亘り、実質上改善されてきたことに留意すべきである。従って、もしFEPが自然言語的に記述されているのであれば、FEPの属性を必ずしも決定的に表わしてはいない。

FEPの名称は、システム解析に必ずしも精通していない読み手やレビュー者にもFEPの意味する事柄を早急に感じ取れるようできるだけ明快であるべきであろう。このような観点にそぐわないFEPとして以下のものが挙げられる。

- ・ 熱的性質

ここでは、どのような性質、特に、ガラスの熱膨張がいつ生ずるかを陽表的には意味している一例と考えられる。(多分、温度及び温度分布)

—「温度/熱的フィールド」とすべきではないか?

- ・ 同様に、*ガラスの力学的性質*(力学的応力とは別)にはどのようなことが含まれるのか、また、*化学的性質*と*空隙水化学*とはどこが違うのか。前者は、固相だけということか?

- ・ *有機物*というFEPも漠然としている。何らかの限定もしくは例を付与すべきであろう。

- ・ 各バリア内の*物質移動特性*とは、同一カテゴリ内のFEPとどこが違うことを意味しているのか?それはあたかも物質移動というカテゴリで汚染物質の移動を表そうとしているように思われる。前述のように、「物質移動」FEPは「水理学」FEPと一体化することによって、気体、固体、液体中の安定元素及び放射性元素のフラックスに影響を与える全てのプロセスを統一的に扱うことができるようにした方がよいと考えられる。

- ・ *ガスの発生と影響*

一般に、影響は、ある一つのFEPがそれとは別のFEPへの影響を表わす

ものである。

- ・ ガラスの溶解は考慮されているが、「沈殿 / 共沈 / 2 次相形成」は見当たらない（多分、ガラスの化学的変質に含まれるのかもしれないが）。
- ・ 「ガラスの水理地質学的性質」（例えば、空隙率、透水性）は、水理学というカテゴリーのもとに設定されるのであれば適切な FEP として考えられ得る。
- ・ 「緩衝材の地下水による飽和」よりも「緩衝材の飽和状態」とした方がよいと考えられる。

最後に、NEA の FEP リスト（付・表 A-3）と比べて、第 2 次取りまとめの FEP リストで重要な抜け落ちがないかどうかを検討すべきである。例えば、ガス圧、酸化還元状態（第 2 次取りまとめの評価では暗黙には還元として考慮している）及び希ガス（He）生成が挙げられよう。その他にも出てくるかもしれないが、それらは NEA の FEP リストと比較した場合のものである。

付・表 A-4 第2次取りまとめの FEP と NEA の FEP との比較

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT
G.	GLASS				
1	Thermal		2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	---
G-1.1	Y	Thermal properties	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	What thermal properties other than thermal expansion are considered?
G-1.2	Y	Temperature of glass	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-1.3	Y	Thermal expansion of glass	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-1.4	Y	Decay heat generation	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK
2	Hydrological		2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	Combine with "Mass Transport" as a single super FEP
3	Mechanical		2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	---
G-3.1	Y	Mechanical properties	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-3.2	Y	Mechanical stress	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-3.3	Y	Glass cracking	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
4	Chemical		2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	---
G-4.1	Y	Chemical properties	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-4.2	Y	Porewater chemistry	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-4.3	Y	Glass dissolution	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-4.4	(Y)	Gas generation and effects	2.1.12	Gas sources and effects (in wastes and EBS)	Too vague in its current form; effects is an Influence
G-4.5	Y	Microbial activity	2.1.10	Biological/biochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
G-4.6	Y	Organics	3.1.05	Organics and potential for organic forms	Not normally seen here

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT	
G-4.7	Y	Colloid formation	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
G-4.8	(Y)	Glass alteration	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	Is the emphasis on the alteration process or the alteration products?	
5	Radiological				---	
G-5.1	Y	Radioactive decay and ingrowth	3.1.01	Radioactive decay and ingrowth	OK	
G-5.2	Y	Radiolysis	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
G-5.3	Y	Radiation damage	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
6	Mass transport				Combine with "Hydrology" as a single super FEP	
G-6.1	N	Mass transport property of glass and steel corrosion products			"and steel corrosion products" - from fabrication flask?	
G-6.2	N	Pore structure in glass	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in wastes and EBS)		
G-6.3	Y	Radionuclide release from glass	3.2	<i>Contaminant release/migration factors</i>		
	Y	G-6.3.1	Congruent dissolution	3.2.01	Dissolution, precipitation and crystallization, contaminant	Incorrectly implies there could be incongruent dissolution.
	Y	G-6.3.2	Dissolution/precipitation	3.2.01	Dissolution, precipitation and crystallization, contaminant	Separation between non-radionuclide and radionuclide chemistries?
7	Perturbation					
G-7.1	Y	Glass defects and poor quality control in fabrication	1.1.08	Quality control		
OP.	OVERPACK					
1	Thermal		2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	---	
OP-1.1	(Y)	Thermal properties	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	What's intended here?	
OP-1.2	Y	Temperature of overpack	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
OP-1.3	Y	Thermal expansion of overpack	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK	

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT	
2	Hydrological		2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	Combine with "Mass Transport" as a single super FEP	
3	Mechanical		2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	---	
OP-3.1	(Y)	Mechanical properties	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	Please give an example.	
OP-3.2	Y	Mechanical stress	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
OP-3.3	N	Overpack breaching	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	Overpack failure?	
OP-3.4	Y	Volumetric expansion due to corrosion	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	Volumetric expansion of corrosion products?	
OP-3.5	Y	Overpack sinking	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
4	Chemical		2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	---	
OP-4.1	Y	Chemical properties of overpack	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	What's the difference - solid phase only? If so, re-title	
OP-4.2	Y	Porewater chemistry	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	What's the difference - liquid phase only?	
OP-4.3	N	Interaction of overpack and corrosion product with porewater	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)		
OP-4.4	Y	Corrosion	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)		
	Y	OP-4.4.1	Uniform corrosion	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	
	Y	OP-4.4.2	Pitting corrosion	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	
	Y	OP-4.4.3	Crevice corrosion	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	
	Y	OP-4.4.4	Stress corrosion cracking	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	
OP-4.5	Y	Production of corrosion products	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	In this case, Corrosion Products would be OK	
OP-4.6	Y	Gas generation	2.1.12	Gas sources and effects (in wastes and EBS)	OK	

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT	
OP-4.7	Y	Microbial activity	2.1.10	Biological/biochemical processes and conditions (in waste and EBS)		
OP-4.8	N	Organics	3.1.05	Organics and potential for organic forms	Organics not normally included within Glass	
OP-4.9	Y	Colloid formation	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)		
5	Radiological				---	
OP-5.1	Y	Radioactive decay and ingrowth	3.1.01	Radioactive decay and ingrowth	OK	
OP-5.2	Y	Radiolysis	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
OP-5.3	Y	Radiation damage	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
6	Mass transport				Combine with "Hydrology" as a single super FEP Meaning?	
OP-6.1	N	Mass transport properties of overpack and corrosion product				
OP-6.2	N	Pore structure in corrosion product	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in wastes and EBS)		
OP-6.3	N	Radionuclide migration in corrosion product	3.2.08	Solid-mediated transport of contaminants	Meaning?	
	Y	OP-6.3.1	Advection/dispersion	3.2.07	Water-mediated transport of contaminants	OK
	Y	OP-6.3.2	Diffusion	3.2.07	Water-mediated transport of contaminants	OK
	Y	OP-6.3.3	Adsorption	3.2.03	Sorption/desorption processes, contaminants	OK
	Y	OP-6.3.4	Precipitation/dissolution	3.2.01	Dissolution, precipitation and crystallization, contaminant	OK
	Y	OP-6.3.5	Colloid migration	3.2.04	Colloids, contaminant interactions and transport with	OK
7	Perturbation					
OP-7.1	Y	Overpack defects and poor quality control in fabrication	1.1.08	Quality control	OK	
B.	BUFFER					
1	Thermal		2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	---	
B-1.1	Y	Thermal properties of buffer	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
B-1.2	Y	Temperature of buffer	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK	
B-1.3	Y	Thermal expansion of buffer	2.1.11	Thermal processes and conditions (in waste and EBS)	OK	

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT
2	Hydrological		2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	Combine with "Mass Transport" as a single super FEP
B-2.1	Y	Hydrological properties of buffer	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-2.2	Y	Water saturation of buffer	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	"Saturation state of buffer"?
B-2.3	Y	Hydraulic flow in buffer	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in waste and EBS)	OK
3	Mechanical		2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	---
B-3.1	Y	Mechanical properties of buffer	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-3.2	Y	Mechanical stress	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-3.3	Y	Swelling of buffer	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-3.4	Y	Deformation of buffer	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-3.5	Y	Extrusion of buffer	2.1.07	Mechanical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
4	Chemical		2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	---
B-4.1	Y	Chemical properties of buffer	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	What's the difference - solid phase only? If so, re-title.
B-4.2	Y	Porewater chemistry	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	What's the difference - liquid phase only?
B-4.3	N	Interaction of buffer with porewater	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	Porewater (chemistry) is the result of mineral-aqueous phase interactions
B-4.4	(Y)	Gas generation and effects	2.1.12	Gas sources and effects (in waste and EBS)	Gas generation; effects as Influence
B-4.5	Y	Microbial activity	2.1.10	Biological/biochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK
B-4.6	(Y)	Organics	3.1.05	Organics and potential for organic forms	Meaning - natural or contamination?
B-4.7	Y	Colloid formation	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	OK

CODE	H12 FEP TITLE		CODE	NEA FEP TITLE	COMMENT	
B-4.8	Y	Chemical alteration of buffer	2.1.09	Chemical/geochemical processes and conditions (in waste and EBS)	Solid (mineralogical) and/or liquid (porewater) phases?	
5	Radiological				---	
B-5.1	Y	Radioactive decay and ingrowth	3.1.01	Radioactive decay and ingrowth	OK	
B-5.2	Y	Radiolysis	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
B-5.3	Y	Radiation damage	2.1.13	Radiation effects (in wastes and EBS)	OK	
6	Mass transport		<i>3.2</i>	<i>Contaminant release/migration factors</i>	Combine with "Hydrology" as a single super FEP Meaning?	
B-6.1	N	Mass transport properties of buffer				
B-6.2	(Y)	Pore structure	2.1.08	Hydraulic/hydrogeological processes and conditions (in wastes and EBS)	"Nature of porosity"?	
B-6.3	Y	Radionuclide migration in buffer	<i>3.2</i>	<i>Contaminant release/migration factors</i>	OK	
	Y	B-6.3.1	Advection/dispersion	3.2.07	Water-mediated transport of contaminants	OK
	Y	B-6.3.2	Diffusion	3.2.07	Water-mediated transport of contaminants	OK
	Y	B-6.3.3	Adsorption	3.2.03	Sorption/desorption processes, contaminants	This FEP affects radionuclide migration
	Y	B-6.3.4	Precipitation/dissolution	3.2.01	Dissolution, precipitation and crystallization, contaminant	This FEP affects radionuclide migration
	Y	B-6.3.5	Colloid migration	3.2.04	Colloids, contaminant interactions and transport with	OK
	Y	B-6.3.6	Gas driven/mediated transport	3.2.09	Gas-mediated transport of contaminants	OK
7	Perturbation				---	
B-7.1	Y	Buffer defects and poor quality control in fabrication	1.1.08	Quality control	OK	
B-7.2	Y	Inadequate buffer emplacement	1.1.08	Quality control	OK	

NEA FEPs NOT COVERED EXPLICITLY

- 2.1.01 Inventory, radionuclide and other material
 - 2.1.02 Waste form materials and characteristics
 - 2.1.03 Container material and characteristics
 - 2.1.04 Buffer/backfill materials and characteristics
 - 2.1.05 Seals, cavern/tunnel/shaft
 - 2.1.06 Other engineered features materials and characteristics
 - 2.1.14 Nuclear criticality
 - 3.2.02 Speciation and solubility, contaminant
- Y**=identical, or sufficiently identical
N=not identical
(Y)=identical, but should improve characteristics

B. 第2次取りまとめに基づく RES マトリクスのための FEP リスト

注：この付録（の最後のページ）には各々の FEP について入力、維持される情報のタイプを例示した FEP 入力ページの例もまた設けられている。

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The high-level waste is immobilized in a solid glass matrix (vitrification) that restricts the dissolution and release of radionuclides into the groundwater. The inventory consists of the radioactive and non-radioactive mass and isotopic composition of the waste form. It includes the half-life of each radionuclide isotope and mass of non-radioactive elements/compounds in the waste. The inventory changes as a function of time due to decay/ingrowth of radionuclides and dissolution/transport of radioactive and non-radioactive components. Radioactive decay produces heat.

Inventory Properties:

- Elemental/Isotopic Mass
- Radioactive decay constants
- Radioelement decay chains

See H 12, Rpt 2 , pp II-5, III-3 to III-6., Rpt 3., pp. V-29 to V-31.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The radiological properties of the HLW are derived from the decay of radionuclides in the waste form. These include alpha, beta, gamma and neutron radiation emitted during decay of the radionuclides in HLW matrix. The radiological properties decrease with time.

See H 12, Rpt. 2, pp III-6 to III-8.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The source of heat for the repository is the decay of radioelements in the waste form. The thermal influence decreases with time and distance from the vitrified waste. The waste will be cooled for 30-50 years prior to emplacement in the repository. The thermal properties associated with vitrified waste include:

- thermal conductivity,
- thermal expansion coefficient,
- temperature/temperature gradient,
- specific heat

See H 12, Rpt 2, pp. III-4

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 004 Name: HLW Mech. & Phys. Prop.

The waste form should be mechanically and physically stable under thermal and radiation loads. The mechanical and physical properties of the vitrified waste important to evaluating waste form performance include:

- yield strength,
- grain size,
- poisson ratio,
- geometry,
- weight (mass),
- surface area,
- fracture frequency (glass cracking)
- effective porosity
- Young's modulus
- density

See H 12, Rpt 2, pp. II-1, III-3, D-9, Rpt. 3, pp. IV-6.

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 005 Name: HLW Chem. Prop.

The vitrified waste form provides for containment of the waste in a homogenous glass matrix. It should have a high chemical stability in the geologic environment to provide for low radionuclide releases to groundwater. Once groundwater comes into contact with the waste form, dissolution of the waste form and release of radionuclides into the groundwater will occur. Release of radionuclides into the groundwater will depend upon radioelement solubilities and the dissolution rate of the glass matrix in the groundwater. Chemical properties of the vitrified waste important to evaluating waste form /repository performance include:

- chemical composition,
- minerology,
- solubilities,
- complexation/equilibrium constants, (includes organic complexation)
- distribution coefficients (sorption properties),
- dissolution kinetics (glass matrix),
- gas generation,
- microbial activity,
- colloid formation
- groundwater chemistry

See H 12, Rpt 2. pp. II-1, Rpt 3., pp. IV-6, IV-23, IV-37, V-25, V-98.

Regions: HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions: Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 006 Name: HLW Hydro./ Mass Tr. Prop.

Hydrologic properties of the waste form are only important once groundwater contacts the waste form. Hydrologic / mass transport properties of the vitrified waste important to evaluating repository performance include:

- fracture frequency (also listed under mech. & phys. prop.)
- surface area (also listed under mech. & phys. prop.)
- porosity of altered glass matrix, (also listed under mech. & phys. prop.)
- diffusion coefficients
- geometry (also listed under mech. & phys. prop.)
- density (also listed under mech. & phys. prop.)
- distribution coefficients

See H 12, Rpt 3, pp. V-25-V-26, V.98

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

Radiological properties of the overpack are derived from the radiation emitted by the HLW as mitigated by the HLW matrix and the thickness of the overpack. Properties include alpha, beta, gamma and neutron radiation. Radiological processes of import to the overpack are radiolysis of groundwater/porewater contacting the overpack and radiation damage to the overpack material.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The overpack must have "heat resistance" to ensure that its performance is not compromised by the heat produced by the waste form. Properties important to evaluating the effect of the thermal load on the overpack include:
 thermal conductivity,
 thermal expansion coefficient,
 temperature of the overpack

See H 12, Rpt 2, pp. IV-3, D-9

Regions

HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The current functions of the overpack are to contain the radionuclides and isolate the waste form from groundwater for a specified time period (high heat and radiation). Thus, it must have a hermetic structure and have sufficient structural strength and a suitable shape to ensure it will not fail mechanically for a specified time period. Properties of a metallic overpack of importance to evaluating handling and containment performance include:

- shape/dimensions,
- volumetric expansion due to corrosion,
- modulus of elasticity,
- physical location in buffer (sinking),
- mechanical stress on overpack (tensile strength, yield strength, Vickers hardness) from overburden, hydrostatic pressure, buffer expansion (symmetric and assymetric stress loads)
- overpack breach or failure
- poisson's ratio
- density

H 12, Rpt. 2, pp. II-1, IV-2, IV-16, IV-39, D-33, Rpt. 3, pp. III-6, IV-6, VI-29.

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

FEP DATABASE LISTING

Number: 010 Name: OP Chem. Prop.

The overpack must be corrosion resistant in order to minimize the possibility of a premature failure of the overpack. In addition, it should ensure that reducing conditions are maintained around the vitrified waste, and that radionuclides will sorb onto the corrosion products. Properties of the overpack important to evaluating overpack corrosion behavior include:

- chemical composition of overpack material
- uniform, pitting, and crevice corrosion,
- stress corrosion cracking,
- gas production through corrosion,
- porewater chemistry,
- microbial activity,
- colloid formation
- dissolution/precipitation reactions (formation of corrosion products)
- chemical composition of overpack and any container
- sorption properties

See H 12, Rpt. 2, pp. II-1, IV-2, IV-6 to IV-38, D-31 to D-41, Rpt 3, pp. IV-6, IV-22.

- Regions**
- HLW
 - EDZ Rock
 - OP
 - Far Field Rock
 - Buffer
 - Biosphere

- Subregions**
- Waste Form
 - Buffer
 - Biosphere
 - Container
 - Damaged Rock
 - Concrete Barrier
 - Intact Rock

- Process Type**
- Chemical
 - Feature
 - Hydrological
 - Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

Until groundwater reaches the overpack, hydrologic /mass transport properties are not important. Once the buffer is saturated, then phenomena of interest include groundwater ingress and egress, and radionuclide migration in the overpack corrosion products. Properties of interest to water flow and mass transport include:

- pore water advection
- dispersion,
- diffusion coefficients,
- adsorption/distribution coefficients (Kds),
- precipitation/dissolution,
- colloid migration
- gas phase transport
- corrosion product porosity and density(also in Mech & Phys. Prop).
- corrosion product geometry (also in Mech & Phys. Prop).

See H 12, Rpt. 3, pp. IV-6, VI-25 to VI-28.

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 012 Name: Buffer Radiological Prop.

Radiological properties of the buffer are derived from the radiation emitted by the HLW as mitigated by the HLW matrix, the thickness of the overpack, the presence of groundwater/porewater and the thickness of the buffer. Properties include alpha, beta, gamma and neutron radiation.

Regions

- HLW
- EDZ Rock
- OP
- Far Field Rock
- Buffer
- Biosphere

Subregions

- Waste Form
- Container
- Concrete Barrier
- Buffer
- Damaged Rock
- Intact Rock
- Biosphere

Process Type

- Chemical
- Hydrological
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological
- Feature
- Event

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

Buffer thermal properties are derived from the ambient geothermal gradient and the heat generated by the HLW and transmitted through the overpack. The buffer should have a good thermal conductivity to promote effective heat transfer to the surrounding rock. It also should not be subject to significant degradation due to above ambient temperatures. Properties include:

- thermal conductivity,
- specific heat (from thermal diffusivity and thermal conductivity)
- thermal expansion coefficient
- thermal gradient

H 12, IV-59, IV-68, and Appendix B-12 to B-17, B-24, B-53

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The buffer has a stress buffering function with respect to mechanical fluctuations around the waste package. It must provide sufficient mechanical stability and strength to support the overpack. It also is to be self healing (swelling and plasticity) so that voids between the host rock and the buffer and between the buffer and the waste package will be filled after emplacement. It also must be workable (manufacturability). Processes of import to the buffer include stress on the buffer from lithostatic and hydrostatic loads, expansion of the overpack by corrosion, and swelling of clay during saturation, deformation of the buffer and possible extrusion of the buffer into fractures and other openings. It also must physically provide a low hydraulic conductivity environment. Properties of interest include:

- unconfined compressive strength,
- modulus of elasticity,
- tensile strength,,
- compression index,
- swelling index,
- poisson's ratio,
- density,
- porosity,
- swelling pressure,
- water content
- shear strength of joints between blocks of buffer
- critical state parameter
- secondary consolidation coefficient
- initial volume strain rate
- dry density
- porosity (void ratio)
- thickness

H 12, Rpt 2, pp. II-1, IV 56-IV-61, IV-65, IV-68 to IV-71, B-26 to B-38, B-40 , B-62 to B-67, Rpt 3., pp. IV-6, IV-24

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 015 Name: Buffer Chem. Prop.

The buffer should have chemical properties that optimize the sorption and solubilities of radionuclides, by providing good sorptive surface and by favorably buffering the groundwater chemistry (pH, redox, complexants, etc.). It also should not adversely impact overpack performance. Important buffer chemically related properties include:

- chemical composition,
- mineralogy,
- pH/Eh buffering capacity,
- sorption capacity,
- pore water chemistry
- organic complexes
- microbial activity
- colloid generation
- gas generation
- mineraological alteration
- pore water alteration
- distribution coefficients

See H 12, Rpt 2, pp. II-1, IV-56, IV-62, IV-65, B-4 to B-7, B-39, Rpt 3., pp. III-6, IV-6, IV-25 to IV-31, IV-33 to IV-40., V-33 to V-36, V-38 to V-42., V-98

Regions

HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 016 Name: Buffer Hydro. / Mass Tr. Prop.

The buffer is required to have a low permeability so as to restrict groundwater flow and migration of radionuclides. It also should restrict colloid transport (colloid filtration). The buffer material is to provide a hydrologic barrier and retards nuclide migration by diffusion and sorption. The buffer is emplaced dry and slowly saturates so properties will change with the degree of water saturation. Properties important to water flow and mass transport in the buffer include:

- water diffusivity (unsaturated bentonite)
- pecllet number,
- diffusion coefficients,
- density, (also under Mech & Phys. Prop)
- porosity, (also under Mech & Phys. Prop)
- permability (saturated),
- saturated hydraulic conductivity,
- water retention curve
- water density
- water viscosity
- advection/dispersion
- distribution coefficients
- physical dimensions (geometry) (also under Mech. & Phys. Prop.)

See H 12, Rpt. 2, IV-56 to IV-60, IV-62 to IV-63, IV-68, B-18 to B-25, B-43 to B-52, Rpt 3, pp. III-6, IV-6, IV 28 to IV-31, IV 37, V-26 to V-27, V-35 to V-37, V-42 to V-47, V-98 to V-101, V-110 to V-112.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The thermal properties of the rock disturbed by repository engineering activities (excavation disturbed zone-EDZ) are derived from the ambient geothermal gradient and the heat generated by the HLW and transmitted through the overpack and buffer. Properties include:

- thermal conductivity,
- specific heat,
- geothermal gradient,
- temperature
- ground surface temperature
- thermal expansion coefficient

See H 12, Rpt 2, pp III-13, III-15, V-19A-3, A-16, A-26, Rpt 3, pp IV-6

Regions

HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The geologic environment should provide rock mechanical stability for the repository and function to isolate the waste from the human environment. It should protect the engineered barrier system from physical perturbations. The mechanical and physical properties of the rock surrounding the excavated opening of the repository determining the rock stability will be disturbed by excavation (EDZ).

Properties important to evaluating the stability of this zone (important to operational safety) include:

- specific gravity,
- effective porosity,
- density (at saturation),
- unconfined compressive strength,
- modulus of elasticity,
- static and dynamic poisson's ratio,
- cohesion (shear strength),
- tensile strength,
- vertical and horizontal rock stress,
- lateral pressure coefficient
- P-wave and S-wave velocities,
- fracture frequency and size,
- overburden (depth),
- internal friction angle,
- size & shape of excavated openings
- dynamic shear rigidity
- damping factor
- geometry (volume)

See H 12, Rpt. 2, pp. II-1, V-19, A-2 to A-15, A-18 to A-26., Rpt 3, III-6, IV-20 to IV-21

- Regions**
- HLW EDZ Rock
 - OP Far Field Rock
 - Buffer Biosphere

- Subregions**
- Waste Form Buffer Biosphere
 - Container Damaged Rock
 - Concrete Barrier Intact Rock

- Process Type**
- Chemical Feature
 - Hydrological Event
 - Mechanical
 - Radiological
 - Thermal
 - Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 019 Name: EDZ Chem. Prop.

The geologic system should provide a favorable geochemical environment (i.e., reducing and sorptive) for the repository and should function to isolate the waste from the human environment. It should protect the engineered barrier system from chemical perturbations. It should provide for retardation of radionuclides by chemical processes (sorption). The chemical/geochemical properties of the rock surrounding the excavated opening of the repository will be disturbed by excavation (EDZ). Properties of importance in evaluating the geochemical performance of the EDZ include:

- rock elemental composition,
- mineralogy
- groundwater chemical composition
- pH/Eh conditions/buffering capacity
- rock type
- rock - water interactions (alteration)
- gas generation
- microbial activity
- colloid generation
- organic complexation
- sorption
- solubilities

See H 12, Rpt 2, pp. II-1, III-16, Rpt 3 pp. III-6, IV-6, IV-20, IV-31 to IV-37.

Regions	<input type="radio"/> HLW	<input type="radio"/> EDZ Rock	
	<input type="radio"/> OP	<input type="radio"/> Far-Field Rock	
	<input type="radio"/> Buffer	<input type="radio"/> Biosphere	
Subregions	<input type="checkbox"/> Waste Form	<input type="checkbox"/> Buffer	<input type="checkbox"/> Biosphere
	<input type="checkbox"/> Container	<input checked="" type="checkbox"/> Damaged Rock	
	<input type="checkbox"/> Concrete Barrier	<input type="checkbox"/> Intact Rock	

Process Type	<input checked="" type="checkbox"/> Chemical	<input checked="" type="checkbox"/> Feature
	<input type="checkbox"/> Hydrological	<input type="checkbox"/> Event
	<input type="checkbox"/> Mechanical	
	<input type="checkbox"/> Radiological	
	<input type="checkbox"/> Thermal	
	<input type="checkbox"/> Biological	

FEP DATABASE LISTING

Number: 020 Name: EDZ Hydro. / Mass Tr. Prop.

The geologic system should provide a favorable hydrologic environment for the repository, minimizing mass transport out of the repository. It should provide low groundwater flux (velocities) and sufficient spatial heterogeneity to result in hydrodynamic dispersion of the radionuclide plume. The hydrologic and mass transport properties of the rock surrounding the engineered openings in the repository will be disturbed by the excavation of the rock. Properties of importance to evaluating the hydrologic processes and mass transport behavior in the EDZ include:

- hydraulic gradient,
- transmissivity, (transmissivity distribution)
- fracture aperture,
- dispersion length in fracture (macroscopic dispersion length),
- matrix accessible area (proportion of fracture surface from which nuclides can diffuse into the matrix),
- matrix diffusion depth,
- effective porosity in matrix,
- matrix density,
- effective diffusivity,
- path length/geometry (also under Mech. & Phys Prop),
- dry density (also under Mech & Phys. Prop)
- distribution coefficients

See H 12, Rpt 2, pp III-12, Rpt 3, III-6, IV-6, IV-18, IV-21, IV-31 to IV-37, IV-49, V-14, V-17, V-27, V-54 to -71, V-112.

Regions

HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 021 Name: FF Thermal Prop.

The thermal properties of the far-field rock are derived from the ambient geothermal gradient and the heat generated by the HLW and transmitted through the overpack, buffer and EDZ. Thermal properties for the far-field host rock include
 thermal conductivity,
 specific heat,
 geothermal gradient,
 thermal expansion coefficient
 ground surface temperature.

See H 12, Rpt 2, pp III-13, III-15, A-3, A-16, A-26, Rpt 3, pp IV-6.

Regions

- HLW
- EDZ Rock
- OP
- Far Field Rock
- Buffer
- Biosphere

Subregions

- Waste Form
- Container
- Concrete Barrier
- Buffer
- Damaged Rock
- Intact Rock
- Biosphere

Process Type

- Chemical
- Hydrological
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological
- Feature
- Event

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The mechanical and physical properties of the far-field rock in which the repository is mined must provide for isolation of the repository from the human environment and rock mechanical stability. The far-field rock is that which is not disturbed by the excavated openings of the repository. Properties important to evaluating the stability of the far-field rock (important to operational safety and long-term isolation) include:

- specific gravity,
- effective porosity,
- density (at saturation),
- unconfined compressive strength,
- modulus of elasticity,
- static and dynamic poisson's ratio,
- cohesion (shear strength),
- tensile strength,
- vertical and horizontal rock stress,
- lateral pressure coefficient
- P-wave and S-wave velocities,
- fracture frequency and size,
- overburden (depth),
- internal friction angle,
- size & shape of excavated openings
- dynamic shear rigidity
- damping factor
- geometry

See H 12, Rpt. 2, pp. II-1, V-19, A-2 to A-15, A-18 to A-26.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: 023 Name: FF Chem. Prop.

The geologic system should provide a favorable geochemical environment (i.e., reducing and sorptive) for the repository and should function to isolate the waste from the human environment. Properties of importance in evaluating the geochemical performance of the far-field rock include:

- rock elemental composition,
- mineralogy
- stratigraphy
- groundwater chemical composition
- pH/Eh conditions/buffering capacity
- rock type
- rock - water interactions (alteration)
- gas generation
- microbial activity
- colloid generation
- organic complexation
- sorption
- solubilities

See H 12, Rpt 2, pp. II-1, III-16, Rpt 3 pp. IV-6, IV-20, IV-31 to IV-37.

Regions

HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The geologic system should provide a favorable hydrologic environment for the repository, minimizing mass transport out of the repository. It should provide low groundwater flux (velocities) and sufficient spatial heterogeneity to result in hydrodynamic dispersion of the radionuclide plume. Properties of importance to evaluating the hydrologic processes and mass transport behavior in the far-field rock include:

- hydraulic gradient,
- transmissivity, (transmissivity distribution)
- fracture aperture,
- dispersion length in fracture (macroscopic dispersion length),
- matrix accessible area (proportion of fracture surface from which nuclides can diffuse into the matrix),
- matrix diffusion depth,
- effective porosity in matrix,
- matrix density,
- effective diffusivity,
- path length,
- dry density
- distribution coefficients
- potential pathways (fractures, dikes, sills, bedding planes, unconformities)

See H 12, Rpt 2, pp III-12, A-24, Rpt 3, pp. III-1, III-6, IV-6, IV-19, IV-31 to IV-32, IV-49, V-15, V-17, V-49 to 71, V-102 to V-103, V-112.

Regions

- HLW EDZ Rock
- OP Far Field Rock
- Buffer Biosphere

Process Type

- Chemical Feature
- Hydrological Event
- Mechanical
- Radiological
- Thermal
- Biological

Subregions

- Waste Form Buffer Biosphere
- Container Damaged Rock
- Concrete Barrier Intact Rock

FEP DATABASE LISTING

Number: Name:

The biosphere model focusses on nuclide transport from the repository to an aquifer and transport through an aquifer to other surface water systems (rivers and wells). From the surface system, nuclides are transferred to components of the ecosystem (sediments, soils, atmosphere, plants and animals). Properties of interest in evaluating the movement of nuclides through this system include:

- Area
- Depth
- Volume
- Porosity
- Saturated Porosity (water filled)
- Suspended sediment /particulate concentration
- Water density
- Irrigation water volume
- Infiltration/recharge rate
- Annual flooding water flow
- River water flow rate
- Erosion rate
- Resuspension rate (sediment/particulates)
- Marine dispersion flow
- Dredging/meandering amount for rivers
- Gross river sedimentation rate
- River bed-load
- Plants and animals in the identified biosphere (ecosystem definition)
- Marine--diffusion due to bioturbation in marine sediments
- Gross and net sedimentation rate--marine environments
- Distribution coefficients for soil & sediments
- Soil to plant concentration factors for crops
- Transfer coefficients to animal products
- Concentration ratios for aquatic organisms
- Weathering rate
- Sea-spray enhancement factors
- Dust level
- Aerosol level
- Animal consumption rate of fodder
- Animal consumption rate of water
- Animal breathing rate
- Animal occupancy
- Animal population densities
- Soil contamination for crops
- Edible plant yield
- Irrigation water /unit area for crops
- Radionuclide concentrations in foods/water for target animal/plant populations
- Dose coefficients for internal/external radiation for target plant/animal populations

Note: the last two parameters are required only if assessing the impact of releases from the repository on specific plants or animals as part of an ecosystem / environmental impact assessment (excluding humans).

Note: these properties may vary depending upon the specific biosphere system being modeled.

<p>Regions</p> <p><input type="radio"/> HLW <input type="radio"/> EDZ Rock <input type="radio"/> OP <input type="radio"/> Far Field Rock <input type="radio"/> Buffer <input checked="" type="radio"/> Biosphere</p>	<p>Process Type</p> <p><input type="checkbox"/> Chemical <input checked="" type="checkbox"/> Feature <input type="checkbox"/> Hydrological <input type="checkbox"/> Event <input type="checkbox"/> Mechanical <input type="checkbox"/> Radiological <input type="checkbox"/> Thermal <input checked="" type="checkbox"/> Biological</p>
<p>Subregions</p> <p><input type="checkbox"/> Waste Form <input type="checkbox"/> Buffer <input checked="" type="checkbox"/> Biosphere <input type="checkbox"/> Container <input type="checkbox"/> Damaged Rock <input type="checkbox"/> Concrete Barrier <input type="checkbox"/> Intact Rock</p>	

FEP DATABASE LISTING

Number Name

The human biosphere focusses on human exposure to radionuclides released from the environmental biosphere and their effects on human health. Exposure will be a function of intake and external exposure pathways which will vary depending upon the lage and ifesty characteristics of the human group/population being evaluated. Parameters of import to evaluating effects on humans include:

- Ingestion rates (crops/animal products)
- Ingestion rates (soil/dust/water/aerosols/sediments)
- Inhalation rates (dust/aerosols)
- External radiation (water/soil/sediment)
- Human occupancy/population density
- Dose coefficients for internal irradiation
- Dose coefficients for external irradiation
- Flux to dose conversion factors
- Radionuclides concentrations in ingested and inhaled food/water/soil/sediment etc.

See H 12, Rpt. 3, pp. V-72 to V-97, V-105

Regions: HLW EDZ Rock
 OP Far Field Rock
 Buffer Biosphere

Subregions: Waste Form Buffer Biosphere
 Container Damaged Rock
 Concrete Barrier Intact Rock

Process Type: Chemical Feature
 Hydrological Event
 Mechanical
 Radiological
 Thermal
 Biological

FEP ENTRY



- List
- Influences
- Matrix
- Reports

- FEP Database List
- FEP Links List

Number

Name

Text

Regions

HLW EDZ

OP Far Field Rock

Buffer Biosphere

Subregions

Waste Form Buffer Biosphere

Container Damaged Rock

Concrete Barrier Intact Rock

Process Type

Chemical Physical Biological

Hydrological Radiological Feature

Mechanical Thermal Event

Linked FEP's	Name	Regions	Region Type	
	002 HLW Radiological Prop.	HLW	Same	↑
	005 HLW Chem. Prop.	HLW	Same	↑
				↑
				↑

Linked Influences

Influenced By	Name	Level	
	2-1	9	↑
			↑
			↑

Influences To	Name	Level	
	1-2	9	↑
	1-5	9	↑
			↑

C. 第2次取りまとめに基づく RES マトリクスのためのインフルエンスリスト

注：ここに示されているインフルエンス入力ページは、予備的なインフルエンス一式とそのそれぞれに割り当てられた重要レベルを表示している。フォームはシナリオシステム・データベースの完全性と追跡性のために入力され維持されるような情報のタイプを例示したものである。

INFLUENCE ENTRY

FILE EDIT VIEW PRINT

Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number 058

Name 01-02

Origin FEP 001 HLW Inventory

Destination FEP 002 HLW Radiological Prop.

Influence Level 0

Influence Description Inventory in the waste form produces alpha, beta, gamma, and neutron radiation from decay of radionuclides.

Influence Information

Scenario	Normal Evolution Scenario	
Group ID		Date
General Knowledge	<input checked="" type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input checked="" type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

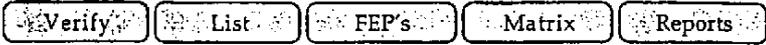
Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input checked="" type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number Name

Origin FEP Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input checked="" type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Radiation (alpha, beta, gamma, neutron) from the decay of radionuclides in the waste form influences the mechanical and physical properties of the waste form. Radiation may damage the structure of the waste matrix rendering it more susceptible to eventual dissolution in groundwater. This effect is expected to be minimal.

See H 12, Rpt 3, pp. IV-38.

Influence Information

Scenario	Date
Group ID General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP HLW
Radiologi
cal Prop.

Destination FEP HLW
Chem.
Prop.

Influence Level

Influence Description

Radiation (alpha, beta, gamma, neutron) from the decay of radionuclides in the waste form influences the chemical properties of the waste form by changing the composition of the waste form with time through ingrowth of daughter products and decay of parent radionuclides. Composition changes may include the formation of gasses as well as aqueous and solid phases.

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number 011

Name 02-07

Origin FEP 002 HLW
Radiological Prop.

Destination FEP 007 OP
Radiological Prop.

Influence Level 10

Influence Description

Continuity of radiation flux.

Influence Information

Scenario	
Group ID	Date
General Knowledge	Expertise of Group
<input type="checkbox"/> Well Known	<input type="checkbox"/> Expert
<input type="checkbox"/> Moderately Known	<input type="checkbox"/> Educated Guess
<input type="checkbox"/> Poorly Known	<input type="checkbox"/> No Expertise
<input type="checkbox"/> Controversial	
Group Consensus	
<input type="checkbox"/> Yes	
<input type="checkbox"/> Majority	
<input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

FILE EDIT VIEW HELP

Verify List FEP's Matrix Reports

Number 065

Name 03-04

Origin FEP 003 HLW
Thermal Prop.

Destination FEP 004 HLW
Mech. & Phys. Prop.

Influence Level 3

Influence Description Heat generated by the waste form will influence the mechanical and physical properties of the waste form. Excess heat can affect the stability of the glass waste matrix.

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP HLW Thermal Prop.

Destination FEP HLW Chem. Prop.

Influence Level

Influence Description Heat generated by the waste form will influence the chemical properties of the waste form, particularly the solubilities of radionuclides and other chemicals in the waste form and the kinetics of dissolution of the waste form.
See H 12, Rpt 3, pp. IV-23, IV 27-IV-30.

Influence Information

Scenario	<input type="text"/>	Date	<input type="text"/>
Group ID	<input type="text"/>		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP HLW Thermal Prop.

Destination FEP OP Thermal Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input checked="" type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

The physical properties of the waste form may influence the chemical properties of the waste form; i.e., the degree of fracturing in the waste form will influence the surface area available for contact with groundwater and may affect the dissolution rate of the waste matrix.

See H 12, Rpt 3, pp. IV-23.

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ↕

Destination FEP ↕

Influence Level

Influence Description ↕

See H 12, Rpt 3. pp. IV-23

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number Name

Origin FEP HLW Mech. & Phys. Prop. Destination FEP OP Mech. & Phys. Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge</p> <p><input type="checkbox"/> Well Known</p> <p><input type="checkbox"/> Moderately Known</p> <p><input type="checkbox"/> Poorly Known</p> <p><input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Concensus</p> <p><input type="checkbox"/> Yes</p> <p><input type="checkbox"/> Majority</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group</p> <p><input type="checkbox"/> Expert</p> <p><input type="checkbox"/> Educated Guess</p> <p><input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	--

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ↵

Destination FEP ↵

Influence Level

Influence Description

The physical and chemical properties of the waste form will change as the waste form interacts with groundwater. The waste matrix dissolves, alteration products are formed and radionuclides are released into the groundwater. The altered glass matrix will have different properties than the original glass waste form.

See H 12, Rpt. 3, pp. IV-23

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number Name

Origin FEP Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario Group ID	Date
General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario Group ID	Date
General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP

 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

	Scenario	
	Group ID	Date
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Radiological Prop.

Destination FEP
 Thermal Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario	Date
Group ID General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Radiation concerns will influence the thickness of the overpack. If the thickness (shielding) of the overpack is not sufficient, radiation may cause radiolysis and formation of oxidizing chemical species that may affect overpack corrosion and thus mechanical properties, leading to eventual failure of the overpack. Radiation also influences the materials selected for the overpack as the overpack must be resistant to embrittlement by radiation.

H 12, Rpt. 2, pp. IV-43, IV-2 to 3.

Influence Information

Scenario	Date
Group ID	
General Knowledge	Expertise of Group
<input type="checkbox"/> Well Known	<input type="checkbox"/> Expert
<input type="checkbox"/> Moderately Known	<input type="checkbox"/> Educated Guess
<input type="checkbox"/> Poorly Known	<input type="checkbox"/> No Expertise
<input type="checkbox"/> Controversial	
Group Concensus	
<input type="checkbox"/> Yes	
<input type="checkbox"/> Majority	
<input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Radiological Prop.

Destination FEP
 Chem. Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	---

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		<input type="checkbox"/> Educated Guess
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Temperature will influence the mechanical and physical properties of the overpack as the strength of metal is a function of temperature. Excessive temperature may cause phase changes in the metal.

See H 12, Rpt. 2, pp. IV-3.

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario Group ID	Date
General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario	Date
Group ID General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Changes in the overpack physical and mechanical properties from corrosion processes will change properties important to mass transport such as porosity, density and geometry.

See H 12, Rpt 3, pp. IV-41

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEPs

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ↩

Destination FEP ↩

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario			
Group ID		Date	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		<input type="checkbox"/> Educated Guess
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario Group ID</p> <p>General Knowledge</p> <p><input type="checkbox"/> Well Known</p> <p><input type="checkbox"/> Moderately Known</p> <p><input type="checkbox"/> Poorly Known</p> <p><input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Consensus</p> <p><input type="checkbox"/> Yes</p> <p><input type="checkbox"/> Majority</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group</p> <p><input type="checkbox"/> Expert</p> <p><input type="checkbox"/> Educated Guess</p> <p><input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	--

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number Name

Origin FEP Destination FEP

Influence Level

Influence Description Corrosion (dissolution and precipitation reactions between the groundwater and the overpack/container) generating corrosion products will influence mass transport through the overpack to the HLW and from the HLW through the corrosion products to the buffer (changes in porosity, density, pore water chemistry, sorption, solubilities).
See H 12, Rpt 2, pp. IV-10 to IV-38

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	<input type="checkbox"/> Educated Guess	<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP
 Hydro.
 Mass Tr.
 Prop.

Destination FEP
 Hydro./
 Mass Tr.
 Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP OP
Hydro.
Mass Tr.
Prop.

Destination FEP Buffer
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge</p> <p><input type="checkbox"/> Well Known</p> <p><input type="checkbox"/> Moderately Known</p> <p><input type="checkbox"/> Poorly Known</p> <p><input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Concensus</p> <p><input type="checkbox"/> Yes</p> <p><input type="checkbox"/> Majority</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group</p> <p><input type="checkbox"/> Expert</p> <p><input type="checkbox"/> Educated Guess</p> <p><input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	--

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

VIEW SAVE PRINT

Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number 094

Name 13-15

Origin FEP 013 Buffer Thermal Prop.

Destination FEP 015 Buffer Chem. Prop.

Influence Level 8

Influence Description Temperature affects the chemical properties of the buffer by influencing kinetics of buffer-groundwater reactions, solubilities (dissolution/precipitation reactions) and complexation/sorption behavior.
See H 12, Rpt 2, pp. B-60 to B-61.

Influence Information

Scenario	Date
Group ID	
General Knowledge	Expertise of Group
<input type="checkbox"/> Well Known	<input type="checkbox"/> Expert
<input type="checkbox"/> Moderately Known	<input type="checkbox"/> Educated Guess
<input type="checkbox"/> Poorly Known	<input type="checkbox"/> No Expertise
<input type="checkbox"/> Controversial	
Group Concensus	
<input type="checkbox"/> Yes	
<input type="checkbox"/> Majority	
<input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

The influence of temperature on the buffer permeability is minimal and primarily attributed to changes in the water density and viscosity with temperature (H 12, Rpt. 2, pp. B-25, B-53.)
 The thermal gradient in the buffer also influences the resaturation rate of the buffer. (H 12, Rpt. 2, pp. B-25)
 With respect to mass transport (diffusive transport, the the effective diffusion coefficient is dependent upon temperature. (H 12, Rpt. 2, pp. IV-77)

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP Buffer Thermal Prop.

Destination FEP EDZ Thermal Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario Group ID	Date
General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	---

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP Buffer
Mech. &
Phys.
Prop.

Destination FEP EDZ
Mech. &
Phys.
Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario			
Group ID		Date	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		<input type="checkbox"/> Educated Guess
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge</p> <p><input type="checkbox"/> Well Known</p> <p><input type="checkbox"/> Moderately Known</p> <p><input type="checkbox"/> Poorly Known</p> <p><input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Concensus</p> <p><input type="checkbox"/> Yes</p> <p><input type="checkbox"/> Majority</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group</p> <p><input type="checkbox"/> Expert</p> <p><input type="checkbox"/> Educated Guess</p> <p><input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	--

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

The mineralogic composition of the buffer may influence the tensile stress behavior, the elastic modulus, the unconfined compressive strength of the buffer, and the swelling pressure / volume expansion of the buffer.

See H 12, Rpt 2., pp. B-26 to B-27, B-36-B-38.

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ↵

Destination FEP ↵

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description Thermal properties of the buffer may change as a result of changes in the density, void ratio, and water content of the buffer.
 H 12, pp. IV-59 and Appendix B, pp. B-17.

Influence Information

<p>Scenario</p> <p>Group ID</p> <p>General Knowledge</p> <p><input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial</p> <p>Group Consensus</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No</p>	<p>Date</p> <p>Expertise of Group</p> <p><input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise</p>
--	--

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

The degree of saturation of the buffer will influence the physical and mechanical behavior of the buffer (i.e., Poisson's ratio, water content, shear strength properties, swelling pressure/volume change)

See H 12, Rpt. 2, pp. B-30 to B-38, B-54 to 56.

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario Group ID		Date
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

FILE EDIT VIEW PRINT

Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP EDZ
Thermal Prop.

Destination FEP Buffer
Thermal Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario	
Group ID	Date
General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ◀

Destination FEP ◀

Influence Level

Influence Description ⬆

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID		Expertise of Group	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise	
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Mech. &
 Phys.
 Prop.

Destination FEP
 Mech. &
 Phys.
 Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP EDZ
Chem.
Prop.

Destination FEP Buffer
Chem.
Prop.

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ◀

Destination FEP ◀

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group
		<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

FILE EDIT VIEW HELP

Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number 025

Name 20-24

Origin FEP 020 EDZ
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Destination FEP 024:FF
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Influence Level 10

Influence Description
Continuity of pressure and water/gas flux between damaged/excavated rock area and far field intact rock zone.

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number Name

Origin FEP
 Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario	
Group ID	Date
General Knowledge	Expertise of Group
<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	
<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		<input type="checkbox"/> Educated Guess
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP ↩

Destination FEP ↩

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number 045

Name 24-20

Origin FEP 024 FF
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Destination FEP 020 EDZ
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Influence Level 10

Influence Description
Continuity of pressures and water/gas fluxes between the far-field intact rock and the damaged/excavated rock areas. (same as 20-24)

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Continuity of pressure and water/gas flux between intact far field rock zone and environmental/ecological biosphere components.

Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY

M4 M5 M6 M7

Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario	Date
Group ID General Knowledge <input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Concensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number Name

Origin FEP ◀ Destination FEP ◀

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario			
Group ID		Date	
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert
	<input type="checkbox"/> Moderately Known		<input type="checkbox"/> Educated Guess
	<input type="checkbox"/> Poorly Known		<input type="checkbox"/> No Expertise
	<input type="checkbox"/> Controversial		
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> Majority		
	<input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Number

Name

Origin FEP

Destination FEP

Influence Level

Influence Description

Influence Information

Scenario		Date	
Group ID			
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group	<input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No		

Explanatory Notes

INFLUENCE ENTRY



Verify

List

FEP's

Matrix

Reports

Number

Name

Origin FEP

Bio
Human
Prop.

⏪

Destination FEP

FF
Hydro. /
Mass Tr.
Prop.

⏪

Influence Level

Influence Description

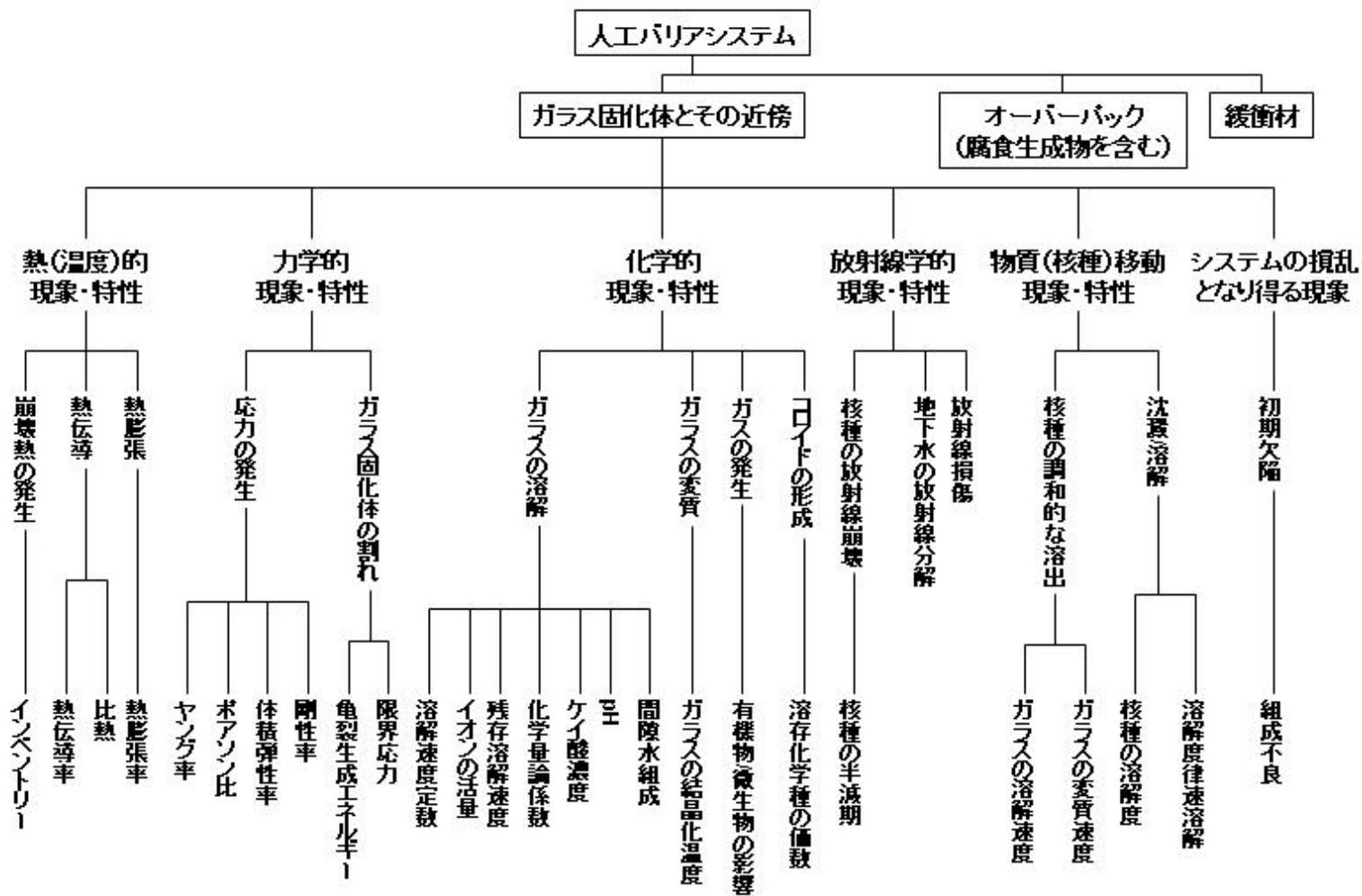
Influence Information

Scenario		Date
Group ID		
General Knowledge	<input type="checkbox"/> Well Known <input type="checkbox"/> Moderately Known <input type="checkbox"/> Poorly Known <input type="checkbox"/> Controversial	Expertise of Group <input type="checkbox"/> Expert <input type="checkbox"/> Educated Guess <input type="checkbox"/> No Expertise
Group Consensus	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Majority <input type="checkbox"/> No	

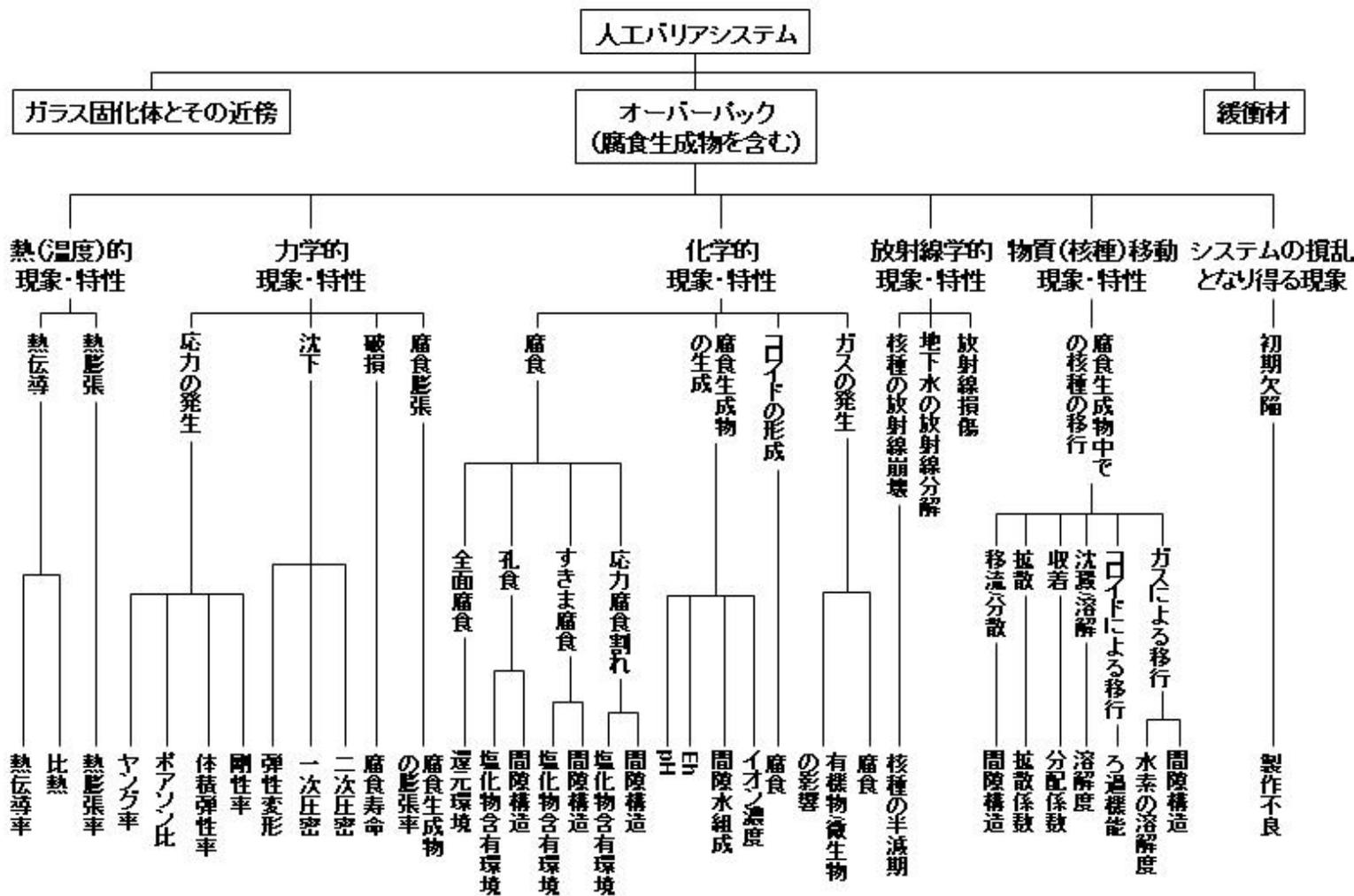
Explanatory Notes

添 付 資 料

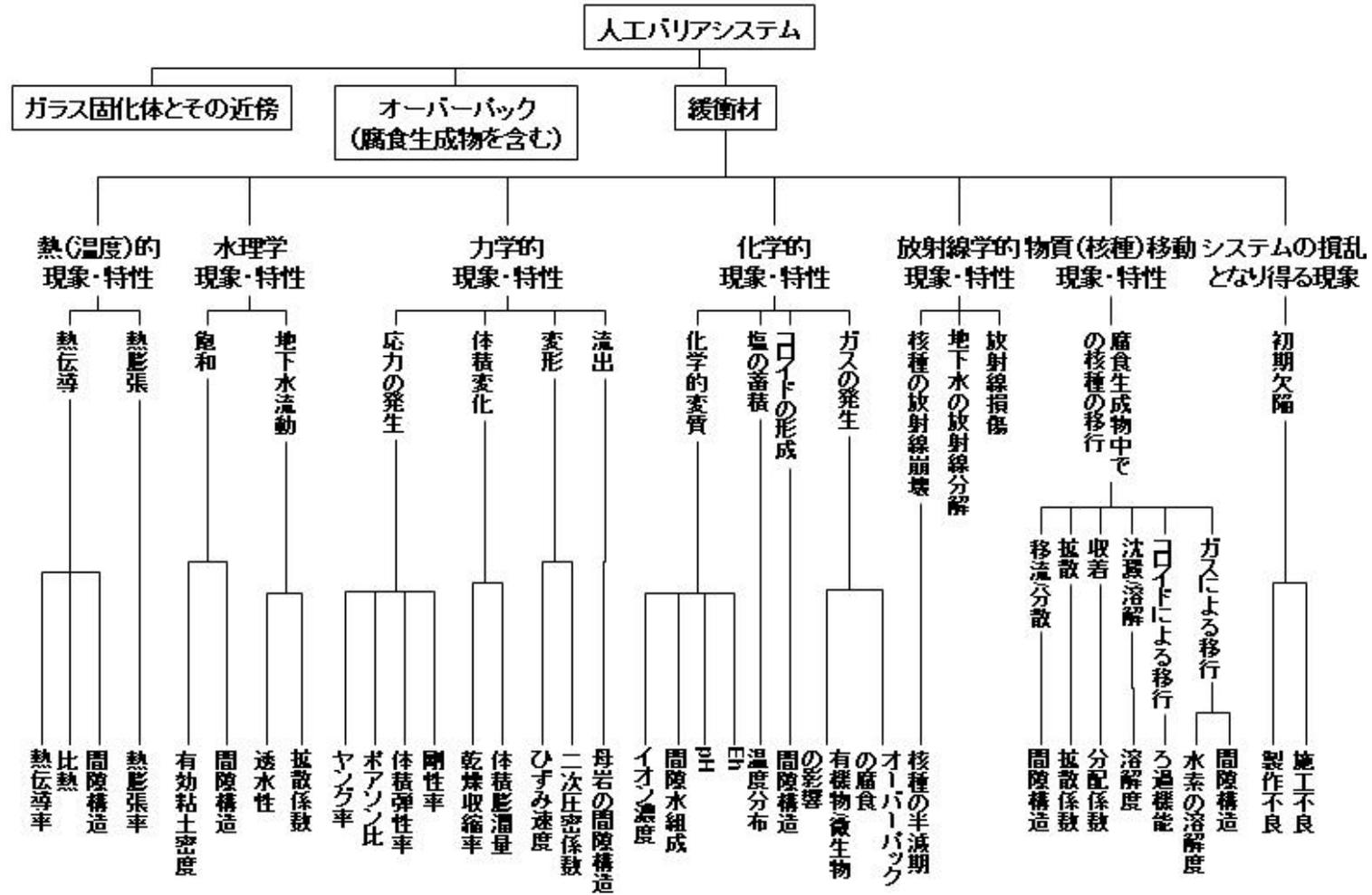
添付資料・図 1-1: FEP リスト (ガラス固化体とその近傍) の階層構造



添付資料・図 1-2: FEP リスト (オーバーバック) の階層構造



添付資料・図 1-3: FEP リスト (緩衝材) の階層構造



	上流側					上流側					上流側														
	OP-1.1	OP-1.2	OP-1.3	OP-3.1	OP-3.2	OP-3.3	OP-3.4	OP-3.5	OP-4.1	OP-4.2	OP-4.3	OP-4.4.1	OP-4.4.2	OP-4.4.3	OP-4.4.4	OP-4.5	OP-4.6	OP-4.7	OP-4.8	OP-4.9	OP-5.1	OP-5.2	OP-5.3	OP-6.1	
G-1.1 ガラス固化体の熱物性																									
G-1.2 ガラス固化体の温度		温度の変化																							
G-1.3 ガラス固化体の熱膨張																									
G-1.4 崩壊熱の発生																									
G-3.1 ガラス固化体の力学特性																									
G-3.2 ガラス固化体の応力					応力の変化																				
G-3.3 ガラス固化体の割れ						割れの発生	割れの発生																		
G-4.1 ガラス固化体の化学特性																									
G-4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学										化学特性に影響	化学特性に影響														
G-4.3 ガラス固化体の溶解																									
G-4.4 ガスの発生/影響																									
G-4.5 微生物の影響																									
G-4.6 有機物の影響																									
G-4.7 コロイドの形成																									
G-4.8 ガラス固化体の化学的変質																									
G-5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊																									
G-5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線崩壊																									
G-5.3 ガラス固化体の放射線損傷																									
G-6.1 ガラス固化体周囲の物質移動特性																									
G-6.2 幾何形状/間隙構造																									
G-6.3.1 核種の緩和的な流出																									
G-6.3.2 沈殿/溶解																									
G-7.1 ガラス固化体の組成不良																									
OP-1.1 オーバーバックの熱物性		温度依存性																							
OP-1.2 オーバーバックの温度		熱伝導																							
OP-1.3 オーバーバックの熱膨張		熱膨張率	温度による膨張																						
OP-3.1 オーバーバックの力学特性																									力学特性の劣化
OP-3.2 オーバーバックの応力					応力の発生	応力の変化									応力分布	応力分布	応力分布	応力分布							
OP-3.3 オーバーバックの破損						破損過程に影響	破損を誘起								腐食による破損	腐食による破損	腐食による破損	腐食による破損							
OP-3.4 オーバーバックの腐食膨張						腐食膨張率																			生成物の生成
OP-3.5 オーバーバックの沈下																									
OP-4.1 オーバーバックの化学特性																									化学特性の変化
OP-4.2 オーバーバックの地下水化学																									
OP-4.3 オーバーバックと地下水の反応		温度依存性								化学反応	化学反応	化学反応、還元	酸化、還元	酸化、還元	酸化、還元	酸化、還元	酸化、還元								
OP-4.4.1 全面腐食						腐食形態	腐食形態			化学反応、還元	化学反応、還元														腐食の促進
OP-4.4.2 孔食						腐食形態	腐食形態			pH、不動離化	pH、不動離化														腐食の促進
OP-4.4.3 すきま腐食						腐食形態	腐食形態			pH、不動離化	pH、不動離化														腐食の促進
OP-4.4.4 応力腐食割れ						腐食形態	腐食形態			pH、不動離化	pH、不動離化														腐食の促進
OP-4.5 腐食生成物の生成																									
OP-4.6 ガスの発生/影響																									
OP-4.7 微生物の影響																									
OP-4.8 有機物の影響																									
OP-4.9 コロイドの形成																									
OP-5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊																									
OP-5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解																									放射線分解
OP-5.3 腐食生成物の放射線損傷																									放射性崩壊
OP-6.1 腐食生成物の物質移動特性																									
OP-6.2 幾何形状/間隙構造																									
OP-6.3.1 移流/分散																									形状の変化
OP-6.3.2 拡散																									物質移行に影響
OP-6.3.3 収着																									物質移行に影響
OP-6.3.4 沈殿/溶解																									物質移行に影響
OP-6.3.5 コロイドによる移行																									物質移行に影響
OP-6.3.6 ガスによる移行																									物質移行に影響
OP-7.1 オーバーバックの製作不良																									物質移行に影響
B-1.1 鋳造材の熱物性																									
B-1.2 鋳造材の温度		温度の変化																							
B-1.3 鋳造材の熱膨張																									
B-2.1 鋳造材の水理特性																									
B-2.2 鋳造材の飽和																									
B-2.3 鋳造材中の地下水流動																									
B-3.1 鋳造材の力学特性																									
B-3.2 鋳造材の応力						応力の変化																			
B-3.3 鋳造材の体積変化																									
B-3.4 鋳造材の変形																									
B-3.5 鋳造材の流失																									
B-4.1 鋳造材の化学特性																									
B-4.2 鋳造材中の地下水化学																									
B-4.3 鋳造材と地下水の反応																									
B-4.4 ガスの発生/影響																									
B-4.5 微生物の影響																									
B-4.6 有機物の影響																									
B-4.7 コロイドの形成																									
B-4.8 鋳造材の化学的変質																									
B-4.9 塊の腐蝕																									
B-5.1 鋳造材中での核種の放射性崩壊																									
B-5.2 鋳造材中の間隙水の放射線分解																									
B-5.3 鋳造材の放射線損傷																									
B-6.1 鋳造材の物質移動特性																									
B-6.2 幾何形状/間隙構造																									
B-6.3.1 移流/分散																									
B-6.3.2 拡散																									
B-6.3.3 収着																									
B-6.3.4 沈殿/溶解																									
B-6.3.5 コロイドによる移行																									
B-6.3.6 ガスによる移行																									
B-7.1 鋳造材の製作不良																									
B-7.2 鋳造材の施工不良																									

上流側

B-4.6	B-4.7	B-4.8	B-4.9	B-5.1	B-5.2	B-5.3	B-6.1	B-6.2	B-6.3.1	B-6.3.2	B-6.3.3	B-6.3.4	B-6.3.5	B-6.3.6	B-7.1	B-7.2
																G-1.1 ガラス固化体の熱物性
																G-1.2 ガラス固化体の温度
																G-1.3 ガラス固化体の熱膨張
																G-1.4 崩壊熱の発生
																G-3.1 ガラス固化体の力学特性
																G-3.2 ガラス固化体の応力
																G-3.3 ガラス固化体の割れ
																G-4.1 ガラス固化体の化学特性
																G-4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学
																G-4.3 ガラス固化体の清浄
																G-4.4 ガスの発生/影響
																G-4.5 微生物の影響
																G-4.6 有機物の影響
																G-4.7 コロイドの形成
																G-4.8 ガラス固化体の化学的変質
																G-5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊
																G-5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線崩壊
																G-5.3 ガラス固化体の放射線損傷
																G-6.1 ガラス固化体周囲の物質移動特性
																G-6.2 幾何形状/間隙構造
																G-6.3.1 核種の緩和的な清浄
																G-6.3.2 沈殿/清浄
																G-7.1 ガラス固化体の組成不良
																OP-1.1 オーバーバックの熱物性
																OP-1.2 オーバーバックの温度
																OP-1.3 オーバーバックの熱膨張
																OP-3.1 オーバーバックの力学特性
																OP-3.2 オーバーバックの応力
																OP-3.3 オーバーバックの破壊
																OP-3.4 オーバーバックの腐食影響
																OP-3.5 オーバーバックの沈下
																OP-4.1 オーバーバックの化学特性
																OP-4.2 オーバーバックの地下水化学
																OP-4.3 オーバーバックと地下水の反応
																OP-4.4.1 全面腐食
																OP-4.4.2 孔食
																OP-4.4.3 すきま腐食
																OP-4.4.4 応力腐食割れ
																OP-4.5 腐食生成物の生成
																OP-4.6 ガスの発生/影響
																OP-4.7 微生物の影響
																OP-4.8 有機物の影響
																OP-4.9 コロイドの形成
																OP-5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊
																OP-5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解
																OP-5.3 腐食生成物の放射線損傷
																OP-6.1 腐食生成物の物質移動特性
																OP-6.2 幾何形状/間隙構造
																OP-6.3.1 移流/分散
																OP-6.3.2 拡散
																OP-6.3.3 吸着
																OP-6.3.4 沈殿/清浄
																OP-6.3.5 コロイドによる移行
																OP-6.3.6 ガスによる移行
																OP-7.1 オーバーバックの製作不良
																熱物性の変化 熱物性の変化
																B-1.1 鋳造材の熱物性
																B-1.2 鋳造材の温度
																B-1.3 鋳造材の熱膨張
																B-2.1 鋳造材の水理特性
																B-2.2 鋳造材の飽和
																B-2.3 鋳造材中の地下水流動
																B-3.1 鋳造材の力学特性
																B-3.2 鋳造材の応力
																B-3.3 鋳造材の体積変化
																B-3.4 鋳造材の変形
																B-3.5 鋳造材の浸食
																B-4.1 鋳造材の化学特性
																B-4.2 鋳造材中の地下水化学
																B-4.3 鋳造材と地下水の反応
																B-4.4 ガスの発生/影響
																B-4.5 微生物の影響
																B-4.6 有機物の影響
																B-4.7 コロイドの形成
																B-4.8 鋳造材の化学的変質
																B-4.9 鋳造材の管理
																B-5.1 鋳造材中での核種の放射性崩壊
																B-5.2 鋳造材中の間隙水の放射線分解
																B-5.3 鋳造材の放射線損傷
																B-6.1 鋳造材の物質移動特性
																B-6.2 幾何形状/間隙構造
																B-6.3.1 移流/分散
																B-6.3.2 拡散
																B-6.3.3 吸着
																B-6.3.4 沈殿/清浄
																B-6.3.5 コロイドによる移行
																B-6.3.6 ガスによる移行
																B-7.1 鋳造材の製作不良
																B-7.2 鋳造材の施工不良

下流側

下流側

下流側