

地層処分FEP情報データベース・システムの開発 (I)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
ㄗ	J106497-003	1998.4.14.
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1997年3月

日商岩井株式会社

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

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂 1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

地層処分FEP情報データベース・システムの開発 (I)

浅原 進也*、木村 良則*

要 旨

地層処分に於ける安全性評価シナリオの研究においては、前年度までに基盤情報となる基本的なFEPリストを整理し、ワードプロセッサ形式の文書ファイルにするとともに、それらのリストを表示・更新するためのパーソナル・コンピュータによるFEPリスト管理プログラムを開発した。

平成8年度は、前年度の成果をもとに、FEPリスト管理プログラムについて英語版の準備等の改良整備をするとともに、今後予想される膨大なFEPデータの一元管理を行う地層処分FEP情報データベース・システムについて、一部試作を行ない基本設計を行った。設計検討の結果、地層処分FEP情報データベースは、FEPリスト管理プログラムをクライアントとした、サーバークライアント方式による、ローカル・エリア・ネットワーク構成とした。また今後、生じると考えられるFEPデータのスクリーニング作業や、シナリオ開発作業を効率的に支援する為の機能開発の予備的検討として、確率論的手法やインフルエンス・ダイアグラムによる手法等、シナリオ開発に関連する手法について機能設計の基礎として取りまとめた。

以上の平成8年度成果から、次年度の課題として地層処分FEP情報データベースを所内ネットワーク等、広域ネットワークに対応させ、より効率的な情報の収集と管理を行なう機能の開発、サーバーシステムのデータベース管理機能について、試作レベルの限定されたものから実運用可能なデータベースに改良すること、シナリオ開発を支援するデータ解析機能の開発が残された。

本報告書は、日商岩井株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究内容結果である。

契約番号：080D0291

*日商岩井株式会社

Development of the FEP Data Base System for High Level Radioactive Waste Geological Disposal Performance Assessment

Shinya ASAHARA*, Yoshinori KIMURA*

Abstract

Prior to 1996, as part of research on Safety Assessment scenarios for the geological disposal of high-level radioactive waste, we compiled a fundamental FEP list, which is expected to serve as the core information for such scenarios. The FEP list was converted into a word-processing format document file, and an FEP list management program-capable of displaying and updating the contents of the list on a personal computer - was built.

In 1996, based on results achieved in the previous year, we made some revisions to the FEP list management program and also worked on an English version. During this period we also made some prototypes of and developed a basic design for the FEP information database system, which was designed to manage a possibly huge amount of FEP data in a unified manner.

After examination of the design, we decided that the FEP information database system should be designed as a client/server local area network configuration, with the FEP list management program as client. In addition, in a preliminary effort to develop functions to efficiently support the screening of FEP data and the development of Safety Assessment scenarios, both of which are expected to come out in future, we developed probabilistic, influence diagram and other for scenario development techniques as the basis for the functional design.

As a result of activities during 1997, the following remain as themes for next year:

- 1) to develop capabilities such that the FEP information database system will work in local area network and wide area network environments to efficiently collect and manage information;
- 2) to develop the database management function of the server system from a prototype level to an operable database; and
- 3) to develop the data analysis functions to support scenario development.

Work performed by Nissho Iwai corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Radioactive Waste Management Project, Isolation System Research Program
Hiroyuki Umeki

* NISSHO IWAI corporation

【 目 次 】

1	概 要	1
1.1	データベース管理システムの開発	7
1.2	シナリオ開発支援機能にかかわる関連情報処理技術の予備検討	8
1.2.1	確率論的評価	8
1.2.2	インフルエンス・ダイアグラムとFEPリストによるシナリオ開発	8
1.2.3	Rock Engineering Systems 手法によるシナリオ開発	9
1.2.4	その他、認知科学的手法によるメタレベル・シナリオ開発	9
1.3	簡易FEPリスト管理プログラムの機能追加	9
2	地層処分FEP情報データベース・システムの開発	12
2.1	データベース管理システムの開発	12
2.1.1	データ構造設計検討	13
2.1.2	データアクセス機能設計検討	36
2.1.3	操作機能設計検討	51
2.1.4	サーバー・クライアント機能設計（簡易FEP管理ソフトウェアとの分散環境）	54
3	FEPリスト管理プログラム(MacFEP)の機能追加	56
3.1	簡易FEPリスト管理プログラムの概要	56
3.2	MacFEPの特徴	56
3.3	MacFEPの構成	59
3.4	ウィンドウとインターフェイス	60
3.4.1	ウィンドウの種類と構成	62
3.4.2	メニューの種類と構成	67
3.5	データの種類と内容	71
3.5.1	テキストデータ	71
3.5.2	イメージデータ	75
3.5.3	ウィンドウ・オブジェクトデータ	76
3.6	MacFEPの課題と改良および追加項目の検討	78
3.6.1	マトリクス表示機能の改良	79
3.6.2	インフルエンス・ダイアグラム表示機能の改良	81
3.6.3	その他新機能の追加	84
3.6.4	収集情報の履歴管理	87
3.6.5	個別FEPリスト因果関係の抽出と整合性確認機能	87
3.7	FEPリストの情報収集と管理手法の検討	90
3.7.1	全体構成と基本運用事項	90
3.7.2	サーバーシステムの運用	90
3.7.3	クライアントの運用	91
3.7.4	FEPリストの情報登録と整備方法	91
4	シナリオ開発支援手法の検討	92
4.1	確率論的シナリオ開発手法	92
4.1.1	Event Tree / Fault Tree Analysis	92
4.1.2	US DOE Waste Isolation Pilot Plant の例	92
4.2	インフルエンス・ダイアグラムとFEPによるシナリオ開発手法	92
4.3	RES : Rock Engineering Systems 手法によるシナリオ開発	92
付録-A	海外におけるシナリオ開発手法の検討	
付録-B	簡易FEPリスト管理ソフトウェア 簡易操作説明書	
付録-C	簡易FEPリスト管理ソフトウェア（英文） 簡易操作説明書	
付録-D	簡易FEPリスト管理ソフトウェア（CASCADE） 運用管理要領書	
付録-E	整備したFEPリスト	

1 概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムに関する長期的な性能を評価するうえでのシナリオ解析は、個々のFEP（地層処分システムの長期的な挙動を構成する特質、事象およびプロセスで、英語のFeature, Event, Processの頭文字をとって示したもの）やインフルエンス・ダイアグラム（FEPとFEP間の相関を視覚的に表わした図）をもとに、地層処分システムの長期的な性能を評価するためのシナリオを抽出するものであり、これに基づき、評価のための枠組みが規定され、適切なモデル化を行って解析を実施し、その結果を最終的に規準と比較することによって地層処分システムの安全性が判断される。

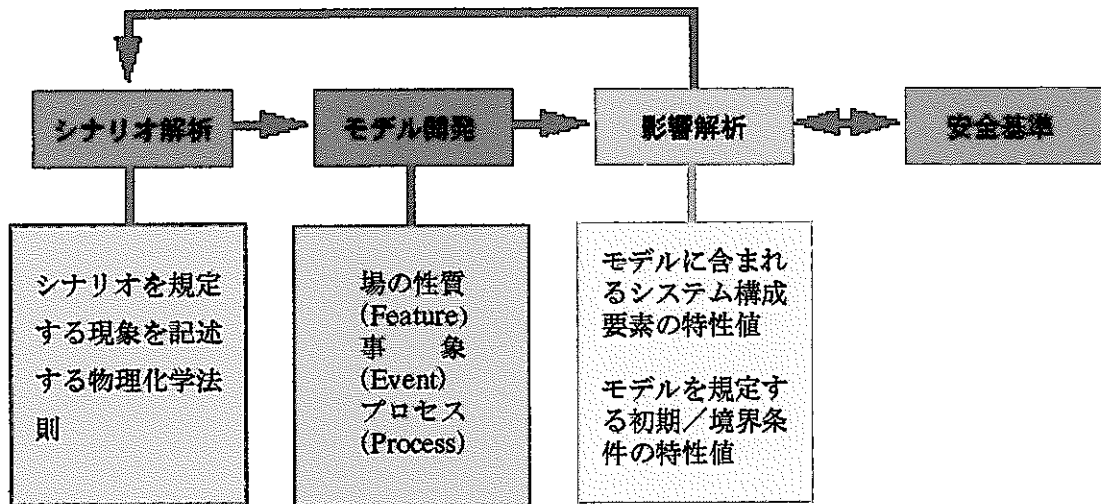


図1-1 地層処分性能評価の体系

このうち、シナリオ解析を行うにあたっては、地層処分システムの長期挙動に関する膨大なFEP情報からシナリオを構築していかねばならず、品質管理の面からも計算機による支援が不可欠なものと考えられる。これまで事業団では、シナリオ開発を行うためのアプローチとして、包括的なFEPリストとインフルエンス・ダイアグラムを組み合わせた方法を採用している（以下、FEPとインフルエンス・ダイアグラムに登録される情報を合せて“FEP情報”という）。

地層処分システムの性能評価を行うには様々な学問領域が存在し、シナリオを作成するには、それらの専門家による議論と合意形成が必要であるため、このアプローチは、異分野の専門家同士が、それぞれの分野の垣根を越えて議論するうえで有効であると考えられる。

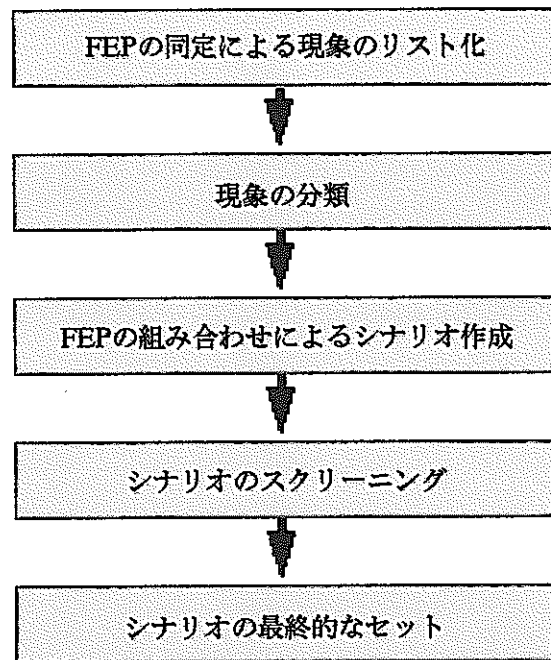


図1-2 シナリオ開発における体系的な方法

FEPリストについては、そのリストをもとに様々な分野の専門家による議論を通してシナリオで考慮すべき現象の網羅性の確認を行うこと、並びにモデル化やデータ取得の指針としての役割を担うことを主眼とするため、詳細なレベルまでのFEPを含んでいるほうが都合がよい。一方、インフルエンス・ダイアグラムについては、FEP間の関係に注目することを目的とし、なるべく簡素化した形態で表現する必要があるため、集合化した形態でのFEPを用いることが望ましい。

本研究では、これらの方法論を具体的に構築するとともに、総合的な情報管理が可能な「FEP情報データベースシステム」を開発するものである。本研究は、これまでのシナリオ分類に従い、まず地下水シナリオの基本ケースを対象にFEP情報データベースシステムに取り入れるものとした。

地下水シナリオの基本ケースとは、

- 1) 人工バリアには欠陥がなく設計どおりに機能し、
- 2) 地質環境条件は定常状態にあり、
- 3) 将来の人間活動による影響はない。

といった系を想定することである。他のシナリオについては、これと独立して、あるいは基本ケースへの摂動として取り扱うことが可能である。本研究では基本ケースを基盤として開発を進め、地下水シナリオの変動ケースや接近シナリオを取り込んだシナリオ解析のための枠組みに発展させながら、FEP情報データベースシステムを開発していくこととした。

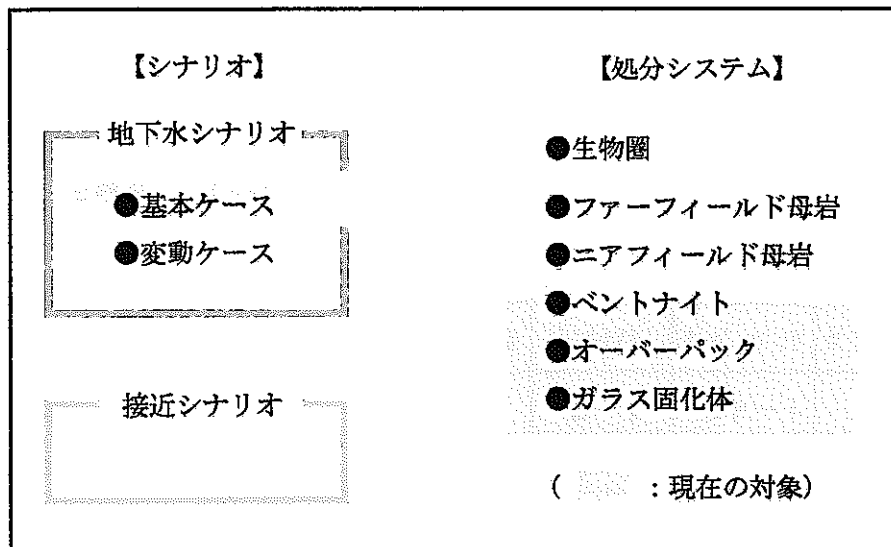


図1-3 FEP情報データベースシステムの範囲

高レベル放射性廃棄物の人間環境への影響機構による分類

- 接近シナリオ（廃棄物と人間環境の直接的接近）
- 地下水シナリオ（地下水による放射性核種の人間環境への移動）

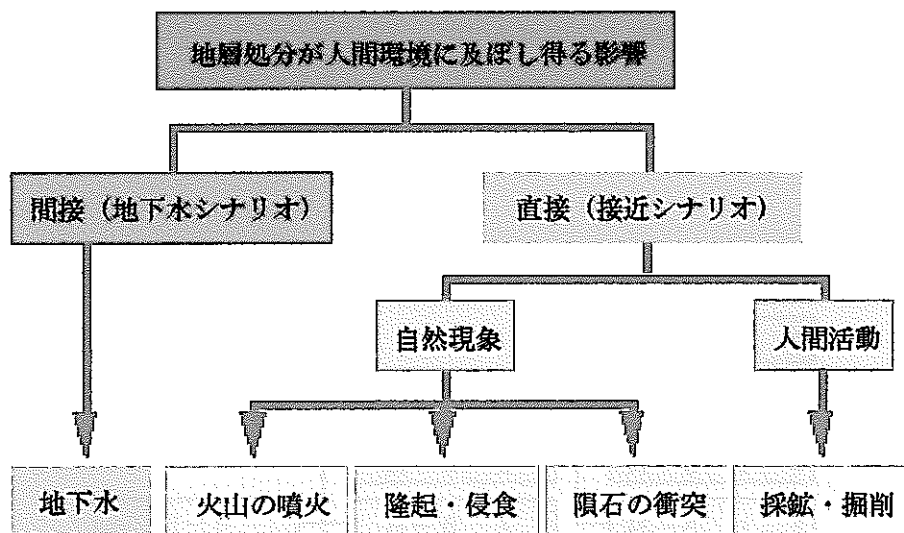


図1-4 シナリオの分類

(1) FEPリスト

本研究でのFEPリストは、地層処分システムを構成するガラス固化体からファーフールド母岩までの5つの場を横軸とし、縦軸には、それぞれの場での現象と特性を6つ（熱、水理、力学、化学、物質移動、放射線学）に分類して、それぞれFEPの集合体でグループ化を行いマトリクス構造化（「階層マトリクス」と呼ぶ）している。

	F F母岩	N F母岩	ベントナイト	オーバ-パッカ	ガラス固化体
熱的現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
放射線学的現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
物質移動現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6

図1-5 階層マトリクス

この各グループごとにキーとなるFEPを定義し、FEPを説明する過程で必要に応じ、さらに下位のFEP（「サブFEP」と呼ぶ）を設け階層構造化している。なお、マトリクス中のF-1やB-3といった記号は、処分システムを構成する場で生じるFEPを一括りにしたものである。

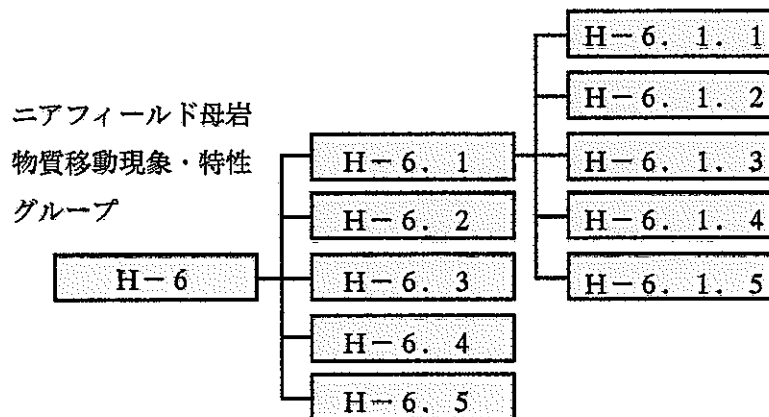


図1-6 階層構造化（記号化による）

これによって、数学モデルやデータとの対応に配慮することができる（このようなFEPに関する情報を「個別FEP情報」と呼ぶ）。このようにFEPのマトリクス化を行うことにより、地層処分システ

ムを構成する場と現象・特性に対する理解と網羅性のチェックが容易となるほか、異分野間のコミュニケーションの促進が図れること、研究の進展による内容の変更も容易にすることが可能となる。

(2) インフルエンス・ダイアグラム

インフルエンス・ダイアグラムは、階層FEPマトリクスに組み込まれるキーとなるFEPを対象とした因果関係を視覚的に記述するものであり、各FEPを箱（ボックス）で表し、関連するボックス間を枝（ブランチ）で表現する。これにより、FEP間の因果関係に関する理解を容易なものとすることができる。インフルエンス・ダイアグラムには、地層処分システム全体で表したものを「全体システム・インフルエンス・ダイアグラム」、地層処分システムの各コンポーネントごとに作成するものを「サブシステム・インフルエンス・ダイアグラム」、1つのFEPを核に、そのFEPが直接影響を与えるFEPと影響を被るFEPだけを表したものを「ローカル・インフルエンス・ダイアグラム」と呼ぶこととした。このような、システム全体、サブシステム、直接関連のあるFEP間のみ、といった様々なレベルでのインフルエンス・ダイアグラムをFEP内容の検討の範囲に応じて、それぞれ併せて概観することにより、その理解が容易なものとなると考えられる。

(3) FEPリストとインフルエンス・ダイアグラムの接点

FEPリストとインフルエンス・ダイアグラムについては、取り扱うFEPの数が膨大なものになることから、計算機による支援が不可欠である。また、インフルエンス・ダイアグラム中のボックスとブランチに個別FEP情報の内容を計算機上で関係づけることにより、相互の情報を効率的に引き出すことが可能になるとともに、専門家を交えたFEP内容の議論の促進にも有効なものと考えられる。

インフルエンス・ダイアグラムと個別FEP情報に関連づけることにより、個別情報の内容に対する更新や追加および削除といった見直しに対応して、自動的にインフルエンス・ダイアグラムの変更が可能となる。このような視点から本FEP情報データベース・システムを研究している。

(4) FEPデータベース構成

本研究では、個別FEP情報とインフルエンス・ダイアグラムに係わる情報（データ）をデータベース化し、FEP情報の改訂にともなう個別FEP情報の履歴や個別FEP情報相互関連の品質管理を行うとともに、目的とするFEP情報を効率良く引き出すためのグラフィクス・ユーザーインターフェイスを設計検討した。図1-7は、本システムに用いる個別FEP情報とインフルエンス・ダイアグラムに係わる情報のデータベース構成概念を示したものである。

【インフルエンス・ダイアグラム情報エリア】

【階層マトリクスエリア】

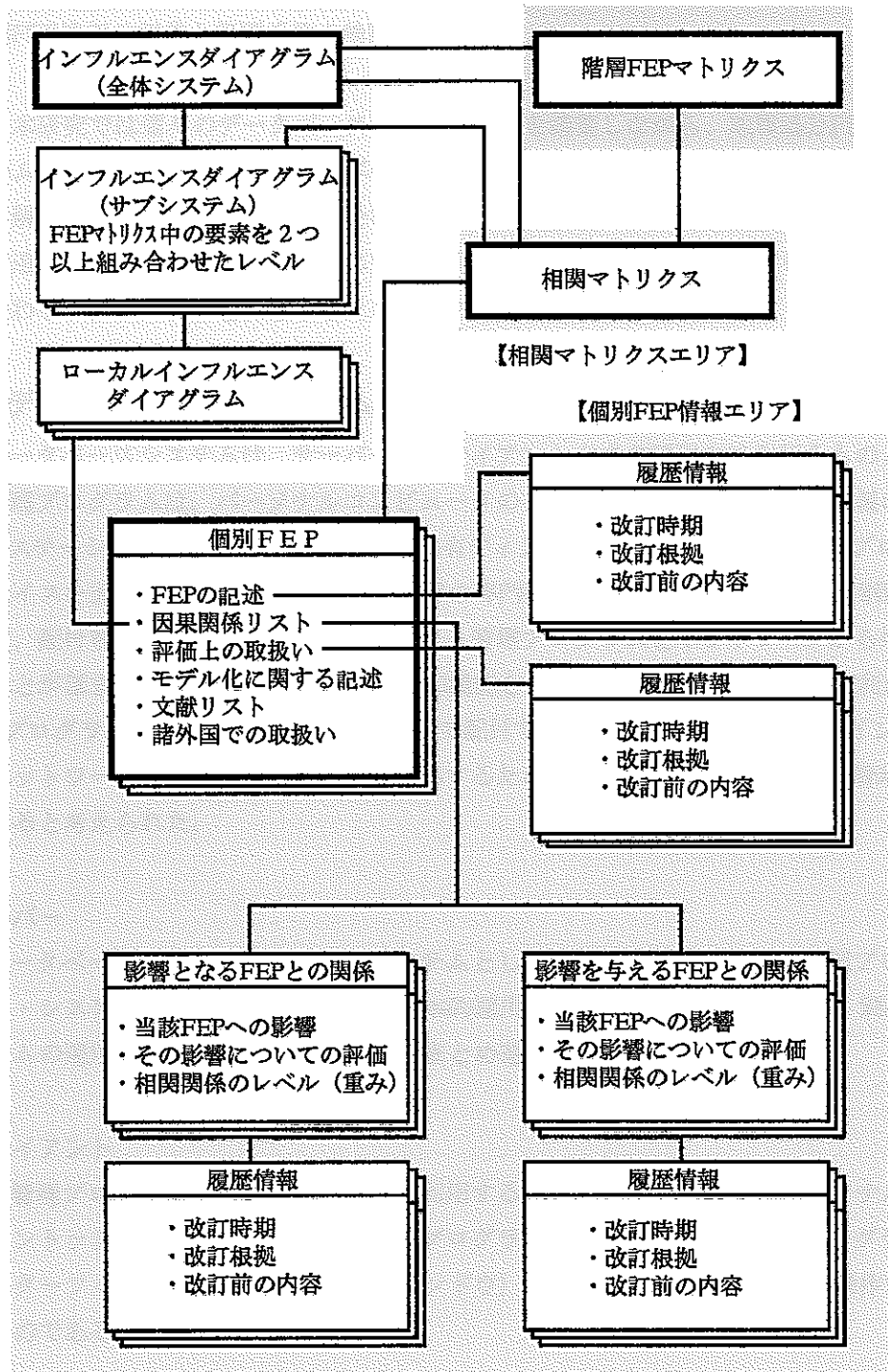


図 1-7 FEP情報データベース構成

FEP情報データベースを効率的に利用可能とするために、下記に示す設計検討を行いシナリオ解析支援のための地層処分FEP情報データベースシステムの基盤を開発することとした。

- (1) データベース管理システムの開発
- (2) シナリオ解析支援手法の開発
- (3) 簡易FEPリスト管理プログラムの機能追加
- (4) 個別FEP情報の収集と管理手法の検討

以上から、本研究では個々のデータベースシステム要素を構築しながら、地層処分FEP情報データベースシステムの中心部分を占めるデータベース管理システムを開発するとともに、同システムを用いたシナリオ解析支援に係わる手法の開発を行った。また、簡易FEPリスト管理プログラムについて新たな機能を追加し、データベース管理システムに組み込みながら、データとなるシナリオ情報の収集・管理に係わるサブシステムを確立するための検討も行った。

1. 1 データベース管理システムの開発

FEP情報データベースシステムは、サーバー/クライアント方式の運用方法を行うものとしている。FEPリスト管理プログラムは、パーソナルコンピュータのクライアントで動作し、各情報の表示は、UNIXワークステーションのサーバーの管理する共有ディスクに対し、FEPリスト管理プログラムのインターフェイスを通じて行っている。今後、各界の専門家等に対するアプローチや個別FEP情報を得るためには、配付等の運用上の理由からFEPリスト管理プログラムをネットワークから切り離して利用できることが望ましいと考えられたため、追加機能として別途スタンド・アロンで利用可能なFEPリスト管理プログラムを作成し、報告会等において配付できるようにした。将来は、インターネット等、公共ネットワークを通じてFEPリストを収集するための機能提供するFEPリスト管理プログラムが求められると考えられた。

(1) サーバー

FEP情報データベースシステムをサーバーシステムとして位置付け、FEPリスト管理プログラムをクライアント・システムとして想定した場合の基本的運用・操作手法について検討し、別添に示すサーバーシステムの運用情報収集管理要領書に取りまとめ運用基盤を整えた。

(2) クライアント

FEPリスト管理プログラムは、クライアントで利用するものとし、動作環境をパーソナルコンピュータのマッキントッシュとした。FEPリスト管理プログラムは、目的とするFEP情報をグラフィクス・ユーザーインターフェイス（グラフィクス・ウィンドウ）を用いてユーザーライクな操作で効率的に引き出せるものである。

配布用のFEPリスト管理プログラムは、ネットワークから切り離し、パーソナル・コンピュータ版としてFEPリンクド・リストとなる情報を集めるために各界の学識経験者に配付する。従って、それにより収集された情報をFEP履歴データとして想定し、サーバーへの登録検査等の運用手続きについて検討し、別添に示すFEPリスト管理プログラム情報収集管理要領書に取りまとめ配付の準備を行った。

1. 2 シナリオ開発支援機能にかかわる関連情報処理技術の予備検討

地層処分FEP情報データベース・システムは、処分の安全性に係わる性能評価シナリオを開発するための基盤情報を収集管理するとともに、評価のための妥当なシナリオを開発する作業を支援する情報処理機能を提供する総合的な地層処分性能評価シナリオ開発のための情報システムとして開発するものである。平成8年度は、サーバー/クライアント方式によるFEPリストの収集と管理の一元化に係わる技術を中心とした研究開発作業に合わせて、今後の開発課題となるシナリオ開発支援機能について関連する海外の情報等を参考に予備的に策定した。

1. 2. 1 確率論的評価

Event Tree, Fault Treeによる確立論的解析手法は、複数の特定の振るまいをすると考えられる個別の事象・現象が、個々に関連し影響しあって、一つの動的な系（システム）を構成するという考え方からシステム全体の振るまいを評価する手法である。この方法は古くから研究されており、原子力発電所や再処理工場での確率論的安全解析（PSA: Probabilistic Safety Analysis）として知られている。

これらは、いずれも想定事故に沿ったシナリオに基づいて、原子力施設の安全性を評価するためのイベント・ツリー、フォルト・ツリーを機器データベース等から組み上げ、それらに沿って想定事象の発生確率を系統立てて評価する手法である。地層処分に於ては、対象となる処分システムが原子力施設のように純工学的システムでなく、むしろ天然自然を対象としたシステムであるため、FEPリストから抽出されるインフルエンス・ダイアグラムの関係情報を基盤として事象を示すデータベースの特定が難しく新たな手法の開発と知験が必要と考えられる。（参考文献1-4）

1. 2. 2 インフルエンス・ダイアグラムとFEPリストによるシナリオ開発

インフルエンス・ダイアグラムとFEPリストによるシナリオ解析機能は、シナリオ解析の基本的な機能である。地層処分FEP情報データベース・システムの開発においては、この手法（参考文献5）をシナリオ開発支援機能の基本とした。FEPリストは、各界の学識経験者より集められる評価シナリオを文字（文書ファイル情報）形式データとして保持するとともに、相互に影響する要因についてのリンク（関係情報）データを有するものとした。インフルエンス・ダイアグラムは、このリンクより生成されるグラフである。このグラフは、情報構造としては大規模なネットワークを含む有向グラフとして考えられる。初期の研究段階では、この有向グラフは多重辺やループを含まない単純有向グラフとして出発すると考えられるが、シナリオ解析、個別現象解析に係わる研究が進むに従って、例えば、自己回帰的に影響する事象のようなシナリオが生じる可能性があるため、抽出や作図等の作業においては、多重辺、ループを含むグラフ探索アルゴリズムを今後検討する必要がある。

この方法は、予想される限りのシナリオについてデータベースに記述し、個々の影響要因に従って個別現象評価のためのシナリオを抽出するという、一連の抽出作業をシナリオ全体から行えるという点で厳密であり、本データベース・システムの解析機能として最初に開発の必要な機能であるが、その分、処理する情報量は膨大であることから、情報処理技術に依存する量も大きなものと考えられるため、並列処理等最新の情報処理技術の応用が求められる技術である。

1. 2. 3 Rock Engineering Systems手法によるシナリオ開発

Rock Engineering Systems手法は、参考文献-5にて示されたシナリオ開発手法であり、FEP手法からバリアの性能評価に係わる部分を中心として抽出し、PS (Process System) と呼ばれる安全評価事象の連成マトリクスを組立ることにより評価シナリオを組み立てる方法である。この方法は、より詳細に個別現象解析のための連成計算モデル等を組立の場合にも有効な指針を与えるものである。

例えば、将来RESのInteraction Matricsの考え方を連成シミュレーションの為の解析コード実行管理等としても応用できると考えられる。RES法によるシナリオ開発は、処分に係わる岩盤周辺のバリア性能に係わる現象を連成のマトリクスとして考えたProcess Systemを中心としたシナリオ評価となるため、その殆どが工学的対象と考えられる。

1. 2. 4 その他、認知科学的手法によるメタレベル・シナリオ開発

メタレベル・シナリオ開発機能とは、データベース・システムを用いてシナリオ解析に係わる情報を収集整理するにあたり必要となる2次的な情報と情報処理機能である。例えば、Fault Tree解析を行うためには解析対象となるTreeを構築する必要があるが、このTreeの構築は、多岐に渡る専門家知識をデータベース化して利用することを一般に必要とする(参考文献6)。また、FEPリストを更新した場合、インフルエンス・ダイアグラムへの影響を再度追跡しなければならない。RESのPSにおけるInteraction Matrixやインフルエンス・ダイアグラムに対する人的な変更等は、変更論拠と変更の妥当性等が評価される事により、工学的判断の正当性が評価されるものであり、このような操作は一般に専門家の知験をもってなされるものであるが、データベース・システムのカバーする知験の範囲は膨大な領域に及ぶものと予想される(参考文献7)。

従って、データベース・システムの開発、運用に係わる作業の品質を保証するための情報処理システムによる支援機能と決定論拠等の情報管理機能が必要となる。それらの機能は、認知科学や人工知能研究分野から得られる成果に属するものが多いため、同研究分野の成果の応用を研究することが望ましい。それらの支援機能を実現するための情報である知識情報等をメタ情報として扱い、FEPリスト情報、インフルエンス・ダイアグラム情報、RES/PS Interaction Matrix情報の外郭情報として位置付け、シナリオ開発にかかわる広範な方法論を包含する地層処分FEP情報データベース・システムを設計することが望ましい。情報処理レベルから、それらの課題を概観すると、目標システムは評価シナリオ開発を支援する意志決定システムのモデルとしてとらえることができる(参考文献8)。類似課題として参考になりそうな図書を(参考文献9-11)に示す。

1. 3 簡易FEPリスト管理プログラムの機能追加

パーソナル・コンピュータによる簡易FEPリスト管理プログラムについて、以下に示す操作機能等の改良整備を行い、より効率的なFEPリスト管理作業に資する下記の作業を実施した。機能追加の結果、FEPリスト・データを更新することにより、インフルエンス・ダイアグラム等、表示情報も自動更新され、手作業の合理化と誤り防止効果が得られ、FEP情報管理作業の効率化を計ることができた。なお、これまでに作成された簡易FEPリスト管理プログラム(名称: MacFEP)と区別するため、機能追加されたMacFEPの名称をCASCADEとする。

(1) インフルエンス・ダイアグラム表示機能の改良

インフルエンス・ダイアグラムには、全体インフルエンス・ダイアグラムとサブ・インフルエンス・ダイアグラム、及びローカル・インフルエンス・ダイアグラムがある。MacFEP（FEPリスト管理プログラム）では、サブ・インフルエンス・ダイアグラムとローカル・インフルエンス・ダイアグラムの表示が行える。MacFEPが扱うサブ・インフルエンス・ダイアグラムとローカル・インフルエンス・ダイアグラムは、表示用のデータとして、別途市販ソフトウェアで個々に作図し、プログラム中にそれらの関連を記述している。ローカル・インフルエンス・ダイアグラムについては、個別FEPリストから因果関係情報を人的に分析して個別FEP単位でインフルエンス・ダイアグラム・データを市販ソフトウェアで作図しプログラム中に記述している。そのことから、FEPリストの見直し作業等により因果関係情報の変更が生じた場合には、その都度ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データを再作成しプログラムを変更しなければならなかった。このようにインフルエンス・ダイアグラムの表示情報について、MacFEPではFEPリスト・データの記述情報と表示情報の間の関係の記述を手作業で行う必要があったが、これを自動化しFEPリスト管理プログラムがFEPリスト・データを解析することにより自動的に関係を維持することが可能なよう機能追加した。

(2) マトリクス表示機能の改良

MacFEP（FEPリスト管理プログラム）の階層マトリクス・ウィンドウを構成している各ボタンや表題等のコントロール・オブジェクトは、別途市販ソフトウェアで個々に作図した固定データとして、MacFEPのリソースとしてプログラム内に記述されている。そのことから、要素番号（マトリクスで表現する時のFEP番号）や要素名（要素番号に対応するFEP情報）等に変更が生じた場合は、プログラム本体を修正しなければならず汎用性にかけていたことにより、これを改良した。

(3) FEPリスト内容表示機能の改良

MacFEPのFEPリスト内容表示は、サブインフルエンス・ダイアグラム表示ウィンドウからの個別FEPリストの表示と、ローカル・インフルエンス・ダイアグラム表示ウィンドウから表示される因果情報の影響内容である。これらの表示されるFEP内容（リスト）は、ワードプロセッサで作成された文書ファイルをMacFEPに順応させた形式で個別に手作業でファイル分けし、MacFEP用データとして作成している。従って、ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データと同様に個別FEPリストに変更が生じた場合は、その都度データの再作成を手作業にて行わなければならなかった。従って、それらを改良整備し、データベースによってFEPリストを構造化することにより、様々な視点からFEPリストを取りだし表示を行えるようにした。

(4) その他新機能の追加

FEPリストの更新を管理する機能及びインフルエンスの関連をチェックし、データベースに登録されているFEP情報の妥当性を視覚的に評価するためのFEP情報チェック機能を開発した。これにより、FEP情報とインフルエンスの関係の妥当性やFEPデータそのもののタイプミス等を確認する具体的な手段を機能として提供することを可能とした。

本章の参考文献

- 1) Sensitivity of the Engineered Barrier System (EBS) Release Rate to Alternative Conceptual Models of Advective Release from Waste Packages Under Dripping Fracture, J.H. LEE, J.E. ATKINS, J.A. McNEISH, and VALLIKAT. INTERA Inc. U.S.A
- 2) Stochastic Simulation of Pitting Degradation of Multi-Barrier Waste Container in The Potential Repository at Yucca Mountain. J.H. Lee, J.E. Atkins and R.W. Andrews. INTERA Inc. U.S.A
- 3) Probabilistic Multiphase Flow Modeling Using The Limit - State Method. Yanyong Xiang, Srikanta Mishra, M&O/INTERA Inc. U.S.A
- 4) PRECIS - Probabilistic Risk Assessment System. American Society of Testing and Materials, David M. Peterson, Robert G. Knowlton, Jr. INTERA Inc. U.S.A
- 5) SKB Technical Report 94-28, Scenario Development Methodologies, Torsten Eng, John Hudson, Ove Stephansson, Kristina Skagius, Marie Wiborgh. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Sweden
- 6) Expert System to Support Geochemical Modeling, F.J. Pearson, Jr., B. Skytte Jensen, and Andreas Haug. INTERA Inc. U.S.A
- 7) The use of Probability elicitation in the High - Level Nuclear Waste regulation Program, Aaron R. DeWispelare, L. Tandy Herren, Robert T. Clemen, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, U.S.A
- 8) Models for Decision Making : An Overview of Problems, Tools and Major Issues, Gautam Mitra, Brunel University, U.K
- 9) Mathematical Models as a Tool for the Social Science, Bruce J. West, Gordon and Breach Science Publisher. U.S.A
- 10) Methodology for Large Scale Systems, Andrew P. Sage, McGraw - Hill Book Company. U.S.A
- 11) Military Applications of Modeling, Selected Case Study, Francis P. Hoerber, Gordon and Breach Science Publisher. U.S.A
- 12) 動燃事業団におけるFEPデータベースの現状

2 地層処分FEP情報データベース・システムの開発

パーソナル・コンピュータによるシナリオ管理システムの開発経験をもとに、ネットワークシステムを利用した分散サーバー/クライアント方式FEPデータベースの基盤を検討した。それにより、今後生じてくる膨大なFEP関連データの管理基盤を試作した。

データベースと呼ばれるソフトウェアは、データベース構造やデータモデルおよび搭載する計算機によりリレーショナル・データベース、オブジェクト指向型データベース、知的データベースおよびデータベースマシンといった名称により種々存在している。また、それらを動作運用させるためのソフトウェア環境として、データベース・アクセスツールやデータベース検索ツール等もこれに付随して様々である。本研究課題である地層処分FEP情報データベースシステム（本書では以後、「本システム」と称す）は、データ集積やデータ管理のための手段としてデータベース・ソフトウェアを利用することとし、データベース・ソフトウェアそのものの開発を目的としたものではない。地層処分安全評価シナリオ解析のためのFEPリストやインフルエンス・ダイアグラムといったFEP情報をデータとして集積し管理を行い、専門家や研究者が各々のニーズを満足しつつ共用できるようなシステムであることと、多岐に渡る専門分野のユーザーの異なった見方で目的とするFEP情報を引き出せるシステムとすることを主な目的としている。なお、本書ではデータベース・ソフトウェアについての詳細な理論や定義は割愛し、シナリオ解析支援のためのFEP情報のデータ処理方法と管理に主眼をおいている。

2. 1 データベース管理システムの開発

データベース管理システムは、本システムの中心となるソフトウェア部分である。本システムは、FEPに関するデータ（個々のFEPの内容、FEP間の相関等の情報）に対するアクセスや個々の情報の改訂、改訂による履歴管理等の処理を一括して行う機能を基本とするとともに、新機能を追加し改良したFEPリスト管理プログラムを組み入れるものとした。特に、本システムでは、管理する情報（データ）の構造（形式、書式等）に応じて入出力機能等が異なることが想定されるため、柔軟な情報構造化を図っていくことが重要である。そのことから、システム全体の情報構造について設計検討を行い、データベース管理システム基盤の構築を以下のとおり行った。

- (1) データ構造設計検討
 - a. リンクド・リストの設計検討
 - b. インフルエンス・ダイアグラムの設計検討

- (2) データアクセス機能設計検討
 - a. リンクド・リストの設計検討
 - b. インフルエンス・ダイアグラムの設計検討

- (3) 操作機能設計検討
 - a. 主操作ウィンドウの設計検討

- b. FEPリストおよびリンク組み立て表示ウィンドウの設計検討
- c. インフルエンス・ダイアグラム表示ウィンドウの設計検討
- d. システム保守ウィンドウの設計検討

(4) サーバー/クライアント機能設計

- a. ネットワークを通じたファイル共有機能の利用方法
- b. 情報のインポート/エクスポート機能の設計検討

2. 1. 1 データ構造設計検討

本システムにより管理および処理する情報は、多方面からのシナリオ評価要求に対応するため、リンクド・リスト・データとインフルエンス・ダイアグラム・データに分割して、その書式等のデータ構造ならびに情報の関連等のスキーマについて設計検討し、以後のFEP情報データベースソフトウェア開発の基盤として整備することとした。

これまでに作成・蓄積されてきたFEP情報には、実験や解析等から得られた成果報告や海外研究機関等の資料を整理し、ワードプロセッサで作成されてきた文書形式の個々のFEPリストとパーソナルコンピュータの市販ソフトウェアで作成されたピクチャ形式のインフルエンス・ダイアグラム・データがある。このうち、FEPリストはインフルエンス・ダイアグラム生成に必要な情報を含んでおり、また個々のFEPリストとして管理可能であると考え登録データとして検討することとした。なお、これまでに作成・蓄積されてきたインフルエンス・ダイアグラム・データは、その性質上FEPリストの内容の変更に連動して再作成する必要がある、また市販ソフトウェアに依存した独自のファイル形式を用いていることから登録データとしての標準化は困難として、FEPリストをデータの基盤としデータベース化の検討を行うものとした。下記のFEPリストは、ワードプロセッサで作成されたニアフィールド関連の内容を示したものである（注：FEPリストは平成8年7月時点）。

FEPリスト例 (Start) ----->

H-4 NF 母岩の化学的現象・特性

● H-4.1 NF母岩中の地下水化学

1.FEPに関する記述とその評価

1)内容【当該FEPの説明】

ニアフィールド母岩中の地下水は、ファーフィールドと同様に地球化学的変遷を経るとともに、処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素と反応しながら、ベントナイト中に侵入することが想定される。

2)原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

(B)F-4.1 FF母岩中の地下水化学→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

【当該FEPへの影響】

還元性と考えられるアーフィールドの地下水水質は、処分場の建設や操業により変化を受けているNF母岩中の地下水化学に影響を与える。

【評価】

Fe(II)濃度に富む還元性地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素により酸化

され、ゲーサイト等のFe(II) 鉱物を生成するとともに、pH が減少しEhは上昇する。しかし閉鎖後1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

(月)H-4.3 NF母岩中のガス(空気)→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素は、pH やEhといった母岩中の地下水水質を変化させる。

〔評価〕

NF母岩中に取り込まれた酸素については、母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質により消費される。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

(火)H-4.4 NF母岩中の微生物の活動→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

深部地質環境中に存在する微生物としては種々のものが考えられるが、深部地下水中の溶存酸素濃度が一般に低いことことから、嫌気性のバクテリアが主なものと考えられる。また処分場の建設や操業中において、酸素や二酸化炭素とともに微生物がニアフィールド母岩中に入り込むことも考えられる。これら微生物は、地下水の水質形成に係る多様な反応に対して触媒として作用することにより、不均質または加速された進展をもたらす。微生物による地下水化学への影響は、錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速などが想定される。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素によるFe(II) や硫化物の酸化や閉鎖後のFe(III) や硫酸の還元反応が加速されることが考えられる。しかし、微生物の活動にとって必要な栄養(有機物)が地下深部では限られていることからその効果は一様ではないと考えられる。

(水)B-4.1 ベントナイト空隙水化学→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

B-4.1 参照

(木)H-6.2 NF母岩中のコロイド→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

膨潤したベントナイトの可塑性により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。さらに流入するベントナイトはソフトゲルを形成し、その先端ではベントナイトコロイドが地下水流により運ばれる。したがって、地下水水質はベントナイトにより影響を受ける事になる。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければ開口裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著でないと考えられる(動燃事業団, 1992)。したがって、コロイドの形成によるNF母岩中の地下水化学への影響は有意ではない。

(金)H-6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

NF母岩マトリックス中の溶質の拡散は、鉱物の溶解や酸化還元反応とともに地下水の水質に影響する。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による酸化還元反応は、一般に遅いため、拡散と化学反応を練成させた評価が必要である(笹本, 1996)。しかしながら、地下水の流速は化学反応と比較し、一般に非常に小さく、平衡論による評価が可能と考えられる(油井ら, 1992)。

(土)H-1.1 NF母岩の温度→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

NF母岩中における温度変化は、鉱物-水反応や鉱物の変質に影響を与えるため、NF母岩中の地下水化学に影響を与える。

〔評価〕

母岩中の地下水化学は、25℃の標準状態での熱力学データを用いて評価されている(油井ら, 1992)。地温程度(50~60℃)での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

例H-5.1 NF母岩中の地下水の放射線分解→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

NF母岩中を移行する核種が崩壊することによって、水の放射線分解が生じ、NF母岩中の地下水化学に影響を与えることが想定される。

〔評価〕

オーバーバックによる核種閉じ込め機能が維持されている限り、 α 線と β 線は完全に遮蔽されるが、 γ 線と中性子線はオーバーバックを透過してベントナイトへ達する。またオーバーバックによる核種閉じ込め機能が喪失する時点(約1000年)においては、インベントリの大半を占める短半減期の核種が減衰しているため、 β 線、 γ 線、中性子線の影響は無視することができ、長半減期の核種の α 崩壊による影響のみが残ることになる。したがって、ガラス固化体表面やベントナイト中を拡散する核種からの α 線による放射線分解を考慮することになるが、単純な解析(動燃事業団, 1992)によれば、過酸化水素といった放射線分解によって生成するすべての酸化剤は炭素鋼製オーバーバックの腐食生成物で緩衝されることが示されている。NF母岩中を移行する核種の放射線分解による影響はガラス固化体表面に比べ、かなり少ないため、無視できると考えられる。

例H-6.3 NF母岩中のガス移行→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

オーバーバックの腐食に伴う水素ガスの発生、移行は、Eh等のNF母岩中の地下水化学に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

水素ガスは、元来不活性であり、NF母岩中の地下水化学に与える影響は無視できる。

例H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pへの影響〕

NF母岩の鉱物組成や表面特性は、鉱物-水反応により、EhやpH等のNF母岩中の地下水化学に影響を与える。

〔評価〕

NF母岩中に取り込まれた酸素については、母岩中の鉄鉱物等の還元性物質により消費され、一般にEhは低下し、pHは上昇する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、これら鉄鉱物等に加えて、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱、オーバーバックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

3)結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

(E)H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.3 NF母岩中のガス(空気)

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

母岩中の地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素を酸化還元反応や吸収により消費してゆく。

〔評価〕

母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質は、NF母岩中に取り込まれた酸素を消費する。。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーバックの腐食により酸素等の酸化剤は完全に消費されるものと推定される(McKinley, 1989)。

(月)H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水化学は、鉱物の溶解・沈澱や酸化還元反応により、坑道周辺の岩盤の空隙特性を変化させることにより、溶質の拡散に影響する。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による酸化還元反応は、亀裂表面や岩盤の空隙をゲーサイト等の鉄(III)鉱物で被覆したり、埋めたりする。したがって、溶質の拡散を評価する上でこれらの変質効果を考慮する必要がある。

③H-4.1 NF母岩中の地下水化学→B-4.1 ベントナイト空隙水の化学

B-4.1 参照

④H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.2 NF母岩中のコロイド

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

地下水により膨潤したベントナイトの可塑性や地下水による浸食により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。さらに流入するベントナイトはソフトゲルを形成し、その先端ではベントナイトコロイドが形成され、地下水流により運ばれる。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければ開口裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著でないと考えられる(動燃事業団, 1992)。したがって、NF母岩中の地下水化学によるコロイドの形成への影響は有意ではない。

⑤H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.4 NF母岩中の微生物の活動

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

閉鎖初期の不飽和段階では、酸化雰囲気であり好気性細菌が、飽和段階では還元性雰囲気となるため嫌気性細菌が活動する。

〔評価〕

微生物のpHやEhの耐性領域図が作成されており(Fukunaga et al, 1995), それによれば不飽和段階では、鉄酸化細菌、イオウ酸化細菌等の好気性細菌が、飽和段階では、硫酸塩還元菌等の嫌気性細菌が活性となる。

⑥H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.6 天然コロイドの形成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水化学に応じて、鉄コロイド、シリカコロイド、アルミニウムコロイド等の天然コロイドが形成される。

〔評価〕

NF母岩中に存在する天然コロイドに比べて、人工バリアであるベントナイトから形成されるベントナイトコロイドは多く、支配的になることが想定される。

⑦H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.3 NF母岩中のガス移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水は、人工バリアより放出されるガスを吸収することによりガス移行に影響を与える。

〔評価〕

人工バリアより放出されるガスとしては、水素ガスが考えられるが水に対する溶解度が小さくため、ガス移行に与える影響は無視できる。

⑧H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.1 NF母岩中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水水質は核種の化学形態や鉱物の表面特性を支配するため、吸着や拡散といった核種移行に

影響を与える。

〔評価〕

NF母岩中の地下水水質に対して、核種の化学形態は熱力学データにより評価されており(油井ら,1992)それに基づく分配係数の議論がなされている(澁谷ら,1992)。さらに核種の熱力学データ、分配係数の整備や鉱物の表面特性を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められている。

⑨H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.2NF母岩の鉱物組成・特性

〔当該FEPが及ぼす影響〕NF母岩中の地下水化学は、鉱物-水反応によりNF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

〔評価〕

NF母岩の地下水水中に取り込まれた酸素は、母岩中の鉄鉱物等を酸化させゲサイト等の鉄酸化鉱物を表面に形成する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本,1996)ため、鉄鉱物を有意に含む母岩の表面は、これら鉄酸化鉱物の被膜でコーティングされる。

4)当該FEPの評価上の扱い

(想定期間：閉鎖後)

処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた空気中の酸素や二酸化炭素と地下水との反応については、ベントナイトや炭素鋼製オーバーバックの腐食を含めたニアフィールド全体の体系により解析を行っている(油井ほか,1992)。ここでのモデル(Wanner,1986)ではイオン交換や随伴鉱物の反応を考慮に入れた。その結果処分場閉鎖後ベントナイト中に残留している酸素や二酸化炭素については、黄鉄鉱の酸化や水への吸収により消費されることが示されている。最終的には地下水はベントナイトにより緩衝され比較的高pHで還元性へとシフトすることとなる。坑道掘削に伴う岩盤内への酸素の影響範囲は、坑道壁面より数m程度である(笹本,1996)。

2.モデル化に関する記述

NF母岩中の地下水水質は、平衡論モデルによる深部地下水水質の導出に加え、特に亀裂性岩盤における掘削影響による酸素の影響を移流・分散・化学反応連成モデルにより試算する。パラメータとしては、酸化還元反応速度、地下水流速、空隙率、基本定数としては鉱物等の熱力学データである。

3.文献リスト

- ・ 動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-, PNC TN1410 92-081
- ・ Fukunaga, S., et al(1995): Experimental Investigation of the Active Range of Sulfate-Reducing Bacteria for Geological Disposal, Scientific Basis for Nuclear waste Management XVIII, pp173-180
- ・ McKinley et al(1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26
- ・ 笹本ら(1996): 準備中
- ・ 澁谷ら(1992): ベントナイト及び岩石中での核種の分配係数, PNC TN8410 92-163
- ・ 油井ら(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, PNC TN8410 92-162.
- ・ Wanner, H.(1986): Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation, EIR-Bericht Nr.589

4.諸外国での取扱い

● Kristallin- I (Nagra, 1994)

Kristallin- I では、NF母岩の地下水化学に着目した評価は行われていない。しかし、掘削から閉鎖、処分に至る一連のNF化学の定性的評価が行われている(McKinley et al,1989)。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

ワードプロセッサで作成されたFEPリストは、ワードプロセッサ内の磁気ディスクに文書ファイルとして格納されている。FEPリストは、階層マトリクス化（特性・プロセス/生物圏を除く処分システム：FEPリストは地下水シナリオの基本ケースに限定している）し整理している。文書ファイルの階層マトリクスは、ニアフィールド母岩/熱的現象・特性：F-1、ベントナイト/力学的現象・特性：H-3といった、処分システムを構成する場で生じるFEPを一括りにした記号（本書では「要素番号」と定義する）で区分されており、上記の例は階層のニアフィールド母岩/化学的現象・特性（要素単位番号：H4）の文書ファイルの内容を示したものである。図2. 1-1は、階層FEPのマトリクス項目と要素番号を示したものである。

	ニアフィールド母岩	ニアフィールド母岩	緩衝材	オーバーパック	ガラス固化体
熱的現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
放射線学的現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
物質移動現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6

図2. 1-1 階層FEPマトリクス

図2. 1-1の階層FEPマトリクス内の各要素は、それぞれサブ階層（木構造）となっており要素単位でサブ要素を含んでいる。図2. 1-2は、ニアフィールド母岩に関連する要素を木構造として図化したものである。

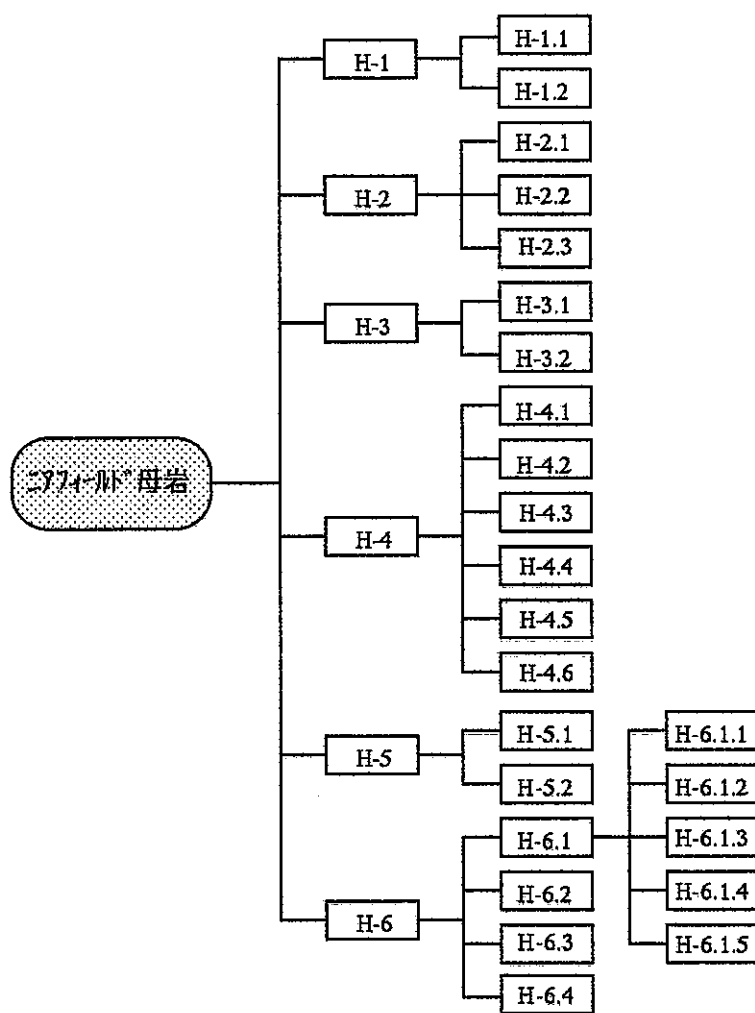


図2. 1-2 ニアフィールド母岩関連の木構造

図2. 1-3の木構造で下位要素を持たない各要素 (H-4.1やH-6.1.2等) を個別FEPと呼ぶ。図2. 1-3に各要素番号とFEP名称を示す。

F-1 ニアフィールド母岩の熱的現象・特性	H-1 ニアフィールド母岩の熱的現象・特性
F-1.1 ニアフィールド母岩の温度	H-1.1 ニアフィールド母岩の温度
F-1.2 ニアフィールド母岩の熱物性	H-1.2 ニアフィールド母岩の熱物性
F-2 ニアフィールド母岩の水理的現象・特性	H-2 ニアフィールド母岩の水理的現象・特性
F-2.1 広域地下水流動	H-2.1 ニアフィールド母岩の地下水流動
F-2.2 広域水理地質構造	H-2.2 ニアフィールド母岩の水理地質構造
	H-2.3 ニアフィールド母岩の不飽和
F-3 ニアフィールド母岩の力学的現象・特性	H-3 ニアフィールド母岩の力学的現象・特性
F-3.1 初期地圧	H-3.1 ニアフィールド母岩の応力
F-3.2 ニアフィールド母岩の力学物性	H-3.2 ニアフィールド母岩の力学物性

<p>F-4 フア-フィールド'母岩の化学的現象・特性</p> <p>F-4.1 フア-フィールド'母岩中の地下水化学</p> <p>F-5 フア-フィールド'母岩の放射線学的現象・特性</p> <p>F-5.1 断層破碎帯中の地下水の放射線分解</p> <p>F-5.2 断層破碎帯周辺の岩石の放射線損傷</p> <p>F-6 フア-フィールド'母岩の物質移動現象・特性</p> <p>F-6.1 断層破碎帯中の核種移行</p> <p>F-6.1.1 移流/分散</p> <p>F-6.1.2 拡散</p> <p>F-6.1.3 収着</p> <p>F-6.1.4 沈殿/溶解</p> <p>F-6.1.5 希釈</p> <p>F-6.2 断層破碎帯中のコロイドの移行</p> <p>F-6.3 断層破碎帯中のガス移行</p>	<p>H-4 ニアフィールド'母岩の化学的現象・特性</p> <p>H-4.1 ニアフィールド'母岩中の地下水化学</p> <p>H-4.2 ニアフィールド'母岩の鉱物組成・特性</p> <p>H-4.3 ニアフィールド'母岩中のガス(空気)</p> <p>H-4.4 ニアフィールド'母岩中の微生物の活動</p> <p>H-4.5 ニアフィールド'母岩中の有機物</p> <p>H-4.6 天然コロイドの形式</p> <p>H-5 ニアフィールド'母岩の放射線学的現象・特性</p> <p>H-5.1 ニアフィールド'母岩中の地下水の放射線分解</p> <p>H-5.2 ニアフィールド'母岩の放射線分解</p> <p>H-6 ニアフィールド'母岩の物質移動現象・特性</p> <p>H-6.1 ニアフィールド'母岩中の核種移行</p> <p>H-6.1.1 移流/分散</p> <p>H-6.1.2 拡散</p> <p>H-6.1.3 収着</p> <p>H-6.1.4 沈殿/溶解</p> <p>H-6.1.5 希釈</p> <p>H-6.2 ニアフィールド'母岩中のコロイドの移行</p> <p>H-6.3 ニアフィールド'母岩中のガス移行</p> <p>H-6.4 ニアフィールド'母岩空隙水の溶質の移行</p>
<p>B-1 ベントナイトの熱的現象・特性</p> <p>B-1.1 ベントナイトの温度</p> <p>B-1.2 ベントナイトの熱物性</p> <p>B-1.3 ベントナイトの熱膨張</p> <p>B-2 ベントナイトの水理学的現象・特性</p> <p>B-2.1 ベントナイトの冠水</p> <p>B-2.2 ベントナイトの水理特性</p> <p>B-3 ベントナイトの力学的現象・特性</p> <p>B-3.1 ベントナイトの膨潤</p> <p>B-3.2 ベントナイトの応力</p> <p>B-3.3 ベントナイトの力学物性</p> <p>B-3.4 ベントナイトの流出</p> <p>B-3.5 ベントナイトのクリープ</p> <p>B-4 ベントナイトの化学的現象・特性</p> <p>B-4.1 ベントナイトの空隙水の化学</p>	<p>OP-1 オバ-パツクの熱的現象・特性</p> <p>OP-1.1 オバ-パツクの温度</p> <p>OP-1.2 オバ-パツクの熱物性</p> <p>OP-1.3 オバ-パツクの熱膨張</p> <p>OP-2 オバ-パツクの水理学的現象・特性</p> <p>OP-2.1 オバ-パツクと空隙水の接触</p> <p>OP-2.2 腐食生成物の水理特性</p> <p>OP-3 オバ-パツクの力学的現象・特性</p> <p>OP-3.1 オバ-パツクの応力</p> <p>OP-3.2 オバ-パツクの力学物性</p> <p>OP-3.3 オバ-パツクの沈下</p> <p>OP-3.4 オバ-パツクの腐食膨張</p> <p>OP-4 オバ-パツクの化学的現象・特性</p> <p>OP-4.1 オバ-パツクの腐食</p> <p>OP-4.1.1 全面腐食</p> <p>OP-4.1.2 孔色</p> <p>OP-4.1.3 すきま腐食</p>

<p>B-4.2 ベントナイトの鉱物組成・特性</p> <p>B-4.3 ベントナイト中のガス（空気）</p> <p>B-4.4 ベントナイト中の微生物</p> <p>B-4.5 ベントナイト中の有機物</p> <p>B-4.6 ベントナイトコロイドの形成</p> <p>B-4.7 塩の蓄積</p> <p>B-5 ベントナイトの放射線学的現象・特性</p> <p>B-5.1 ベントナイトの空隙水の放射線分解</p> <p>B-5.2 ベントナイトの放射線損傷</p> <p>B-6 ベントナイトの物質移動現象・特性</p> <p>B-6.1 ベントナイト中の核種移行</p> <p>B-6.1.1 拡散</p> <p>B-6.1.2 収着</p> <p>B-6.1.3 沈殿／溶解</p> <p>B-6.2 ベントナイトによるフィルター効果</p> <p>B-6.3 ベントナイト中のガス移行</p> <p>B-6.4 ベントナイト空隙水中の溶質の移行</p>	<p>OP-4.1.4 大気腐食</p> <p>OP-4.1.5 応力腐食割れ(含む水素脆化)</p> <p>OP-4.2 水素ガスの発生</p> <p>OP-4.3 腐食生成物の生成</p> <p>OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成</p> <p>OP-5 オーパーツの放射線学的現象・特性</p> <p>OP-5.1 放射線の遮蔽</p> <p>OP-5.2 オーパーツの放射線損傷</p> <p>OP-5.3 腐食生成物空隙水の放射線分解</p> <p>OP-5.4 腐食生成物の放射線損傷</p> <p>OP-6 オーパーツの物質移動現象・特性</p> <p>OP-6.1 腐食生成物中での核種移行</p> <p>OP-6.1.1 拡散</p> <p>OP-6.1.2 収着</p> <p>OP-6.1.3 沈殿／溶解</p> <p>OP-6.2 腐食生成物のコロイドの移動</p> <p>OP-6.3 腐食生成物中のガス移行</p>
<p>G-1 ガラス固化体の熱的現象・特性</p> <p>G-1.1 ガラス固化体の温度</p> <p>G-1.2 ガラス固化体の熱物性</p> <p>G-1.3 崩壊熱の発生</p> <p>G-2 ガラス固化体の水理学的現象・特性</p> <p>G-2.1 ガラス固化体と空隙水の接触</p> <p>G-3 ガラス固化体の力学的現象・特性</p> <p>G-3.1 ガラス固化体の応力</p> <p>G-3.2 ガラス固化体の割れ</p> <p>G-4 ガラス固化体の化学的現象・特性</p> <p>G-4.1 ガラス固化体の溶解 (含む腐食生成物の影響)</p> <p>G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学</p> <p>G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成</p> <p>G-5 ガラス固化体の放射線学的現象・特性</p> <p>G-5.1 ガラス固化体中での放射性崩壊</p> <p>G-5.2 ガラス固化体の放射線損傷</p>	

G-5.3	ガラス固化体周囲の空隙水の放射線分解
G-5.4	ガラス固化体のインベントリ
G-6	ガラス固化体の物質移動現象・特性
G-6.1	コングルエントな溶出
G-6.2	溶解度制限
G-6.3	ガラス固化体の溶解速度

図 2. 1-3 要素番号と個別FEPリスト項目 (平成8年7月時点)

個別FEPリストは、個別FEPそのものの内容と個別FEP間リンク（当該FEPが他のFEPに影響を与える、または影響を受ける）に関連する内容から構成されている。図 2. 1-4 は、個別FEPリストの構成項目であり、構成項目で、1.(2)、1.(3)因果関係記述と示している項目が個別FEP間リンクに関連する内容である。

個別FEP番号	個別FEPリスト名
1.	FEPに関する記述とその評価
(1)	FEPの記述
(2)	因果関係記述 (原因)
(3)	因果関係記述 (結果)
(4)	評価上の取扱い
2.	モデル化に関する記述
3.	文献リスト
4.	諸外国での取扱い

図 2. 1-4 個別FEPリストの構成

個別FEPリストは、シナリオ作成のもととなる情報であり、このリストをもって様々な分野の専門家による議論を通してシナリオで考慮する現象の網羅性の確認が行われる。リスト内容は議論からシナリオ確定に至るまで随時変更され、また変更理由履歴も必要であり、膨大な情報量になることが予測される。履歴情報保存により同じ要素番号で内容の変更された個別FEPリストも多く発生し、これに付随して個別FEP間の因果関係記述による連携も複雑となる。

本システムは、上記の問題を解決するために、これまでに作成・蓄積されてきた個別FEPリストをデータとして登録し、データベースでFEP情報を整理して柔軟なFEP情報管理やデータ処理を行えることを目的とする。ワードプロセッサで作成され蓄積されてきた図 2. 1-4 に示した構成のFEPリストは、ワードプロセッサ書式の文書ファイルであることから、登録用データとするためにANSI (米国規格協会) 制定の情報交換用標準符号ASCII形式 (American Standard Code for Information Interchange) テキストファイルに変更することとした。利用者が、本システムを用いて目的とするFE

P情報を得るためには、登録したデータの任意のアクセス、個別FEPリスト間のシステムによる連携が可能でなければならない。ASCII形式テキスト・ファイルとしたデータは、形式が異なるだけで体系は変わらず1ファイル1文書であり、いろいろな視点からFEPを見るために文書体系のファイルの構造化（考えられる処理に対応可能なようにファイルを分割）を検討した。

(1) 個別FEPリストの構造化

データベースは、複数の利用者のデータ（FEP情報）に対する様々な見方を取り出せるデータの集まりと定義できる。したがって、データ構造化とは、利用者のデータに対する様々な見方を把握しデータベース構造にすることである。FEP情報の構造化は、個別FEPリストをデータモデルとして検討した。データモデルは、データベースを構成するデータ構造の論理表現であり、データ項目のタイプとデータの種類およびデータ項目間の連関を示すものである。また、使用するデータベース・ソフトウェアやデータの物理的表現とは独立した形でデータ固有の特性を表現する。データモデルは、コンピュータやソフトウェアとは独立したものであり、データの特性について純粹に検討し表現したものである。個別FEPリストを考えた場合、図2. 1-4に示した個別FEPリストの構成は、データベースから見た場合にデータベースに構成されている各項目（データベース上では、FEPに関する記述や文献リストなど）を目的とする形でグループ化し、統合した物理的データ構造の結果といえる。データ項目をグループ化し統合させるデータベースへのアプローチを本書ではスキーマと呼ぶ。データモデリングを行うことにより、データは、実世界（目的とした物理的データ構造）における実体（データベース上のデータ項目）や実体間の関係に基づいてモデル化されるため、そのデータモデルに従ってコンピュータ上へのデータの格納が検討され、データを共有する多くのソフトウェアに対しデータに対する統一的な見方を提供することができる。

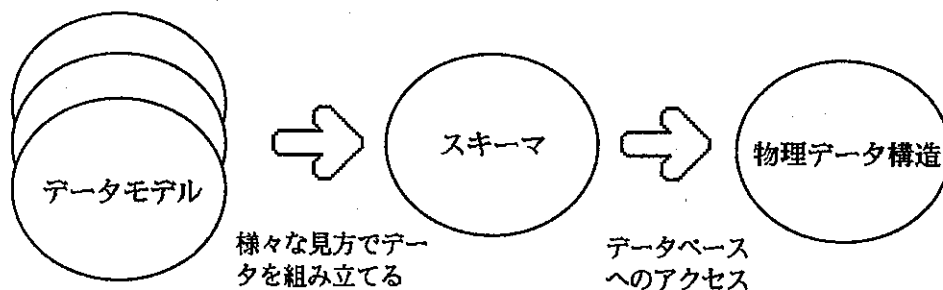


図2. 1-5 データモデル、スキーマと物理データ構造

文書ファイルのFEPリストを図2. 1-5の流れから見ると、個別FEPリストあるいは要素単位のFEPリストという、それぞれ1つの実世界としての形になっている。従って、文書ファイル形式そのもので構造化することは限られた視点からデータを造写することとなる。柔軟なデータベース構造を検討した場合、文書ファイル形式である個々のFEPリストを項目単位に分割して登録し、様々な見方から項目を実世界に造り上げる方法が都合がよい。

個別FEPリスト名	データ項目 a
1. FEPに関する記述とその評価	データ項目 b
(1) FEPの記述	データ項目 c
(2) 因果関係記述 (原因)	データ項目 d
(3) 因果関係記述 (結果)	データ項目 e
(4) 評価上の取扱い	データ項目 f
2. モデル化に関する記述	データ項目 g
3. 文献リスト	データ項目 h
4. 諸外国での取扱い	データ項目 i

図2. 1-6 文書ファイルのデータ項目分別

図2. 1-6は、これまでに作成・蓄積されてきたFEP文書ファイルをデータ項目としてモデルリングした例である。このデータモデルを実際のデータベースに置き換えるといった視点からデータモデルを検討した。現在市場では、大別してデータベースに実装のためのデータモデルは以下のように3つに分類できる。

a. ネットワークデータモデル

ネットワークデータモデル (network data model) は、米国のGE社でC.W.Bachmanなどにより1963年に開発され、世界で初めての商用データベース管理システムIDS (Integrated Data Store) で採用されたデータモデルである。ネットワークデータモデルでは、データの基本単位であるレコードがポインタにより網の目状に結合されている。

b. ハイアラキカルデータモデル

ハイアラキカルデータモデル (hierarchical data model) は、米国IBM社が1968年に商品化したデータベースのIMS (Information Management System) で実装したデータモデルであり、ネットワークモデルと異なり、親レコードと子レコードが木 (tree) 状の階層構造で結合されている。

c. リレーショナルデータモデル

リレーショナルデータモデルは、1970年にIBMサンノゼ研究所 (IBM San Jose Research Laboratory) のコッド (E. F. Codd) により提案されたデータモデルであり、前二者のモデルとは根底から異なり、すべてのデータは数学の集合論に基づいて表 (テーブル) で表現できるという考えに基づいている。ネットワークデータモデルは、レコードを繋ぐポインタが網の目のように張られていること、ハイアラキカルデータモデルは、ポインタによりレコードが階層的に結合されていることでポインタと呼ばれるレコードの物理的位置を示す記述 (チェーンや多重リンクといったファイル編成技法) が必要で

あるのに対し、リレーショナルデータモデルではテーブルによりデータが表現され、テーブルとテーブルはリレーション（関係）で結ぶことができる。

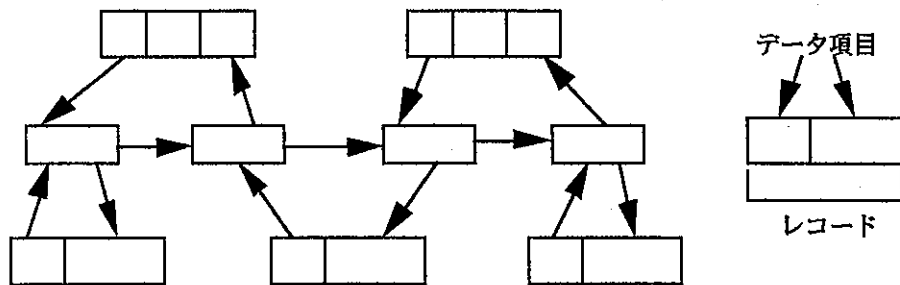


図2. 1-7 ネットワークデータモデル

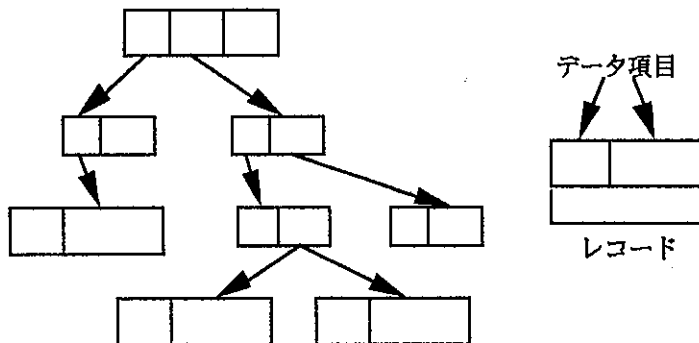


図2. 1-8 ハイアラキカルデータモデル

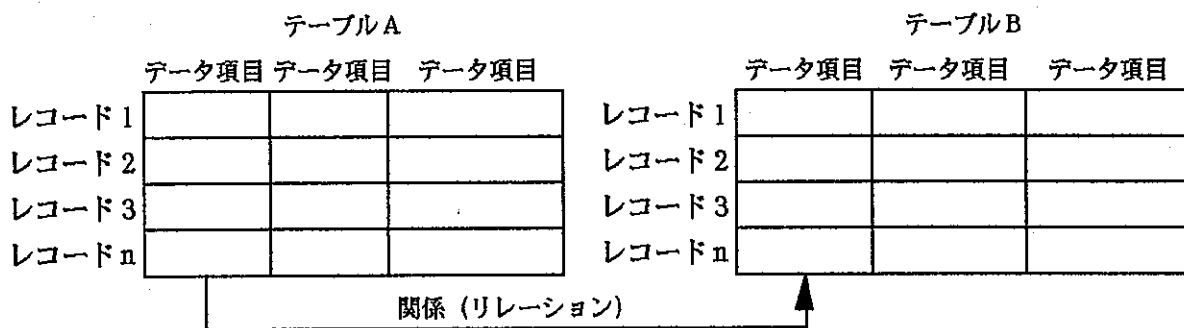


図2. 1-9 リレーショナルデータモデル

これまでに開発され商品化されてきたデータベース製品は、上記のデータモデルのいずれかを採用したものであり、それぞれデータモデルの種類に応じて、ネットワーク型データベース、階層型データベースおよびリレーショナルデータベースと呼ばれている。リレーショナルモデルが提唱されてから、現在はネットワーク型データベースや階層型（ハイアラキカル）データベースに代わって、およ

そ下記に示す理由からリレーショナルデータベースが汎用データベースの地位を確率している。

応用プログラムとデータは切り離されなければならない。応用プログラム群のデータ独立性を達成しなければならないが、このためにはリレーショナルデータモデルが良く、ネットワークデータモデルやハイアラキカルデータモデルでは問題がある。

データモデルは単純・明快でなければならない。リレーショナルデータベースモデルではリレーションとそれを操作するデータ操作言語の体系は平明で、データベースの構築やデータベースへの問い合わせを簡単に行える。ネットワークデータモデルやハイアラキカルデータモデルでは問題がある。

データモデルは理論的基盤を持たなければならない。リレーショナルデータモデルは集合論に立脚し、そこから統一的な体系を生み出していけるが、ネットワークデータモデルやハイアラキカルデータモデルでは問題がある。

リレーショナルデータベースは、レコードと呼ばれる行とフィールドと呼ばれる列からなるテーブル（表）が基本的な表現方法の単位である。1つのデータベースは複数のテーブルを持つことができ、必要に応じてテーブルの一部を参照したり、複数のテーブルを論理的に結合させることにより、目的とするデータを抽出することが可能である。今日、商品化されているリレーショナルデータベースは様々であり、ORACLE、SYBASE、INFORMIXといった製品が市場を占めている。本研究でもFEPリストをデータモデリングし、リレーショナルデータベースに実装して検討を行うこととした。

図2. 1-6で分割したFEPリストの各データ項目をリレーショナルデータモデルに置き換え、レコード、フィールドをテーブルとして構成する場合、リレーショナルの特徴であるテーブル間の関係を持たせなければならない。FEPリストを構成するデータ項目で、その各項目内容が個別FEP間で関係することは、シナリオという性格上、単語（ベントナイトやガラス固化体等）という形で多数存在する。本研究の別の意味（構文解釈や単語検索等）での支援システムとして、将来的に本システムに組み込む機能としては十分考慮する必要があるが、本項のデータの構造化に視点を戻した場合は、リレーショナルモデルとして最適ではない。なぜならば、本システムの操作はテーブルの関係を条件にしてFEP情報の組み立てや検索を行い、その条件は応用プログラムやSQLというデータ操作言語を使用する際に常に入力または記述する必要が生じるためである。そのためには、テーブルの関係を示すデータ項目の条件は、登録されたデータ項目内の内容が基本的に変化（更新）せず、できるだけ記号化されていたほうがデータ操作およびテーブル管理上都合がよい。個別FEPの内容を検討した結果、個別FEP番号（個々のFEPの要素番号）が最適であると考えられる。個別FEP番号は、個別FEPリストの名称的な存在であり、後に検討するインフルエンシブ・ダイアグラムについても因果関係項目で番号で示されているからである。この個別FEP番号をテーブル間の関係項目（テーブル間に関係つけるフィールドをキーフィールドまたは連結キーという）としてFEPリストの構造化を検討した。

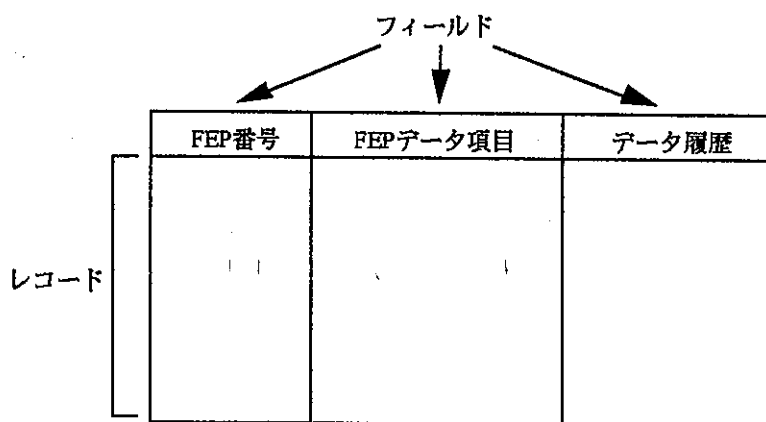


図2. 1-10 個別FEPリストテーブルの基本構成

図2. 1-10で、フィールドの表題としているFEP番号やFEPデータ項目といったフィールド項目は、登録するレコードの構成部分の共通データ情報を理論的に表現している。フィールド項目は、テーブル内のフィールドに登録するテキストデータや数値データといった共通データの種類（データ属性という）を与え、データベース管理システムがフィールドの認証に使用するためにテーブル生成時にFEP_NO（FEP番号）やFEP_DATA（FEPデータ項目）のように記号化しデータ管理に用いる。すなわち、テーブルから実世界としてFEP番号やFEPデータ項目フィールドに登録されている情報を得る場合、データベース管理システムに対して'FEP_NO'といった記号の入力またはプログラム内での記述によって行う。個別FEPリスト基本構成テーブルでデータ履歴フィールドは、個別FEPリスト内容に含まれていないフィールドであるが、将来発生する同じFEP番号を持つレコードを区別するためのフィールド例として組み入れている。

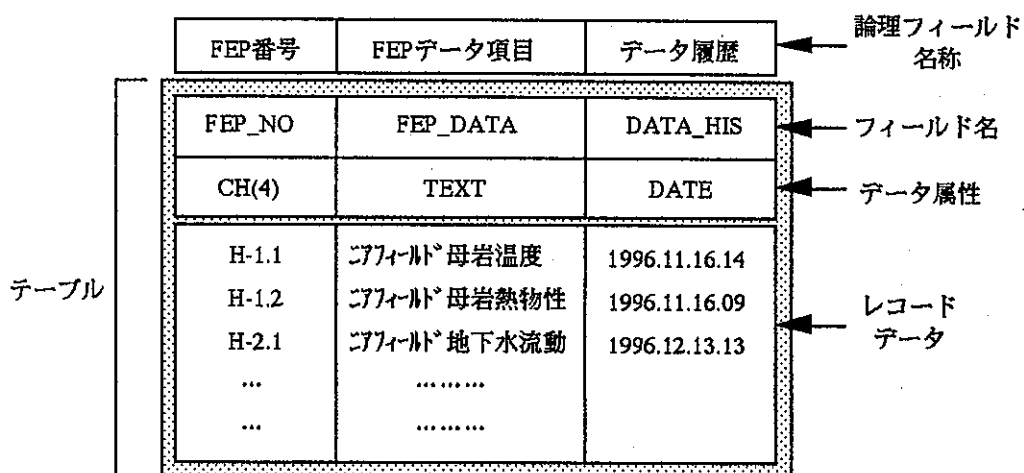
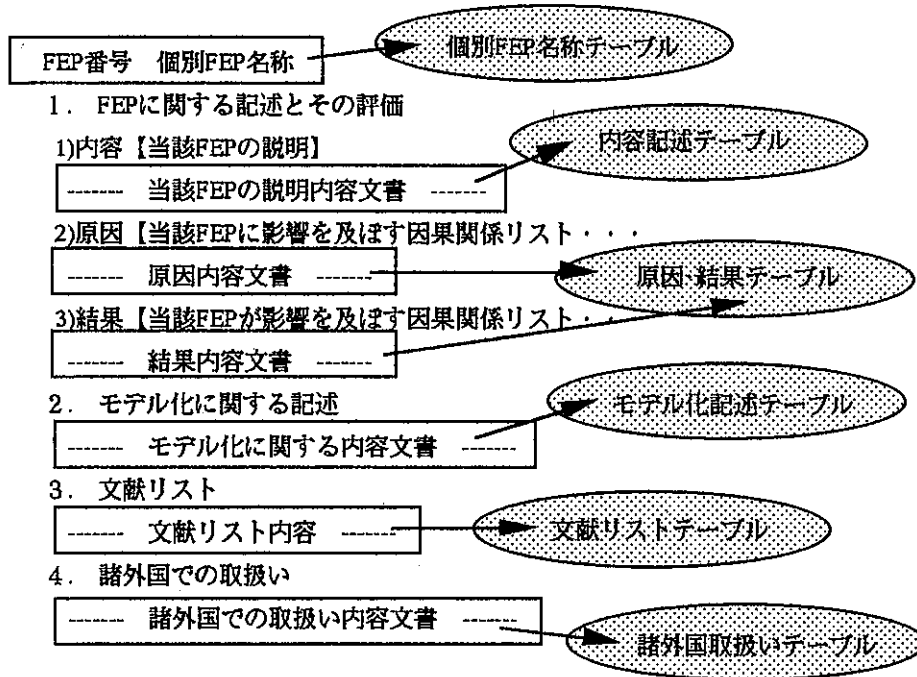


図2. 1-11 データベース・テーブル構成

個別FEPリスト内容を項目別に分割し、図2. 1-11に示すテーブル構成のFEPデータ項目フィールドに格納する。FEPデータ項目フィールドに格納する同レコードのFEP番号フィールドは、分割した各テーブルに格納したデータ項目を収集するためのキーフィールドとしてFEP番号を入れる。個別FEPリストの分割とテーブルを図2. 1-12に示す。



なお、図2. 1-12で原因・結果テーブルについては、因果関係を示す内容が記述されていることから、他のテーブル構成と異なり、図2. 1-13に示す構成としている。原因FEP番号フィールドは、結果FEP番号に対して影響を与え、結果FEP番号は原因FEP番号から影響を受けることを意味している。

原因FEP番号	結果FEP番号	影響内容	履歴

図2. 1-13 因果関係テーブル

(2) リンクド・リストデータ

リンクド・リストデータは、FEPリストに代表される互いに連係した文書ファイルから構成されるデータである。このリストはテーブルに含むものとし、一般のテキストファイル形式としてデータベースに格納することとした。前項で検討したデータ構造により、個別FEP間で連係するフィールドを実世界に描写可能であり、それらは個別FEP番号を連結キーとして、データベースに登録したテーブルより目的とするFEP情報項目を指定することにより得ることができる。データ構造は、階層FEPマトリクス内の各要素を現象・特性によるリンク、処理形態によるリンク、および現象・特性/処理形態の集合に当たる各要素をグループ化して表現することが可能なよう設計している。なお、表現するリンク情報は、「FEPに関する記述とその評価」や「モデル化に関する記述」といったテーブル単位で行うものとする。

現象・特性単位	処理単位	要素単位
	FF母岩	NF母岩
熱的現象・特性	F-1	H-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2
力学的現象・特性	F-3	H-3
化学的現象・特性	F-4	H-4
放射線学的現象・特性	F-5	H-5
物質移動現象・特性	F-6	H-6
	ベントナイト	オーバーパック
	B-1	OP-1
	B-2	OP-2
	B-3	OP-3
	B-4	OP-4
	B-5	OP-5
	B-6	OP-6
		ガラス固化体
		G-1
		G-2
		G-3
		G-4
		G-5
		G-6

図2. 1-14 FEP情報関連データの抜粋

例として、階層FEPマトリクスの力学的現象・特性に関連する単位で「FEPに関する記述とその評価」の内容を取り出す場合のデータベース・アクセスは次のとおりである。なお説明上、テーブル名：DES、FEP番号フィールド属性：fepid、FEPに関する記述とその評価フィールド属性：desとしている。

```
select * from DES a where a.fepid[2]='3';
```

上記の命令により、力学的現象・特性に関連する「FEPに関する記述とその評価」の内容をデータベースより取り出す。取り出された内容は、各要素内の個別FEPリストの「FEPに関する記述とその評価」に関わる全ての内容が含まれる。図2. 1-15は、データベースから力学的現象・特性のニアフィールド母岩、ベントナイト、オーバーパックおよびガラス固化体の応力に関連した評価上の取扱いについて収集した例である。

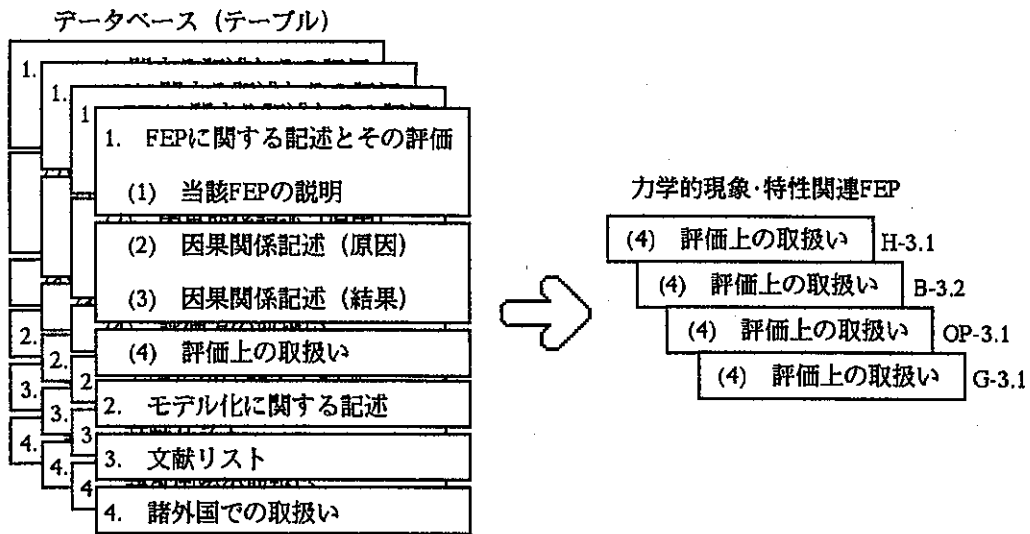


図2. 1-15 FEPリンクによる評価上の取扱い内容の収集

リンクド・リストデータは、データ構造化し、各テーブルに格納したFEP項目から現象・特性や処理形態および要素単位でFEP間にリンク（関連付け）を造り、データベースにアクセスをすることによって目的とするFEP情報を得る。

(3) インフルエンス・ダイアグラム・データ

インフルエンス・ダイアグラム・データは、個別FEPリストの組み合わせによるシナリオ作成のためのデータであり、シナリオ評価に関わる因果関係情報である。この情報は、相互に影響しあう要因をダイアグラムとして表示等を行うための情報である。本システムでは、ネットワーク形式のトポロジカルな情報を記述するための情報として、その書式等を検討した。方法としては、例えば有向グラフの向きと接続のモデルの応用として、インフルエンス・ダイアグラムの作図に関するデータのスキーマ構造を検討した。インフルエンス・ダイアグラムに関する情報は、文書ファイルの各個別FEPリストの「FEPに関する記述とその評価」項目内の(2)原因、(3)結果項目にそれぞれ記述されている。本システムでは、インフルエンス・ダイアグラム・データの扱いとして、これまで検討してきたデータ構造から、FEPリストの因果関係に用いているFEP番号を基本に検討することとした。図2. 1-16に示す文書ファイルで網かけ文書が、当該FEPと他FEPとの因果関係を示すFEP名称となっている。これらは文書ファイルという形式で作成されていることから、これまではペーパー上での因果関係クロスチェックを余儀なくされてきた。また、ペーパー上で因果関係をクロスチェックした情報をもとに別途インフルエンス・ダイアグラムを作成することから、人手による作業工数の増加やFEPリスト内の因果関係の削除や追加等の修正が生じた場合のインフルエンス・ダイアグラムの品質が問われることとなるであろう。

図2. 1-16に示すようなFEPリスト内の因果関係の文書をモデル化しデータベースに取り入れ、

規則を決めたクロスチェックにより作業工程を著しく迅速化させ、人手ではとかく怠りがちな整合性のチェックを行うことができる。データを構造化するにあたり、因果関係を示す文書中のインフレンス・ダイアグラム・データとして必要な内容は、文書内で随一記号化されている当該FEPに対する原因および結果のFEP番号を連関フィールドとしたテーブルを用いることが適切である。

<p>2)原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト, その影響の記述と評価上の扱い】</p> <p>F-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.1 NF母岩中の地下水化学</p> <p>【当該FEPへの影響】</p> <p>還元性と考えられるアフィールドの地下水水質は、処分場の建設や操業により変化を受けているNF母岩中の地下水化学に影響を与える。</p> <p>【評価】</p> <p>Fe(II)濃度に富む還元性地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素により酸化され、ゲサイト等のFe(II)鉱物を生成するとともに、pHが減少しEhは上昇する。しかし閉鎖後1000年程度で、地下水中の還元性物質、ペントナイト中の黄鉄鉱やオーバーバックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。</p> <p style="text-align: center;">:</p> <p style="text-align: center;">: (省略)</p> <p style="text-align: center;">:</p>
<p>3)結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト, その影響の記述と評価上の扱い】</p> <p>H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.3 NF母岩中のガス(空気)</p> <p>【当該FEPが及ぼす影響】</p> <p>母岩中の地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素を酸化還元反応や吸収により消費してゆく。</p> <p>【評価】</p> <p>母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質は、NF母岩中に取り込まれた酸素を消費する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(菅本,1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ペントナイト中の黄鉄鉱やオーバーバックの腐食により酸素等の酸化剤は完全に消費されるものと推定される(McKinley, 1989)。</p>

図2. 1-16 文書ファイルの原因と結果内容

FEP番号を連関フィールドとしたテーブルを仮定して、ある1つの個別FEPリスト(B-4.1)を対象としてデータベースに登録し連関フィールド部を表示した例を図2. 1-17に示す。

原因FEP番号	結果FEP番号
H-4.1	B-4.1
B-4.4	B-4.1
OP-4.2	B-4.1
B-4.1	B-3.1
B-4.1	B-2.2

図2. 1-17 因果関係FEP番号フィールド

原因FEP番号フィールドに登録されるデータは、FEP番号（B-4.1）に影響を与えるFEP番号であり、結果FEP番号に登録されるデータは、FEP番号（B-4.1）から影響を受けるFEP番号である。図2. 1-17は、1つのFEPリストの例であり、全FEPリストに登録した場合、もし各FEPリスト間の因果関係内容に整合性がとれているならば、テーブル内に同一レコードが2つ存在することとなる。

図2. 1-17で、個別FEP（B-4.1）の因果関係を示す他のFEPは、原因3個、結果2個の計5個あることがわかる。これまでに作成されてきた全てのFEPリストに登録したと仮定して、ある1つの個別FEPの因果関係を知るためには、連関フィールドの原因FEP番号と結果FEP番号に目的としたFEP番号を指定することにより行うことができる。テーブルから取得した原因FEP番号と結果FEP番号をインフルエンス・ダイアグラムとして表現した例を図2. 1-18に示す。

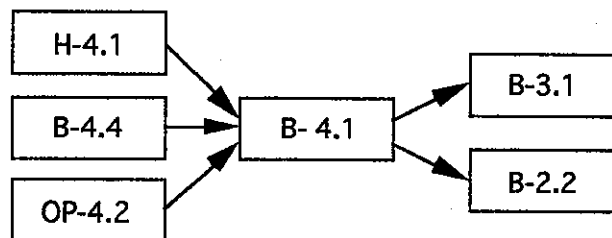


図2. 1-18 1つのFEP番号を対象にした個別FEPのインフルエンス・ダイアグラム

因果関係に関わるデータの構造化は、連関フィールドのレコードに対応した各内容を格納するフィールドを加えることにした。

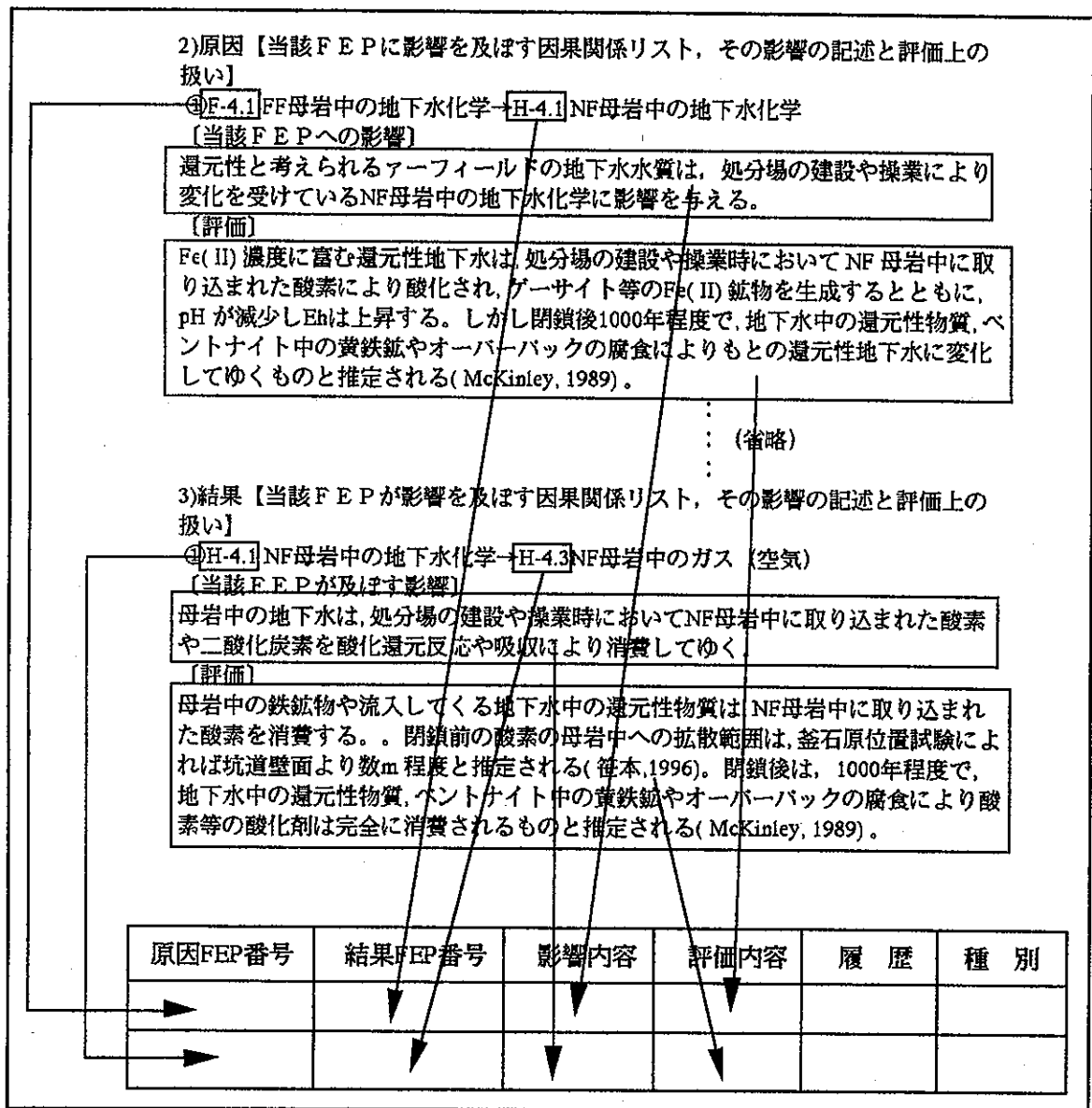


図2. 1-19 因果関係文書の構造化とテーブル例

図2. 1-19で履歴フィールドはレコードの履歴を示し、種別フィールドはレコードの種別（データ取得先等）に使用する。なお、テーブル作成時は、将来のFEP情報を考慮し、因果関係の影響度フィールドも予備的に用意する必要があると思われる。

本項で検討したFEPリストのデータ構造化により構築したデータベースの各基本テーブルと構成例を次に示す。

Owner	Relation	Type
postgres	CE	table
postgres	DES	table
postgres	DIT	table
postgres	EVA	table
postgres	NAME	table
postgres	OVERSEA	table
postgres	SYS	table

図1. 1-20 FEPリスト構造化テーブル名称一覧

図1. 1-20は、データベースが管理するテーブルの一覧を示したものである。Relationフィールドに表示されているCEやDESはテーブル名である。下記に各テーブルの属性を示す。

Field	Type	Length
cau	char16	16
eff	char16	16
inf_ce	text	var
eva_ce	text	var
cau_id	char2[]	var
eff_id	char2[]	var

Field	Type	Length
fepno	char16	16
des	text	var
fepid	char2[]	var

文献リストテーブル

Field	Type	Length
fe pno	char16	16
dit	text	var
fe pid	char2[]	var

モデル化記述テーブル

Field	Type	Length
fe pno	char16	16
eva	text	var
fe pid	char2[]	var

個別FEP名称テーブル

Field	Type	Length
fe pno	char16	16
name	text	var
fe pid	char2[]	var

諸外国取扱いテーブル

Field	Type	Length
fe pno	char16	16
oversea	text	var
fe pid	char2[]	var

図2. 1-21 FEPリスト基本テーブルと属性

2. 1. 2 データアクセス機能設計検討

データアクセス機能とは、前項のデータ構造設計にて設計検討した情報に対するアクセス手法に関するソフトウェアの機能である。本機能は、本システムが、それを利用するユーザーもしくはプログラムに対して提供する情報処理機能である。データアクセスは、データ構造化してテーブルに集積したFEPリストデータに関して行い、本システムのデータベース環境に備えたりレーショナル・データベース操作言語SQL（構造化照会言語：Structured Query Language）を用いて、目的とするFEP情報を組み立てデータ物理構造に置き換える。本システムのデータベース環境（データベース・ソフトウェア）は、カルフォルニア大学バークレー校で開発されたPOSTGRES95データベース管理システム（以下POSTGRESと称す）を用いている。前述しているが、市販データベース管理システムは、ORACLE、SYBASEおよびINFORMIX等種々存在し、そのどれもが汎用性にすぐれ、実績もあり、甲乙つけにくいものである。本システムは、これまでに作成・蓄積されてきたFEP情報の整理や様々な視点からのFEP情報の表示およびインフルエンス・ダイアグラムといったFEP情報の視覚化を行うための支援システムを目指し、そのためのFEP情報のモデリングやデータベース化の手法を研究するものである。そのことから、現状では高価である市販データベース管理システムを用いずに、無料で利用できるPOSTGRESを本システムのデータベース環境として使用し、評価を行い、より良い実現のための問題点等を洗いだし、将来の市販データベース選択のためのパラメータとする。ここで簡単にPOSTGRESについて説明する。

POSTGRES DBMSの開発は1986年に始まり、最初のデモシステムは1987年に動かせるようになり、1988年のACM-SIGMOD（Association for Computing Machinery：米国計算機学会）会議で公開された。1990年6月にVersion 2、1991年にVersion 3がリリースされ、POSTGRES95は、POSTGRESの最後の公式リリースであるVersion 4.2からの派生である。POSTGRESは多くの異なる調査や生産アプリケーションの実装に使用されてきた。これらは、財務分析、ジェットエンジン性能監視のためのパッケージ、小惑星の軌道データベース、医療情報データベース、および地理情報システム等で使用され、教育のための道具として、いくつかの大学でも採用している。また、1992年の後半にSequoia2000科学技術計算プロジェクトのための主要データマネージャとなった。

データベースの基本原理は、データを分割（データ構造化）管理し、様々な形で構築（物理データ構造化）することである。これまでは、FEPリストの構造化について記述してきた。構造化そのものは内部記述であり、データベース・エンドユーザから見た場合、1つの論理データモデルでしかない。目的とするFEP情報を得るためには、この分割されたデータの必要部分を集め1つの形を造ることである。

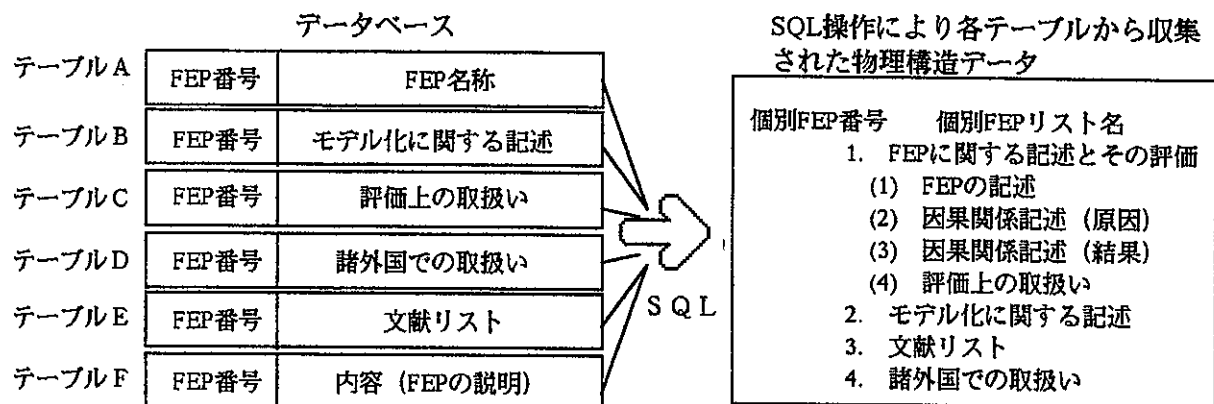


図 2. 1-2 2 構造化データと構築

データベースに対するデータアクセスの方法（テーブル操作や制御）およびアクセスのためのインターフェイスとしてSQLがある。SQL（Structured Query Language）は、リレーショナル・データベース言語として標準的な言語である。リレーショナル・データベースに対して、データの追加、更新、削除および検索等のデータ操作や、データベース構造についての定義（テーブルの作成等）を行うことができる。

データベース管理システム（RDBMS：Relational DataBase Management System）によって、SQLに多少の相違や機能の差がある。ANSI（米国国家規格協会：American National Standards Institute）が、1986年に標準のリレーショナル・データベース言語としてSQLを制定した。1987年日本においてJIS（日本工業規格）に制定された。POSTGRESでは、対話的に画面からSQLコマンドを入力、編集、実行したり、サブルーチン・ライブラリを使用してCプログラムを記述しCプログラムからSQLを発行し、応答やステータス・メッセージをプログラムが受け取ることができる。

POSTGRESは、データベース用語でいう1ユーザにつき1プロセスのクライアント/サーバーモデルを採用している。1個のPOSTGRESセッション（データベース情報の転送制御サービス）は、協調して動作する以下のUNIXプロセス（プログラム）から構成される。

- ・監視デーモンプロセス (postmaster)
- ・フロントエンド・アプリケーション (psql等)
- ・1つまたはそれ以上のバックエンド・データベースサーバー (postgresプロセス自身)

監視デーモンプロセス (postmaster) は、通常POSTGRESが搭載されているコンピュータが起動する時に主要システム起動後に自動的に動作するよう設定される。一つのpostmasterは、単一コンピュ

ータ（ホスト）上の複数のデータベースの集合を管理する。あるデータベース内の1つの集合（上記の例ではFEPデータベース）にアクセスするアプリケーション（例えばpsql）は、POSTGRESのLIBQライブラリを呼びだし、LIBQライブラリはネットワークを経由してpostmasterにユーザの要求を送信する。次にバックエンド・サーバープロセスを起動し、フロントエンド・プロセスをサーバーに接続する。この時点から、フロントエンド・プロセスとバックエンド・サーバーは監視デーモンプロセス（postmaster）の介入なしに通信する。フロントエンドとバックエンドのプロセスは、生成したり消滅したりするのにに対し監視デーモンプロセス（postmaster）は常時走り続けユーザの要求を待つ。

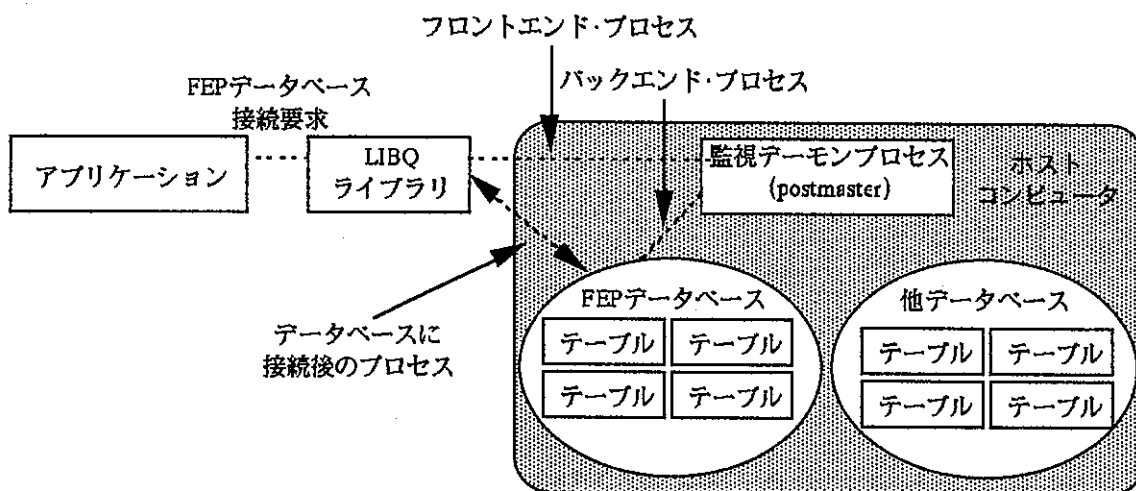


図 2. 1-23 POSTGRESアーキテクチャ

このアーキテクチャが示唆することは、フロントエンド・アプリケーション（データベースをアクセスするコマンド等）がネットワーク上のホストコンピュータが接続されている何処で行ってもよいのに対し、監視デーモンプロセス（postmaster）とバックエンドは常に同一コンピュータ（データベース・サーバー）でなければならないということである。

これまでに検討したデータ構造化により、POSTGRES内に生成したFEPデータを、データベース名“FEP”として図2. 1-20と図2. 1-21のテーブルを例にして、POSTGRESが格納されているホストコンピュータに接続している画面からSQLを用いたアクセス方法を下記に示す。なお、説明の都合上、ホストコンピュータをSUN SPARC、オペレーティング・システムをSunOS、接続するユーザ名およびPOSTGRES利用ユーザ名を「postgres」とした。

<SUN SPARC SunOSはSun Microsystems Inc.の商標>

1. ホスト・コンピュータへのログイン

ホスト・コンピュータへは、次の要領でログインする。

SunOS UNIX

login: postgres

Password: postgres

Last login: Mon Feb 10 16:37:20

SunOS Release 4.1.3-JLE1.1.3_U1 (GENERIC) #1: Sat Feb 5 05:41:00 JST 1994

You have new mail.

postgres%

2. 監視デーモンプロセス (postmaster) の動作確認

前述したように、POSTGRESはpostmasterが起動されていない限り、データベースに対して何も操作することができない。ホスト・コンピュータへのログイン後UNIXコマンドでpostmasterが走っていることを確認する。

```
postgres% ps -ax
 125  ?  IW  0:00  /usr/lib/lpd
 132  ?  IW  2:16  /usr/local/ucap/bin/aarpd le0 *
 135  ?  IW  6:44  /usr/local/ucap/bin/atis
 138  ?  S   0:10  /usr/local/ucap/bin/aufs
5823  ?  IW  0:00  rpe.rwalld
5826  ?  IW  0:00  rpe.rquotd
15948 ?  IW  0:09  postmaster <— 監視デーモンプロセス
18554 ?  S   0:15  rpe.rstatd
20477 ?  S   0:04  /usr/local/ucap/bin/aufs
20585 ?  S   0:00  in.telnetd
18500 co  IW  0:00  -esh (esh)
18524 co  IW  0:00  /bin/sh /usr/openwin/bin/openwin
18530 co  IW  0:00  /usr/openwin/bin/xinit - /usr/openwin/bin/news :0 -auth /
18531 co  S   20:11 /usr/openwin/bin/news :0 -auth /usr/local/postgres95f.news
18555 p0  IW  0:00  -bin/esh (esh)
postgres%
```

ここで、postmasterが走っていない場合、

postgres% postmaster &

と入力する。

3. データベースFEPへの接続

データベースFEPへの接続は、次の方法で行う。


```

postgres# psql FEP
Welcome to the PostgreSQL interactive sql monitor.
Please read the file COPYRIGHT for copyright terms of PostgreSQL.

type ? for help on slash commands
type \q to quit
type \g or terminate with semicolon to execute query
You are currently connected to the database: FEP
FEP=#

```

プロンプトFEP=>は、ターミナル（POSTGRESに接続された画面）が入力待ちの状態であり、SQLによるFEPデータベースに対する問い合わせ（命令）を入力できること示している。例えばPOSTGRESの様々なSQLコマンドの構文に関するヘルプは以下のようにして得ることができる。

FEP=> \h

psqlを終了しデータベースFEPの接続を切り離し、UNIXのコマンド・シェルに戻るためには、

FEP=> \q

と入力する。

4. データベースFEPのテーブル一覧

```

FEP=# \d
Database: = FEP

```

Owner	Relation	Type
postgres	DE	table
postgres	DES	table
postgres	DIT	table
postgres	EUR	table
postgres	NAME	table
postgres	OVERSEA	table
postgres	SYS	table
postgres	aaa	table

```

FEP=#

```

SQLコマンド'\d'はデータベースFEPに作成されたテーブルの一覧を表示する。

5. テーブルのフィールド名等属性の表示

SQLコマンド'\d table名'はtable名で指定されたテーブルのフィールド属性を表示する。

Field	Type	Length
leproa	char(16)	16
lepid	char(2)	var
name	text	var

FEP=>

6. テーブルに登録されているデータの表示

```
FEP=> select * from NAME;
B-4.1|B.4.1|緩衝材中の空腔水の化学
B-4.2|B.4.2|緩衝材中の微生物組成、特性
B-4.3|B.4.3|緩衝材中のガス（空気）
B-4.4|B.4.4|緩衝材中の微生物の活動
B-4.5|B.4.5|緩衝材中の有機物
FEP=>
```

select文はテーブルのデータに対して検索等を行うコマンドである。上記のselect文はNAMEテーブルの登録データを表示した例である。以上は、データベースに接続後アクセスする最も初期的な例を示したものである。

(1) リンクド・リスト・データ

FEPリストに代表されるリンクド・リスト形式の情報は、単体の文書ファイルとして扱えること、および複数存在する文書ファイルが、個々の内容に従って相互に関連するファイルとのリンク（関係情報：相互のファイルを関係付けるポインタ、キー、リスト等の付帯情報）を保持するという特徴がある。従って、実際のデータベース・アクセスは関係演算子（論理式）によって条件付けされるものと考えられる。例えば、ベントナイト中の核種移行に関する関係をデータベースから検索収集する機能を考えた場合、検索条件である関係演算子には、少なくともニア・フィールド母岩中の水理に関する条件が示されるであろう。

多岐に渡る分野の様々な視点から目的とする情報をデータベースから得るためには、おそらく多重の論理条件検索式が一般的に導かれると考えられる。FEPリストの構造化は、FEPリストが構成されている各項目単位で成されており、リンクド・リストデータは木構造検索による各要素別やマトリクス検索によって事象別やプロセス別の項目を引き出し構成することとなるであろう。以上の視点から下記のシステム・アクセス機能について設計・検討を行った。

- ・会話方式アクセス機能（ユーザー・インターフェイス仕様）
- ・応用プログラム・アクセス機能（コンパイラ言語・インターフェイス仕様）
- ・ネットワーク・アクセス機能（サーバー/クライアント仕様）

上記の各機能は、それぞれPOSTGRESに対するアクセス方法の違いがあるにしろ、FEP情報を得るという機能は同じである。リンクド・リストデータの取得（会話方式では表示）は、SQLのselectコマンドを用いてスキーマを生成し、データベースにアクセスすることにより行う。スキーマの生成については、構造化したテーブルのリンク条件をFEP番号（フィールド属性：fepno）や配列型FEP番号（フィールド属性：fepid）を利用して造り上げる。ここで、階層FEPマトリクスからリンク条件のスキーマを生成する場合のFEP番号と配列型FEP番号について下記に記述する。

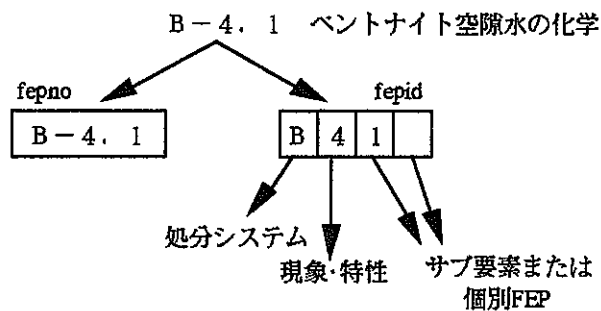


図2. 1-24 FEP番号と配列型FEP番号の構成

図2. 1-24は、FEPリストの構造化でFEP名を示したFEP番号を例にしたものである。ここでフィールド属性fepnoは、B-4.1やH-1.1といったFEP番号のまま設定し、fepidは階層FEPマトリクスに準じた方法で配列化し設定している。

fepno	name	fepid(4)	...
-------	------	----------	-----

図2. 1-25 テーブルのフィールド属性

階層FEPマトリクスを参照に配列型FEP番号との関連は以下のとおりである。

fepid(1) : 処分システム部を示す。

F : ファーフィールド母岩

H : ニアフィールド母岩

B : ベントナイト

OP : オーバーパック

G : ガラス固化体

fepid(2) : 現象・特性部を示す。

- 1 : 熱的現象・特性
- 2 : 水理学的現象・特性
- 3 : 力学的現象・特性
- 4 : 化学的現象・特性
- 5 : 放射線学的現象・特性
- 6 : 物質移動現象・特性

fepid(3) : fepid(4)が空の場合は要素内個別FEP番号

fepid(4)が空でない場合はサブ要素番号

fepid(4) : サブ要素内個別FEP番号

FEP番号を配列化することにより、要素単位によるリンクや、現象・特性によるリンク等のFEPリンクの組み立て（スキーマ構造）が容易になり、様々な視点から情報の取得が可能となる。

ある一例を配列型FEP番号を用いてリンクド・リストデータを取得するためのSQLスキーマを生成することを考えた場合、次のとおりとなる。

例題1 : 熱的現象・特性の要素でベントナイト、オーバーパックおよびガラス固化体の温度に関連するFEPリストの中から当該FEP名項目と当該FEPの説明項目を取り出す。

```
select * from NAME a, DES b where (a.fepid[1] = 'B' or a.fepid[1] = 'G' or a.fepid[1] = 'OP')  
and (a.fepid[2] = '4' and a.fepid[3] = '1') and a.fepno = b.fepno ;
```

例題2 : ベントナイト／化学的現象・特性の要素の内容で当該FEPの評価上の扱いに関する記述項目を全て表示する。

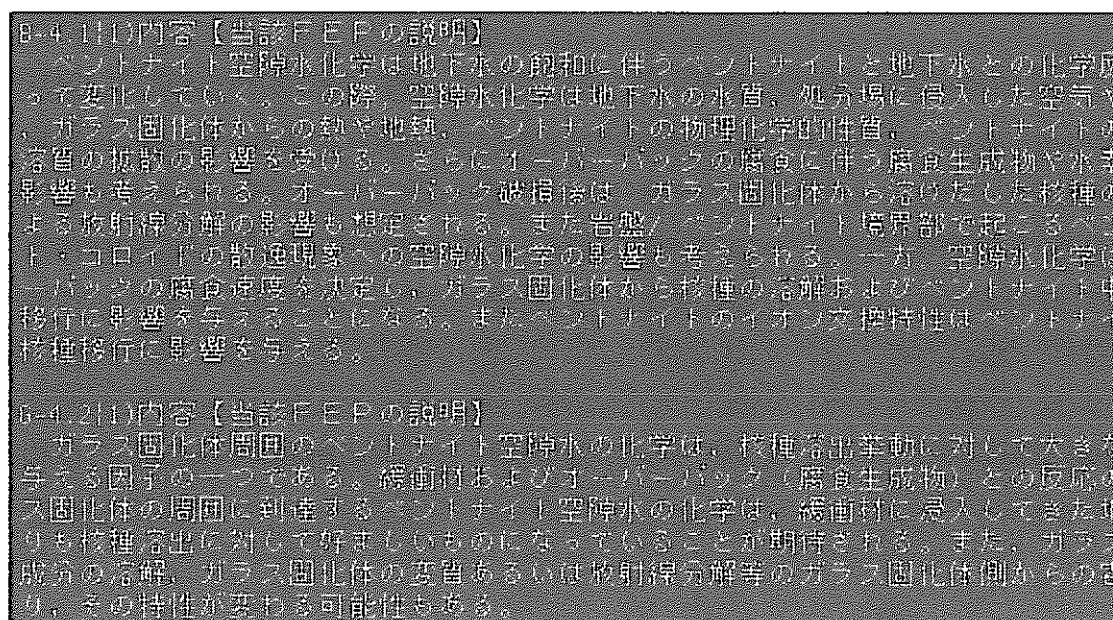
```
select * from EVA a where a.fepid[1] = 'G' and a.fepid[2] = '4' ;
```

以上のように、FEPリストを項目別に構造化したテーブルからFEP番号や配列型FEP番号を用いてリンク条件を組み立て目的とするデータを取得する。

a. 会話方式アクセス機能

会話方式によるデータベースのアクセスは、POSTGRESがインストールされているホストコンピュータに接続された端末の画面から、データベースへの接続インターフェイスpsqlコマンドを使用し、POSTGRESへ接続後、select文を用いて行う。リンクド・リストに関するアクセスは、データの構造化で構築したデータベースのテーブルに格納したFEPリストに、前述のようにリンク条件付けをしてselect文を作成し、入力することにより端末画面にリンク条件結果データを表示することができる。FEP番号フィールドを使用してのアクセス例を下記に示す。例は、DESテーブル（当該FEPの説明データ）から'B-4.1'と'G-4.2'の内容を画面に表示したものである。

select文 : FEP=> select fepno,des from DES where fepno = 'B-4.1' or fepno = 'G-4.2';



select文の要約は次のとおりである。

selectはテーブル選択の定義であり、fepnoとdesは次に続くfrom後のテーブルDESのフィールドである。whereに続く文は検索条件を示すものであり、ここではfepno（FEP番号）がB-4.1とG-4.2に合致したレコードにポインタを合わせることを意味する。すなわち、「テーブルDESからフィールドfepnoに登録されているFEP番号のB-4.1とG-4.2を探し出し見つけたら、その同レコードの中でフィールドfepnoとフィールドdes（当該FEPの内容）を表示せよ。」ということである。以上のように会話方式によるアクセスは、端末からselect文を用いて目的とする論理条件を生成して、テーブルのフィールドをリンクさせ、リンクド・リストデータを造り出し表示する。select文の詳細な説明は市販されている「プログラマのためのSQL」等を参照のこと。

b. 応用プログラム・アクセス機能

応用プログラムによるアクセスは、サブルーチン・ライブラリを使用してCプログラムからSQLを発行し、応答やステータス・メッセージをプログラムが受け取り、プログラムからテーブルにアクセ

スしFEP情報を造り出す。会話方式では、端末に向かってリンクド・リンクとして考えられるselect文を作成し、都度任意な条件で発行して情報を取得するに対して、応用プログラムによるアクセス方式は、定型な条件による情報の取得に用いる。応用プログラムによるアクセスについては、本研究では必要によりPOSTGRESアプリケーションとして使用することから、ユーザーが直接プログラムを記述してテーブルをアクセスすることはないであろう。ここでは、応用プログラムの基本的な関数と応用プログラムによるテーブルアクセスのプログラム例を示すことでとどめる。

データベース接続関数

Cプログラムからバックエンド・プロセスへの接続を行うためには以下のルーチンを使用する。

PQsetdb : バックエンドプロセスと新たに接続する。

```
PQconn *PQsetdb(char *pghost,  
                char *pgport,  
                char *pgoptions,  
                char *pgtty,  
                char *dbName);
```

いずれかの引数がヌルの場合、対応する環境変数をチェックする。もし、環境変数も設定されていない場合、ハードコーディングされているデフォルトの値が使用される。PQsetdbは常に有効なPGconnポインタを返す。PQstatusコマンドは接続による照会を行う前に、その接続が正しく行われたことを保証するために呼び出すべきである。PGconnの内容を取得するために、以下の付属関数を使用する。

PQdb : 接続したデータベース名を返す。

```
char *PQdb(PGconn *conn)
```

PQhost : 接続したホスト名を返す。

```
char *PQhost(PGconn *conn)
```

PQoptions : 接続で使用しているpgoptionsを返す。

```
char *PQoptions(PGconn *conn)
```

PQport : 接続しているpgportを返す。

```
char *PQport(PGconn *conn)
```

PQtty : 接続しているpgttyを返す。

```
char *PQtty(PGconn *conn)
```

PQstatus : CONNECTION_OKまたはCONNECTION_BADのいずれかの接続ステータスを返す。

ConnStatusType *PQstatus(PGconn *conn)

PQerrorMessage : 接続に関するエラーメッセージを返す。

char *PQerrorMessage(PGconn *conn)

PQfinish : バックエンド・プロセスとの接続を終了する。PGconn構造体によって使用されていたメモリを解放する。PQfinishを呼び出した後は、PGconnポインタを使用しないようにする。

void PQfinish(PGconn *conn)

PQreset : バックエンド・プロセスとの通信ポートをリセットする。この関数は、バックエンドとのIPCソケット接続を終了し、いずれかのバックエンドとの新しい接続の再確立を試みる。

void PQreset(PGconn *conn)

PQtrace : フロントエンドとバックエンド・プロセスのメッセージの受け渡しのトレースを有効にする。メッセージは、デバックポートのファイル・ストリームにエコーされる。

void PQtrace(PGconn *conn, FILE* debug_port);

PQuntrace : フロントエンドとバックエンド・プロセスのメッセージの受け渡しのトレースを無効にする。

void PQuntrace(PGconn *conn)

問い合わせ実行関数

PQexec : POSTGRESへの問い合わせを行う。問い合わせが成功した場合にはPGresultポインタが返され、エラーに関する詳細な情報を得たい場合にはPQerrorMessageを使用することができる。

PGresult *PQexec(PGconn *conn, char *query);

PQresultStatus : 問い合わせ結果のステータスを返す。PQresultStatusは、以下の値のうちいずれかを1つ返す。

PGRES_EMPTY_QUERY,

PGRES_COMMAND_OK,

PGRES_TUPLES_OK,

PGRES_COPY_OUT,

PGRES_COPY_IN,

PGRES_BAD_RESPONSE,

PGRES_NONFATAL_ERROR,

PGRES_FATAL_ERROR

結果のステータスがPGRES_TUPLES_OKの場合、問い合わせによって返されたレコード

を取り出すために以下のルーチンを使用できる。

PQntuples : 問い合わせ結果のレコードの数を返す。

```
int PQntuples(PGresult *res);
```

PQnfields : 問い合わせ結果のフィールドの数を返す。

```
int PQnfields(PGresult *res);
```

PQfname : 与えられたフィールドの索引 (フィールドキー) と関連するフィールドの名前を返す。

フィールド・インディケータは、0から開始される。

```
char *PQfname(PGresult *res, int field_index);
```

PQfnumber : 与えられたフィールドの名前に関連するフィールドの索引を返す。

```
int PQfnumber(PGresult *res, char* field_name);
```

PQftype : 与えられたフィールド索引 (field_num) に関連するフィールドの型を返す。内部コーディングされている型が整数で返される。フィールド・インディケータは、0から開始される。

```
Oid PQftype(PGresult *res, int field_num);
```

PQfsize : 与えられたフィールド索引 (field_index) と関連するフィールドのサイズをバイト数で返す。返されるサイズが-1の場合は可変長フィールドである。フィールド・インディケータは、0から開始される。

```
int2 PQfsize(PGresult *res, int field_index);
```

PQgetvalue : フィールドの値を返す。ほとんどの問い合わせに対して返される値は、属性の値をヌルで終わるASCII文字列で表現される。

```
char* PQgetvalue(PGresult *res, int tup_num, int field_num);
```

PQgetlength : フィールドの長さをバイトで返す。フィールドがvarlena構造体である場合、返される長さにはvarlenaのフィールドサイズは含まれない。つまり、4バイト少ないということである。

```
int PQgetlength(PGresult *res, int tup_num, int field_num);
```

PQcmdStatus : 最後の問い合わせコマンドに関連するコマンド・ステータスを返す。

```
char *PQcmdStatus(PGresult *res);
```

PQoidStatus : 最後の問い合わせがINSRETコマンドであった場合、インサートされたレコードの

オブジェクトidの文字列を返す。それ以外は、空の文字列を返す。

```
char* PQoidStatus(PGresult *res);
```

PQdisplayTuples : すべてのレコードを印刷し、また必要に応じて特定の出力ストリームに対するフィールド名も印刷する。psqlとmonitorの両方のプログラムで出力のためにPQdisplayTuplesを使用する。

```
void PQdisplayTuples(PGresult* res, FILE* fout, int fillAlign,
char *fieldSep, int printHeader, int quiet);
```

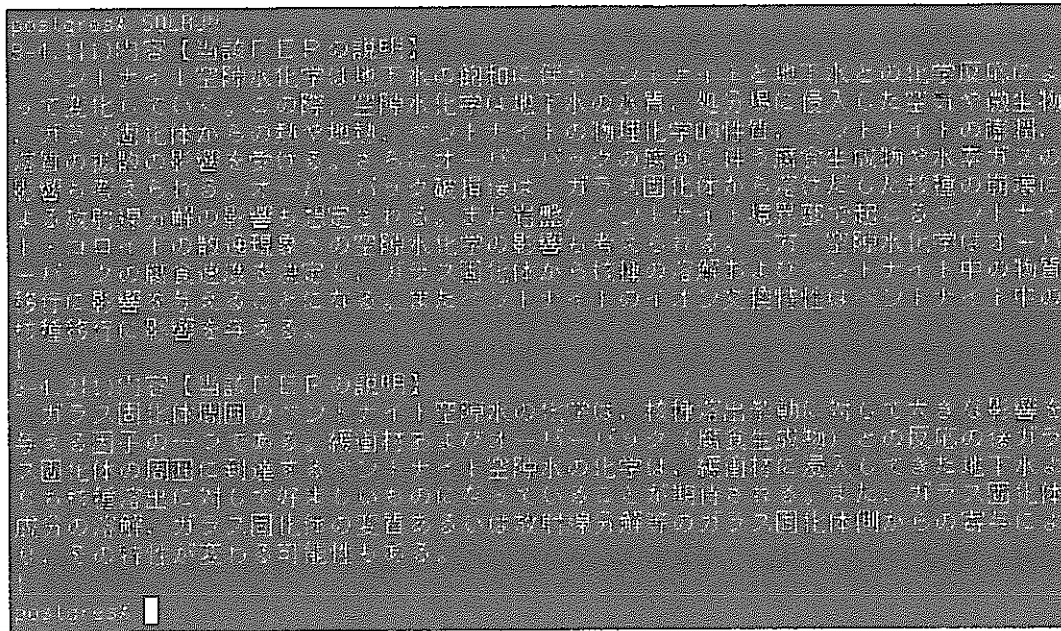
PQclear : PGresultに関連する記憶領域を解放する。

```
void PQclear(PQresult *res);
```

Cプログラム記述例

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include "libpq-fe.h"
main(argc, argv)
int argc;
char **argv;
{
    char *sqlword="select fepno,des from DES where fepno='B-4.1' or fepno='G-4.2';
    char *pghost,*pgport,*pgoptions,*pgtty,*dbname;
    PGconn *conn;
    PGresult *res;
    int ij,inc_no,fe_no;
    char *DELcode;
    pghost=NULL;
    pgport=NULL;
    pgoptions=NULL;
    pgtty=NULL;
    dbname="FEP";
    DELcode="|";
    conn=PQsetdb(pghost,pgport,pgoptions,pgtty,dbname);
    if(PQstatus(conn)!=CONNECTION_BAD)
    {
        fprintf(stderr,"Connexion to database '%s' failed.%r",dbname);
        fprintf(stderr,"%s",PQerrorMessage(conn));exit(0);
    }
    res =PQexec(conn,sqlword);
    inc_no=PQntuples(res);
    fe_no =PQnfields(res);
    for(i=0;i<fe_no;i++)
    {
        for(j=0;j<inc_no;j++)
        {
            printf("%s",PQgetvalue(res,i,j));
            printf(DELcode);
        }
        printf("%r");
    }
    PQfinish(conn);
}
```

Cプログラム記述例のソースプログラムは、会話方式で行ったSQL文で得られる結果と同じ内容をC言語で記述した例である。このプログラムを実行形式（アプリケーション名：SQLRUN）にして実行した例を示す。



c. ネットワーク・アクセス機能

POSTGRESが格納されているホスト・コンピュータ（サーバー）が接続されているネットワーク上の、いずれの計算機または端末からアクセスすることができる。サーバーに対する接続は、TCP/IPのアプリケーション・プロトコルの1つで仮想端末機能のTELNETやUNIXシステム間のrloginコマンドを用いる。TELNETやrloginでサーバーへ接続後は、psqlインターフェイスによりデータベースへ接続後、会話方式と同様にアクセスすることができる。

(2) インフルエンス・ダイアグラム・データ

インフルエンス・ダイアグラム・データは、その基本となる情報構造が単純グラフである。グラフの結び目には個別の評価対象の事象・現象が位置付けられる。インフルエンス・ダイアグラム・データ（連結、向き、事象・現象リスト等のグラフ情報）は、個別FEPリストの因果関係情報（FEPリンク）から作りだすものとしている。但し、インフルエンス・ダイアグラムを変更することも操作として考えられるため、その場合はFEPリンクは更新されるものとする。また、更新に伴うリンクの妥当性評価や、部分インフルエンス・ダイアグラムの抽出のための情報探索アルゴリズムは、木構造情報探索アルゴリズム等を参考に検討した。

インフルエンス・ダイアグラム・データは、データ構造化検討によってモデル化した因果関係テーブルを用いて、個別FEPに関連する原因、結果のFEP番号および影響内容と評価内容を得られるものとした。因果関係テーブル（テーブル名：CE）は図2. 1-26に示す構成となっている。

Field	Type	Length
cau	char16	16
eff	char16	16
inf_ce	text	var
cau_id	char2[]	var
eff_id	char2[]	var
rel_ce	char16	16

図 2. 1 - 2 6 因果関係テーブル

図 2. 1 - 2 6 で各フィールド属性の内容は、次のとおりである。

cau : effフィールドに対応するFEPに影響を与える（原因）FEP番号
 eff : cauフィールドに対応するFEPから影響を受ける（結果）FEP番号
 inf_ce : 因果関係の影響内容と評価内容
 cau_id : cauフィールドの配列型FEP番号
 eff_id : effフィールドの配列型FEP番号
 rel_ce : システム予備フィールド

因果関係テーブルは、FEPリストに記述されている全ての原因および結果情報を含んでいる。ある個別FEPの原因および結果となるFEP番号を得る場合は、select文に論理条件でフィールドeffおよびフィールドcauに当該FEPを指定すればよい。

```

FEP> select cau,eff from EE where cau = 'G-4.1' and eff = 'G-4.1'
EF>
EF>
EF>
G-3.2 | G-4.1
G-4.1 | G-4.2
G-4.2 | G-4.3
G-5.1 | G-4.1
G-5.3 | G-4.1
G-5.2 | G-4.1
G-4.1 | G-4.2
G-4.1 | G-4.3
G-4.1 | G-5.2
G-4.1 | G-5.3
G-4.1 | GP-6.1
G-4.1 | G-4.1
G-4.1 | G-4.2
G-4.2 | G-4.3
G-4.1 | G-4.2
EF>
FEP>

```

図 2. 1 - 2 7 FEP番号 'G-4.1' の原因・結果表示

図2. 1-27に表示した例は、FEP番号G-4.1に関する因果関係のFEP番号を因果関係テーブルから取得したものである。FEP番号の表示で左側に表示されているG-4.1を除くFEP番号は、G-4.1に影響を与える（原因）FEPであり、右側に表示されているFEP番号はG-4.1が影響を与える（結果）FEP番号である。全てのFEPリストがデータベース（因果関係テーブル）に登録され、因果関係が正しく記述されていたならば、このテーブルには同一のレコードが2つ存在することとなる。個別FEPリスト内の因果関係で影響を与える先のFEPは、そのFEPから影響を受けると記述されるからである。

2. 1. 3 操作機能設計検討

操作機能設計では、本システムを利用して、以下の作業を対話方式で行うための、ネットワーク分散型グラフィクス・ユーザーインターフェイスの設計検討を行った。本システムは、その操作機能上の特徴としてネットワークに分散したコンピュータが、相互に連係して動作する（ネットワーク分散処理）機能を提供するものとして検討・設計した。それにより、例えば、インフルエンス・ダイアグラムの表示、FEPリストの表示、メイン・メニューの表示等を、個別のパーソナルコンピュータに機能分散し、効率的な機能分散システム環境を提供し、プレゼンテーション等への対応を計るよう検討した。本書ではそのようなネットワーク分散型情報表示機能をDID（Distributed Information Display）機能と記す。本年度はおよそ以下の分野に視点をあてて設計検討作業を実施した。

- ・主操作ウィンドウ
- ・FEPリスト及びリンク組立・表示ウィンドウ（含DID）
- ・インフルエンス・ダイアグラムの表示ウィンドウ（含DID）
- ・システム保守ウィンドウ

(1) 主操作ウィンドウ

主操作ウィンドウは、本システムの開始および終了等セッションの基本操作機能を提供するウィンドウであり、本システムがインストールされているコンピュータ（サーバー）のディスプレイに表示されるものである。主操作ウィンドウは、データベース（POSTGRES）の管理を行うことを主機能としている。

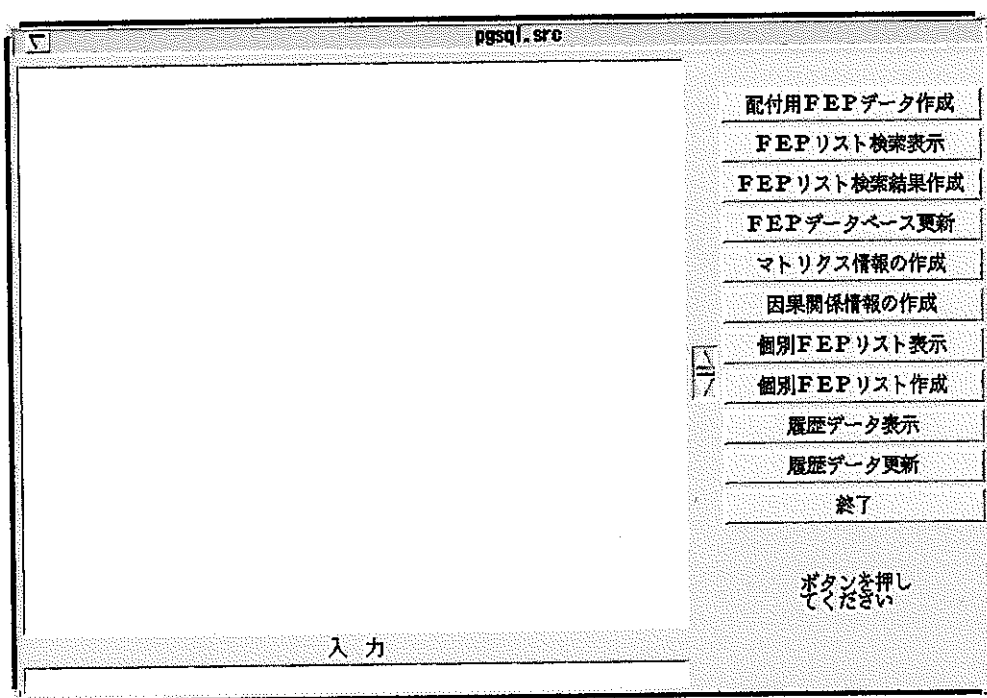


図2. 1-29 主操作ウィンドウ

主操作ウィンドウでは、配布先から収集されたFEPリストのFEPデータベース更新や配布FEPデータの作成およびデータベース情報の検索等を行う。また、FEPデータベース更新に伴う因果関係の妥当性チェックやインフルエンス・ダイアグラム・データの作成等も行う機能を備える。主操作ウィンドウのデータベース検索等で得られた結果は、ネットワークを通じてクライアントである簡易FEP管理ソフトウェアで表示することができるものとした。

主操作ウィンドウの機能を下記に示す。

配布用FEPデータ作成

FEP情報説明や情報交換およびシナリオ解析のアプローチ等において、配布用簡易FEP管理プログラム（プログラム名称：CASCADE）をネットワークから切り離して使用する場合に、既存のFEP情報をデータベースから収集し配布用FEP情報として作成する。

FEPリスト検索表示

データベースにアクセスし、主操作ウィンドウに表示する。リンクド・リスト等のSQL文を入力フィールドに記述（タイプイン）し結果を表示。

FEPリスト検索結果作成

上記のFEPリスト検索表示は、主操作ウィンドウに目的とするFEPリストを表示するのみであるが、FEPリスト検索結果作成は、検索結果を共有ディスクに格納する。共有ディスクに格納されて検索結

果は、クライアントのマッキントッシュの簡易FEPリスト支援プログラム（名称：CasMgr）で、ワードプロセッサ・ソフトウェアと同等に扱うことができる。

FEPデータベース更新

配布用FEP情報で内外部から収集された個別FEPリストからデータベースを更新する。

マトリクス情報の作成

階層マトリクスに変更が生じた場合にデータベースを更新し、CASCADEの階層マトリクス・ウィンドウに反映させる。

因果関係情報の作成

データベースに登録されたFEPリストを検証し、因果関係の整合性をチェック後クライアントのCASCADEに渡す。CASCADEの因果関係確認ウィンドウは、データベースに登録されているFEPリストの因果関係整合性を表示する。

個別FEPリスト表示

データベースに構造化され登録されているFEPリストを個別FEP単位で収集し表示する。

個別FEPリスト作成

データベースに構造化され登録されているFEPリストを個別FEP単位で収集し、結果をCasMgrに渡す。

履歴データ表示

履歴データの表示は、データベースに登録されている同じFEP番号を持つ個別FEP情報の取得先や取得日付等の履歴情報を主操作ウィンドウに表示する。

履歴データ更新

現在使用されている個別FEPを変更する。

(2) FEPリスト及びリンク組立・表示ウィンドウ

FEPリスト及びリンク組立・表示は、主操作ウィンドウの入力フィールドで行うものとした。入力フィールドは、FEPデータベースのアクセス用フィールドであり、SQLを用いてリンク組み立てのためのスキーマを作成（入力）し実行することによって、目的とするFEPリストを主操作ウィンドウのテキスト表示フィールドに表示することができる。

(3) インフルエンス・ダイアグラムの表示ウィンドウ

インフルエンス・ダイアグラムは、前(2)項に示した入力フィールドを用いて目的とするFEPリスト番号のインフルエンス・ダイアグラム・データ表示のためのSQLスキーマを組み立てテキスト表示フ

ィールドに表示できる。インフルエンス・ダイアグラム・データは、ネットワークを通じてCASCAD Eで個別FEP単位で表示できる。

(4) システム保守ウィンドウ

FEP情報データベースシステムの保守（バックアップの作成等）は、本システムが搭載されるオペレーティング・システムに依存したウィンドウシステム（OpenWindow）を用いて、tarコマンドによる外部記憶装置へのデータ退避を行うものとした。

2. 1. 4 サーバー・クライアント機能設計（簡易FEP管理ソフトウェアとの分散環境）

これまでに作成された簡易FEP管理ソフトウェアを、ローカル・エリア・ネットワーク（LAN）を通じてFEP情報データベースシステムと接続し、FEPリスト等データベース資源の共有を計り、サーバー・クライアント・システム・アーキテクチャの機能を設計検討した。これまでに作成された簡易FEP管理プログラム（プログラム名称：MacFEP）は、パーソナル・コンピュータのマッキントッシュ単体システムで動作するソフトウェアであり、ワードプロセッサで作成されたFEP文書ファイルを整理し、グラフィクス・ユーザーインターフェイスを用いてFEPリストの選出やインフルエンス・ダイアグラム表示を視覚的に行うソフトウェアである（後述3項参照）。MacFEPは、その性格上、FEPデータとなるFEP文書ファイルや階層マトリクスに変更が生じた場合は、因果関係情報の見直しやインフルエンス・ダイアグラム・データの作成・変更およびグラフィクス・ユーザーインターフェイスの再構築等の多大な人的作業が生じた。これらを効率化するために、前項までに検討したデータベースを基盤にして分散環境を構築し、簡易FEP管理プログラムを本システムに取り込み、ネットワークを利用したサーバー/クライアント方式を検討した。サーバーはFEPデータ管理を行い、簡易FEP管理プログラムはクライアントとして、FEP情報の収集やFEPリストおよびインフルエンス・ダイアグラムの表示を行うものとした。

(1) NFS：Network File Systemを用いたFile Share機能の利用

NFSは、分散ファイル・システムソフトウェアであり、NFSによりネットワークで接続された別の計算機上にあるファイルや装置をあたかも自分のもの（ローカル・ファイル）のように利用することができる。UNIXマシンの分散ファイル・システムとしては現在もっとも普及している。本システムでは、サーバーをUNIXシステム（データベース等）とし、クライアントをマッキントッシュ（簡易FEP管理プログラム：CASCADE）として、このNFS機能を利用し、サーバーが管理するFEPリスト等のFEP情報（データ）をネットワークを通じて共有を計るものとした。本システムでは、サーバー/クライアントのNFS機能としてCAP（Columbia Appletalk Package）を用いるものとした。CAPは、UNIXシステムとマッキントッシュのファイル共有（NFS）を行うソフトウェアである。

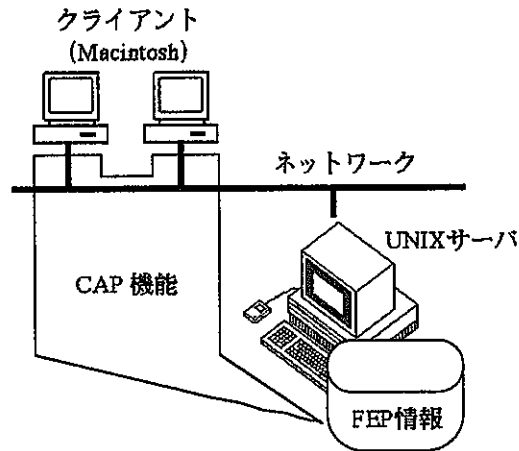


図2. 1-29 本システムのサーバー/クライアント構成

図2. 1-29に示したCAPを用いたサーバー/クライアント構成により、サーバーが管理するFEP情報データベースで得られた情報（データ）をクライアントの簡易FEP管理ソフトウェアで扱え、また簡易FEP管理ソフトウェアで変更されたFEPリストを再度データベースに格納し管理することが可能となった。



図2. 1-30 クライアントから見えるサーバーの共有フォルダ

(2) 情報のインポート・エクスポート機能の開発

CAPを用いたサーバー/クライアントを構築したことにより、サーバー内に格納されているFEP情報はネットワークを通じて共有化され、互いに必要とする情報の交換が容易になった。図2. 1-30に示すアイコンは、サーバーに接続されている本システムの共有ディスクであり、クライアントのマッキントッシュのウィンドウに表示されているものである。この共有ディスクは、クライアントのマッキントッシュから、あたかも自分のディスクのように使用することができる。本システムでは、この機能を利用してサーバーの主操作ウィンドウで処理されたFEP情報（データ）結果を共有ディスク内に格納することにより、クライアントの簡易FEP管理プログラム（CASCADE）からアクセス可能なものとした。また、CASCADEで作成、変更されたFEPリストは同様にサーバーのFEPリスト処理機能（データベース更新等）でアクセス可能となった。すなわち、FEP情報にかかわるデータのインポート/エクスポートは、共有ディスク内に互いに必要とするデータを格納することにより行うものとしている。

3 FEPリスト管理プログラム (MacFEP) の機能追加

平成8年度は、これまでに作成されたパーソナル・コンピュータによるFEPリスト管理プログラムについて、以下に示す操作機能等の機能を追加し改良整備を行い、より効率的なFEPリスト管理作業に資する作業を実施した。

パーソナル・コンピュータ (マッキントッシュ) による簡易FEPリスト管理プログラムについて、上記1項で実施したFEP情報データベースシステムに組み入れることを目的とした、凡そ以下に示す機能の追加と改良整備のための検討を行った。

- (1) インフルエンス・ダイアグラム表示機能
- (2) マトリクス表示機能
- (3) FEP内容表示機能
- (4) その他新機能の追加

簡易FEPリスト管理プログラム改良の検討記述の前に、これまでに作成された簡易FEPリスト管理プログラムについて概論する。

3. 1 簡易FEPリスト管理プログラムの概要

従来、ワードプロセッサの形式で作成・蓄積されていたFEP文書ファイルは、人的に整理しテキスト形式にて管理されていた。このFEP文書ファイルを編集し簡易FEPリスト管理プログラム (プログラム名称: MacFEP) 環境下で管理することにより、FEP情報 (個別FEPリストやインフルエンス・ダイアグラム) の選出や表示を視覚的に行うことが可能となり、各界の専門家とのFEP情報説明や情報交換、関係者等へのFEPのアプローチにMacFEPに準備されているグラフィクス・ユーザーインターフェイスを用いて容易に行うことができるようになった。

3. 2 MacFEPの特徴

MacFEPは、MacFEP環境下に格納されたFEP情報をグラフィクス・ユーザーインターフェイス (グラフィクス・ウィンドウ) を利用して、ユーザーライクな操作で目的とするFEP情報をマッキントッシュの画面に表示するソフトウェアである。主な特徴は次のとおりである。

(1) グラフィクス・ユーザーインターフェイス

グラフィクス・ユーザーインターフェイスは、MacFEP環境下に格納したFEP情報を選出表示するために用い、画面上に表示されたグラフィクス・ウィンドウをマウス操作で選択することにより、目的とするFEPリストやインフルエンス・ダイアグラムを表示することができる。主なグラフィクス・ユーザーインターフェイスは次のとおりである。

a. 階層マトリクス・ウィンドウ

目的とするサブマトリクス・ウィンドウを選択表示するインターフェイス。

- b. サブ・マトリクス・ウィンドウ
目的とする個別FEPリストおよびローカル・インフルエンス・ダイアグラムを選択表示するインターフェイス。
- c. サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ
表示されたサブ・インフルエンス・ダイアグラムからローカル・インフルエンス・ダイアグラムを表示するインターフェイス。
- d. ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ
因果関係（原因・結果）リストを表示し、また因果関係のローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウも表示可能なインターフェイスを備える。

(2) ウィンドウメニュー

表示したFEP情報のテキスト検索や印刷等の制御を行うメニューを装備し、操作方法は一般の市販ソフトウェアとほぼ準拠している。

(3) FEP情報の表示

- a. FEPリスト内容の表示
- b. サブおよびローカル・インフルエンス・ダイアグラムの表示
- c. 個別FEPリストの因果関係（原因・結果）内容の表示

図3. 2-1にグラフィクス・ユーザーインターフェイス・ウィンドウの表示例を示す。

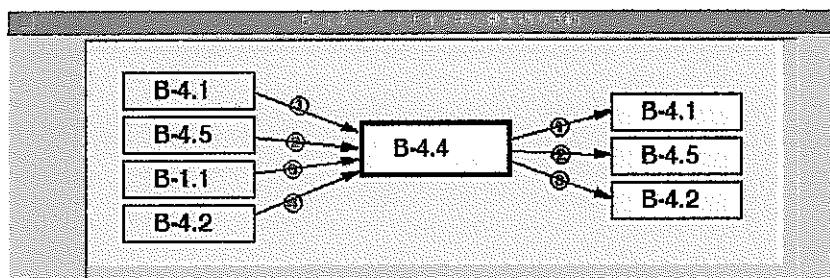


図3. 2-1 ローカル・インフルエンス・ダイアグラムの表示

図3. 2-2に、図3. 2-1に表示したローカルインフルエンス・ダイアグラムのユーザーインターフェイス部を示す。

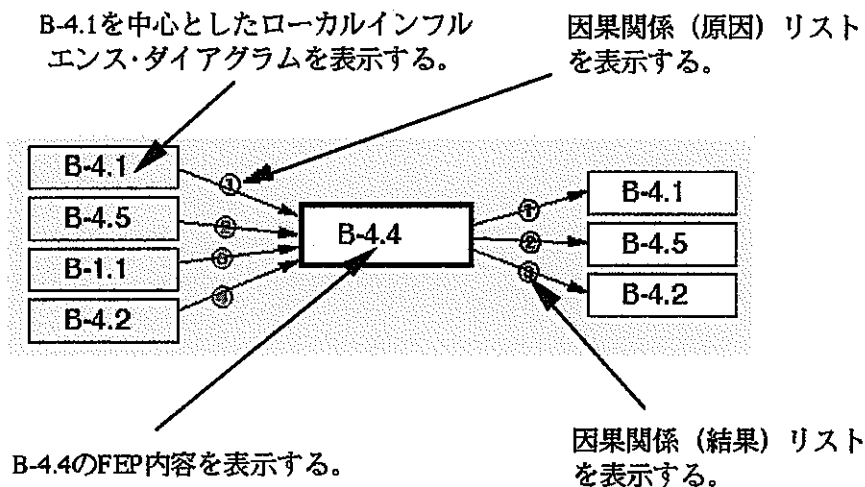


図3. 2-2 ローカル・インフルエンス・ダイアグラムのインターフェイス

図3. 2-2のローカル・インフルエンス・ダイアグラムにおいて、矢印で指されている絵部分（オブジェクト）にマウスポインタを合致させクリックすることにより、矢印に示されている内容が別ウィンドウに表示される。このようにMacFEPには、FEP情報表示のためのグラフィクス・ユーザー・インターフェイスを備え、計算機とユーザー間の対話をより簡易に行えるようにしている。また、ウィンドウメニューでは、ウィンドウ表示内容の印刷やファイル操作等をマウスで行うことができる。

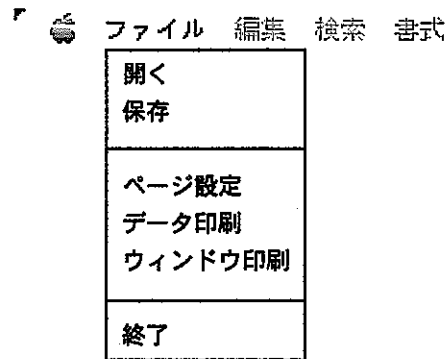


図3. 2-3 ウィンドウメニュー表示例

3. 3 MacFEPの構成

MacFEPの動作環境は、MacFEPグラフィクス・ユーザーインターフェイス部とデータ制御部、マッキントッシュ・オペレーティング・システム (MacOS) リソース、イベント管理部およびMacFEP環境下に置かれたFEP情報データから構成される。

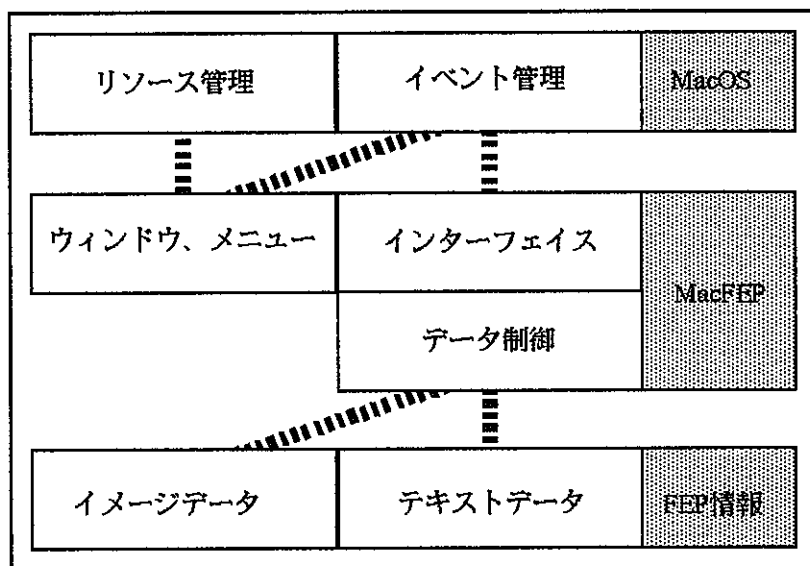


図 3. 3 - 1 MacFEP動作環境概要

(1) リソース

ウィンドウ、メニュー、ダイログおよびアイコン等、プログラムのインターフェイスを構成するものを全てをリソースと呼ぶ。リソースはインターフェイスの要素の単なる記述に過ぎず、リソースのみでは動作しない。

(2) イベント

グラフィクス・ユーザーインターフェイスを使用するソフトウェアは、必ずしも一定の順序で処理を行うものではなく、ウィンドウに描画されている絵から目的とする作業をマウスで選択する。この絵部分とマウス動作の制御をイベントという。

(3) ウィンドウ、メニュー

ウィンドウやメニューはMacFEP専用で作成し、リソースに格納されている。

(4) インターフェイス

イベント管理部からのユーザーアクション情報を取得し、ウィンドウやメニューのどこの位置が選択されたかを確認後、ウィンドウ制御を行い必要情報をデータ制御にわたす。

(5) データ制御

インターフェイスから送られた情報をもとに、必要とするデータをアクセスしウィンドウ内に表示させる。

3. 4 ウィンドウとインターフェイス

MacFEPは起動後、最初のウィンドウ（階層マトリクス・ウィンドウと制御ウィンドウ）を表示しウィンドウに対するユーザーからのマウスクリックやメニュー操作（このウィンドウに対するマウスクリックやメニュー操作行動をイベントという）を待つ。表示される各ウィンドウ内には、それぞれウィンドウの用途に合わせイベント用オブジェクト（ボタンやメニュー）が配置されている。インターフェイス部は、この各オブジェクトを制御し選択された情報（別ウィンドウ表示等）に連結させる。

図3. 4-1は、階層マトリクス・ウィンドウを中心としたオブジェクトとインターフェイスの関連例を示したものである。ウィンドウとインターフェイスは、MacFEPが終了されるまでオブジェクトの選択によるウィンドウ表示を繰り返す。図3. 4-1は、MacFEPのグラフィクス・ユーザーインターフェイスのウィンドウとインターフェイスに係わるイベントについて、マッキントッシュオペレーティング・システムとの関連を示したものである。

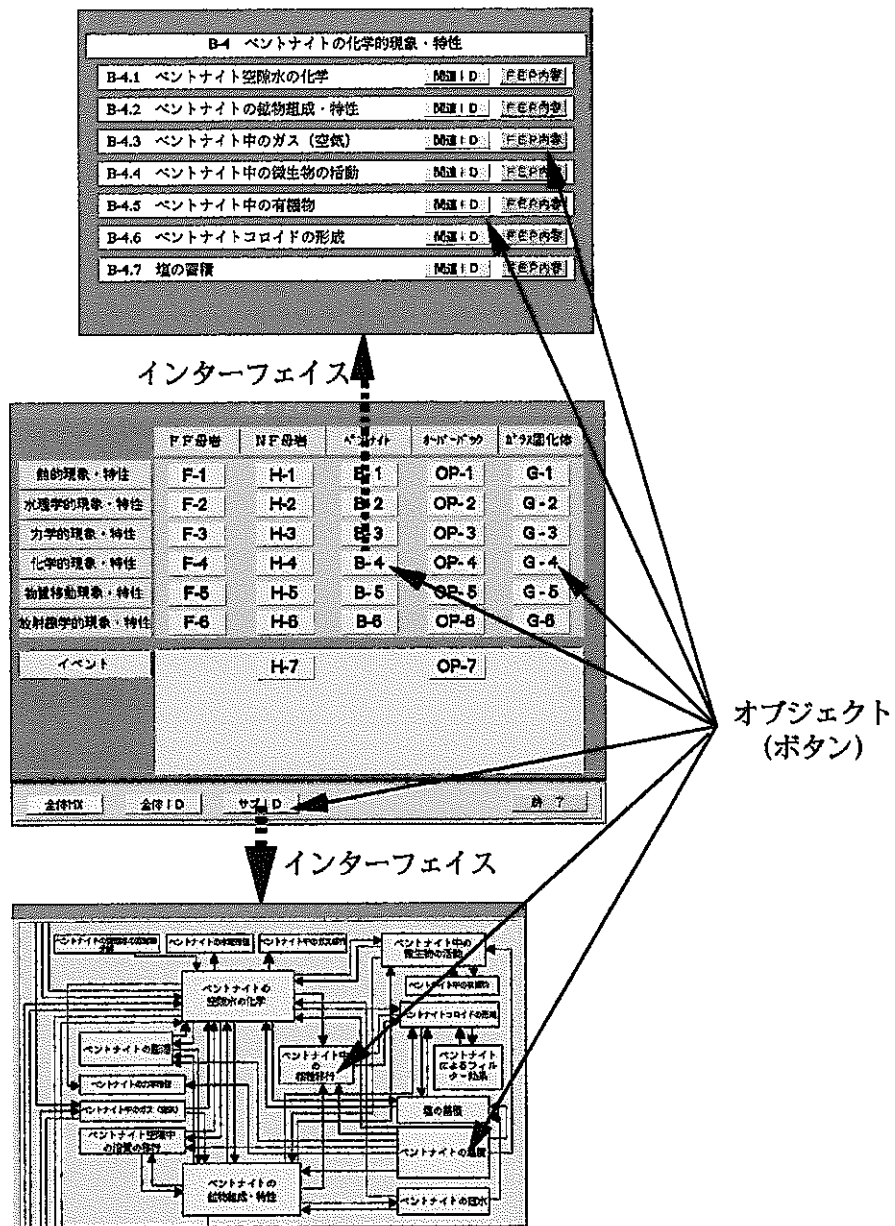


図 3. 4-1 ウィンドウ・オブジェクトとインターフェイス

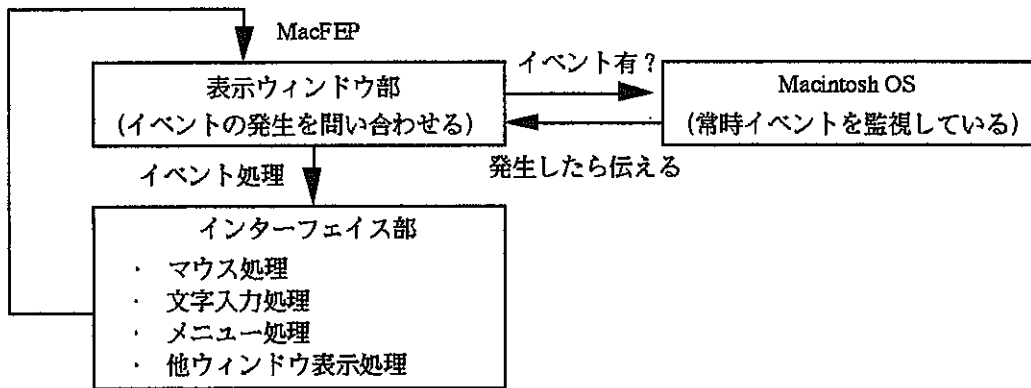


図 3. 4-2 マッキントッシュ OSとMacFEPグラフィクス・ユーザーインターフェースの関連

3. 4. 1 ウィンドウの種類と構成

MacFEPに備わっているウィンドウは次のとおりである。

- 階層マトリクス・ウィンドウ
- 制御ウィンドウ
- サブ・マトリクス・ウィンドウ
- サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ
- FEP内容表示ウィンドウ
- 因果関係（原因または結果）表示ウィンドウ

(1) 階層マトリクス・ウィンドウ

階層マトリクス・ウィンドウは、MacFEP起動後最初に表示されるウィンドウである。

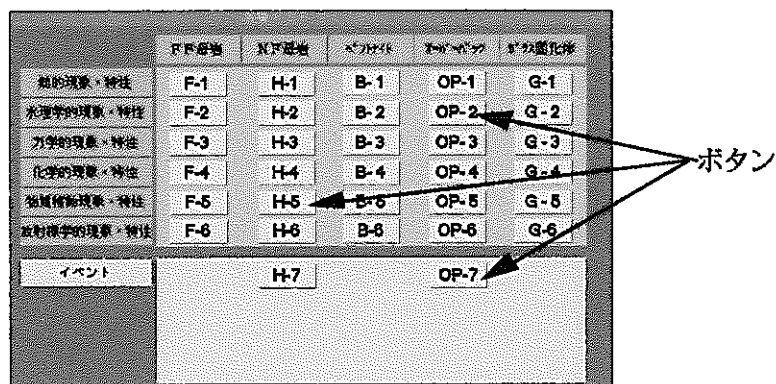


図 3. 4-3 階層マトリクス・ウィンドウ

階層マトリクス・ウィンドウは、目的とするサブ・マトリクス・ウィンドウの表示を選択するために用いる。コントロール・オブジェクトは、サブ・マトリクス番号が描かれたボタンのみとしている。

(2) 制御ウィンドウ

制御ウィンドウは、階層マトリクス・ウィンドウと同じくMacFEP起動後最初に表示されるウィンドウで、常時画面上に表示される。

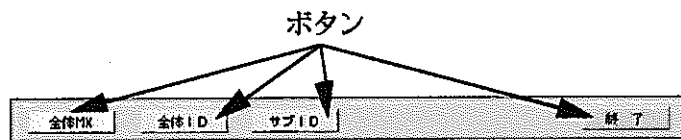


図 3. 4-4 制御ウィンドウ

ウィンドウに配置されたコントロール・オブジェクトは、ボタンのみでそれぞれイベントにより次の動作を行う。

- 全体MXボタン : 階層マトリクス・ウィンドウを表示させる。
- 全体IDボタン : 現在リソースのみ (アクションなし)
- サブIDボタン : サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウを表示させる。
- 終了ボタン : MacFEPを終了させる。

(3) サブ・マトリクス・ウィンドウ

サブ・マトリクス・ウィンドウは、個別FEP情報の表示を選択するために用いる。

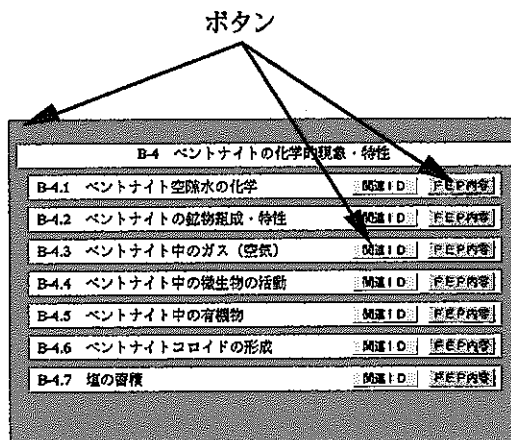


図 3. 4-5 サブ・マトリクス (B-4) ・ウィンドウ

選択は、個別FEP番号と個別FEP項目が記述されている同横列に配置された関連IDボタンまたはFEP内容ボタンで行う。

関連IDボタン：選択した個別FEP番号を中心としたローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウを表示させる。

FEP内容ボタン：選択した個別FEP番号の内容をFEP内容表示ウィンドウに表示させる。

また、ウィンドウ左上に配置されたボタンは当該ウィンドウを閉じる（クローズ）させる場合に選択する。

(4) サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ

サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウは、ベントナイトにかかわるインフルエンス・ダイアグラムを描画したウィンドウである。ウィンドウ内に配置したイベント用コントロール・オブジェクトは、階層マトリクス・ウィンドウやサブ・マトリクス・ウィンドウに配置したような標準的なボタンではなく、描画した絵部分がイベント用コントロール・オブジェクトとなっている。イベントを持つ絵部分は、FEPサブ・マトリクス項目が記述されている。

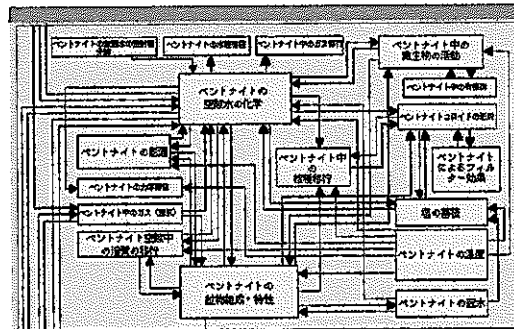


図3. 4-6 サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ

FEPサブ・マトリクス項目の絵部分を選択すると関連するローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウを表示する。サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ内のイベントを持つFEPサブ・マトリクス項目と表示されるローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウの個別FEP番号は次のとおりである。

FEPサブ・マトリクス項目（絵部）	個別FEP番号
ベントナイトの空隙水の化学	B-4.1
ベントナイトの力学特性	B-4.3
ベントナイトの鉱物組成・特性	B-4.2
ベントナイト中の微生物の活動	B-4.4
ベントナイト中の有機物	B-4.5
ベントナイトのコロイドの形成	B-4.6
塩の蓄積	B-4.7

図3. 4-7 FEPサブ・マトリクス項目（絵部）と表示する個別FEP番号

（5） ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウは、選択した個別FEPにかかわるインフルエンス・ダイアグラムを表示する。インフルエンス・ダイアグラムは、個別FEP内容の因果関係（原因、結果）から抽出し描画している。

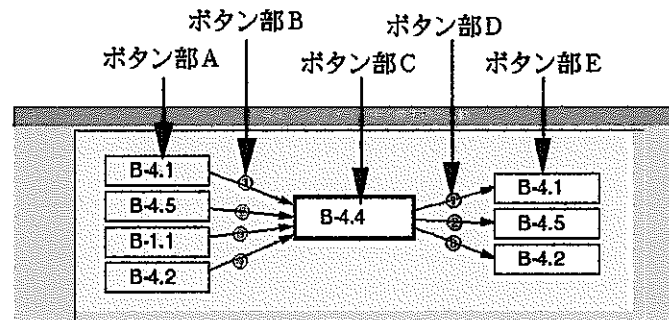


図3. 4-8 ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ

イベント部分は、サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウと同様に描画した絵部分（図3. 4-8参照）がコントロール・オブジェクトとなっている。図3. 4-8から、

- ボタン部A : 当該FEPに影響を及ぼす（原因）FEP番号としている。四角で囲まれた部分がコントロール・オブジェクト（ボタンと同機能）となっており、クリックすることにより選択したFEP番号のローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウに表示を変える。
- ボタン部B : ボタン部Aと当該FEP番号を結ぶ矢印に架かる赤丸数字（○）部がコントロール・オブジェクト（ボタンと同機能）となっており、ボタン部AのFEP番号の原因内容が別ウィンドウに表示される。

- ボタン部C : 四角で囲まれた当該FEP番号部分がコントロール・オブジェクトとなっており、因果関係を除く当該FEP内容を別ウィンドウに表示する。
- ボタン部D : ボタン部Eと当該FEP番号を結ぶ矢印に架かる青丸数字 (○) 部がコントロール・オブジェクト (ボタンと同機能) となっており、ボタン部EのFEP番号の結果内容が別ウィンドウに表示される。
- ボタン部E : 当該FEPが影響を及ぼす (結果) FEP番号としている。四角で囲まれた部分がコントロール・オブジェクト (ボタンと同機能) となっており、クリックすることにより選択したFEP番号のローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウに表示を変える。

(6) FEP内容表示ウィンドウ

FEP内容表示ウィンドウは、サブ・マトリクス・ウィンドウのFEP内容ボタンをクリックすることにより、選択された個別FEP内容を表示する。

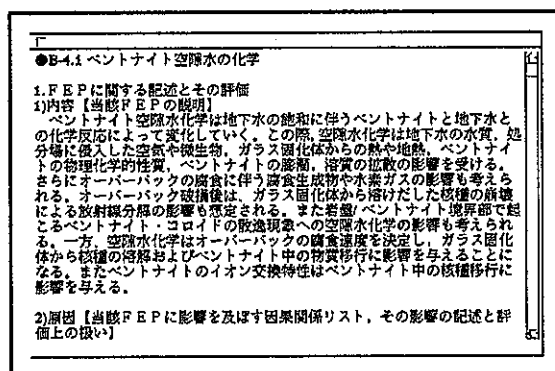


図3. 4-9 FEP内容表示ウィンドウ

FEP内容表示ウィンドウ内に表示されたFEP内容 (テキストデータ) は、ウィンドウに配置されたコントロール・オブジェクト (スライダー) を用いて上下にスクロールすることができる。また、ウィンドウメニューの検索項目選択により、特定の文字や文字列の検索を行うことができる。FEP内容表示ウィンドウ内に表示されたFEP内容は、テキストエディタ使用の要領で変更することが可能であり、変更後の内容を別ファイルとして保存することができる。

(7) 因果関係 (原因または結果) 表示ウィンドウ

因果関係 (原因または結果) 表示ウィンドウは、ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウから表示される (前述ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ参照) ウィンドウであり、因果関係の原因または結果内容を表示する。

<p>B-4.1 ベントナイトの温度→B-4.1 ベントナイト空疎水の化学 【当該FEPへの影響】 ニアフィールドにおける温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、空疎水化学に影響を与える可能性がある。</p> <p>【評価】 空疎水化学は、25℃の標準状態での熱力学データを用いて評価されている（油井ら、1992）。地温梯度（50～60℃）での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。</p>	<p>B-4.1 ベントナイト空疎水の化学→OP-4.2 水素ガスの発生 【当該FEPが及ぼす影響】 ベントナイト空疎水化学は、オーバーバックの腐食に影響を与えるため水素ガスの発生挙動にも影響する。</p> <p>【評価】 水素ガスの発生挙動は、主に水素分圧、腐食生成物や溶存水素の拡散により影響されるが、前2者が主にベントナイト空疎水化学により影響を受ける。空疎水化学の値に応じた腐食速度に基づく評価を考慮する。</p>
---	--

図 3. 4-10 因果関係の原因（左）と結果（右）ウィンドウ

因果関係（原因または結果）表示ウィンドウに表示された内容は、FEP内容表示ウィンドウと同様に変更後の内容を別ファイルとして保存することができる。

3. 4. 2 メニューの種類と構成

MacFEPに備わっているメニューは、構成および操作方法とも一般の市販ソフトウェアにほぼ準じている。

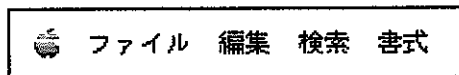


図 3. 4-11 MacFEPのウィンドウメニュー

- ファイル : ファイルメニューは、最前面に表示されているウィンドウに対するプリンタへの出力や既存ファイルのオープン等の制御とMacFEPの終了を行う。
- 編集 : ウィンドウ内のフィールドに表示されているテキストデータ（個別FEP内容等）の制御（カットやペースト等）を行う。
- 検索 : ウィンドウ内のフィールドに表示されているテキストデータ（個別FEP内容等）の制御（検索や置換）を行う。
- 書式 : ウィンドウ内のフィールドに表示されているテキストデータ（個別FEP内容等）の制御（文字設定）を行う。

ウィンドウメニューは、最前面に表示されているウィンドウの種類により使用可能と不可能を設定している。これは、最前面に表示されているウィンドウがイメージデータのみを表示している場合に編集や検索等テキストにかかわる制御を必要としないためである。

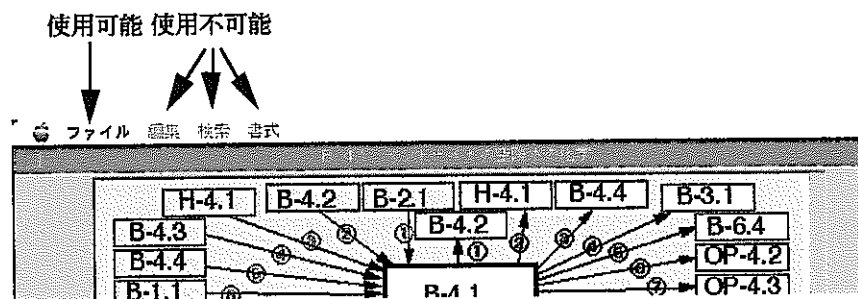


図 3. 4-1 2 ウィンドウメニューの設定

(1) ファイルメニュー

ファイルメニューの構成を図 3. 4-1 3 に示す。

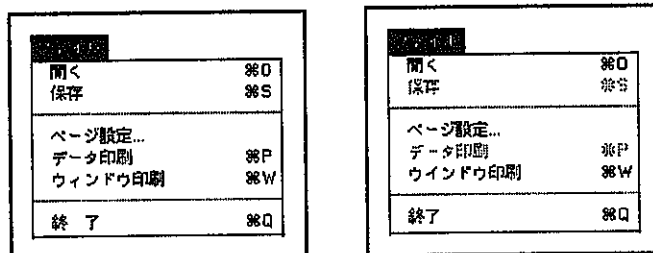


図 3. 4-1 3 ファイルメニュー構成 (使用可能、不可能設定)

ファイルメニューに構成される各項目の制御は次のとおりである。

- 開く : FEP内容表示ウィンドウおよび因果関係 (原因、結果) 表示ウィンドウで内容変更され別名で保存されたファイルを開く。
- 保存 : FEP内容表示ウィンドウおよび因果関係 (原因、結果) 表示ウィンドウで内容変更したファイルを別名で保存する。
- ページ設定 : プリンタの用紙設定
- データ印刷 : 最前面のウィンドウにテキストデータが表示されている場合に、その内容を印刷する。最前面のウィンドウにテキストデータが表示されていない場合は、使用できない (3. 4-1 3 の右を参照)。
- ウィンドウ印刷 : 最前面のウィンドウをウィンドウ単位で印刷する。
- 終了 : MacFEPの終了

(2) 編集メニュー

編集メニューの構成を図3. 4-14に示す。

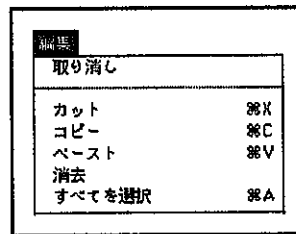


図3. 4-14 編集メニュー構成

編集メニューに構成される各項目の制御は、市販されているワードプロセッサ系のソフトウェアやテキストエディタと同等で、表示されているテキストデータを対象とする。

(3) 検索メニュー

検索メニューの構成を図3. 4-15に示す。

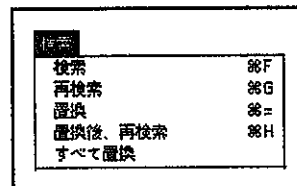


図3. 4-15 検索メニュー構成

検索メニューに構成される各項目の制御は、市販されているワードプロセッサ系のソフトウェアやテキストエディタとほぼ同等で、表示されているテキストデータの文字や文字列を検索または置換する。

(4) 書式メニュー

書式メニューの構成を図3. 4-16に示す。

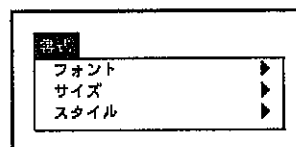


図3. 4-16 書式メニュー構成

書式メニューは、表示されているテキストデータの文字や文字列のフォント変換やサイズ変更等に

図3. 4-18から、

- (1) 因果関係（原因）表示ウィンドウ
- (2) 個別FEP内容（因果関係を除く）表示ウィンドウ
- (3) 因果関係（結果）表示ウィンドウ
- (4), (5), (6) ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ
- (7) サブ・マトリクス・ウィンドウ
- (8) 個別FEP内容（全内容）表示ウィンドウ
- (9) 階層マトリクス・ウィンドウ
- (10) 制御ウィンドウ
- (11) サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ

3. 5 データの種類と内容

MacFEP環境下で管理されているFEP情報データの種類と内容について記述する。

MacFEPが管理するデータの種類は、テキストデータ、イメージデータおよびウィンドウ・オブジェクトデータであり、それぞれ表示するウィンドウに合わせた形式としている。

3. 5. 1 テキストデータ

テキストデータは、個別FEP内容が記述された文書形式のファイルである。テキストデータの種類は次のとおりである。

個別FEP内容データ（全内容）
個別FEP内容データ（因果関係内容を除く）
個別FEP因果関係（原因）データ
個別FEP因果関係（結果）データ

(1) 個別FEP内容データ（全内容）

個別FEP内容データ（全内容）ファイルは、サブ・マトリクス・ウィンドウのFEP内容ボタンから呼びだされ、個別FEP内容表示ウィンドウ内に表示される。個別FEP内容データ（全内容）ファイルは、個別FEP番号単位を1ファイルとして管理している。

個別FEPの全内容が記述されているデータファイル内容の構成を図3. 5-1に示す。

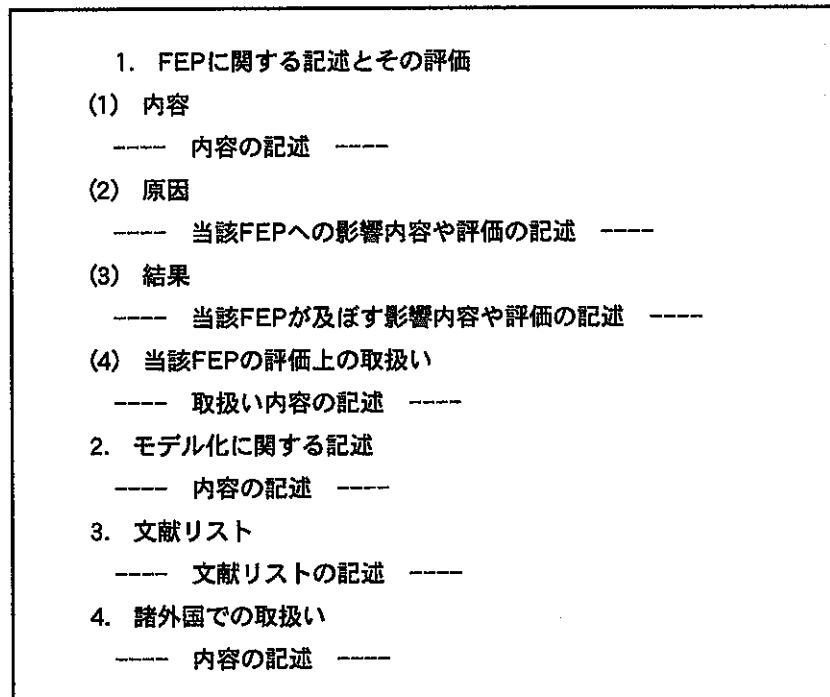


図 3. 5 - 1 個別FEP内容データ（全内容）ファイルの構成

(2) 個別FEP内容データ（因果関係内容を除く）

個別FEP内容データ（因果関係内容を除く）ファイルは、ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウの当該FEP番号を描画してある部分のコントロール・オブジェクトから呼びだされ、ウィンドウ内に表示される。個別FEP内容データ（全内容）から因果関係の原因部分と結果部分の内容を省いて作成されているファイルであり、個別FEP番号単位を1ファイルとして管理している。

個別FEP内容データ（因果関係内容を除く）ファイル内容の構成を図 3. 5 - 2 に示す。

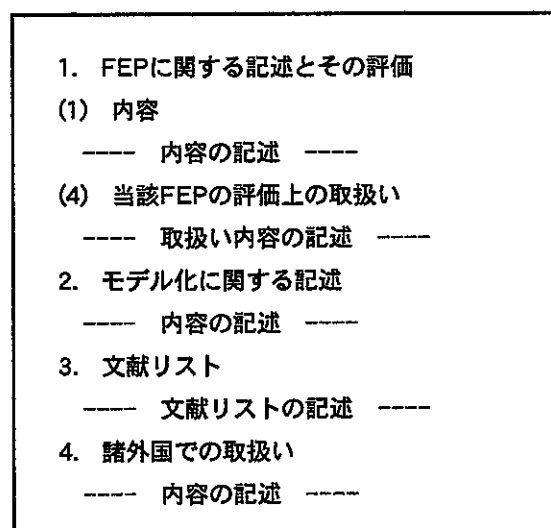


図 3. 5 - 2 個別FEP内容データ（因果関係内容を除く）ファイルの構成

(3) 個別FEP因果関係(原因)データ

個別FEP因果関係(原因)データは、個別FEP内容データ(全内容)ファイルの原因部分を抜きだして作成されたファイルである。個別FEP因果関係(原因)データファイルは、個別FEP因果関係内容により複数作成されている。個別FEP因果関係(原因)データは、それぞれローカル・インフレンス・ダイアグラム・ウィンドウの原因部に配置されたコントロール・オブジェクトから呼ばれ、因果関係表示ウィンドウ内に表示される。

B-1.1 ベントナイトの温度→B-4.1 ベントナイト空隙水の化学
〔当該FEPへの影響〕
ニアフィールドにおける温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、空隙水化学に影響を与える可能性がある。
〔評価〕
空隙水化学は、25℃の標準状態での熱力学データを用いて評価されている(油井ら,1992)。地温程度(50~60℃)での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

図3.5-3 個別FEP因果関係(原因)データファイル内容例

(4) 個別FEP因果関係(結果)データ

個別FEP因果関係(結果)データは、個別FEP内容データ(全内容)ファイルの結果部分を抜きだして作成されたファイルである。個別FEP因果関係(結果)データファイルは、個別FEP因果関係内容により複数作成されている。個別FEP因果関係(結果)データは、それぞれローカル・インフレンス・ダイアグラム・ウィンドウの結果部に配置されたコントロール・オブジェクトから呼ばれ、因果関係表示ウィンドウ内に表示される。

B-4.1 ベントナイト空隙水の化学→B-2.2 ベントナイトの水理特性
〔当該FEPが及ぼす影響〕
ベントナイトの水理特性は、ベントナイト空隙水化学に依存する。
〔評価〕
変化は緩衝材中の溶質の拡散支配を覆す程度には大きくない。

図3.5-4 個別FEP因果関係(結果)データファイル内容例

因果関係(原因、結果)内容ファイルの個別FEPリストからの、分割および内容表示を図3.5-5に示す。

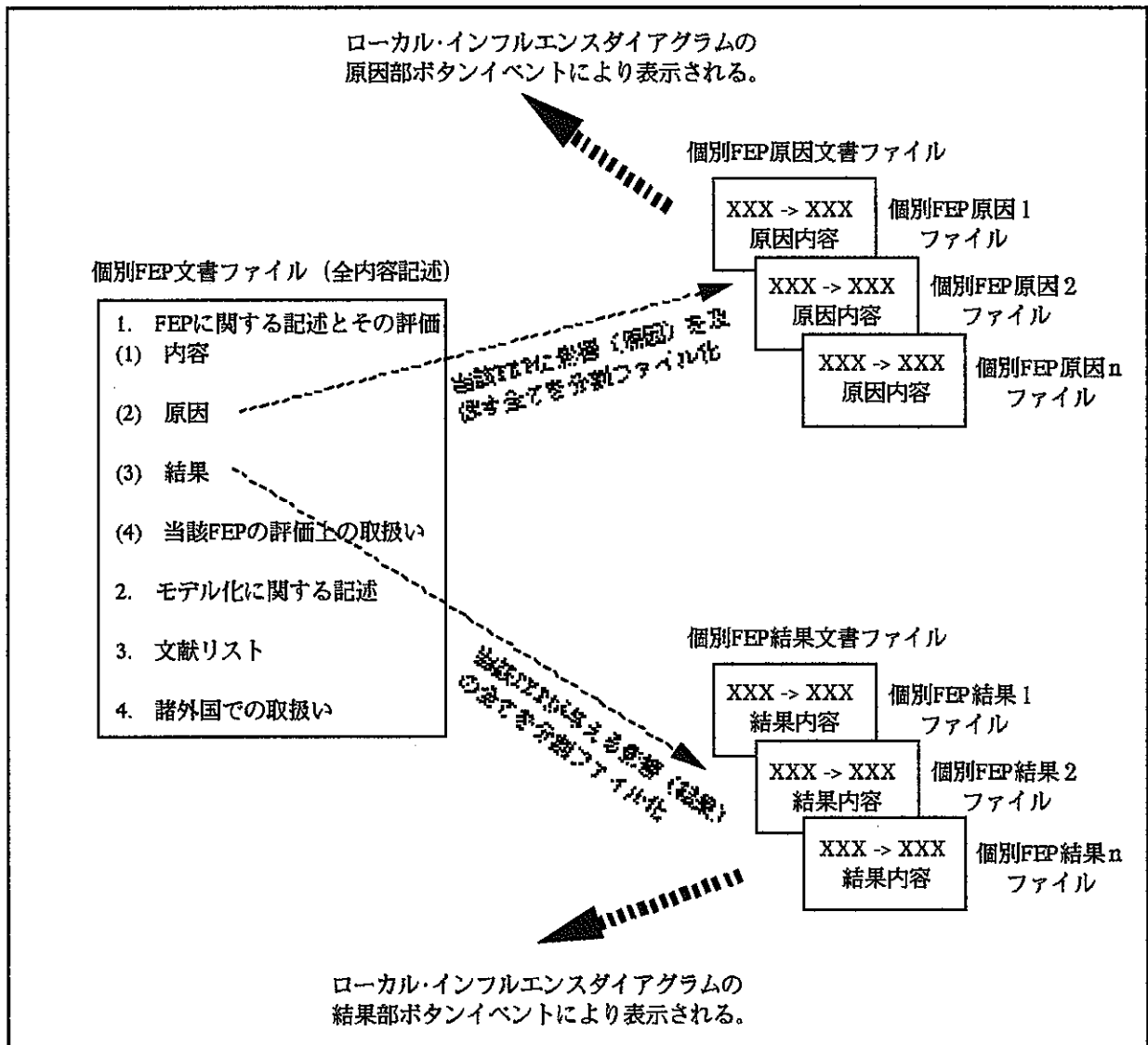


図3. 5-5 個別FEPリストデータファイルからの因果関係内容抜粋

個別FEP内容データ(全内容)ファイルから抜粋し作成した個別FEP因果関係(原因、結果)ファイルは、MacFEPが管理するフォルダに図3. 5-6に示すファイル名で格納している。

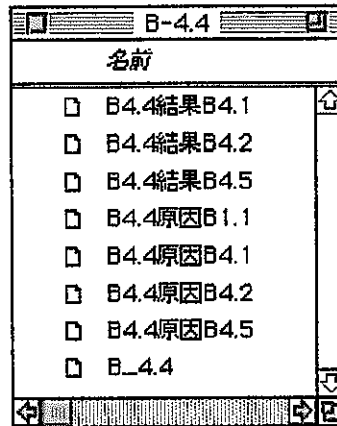


図 3. 5-6 個別FEP内容関連ファイル

3. 5. 2 イメージデータ

イメージデータの種類は次のとおりである。

サブ・インフルエンス・ダイアグラム
ローカル・インフルエンス・ダイアグラム

イメージデータは、サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウとローカル・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウ内に表示するデータであり、それぞれPICT形式で作成されたデータファイルである。サブ・インフルエンス・ダイアグラム・データは、ベントナイトにかかわるインフルエンス・ダイアグラムを描画したもので、ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データは、個別FEPの原因、結果に関する因果関係を描画したものである。

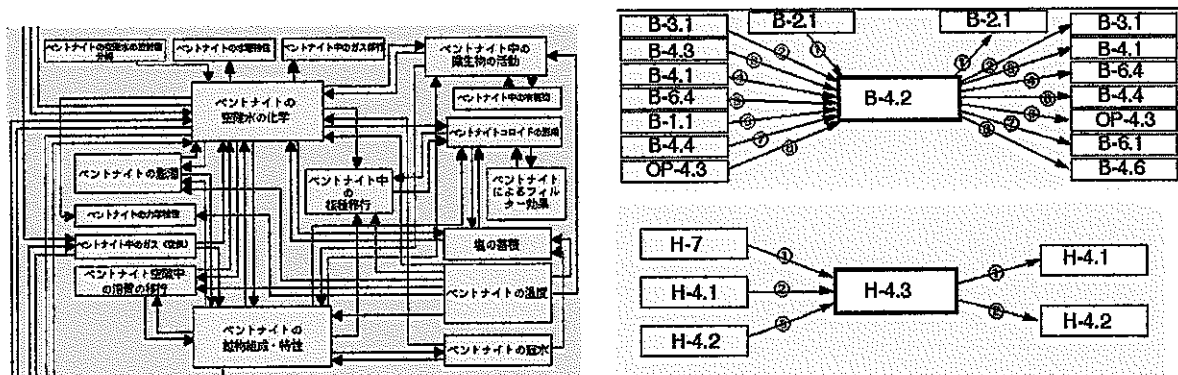


図 3. 5-7 サブおよびローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データファイルは、個別FEP単位に作成しMacFEP環

境下のPICTsrcフォルダに格納されている。因果関係は、個別FEP内容に記述されている原因および結果に対応している。

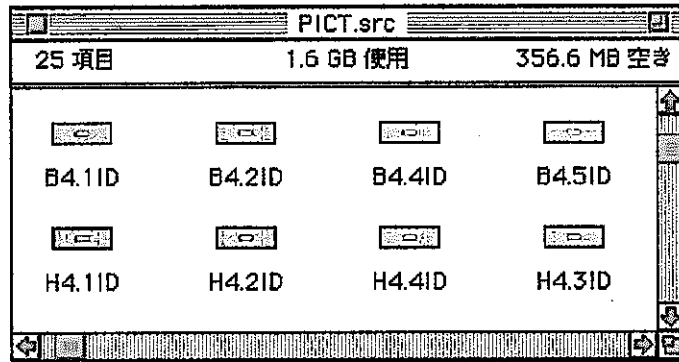


図 3. 5-8 格納されているローカル・インフルエンス・ダイアグラム・データファイル

3. 5. 3 ウィンドウ・オブジェクトデータ

ウィンドウ・オブジェクトデータは、大別すると2種類であり、1つは階層マトリクスウィンドウのようにウィンドウとウィンドウ内に配置されたボタン等のイベント用コントロール・オブジェクトのみで構成されているデータやウィンドウメニューであり、1つはテキストデータやイメージデータを表示するための枠組みとしてのウィンドウである。ウィンドウ・オブジェクトはそれぞれリソースとして管理される。ウィンドウ、メニュー、ダイログおよびアイコン等、プログラムのインターフェイスを構成するもの全てをリソースと呼ぶ。リソースはインターフェイスの要素の単なる記述に過ぎず、MacFEP内部のイベントに対するインターフェイス部により動作が確定する。

図 3. 5-9 は、ウィンドウ・オブジェクトデータを格納しているリソースの一部を示したものである。

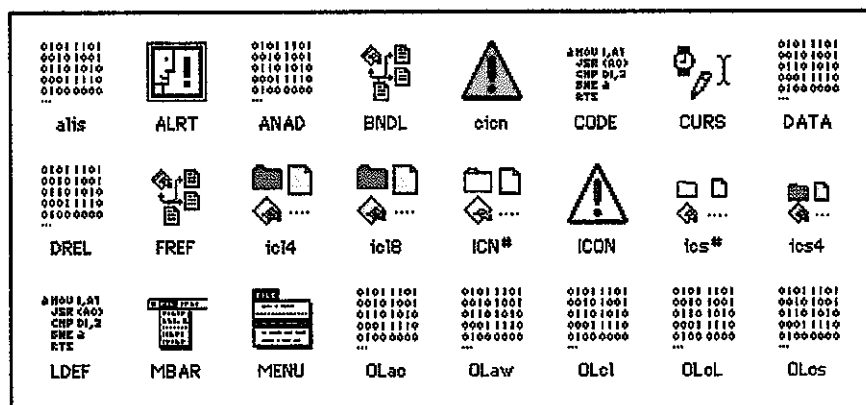


図 3. 5-9 MacFEPリソースの一部

(1) ウィンドウ・オブジェクトデータ

階層マトリクス・ウィンドウ、サブマトリクス・ウィンドウは、ウィンドウ・オブジェクトとウィンドウ内に配置されるボタン等のイベント用コントロール・オブジェクトで構成されている。各オブジェクトは、リソースとして管理されMacOSとMacFEPインターフェイスとの連携を保つ。

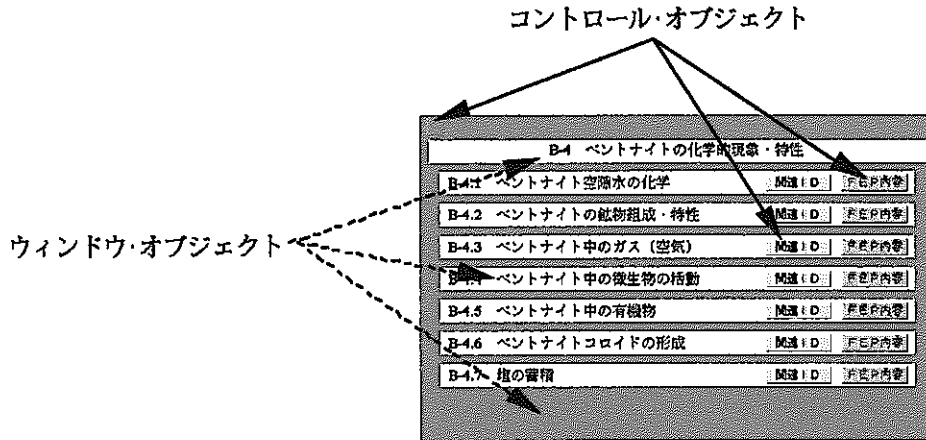


図 3. 5-10 ウィンドウ・オブジェクトとコントロール・オブジェクト

(2) 文書データ、イメージデータ表示ウィンドウ

文書データ、イメージデータ表示ウィンドウは、前述したFEP情報データ (テキスト、イメージ) をウィンドウ内に配置したフィールド・オブジェクトに読み込み表示する。そのことからリソースに格納しているウィンドウは、ウィンドウ・オブジェクトとウィンドウ内に配置されたフィールド・オブジェクトで構成される。

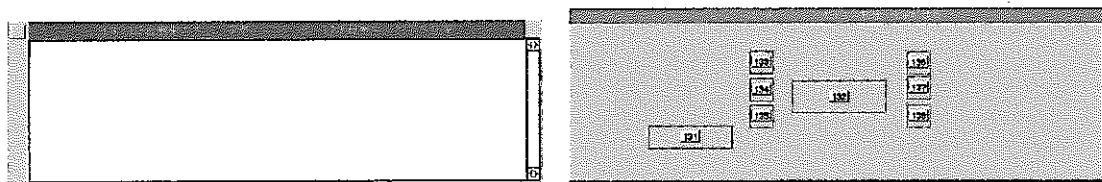


図 3. 5-11 文書データ用ウィンドウ (左) とイメージデータ用ウィンドウ (右)

3. 6 MacFEPの課題と改良および追加項目の検討

MacFEPは、前述しているとおりグラフィクス・ユーザー・インターフェイスを用いて目的とするFEP情報をウィンドウに表示するソフトウェアである。MacFEPの当初目的は、蓄積されてきた文書ファイル形式のFEP情報をパーソナル・コンピュータで整理し、シナリオ開発のアプローチや議論のためのプレゼンテーションに用いることであつた。そのため、グラフィクス・ユーザー・インターフェイスの視覚的動作や操作性に主眼をおいたため、FEP情報表示のための各データは、MacFEPプログラム内部のインターフェイスに依存する方法で編集し作成している。データには、グラフィクス・ユーザー・インターフェイスを構成するウィンドウ・オブジェクトや、ウィンドウに配置されるボタン等のコントロール・オブジェクトと、ワードプロセッサや他計算機で作成されたFEP情報ファイルがある。ウィンドウ・オブジェクトやウィンドウに配置されるボタン等のコントロール・オブジェクトは、固定データ形式（ウィンドウの色や大きさ、ボタンの配置位置など）としてリソース内に作成し、FEP情報ファイルは、ワードプロセッサで作成された文書ファイルをテキストによる個別FEPリストとして変換後、手作業により因果関係を抽出し、個別FEP単位でインフルエンス・ダイアグラム・データと原因リストおよび結果リストのデータファイルを作成している。そのことから、FEPマトリクスの構成やFEPリストの因果関係に変更が生じた場合は、その内容によりMacFEPプログラム内部のインターフェイスとFEPデータを作り直す必要が生じる。

今後、シナリオ解析にかかわるさまざまな分野の専門家や関係者から、それぞれの視点からのFEP情報を得てシナリオ解析はますます深究され、階層マトリクス構成やFEPリストの因果関係は、議論や合意形成に応じ随時変更されていくであろう。これらに対応すべく、MacFEPをシナリオ解析のためのより汎用的な支援システムとして構築するためには、前述までに設計検討した現在の単体稼働型から各機能対応分散（クライアント/サーバー）型とし、FEP情報収集やプレゼンテーションはクライアントで行い、収集データの管理やデータ分析はサーバー（データベース）で行うようなシステムを構成することが望ましい。MacFEPの改良と追加機能について、次のとおり検討した。

- 1) 階層マトリクス表示機能の改良
- 2) インフルエンス・ダイアグラム表示機能の改良
- 3) FEP内容表示機能の改良
- 4) その他新機能の追加
 - ・各分野の専門家や関係者からのFEP情報収集機能
 - ・収集情報の履歴管理
 - ・個別FEPリスト因果関係の抽出と妥当性確認機能

なお、本検討により機能の追加及び改良された簡易FEPリスト管理プログラムは、MacFEPと表面（グラフィクス・ユーザーインターフェイス表示やアクション）上は、さほどの相違がないが内部動作やデータアクセスに大きな違いがあり、また従来の単体稼働型から分散処理型になったことから、MacFEPと区別するために名称をCASCADEとした。

3. 6. 1 マトリクス表示機能の改良

マトリクスには、階層マトリクス・ウィンドウとサブマトリクス・ウィンドウ表示がある。

(1) 階層マトリクス・ウィンドウ

MacFEP階層マトリクス・ウィンドウを図3. 6-1に示す。MacFEP階層マトリクス・ウィンドウを構成している各ボタンや表題等のコントロール・オブジェクトは固定データとして、MacFEPソフトウェアのリソースとしてプログラム内に記述されている。そのことから、要素名や要素番号等に変更が生じた場合は、プログラムを直さなければならない。

	F-F母岩	H-F母岩	バク材	オーバーバック	ガラス固化体
熱的現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
物質移動現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
放射線学的現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
イベント		H-7		OP-7	

図3. 6-1 MacFEP階層マトリクス・ウィンドウ

MacFEP階層マトリクス・ウィンドウを次のとおり改良した。

a. マトリクス名（項目表題）および要素番号のデータベース化

プログラム内に記述されていたウィンドウ表示の各テキスト（項目表題）をデータベースから得て表示できるように改良した。これにより、階層マトリクス内の各テキストに変更が生じた場合でも、データベースの内容を変更することにより対処することが可能となった。

FEP=> select * from MXNAME_X;	FEP=> select * from MXNAME_Y;
F F F母岩 1	熱的現象・特性 1
H H F母岩 2	水理学的現象・特性 2
B 緩衝材 3	力学的現象・特性 3
G ガラス固化体 5	化学的現象・特性 4
OP オーバーバック 4	物質移動現象・特性 5
FEP=> █	放射線学的現象・特性 6
	FEP=> █

図3. 6-2 データベース内のマトリクス情報

b. マトリクス要素名（項目表題）の英語化

日本語圏外に対するFEPのアプローチ用としてテキスト表示部を英語としたウィンドウを用意した。

	F.F. Host Rock	N.F. Host Rock	Buffer Material	Overpack	Vitrified Waste
Thermal phenomena and properties	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
Hydrological phenomena and properties	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
Mechanical migrational phenomena and properties	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
Chemical phenomena and properties	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
Material phenomena and properties	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
Radiological phenomena and properties	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
Events	H-7		OP-7		

Matrix Diagram Sub. I.D. Quit

図 3. 6-3 階層マトリクス・ウィンドウの英語化

(2) サブマトリクス・ウィンドウ

MacFEPのサブマトリクス・ウィンドウを図 3. 6-4 に示す。MacFEPサブマトリクス・ウィンドウに表示されている個別FEP名称は、固定データとしてMacFEPソフトウェアのリソースとしてプログラム内に記述されている。そのことから、個別FEP名称に変更が生じた場合は、プログラムを直さなければならない。

B-4 ベントナイトの化学的現象・特性	
B-4.1 ベントナイト空隙水の化学	関連ID: [FEP内容]
B-4.2 ベントナイトの鉱物組成・特性	関連ID: [FEP内容]
B-4.3 ベントナイト中のガス(空気)	関連ID: [FEP内容]
B-4.4 ベントナイト中の微生物の活動	関連ID: [FEP内容]
B-4.5 ベントナイト中の有機物	関連ID: [FEP内容]
B-4.6 ベントナイトコロイドの形成	関連ID: [FEP内容]
B-4.7 塩の蓄積	関連ID: [FEP内容]

図 3. 6-4 MacFEPサブマトリクス・ウィンドウ

MacFEPサブマトリクス・ウィンドウを次のとおり改良した。

a. 個別FEP番号と個別FEP名称表示のデータベース化

プログラム内に記述されていた個別FEP番号と個別FEP名称を、データベースから得て表示できる

ように改良した。これにより、サブマトリクス・ウィンドウ内の各名称に変更が生じた場合でも、データベースの内容を変更することにより対処することが可能となった。

```
FEP=> select fepno,name from NAME a where a.fepid[1] = 'H';
H-4.1| NF母岩中の地下水化学
H-4.2| NF母岩の鉱物組成・特性
H-4.3| NF母岩中のガス(空気)
H-4.4| NF母岩中の微生物の活動
H-4.5| NF母岩中の有機物
H-4.6| 天然コロイドの形成
FEP=> █
```

図 3. 6 - 5 データベース内の個別FEP名称情報

b. 個別FEP名称の英語化

日本語圏外に対するFEPのアプローチ用として個別FEP名称を英語としたウィンドウを用意した。

H - 4 Chemical phenomena and properties of N.F. Host Rock		
H-4.1 Groundwater Chemistry in N.F. Host Rock	Influence Diagram	Document
H-4.2 Mineral composition of N.F. Host Rock	Influence Diagram	Document
H-4.3 Gas(Air) in N.F. Host Rock	Influence Diagram	Document
H-4.4 Active microorganism in N.F. Host Rock	Influence Diagram	Document
H-4.5 Organic matter in N.F. Host Rock	Influence Diagram	Document
H-4.6 Formation of natural colloid	Influence Diagram	Document
	Influence Diagram	Document
	Influence Diagram	Document
	Influence Diagram	Document

図 3. 6 - 6 サブマトリクス・ウィンドウの英語化

3. 6. 2 インフルエンス・ダイアグラム表示機能の改良

インフルエンス・ダイアグラムには、全体インフルエンス・ダイアグラムとサブ・インフルエンス・ダイアグラムおよび個別インフルエンス・ダイアグラム（ローカル・インフルエンス・ダイアグラム）がある。MacFEPでは、サブ・インフルエンス・ダイアグラムと個別インフルエンス・ダイアグラムの表示が行える。MacFEPが扱うサブ・サブ・インフルエンス・ダイアグラムと個別インフルエンス・ダイアグラムは、表示用のデータとして別途個々に絵描きソフトウェアを用いて作成し、MacFEPプログラムに記述している。個別インフルエンス・ダイアグラムについては、個別FEPリストから因果関係情報を人的に分析して個別FEP単位で絵描きソフトウェアでインフルエンス・ダイアグラム・デ

ータを作成しプログラムに記述している。そのことから、FEPリストの見直しにより因果関係情報の変更が生じる都度、個別FEPインフルエンス・ダイアグラム・データを再作成しプログラムを変更しなければならない。

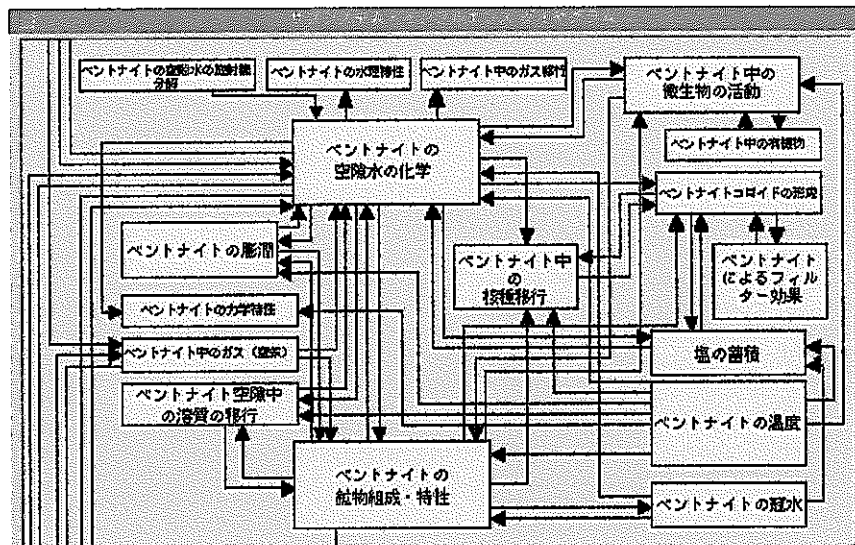


図 3. 6-7 MacFEPサブ・インフルエンス・ダイアグラム

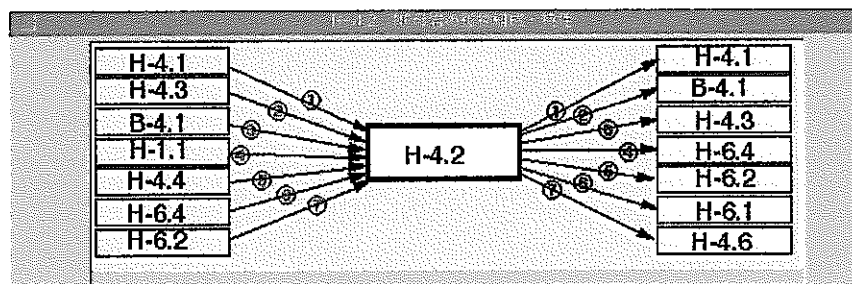


図 3. 6-8 MacFEP個別インフルエンス・ダイアグラム

インフルエンス・ダイアグラムの表示を次のとおり改良した。

(1) 因果関係情報のデータベース化

CASCADEでは、個々のFEPリストから手作業で作成していた個別インフルエンス・ダイアグラム・データをデータベースの各FEPリスト情報から抜粋し表示できるものとした。これにより、FEPリストの因果関係情報（原因、結果）の変更にも対応可能となった。

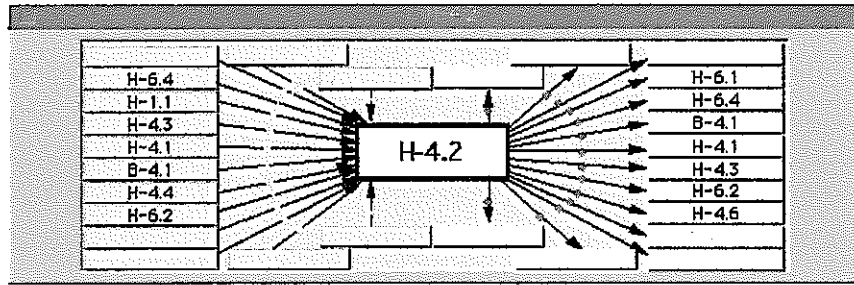


図 3. 6-9 CASCADE個別インフルエンス・ダイアグラム

なお、後述するが、データベースが管理するFEPリスト情報は、本システムの因果関係チェックによりFEPリスト間の因果関係の整合性を検査していることから、CASCADEで表示される個別インフルエンス・ダイアグラムは品質が補償される。

(3) サブ・インフルエンス・ダイアグラムの英語化

日本語圏外に対するFEPのアプローチ用としてサブ・インフルエンス・ダイアグラムを英語としたウィンドウを用意した。

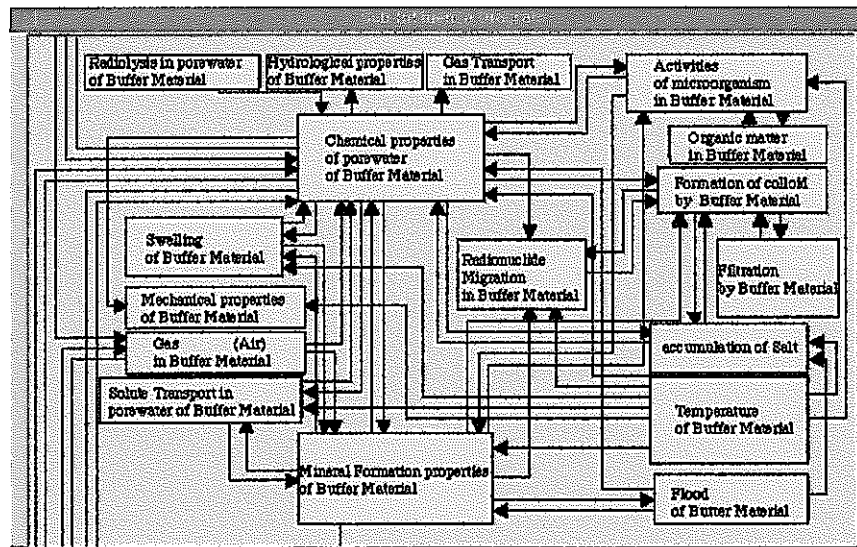


図 3. 6-10 サブ・インフルエンス・ダイアグラムの英語化

(4) FEP内容表示機能の改良

MacFEPでのFEP内容表示は、サブ・インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウからの個別FEPリストの表示と、個別インフルエンス・ダイアグラム・ウィンドウから表示される因果関係の影響内容である。これら表示されるFEP内容（リスト）は、ワードプロセッサで作成された文書ファイルをMacFEPプログラムに順応させた形式で個々に人的にファイル分けし、MacFEPプログラム用データと

して作成している。個別インフルエンス・ダイアグラム・データと同様に、FEPリストに変更が生じた場合は、やはり都度データの再作成を余技なくされる。また、データはMacFEPプログラムに依存していることからリンクド・リストのように柔軟なリスト表示は行うことができない。本システムでは、FEPリストの構造化により様々な視点からFEPリストを取りだし表示を行えるようにした。

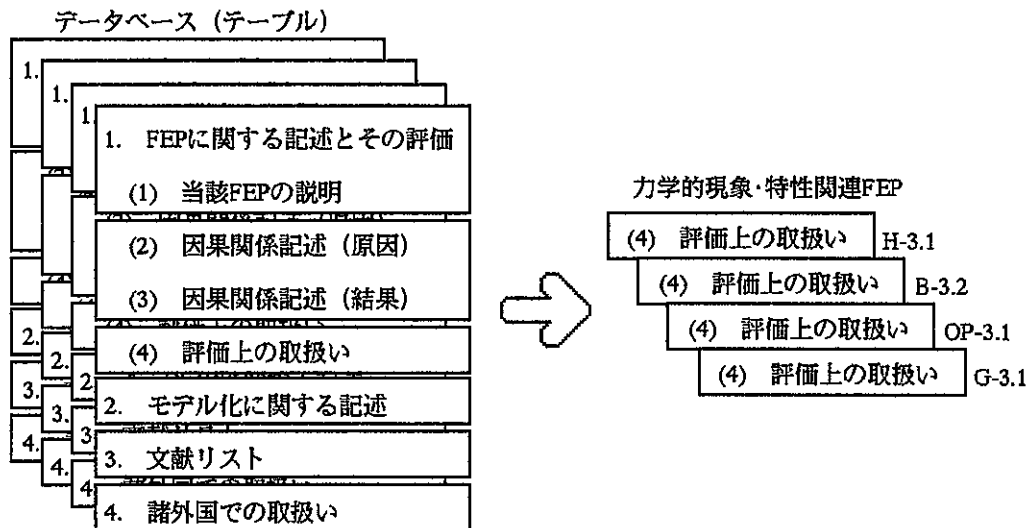


図3. 6-11 力学的現象・特性関連に係わる評価上の取扱いリストの取りだし

3. 6. 3 その他新機能の追加

その他新機能として下記の機能を追加した。

(1) 配布用CASCADE

本システムは、サーバー/クライアント方式の運用方法を行うものとしている。CASCADEは、クライアントで動作し、各情報の表示はサーバーの管理する共有ディスクからCASCADEのインターフェイスを通じて行っている。今後、各界の専門家等に対するアプローチやFEP情報を得るためには、CASCADEをネットワークから切り離して利用できることが望ましい。追加機能としてネットワーク外のマッキントッシュで利用可能なCASCADEサブシステム (配布CASCADE) を作成した。

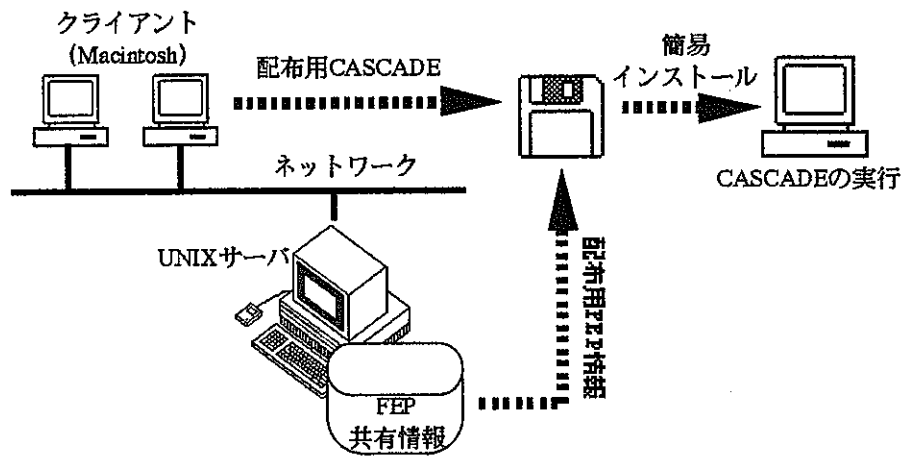


図3. 6-12 配布用CASCADEの作成

配布CASCADE動作のために必要なものは、配布用CASCADEソフトウェアとFEPデータである。配布のためのFEPデータは、サーバーの主操作ウィンドウの配布用FEPデータ作成機能で求めることができる。配布用FEPデータ作成機能で作成されたFEPデータとクライアントに準備されたCASCADEソフトウェアをフロッピーディスク等に格納し、配布できるものとした。



図3. 6-13 配布用CASCADEアプリケーション

配布CASCADEアプリケーションは、簡単にインストールが行えるものとしている。インストールは、配布したフロッピーディスク等に格納されている配布用CASCADEアプリケーション・アイコンを(図3. 6-13)ダブルクリックし、表示されるダイアグラム・ウィンドウで配布用CASCADEの格納先を指定することにより行えるようにした。

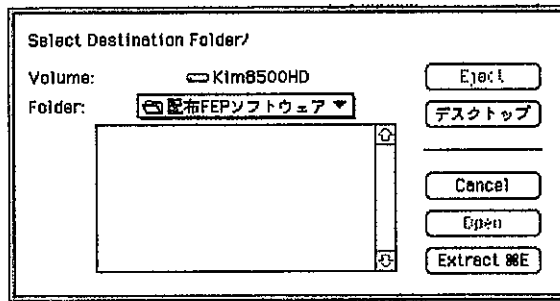


図 3. 6-14 配布用CASCADEインストール用ダイアグラム・ウィンドウ

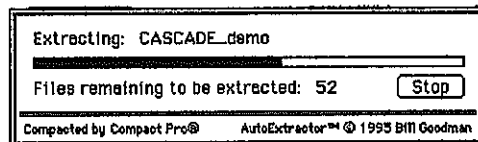


図 3. 6-15 インストールの実行ウィンドウ

配布用CASCADEのインストールが終了すると、インストール時に指定したフォルダ内にCASCADEの動作に必要な情報を含んだフォルダが作成される。フォルダ内のCASCADEアイコンをダブルクリックすることにより、ネットワークに接続された本システムのクライアントと同等のCASCADEが起動する。

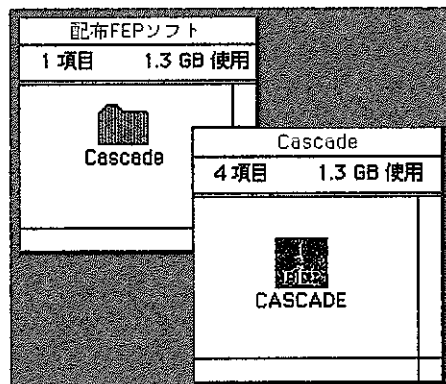


図 3. 6-16 インストールにより作成されたフォルダとCASCADEアイコン

3. 6. 4 収集情報の履歴管理

配布用CASCADEの主たる目的は、各界の専門家へのアプローチとFEP情報の収集である。配布したCASCADEは、FEP内容表示ウィンドウで表示したFEP内容を、ワードプロセッサとほぼ同等な操作方法により変更することができる。FEPリスト本文が変更された場合は、変更理由を記述するためのウィンドウを表示し、変更理由を入力できるようにした。変更されたFEPリストは、個別FEP単位で履歴付けをして全て保存され、配布CASCADE返還後その内容を見ることができる。収集したFEP情報は、ネットワークに接続されているクライアントから必要に応じデータベースに格納することによって、FEPリストの履歴管理を行えるようにした。

```
FEP=> select fepno, cname, wname, date from DES a where a, fepid[1]
H-4.1 | 1 | 1111 | 97/02/03/16/41
H-4.1 | 1 | 1111 | 97/02/03/17/26
H-4.1 | 1 | 1111 | 97/02/04/13/45
H-4.1 | 1 | 1111 | 97/02/04/14/08
FEP=> ■
```

図 3. 6-17 データベースによる履歴管理

図 3. 6-17 は、データベースに登録された、収集先管理テーブルの履歴フィールドを示したものである。収集先は、コード化し登録するものとした。収集先については、別途収集先テーブルとして管理している。

```
FEP=> select * from USER;
      1 | 1111 | 本社           | 動燃太郎
      2 | 1122 | 東海           | 東海一郎
      3 | 1133 | 東農           | 東農 進
      4 | 1144 | 人形           | 岡山勝夫
FEP=> ■
```

図 3. 6-18 収集先テーブル内容表示例

3. 6. 5 個別FEPリスト因果関係の抽出と整合性確認機能

個別FEPリストの因果関係の抽出は、データベースのアクセスの項で記述したとおり、サーバーの主操作ウィンドウを用いて目的とするFEP番号から表示できる。


```

FEP=> select cau,eff from CE where cau = 'B-2.1';
B-2.1|B-1.2
B-2.1|B-3.1
B-2.1|B-3.3
B-2.1|B-3.5
B-2.1|B-4.2
B-2.1|B-4.7
B-2.1|B-4.1
B-2.1|B-4.1
FEP=> █

```

図 3. 6-19 データベースから抽出したFEP番号 B-2.1が影響を与えるFEP番号

図 3. 6-19 に示すとおり、因果関係の抽出はSQLスキーマを組み立てることにより任意のFEP番号で原因FEPや結果FEPの表示を行える。

因果関係情報の抽出や表示はSQLを用いて行うことができるが、FEP間に関する因果関係の整合性は、ウィンドウを用いて行うには多大な作業が生じ、またその品質にも問題があろう。サーバーの主操作ウィンドウの因果関係情報の作成機能を用いることによって、クライアントで因果関係の状況を確認できるものとした。

B-1.1	->	B-1.2	O K
B-1.1	->	B-1.3	DUPLICATION ERROR
B-1.1	->	B-1.3	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-2.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-2.2	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-3.1	O K
B-1.1	->	B-3.3	O K
B-1.1	->	B-4.1	O K
B-1.1	->	B-4.2	O K
B-1.1	->	B-4.4	O K
B-1.1	->	B-4.7	O K
B-1.1	->	B-5.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-5.4	RELATION ERROR
B-1.1	->	H-1.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	OP-1.1	O K
B-1.2	->	B-1.1	O K
B-1.3	->	B-3.2	O K
B-2.1	->	B-1.2	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.1	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.3	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.5	RELATION ERROR

図 3. 6-20 FEPリストの因果関係検査ウィンドウ

また、整合性のエラーとなったFEPの内容について表示できるものとした。

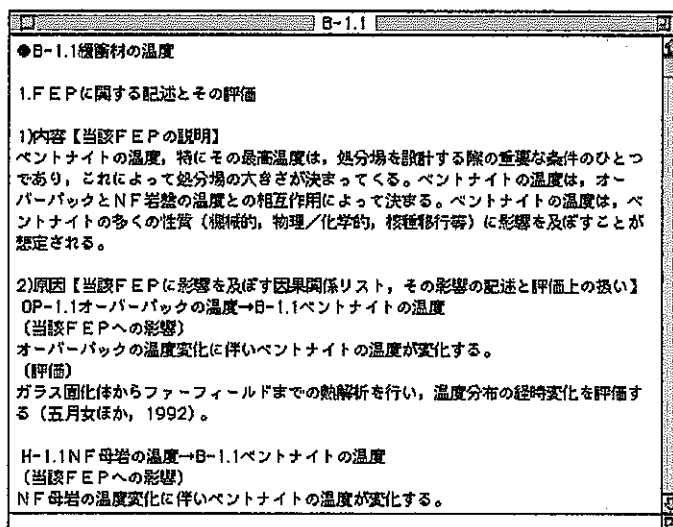


図 3. 6-23 エラーを示す個別FEPリストの表示

個別FEPリストの変更や外部から収集したFEPリストは、データベース更新の都度、因果関係の整合性を確認可能となり、FEPリスト間の因果関係に係わるデータの品質管理を図れるものとなった。

3. 7 FEPリストの情報収集と管理手法の検討

上記までに設計・検討した本システムに関連して、簡易FEPリスト管理プログラム（CASCADE）とデータベースを利用したFEPリスト情報の収集と管理運用についての検討を行った。また、この検討結果をFEPリスト情報収集管理要領書としてとりまとめた。FEPリストの情報収集と管理運用方法については次のとおり考えられる。

- (1) 全体構成と基本運用事項
- (2) サーバシステムの運用
- (3) クライアントの運用
- (4) FEPリストの情報登録と整備方法

3. 7. 1 全体構成と基本運用事項

システムの全体構成とFEPリスト管理ソフトウェアの位置付け及び基本的運用・操作手法について検討し、別添に示す全体構成と基本運用事項情報収集管理要領書に取りまとめた。

3. 7. 2 サーバシステムの運用

FEP情報データベースシステムをサーバシステムとして位置付け、FEPリスト管理ソフトウェアをクライアント・システムとして想定した場合の基本的運用・操作手法について検討し、別添に示す

サーバーシステムの運用情報収集管理要領書に取りまとめた。

3. 7. 3 クライアントの運用

FEPリスト管理ソフトウェアは、パーソナル・コンピュータ版として、FEPリンクド・リストとなる情報を集めるため、各界の学識経験者に配付する。従って、それにより収集された情報をFEP履歴データとして想定し、サーバーへの登録検査等の運用手続きについて検討し、別添に示すCASCADE情報収集管理要領書に取りまとめた。

3. 7. 4 FEPリストの情報登録と整備方法

3. 7. 2項にて示したFEP履歴データの登録手続きとログ情報等の管理手法を検討し、別添に示すFEPリストの情報登録と整備方法情報収集管理要領書に取りまとめた。

4 シナリオ開発支援手法の検討

シナリオ開発支援手法として、海外で行われている手法をもとに検討した。検討した手法について下記に示す。なお、各手法および検討内容については各付録を参照願いたい。

4.1 確立論的シナリオ開発手法

4.1.1 Event Tree/Fault Tree Analysis

Event Tree/Fault Tree法は、核燃料サイクル施設のような複雑なシステムについての体系的な確率論的安全性評価手法として歴史のある手法である。Event Tree手法は、対象となるシステムのダイナミクスに関与する事象の関係を木構造で表現し、確率論的に事象変化（頻度）を追跡して評価シナリオ開発に資する手法である。一般に確率論的アプローチは頻度評価であり、過渡的現象等の経過時刻と規模が課題になる問題のスクリーニング手法として利用できるが、規模評価の手法を提供するものではない。従って、確率論的手法はトップダウン・アプローチと言える。例えば、原子力発電所電源喪失事故等のシナリオ開発が上げられる。また、Fault Tree手法は、対象となるシステムを構成する動作機器（バルブ、ポンプ等）の故障率（MTBF: Mean Time Between Failure. 特定期間中に生じた故障の回数等）を利用した故障のシーケンスを評価する手法である。一般に、Fault Tree法で評価された故障率に従って、個別の事象規模評価を決定論的モデルにより評価し工学レベルの判断論拠とする。Fault Tree法は、実際に得られた故障率から出発する手法のためプラント安全性評価等では有力な手法である。

4.1.2 US DOE Waste Isolation Pilot Plantの例

米国WIPP（WIPP: Waste Isolation Pilot Plant）プロジェクトにて、性能評価シナリオの開発に確率論的手法が利用されている。確率論的手法から導かれるモデルは確率論的評価モデルである。WIPPの性能評価においては、評価シナリオの開発に確率論的手法が応用されている。考え方の基本は、前項にて示したEvent Tree、Fault Treeにその基礎をおいている。それは、確率過程をシナリオ開発に持ち込むことにより自由度を下げ、代表的なシナリオに還元することを狙ったものである。

4.2 インフルエンス・ダイアグラムとFEPによるシナリオ開発手法

インフルエンス・ダイアグラムとFEP（特徴（Feature）、事象（Event）、及び過程（Process））によるシナリオ開発法は、SKBにより1981年から1994年の間に体系化された。また視覚化するためのいくつかの方法論についての研究もすすめられてきた。それらは、事象ツリー分析、影響ダイアグラム、及び岩石工学システム（RES）マトリクスなどである。

4.3 RES: Rock Engineering Systems手法によるシナリオ開発

RES: Rock Engineering Systems手法は、SKBにて示されたシナリオ開発手法で、FEP手法からバリエーションの性能評価に係わる部分を中心として抽出し、プロセス・システム（PS: Process System）と呼ばれる安全評価事象の連成マトリクスを組立ることにより、評価シナリオを組み立てる手法である。この方法は、より詳細に個別現象解析のための連成計算モデル等を組立する場合にも有効な指針を与えるものである。例えば、将来RESのInteraction Matricesの考え方を連成シミュレーションの為のモデル管理

簿としても応用できる拡張性を有する手法である。RES法によるシナリオ解析は、処分に係わる周辺岩盤のバリア性能に係わる現象を、連成のマトリクスとして考えたProcess Systemを中心としたシナリオ評価となるため、その殆どが工学的対象と考えられる。

海外におけるシナリオ解析手法の検討

【 目 次 】

1	確率論的シナリオ開発	1
1.1	Event Tree / Fault Tree Analysis	1
1.2	USDOE Waste Isolation Pilot Plant の例	4
1.3	確率論的シナリオ開発支援システムの概念	9
1.4	まとめ	12
2	インフルエンス・ダイアグラムと FEP によるシナリオ開発手法	14
2.1	ID/FEP 手法の背景	14
2.2	関連文書付きインフルエンス・ダイアグラム	16
2.3	基礎的なインフルエンス・ダイアグラムの手法	17
2.3.1	システム概念の定義	17
2.3.2	FEP の選択	18
2.3.3	選択された FEP 間の影響の確認	19
2.3.4	FEP の文書化、及びインフルエンスの記述について	19
2.4	インフルエンス・ダイアグラムの開発	19
2.4.1	基準シナリオについての影響ダイアグラムの開発	20
2.4.2	他のシナリオについてのインフルエンス・ダイアグラムの開発	22
2.5	シナリオの系統的表示及び抽出例	24
2.6	FEP データによるシナリオ開発手法に関する今後の課題	24
2.7	本章のまとめ	27
3	RES : Rock Engineering Systems 手法によるシナリオ開発	33
3.1	基本的な考え方	33
3.2	FEP を構築、完成するための RES 手法の適用	36
3.3	メカニズムネットワークの確立	41
3.4	RES 手法の事例：岩盤の運動学的シナリオ	46
3.4.1	手法概要	46
3.4.2	RES による運動学的岩盤変動シナリオの例	52
3.4.3	RES プロセス・システムの手法	64
4	インフルエンス・ダイアグラムと RES 法の比較	70
4.1	構成法の比較	71
4.2	方法論の比較	75

1 確率論的シナリオ開発

1. 1 Event Tree/Fault Tree Analysis

Event Tree/Fault Tree法は、核燃料サイクル施設のような複雑なシステムについての体系的な確率論的安全性評価手法として歴史のある手法である。Event Tree手法は、対象となるシステムのダイナミクスに関与する事象の連係を木構造で表現し、確率論的に事象変化（頻度）を追跡して評価シナリオ開発に資する手法である。一般に確率論的アプローチは頻度評価であり、過渡的現象等の経過時刻と規模が課題になる問題のスクリーニング手法として利用できるが、規模評価の手法を提供するものではない。従って、確率論的手法はトップダウン・アプローチと言える。例えば、原子力発電所電源喪失事故等のシナリオ開発が上げられる。また、Fault Tree手法は、対象となるシステムを構成する動作機器（バルブ、ポンプ等）の故障率（MTBF: Mean Time Between Failure. 特定期間中に生じた故障の回数等）を利用した故障のシーケンスを評価する手法である。一般に、Fault Tree法で評価された故障率に従って、個別の事象規模評価を決定論的モデルにより評価し工学レベルの判断論拠とする。図1. 1-1にFault Treeの概念をしめす。Fault Tree法は、実際に得られた故障率から出発する手法のためプラント安全性評価等では有力な手法である。

高レベル放射性廃棄物の処分システムの性能評価手法として、Event Tree/Fault Tree法を応用する考え方については、対象が天然地層にまで及ぶため、データの量が少ない事等から本手法で精密なリスク評価法を開発するために必要とされる知験や、それらの正確さは現在のところ充分であるとは考えられない。また、前述のようにEvent Tree/Fault Treeによる確率論的リスク解析を性能評価に応用する場合、EventやFaultの要因となるデータを工学的基準だけで取り揃えることができないため、本手法が期待できる対象は、建設時や操業時を中心とした初期の段階と考えられる。なぜならば、これらの段階における安全性評価は、処分システムの建設情報と土木工学面からの判断が中心となると考えられるためである。更に、これらのTreeはプロセス・システムとの関係がどの程度あるのかも検討される必要がある。プロセス・システムは、外部からのイベントを中心にFEPからシナリオを組立てるものと考えた場合、Event Tree/Fault Treeとの類似性を帯びてくる。従って、プロセス・システムとそれらの関連や相違を明確に定義し、混乱のないようにする必要がある。今後の性能評価シナリオの開発にEvent Tree/Fault Treeを応用する戦略として期待できることは、それらが視覚化が容易であり、プロセス・システムのシナリオを構築する場合の参考になるという点である。従って、対話方式によるグラフィクス機能を備えたEvent Tree/Fault Treeシステムにより、処分システムの建設や操業に関する情報が管理されることは、評価シナリオを開発するための創造的な思考活動を支援するであろう。

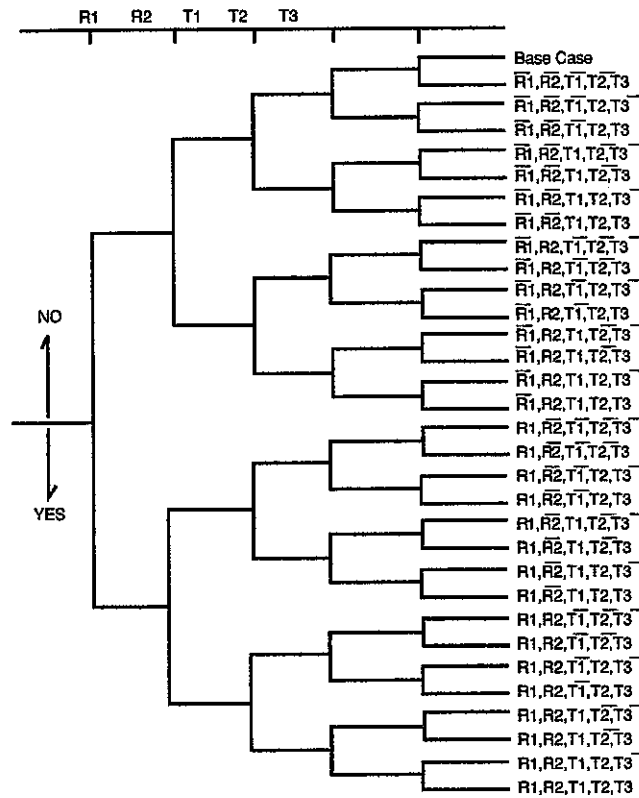


図 1. 1-1 Fault Treeの概念 (SKB Technical Report 94-28より)

図 1. 1-1 は、Fault Treeを性能評価にあてはめて考えたものである。図では、例えば5つのFEPの可能な組み合わせを示す論理ダイアグラムが示されている。それらは、2つの各種放出FEPを示すR1とR2、そして、3つの各種輸送FEPであるT1からT3についてFault Treeを考えたものである。このモデルは2分岐木の構造を応用してFEPを連結させシナリオ開発戦略を導いている。

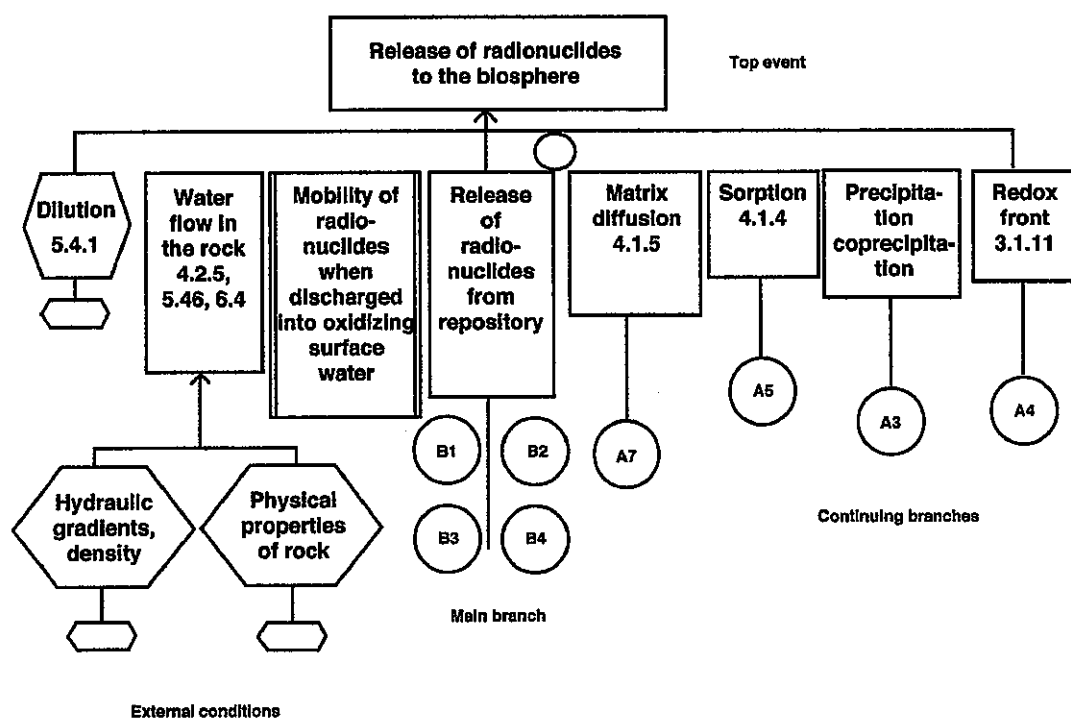


図1. 1-2 Event Treeの概念 (SKB Technical Report 94-28より)

図1. 1-2は、Event Treeを反転させた構造のプロセス・システムを示している。この手法では、反転させたダイアグラムは、例えば生物圏への核種放出などのトップイベントから始まる。そして、それを説明する輸送、放出FEPが組み上げられる。このように、Event Treeで組み立てた場合は、核種が生物圏に到るまでの事象について、その関係を組み立てる方法が考えられる。例えば、母岩中の水理と吸着プロセスなどはトップイベントに影響を与える重要なプロセスと考えられる。

図1. 1-2に示すツリーの主要な分岐は、処分システムから生物圏への核種の輸送シナリオを特徴つける事象である。ツリーの他の分岐は、処分システムから生物圏への放射性核種の放出に直接的に、もしくは間接的に影響を及ぼすような他の事象によって形成される。また、それぞれの分岐は、外的な条件に左右されるような事象や、もしくは基本的な情報として終了する。地層中の水理特性や水圧変化率等、また、例えば地面の隆起のような外的な条件に左右される現象の具体例といえる。これらは確率過程の事象要素の一様性を失う例である。

以上の様に、Event Tree/Fault Treeによるシナリオ開発手法は、基本的にはトップダウンな性能評価シナリオ開発のアプローチとしてとらえることができる。この思想は、処分システムの性能評価シナリオの開発にあたって、最終的な判断基準となる生物圏への核種移行現象を駆動する、人工バリアと天然バリアの物理化学過程が複雑になり過ぎ、決定論的手法ではコントロールできなくなる。従って、確率を手法として導入せざるを得ないという論拠に基づくものである。そのような観点からは、他の核燃料サイクル施設の総合的な安全性評価へのアプローチと同等な立場からの戦略と考えられる。

しかしながら、高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性評価シナリオの開発には、他の核燃料サイクル施設等の人工建造物を中心とした要素から構成されるものではなく、例えば、地下水の地球化学的特性等の天然自然の要素を対象としている。このような場合、要素の振る舞いは一様な性質を現象の範囲で維持するという前提に基づいている。例えば、原子炉冷却系ポンプは、故障しても冷却系ポンプとしての性質は失わないが、炭素鋼オーバーパックは腐食後、ベントナイトと化合物をつくる（別のものになる）ことが知られている。その時には、オーバーパックとしての性質は失われるので、一様な性質を維持するという前提を基にしたシナリオを開発することは困難である。従って、Event Tree/Fault Treeを処分システムのシナリオ開発戦略とするには、次の点が他の原子力施設等人工建造物に対する相違であることを留意する必要がある。第一に事象の関係自体が変動しうること（一様な性質を維持しきれない）を考慮しなければならない。第二に外部からの境界条件を与えても各要素の振る舞いを予測制御することは難しい（複雑過ぎる）ことを考慮しなければならない。

1. 2 US DOE Waste Isolation Pilot Plantの例

米国WIPP（WIPP：Waste Isolation Pilot Plant）プロジェクトにて、性能評価シナリオの開発に確率論的手法が利用されている。確率論的手法から導かれるモデルは確率論的評価モデルである。WIPPの性能評価においては、評価シナリオの開発に確率論的手法が応用されている。図1. 2-1は、WIPPにおける性能評価の基本的手順である。考え方の基本は前項にて示したEvent Tree、Fault Treeにその基礎をおいている。それは、確率過程をシナリオ開発に持ち込むことにより自由度を下げ、代表的なシナリオに還元することを狙ったものである。

図1. 2-1に示すように、WIPPプロジェクトでは処分システムの性能評価を行う手法を大別して3段階に分類している。

(1) 第1段階

処分システムを取り巻く人工、天然環境について、将来生じるであろう環境リスクのシナリオを広範な分野にわたり専門家から収集している。収集したデータは、リスト形式のコンピュータ・データ（FEPリスト管理プログラムのデータとなる文書ファイル原稿）として管理する。収集の段階で意味の無いシナリオ、完全に重複していると判断できるシナリオは人為的に選別され除外される。このようにして、包括的で重複の無いシナリオがデータ・ファイルとして取り揃えられる。この原データを検討し、包括的で重複の無いシナリオを取り揃える作業には、個人的な思想や印象といった抽象的判断が入り込む可能性があるため、コンピュータを利用してスクリーニング作業をルーチン化している。

この初期の段階のスクリーニングは、基準となる判断論拠を組立て、コンピュータ・システムとして構築することにより効率化が期待できる。そのためには、文書ファイル形式のシナリオ情報について何らかの定量的判断基準と操作（プログラム・アルゴリズム）を開発する必要がある。この問題は、自然言語理解や知識構造と言った基本的な計算機科学の課題である。また、おそらくこの段階のスクリーニングの良否は以後のシナリオ開発全般に影響するであろう。従って、シナリオ開発は、初期の段階で抽象的な思考の自然言語表現という、曖昧さをもった概念から出発しなければならない点に特

徴がある。これは、FEPをデータの基本とする以上避けて通れない課題と考えられる。

(2) 第2段階

収集されたシナリオ (FEP) から最も重要と考えられる事象の頻度を予測評価し、抽出することにより評価シナリオ開発の論理基盤とする。この時、確率論的リスク評価の手法を応用してシナリオ開発の論拠を導く。シナリオの開発にあたっては、個別分野の専門家の知識・経験による判断も参考にしリスク評価モデルの開発を行う。

(3) 第3段階

開発されたシナリオの個別事象について解析評価を行い、処分システムの安全性を確認する性能評価を行う。この段階では、モデルの開発、検証・確証法の開発が中心となる。それらの技術を開発するために感度解析手法の開発も行っている。WIPPの性能評価は、以上のステップを繰り返し行い、最終的な建設許認可の取得までの間、常に継続的に実施してきた。また、評価作業の継続により、新しい評価シナリオが発生するため、図1. 2-1に示す作業は常時継続的な作業である。

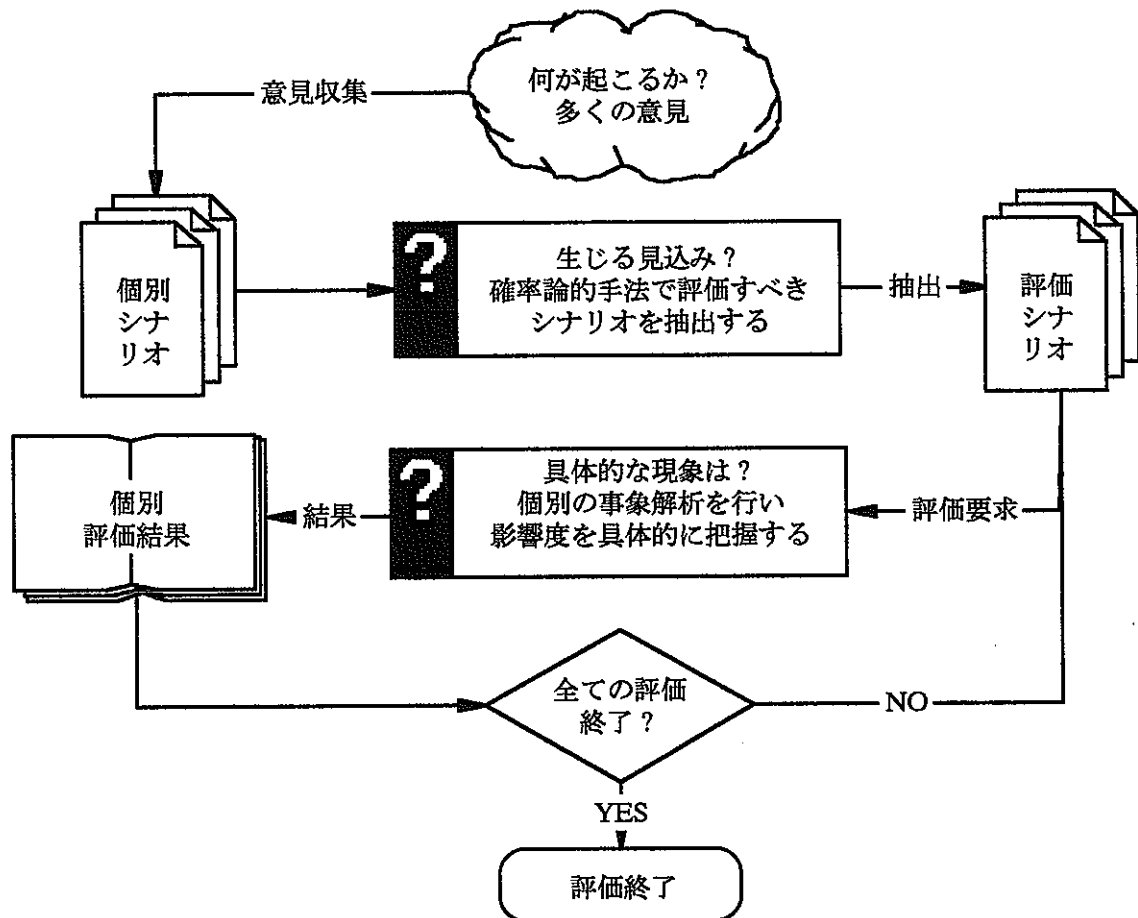


図1. 2-1 WIPPのシナリオ開発と評価の手順

WIPPプロジェクトでは、性能評価の為のシナリオ開発を5段階の作業に分割している（図1. 2-1）。それらは、図1. 2-1に示す通り、計画する処分システムの性能に影響すると考えられる事象と、その内容について多方面の専門家等の意見を収集することから開始する。収集にあたっては、個々のシナリオについて前述の通りに事象（Event）と、その内容（Process）という視点でワードプロセッサ等で文章記述（EP情報）して整理する。得られたEP情報は、現象カテゴリー等に沿って分類整理する。次に、カテゴリーごとに分類されたEPについて、重複するものや明らかに不要と考えられるものを除去する。この段階で得られたEPが、シナリオ開発に利用する基本EP情報である。

これまでの作業は、あたかも実験結果の整理を行うようにして、次に続く評価解析のために利用できるデータを整理する作業であると考えられる。EPデータがカテゴリー別に分類され、個々に重複のない情報として整理された後、当該EP情報を組み合わせることにより、可能な評価シナリオを組み立てることができる。これは、EPの関係から組み立てるため一種の組み合わせの問題となり、非常に多くのシナリオが組み立てられることが考えられる。この段階では、機械的にシナリオをEPから組立て、考えられるシナリオを洗いだすことに視点を置いた作業を実施する。

他の機関でも類似した状況が考えられるが、WIPPの手法の場合、最終的な評価シナリオを開発するためのスクリーニング手法として取りそろえたシナリオ（FEP）に、人為的手法、確率論的手法、そして決定論的手法を用いている。この方法は、今後解決しなければならない幾つかの重要な課題を内在している。それらを整理すると凡そ以下の3点が上げられる。

人為的手法の問題点：個人的知識・経験、思想と言った狭い抽象的な活動が判断論拠に入り込む可能性がある。

確率論的手法の問題点：地層処分においては、Event、Faultの要素が超長期間において一様な性質を保つことは難しい。確率論的アプローチはこの要素の一様性が崩れないことを前提としているため論拠が不安定になる可能性がある。

決定論的手法の問題点：実験により検証できないシナリオについて、ソフトウェアによる検証を計画した場合、シナリオ開発のためのモデル開発という自己再帰的条件が生じ現実的でない作業となる可能性が考えられる。

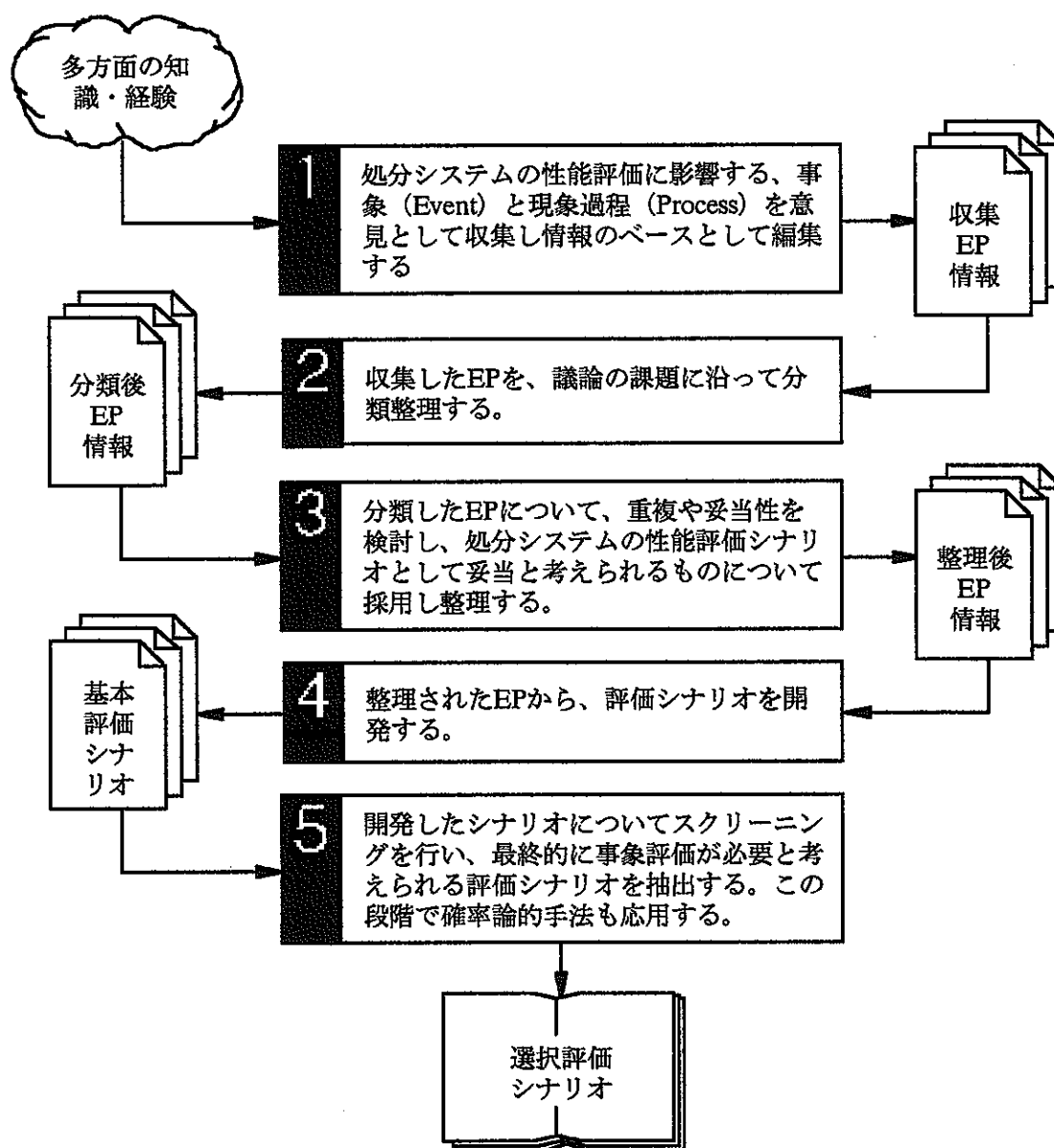


図1. 2-2 WIPPにおけるシナリオ開発手順

以上の作業を終了した後、実際の評価が必要となるシナリオを開発する。そのためには、前ステップで機械的に組み立てられたシナリオについて、それらの中から処分システムに影響する可能性の高いシナリオを選択する（WIPPでは、シナリオ選択処理：Scenario Selection Processと呼んでいる）。シナリオ選択処理では、事象（Event）と内容（Process）について、その可能性、重要度等から選択を行う。そのようにして選択されたシナリオは、個別に現象の評価（規模）を行うため、モデル開発、プログラム開発を実施する。この段階のスクリーニングでは、1万年の間に10のマイナス4乗に満たない確率（即ち、1万年に1回生じる見込みがない確率）は除去される。これはWIPPに於けるシナリオ開発の基準となる考え方であるので、我が国に於ける地層処分システムの性能評価シナリオを開発する際の選択基準として、そのまま採用することは難しいと考えられる。なぜならば、社会的、

地質的等、多くの面で我が国の処分環境と取り巻く条件はWIPPとは異なると考えられるためである。また、前述の通り、事象の一様性が見込めない確率過程が内在するため確率論的モデル自身に不確かさが生じる恐れがあるためである。本件については、今後の地層処分シナリオ・データベースの開発において、そのシナリオ開発支援機能面から検討を要する課題であると予想される。何故ならば、この課題（10のマイナスn乗のクライテリアの話）は、シナリオ開発にとって避けて通ることが難しい課題であるとともに、適用するための情報処理負担が高いと考えられるためである。例えば、イベント・ツリー解析等の支援機能が整備されないと、各EPの連係に沿って評価することは、その情報処理量から手作業では困難と考えられる為である。

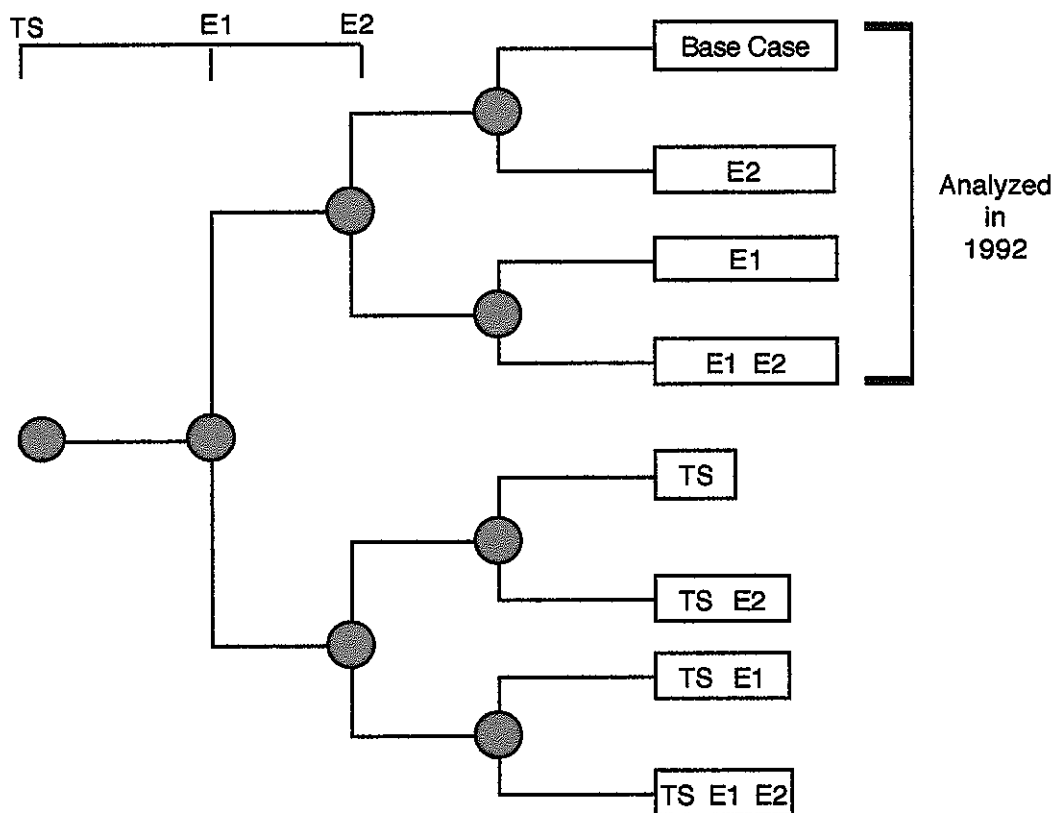


図1. 2-3 WIPPの評価シナリオの例

図1. 2-3にWIPPにおける8つの選択シナリオの例を示す。図1. 2-3から判るようにWIPPでは3つの事象 (TS, E1, E2) から8つの評価シナリオを選択している。ここで、TSは地盤沈下に起因する掘削事象である。E1、E2は、1つ、またはそれ以上の試掘坑道経路 (Borehole Pass) である。これは、WIPPサイトの運用期間中において、掘削影響から生じる地盤沈下によるリスクの確率が1万年に1度の頻度を基準として考えた場合に抽出される評価事象を示している。1992年以前のスクリーニング結果では、選択評価シナリオは掘削影響による地盤沈下を含んでいなかった。図1. 2-3から判るように、1992年の段階での性能評価では、坑道単位での静的なシナリオ評価 (E1、E2) を行っている。その結果として、掘削影響 (事象TS) の及ぼす規模 (感度) が重視されて、再度

それを含んだシナリオが開発されている。それは1992年の評価シナリオには含まれていなかったものであり、その後の研究によって生まれてきたシナリオである。これは、前述した通り、シナリオ開発が常に循環した作業となることの端的な例である。従って、実際に重要なシナリオがシナリオ評価の結果生じることも予測され、それらの複雑な要因関連とシナリオ自身のもつ複雑さ、文章表現としての曖昧さ等が、このシナリオ開発作業を非常に複雑にしている。従って、シナリオ開発においては、補助的手段としてデータベース等の情報処理技術を有効に応用するとともに、それらを基盤としてダイナミックなスクリーニングを行い、事象評価すべきシナリオを選択する技術論拠を効率的に組み立ててゆく技法の開発が重要と考えられる。

1.3 確率論的シナリオ開発支援システム概念

一般に、Event Tree/Fault Tree法は確率論的リスク解析の分野に含まれる数学的手法を示している。それは、対象となるシステムのダイナミクスを評価する場合に、要素の関連が複雑であり決定論的に把握できない場合に、ある程度の目安をつけることを目的としてトップダウンでモデル化する手法である。従って、確率論の扱ひ量は頻度である。今、Event Tree/Fault Tree法を基礎とした確率論的手法で、シナリオ開発を行なうための支援プログラムを開発することを考えた場合、同プログラムに対する基本的な機能要求は以下の通りである。

(1) 対話機能の分野

確率論的シナリオ開発支援システムの対話機能は、およそ次の要求を満足する必要がある。第一にEvent Tree/Fault Treeの作図機能が必要である。図1. 2-3はこの作図機能の参考になるであろう。例えば、Eventは個々のFEPに特徴付けられる要素として考え、Faultは核種の放出率、移行率等で表すとする。従って、最終的な関心事は生物圏に核種が到達するか否かであるので、Event/Faultを組み合わせたTree表現が必要である。作図にあたっては、Event Treeのみの作図と管理（核種移行事象の連結からみたTree）、Fault Treeのみの作図と管理（核種放出率等からみたTree）だけでなく、更にそれらを組み合わせた場合の作図機能も必要である。組み合わせは、Event/Faultの2つのTree情報から自動的に作図する機能を開発することが望ましい。また、Event/Faultについては、要素の変動に関する処理も追加作図する機能が必要である。例えば、オーバーパックの腐食による消失、工事ミス等の人的因子による地下水条件の変化、地震や断層等の接近シナリオによる地下水流れ的大幅な変化等である。これらの事象をつかさどる要素の変化については、Event Tree上で解かりやすく表示し、ユーザーにTreeの状態変化を告げる機能が必要である。このようなシステムの状態変化を考慮する必要がある機能を複雑にする要因である。以上のように、地層処分性能評価シナリオを開発するための支援機能としてのEvent Tree/Fault Treeによる確率論的手法を利用した対話システムは、原子力施設等の確率論的リスク解析システムに比較し、事象の不確定性から複雑化すると考えられる。そのための代用的な機能として以下のものが上げられる。

Event Tree作図管理機能（要素の変化によるシステムの状態変化を視覚的に取り扱えること）

Fault Tree作図管理機能

Event, Fault 連係Tree作図管理機能

プロセス・システムとの対応機能

(2) 確率過程計算機能の分野

核燃料サイクル施設等のリスク解析は、正常な運転から事故への遷移を評価することを目的としている。従来のEvent Tree/Fault Treeの手法を基礎としてシナリオ開発の参考にするためには、核種の放出源を定め、インベントリー計算から事象を評価することにより、過渡的な事故状態と類似したシナリオでアプローチすることができる。但し、埋設から放出までの過程は、廃棄体からの崩壊熱や、地下水と接触する緩衝材やオーバーパックの化学反応等の複雑な過渡的变化を伴うため、確率論的モデルの対象とはならないと考えられる。確率過程の計算においては、埋設後廃棄物は十分に冷却され、オーバーパックが地下水と接触し、緩衝材と化合物を造り、最終的に固化体が滲出したと過程してモデル化する。従って、事象は地層中で安定した定常的な環境に添って核種が移行し、生物圏に到達するまでの静的な近似で状態の発生頻度を計算する方法をとることができる。従って、確率過程の計算はEvent Treeに従い、放出源からのインベントリーの放出率を事故事象と想定し、移行率を計算する手法となる。また、移行率について、地下水流れや輸送拡散モデル等の核種移行の決定論的モデルを組み合わせることにより、より複雑なEventによる準静的な計算ができると考えられる。以上の様に確率過程の計算については、モデルの複雑度により下記の通りに分類できる。

静的解析 : 核種放出から生物圏までの移行のシナリオ全てを確率論的計算により取り扱う。評価は移行率で判断する。この手法は、基本的な事象を判断するために便利であるので、初期のFEP原データに対するスクリーニング作業の効率化に期待できる。但し、静的解析では事象が一様であることと、系の中に過渡的な現象を入れ込む事が出来ない為、静的解析によるスクリーニング結果のみにシナリオ開発を依存することはできない。計算機能は、システムの状態を各事象の発生頻度と継続時間で表し、放射性物質の放出経路と移行率をTreeにそって計算する。従って、1本のプログラムと事象データベースで計算機能を構成すると考えられる。

準静的解析 : 静的解析の一部に決定論的モデルを応用し、より精度の高い事象評価を狙った解析手法である。核種移行に係わる系の中に過渡的な事象が含まれ、部分的な核種移行率より精密に計算するモデルとする。例えば、放出されたインベントリーに従って、ニアフィールドでの地下水の地球化学的特性を評価した移行率を得る場合は、熱力学モデルを動的に検討しなければならない。熱力学モデルは、平衡論的には時間を考慮しなくて良いが、現実の地下水は時間にそって流れるため、酸化還元モデル等の反応速度を考慮したモデル(参考文献10)を考慮する等、過渡的事象を決定論的モデルで近似した数値計算に頼らなければならない。計算機能面からは、準静的解析計算は、系全体の計算を静的解析に示すよう、発生頻度と継続時間でモデル化し、過渡的事象部分を個別の時間依存の離散方程式から近似した数値計算コードに置き換えて全体を計算する手法になる。この方法は、プログラム制御面からは逐次的な計算制御となる。従って、決定論的モデルに置き換えられた移行率が次のステップの事象に放出率と継

続時間と考えられるため、個別事象の計算誤りや誤差は全体計算の進行に沿って拡大する傾向にあると考えられる。プログラムは、1本の確率論的解析コードと複数の個別現象解析コードから構成すると考えられる。

複雑系解析：複数の決定論的モデルの動的な組み合わせによる解析である。これは理論的には確率論的モデルに基礎を置いた手法ではないが、複数の決定論的計算モデルを複雑に組み合わせ、シミュレーションを実行すると言う数値計算を基礎とした考えかたである。これは、準静的解析手法をより動的に拡張する戦略として捉えることができるが、現象の平行性を考慮することにより、準静的解析に見るような順序に沿った事象評価計算の進行と言う考え方は適合しなくなる。この場合、系全体の発生頻度は時間と共に変化する状態の示す指標としてアルゴリズムに組み込むことにより、ダイナミックに状態を変化させる系の複雑な事象連係をシミュレートする手法が考えられる。プログラムの構造と開発手法は静的解析、準静的解析とは大きく異なることが予想される。従って、本手法は独立なコンピュータによる仮想世界としての処分システム性能評価手法として取り上げるべきである。

なお、従来から知られている“連成解析”は、個別の現象を解明するにあたり、極端な要素還元手法の適用が難しいと考えられる対象について、ある程度の自由度を残したまま決定する手法である。連成解析においては、複数の式を連立させて離散式を導き、プログラム・アルゴリズムを設計してプログラムする手法が一般にとられている。そのため、プログラムは1本の独立したものである。このような観点から開発された連成解析コードは、小規模な複雑度（即ち、幾つかの要素と自由度からなる連立方程式）の範囲で精密な計算を行うことに適しているが、それらをより組み合わせたシステムを構築することは、簡単なモデルを多数組み合わせる手法に比較して逸れ自身の複雑度から検証が難しいと考えられる。従って、そのような連成解析コードは単体で大型の計算モデルに應用すべきと考えられる。

(3) データベース機能の分野

確率論的リスク評価を手段としたシナリオ開発の支援システムを構築するにあたり、データベース・システムは不可欠な機能セグメントである。このデータベースは次の情報を管理する。第1にEvent Tree, Fault Treeに関する情報である。それらの情報は、核種の放出に係わる頻度を放出率として考えたデータや地下水による輸送や化学的現象による沈殿、収着等を考慮した移行率を情報としたものが考えられる。第2にFEPデータである。これは文書情報にEPが接続されたものとしてデータベース管理されるべきである。第3に準静的解析など個別の過渡的現象を記述する情報である。これは主に実験により得られた情報とする。例えば、地下水の熱力学データ (TDB)、ベントナイトや岩石中での核種の分配係数 (KD)、多孔室媒体の透水係数等が上げられる。これらのデータを一元管理し、効率的にシステム化するためには下記のデータベース管理機能が必要である。

リレーショナル管理機能：Event, Faultや実験データを管理する機能として関係記述子による多重リンク構造をもったデータベース・モデルが必要である。

オブジェクト管理機能：EPリンクつきシナリオはクラスとしてその情報を扱うべきである。

1.4 まとめ

本項では確率論的アプローチ（トップダウン）によりシナリオ開発を支援する方法について検討した。検討の結果、Event Tree/Fault Tree手法は、放射性核種の放出から生物圏までの移行を多重バリアをモデルとした事象頻度（移行率）で評価する方法であれば、他の核燃料サイクル施設における確率論的安全性評価手法が参考になる。その場合は、各事象に過渡的な変化を考えない静的な手法と過渡的变化を一部考慮する準静的な手法が考えられる。また、生物圏までの多重バリア全体を一つの系とみなし、核種の放出と移行を、より個別のモデルとして考え、事象頻度を時間に対し、ともに平行に進行する事象規模の連結として考える、計算科学的な数値計算モデルを複雑に組み合わせた手法が準静的解析の発展形として考えられた。

一方、静的解析、準静的解析、そして複雑解析等の手法は、逸れ自身が有するアルゴリズムからプログラム構造を規定する。静的解析手法は、その単純さから1本のプログラムで構成できると考えられ、パーソナルコンピュータ程度の情報処理資源があれば基本的な機能の開発は可能である。また、準静的解析においては、部分的な過渡現象モデルを扱う決定論的モデルの規模にもよるが、基本的にワークステーション級の計算機資源が必要となるであろう。さらに、多数のモデルを複雑に組み合わせる複雑モデルの解析システムの開発においては、超高速のコンピュータや画像処理プロセッサ、大規模データベース等が必要となり、研究開発技術の大半は計算機科学の分野の課題となるであろう。

本章の参考文献

- 0 1) An Innovative Approach to Quantifying Parameter Estimation Uncertainty from Hydraulic Tests Using Probabilistic Methods. R.M. Roberts, P.S. Domski, and J.D. Avis, INTERA Inc.
- 0 2) Preliminary Performance Assessment for the Waste Isolation Pilot Plant, December 1992, Volume 1 : Third Comparison with 40 CFR 191, Subpart B, WIPP Performance Assessment Department, SANDIA REPORT, SAND 92 - 0700/1, UC - 721, U.S.A
- 0 3) Draft Position Paper, Scenario Development for Postclosure Performance Assessment of the WIPP: Input to SNL Systems Prioritization and Project Technical baseline.
- 0 4) NRC Iterative Performance Assessment Phase 2, Development of capabilities for Review of a Performance Assessment for a High - Level Waste repository. NUREG-1464, USNRC
- 0 5) Review of Scenario Selection Approaches for Performance Assessment of High - Level Waste Repositories and Related Issues. Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, San Antonio, Texas, U.S.A
- 0 6) CARARA, A System for Computer Aided Reliability And Risk Assessment, Systems Engineering Services, NUKEM, German
- 0 7) FTL, Fault Tree Code, Version 2.70, User's Manual, Edition June 1998, Systems Engineering Services, NUKEM, German
- 0 8) ニアフィールド核種移行評価コードRELEASE、PNC/TN 1410 92 - 060、1 9 9 2 年 9 月、動力炉・核燃料開発事業団
- 0 9) PHREEQE, A Computer Program for Geochemical Calculations, U.S. Geological Survey, Water Resource Investigations Report 80-96, Revised and Reprinted - Aug. 1990
- 1 1) HYDROGEOCHM, A coupled Model of HYDROlogic Transport and GEOCHEMical Reaction in Saturated - Unsaturated Media, George Yeh, Department of Civil engineering, The Pennsylvania State University, 1992, U.S.A
- 1 2) Theory and Implementation for SWIFT- II. The Sandia Waste Isolation Flow and Transport Model for Fractured Media, NUREG/CR - 3328, August 1986, U.S. DOE
- 1 3) SWENT. A Three Dimensional Finite Difference Code for the Simulation of Fluids, Energy and Solute Transport. April 1983. INTERA Environment Consultants, Inc. 11999 Kaftay Freeway, Suite 610, Huston, TX 77079. U.S.A

2 インフルエンス・ダイアグラムとFEPによるシナリオ開発手法

インフルエンス・ダイアグラム（以下ID: Influence Diagramと記す）とFEP（特徴（Feature）、事象（Event）、及び過程（Process））によるシナリオ開発法は、SKBにより1981年から1994年の間に体系化された。また視覚化するためのいくつかの方法論についての研究もすすめられてきた。それらは、事象ツリー分析、影響ダイアグラム、及び岩石工学システム（RES）マトリクスなどである。本章では、参考文献1（Scenario development methodologies, SKB TECHNICAL REPORT 94-28）を参考にID/FEP手法の情報処理モデル化についての検討を行なう。

2. 1 ID/FEP手法の背景

シナリオ開発プロジェクトに関するSKB/SKIの共同研究において、「原則として、放射性廃棄物処理システムの安全性評価手法は、それに関連したすべての特徴、事象、及び過程を考慮にいたったものである」と述べられている。上記のFEP（特徴、事象、過程）とは、処分システムからの放射性核種の放出や輸送に直接的及び間接的に影響を及ぼすと考えられる対象についての記述である。それは、想定されるリスクとして、各界の専門家等により仮説として示される文章と、その関連からなる情報の組である。このようなシナリオによるリスク評価のアプローチは、原子力発電所設備の安全性評価手法と類似していると考えられる。しかし、実際には高レベル放射性廃棄物地層処分に係わる処分システムの性能評価にかかわるシナリオは、多重バリア方式と呼ばれる天然自然現象に、その最終的な隔離機能を期待しているため、評価対象が自然であり、発電所のような工学的論拠（例えば故障率など）に基づく手法でリスク評価シナリオ開発にアプローチし難いという点で出発点から異なっていると言える。

FEPとみなされたものは、それぞれ原因及び発生の可能性、そして結果についてだけでなく、他のFEPとみなされたものとの最終的相互作用についても分析されなければならない。このような相互作用には、順序による影響も考慮する必要がある、場合によっては新たに生じたFEPが既存のFEPに影響を与えることがある。このように、処分システムの健全性の評価に関する複雑な情報を適切に取り扱うためには、性能評価の方法論に関する戦略について深く研究する必要がある。この方法論の重要な構成要素としてシナリオ開発がある。シナリオ開発の基本目標は、処分システムが超長期にわたり健全性を確保できるかどうかを評価することである。シナリオ開発の最も重要な戦略の一つは、重要な問題を確認しやすくすることである。

また、シナリオ開発戦略を完成することは難しいとしても、完成を目指して努力することは必要である。この点からも、シナリオ開発のすべてのステップを文書化し、コンピュータによる管理システムを構築することは重要である。シナリオ開発のステップを分かりやすく文書ファイル化することによって、関連シナリオを広範囲に再吟味し更新することができる。多方面の専門家により見直しが行なわれることは、公正で合理的なシナリオを開発する上でも、放射性廃棄物の安全な処理という重要な問題について一般的な合意を得る上でも、おそらく最良な方法といえるであろう。そのためには、シナリオの電子情報化と、それを共有する情報システムが重要な開発課題となる。

FEPの手法は、米国サンディア国立研究所の放射性廃棄物管理システム部門によって開発されたシナリオ開発方法論が基礎となっている。サンディア研究所の方法論の主な目的は、FEPをシナリオに取り入れることにより、処分システムの候補地を評価する際に客観的にも一貫した方法でシナリオを開発することであった。サンディア研究所の方法論は凡そ以下のステップから組立られた。

- 1) 放射性廃棄物を長期に隔離するために重要だと思われるFEPをプロジェクトの早い段階で包括的に見きわめる知識・経験を蓄積すること。
- 2) コンピュータを利用しFEPを図式化して分類する。これはFEPリストをできるだけ完全なものにするために必要な条件である。
- 3) 適切に定義された基準に基づいてFEPを選別すること。(スクリーニング)
- 4) 選別されて残ったFEPを組み合わせてシナリオをつくること。(シナリオ開発)
これらのシナリオについて評価を行ない、最終的な評価シナリオを開発し、処分システムの候補地を評価するために適用すること。

これらサンディアの手法を基本に、SKI/SKBの共同研究によりプロセス・システム (PS: Process System) と呼ばれる新しい考え方が開発された。プロセス・システムが開発された動機は、主にサンディアの手法の3番目のステップであるスクリーニング作業が、予想以上に複雑で時間がかかりすぎる手法であると判断されたためである。プロセス・システムは「処分システムやその周囲の環境におけるバリア特性、例えば放射性核種の地下水との化学反応等を説明するのに必要な、あるいは、一定の外的な条件から少なくともある程度決定論的に予測できるような、すべての現象 (FEP) の組織立った集合体」と定義づけされる。従って、それは全体シナリオといった広範な確率論を中心として扱うような領域と、特定地域の地下水の地球化学モデルといった、分解された過程である個別の領域との中間のサイズの複雑度のモデルを扱う問題に帰着する。個別の現象解明については、還元論に基づいて分解された現象過程と、現実の実験により検証する決定論的手法がとられ、自由度を下げた方程式から数学モデルが開発される。決定論的手法の弱点はモデル単体の検証は可能であるが、それらを重ね合わせた場合に、正しい解が得られるか正確な見通しを得ることが難しい事、また、理想化された実験環境から開発されたモデル式は、現象を普遍的に記述する力は一般に無いことが上げられる。また、全体シナリオは現象全てを広範に見渡すため、確率論的なアプローチを中心とした理論展開となる。確率論的手法の弱点は、特に高レベル放射性廃棄物処分においては、前述のようにフォルトの論拠を構成することの困難さがあげられる。また、イベントについても地震 (* 1、* 2) 等の場合、予測できない事象に支配されるため構成的なアプローチが困難である。

プロセス・システムとは、一定の外的な条件によるシナリオが、FEPに影響を及ぼすような対象によって定義づけされる。現在の知験の範囲内で、より高いレベルに達するための手がかりとなる手法は、プロセス・システムを体系的に形成してコンピュータにより視覚化することである。本項では、プロセス・システムをどのように体系化するかについて検討している。プロセス・システムの構造に目を通し、文書化していくと、専門家による判断 (どのシナリオを分析すべきなのかを選択するのに常に必要な) が確かに基本的な必要事項となることが判断できる。

* 1) 東海地震、予知は困難・測地審部会 (日本経済新聞)

地震予知計画を策定する文部省・測地学審議会の地震火山部会は、観測網が整備されている東海地震を含め大規模地震の発生時期や場所などの予知は困難との結論を出した。平成9年6月27日に測地審に報告する。大地震はこれまで、予知が可能という前提に立って研究や観測網づくりが進められてきたが、同部会の結論はその見直しを迫っており、地震対策のあり方をめぐり議論が起きるのは必至だ。

* 2) 国際的にも「直前予知は困難」——前兆現象、とらえられず (日本経済新聞)

東海地震の直前予知がこれまで「可能」とされてきたのは、78年1月の伊豆大島近海地震(マグニチュード7)の直前にひずみ計の異常が観測され、「前兆現象と地震発生の因果関係が科学的に突き止められた」と考えられてきたためだ。しかし、その後は予知につながる前兆現象をとらえた例はほとんどない。世界の地震学者の間でも「予知は不可能」との考えが常識になりつつあり、測地学審議会も基本認識を変えざるをえなかったようだ。測地審は93年に策定した「第七次地震予知計画」の中で、89年5月の伊豆半島東方沖群発地震で地殻変動の異常が地震活動と連動して観測されたのを理由に「直前予知は有効」としてきた。しかし、95年や今春の伊豆群発地震では地殻変動は観測されたものの、気象庁や地震予知連絡会は地震活動の見通しすら示すことができず、「予知は可能」とする根拠は揺らいでいる。

国際的にも米国がカリフォルニア州で進めていた地震予知研究をほぼ断念。欧州でも、地殻を流れる電流の変化で地震を予知する方法がギリシャで成功したとの報告があるが、学界には懐疑的な見方が多い。英科学誌「ネイチャー」も皮肉をこめて予知にこだわる日本の地震学界を紹介したりしている。「予知は可能と強弁し続ければ、世界の地震学者の笑い物になる」と話す地震学者もいる。

2. 2 関連文書付きインフルエンス・ダイアグラム

プロセス・システムを構築するための一つの方法は、プロセス・システムのインフルエンス・ダイアグラムをつくることである。インフルエンス・ダイアグラムとは、プロセス・システムにおけるFEPがボックスで示され、FEP間の相互作用がボックス間のラインで表わされるようなダイアグラムである。これらに付いては、本書3章にて、関連文書付きインフルエンス・ダイアグラムに基づいたソフトウェアによる方法論を示した。この方法は、すべての体系的なシナリオが共通して必要とする条件を満たすことを目指したものである。その必要条件とは、次のようなものである。

- 条件1：処分システム的设计思想に影響を及ぼすような、特徴、事象、プロセスやそれらの相互作用と組み合わせを体系的に整理し見直すこと。
- 条件2：シナリオ開発の際に決定された事項を文書化管理すること、及びその決定事項のトレーサビリティを確実なものにするために、その後の評価の際に決定された事項を文書化管理すること。
- 条件3：研究結果は、包括的なものでなくてはならず、より詳しい調査や研究が必要な分野が一見してわかるようなものでなくてはならない。

SKIによって研究開発されたこの方法は、SKBによってSFL3-5処分システム概念のための事前調査研究として試験的に使われている。その主なステップは、次のとおりである。

ステップ1：基礎的な影響ダイアグラムの構築

ステップ2：基礎的な影響ダイアグラムによるシナリオ影響ダイアグラムの開発

ステップ3：シナリオ及び抽出例の形成

2. 3 基礎的なインフルエンス・ダイアグラムの手法

プロセス・システムによるアプローチの最初のステップは、以下の手順にそって、評価の際に研究対象となるシステムに関する基礎的なインフルエンス・ダイアグラムを構築することである。また、同時に文書化（FEPリスト）を始めることである。

ステップ1：システムの定義付け

ステップ2：定義されたシステムに関するFEPを選択すること。

ステップ3：FEP間の影響を明確化すること。

収集した情報は全て電子ファイル化し、データベース管理に適合するよう書式、データ構造を定める。

2. 3. 1 システム概念の定義

基礎的なインフルエンス・ダイアグラムには、理想的には、あらゆるシナリオの研究対象となるシステムに関係する全てのFEP情報が含まれていなければならない。そのためには、以下に示すようなシステム概念の定義付けが情報整理の為に必要である。また、この定義はデータベース・システムとしてFEP情報やインフルエンス情報を管理する場合に重要である。

廃棄物の形態
人工バリアの設計と材質
処分施設の用地とレイアウト
自然バリア

更に、システム概念はインフルエンス・ダイアグラムに含まれるような、幾何学的に拡大したシステム（すなわちプロセス・システムが拡大したものなど）で決定されなければならない。すべてのプロセスを包括し、できるだけ詳しく表わしたプロセス・システムは、理想ではあるが現実的ではない。従って、具体的な評価の目的はどのように処分システム概念の範囲を設定し、インフルエンス・ダイアグラムによるシステム構成要素について、どの程度まで詳しく表わすことで十分な条件とすることができるか決定することである。人工バリアのようなシステムの構成要素は、グラフとして考えられるインフルエンス・ダイアグラムの一つの頂点として定める。プロセス・システムをインフルエンス・ダイアグラム（グラフ）としてモデル化した場合、その数学的な性質を研究することは、シナリオを開発するための特徴抽出等の論拠を得るための具体的な戦略として検討すべきである。

2. 3. 2 FEPの選択

シナリオの研究対象となるシステムの範囲や、研究されるべきシステムの構成要素が定義された場合、短期的にも長期的にも何らかの意味で性能に影響を及ぼすようなFEPが定義付けされる必要がある。FEPは、例えばそれは文書化されているリスト、あるいは既存のFEPリストから選択することができる。FEPの整理や選択は、定義付けされたシステム用にFEPを1つにまとめる担当者、及び担当グループの経験や知識にもまた左右されるであろう。従って、この段階でFEPを選別してはならない。

FEPは、大きく次の2つグループに分けることができる。1つは、プロセス・システムに属するFEPで、もう1つはプロセス・システム外のFEP、すなわち外部FEP (EFEP) もしくは、シナリオ着手FEPなどのことである (図2. 3-1参照)。インフルエンス・ダイアグラムは、プロセス・システムに属しているすべてのFEPについて、FEPの名称が書かれたボックスにより表現することによって構築することができる。ひとつのFEPが、プロセス・システムにおける処分場のいくつかの構成要素に関連しているとするならば、このFEPは、それぞれの構成要素に対して1つのボックスによって表わされなければならない。例えば、処分場におけるそれぞれのバリアが、処分場の1つの構成要素と定義するならば、“拡散” FEPが処分場のいくつかの構成要素に関連したり、“拡散” という名称のボックスが影響ダイアグラムのいくつかの個所にあらわれたりすることも考えられる。

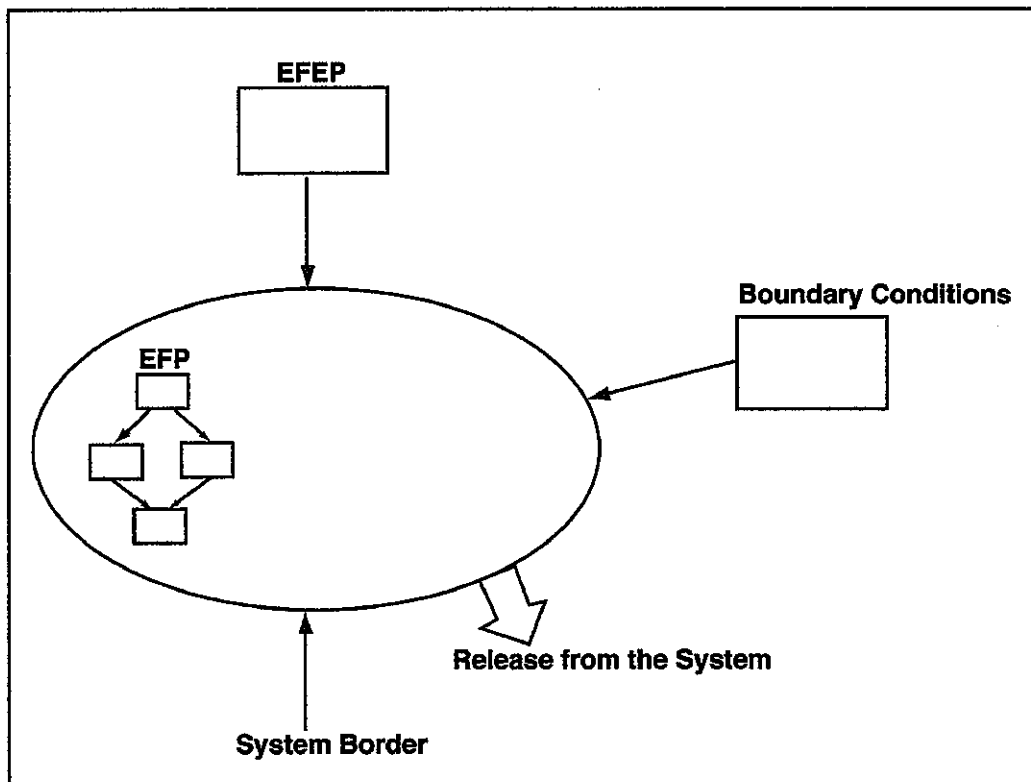


図2. 3-1 図表化された定義システム (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

2. 3. 3 選択されたFEP間の影響の確認

すべての既知のFEPがインフルエンス・ダイアグラムにまとめられると、FEP間の関連がダイアグラムにより確認できるようになる。このことは、相互作用を及ぼすFEP間にラインを引き、影響の方向を矢印で表現することで表わされる。ダイアグラムにおけるそれぞれの影響は、独特のコードで示される。また、インフルエンス・ダイアグラムを評価しやすくするために、相互作用を主要ターゲットFEPに及ぼす影響として表わすことが重要である。このように、1つのFEPがいくつかの異なる方法で他のFEPに影響を及ぼすこともあるため、FEP間の影響の数については特に制限していない。但し、それはFEPによるモデルが前述したEvent Tree/Fault Treeのような、単純な2分岐木構造に分解できない複雑なネットワークモデルを構成すると考えられる。

2. 3. 4 FEPの文書化、及びインフルエンスの記述について

影響ダイアグラムにおいて、FEPはボックスとそこに付けられた名称によって示されている。しかしながら、FEPの名称が実際に何を意味するのかを明確にするためには、現象をより包括的に説明することが必要である。そして、また、FEP間で確認されたそれぞれの影響を明確に定義し、文書化することも必要である。このようにして、すべてのFEPやFEP間の相互作用を説明するデータベースが準備されるようになり、影響ダイアグラムにおけるそれぞれのFEPボックスや、影響の方向を示す矢印が文書データベースにおけるそれぞれの説明及び定義付けにつながる。

2. 4 インフルエンス・ダイアグラムの開発

基礎的なインフルエンス・ダイアグラムにおけるプロセス・システムは、処分システムの働きに影響を及ぼすようなFEPや影響を含んでいるが、この段階では、異なるFEPの重要性や処分システム性能への影響などに関してはまだ評価されていない。FEPの重要性や処分システム性能への影響などは、プロセス・システムの初期の状態や、プロセス・システムがいかに周囲の状態に左右されるかなどによって変わる。従って、次のステップとして考えられるのが、構成要素を定義することの大切さである。すなわち、評価されるべきシナリオの論拠を定義することである。シナリオ論拠の定義を行うとインフルエンス・ダイアグラムの見直しが必要となり、それぞれの影響の重要性が選出されたシナリオについて評価される。これは結果的に、この個別のシナリオについてのインフルエンス・ダイアグラムとなる。また、シナリオ・インフルエンス・ダイアグラムから、インフルエンスやFEPを取り除くことによって、重要性の程度が異なるシナリオについての縮小されたインフルエンス・ダイアグラムをつくることができる。インフルエンスの重要性を評価するために、重要性を示すスケールとして事前に定義付けされたものが使われている。

インフルエンスによる評価においては、重要性を示すレベルを適切に選択すること、また、それぞれのレベルに必要な事項を明確に定義することによって、「専門家の判断による」評価システムが構成できる。この過程は、インフルエンス・ダイアグラム・システムの記述における必要な最小レベルの複雑性を表わしている。それは、性能評価をより確実にするようなインフルエンスやFEPを見出す可能性を高める反面、システム記述をより複雑すると言う問題を生じる。従って、インフルエンス・ダイアグラムによる方法では洗練された作図機能を持った対話システムが必要である。それは、色分

けコードや、様々なタイプのラインを使って、インフルエンス・ダイアグラムを開発・抽出することにより、様々なレベルの重要性を有したインフルエンスやFEPを組み立てることを効率化するであろう。

前述のように、インフルエンス・ダイアグラムの手法は反復性を有したプロセスである。それにより2つのFEPが、それぞれの情報が失われることなく1つのFEPに組み込まれたり、FEPがどのように相互作用を及ぼすのかを適切に表わすことを目的として、FEPが2つ以上のFEPに分かれて行かなくてはならない場合があることが予想できる。更に、そのような手続きを経てFEP間に新しく生まれたインフルエンスも見いだされるであろう。インフルエンス・ダイアグラムの評価と改善を容易にするために基準シナリオの前提条件が定義され、その基準シナリオの影響ダイアグラムが基礎的なインフルエンス・ダイアグラムより開発される必要がある。また、他のシナリオのインフルエンス・ダイアグラムについても、同様に基準シナリオをベースにしてインフルエンス・ダイアグラムによって、今後発展させていくことが出来る。

2. 4. 1 基準シナリオについての影響ダイアグラムの開発

基準シナリオは、プロセスに関しては出来るだけ完全に定義されなければならない。しかし、予想された性能や処分システムの発展を記述する際の複雑さを低減するために、より簡易なものにしなければならない。このような簡易化の実例として、人工バリアの初期状態について仮定することがあげられる。それは、例えば人工バリアに予想される不具合や設計基準に従った特性などである。更に、プロセス・システムにおける外的FEPのインパクトに関する仮定（例えば、プロセス・システムの範囲内で一定の状態が保たれるならばという仮定）は、例えそれが超長期的観点からは時間の経過と共に変化する過渡的な現象であっても基準シナリオとしては単純なものではない。

次のステップは、インフルエンス・ダイアグラムを見直し、定義付けされた基準シナリオについてのダイアグラムにおけるそれぞれの影響の重要性を評価する手順である。欠けている影響やFEPがないかどうかの確認や、インフルエンス・ダイアグラムを改善できるような修正は見いだされたなら、ただちに行われなければならない。また、下流のFEPやインフルエンスを考慮にいれることなく、インフルエンス・ダイアグラムにおける主要なFEPに及ぼすそれぞれの影響について、FEP間の相互作用の重要性を判断して評価を進めなければならない。

- 1) シナリオ・インフルエンス・ダイアグラムの見直しや評価は、特定の分野の専門家だけでなく、処分全体をよく理解している人たちもグループに加わって最善の成果があげられる。影響の重要性は、重要性スケール（例えば「重要」「はっきりわからない」「無視してかまわない」などのような）を使ったり、数字を使って重要性のレベルを表わしたり（例えば1から10まで）することによって定量的に判断する事が重要である。
- 2) インフルエンス・ダイアグラムの評価結果は、それぞれのインフルエンスにつながっている処理に文書化されなければならない。処理には、判断された重要性、決定したことについての説

明、参考文献、及び評価の責任を負っている専門家のグループなどが記述されていなければならない。このような文書が存在することによって、将来、再評価したり、評価手法を改善することが容易に可能になる。

- 3) インフルエンスやFEPを減じることによって、基準シナリオに対して様々なレベルの重要性を有した縮小インフルエンス・ダイアグラムを構成することが出来る。重要性レベルが定義付けされ、規定のレベルより重要性が低いと判断されたすべての影響やFEPは、インフルエンス・ダイアグラムから取り除かれるべきである。唯一のFEPであっても、そのFEPが他のFEPに及ぼす全ての影響が、規定された重要性レベルより低い場合は削除するという判断も考慮すべきである。
- 4) 影響ダイアグラムを縮小するための3つの重要性を示すスケール「重要」「不明瞭」「無効」を図式化したものを図2. 4-1に示す。これは、「無効」と評価された全ての影響を取り除くということを意味している。すなわち、FEP-Bへの影響とFEP-Cに対するFEP-Bの影響を取り除くということである。FEP-Bの原因のみが「無効」と評価されているので、このFEPが引き起こしたのも「無効」ということになり取り除かれるのである。FEP-Bを取り除くことによって、FEP-Dを活性化するような影響が何も残されていないので、FEP-DやFEP-Dが他のFEPに及ぼす影響も取り除く。

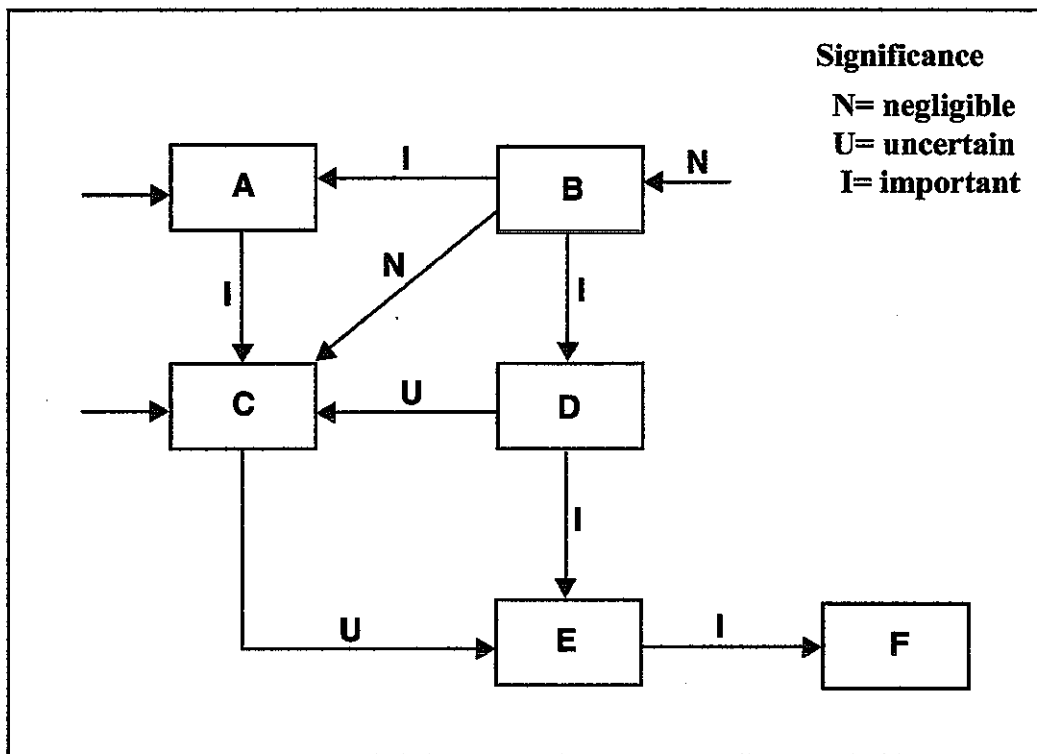


図2. 4-1 縮小した影響ダイアグラムの作成図 (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

2. 4. 2 他のシナリオについてのインフルエンス・ダイアグラムの開発

基準シナリオに対して縮小されないインフルエンス・ダイアグラムを使うことによって、他のシナリオについてのインフルエンス・ダイアグラムの開発を進めることが出来る。その開発手順は以下のとおりである。

1) 研究対象となるシナリオを説明するような、外的FEP及び複数の外的FEPを組み合わせたものを選択する。これらの外的FEPによって基準シナリオのインフルエンス・ダイアグラムにおける主要FEPが混乱してしまうことが考えられる。それで、主要FEPから下流の影響の重要性が外的FEPによる潜在的混乱という点で再評価される。ある影響の重要性が、基準シナリオの重要性と同レベルと評価されるとしたならば、影響の本質が基準シナリオの本質と異なる限り、この経路にわたって下流の影響やFEPをさらに評価する必要はない。選択されたシナリオと基準シナリオの違いが、図2. 4-2に示されるようなダイアグラムのいくつかの経路によって表わされることによって、選択されたシナリオのインフルエンス・ダイアグラムを開発する。

2) 基準シナリオと同様に、他のシナリオについてもその評価結果がそれぞれの影響につながるプロトコルに文書化されなければならない。影響やFEPを取り除くことによって、選択された外的FEPや複数のFEPを組み合わせたものについての縮小ダイアグラムを、様々なレベルの重要性で作成することができる。

3) 選択されたシナリオを適切に表わすために、インフルエンス・ダイアグラムを修正することが必要であることがわかっている場合には（例えば、FEPや影響が再び定義付けされなければならないとか、さらに多くのFEPや影響が必要であることなど）、選択されたシナリオと基準シナリオの両方についてインフルエンス・ダイアグラムや関連文書を改訂する。これには、基準シナリオ・インフルエンス・ダイアグラムにおいて修正された影響の重要性を再評価する作業も含まれている。

4) プロセス・システムに影響を及ぼすような外的FEPや、あるいはそれを組み合わせたものの数が非常に多いので、シナリオを選択することは難しい。外的FEPの最初の構造を把握するために、FEPをその原因に基づいて分類する。例えば、人間によって引き起こされた現象、自然現象及び自然事象、廃棄物や処分場の効果などである。さらに、プロセス・システムにおいて同様のインパクトを有する外的FEPをひとつにまとめることも考えられる。

Influence diagram

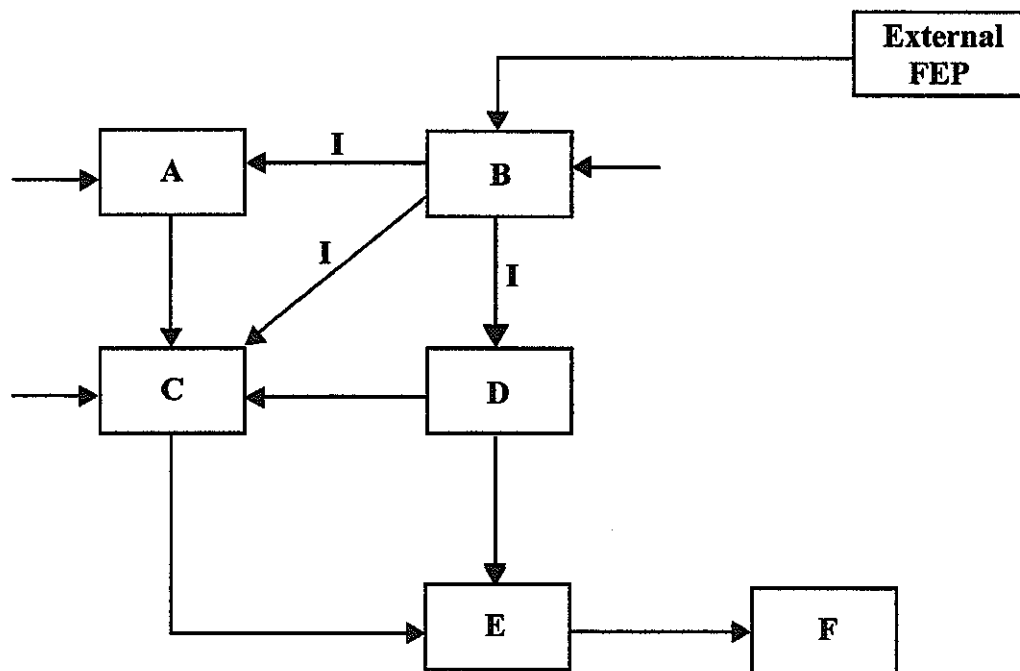


図2. 4-2 外的FEPに対する影響ダイアグラムの評価を図表化したもの
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

5) 外的FEPはシステムの変性を変化させることがあり、それによってFEP間の影響の重要性をも変化させることがある。今後の研究で外的FEPが最も発生しやすい時や、その持続時間及び組み合わせ不可能な外的FEPなどを推測する手法が開発されることが望まれる。

6) 前もって、最も決定的な外的FEPやそれらの組み合わせを判断することによって、評価すべきシナリオの数を減少させることができるであろうと考えられる。プロセス・システムを完全に示すことはできないと考えるべきである。しかし、プロセス・システムの見直しや評価が何度も行われるにつれて、プロセス・システムもより確実に表現されてゆくだろう。このことは、プロセス・システムの決定経路を認識する前に、外的FEPに関連付けられた少なくとも2つのシナリオを評価しなければならないということを意味している。

2. 5 シナリオの系統的表示及び抽出例

選択されたシナリオを分析するのに必要なシナリオや抽出例を明確に表わすために、縮小された個別のインフルエンス・ダイアグラムを利用する。様々な異なったモデルや抽出例が、プロセス・システムの様々な部分や局面を研究するために必要となるであろう。それは、例えば、温度、水文学、バリアの減成などである。このことが意味していることは、すべてのFEPや影響が同じモデルで同時に研究できるものではなく、いくつかのグループに分れて研究するべきものであるということである。これらの研究は、FEP間の相互作用の重要性に関する理解が深まるとともに、インフルエンス・ダイアグラムは改訂及び更新を繰り返していかなくてはならないであろう。

インフルエンス・ダイアグラムとFEPリンクド・リストによるシナリオ解析機能は、シナリオ解析の基本的な機能である。FEPリンクド・リストは、各界の学識経験者より集められる評価シナリオを、文字（文書ファイル情報）形式データとして保持するとともに、相互に影響する要因についてのリンク（関係情報）データを有するものとする。インフルエンス・ダイアグラムは、このリンクにより生成されるグラフである。このグラフは非常に情報量の多い有向グラフとして考えられる。初期の研究段階では、この有向グラフは、多重辺やループを含まない単純有向グラフとして出発すると考えられるが、シナリオ解析、個別現象解析に係わる研究が進むに従って、例えば、自己回帰的に影響する事象のようなシナリオが生じる可能性があるため、抽出や作図等の作業においては、多重辺、ループを含むグラフ探索アルゴリズムを応用検討する必要がある。

この方法は、予想される限りのシナリオについてデータベースに記述し、個々の影響要因に従って個別現象評価のためのシナリオを抽出するという、一連の抽出作業をシナリオ全体から行えるという点で厳密であり、シナリオ・データベース・システムの解析機能として最初に開発の必要な機能であるが、その分、処理する情報量は膨大であるので、情報処理技術に依存する量も大きなものと考えられるため、並列処理等最新の情報処理技術の応用が求められる今後の開発課題である。

2. 6 FEPデータによるシナリオ開発手法に関する今後の課題

地層処分性能評価においては、計画する処分システムの健全性に係わる評価を、想定する評価シナリオに沿って多方面からの現象解明と評価を行うことが基本的な手法と考えられる。そのため、評価シナリオの開発においては、FEPリンクド・リストや全体インフルエンス・ダイアグラムから、個別現象解析レベルのインフルエンス・ダイアグラムを抽出し、その妥当性を評価する作業が必要である。

また、FEPに直接影響する事象の評価については、基準FEPから派生するプロセス・システムとして別途考慮する必要がある。シナリオ開発にあたっては、そのためのFEPリンクド・リストからインフルエンス・ダイアグラムを抽出する方法と、インフルエンス・ダイアグラムから、FEPリンクド・リストの影響関連の評価を行う場合の2種類のアプローチについて研究する必要がある。いずれにしてもシナリオ開発の手法は、情報処理面から考察すると複雑な意味ネットワークを評価するアルゴリズムが基本になると考えられる。そのためには、FEPからできるだけ曖昧さを取り除かなければならない。そのためには、凡そ以下の議論に対する技術的な説明と情報処理システムによる具体的な評価・

管理技術の開発が必要と考えられる。

(1) FEPの曖昧性に関する議論

FEPをシナリオ開発の基盤とする場合、下記の議論について検討し、論理基盤を確立することが重要と考えられる。

- * 適用可能な知識範囲を明確に定義管理し、それらの関係を示すこと。例えば、気候学上の知識や地形上の知識等のいわゆる接近シナリオと地下水シナリオの関連した領域について。
- * 長期に亘るシナリオに過渡的な事象を含めること。
- * 自然環境システムにおける様々なシステム間の複雑な相互作用を説明すること。
- * シナリオの生起確率についての意義のある説明をすること。

これらのシナリオの不確実性に関する議論は、どのシナリオの可能性も現実性もはっきりしてはいないという根拠に基づいている。それは、個別シナリオに基づいた評価結果は、1つの例としてみなすべきであるという意見の論拠ともなりうる。この場合（個別シナリオ手法において）、局所的な不確実性、すなわち一定のシナリオや境界条件に対する許容範囲にあるパラメーターやプロセスの重要性は推定することができるが、不確実な全体的領域内のシナリオ、もしくは評価範囲の重要性については確立されていないと言う議論を生むものでもある。これは、シナリオ・データが自然言語による記述と言う条件から生じる曖昧さに対する議論でもあるので、より論理規則のしっかりした表現形式を導入する等、言語処理や意味論レベルでの対応が必要と考えられる。また、従来のシナリオ開発のプロセスは、「低い確率」で「少ない影響」しか及ぼさないと考えられるシナリオを無視しているため、その論拠と影響評価に関する議論が続けられることが考えられる。

シナリオ・データに関する不確実性の議論は、シナリオが会話を含む一般言語で記述されていることに起因する主観の混在、表現の曖昧性等からくるものである。そのため、シナリオ・データを基盤にシナリオを構築する戦略は、この曖昧さに対する何らかの判断論拠を有していることが求められる。そのような性能評価の手法を開発する手段として、シナリオに基づいた手法を適用すべきか、または、それ以外の手法を適用する方がいかにという議論は今後も続けられるであろう。しかし、シナリオを評価するための情報システムの開発という目標をもつ本プロジェクトにおいては、FEPを基準とした情報科学のアプローチから、より具体的な情報処理のモデルとしてFEP以外の手法も関連付けて取り込んで行くべきと考えられる。

また、シナリオ開発の柔軟性という点では、多くの専門知識やデータに裏付けられているFEPに基づいたシナリオを使用する手法が多くの国において支持を受けている。ところが、この手法には前述のような問題点もあるために、それだけで一貫したシナリオを開発することは難しい。この手法によって引き出されるシナリオの現実性については今後も検討を要するものである。従って、単純にシナリオだけ収集した場合、概念的な統計値によって傾向が得られる結果となる。この問題に対しては、非常に決定論的なシナリオと、正当化することが困難なシナリオとを分離して検討することが必要である。さらに、シナリオの性質をたった一つの特徴や事象及び過程で（しかし複雑な）定義付けする

とモデルが簡素化されすぎてしまい、モデルの持つ問題記述の普遍性が損なわれる可能性がある。そのようにして、自然環境におけるプロセス間の相互作用が見逃される場合が考えられる。

FEPの選択が不適切である場合、シナリオの柔軟性が欠ける可能性もある。例えば、ある特徴にプロセスが及ぼしている影響は、いくつかの関連事象につながり、その結果、様々なプロセスの原因ともなっていく。このようにして、システムにおけるフィードバック・ループが規定されていくのである。特徴、事象及び過程の連続した一連の関係が存在するために、このような周期的な因果関係をFEPを使ってそのまま説明することは難しい。これらの相互に影響を及ぼし合うFEPを認識することは、多くの時間を要する論争を引き起こすようなプロセスである。ある程度までは、この影響も事象ツリー分析によって避けられるが、特徴、事象及び過程間の区別は依然として適切なものではない。何故ならば、FEPのフィードバックは、前述の様に木構造に分解できない自己再帰的なループも含むフィードバック・ループのグラフとなるためである。このようなシナリオのループは社会・経済や生物システムに多く見られるモデルと考えられる。

それと比較して、動的システムを用いる手法は、決定論的な判断に基づくものではあるが、複雑な因果関係に左右されることはない。この場合、評価シナリオは、そのプロセスが明確であり、構成要素の相互に及ぼし合う影響が明白に確実に調節されていなくてはならない。この手法の目的の一つは、放射性廃棄物処分システムの性能や、将来における展開に関連するすべての現象（特徴、事象、過程）を含んだ統合化された定量化モデルを構築することである（Sumerling and Read 1993）。しかしながら、適切なモデルの適用性はかなり限られており、今のところ、この手法はあまり試みられていない。

シナリオに基づいた手法と動的システムによる手法は互いに相容れないように見えるが、必ずしもそうとは限らない。例えば、処分システムの性能を評価する為に適用される気候を動因とする体系的なモデルを開発する際、概念モデルの設計段階において、FEP選択の過程が非常に具体化されている。もちろん、どんな完全なシステムにおいても、シミュレーション出来ないような現象が出てくる。このことから、システムモデルがモジュラー構成をとる必要性が強調される。システムモデルがモジュラー構成をとることによって、新しい概念や現象に適応するためのサブモデルの開発が容易になるであろう。これはシステム化のアプローチにとって重要な事項である。

以上の手法における最も望ましい特徴が組み合わされた性能評価シナリオは、明らかに価値のあるものである。シナリオに基づいた手法を用いるのは、廃棄物処分システムの性能に大きく影響を及ぼすような特徴、事象及び過程をはっきりさせるために、初期段階の研究に限定されなければならない。この初期段階の研究に、この手法が適用されることによって、概念モデルがある程度改良され、予備的な感度解析が容易になるであろう。その結果、この初期段階において認識されたFEPが系統立ったモデルとして具体化され、それを用いて処分場の展開を定量的に予想することが推奨されている。

(2) 接近シナリオに関する議論

現在、FEPデータにより開発されている地下水による核種移行シナリオとは別に、長期的な気候変

動や地震、人災といった要因について、別途処分システムに過渡的に影響する接近シナリオとして扱っている。将来的な総合評価シナリオを開発するにあたっては、地下水シナリオにこの接近シナリオが複雑に絡み合ったシナリオの開発が求められると考えられる。

例えば、英国ではセラフィールド用地に対する基礎的な試験において、気候の変化を中心とした評価シミュレーションが実施されたことがあり (Intera, 1996)、予備的ではあるが、このような評価も行なうべきであると報告している。我が国においては、このような局地的な水分地質学的問題は、気候に左右されるリチャージ現象と、海面の変化の影響を特徴とするシナリオ等を考えることができる。一般に地球的な気候 (Wilmot 1993) は、一万年以上の長期間にわたって徐々に変化していくと考えられているが、我が国の地質条件においては、短い期間に発生している断層 (地震) や他の現象もあわせて考慮が必要であると考えられる。このように接近シナリオにおいては、単純な注目点から出発しても、気候変動、及び地殻変動の両方の影響を受けるものと考えられている。それは、処分システムの性能に影響を及ぼすと思われる主要プロセスについて、時間とともに変化するリスクとして評価する対象となると考えられる。決定論的にそれらのプロセスのダイナミクスを評価する必要性が生じた場合、それだけでも非常に複雑なモデルとなるであろう。それは、断続的な地殻変動のシミュレーションと同時に長期間における気候の周期的な変化を取扱うものと考えられる。

2. 7 本章のまとめ

本章では、地層処分性能評価シナリオをFEPデータから開発する手法について基礎的な検討を行なった。その結果、FEPデータには、それが一般の文章として自由な形式の文脈表現を許されていること、作者の主観等の心理的側面を内在するため等による曖昧性が残されていると考えられた。この曖昧性に対する対策として、プロセスを個別の決定論的モデルで評価できるものと出来ないものを分離して考える方法、意味解釈や知識表現等の情報科学を応用した形式的な論理記述言語に置き換える方法、Event Tree/Fault Treeを応用したリスク評価を参考にする方法等が考えられた。

それらは、いずれもコンピュータによるシナリオ開発支援の機能としての今後の研究開発対象と考えられる。

本章の参考文献

- 0 1) Scenario Development Methodologies, SKB Technical Report 94 - 28, Nov 1994, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Corporation. Sweden
- 0 2) The Art of Computer Programming. Vol.1 Fundamental Algorithms. Donald E. Knuth, Addison Wesley Publishing Company.
- 0 3) Andersson, J. and Eng, T. (1989) The joint SKI/SKB Scenario development project. In Proc. NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris 1989.
- 0 4) Andersson, J. et al. (1989) The joint SKI/SKB Scenario development project. SKI reports TR 89:14.
- 0 5) Billington, D.E. et al (1989) Radiological assessment of deep geological disposal: work for UK Nirex Ltd. In Proc. NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris 1989.
- 0 6) Bingham, F.W. and Barr, G.E. (1979) Scenarios for long-term release of radionuclides from a nuclear waste repository in Los Medanos region of New Mexico. Sandia National Laboratories report SAND78-1730.
- 0 7) Bonano, E.J., et al. (1989) Demonstration of a Performance Assessment methodology in High-level waste disposal in basalt formations. NUREG/CR-47 SAND86-2325.
- 0 8) Bonano, E.J., et al. (1990) The use of expert judgements in performance assessment of High-level waste repositories. In Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories. Proceedings of the Paris Symposium, OECD, Paris, 1990.
- 0 9) Bonano, E.J., Cranwell, R. and Davis, P. (1989) Performance assessment methodologies for the analysis of high-level nuclear waste repositories. Rad Waste Man and Nucl Fuel Cell Cycle, Harwood Acad. Publ. 13 (1-4) 229-239
- 1 0) Boulton, G.S. Time-dependent modelling of environmental change: The prediction of Quaternary glaciations. In Safety assessment of radioactive waste repositories. Proceedings, OECD, Paris, 1990.
- 1 1) CEC: Performance assessment of geological isolation systems for radioactive waste - Summary. CEC Nuclear and Science report series PAGIS, 11775EN (1998).
- 1 2) Courbouleix, S et al. (1985) French language publication.
- 1 3) Cranwell, R.M.; Campbell, J.E. Helton, J.C.; Inman, R.L.; Longsine, D.E.; Ortiz, N.R. Runkle, G.E. and Shortencarrier, M.J. (1987) "Risk methodology for Geological disposal of Radioactive Waste:" Final Report, SAND81-2537, NUREG/CR-2452, Sandia National Laboratories, USA
- 1 4) Cranwell, R. M. et al. (1987) Risk methodology for geologic disposal of radioactive waste: final report. NUREG/CR-2452, SAND81-2573.
- 1 5) Cranwell, R. M. et al. (1982, revised 1990) Risk methodology for geologic disposal of radioactive waste: scenario selection procedure. NUREG/CR-1667, SAND80-1429.
- 1 6) D'Alessandro, M. and Bonne, A. Radioactive waste disposal into a plastic clay formation. CEC report EUR7111 (Also by Harwood Academic Publishers, 1981)

- 1 7) Dalrymple, G.D. et al. (1986) First report on the acquisition of data for use in Probabilistic risk assessment of underground disposal of radioactive waste. UK DoE report DoE/RW/86.071.
- 1 8) Dames and Moore Intl, (1977) Evaluation of environmental change and its effects on the radiological performance of a shallow engineered disposal facility at Elstow, Bedfordshire. UK DoE report: TR-D&M-9; DoE/RW/87.124. UK Department of the Environment, London, Wiley, London.
- 1 9) Dames and Moore (1988) Earthquake effects on groundwater systems: an Introductory Review. UK DoE report DoE/RW/89.052.
- 2 0) Dames and Moore (1988) Background studies: climatic and geomorphological aspects of the evolution of shallow-land buried sites for radioactive waste disposal. UK DoE report DoE/RW/88.055.
- 2 1) Escalier des Orres, P., Devillers, C., Cernes, A. and Izabel, C. Determination des scenarios a prendre en compte dans l'appréciation de la sûreté d'un site pour le stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. In Proc. NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris 1989.
- 2 2) Environmental Protection Agency (1985) Environmental standards for the Management and disposal of spent nuclear fuel, high level and transuranic radioactive wastes, Final Rule. 40CFR Part 191, Federal Register 50 (182) Washington D.C.
- 2 3) Foley, M.G. et al. (1982) Geologic simulation for a hypothetical site in the Columbia Plateau: Results. Pacific Northwest Laboratory report PNL-3542-2. Check versus other ref which may be earlier version.
- 2 4) Eisenberg, N. (1992) Performance assessment for High-level waste repositories in risk assessment: A survey of characteristics, applications and methods used by Federal Agencies for Engineered systems. Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C. 20555-0001.
- 2 5) Grimwood, P. and Thegerstrom, C. (1990) Assessment of the risk associated human intrusion at radioactive waste disposal sites. Some observations from NEA workshop. In Safety assessment of radioactive waste repositories. Proceedings of the Paris Symposium. OECD, Paris 1990.
- 2 6) Guzowski, R. V., et al. (1989) Potential scenarios for use in performance assessment high-level radioactive waste repositories in unsaturated tuff. NUREG/CR-477 SAND86-7170.
- 2 7) Hunter, R.L. (1983) Preliminary scenarios for the release of radioactive waste from a hypothetical repository in basalt of the Columbia Plateau. NUREG/CR-3353
- 2 8) Hunter, R.L. (1983) Preliminary scenarios for the release of radioactive waste from a hypothetical repository in basalt of the Columbia Plateau. Sandia report SAND83-1352
- 2 9) Hunter, R.L., Barr, G.E. and Bingham, F.W. (1983) Scenarios for consequence assessments of radioactive waste repositories at Yucca Mountain, Nevada test site. Sandia National Laboratories report SAND82-1277.
- 3 0) Imbrie, J. et al. (1984) The orbital theory of Pleistocene climate. In Milankovitch and climate, ed Berger, A.L., Reidel, Dordrecht, 269-305.
- 3 1) INTERA Environmental Consultants Inc., (1983) GSM: Geologic simulation model for a hypothetical site in the Columbia Plateau: Large computer version of nuclear waste isolation report ONWI-447

- 3 2) INTERA Environmental Consultants Inc., (1983) FFSM Far-field state model, Office of Nuclear waste Isolation report ONWI-436.
- 3 3) International Atomic Energy Agency (1981) Safety assessment for the underground disposal of radioactive wastes. Safety series No, 56, IAEA, Vienna.
- 3 4) Kane, P. (1992) VANDAL version 1.3 Technical overview. UK DoE report. DoE/RR/92.095. UK Department of the Environment, London.
- 3 5) Laurens, J.-M., Thompson, B. G. J. and Sumerling, T. J. (1989) The development and application of an integrated radiological risk assessment procedure using Time-dependent probabilistic risk analysis. In Proc NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris.
- 3 6) Logan, S. E. and Berbeno, M. C. (1977) "Geologic modelling in risk assessment radioactive waste management" in Risk analysis and Geologic modelling: relation to the disposal of radioactive wastes into geological formations. Proceedings of an OECD/NEA and CEC workshop in Ispra 23-27 May, 1977. 77-1158.
- 3 7) NAGRA: Projekt Gewähr 1985 - Feasibility study; NAGRA Projekt Gewähr report series NGB 85-01 - NGB 85-09, NAGRA, Baden, Switzerland, 1985.
- 3 8) National Research Council: A study of the isolation system for geologic disposal of radioactive wastes; National Academy Press, Washington D.C. (1983).
- 3 9) NEA (1989) Risks associated with human intrusion at radioactive waste disposal sites. Proceedings of an NEA workshop. OECD/NEA, Paris.
- 4 0) NEA (1994) Characterisation of Long-term Geological Changes for Disposal sites. Proceedings of NEA workshop, Paris, France 19-21 September 1994
- 4 1) NEA SCENARIO CATALOGUE (1988) A compilation of questionnaire responses on scenarios for performance assessments of radioactive waste disposal. OECD/NEA, Paris.
- 4 2) NEA [PAAG/DOC (88)2] Systematic approaches to Scenario development. A preliminary report of the NEA working group on the Identification and selection of scenarios for Performance assessment of nuclear waste disposal.
- 4 3) NEA (1990) Safety assessments of radioactive waste management. Proceedings of the Paris Symposium, 1989. OECD/NEA, Paris 1989.
- 4 4) NEA (1991) Disposal of radioactive waste: Review of safety assessment methodologies. A report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee. OECD/NEA, Paris, 1991
- 4 5) Peaudecerf, P. and Blanc, P. L. (1990) French language publication
- 4 6) Read, D., Krol, A & Thompson, B. G. J. & Thompson (1987) A structured programme of research into the Chemical aspects of radioactive waste disposal. In Scientific basis for waste management, Vol 10. Mat Res Soc, Boston USA.
- 4 7) Ringrose, P. S. et al. Probabilistic simulation of the long-term evolution of radioactive waste disposal sites. In Proc. NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris 1989.
- 4 8) Roberds, W. J., Plum, R. J. and Visca, P. J. (1984) Proposed methodology for completion of scenario

analysis for the basalt waste isolation project, Rockwell Hanford Operations Report RHO-BW-CR-147P.

4 9) Sagar, B. and Janetzke, R. W. (1991) Total performance assessment computer code: description of executive module. Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, San Antonio, Texas. CNWRA 91-009.

5 0) SKBF/KBS: Final storage of spent nuclear fuel - KBS-3, Stockholm (1989).

5 1) Stephens, M. E. and Goodwin, B. W. (1989) Scenario analysis for post-closure assessment of the Canadian concept for nuclear waste disposal. In Proc. NEA/IAEA/CEC Symposium, Paris 1989.

5 2) Sumerling, T. J. (1991) Dry run 3: A trial of methodology for the probabilistic risk assessment of underground disposal of radioactive waste that accounts for long-term environmental change: Overview. UK DoE Report TR-DR3-10.

5 3) Sumerling, T. J. and Read, D. (1993) Approaches to long term performance assessment of deep underground disposal of radioactive wastes: A European perspective. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. [294] pp 951-960

5 4) Thompson, B. G. J. (1989) The time dimension in risk analysis: examples from recent work in the United Kingdom. In Risk Analysis in Nuclear Waste Management, ed. A. Saltelli et al. Kluwer, Dordrecht.

5 5) Thompson, B. G. J. (1987) The development for procedures for the assessment of the underground disposal of radioactive wastes: research funded by the Department of the Environment, 1982-1987. Rad Waste Man and the Nucl Fuel Cell Cycle, Vol 9 pp215-256.

5 6) Thompson, B. G. J. [PAAG/DOC (88)11] A method of overcoming the limitations of conventional scenario-based risk assessments by using Monte Carlo simulation of possible future environmental changes. Technical report TR-DoE-12.

5 7) Thompson, B. G. J. & Sagar, B. (1993) "The development and application of integrated procedures for post-closure performance assessment, based on Monte Carlo simulation: the probabilistic systems assessment (PSA) approach". Reliability Engineering and System Safety [42] pp125 - 160

5 8) Thorne, M. C. (1993) The use of expert opinion in formulating conceptual models of underground disposal systems and the treatment of associated bias. Reliability Engineering and System Safety.

5 9) Tierney, M. S. (1991) Combining scenarios in a calculation of the overall probability distribution of cumulative releases of radioactivity from the Waste Isolation Pilot Plant, South Eastern New Mexico. SAND 90-0838. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.

6 0) Tyrer, M. Bennett, D. G. Read, D & Yunus, I (1995) "Near Field and Chemical Transport Modelling . Rep. UK DoE/HMIP TR-Z2-9

6 1) USEPA (1985) "Environmental standards for the Management and disposal of spent nuclear fuel, high level waste and transuranic radioactive waste", Final Rule. Federal Register [50] Washington D.C.

6 2) Wilmot, R. D. (1993) The treatment of climate-driven environmental change and associated uncertainty in post-closure assessment. Reliability Engineering & System Safety. Vol 42, pp181-200.

6 3) Wittingham, R. B. (1989) Human intrusion into nuclear waste repositories: a systematic approach to the definition of scenarios using human reliability modelling. In Proc NEA Symposium, Paris 1989.

6 4) Woo, G. (1989) Is the risk of human intrusion exaggerated. In Proc NEA Symposium Risk

associated with human intrusion at Radioactive waste disposal sites, Paris, 1989.

6 5) Wusche, D.M. et al. (1995): Second interim assessment of the Canadian concept for nuclear waste disposal, AECL-8373-4.

3 RES : Rock Engineering Systems手法によるシナリオ開発

RES:Rock Engineering Systems手法は、SKBにて示されたシナリオ開発手法で、FEP手法からバリアの性能評価に係わる部分を中心として抽出し、プロセス・システム (PS:Process System) と呼ばれる安全評価事象の連成マトリクスを組立ることにより、評価シナリオを組み立てる手法である。この方法は、より詳細に個別現象解析のための連成計算モデル等を組立する場合にも有効な指針を与えるものである。例えば、将来RESのInteraction Matricsの考え方を連成シミュレーションの為のモデル管理簿としても応用できる拡張性を有する手法である。RES法によるシナリオ解析は、処分に係わる周辺岩盤のバリア性能に係わる現象を、連成のマトリクスとして考えたProcess Systemを中心としたシナリオ評価となるため、その殆どが工学的対象と考えられる。

3. 1 基本的な考え方

RESアプローチの基本は、すべての面の問題が確実に網羅されるようにトップダウン・アプローチから始めることである。最初に全体的な目標から始まり、次にすべての要因について、変数と変数の間のどの相互作用が事象経路を包括するのかを確立するのである。このようにして、RESに関する問題は、その構成要素を確立するために分類される。RESアプローチに使われる基本的な方針は、相互作用マトリクスである。相互作用マトリクスにおいては、主要変数、及びパラメーターが主要ダイアゴナル・マトリクスに記載されている。パラメーター間の相互作用は、非ダイアゴナルな状態で示される。このことは、時計方向の影響とともに図3. 1-1に示されている。

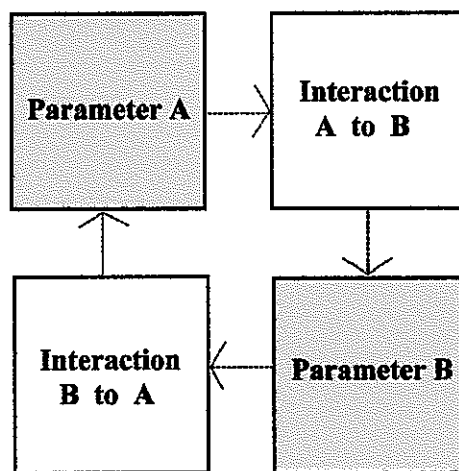


図3. 1-1 相互作用マトリクスの原理
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 1-2では、「地下水の流れ」と「埋め戻し」の2つのパラメーターの実例とそれぞれの相互作用が示されている。2つのパラメーターは、主要ダイアゴナル上の陰つきボックスに示され、それらの相互作用は、右上と左下のボックスに表わされる。目標に基づいたこの手法の重要な点は、放射性廃棄物処分の主要な目的に影響を及ぼすような、すべてのパラメーターを考慮にいれ、この小さ

い2×2のマトリクスを拡大して、主要パラメーター、及びすべての相互作用を網羅するようなn×nマトリクスを形成することである。パラメーターの数が増加するにつれて、相互作用の数も増加する。図3. 1-1と図3. 1-2には2つのパラメーターがあり、従って2つの相互作用がある。12×12のマトリクスには、144の構成要素があり、主要ダイアゴナルの12のパラメーターを減じると132の相互作用が残る。

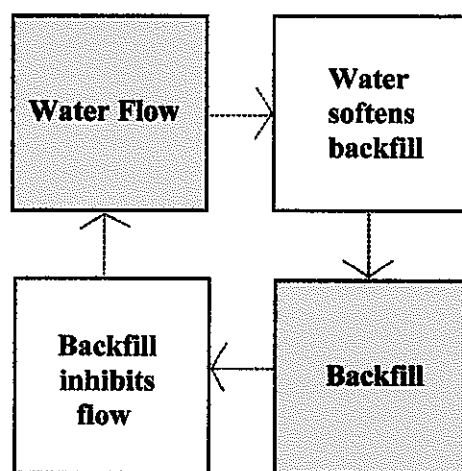


図3. 1-2 2つの変数とその相互作用
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 1-2にもよく示されているように、相互作用マトリクスの重要なことは、このような相互作用マトリクスは一般的には対称的なものではないということである。変数Aの変数Bへの影響は、変数Aへの変数Bの影響といつでも同一なものではない。例えば、埋め戻しへの地下水の流れの影響は、埋め戻しの地下水への影響と同一ではない。一般的に、シナリオ開発においては、すべての相互作用はそれぞれ異なり、分析をサポートする相互作用マトリクスのような、何らかの構造なしに問題における変数間のすべてのリンクを確実に認識することは非常に困難であると考えられる。

図3. 1-3には、4×4の相互作用マトリクスが示されている。このマトリクスは、4つの変数、すなわち4つの主要ダイアゴナルと、 $4 \times 4 - 4 = 12$ の相互作用、あるいは12個の非ダイアゴナルから成る。例えば、変数Dが変数Bにいかに関与するかを知りたいと仮定するとして。それは、図3. 1-3で網目状に表わされているように、直接的な非ダイアゴナル相互作用DBに表わされるであろう。しかしながら、そのような相互作用や影響は、マトリクス内の他の変数にも間接的に及ぼされると考えられる。このような影響経路(D,A,C,B)は、4×4の相互作用マトリクスで表わされる。変数Dは、3つの相互作用DA, AC, CBによって変数Bに影響を及ぼす。これらのすべての経路を考慮にいれることによってRES分析が完了する。

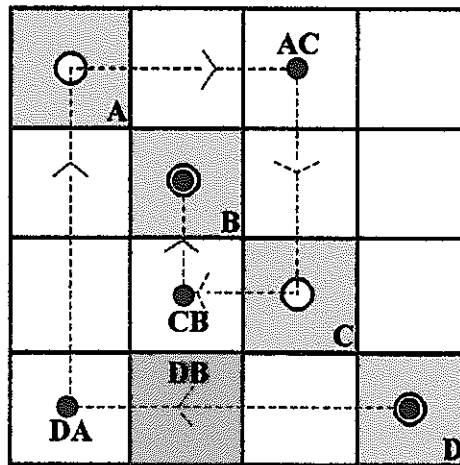


図 3. 1-3 相互作用マトリクス経路の原理
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

以上、RES手法を外観すると本手法の利用においては、以下の点が研究課題として重要と考えられる。

- プロジェクトの目標を明示すること。
- 主要ダイアゴナルに必要な、変数を考慮に入れること。
- マトリクスのすべての相互作用を確立すること。
- マトリクスの一つ一つの経路を研究すること。
- すべての相互作用が生じる「マトリクスの発展」について研究すること。

RES手法は、ソフト面からの手法として、あるいはハード面からの手法としての両方の性質を有した手法である。「ソフト面からの手法」として考えれば、それは問題の本質を規定の手順に従って確立し、相互作用に数値でコード付けをすることによって、変数や相互作用の相対的な重要性を明示する手法と言える。これにより、主要メカニズムネットワークもまた確立することができる。

また「ハード面からの手法」として考えれば、主要ダイアゴナルは、モデル化されるシステムの物理的変数あるいは状態変数となる。相互作用は、物理的に認識され定義付けされる。そして、完全連結モデル（FCM）が、初期及びそれに続く状態に応じて状態変数に対する変化を数値的に評価するための手法と言える。

3. 2 FEPを構築、完成するためのRES手法の適用

RES手法を用いて、放射性廃棄物処分の性能評価研究を行う作業は、前述のステップが始まりである。それは、目標に関連した主要変数が、主要ダイアゴナル（マトリクスの上から右下）に示され、相互作用が非ダイアゴナルボックスに表わされるような相互作用マトリクスの構築と考えることができる。第2のステップは、主要ダイアゴナル・ボックスに入れる項目について検討することである。例えば、すべてのFEPを考慮にいれた結果、初期的な分析のための、以下の9つの主要ダイアゴナルが選択できる。

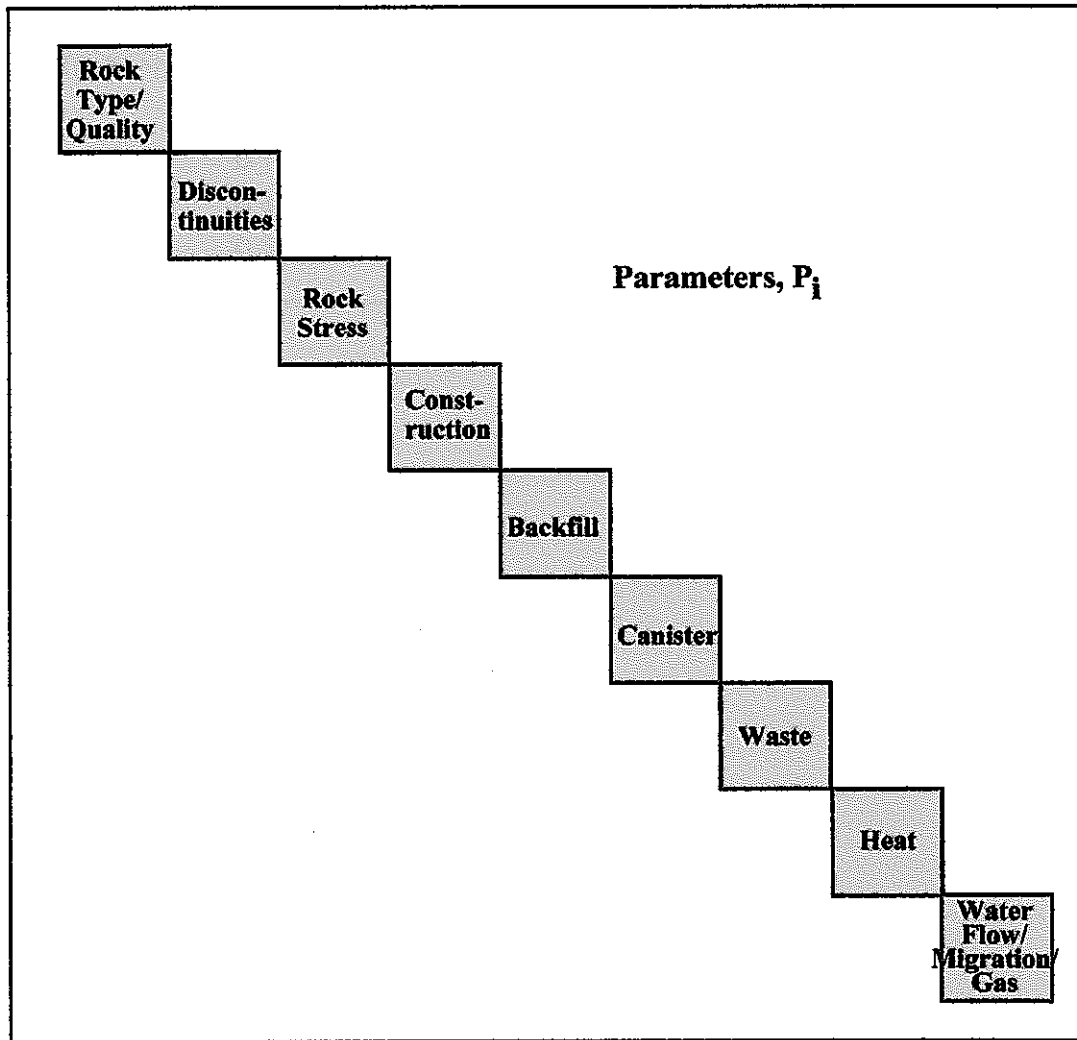


図3. 2-1 相互作用マトリクスの主要ダイアゴナルの選択

この研究に用いられた9つの変数
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

- | | | | |
|--------------------|-------------|------------|----------|
| D 1 : 岩盤のタイプ/質 | D 2 : 亀裂 | D 3 : 岩盤応力 | D 4 : 構造 |
| D 5 : 埋め戻し | D 6 : キャニスタ | D 7 : 廃棄物 | D 8 : 熱 |
| D 9 : 地下水の流れ/移行/ガス | | | |

はじめの3つの主要ダイアゴナルは、母岩環境の最も重要な点と関連しており、次の4つの主要ダイアゴナルは、人工バリア及びその処分内容などに関連していて、最後の2つの主要ダイアゴナルは、“推進メカニズム”と関連している。どんな変数でも選択することが出来るし、図3. 2-1に示されるリストを拡大して（例えば、より広い環境問題など）細分化することも容易である。そして、この段階においては、マトリクスは後で再構築することが出来るので、変数の順序はたいして重要なことではない。分析は、これらの主要ダイアゴナルの順序には左右されない。FEPのデータについては、相互作用マトリクスにおける、すべての既存のFEPの位置を確認することができる。さらに、FEPが相互作用マトリクスを満たすのか、あるいはより多くのFEPが、マトリクスのすべての非ダイアゴナルに記入される必要があるのかを確立することも出来る。FEPは、マトリクスの6つの異なる面のうち1つの（あるいは潜在的にはそれ以上の）面から認識され、特性づけされる。

- | | |
|----------------|----------------------|
| D 1 : 変数Pi | D 2 : 変数Piに対する変質作用 |
| D 3 : 相互作用ij | D 4 : 相互作用ijに対する変質作用 |
| D 5 : マトリクスM経路 | D 6 : マトリクスM全体の開発 |

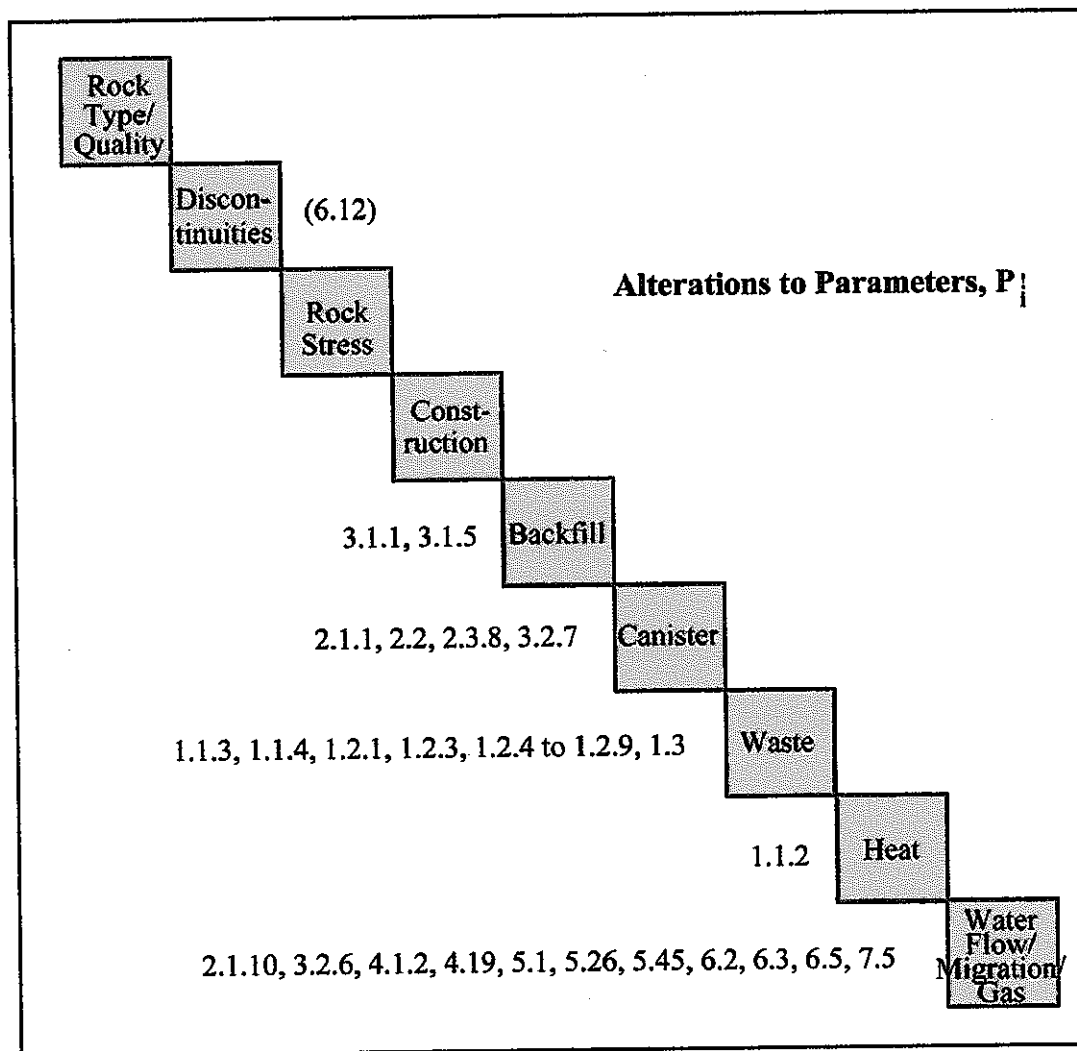


図3. 2-2 変数Piに対する変質作用であるFEP
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

FEPは特徴として、事象としてあるいは過程として、それ自体変数ともなり得るが、単一の変数に関連したものが変数に対する変質作用としては、最良のものとみなされている。あるいは、それは2つの変数間の相互作用であったり、その相互作用に対する変質作用であったりもする。最終的には、FEPは、2つ以上の変数が関与するマトリクスへの経路にもなり得るし、数多くの連続した共有経路の累積効果によるマトリクス全体の発展にもつながる。

図3. 2-2には、主要ダイアゴナル内部の変質作用と認識されるFEPが示されている。これらのFEPがニアフィールド域（近傍域）に発生することは注目に値する。それは、近傍域において根本的な変動が生じるからである。例えば、3.1.1には化学反応によるベントナイトの減成が示されている。これをベントナイト内部の問題とするならば、その場合、それは変数に対する変質作用となる。あるいは、それは地下水化学に関連づけることもできる。その場合には、それは地下水と埋め戻しの間の相互作用となる。

Rock Type/Quality					2.1.8			4.1.4 4.1.5	3
	Discontinuities							4.1.4 4.2.3 6.4	3
		Rock Stress							0
4.2.2.1	4.2.2.1 4.2.8 4.2.9		Construction					4.18 5.14	6
4.2.2.1	3.2.1.1 4.2.2.1		3.2.1.1	Backfill	2.1.8 2.1.7 2.1.9			3.1.2, 3.1.3 3.1.4, 3.1.6 4.14, 4.18	13
					Canister	1.5		2.1.4	2
				3.1.10 3.1.13	2.1.3	Waste		5.44	4
2.3.1				3.2.5	2.3.1		Heat	3.2.10 4.1.7 4.2.4 6.13	7
3.1.11 4.1.1 6.6	6.6		3.1.7	3.2.4	2.1.5 2.1.6.1 2.1.6.2		4.2.4	Water Flow/Migration	10
6	6	0	2	4	9	1	1	19	TOTALS 48

図3. 2-3 相互作用ijであるFEP
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

次に、図3. 2-3に二者間の相互作用とみなされるようなFEPが示される。すなわち、主要ダイアグラムにおける2つの変数間の相互作用（2つ以上の変数が関わっているのであれば、FEPは経路となる。）である。例えば、3.2, 1.1に示されているのは、ベントナイトがトンネルで隆起して、ひびが発生することである。それは埋め戻しと構造間の相互作用として、あるいは埋め戻しと亀裂の間の相互作用として発生するものである。

図3. 2-4は、FEPがどのようにして経路とみなされるのかについて説明している。例えば、4.2.8においては、岩盤の割れ目がさらにひろがったことによって新しい割れ目が生じることなどについて説明してあり、それらは結果的には（岩盤の割れ目を通して）岩盤応力や地下水の流動に影響を及ぼすものである。FEPがどのようにマトリクス経路になるのかについて研究することは、FEPの本質を明確にするのに非常に有用なものである。

FEP 3.2.11:5.5-2.2-1.1-9.9 埋め戻し材の不足

FEP 4.1.6: 1.1-2.2-9.9 再集中

FEP 4.2.8:4.4-2.2-3.3-9.9 岩盤の割れ目がさらに広がること

FEP 4.2.9: 1.1-2.2- 3.3 -4.4 -9.9 岩盤の質量が徐々に変化すること及びその他の経路FEP

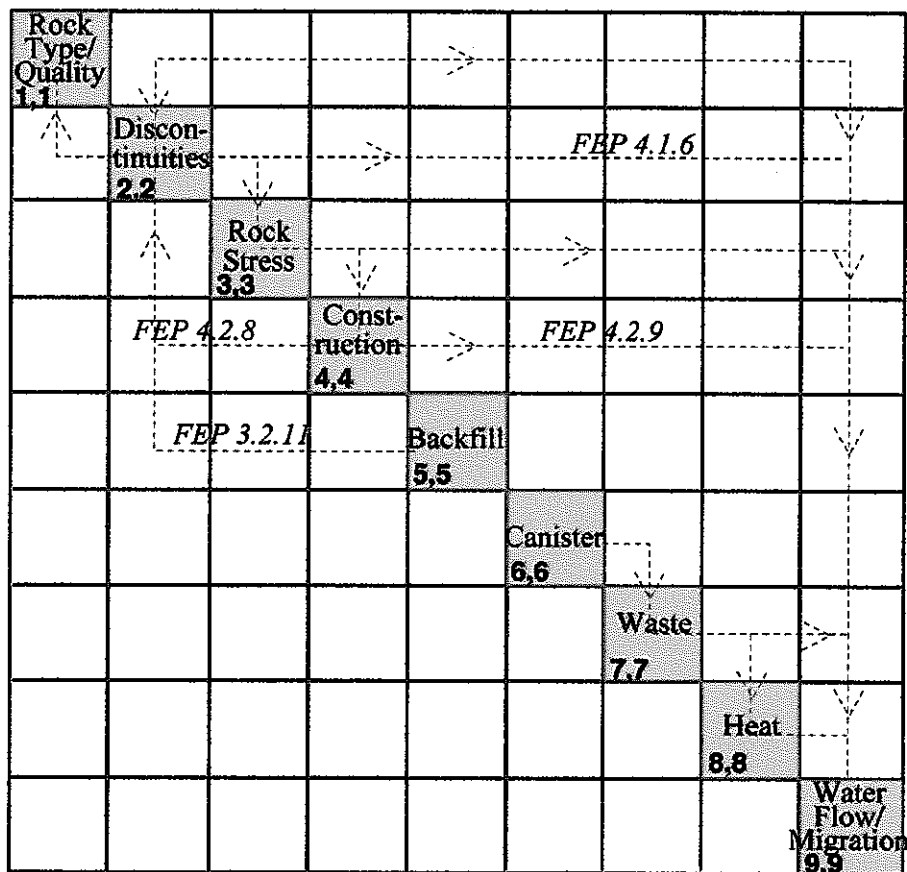


図3. 2-4 経路としてのFEP、相互作用マトリクスM
 (このダイアグラムにはすべての経路FEPは含まれていない。)
 (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 2-4において、マトリクス全体の開発に関係するようないくつかのFEPが示されている。例えば、FEP 4-2-5は地下水の流れの変化を示すものである。このFEPに関連している経路は、潜在的には数多く存在するため、これらのFEPに関しては、マトリクス開発、及びそれに関連した主要ダイアゴナル・パラメータの開発を考慮にいれなければならない。例えば、4.2.7には熱水力的影響が、7.5には同位体希釈が7.9には記録の消失などが示されている。マトリクス全体の開発については、図3. 2-5に示されている。

図3. 2-5は、全体的な相互作用マトリクスMが開発したものであるFEP（注記：一般的な相互作用マトリクスにおいて、すべての主要ダイアゴナルは、それぞれフィードフォワードループ及びフィードバックループによって非ダイアゴナルを経てつながっている。）である。

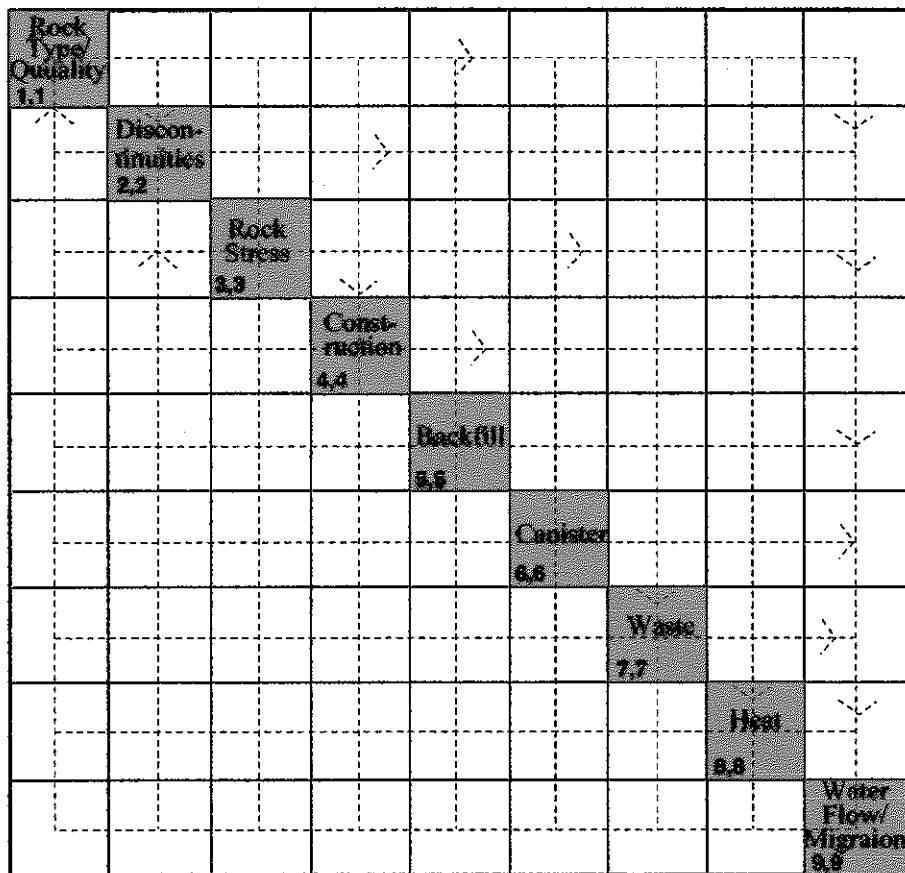


図3. 2-5 全ての相互作用におけるマトリクス展開としての FEPs
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

3.3 メカニズムネットワークの確立

ソフトシステムとしてのRESアプローチの次のステップは、重要性を示すために非対角線をコード化することである。これは、図3.3-1に示されており、相互作用マトリクスが「専門家による半定量式」（決定的相互作用の場合の4から、本質的には相互作用が皆無な場合の0までのコード化）に従って、次のようにコード化する。

- 4 : 決定的相互作用 3 : 強い相互作用
 2 : 中くらいの相互作用 1 : 弱い相互作用
 0 : 相互作用なし

Rock Type/Quality	2	3	2	1	0	0	0	2	10
0	Discontinuities	4	3	0	0	0	0	4	11
2	3	Rock Stress	3	0	0	0	0	4	12
2	3	4	Construction	0	0	0	1	2	12
1	2	2	0	Backfill	1	0	1	3	10
0	0	0	0	1	Canister	1	1	4	7
0	0	0	0	1	1	Waste	4	4	10
2	2	3	0	3	3	2	Heat	4	19
2	4	3	3	3	3	1	3	Water Flow/Migration	22
9	16	19	11	9	8	4	10	27	TOTALS 113

図3.3-1 「専門家による半定量式」によるマトリクスにおける相互作用のコード化
 (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

相互作用マトリクスの考え方において、主要対角線変数の重要性を示すために、それぞれのパラメーターの各行、及び各列におけるコード値が合計される。特定の変数が他のすべての変数にどのように影響を及ぼすかについては、変数を通してマトリクス列における相互作用によって示される。

他のすべての変数が1つの変数にどのように影響を及ぼすかについては、その変数を通して行における相互作用によって示される。列のコード値の合計は「原因C」として、行のコード値の合計は「結果E」として表わされる。それぞれの主要ダイアゴナル変数に対する、これらの原因と結果の関係について研究することによって、問題の構造や変数の重要性を明確にすることができると考えられる。それぞれの行や列のコード値の合計が、図3. 3-1の陰つきボックスに示されることにより、それぞれの変数についての原因と結果がわかるようになる。例えば、熱は累積列コード値が19点で、いかに熱が他の変数に影響を及ぼしているかがわかる。相互に補足し合う行における熱のコード値は10である。19点と10点を比較すると、システムが熱に影響を及ぼしていることより、むしろ熱がシステムに多くの影響を及ぼしていることがわかる。コード値の合計が比較的高いので、熱が強い相互作用を有する変数であることは確かである。

Rock Type/Quality	8.1.1	8.1.2	8.1.3	8.1.4	SKB	8.1.5	8.1.6	SKB
8.2.1	Discontinuities	8.2.2	8.2.3	8.2.4	8.2.5	8.2.6	8.2.7	SKB
8.3.1	8.3.2	Rock Stress	8.3.3	8.3.4	8.3.5	8.3.6	8.3.7	8.3.8
SKB	SKB	8.4.1	Construction	8.4.2	8.4.3	8.4.4	8.4.5	SKB
SKB	SKB	8.5.1	SKB	Backfill	SKB	8.5.2	8.5.3	SKB
8.6.1	8.6.2	8.6.3	8.6.4	8.6.5	Canister	SKB	8.6.6	SKB
8.7.1	8.7.2	8.7.3	8.7.4	SKB	SKB	Waste	8.7.5	SKB
SKB	8.8.1	8.8.2	8.8.3	SKB	SKB	8.8.4	Heat	SKB
SKB	SKB	8.9.1	SKB	SKB	SKB	8.9.1	SKB	Water Flow/Migration

図3. 3-2 RESアプローチによって認識された相互作用であるFEP (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

FEPアプローチとRESアプローチを合わせるために、図3. 2-1及び図3. 2-2の相互作用マトリクスの欠けているボックスに書き入れるための新しいFEPを作り出す必要があった。すなわち、完全に結合したモデルを形成するのに必要な、今まで欠けていたパラメーター (Pi) や相互作用 (Iij) を追加することである。このようにして、50の新しいFEPが加えられ、その中には既にSKBによっ

て確立され選別されてしまったFEPも含まれているが、完全に新しいFEPもある。図3. 2-3に示されているように、4つの変数FEPが追加された。図3. 3-2に示されているように、46の相互作用FEPが追加されている。

最も重要な追加FEPは、岩盤応力に関連した新しい16のFEPである。このパラメーターは、構造の面でも移行モデル化という点でもモデル化における影響は非常に大きい。構造の面では、岩盤応力が洞窟の形や方向を決め、常に構造による影響を受けている。モデル化という点では、岩盤には一定の透水性がない。というのは、透水性（割れ目における地下水の流れ）が他の要因と同様に岩盤応力による影響を受けるからである。

Rock Type/Quality		3						
	Discontinuities	4	3					4
	3	Rock Stress	3					
	3	4	Construction					
				Backfill				
					Canister			4
						Waste	4	4
		3		3	3		Heat	4
	4	3	3	3	3		3	Water Flow/Migration

図3. 3-3 ESQコード化において3や4としかコード化されない相互作用マトリクス (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 3-3のダイアグラムでは、相互作用 I_{ij} （相互作用マトリクスの主要ダイアゴナル）などのRESアプローチにより認識されたFEPが示されている。エントリーSKBとは、プロセス・システムにおいてSKBによって認識されたFEPが、その位置にあることを意味している。次のステップは、経路を認識し理解するための相互作用マトリクスや、コード化の使用に関する一般的な原理について考えることである。初めに、図3. 3-4によると、決定的な相互作用4もしくは強い相互作用3として

コード化されたものが図3. 3-2のボックスで示されている。これらによって、ニアフィールド（近傍域）とファーフィールドを区別することができることは注目に値する。二重ループ、すなわち2つの変数間のループを形成するために、ループが適切に働くために関連した非対角が強調されなければならない。4の決定的な相互作用とコード付けされた相互作用には、図3. 3-5に示されるように、たったひとつの二重ループが存在する。これが亀裂-地下水ループである。4の決定的な相互作用とコード付けされた他のすべての相互作用は、変数が一度だけ通過した経路であるが、2.2及び9.9のボックスについては、変数が何度も通過し、ループ状につながることも可能である。

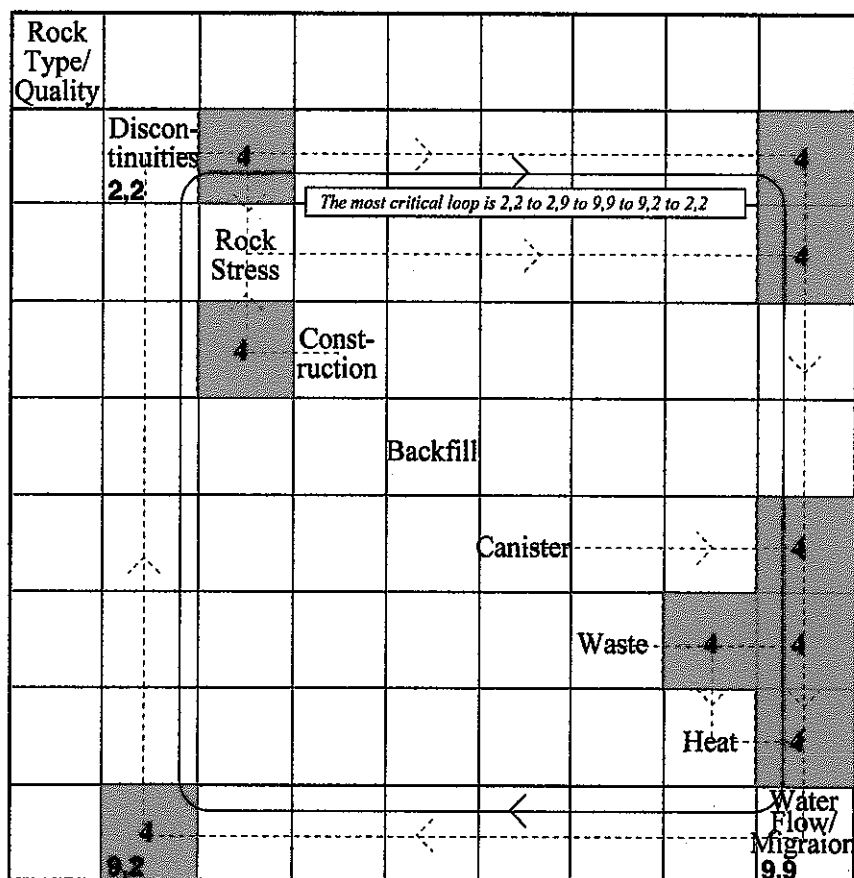


図3. 3-4 4とコード付けされた相互作用の一次ループ
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 3-1の3や4にコード付けされたボックスを見ると、図3. 3-5に示してあるように、相互作用マトリクスの形がループに変わっていることがわかる。母岩を周囲環境として、一方の端におき、廃棄物が作用を引き起こすものとして他方の端においている。これらの2つの外的な変数にループは存在しない。ダイアグラムの中心にある地下水の流れが、ニアフィールドとファーフィールドをつなげる。ニアフィールドとファーフィールドのループは異なるタイプのものである。ニアフィールドにおいて、熱、埋め戻し、キャニスタなどのループは、すべて地下水の流れにつながっている。熱と埋め戻しを直接一つの輪につなげることはできない。しかし、ファーフィールドにおいては、ニ

アフィールドの2倍近くの数のループがあり、すべての変数ループは複合ループが形成されるように、それぞれ1つの輪でつながっている。例えば、亀裂－岩盤応力－構造－地下水流れ－構造－岩盤応力－亀裂と単一ループである。亀裂－岩盤応力－亀裂は、上記のループと同時に働くこともできる。

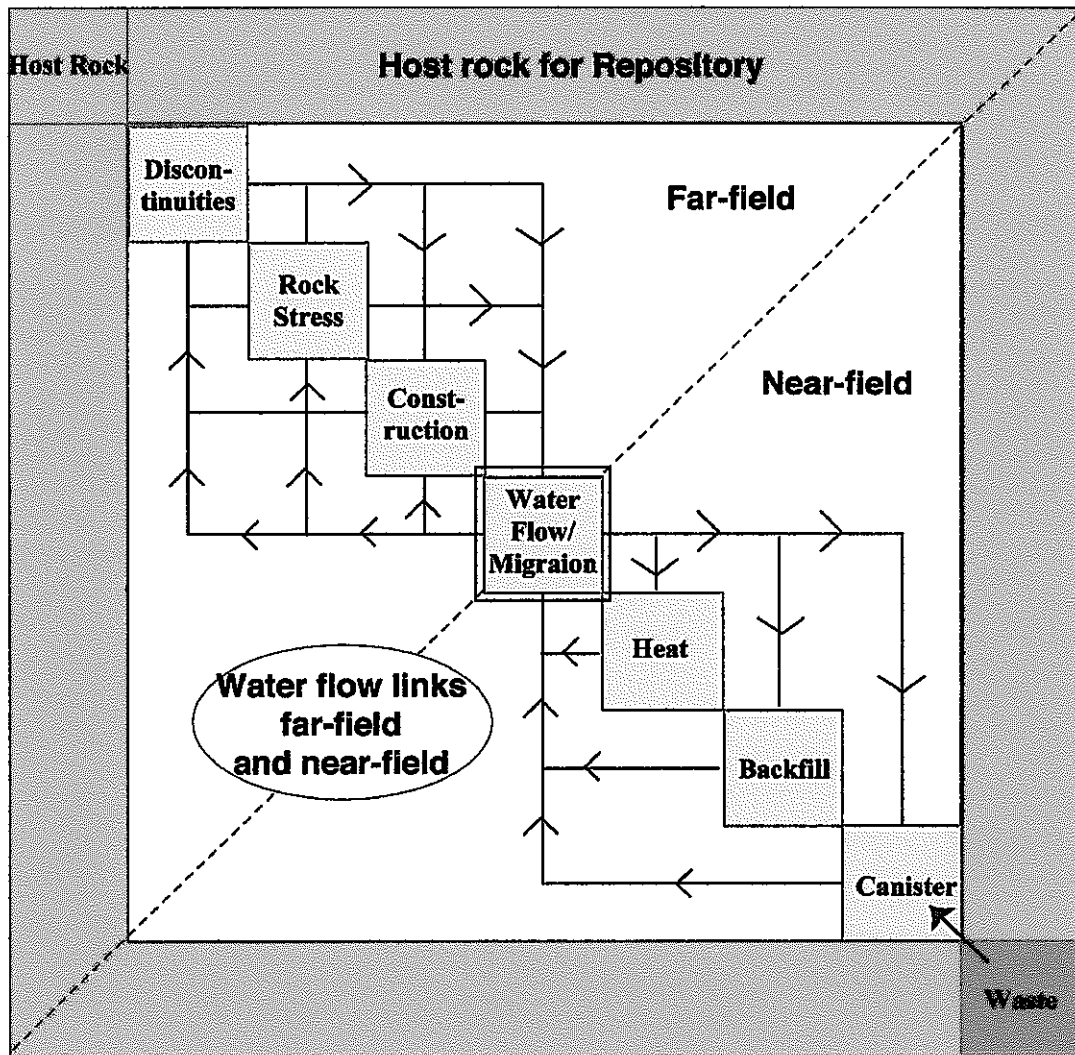


図3. 3-5 主要ループを示す基本的な相互作用マトリクスの再形成
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

以上のように、ソフトシステムとしてのRESアプローチによって、問題の構造や主要メカニズム経路を説明することができる。また、ハードシステムとしてのRESアプローチ、あるいは完全連結モデル (FCM) の使用は次のステップと考えられる。このステップにおいては、相互作用マトリクスのすべての状態変数が適合する単位を有して、それぞれの相互作用としての明白な平衡状態を保つことによってつながっている。それはまた、再帰的アルゴリズムを使って、すべての経路の累積効果を考えることによって開発されるものであると考えられる。

3. 4 RES法の事例：岩盤の運動学的シナリオ

本項では、前述してきたRES手法により、大型岩盤の運動学的シナリオを事例として検討する。始めに、RES手法によりどのようにシナリオ分析が進められるか検討する。

3. 4. 1 手法概要

シナリオ分析にこの手法を適用する際、処分システムに影響を及ぼす様なプロセスに注目すると、これらのプロセスは様々なタイプに分かれるであろう。このようにして、分析に用いられる全体的な相互作用マトリクス内の区分を考慮にいれることは便利な方法である。主題となるサブマトリクスの構成要素についての全体的な概念が図3. 4-1に示されている。それぞれの分野における専門的知識を有する人たちによって選択された主要ダイアゴナルに基づいて、主題となるサブマトリクスより選択して相互作用マトリクスをまとめることも可能である。このことは、図3. 4-1（白）の相互作用ボックスを確立する必要性から、専門家と専門家グループの間の直接的なつながりが深まるので有益である。一つのサブマトリクスとして地球化学を、そして別のサブマトリクスをファーフィールドとした時の変数間のリンクがその一例としてあげられる。その区分によって、適合するパラメータを適用する必要性が強調され、そのために、サブマトリクス内部で、そしてサブマトリクス間における機能的な関係を明らかに表わすことができる。

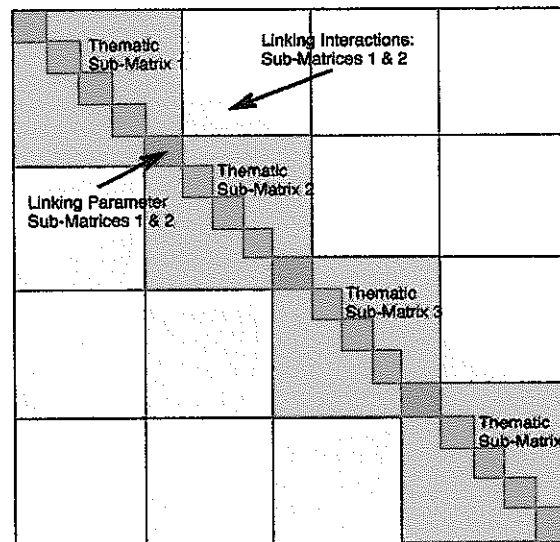


図3. 4-1 全体的なマトリクスを主題となるサブマトリクスへ分割すること
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

a) 経路に依存したサブマトリクス b) 主題/制御サブマトリクス

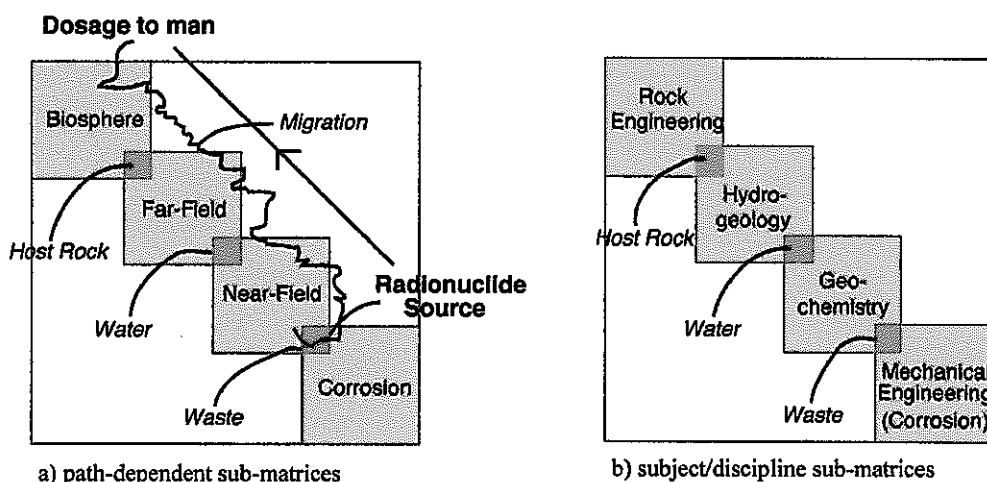


図3. 4-2 主題となるサブマトリクスへ分割される主要相互作用マトリクス
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

サブマトリクスの主題は、廃棄物処分の分析に適用される様々なアプローチの方法に従うことによっても開発することができる。図3. 4-2 a)には、移行経路に関連したサブマトリクスが示されている。図3. 4-2 b)においては、サブマトリクスは主題や制御に左右される。図3. 2-4に示されているように、位置的なあるいはサブジェクトの相について、相互作用マトリクスあるいはサブマトリクス内で考慮することもできる。あるいは、処理システム・サブマトリクスを直接研究したり、あるいは生物圏と地圏の構成要素間の相互作用を研究することも可能であろう。このことは、図3. 4-3に示されている。

ここに、単一のシナリオとは、“事象と過程の可能な1つの組み合わせで、それはその事象や過程の特質や組み合わせの結果などをおおまかに説明するものである”と規定されている。

別の言い方をすれば、マトリクスにおける様々な初期条件や変動（自然のあるいは人工の）によって作り出されるような、“もう一つの未来”ともいえる。RES手法においてシナリオを考慮する際、次の3つの基本的なシステム概念を使用する。

- 1) 何百年も起こっていて、これからも起こり続けるであろう自然変動やパラメーター、及び相互作用をすべて含んだ岩盤システム
- 2) 人為的変動と考えられる処分システムの建設、廃棄物の埋設等。相互作用マトリクスのすべての力学的経路を考慮にいれて導き出された短期、及び長期的結論。マトリクスが開発したのものとして、あるいは主要ダイアゴナル、非ダイアゴナルにおける変化としてみなされるような短期及び長期的結論、例えば状態変数の軌道や連結メカニズムの修正

3) それに引き続く封鎖、自然あるいは人工変動による異なる結果

a) 処分システムのサブマトリクス b) 生物圏及び地圏サブマトリクス

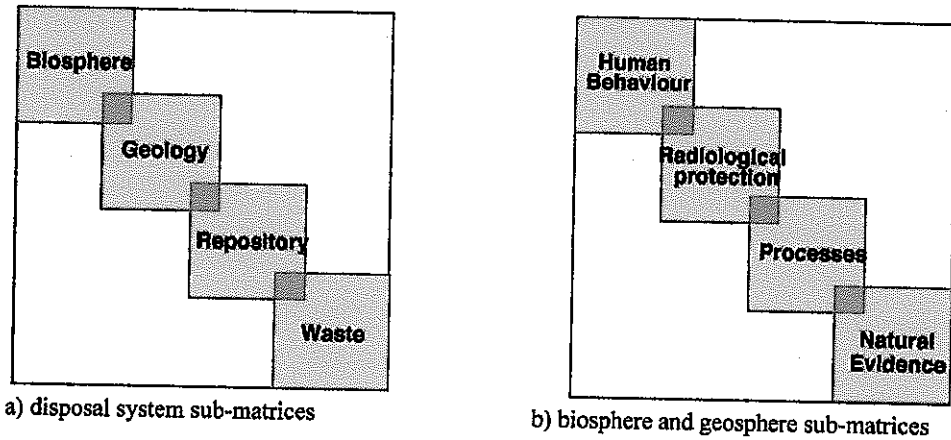


図3. 4-3 NEAシナリオ開発文書を考慮にいれて開発されたサブマトリクス
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

様々に異なるシステムの状態に至る状況については、図3. 4-4に示されている。システムAの状態において、自然の岩盤の質量は、メカニズムが継続して作用し、自然な変動が新しく起きるなど、連続的な流動状態にある。図3. 4-4のxi状態変数曲線における、はね上がりは、例えば地下水の水圧が上昇することによって新しい割れ目に生じた地下水の流動のような、マトリクス開発の自然的結果によるものとされたり、もしくは、例えば、地表における氾濫のような、外的な変動の結果によるものとされていることは注目し値する。システムBの状態において、システムAは働き続けるが、システム上では、処分システムの建設、廃棄物の定置、及び封鎖変動が1つにまとまっている。システムCの状態において、母岩が処分システムを有し、マトリクスは、修正された状態の処分システムによって、流動状態のまま、自然の変動の影響を受け続ける。このような状態のシステムによって、それに関連したシナリオを発展させていくことができる。

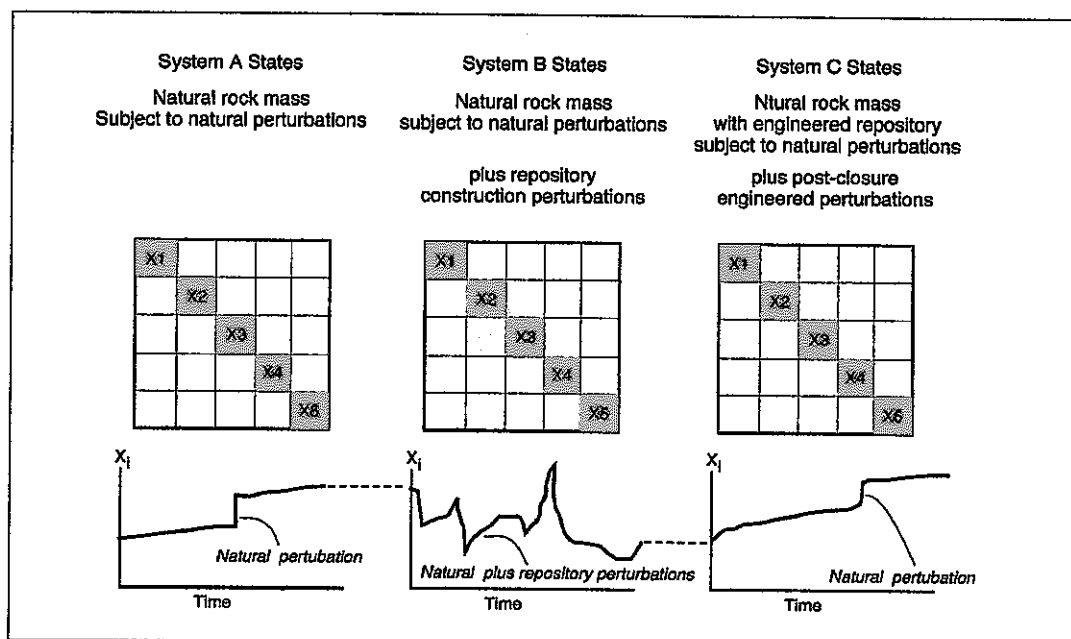


図3. 4-4 一般的なシステムの状態は次の3つである。

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

A) 自然な前処理状態、B) 処分システムの建設、廃棄物の定置、封鎖作用、C) 封鎖前の状態そして、それに関連した状態の変数についての概念、 x_i 、進行時間。天然の岩盤の質量は、i) 継続する内的メカニズム ii) 処分システムに関連しない外的な変動に左右される。このように変動は、内的なメカニズムによって、例えば地震のように、突然自然に状態が変化することがある。あるいは、例えば、氷結のような外的な変動にもなり得る。そして、例えば、採鉱作業のような処分システムに関連しない人工変動も存在し得る。

システムAの状態 (A_i)

天然の岩盤の質量は、内的なメカニズムや、処分システムに関連しない外的変動などの結果、時間の経過とともに力学的に変化する。この力学作用全体にわたって分岐と言う現象が起こって、岩盤の質量が外的な変動に大きく左右されることもあり得る。このために、処分システム建設の前のシステムAの状態がいろいろ異なったり、あるいは、システムA_i (iはIに対するL) の状態にもなり得る。A_iの状態とは、展開しうるすべての可能性を意味し、一つの特別なA_iの状態とは、処分システムの建設が始まる時の状態と考えられる。どの特定のA_iの状態も、変動を考慮したシナリオになり得る。

システムBの状態

天然の岩盤の質量は、i) 継続的な内的メカニズム、ii) 変化し続けている処分システムの修正された状態、及び iii) 処分システムに関連しない外的な変動の影響を受けやすい。変動は、内的なメカニズムによって、突然、自然に状態が変化することがある。そして、変動は、処分システムによって

引き起こされる変化の結果により、増大したり、影響を全く受けなかったり、抑制されたりもする。外的な変動の可能性は変わらないであろう。

システムBの状態 A_iB_j

母岩の質量の状態は、工学的原因につながるようなマトリクス作用の結果、 A_i の状態である。そうして、処分システムは建設され、廃棄物が定置され、封鎖効果が現われるのである。これらの過程は、すべて処分工学の一部として考えられているが、実際には、3つの逐次的なシステムBの状態のことである。処分システムがどのように建設されるかとか、処分システムに関連しない変動がいかに継続的なものであるかによって、別のシステム状態、 A_iB_j (j は、 m に対する1)が生じる可能性がある。次の処分システムの封鎖の状態は、特定の A_iB_j の状態の一つで、1つ以上の状態が初期状態や事象から開発するシナリオになり得る。

システムCの状態

天然の岩盤の質量は、密閉された処分システムを形成し、i) 連続的な内的なメカニズムや処分システムにより誘発された、状態や変動によって修正を受けたいくつかのメカニズムと、ii) 処分システムに関連しない外的な変動に左右される。処分システムにより誘発された状態が影響を及ぼしていることを除いては、システムAの状態に近い状態に戻っている。

システムCの状態 ($A_iB_jC_k$)

処分システムにおける工学的な作用の後、システムの状態は、 A_iB_j システム状態のうちの1つの状態となる。処分システムも含んだ天然の岩盤の質量は、(修正された) 内的なメカニズムや処分システムに関連しない外的な変動の結果、動力学的に展開し続ける。このことは、潜在的なシステム状態 $A_iB_jC_k$ (k は n に対する1)となり、一つの特的な $A_iB_jC_k$ の状態につながる。特定の条件や事象を規定するとしたなら、これらのどのシステム状態もシナリオとなり得るものである。

以上によって、RES手法におけるシナリオの概念は明確になる。A、B、Cの3つの相よりも多くの相を存在させたり、他の様々な修正を加えることも可能であることは明らかであるが、限定された一式の事象から展開した、一つの特的なシステム状態としてのシナリオの概念もまた明白である。システムは、潜在的には $1 \times m \times n$ の $A_iB_jC_k$ 状態に発展していくであろう。そして、 $A_iB_jC_k$ 状態の1つ以上の状態は、初期の状態や事象によって、限定されたシナリオにもなり得るであろう。

図3. 4-5に、一般的なシステム状態A, B, Cを經由して、初期の状態から最終状態 ($1 \times m \times n$ の $A_iB_jC_k$ の潜在的な状態の1つである特定の最終状態) までのシナリオの開発を示している。図3. 4-5において、左側に初期状態が示されている。この状態から、条件に応じて A_i の状態の列で示されているように、様々な状態が作り出せる。太い線によって A_i 状態を示すとすると、この特定の A_i の状態から様々な A_iB_j の状態を作り出すことが可能である。最後に、この特定の A_iB_j の状態から、様々な $A_iB_jC_k$ の状態を作り出すことが可能で、それは、図3. 4-5の右側に示されている、特定のシステムの状態 $A_iB_jC_k$ につながるのである。

変動は、状態が変化するに従って内的に生じたり、外的に生じたりもする。一定の組み合わせの初期状態や事象、及び変動からも様々なシナリオを認めることができる。この手法は、 $A_i B_j C_k$ の状態（そのうちのいくつかの状態はシナリオになるような）につながるような内的、及び外的要因の結果、変化するどれかのシステムの潜在性を具体化するだけのものと考えられている。

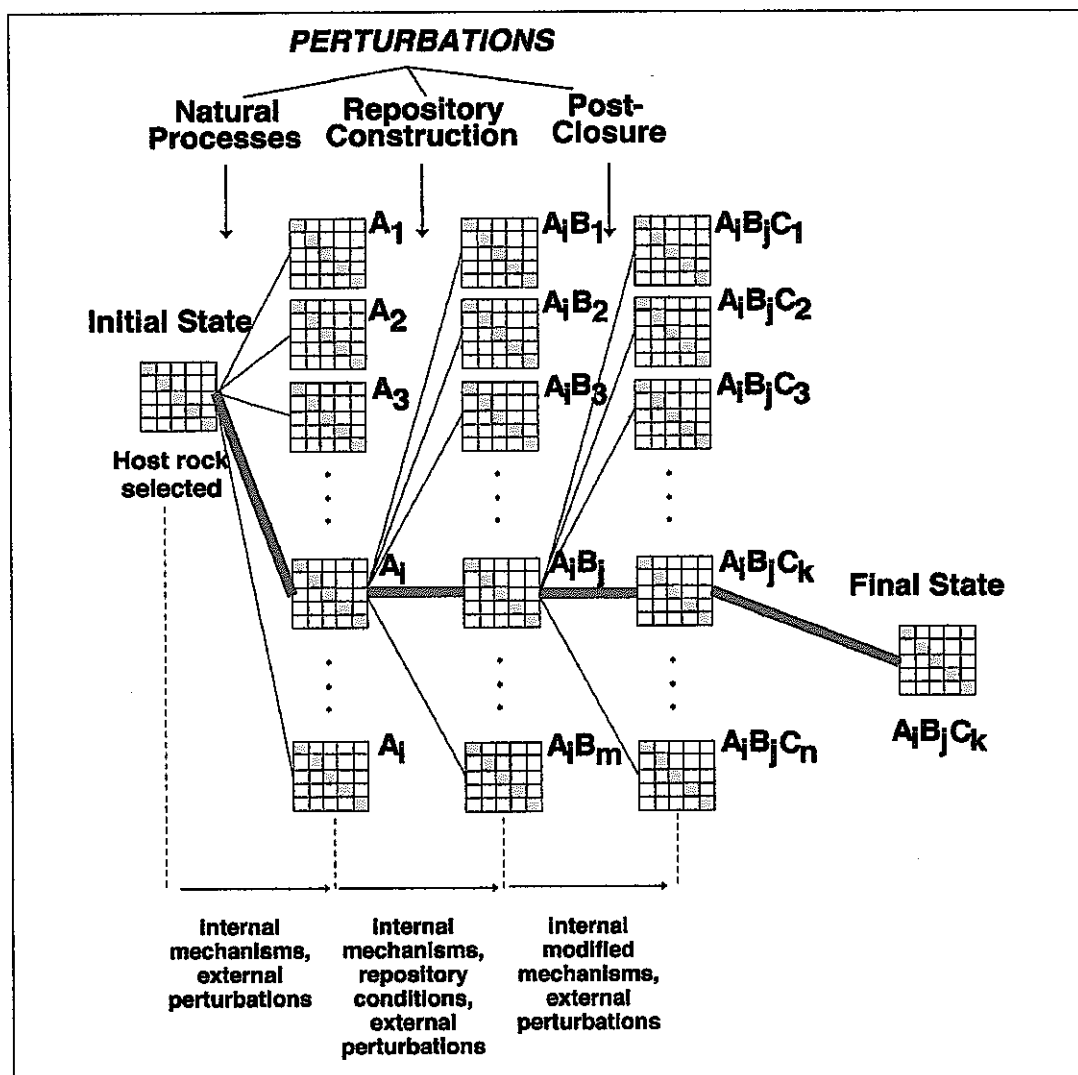


図 3. 4-5 一般的なシステム状態A, B, Cを経由して、初期の状態から最終状態までのシナリオの開発 (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

3. 4. 2 RESによる運動学的岩盤変動シナリオの例

変動の一例として、封鎖後の岩盤の動きによる変動をあげることができる。この変動は、それが相互作用マトリクス其自然展開の一部とみなされないという点で、非常に特別な岩盤の動きと考えられている。これは、強制的な自然変動といえる。図3. 4-5に続いて、図3. 4-6には、シナリオがどのようにして、変動と関連してきたのかが示されている。

$A_i B_j$ のどれか特定のシステムにおいて、“岩盤の動き”による変動が、それに続くシステムの状態に、どのように影響を及ぼすのかがシナリオで考慮されている。すなわち、どの異なった C_k の状態に関連シナリオとして展開していくのかが考慮される。

最初に、相互作用マトリクスにおける二重相互作用を通して、岩盤の動きが他のパラメーターに、どのような直接的な影響を及ぼすのかについて考慮していく必要がある。そして、そのためには、変動を物理的に理解しなければならない。これについては、図3. 4-7にも示されているように、10から20mの単位の地層のずれに重点をおいた研究が進められると思われる。

システムに変質作用を及ぼす変動、及びその後の潜在的なシステムの状態 $A_i B_j C_k$ について、1つもしくは、それ以上の開発経路はシナリオとして定義付けすることができる。

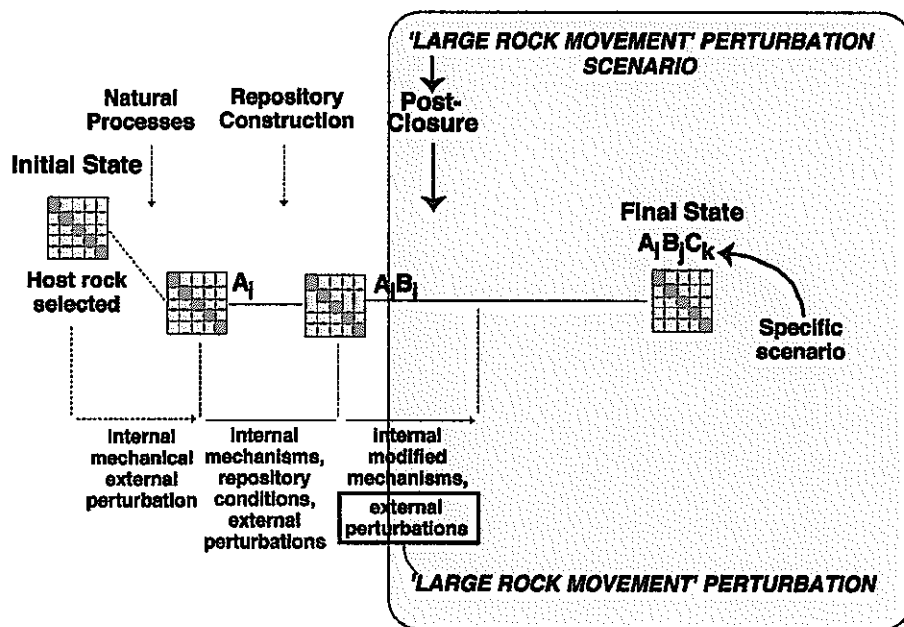


図3. 4-6 処理場の封鎖後の“岩盤の動き”による変動
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

岩盤の動きによる変動は、Hoglund, Winberg及びBrandbergによるSKBレポート94-11/5.2-3/の16ページ (App.1b) に述べられているタイプの自然に発生する現象のようである。このことは、Backbom及びStanforsによるSKBレポート89-31/5.2-4/によって立証、論議、報告され、StanforsとEricsonによって

(93-13/5.2-5) , Muir Wood (93-13/5.2-6) , BoultonとPayne (93-14/5.2-7) , Leijon (93-44/5.2-8) によってそれぞれ編集されている。

SKBレポート94-11では、4.2.6の“断層”の項目について、次のようにコメントしている。「断層が形成されるのは、例えば地震のような (FEP 5.15) 岩盤応力の状態が突然に変化することによって、あるいは、例えば造山運動や氷河作用 (FEP 5.42) のようなゆっくりとした動きによって、あるいはまた、全体的なプレートの動きによってである。」応力が放出された結果、割れ目が形成されたり、その割れ目に沿って動きが生じるような場合には、断層の形成ということも起きる。もっと現実的にあり得ると思われる事象は、すでに存在している割れ目や断層に沿っての動きである。また、次のようにも指摘している。「断層の主な影響は、地下水の流れに悪影響を及ぼし、処分システムの岩盤ブロック内に新しい断層や割れ目ができることは、重要な構成要素の分析に、それが含まれていなかったと仮定した場合、非常に重要な意味を持つ。」

新しい割れ目は、自然な過程によってだけでなく、処分システムの建設や廃棄物の埋設によっても形成される。ShenとStephanssonは、SKI TRS 90:3, 90:12/5.2-9及び5.2-10において、熱によるローディング、緩衝剤の膨張圧力について研究してきた。彼らは、次のように結論付けている。「温度の影響によって、既存の亀裂に対して約4mmの断層のずれが生じることがある。」この断層のずれの量は、10から20mと比べると、少ないようにも思えるが、それでも地下水の流れや移行に重大な影響を及ぼしかねない。

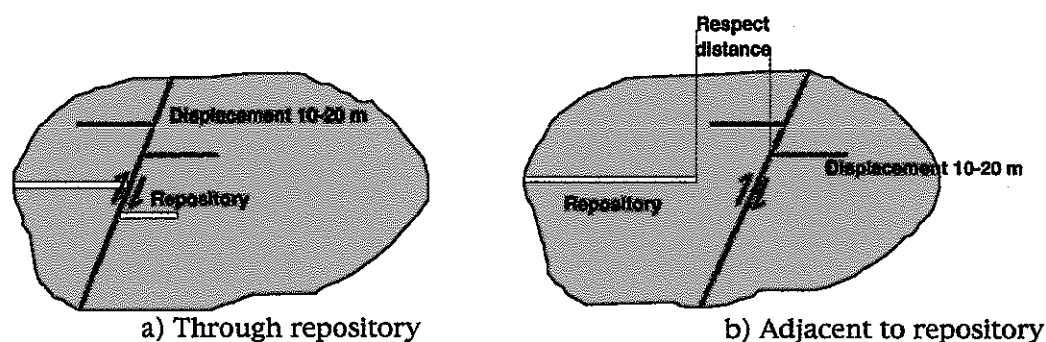


図3. 4-7 岩盤の動きによる変動
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図3. 4-7は、a) 処分システムにおいて、b) 処分システムに近接したところで発生する岩盤の動きの2つのケースを示すものである。当然、SKBのArbetsrapportのレポート94-IIに指摘されているように、ケースa)の方が潜在的にはずっと深刻なものである。それはまた、人工バリアやキャニスタの破損など主要な4つのバリアの統合性までも同時に悪影響を及ぼしかねない。すなわち、燃料、キャニスタ、粘土、岩盤を通り抜けて断層のずれが生じるのである。ケースb)における、主な影響は、地下水が流動する割れ目のネットワークへの変質作用と、超流動体が形成されるかもしれない

いということである。

RESの手法とは、主な変数とすべての相互作用を、同時に連続して起きるようなメカニズム経路や、システム全体の最終的な開発とともに考慮に入れることである。従って、本問題では、どこから岩盤の変動と考えたらいのかという疑問が生まれる。Kemaktaのレポート及びArbetsrapportのSKBレポート94-11/5.2-3/において指摘されているように、このような断層のずれによる変動は、自然の応力場が変化することによって始まると考えられている。そのために、開始要因を自然の応力場変動と考えることは有効な方法と思われる（岩盤の変動に至る、図3. 4-4のシステムCの状態についての記述を参照）。

応力場の変動は、マトリクスを通して一連の相互作用を引き起こし、岩盤の変動は、別の一連の相互作用を引き起こす。そして上記の両方の変動が引き起こす相互作用については、マトリクス構造を通して系統立って研究されている。しかし、応力は徐々に変化し、その結果として生じる岩盤の変動によって、システムの状態が突然に変化してしまうと考えられている。そして、岩盤におけるひずみのエネルギーが地表に放出されるにつれて、そのエネルギーは既存の亀裂に沿って影響を及ぼす（例えば地震などのように）と考えられている。

岩盤変動は、次の2つの段階に分けて考えることができる。最初に、相互作用マトリクス構造の直接的な二重相互作用を通して（最初のキック）の変動である。次に、マトリクス相互作用を通して変動が拡散するような、完全結合モデルを通しての変動（2回目のキック）である。

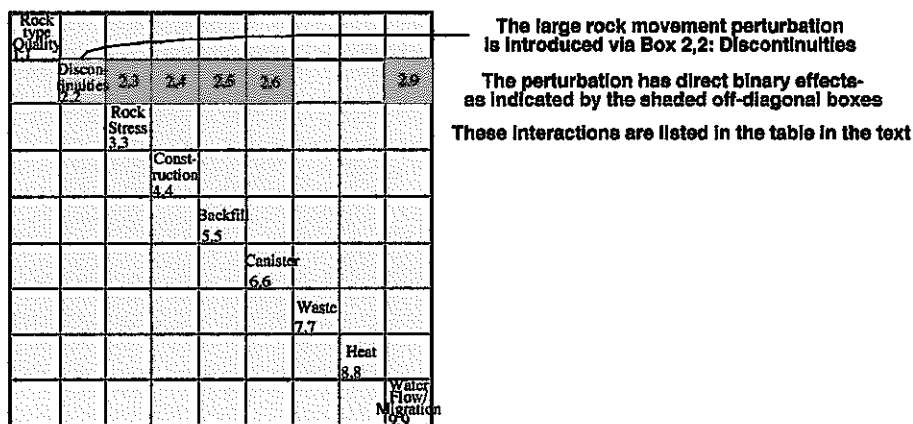


図3. 4-8 相互作用マトリクス「亀裂」の2番目に重要なダイアゴナルによる「岩盤の変動」の導入 (SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

表3. 4-1 岩盤の変動による二重効果

ボックス2.2 基本的相互作用マトリクス (BIM) である (亀裂)

相互作用ボックス2.1	母岩への影響	重要でない影響
相互作用ボックス2.3	岩盤応力への影響	応力の大きさ/方向の変更
相互作用ボックス2.4	構造への影響	処分システムの保全
相互作用ボックス2.5	埋め戻しへの影響	埋め戻しの保全
相互作用ボックス2.6	キャニスタへの影響	キャニスタの保全
相互作用ボックス2.7	廃棄物への影響	重要でない影響
相互作用ボックス2.8	熱への影響	重要でない影響
相互作用ボックス2.9	地下水の流動への影響	地下水の流動パラメーターの変更

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

直接的な二重相互作用を研究する際に、変動の直接的な影響を研究するために用いられる基本的二重相互作用マトリクスが適用される。岩盤の変動は、図3. 4-8に示されているように、相互作用マトリクス「亀裂」の2番目に重要なダイアゴナルを通して導入されている。図3. 4-8に陰付きで表わされている相互作用は、表3. 4-1に、大きな影響がない相互作用と共に一覧表になっている。

RES手法の1つとして、あらゆる順序の変数で研究を開始し、相互作用の度合いやその解釈の仕方によって、変数の順序を変更して研究をすすめるという手法がある。(例えば、Pi内の行や列はなくなってしまうかもしれないので、その変数をダイアゴナルの端に移動する方がいいであろう。)

変更される変数は、次の通りである。

1. 母岩
2. 亀裂
3. 岩盤応力
4. 構造
5. 地下水の流動
6. 熱
7. 埋め戻し
8. キャニスタ
9. 廃棄物

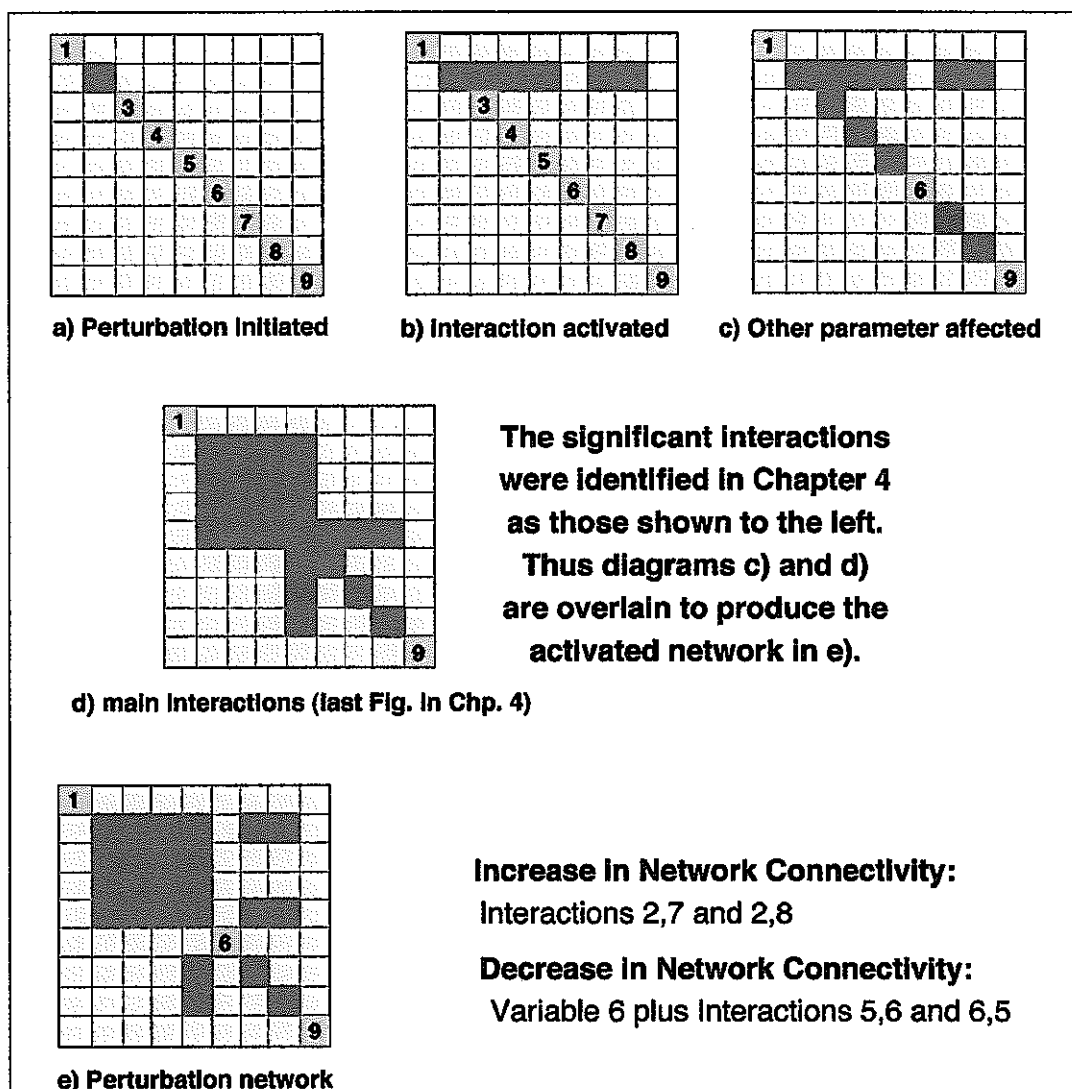


図3. 4-9 シナリオ開発の際の岩盤の変動が移行する主要相互作用ネットワークの確立
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

2番目に重要な対角線である、「亀裂」に対してどのように変動がマトリクスの間に広まっていったのかについて、図3. 4-9の一連のダイアグラムに示されている。

図3. 4-9aにおいては、岩盤の動きが（黒い色のボックスで表わされている）亀裂に対する主要変動として、2番目に重要な対角線ボックスに示されている。そして、この変動は、図3. 4-9bに示されているように、非対角線ボックス (2,3), (2,4), (2,5), (2,7) 及び (2,8) における相互作用を開始させる。これらの相互作用は、図3. 4-9cに示されているように、主要対角線パラメータ3、4、5、7及び8の数値を変更させる。

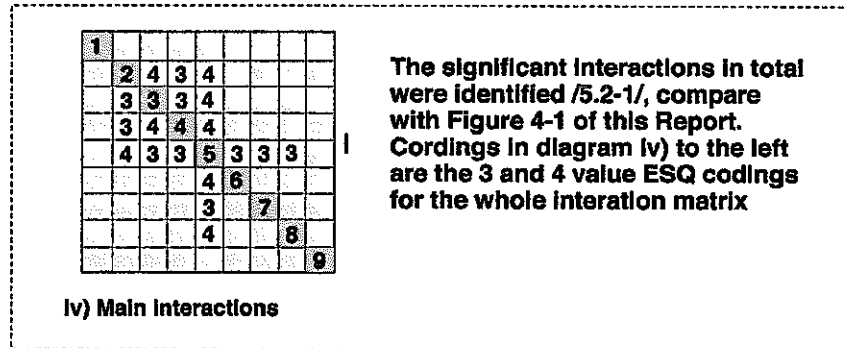
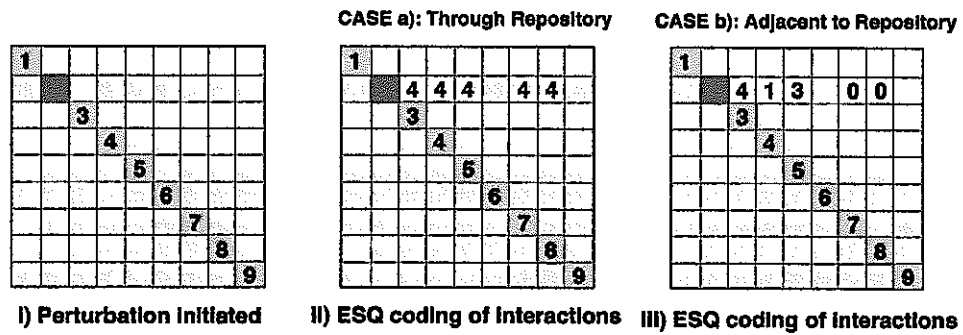
次にどんなことが起こるのかを考える際に必要なことは、図3. 4-9dで図式化して表わされて

いた主要相互作用ネットワークである。このように図3. 4-9cと図3. 4-9dを組み合わせることによって、関連した相互作用ネットワークを通しての一つひとつの影響として、岩盤の変動の全体的な影響を確立することができる。相互作用やそれに関連した主要対角変数を図3. 4-9cに示したり、主要ネットワークの関連した部分を図3. 4-9dに示すことによって、図3. 4-9eに図式化して示されるネットワークが出来上がる。

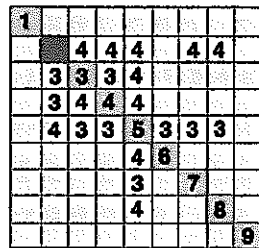
図3. 4-9dの主要ネットワークと比較して、図3. 4-9eのシナリオネットワークを考える時に、次のことに注目すべきであろう。それは、余分な相互作用2.7及び2.8（埋め戻しとキャニスタに付加的な影響を及ぼしていくつなぎ目）により重要なネットワークの連結が強まること、及び（岩盤の変動が熱の変数に影響を及ぼさないために）パラメータ6の熱や、それに関連した相互作用5.6や6.5が失われることによって短期的なネットワークの連結が弱まることである。

以上から、FEPや重要なマトリクス経路、及び岩盤の変動の結果としてのシナリオのマトリクス開発が明確化してくる。変動がシステム状態 $A_i B_j$ に代表されるような周知のシステムに取り入れられたと仮定した場合の C_k シナリオの開発である。次のステップは、a) 処分システムにおいて、及びb) 処分システムに近接したところの2つの変動のケースについて、図3. 4-9について、はっきりと手法を開発し、相互作用をコード化するために「専門家による半定量的」手法を用いることである。

図3. 4-10には、「処分システムにおける」変動と「処分システムに近接した領域における」変動の2つのケースに関する岩盤の変動についての主要相互作用マトリクス・シナリオ・ネットワークの生成を示している。このことは、それぞれのケースにおいて決定的な相互作用を確立するために、「専門化による半定量的 (ESQ)」コード化の手法を用いて別々に行われてきた。主要対角変数の順序は改訂されたままの順序である。



CASE a): Through Repository



CASE b): Adjacent to Repository

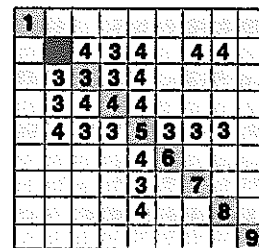


図3. 4-10 主要相互作用マトリクス・シナリオ・ネットワークの生成
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

変動は、図3. 4-10 i) の変数2の亀裂より始まるものである。変動が発生する2つの場合についての活性化メカニズムは、図3. 4-10 ii) 及び iii) においてESQコード化されている。ESQコード化の手法によると次のようにコード化する。

- 0 : 相互作用はない。
- 1 : 弱い相互作用がある。
- 2 : 中程度の相互作用がある。
- 3 : 強い相互作用がある。
- 4 : 決定的な相互作用がある。

2つの図3. 4-10 ii) と図3. 4-10 iii) を比較してわかるように、処分システムにおける

変動に関連したメカニズムは、処分システムに近接した領域における変動に関連したメカニズムよりもずっと重要なものである。なぜならば、処分システムにおける変動は、潜在的に処分システムの構造、地下水の流動、埋め戻しやキャニスタに大きく影響を及ぼすからである。

図3. 4-10 iv) に、最も重要な相互作用が完全な相互作用マトリクスにリストアップされている。図3. 4-10 iv) の空のマトリクスボックスは、3以下にコード化されている。次に、変動によって始まるメカニズムのコード化（図3. 4-10 iiと図3. 4-10 iiiの処分システムにおける変動のケースと処分システムに近接したところにおける変動のケース）と、図3. 4-10 iv) に示されるような一般的なマトリクスのメカニズムのコード化を比較する。そして、常により高い数値でコード化することによって、図3. 4-10 v) や図3. 4-10 vi) のようなESQコード化されたマトリクスが作り出される。処分システムにおけるケース（図3. 4-10 v) と図3. 4-10 iv) や処分システムに近接したところにおけるケース（図3. 4-10 vi) と図3. 4-10 iv) をみると、処分システムにおけるケースでは影響があり、処分システムに近接したところにおいては、たいして大きい影響はないことがわかり、それは注目に値する。

主要ダイアゴナルボックス2において変動が始まるような、それぞれのケースにおいて、4とコード化されたボックスに続く主要ネットワーク経路を認識することができるようになっている。経路を形成するループはボード化して表わしている。そして、経路は、その分岐を明確にするために、例えば24, 243, 2435のように、すなわち別々にリストアップされる。しかしながら、この経路の実例に示されるように、分岐の数は少ない。このようにして、「処分システムにおける」岩盤の変動の主な5つの影響を認識してきた。そして、これらの影響は、表3. 4-2においては、（ボード化して表わされている）ループ経路であり、表3. 4-3においては、再形成されたものである。

表3. 4-2 ケースa) の「処分システムにおける」岩盤の変動に関する主要経路

Pathway	1st Parameter Affected	2nd Parameter Affected	3rd Parameter Affected	4th Parameter Affected
Pathway 23	Rock Stress			
Pathway 235	Rock Stress	Water Flow		
Pathway 2352	Rock Stress	Water Flow	Discontinuities	
Pathway 24	Repository			
Pathway 243	Repository	Rock Stress		
Pathway 2435	Repository	Rock Stress	Water Flow	
Pathway 24352	Repository	Rock Stress	Water Flow	Discontinuities
Pathway 245	Repository	Water Flow		
Pathway 2452	Repository	Water Flow	Discontinuities	
Pathway 25	Water Flow			
Pathway 252	Water Flow	Discontinuities		
Pathway 27	Backfill			
Pathway 28	Canister			
Pathway 285	Canister	Water Flow		
Pathway 2852	Canister	Water Flow	Discontinuities	

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

表3. 4-3 ケースa) の「処分システムにおける」岩盤の変動に関する5つの経路

Pathway 2352	Rock Stress	Water Flow	Discontinuities
Pathway 24352	Repository	Rock Stress	Water Flow Discontinuities
Pathway 2452	Repository	Water Flow	Discontinuities
Pathway 252	Water Flow	Discontinuities	
Pathway 2852	Canister	Water Flow	Discontinuities

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

岩盤の変動は、岩盤の応力状態に影響を及ぼし、それによって地下水の流動量は増加し、亀裂のすき間はさらに大きくなる。処分システムが損傷を受けることにより、岩盤の応力状態が変わり、地下水の流動や亀裂のすき間の状態も変わっていく。同時に、変動によって処分システムの構造が損傷を受けることにより、地下水の流動量は増加し、亀裂のすき間はさらに大きくなる。地下水の流動は、亀裂に直接影響を及ぼす変動にさらに影響を及ぼす。そして、地下水の流動に影響を及ぼしながら、亀裂に損傷を与え人工バリアも損傷を受けると考えられる。

図3. 4-11のダイアグラムは、表3. 4-3の経路メカニズム（経路2352）の物理的構造を示している。図3. 4-12～図3. 4-15の次のステップのダイアグラムにおいては、マトリクス経路、FEPや表3. 4-3の他の4つのループの物理的構造を説明している。

このようにして、表3. 4-2における経路や、特に表3. 4-3でリストアップされ、図3. 4-12-3. 4-15に示されているループは、関連シナリオCkを開発する際の主要経路となる。

RES手法では、コード化することによって、主要ネットワーク経路を分離することを可能にしてきた。しかし、例えば図3. 4-10において、1や2とコード化された二次的なすべての経路だけでなく、3とコード化された二次的なすべての経路が、同時に作用していることを考慮する必要がある。このように、すべての相互作用を考慮にいて、マトリクスを完全に展開していくためには、完全に結合したモデルを用いることが必要である。そのためには、マトリクスの完璧な働きを左右するような主要メカニズム経路を分離することである。表3. 4-4に岩盤の移動シナリオについて、「処分システムにおける」変動と、「処分システムに近接したところにおける」変動を比較して示す。

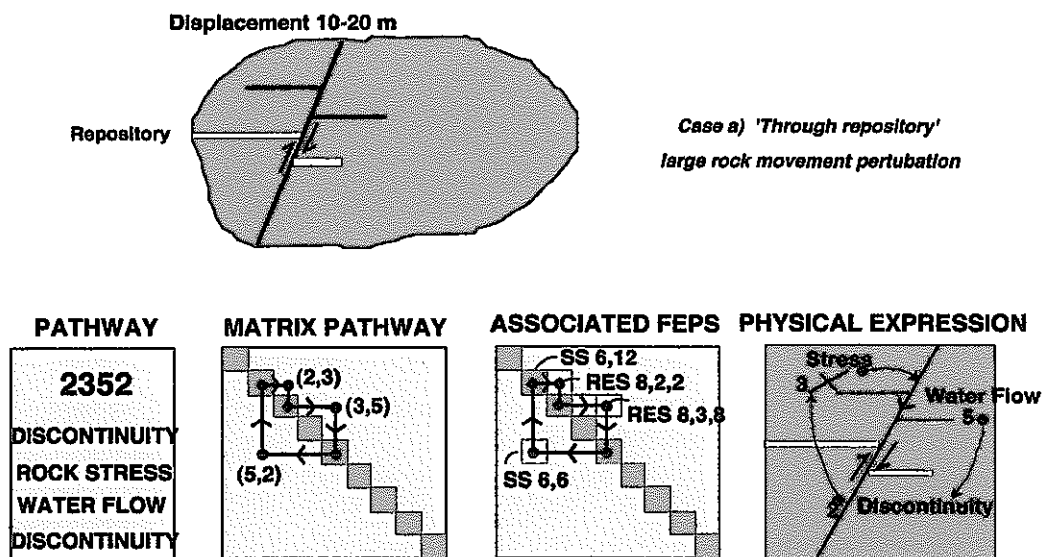


図3. 4-11 主要メカニズムループ経路の1つ経路2352 (SS番号については、SKI/SKB FEPを参照のこと。RES番号については、RES FEPを参照のこと。)
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

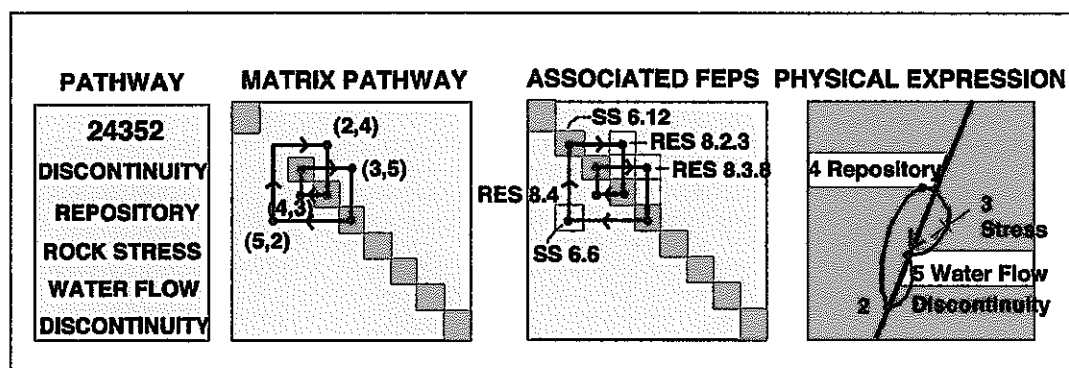


図3. 4-12 メカニズムループ経路24352
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

この場合、変動が応力場に影響を及ぼす2つのループがあり、応力場は、地下水の流動に影響を及ぼし、地下水の流動は、亀裂のすき間をさらに大きくする。そして、さらに変動は、地下水の流動に直接影響を及ぼし、地下水の流動は、亀裂に悪影響を及ぼす。たとえ、そうであったとしても、影響は、「処分システムにおける」ケースほど深刻なものではない。2つのループ経路は、図3. 4-16と図3. 4-17に示されている。

Case a) 'Through repository' large rock perturbation

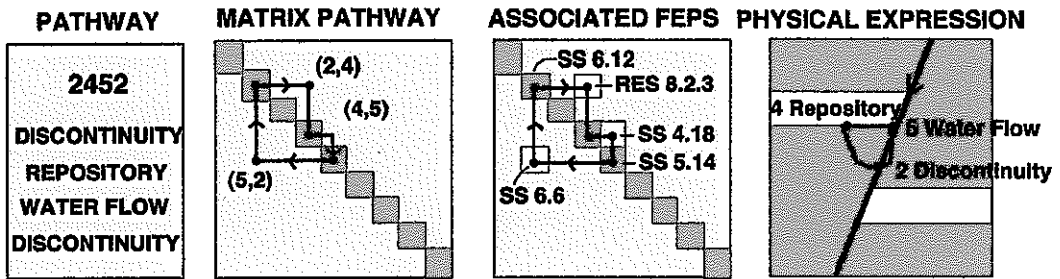


図 3. 4-13 メカニズムループ経路2452
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

Case a) 'Through repository' large rock perturbation

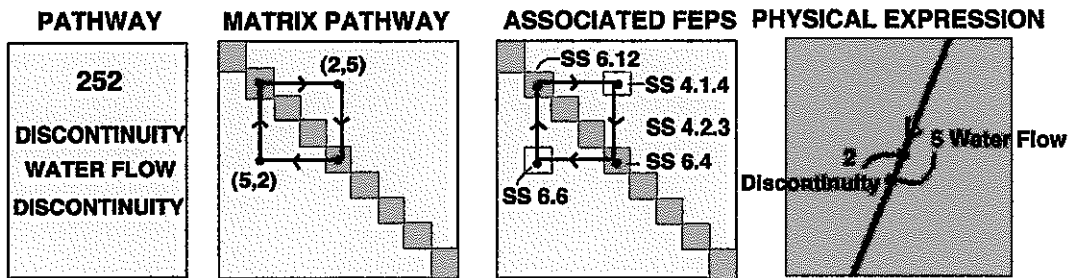


図 3. 4-14 メカニズムループ経路252
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

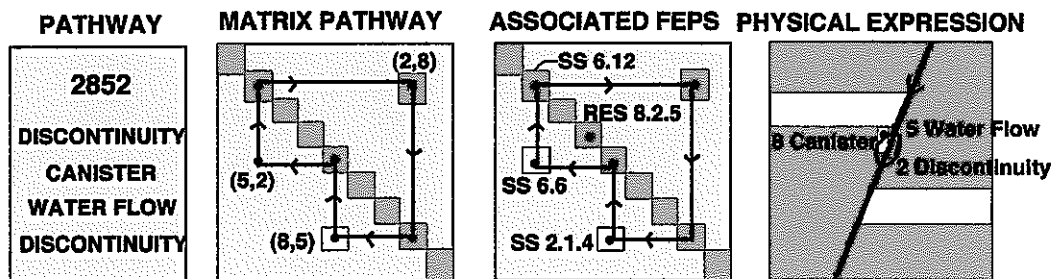


図 3. 4-15 メカニズムループ経路2852
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

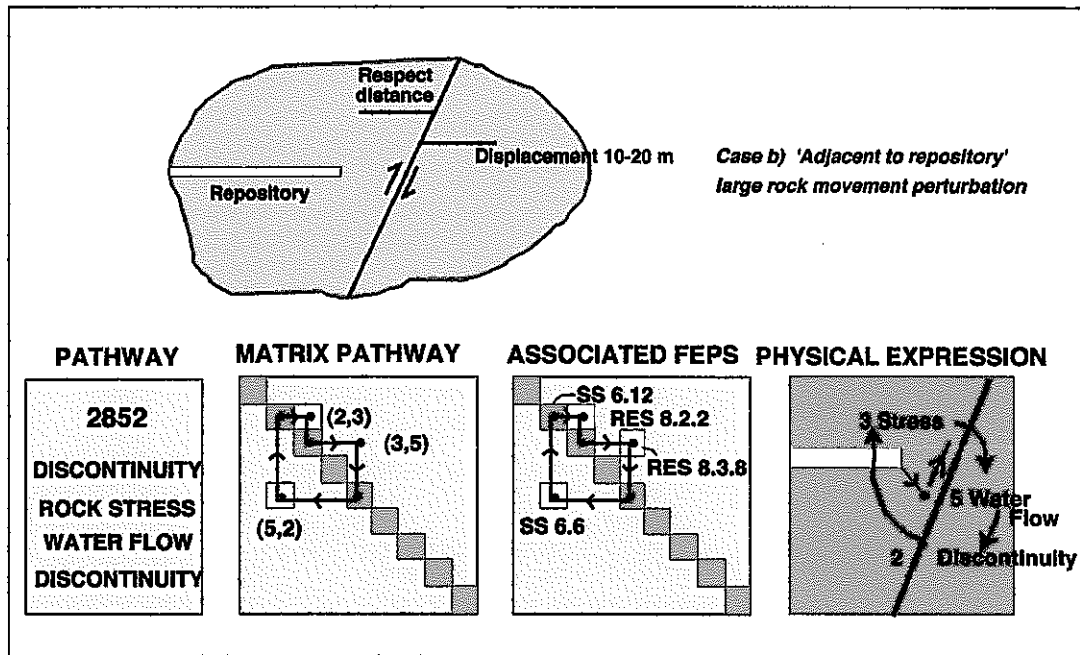


図 3. 4-16 メカニズムループ経路2352
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

表 3. 4-4 「処分システムに近接した」岩盤の変動の主要経路

Pathway	1st Parameter Affected	2nd Parameter Affected	3rd Parameter Affected	4th Parameter Affected
Pathway 23	Rock Stress			
Pathway 235	Rock Stress	Water Flow		
Pathway 2352	Rock Stress	Water Flow	Discontinuities	
Pathway 25	Water Flow			
Pathway 252	Water Flow	Discontinuities		

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

図 3. 4-12 と図 3. 4-16 (「処分システム」ケースと、「処分システム近傍」ケースの両方の経路2352についての) の類似点と相違点、及び図 3. 4-14 と図 3. 4-17 (上記の両方のケースの経路) の類似点と相違点を検討することは重要である。経路2352において、メカニズム全体は物理的に異なるもので、「処分システム」ケースでは、変動が起きている亀裂における地下水の流動量の増加は、大きな影響を及ぼす要素となる。「処分システム近傍」ケースでは、変動が起きている亀裂と処分システムとの間の地下水が大きな影響を及ぼす要素となる。「処分システムに近傍」の場合の主たる影響を及ぼす要素となるのは、応力の再分配により亀裂と処分システムとの間の透過性が高まり、亀裂と処分システムとの間の潜在的な地下水の流動が増加することである。

「処分システム」変動「処分システム近傍」変動の特性から予測できるように、「処分システム」変動の影響の方が深刻で、より多くのメカニズム経路を活性化するものである。ESQコード化で決定

的とされたメカニズムにつながる経路についてだけ研究を進めてきたが、「処分システム」変動マトリクスにおける決定的な相互作用が多数なために、全体の影響としては、同じ結果が得られると考えられる。

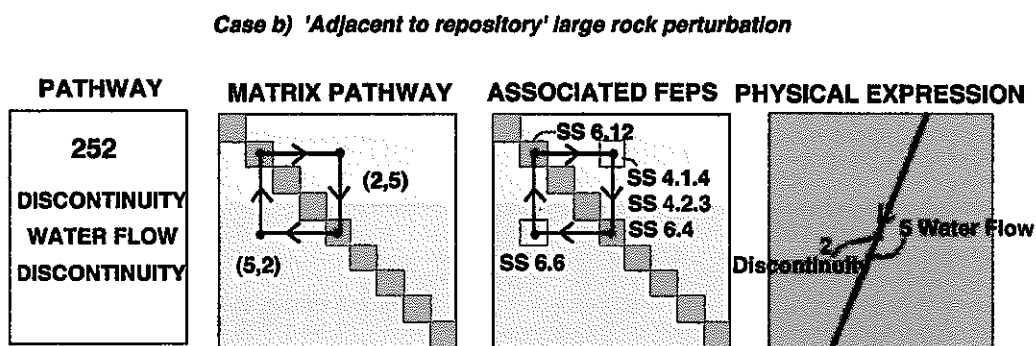


図 3. 4-17 メカニズムループ経路252
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

3. 4. 3 RESプロセス・システムの手法

処分システム全体は、いくつかのサブシステムに分類することができ、それらのサブシステムを安全性の評価の際に分析する。処分システム全体は、人工バリア、ニアフィールド（近傍域）、ファーフールド、及び生物圏に分類されている。SKBはRES手法の「ソフト」的な部分を、図3. 4-18に示されているようなそれぞれのサブシステムへ適用することを検討した。この図にも示されているように、緩衝及び埋め戻し部分にもRESマトリクスを形成することによって、ニアフィールドの構成要素がより詳細にわたって分析される。システムの様々な部分におけるダイアゴナル要素（変数）間の相互作用に関する、特別な分析を出来るだけ完璧に行われなければならない。しかし、ほとんどの場合、相互作用の数は不十分である。従って、ボックスは空になってしまうことが予想される。

それぞれの相互作用ボックスについて、話し合ったことを文書化されたマトリクスを作り上げることに重点をおいて研究が行われた。次のステップは、分析におけるギャップを認識するために評価されるシステムの構成要素を、現存するFEPリストを使ってチェックすることである。サブシステムにおいて、非常に重要な相互作用や経路が認識され、半定量的な尺度で判断される。

図3. 4-19に、ニアフィールドにおける上記の認識や判断の結果が、図3. 4-20には、緩衝及び埋め戻しにおける結果が、図3. 4-21には、ファーフールドにおける結果が、図3. 4-22には、生物圏における結果が示されている。これらの図では、SKBで行われていた研究の最初のいくつかの実例について、それほど詳しく説明していない。

現在のところ、行われている研究は、RES手法の可能性を探求することである。系統立って、マトリクスを検討すると、システムの全体像やプロセス間のつながりが視覚化され、システムの観念化と

同時にそのシステムの働きについての討論が文書化されることが理解できる。

RES手法の問題点は、FEPの場合もそうであるがプロセスにおける様々な異なるステップを、どのように文書化するかについて明確な方法が確立されていないことである。現在ほどの研究グループもそれぞれ、独自の手法で研究結果を発表している。今後、様々な研究グループが同レベルの研究活動を行えるように、研究成果が実用的に適切に見直されるように、系統立った明確な文書化が必要とされるようになると思われる。それは、技術面での議論が情報ベースのルールに左右される例である。

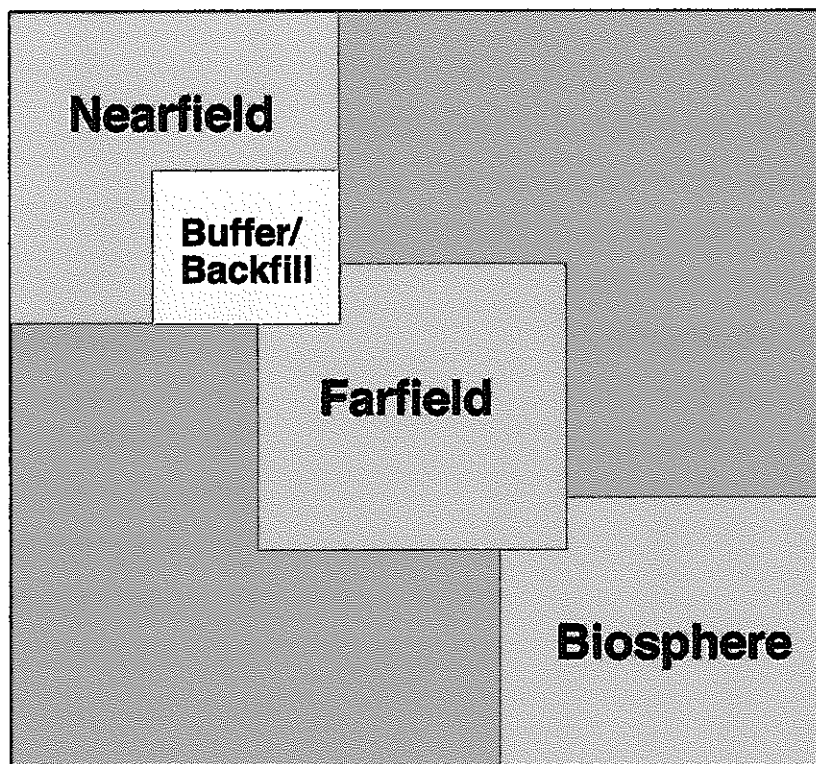


図3. 4-18 処分システムの全体的なシステムを視覚化するのに適用されるRESマトリクス
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

- Interaction which should be part of the model chain
- Important Interaction - can give effects on other parameters, should be well documented
- Interaction present - influences on other parts of the process system in a limited way and under special circumstances
- Interaction present - influences on other parts of the process system can be neglected

	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
FUEL ROD	Radiolysis air + water Radiation effects	Radiation effects (n)		Radiation effects (n)	Decay heat	Radiation effects				
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11
Surface coating	FILLER VOID	Surface coating		Temperature gradient						
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11
	Confinement	STEEL CANISTER	Causes the gap	Load on canister bottom	Temperature gradient					
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11
			GAP VOID		Temperature gradient					
5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11
		Confinement	Causes the gap	STEEL CANISTER	Temperature gradient	Cu-Ion exchange, Cementation, Pressure	Changes the natural flow paths			Repository Layout
6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11
States of the fuel Pressure	States of the filler	Thermal expansion		Thermal expansion	TEMPERATURE GRADIENT	Mineral alteration, Change of properties	Convection cells	Formation fractures, Change of properties		Repository Layout
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11
				Confinement	Temperature gradient	BARRIER EVALUATION	Defines heat hydrology chemistry	Intrusion into fractures	Swelling pressure	Repository Layout
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	8.11
				Transport of contaminants	Temperature gradient	Saturation Erosion Mineral alt. Ion exchange	WATER MOVEMENT	Fracture filling materials dissolution precipitation		Positioning of deposition holes
9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	9.10	9.11
						Large movements may damage canisters	Pressure gradient fracture width	FRACTURE RING	Rock movements may give transient load	
10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10	10.11
				CREEP SDC			Defines the gradient	Sealing and possible widening of fractures	PRESSURE CONSTRAINT LOAD	
11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10	11.11
				Damage during emplacment		Affects properties	Chemical effects - man made materials	Fracture injections and plugs	Repository depth - hydrostatic pressures	CONSTRUCTION EMPLACEMENT

図 3. 4 - 1 9 認識や判断の結果
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

- Important interaction - can give effects on other parameters, should be well documented
- Interaction present - influences on other parts of the process system in a limited way and under special circumstances
- Important interaction - can give effects parts of the process system can be neglected





	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	
FOUR	Radiation effects Dimension	Radiation effects	Gamma Radiolysis	Radiation effects	Radiation effects	Temperature increase		Radiolysis	Radiation effects		Radiation effects		
2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13	
5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11	5.12	5.13	
6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11	6.12	6.13	
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13	
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	8.11	8.12	8.13	
9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	9.10	9.11	9.12	9.13	
10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10	10.11	10.12	10.13	
11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10	11.11	11.12	11.13	
12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	12.10	12.11	12.12	12.13	
13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	13.10	13.11	13.12	13.13	

図 3. 4 - 2 0 緩衝及び埋め戻しにおける結果
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

- Interaction which should be part of the model chain, i.e. assessment modelling of radionuclide transport
- Important interaction - can give effects on other parameters, should be well documented
- Interaction present - influences on other parts of the process system in a limited way and/or under special circumstances
- Interaction present - influences on other parts of the process system can be neglected

CONSTRUCTION LAYOUT	1.2 Excavation method	1.3 Excavation method Grouting Reinforcement	1.4	1.5 Steering effects	1.6 Change of rock strength due to excavation of tunnelled zone	1.7	1.8 Drawdown effects	1.9 Ventilation Depth	1.10 Stress changes	1.11 Ventilation Blowing gas	1.12	1.13 Physical environment
2.1 Transport processes in concrete Design constraints	2.2 BUCKLE/SINK SOURCE	2.3 Buffer/backfill penetration into EDZ	2.4	2.5 Buffer into intersecting fractures	2.6 Radically low release Coef. of Rn/Gs ratio W/Gs ratio W/Gs ratio	2.7 Reduced rock strength due to excavation	2.8 Removal of stress effects	2.9 Heat generation Burner composition effects T	2.10 Swelling pressure	2.11 Gas source Gas transport properties	2.12	2.13
3.1 Choice of method Amount of reinforcement	3.2 Density reduction Rock fallout	EDZ	3.4	3.5	3.6 Changed Rn/Gs ratio Dislocation of fracture minerals	3.7 Changed permeability	3.8	3.9 Modified thermal diffusivity	3.10 Stress relaxation	3.11 Indisturbance of fracture transport path for gas	3.12	3.13
4.1 Layout Construction method	4.2	4.3 Impact depends on mech. properties of rock type	ROCK MASSING EFFICIENCY	4.5 Fracture characterisation involving mineralisation	4.6 Fracture TOE Colloid generation	4.7 Matrix K Compressibility	4.8	4.9 Geothermal gradient heat transport Thermal properties	4.10 Rock type and genesis	4.11 Carbon generation	4.12 Alteration/ mineralogy Porosity	4.13 Thermodynamic Processes Reactive minerals
5.1 Fracture characterisation Construction method	5.2	5.3 Mechanical properties and fracture frequency	5.4	5.5 FRACTURE CHARACTERISATION SYSTEM	5.6 Dissolution of fracture minerals	5.7 Fracture closure Fracture sealing Fracture closure	5.8	5.9	5.10 Stress magnitude and orientation	5.11 Transport path for gas	5.12	5.13 Thermodynamic Processes Reactive minerals
6.1 Depth affected by redox Construction materials	6.2 TDS exchange fertilization	6.3 Calcite precipitation Fertilisation	6.4 Groundwater rock interaction Alteration precipitation	6.5 Precipitation and dissolution of fracture minerals	6.6 GROUND WATER CHEMISTRY	6.7 Groundwater flow Fracture closure	6.8 Density anomaly pressure (head)	6.9	6.10	6.11 Gas generation reactions Gas dissolution	6.12	6.13 Water-use Eutrophication
7.1 Canister packaging Construction problems	7.2 Bentonite erosion swelling erosion homogeneity	7.3 Erosion	7.4	7.5 Erosion and sedimentation	7.6 Mixing and diffusion Chemical reactions	7.7 GROUND WATER MOVEMENT	7.8 Significance of pressure	7.9 Forced heat convection	7.10	7.11 Transport of dissolved gas two-phase flow	7.12	7.13 Eutrophication and biological activity
8.1 Construction problems	8.2 Effective stress	8.3 Effective stress Transmissivity	8.4 Effective stress hydro- mechanical	8.5 Effective stress transmissivity	8.6 Dissolution and precipitation of fracture minerals	8.7 Fracture closure Fracture closure	8.8 GROUND WATER PRESSURE	8.9 Change in fracture pore of water	8.10 (Effective stress)	8.11 Decreasing of pressure solubility	8.12	8.13 Potential effect on vegetation
9.1 Tunnel and canister separation	9.2 Thermal expansion permeability situation	9.3 Permafrost Low temp alteration of fracture minerals	9.4 Thermal expansion Permafrost (T)	9.5 Permafrost Low temp alteration of fracture minerals	9.6 Dissolution and precipitation of fracture minerals	9.7 Density viscosity Heat convection	9.8 Density changed	9.9 THERMAL DIFFUSIVITY	9.10 Thermal expansion	9.11 Gas solubility (kinetic effects)	9.12	9.13 Eutrophication
10.1 Design/layout Construction methods	10.2 Reaction force on swelling pressure	10.3 Mechanical stability Fracture aperture changes	10.4 Mechanical stability	10.5 Mechanical stability Fracture aperture changes	10.6	10.7	10.8 Only for confined aquifers	10.9 ROCK STRESS	10.10	10.11	10.12 (D)	10.13 Earth quakes
11.1 Ventilation provides for gas release in design	11.2 Chemical effects Homogenisation	11.3 Opening of fracture Changes T (2-phase)	11.4 Fracturing at high pressures	11.5 Opening of fracture at high pressures 2-phase flow conditions	11.6 Ph, Eh affected	11.7 2-phase flow	11.8 Capillary forces	11.9 (Gas law)	11.10	11.11 GAS	11.12 Cottrell adsorption on gas bubbles	11.13
12.1 Design/ layout	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6 Changed concentrations	12.7	12.8	12.9	12.10	12.11	12.12 TRANS PORT OF SOLUTES	12.13 Deep permeable zones
13.1 Siting Design/ layout	13.2	13.3	13.4	13.5 Earth tides affect fractures	13.6 Infiltrating water	13.7 Fracture closure Fracture closure Fracture closure	13.8 Fracture closure Fracture closure Fracture closure	13.9 Directionally driving forces	13.10 Isolated Erosion A seismic movements	13.11 Gas infiltration	13.12 Infiltration of corrodents	13.13 BIOSPHERE

図 3. 4-21 ファーフィールドにおける結果
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

-  Interaction which should be part of the model chain
-  Important interaction - can give effects on other parameters, should be well documented
-  Interaction present - influences on other parts of the process system in a limited way and under special circumstances
-  Interaction present - influences on other parts of the process system can be neglected

RELEASE FROM GEOSPHERE	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
2.1 Dilution. Chemical effects.	SUB SURFACE WATER	2.3 Water, solid, gas and contaminant transport	2.4 Water, solid, gas and contaminant transport	2.5 Water, solid, gas and contaminant transport	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10 Water supply	2.11 Water use
3.1 Dilution. Chemical effects.	3.2 Water, solid transport. Dilution. Chemical effects.	SURFACE WATER	3.4 Sedimentation. Diffusion. Advection.	3.5 Flooding. Erosion.	3.6 Evaporation. Degassing. Aerosol formation.	3.7 Erosion. Effect on vegetation type.	3.8	3.9 Contaminant and uptake.	3.10 Water supply	3.11 External irradiation. Water use.
4.1 Modifies geobio interfaces.	4.2 Water, solid transport. Dilution. Chemical effects.	4.3 Filtration. Resuspension. Chemical effects.	4.4 SEDIMENT	4.5 Conversion to soil. Flooding.	4.6	4.7 Geomorphology	4.8	4.9 Contaminant and uptake.	4.10	4.11 External irradiation.
5.1 Modifies geobio interfaces.	5.2 Permeability	5.3 Runoff erosion prod. Chemical effects.	5.4	5.5 SOIL	5.6 Soil transfer. Evaporation. Dust. Aerosol.	5.7 Geomorphology. Vegetation type.	5.8	5.9 Contaminant and uptake. Effects on life.	5.10	5.11 External irradiation.
6.1	6.2 Parametrical	6.3 Wind. Temperature. Rain. Gas exchange. Deposition. Resuspension.	6.4	6.5 ATMOSPHERE	6.6 Weather. Vegetation type. Soil/mine.	6.7	6.8	6.9 Deposition. Inhalation. Weather-biota type.	6.10 Weather	6.11 External irradiation. Deposition. Inhalation.
7.1 Large effect	7.2 Dissolution and migration. Scale of gradients.	7.3 Dissolution and migration. Scale of gradients. Dissolution.	7.4 Dissolution	7.5 As 7.2, 7.3 Dissolution. Scale of gradients. Dissolution.	7.6 As 7.2, 7.3 Dissolution. Scale of gradients. Dissolution.	7.7 TERRAIN	7.8	7.9 Soil types	7.10	7.11
8.1 Large climate effects	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6 Temperature. Long term effects.	8.7 Sea level. Oxidation. Transparency.	CLIMATE	8.9	8.10	8.11
9.1	9.2	9.3 Eutrophication. Toxicity. Chemistry.	9.4 Bioturbation. degrading biota.	9.5	9.6 Evaporation. C, N and I cycle.	9.7	9.8 NON-HUMAN BIOTA	9.9	9.10	9.11 Food intake
10.1	10.2 Toxic	10.3 Pollution. Absorption.	10.4 Pollution. Absorption.	10.5 Degrading. Aggregation. Pollution. Land use.	10.6 Pollution. Industry. contamination.	10.7 Dams. Infrastructure. contamination.	10.8 Contaminant and source effects.	10.9 Food production.	SOCIETY	10.11 Governance behaviour of critical group.
11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10	DOSE TO MAN

図 3. 4-22 生物圏における結果
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

4 インフルエンス・ダイアグラムとRES法の比較

インフルエンス・ダイアグラムに基づいた方法論とRES方法論の本来の目的は同じである。従って、前章にて検討してきた確立論的手法等と比べ、類似した手法であると考えられる。従って、ここではインフルエンス・ダイアグラムに基づいた方法論とRES方法論の違いについて補足する。

インフルエンス・ダイアグラムに基づいた方法論とRES方法論の目的は、異なるFEPシナリオに関して一定のシステムの働きを説明することである。どちらの方法論においても、システムを構築するために、図や表を使って、特定のFEPに関して、システム内の様々なFEPが、システムからの放射性核種の放出にいかにか影響を及ぼすかを示すことによって、本来の目的が達成できる。どちらの方法論についても、研究対象のシステムにおける相互作用の相対的重要性を評価するために、専門家による半定量式コード化という手法を用いている。このようにして、システムの複雑性を緩和することが可能になり、シナリオ分析においては、処分場全体の性能の中で最も重要な面に重点をおいて評価できるようになる。そして、FEPや相互作用を文書化すること、選択されたFEPの重要性、そしてその重要性の判断の論拠が、インフルエンス・ダイアグラム方法論とRES方法論の中心的な部分となっている。インフルエンス・ダイアグラム方法論において、FEPを文書化したものと、その影響についての説明及びシナリオ開発の過程で下されたすべての決定が、インフルエンス・ダイアグラムにつながっているデータベースにまとめて編集されている。最新のRES方法論においては、文書化の必要性が認識されているが、文書化するためのシステムは、FEPを分類すること以外については開発が進んでいない。

RES方法論とインフルエンス・ダイアグラム方法論の2つの方法論には、もちろん相違点もある。最も顕著な違いは、図式的なレイアウトに関係している。RES方法論においては、マトリクス形式を用いているのに対して、インフルエンス・ダイアグラム方法論においては、ノード（節点）や矢印を使っている。もう一つの違いは、インフルエンス・ダイアグラム、及び相互作用マトリクスの構造の背後にある戦略に関係していて、それは、シナリオの開発や説明のためにインフルエンス・ダイアグラムや、相互作用マトリクスがどのように使われているのかということである。問題となるのは、これらの相違点が、インフルエンス・ダイアグラムに編集されている情報（付属文書を伴い、特定のFEPのシステムの働きを説明するもの）がRESマトリクスや、それに付随する文書における情報と異なるかどうかという点である。

RES方法論は、処分システムを状態変数として展開し、これらの変数間の相互作用を評価することである。そのような変数は、どちらかというシステムの物理的変数、すなわち「温度」、「岩石ストレス」、「地下水の流動」などが望ましい。これらの状態変数は、FEPであることもあれば、そうでないこともある。既存のすべてのFEPは、状態変数、それぞれの相互作用、及びそれらに関連した全てのメカニズム経路に関して認識される。RESモデル構造を完成させるためには、新しいFEPをつくりだすことが必要になるかもしれない。

RES方法論の手法は、ソフト的もしくはハード的なシステム手法、あるいは両方の要素を兼ね備え

た手法ともいえる。ソフト的なRES方法論の手法とは、問題の構造を（目的に応じて）確立するために変数間のすべての相互作用をコード化し、次に最も重要な力学経路を確立することである。ハード的なRES方法論の手法とは、システムにおけるすべての構造力学を数値的に評価し、同時に抽出するために完全連結モデルを用いることである。両方の手法を用いてシナリオの研究が行われる。

インフルエンス・ダイアグラム方法論の本質となることは、バリア構成要素の開発やシステムにおける放射性核種の移行を説明するために適用される、相互作用チェーン（連鎖）や流動経路のネットワークを開発することである。既存のFEPや開発過程で認識されたFEPを、ダイアグラムの適切なバリア域においてボックスで表わすことによって、上記のネットワークを開発することができる。FEPの中には、例えば、「地下水の流動」、「温度」、「岩石ストレス」などのように、システムの主要パラメーターや物理的変数となるものもある。FEP間の相互作用は、FEPをつないで、影響の方向を示す矢印によって認識され表わされる。すべてのFEPやすべての影響、及びそれに関する文書が、ダイアグラムに関連するデータベースに編集されている。

限定された一組のシナリオ前提条件について、すべての相互作用の重要性を評価することによって、重要性のレベルが異なる様々なインフルエンス・ダイアグラムが開発される。これらのインフルエンス・ダイアグラムは、ある一定のレベルの重要性で性能を評価をする際に考慮されなければならない事象の関連を表わしており、それらの関連は、システムを説明する際の概念的な不確かさを示す指針ともなる。従って、インフルエンス・ダイアグラムは、システムの働きを定量分析することを目的に直接利用されるための完全連結モデルとして意図されたものではないと考えられる。

4. 1 構成法の比較

RES方法論において、主変数や主変数への修正は、マトリクスの主要ダイアゴナルの構成要素によって表わされる。主変数間の相互作用は、非ダイアゴナル構成要素によって表わされる。マトリクスにおけるFEPの位置は、それが主変数と認識されるか、主変数への修正、もしくは主変数間の相互作用と認識されるか、相互作用への修正と認識されるか、あるいはマトリクスへの経路として、もしくはマトリクス全体が開発されたものと認識されるかによって決まる。

インフルエンス・ダイアグラムにおいて、（例えば、様々なバリアのように）システムの安全性を表わすためにダイアグラムの様々な領域が用いられる。それぞれの領域において、FEPやFEP間の相互作用を説明するのにノード（節点）や矢印が使われる。それぞれの領域におけるノードの中には、バリアの主変数を説明するFEPを表わすものもある。

例えば、「地下水の地球化学特性」、「物理特性」、「地下水の流動」、「ガスの移行」、「温度」、「汚染物質の放出」などである。そして、これらのFEPノードは、RESマトリクスにおける主要ダイアゴナルの構成要素に相当する。インフルエンス・ダイアグラムにおいて、これらの主変数FEPは、それぞれの安全性やバリアにおいて繰り返されるが、RESマトリクスにおいては、処分場システムのすべての部分で一定の主要パラメータとなるFEPを表わすために、1つのダイアゴナル構成要素が用

いられる場合もある。

インフルエンス・ダイアグラムにおいては、上記の主要パラメータとなるFEPを表わすノードが、相互作用を示す矢印によって、もしくは矢印とノード（すなわち、相互作用とFEP）を含むチェーンによって直接つながっている。これらの様々なタイプのリンクは、RESマトリクスにおけるそれぞれの位置とともに図4. 1-1に示されている。影響を示す矢印は、比較を容易にするため、マトリクスに下線を引いて示されている。

影響aは、インフルエンス・ダイアグラムにおける、主要パラメータFEP1とFEP2間の直接的な相互作用を説明している。RESマトリクスにおける影響aの位置は、ダイアゴナルの構成要素1と2間の非ダイアゴナルの上部になるであろう。このタイプのリンクの実例として、バリアからの汚染物質の放出の際のバリアにおける流動の方向や衝撃の大きさなどが挙げられる。

インフルエンス・ダイアグラムにおいて、A、B、Cと記号付けされたFEPが、1組以上の主要パラメータFEP間の相互作用チェーン（連鎖）に関連している。主要パラメータFEP1は、影響b、FEP A及び影響cを通して、主要パラメータFEP3と相互に作用を及ぼし合っている。この相互作用連鎖は、マトリクスにおいては、ダイアゴナル構成要素1及び3を連結させている、非ダイアゴナル構成要素の上部にFEP Aを位置付けることによって説明することができる。影響bは、ダイアゴナル要素1によって表わされる主要パラメータの、どのパラメータがFEP Aに影響を及ぼすのかを限定する。また影響cは、ダイアゴナル要素3によって表わされるパラメータの、どのパラメータがFEP Aによる影響を受けるようになるのかを規定する。このようにして、影響bと影響cによって、RESマトリクスにおけるFEP Aの位置が限定される。この相互作用連鎖は、マトリクスのこの位置におけるFEP Aに関連した文書に、影響bと影響cを規定しているものが含まれている限りは、インフルエンス・ダイアグラムからRESマトリクスに形を変えることは可能と思われる。

インフルエンス・ダイアグラムにおけるFEP Aは、影響bと影響dを通して主要パラメータFEP1とFEP4を連結させている相互作用連鎖にもまた関係している。この相互作用連鎖は、RESマトリクスにおいては、ダイアゴナル構成要素1及び4を連結させている非ダイアゴナル構成要素の上部にFEP Aを位置付けることによって説明することができる。前述のように、マトリクスにおける位置は、ダイアグラムにおける影響の矢印に一致する。そして、この相互作用連鎖に関するRESマトリクスにおける情報は、影響bと影響dが文書に規定されている限りは、インフルエンス・ダイアグラムにおける相互作用連鎖に関する情報と変わらないであろう。

インフルエンス・ダイアグラムにおけるFEP Aに関する二次的な相互作用連鎖は、主要パラメータFEP Iから、影響bを経由して、主要パラメータAへの経路及び影響eを経由して、主要パラメータFEP Iに戻る経路をとる。このタイプの相互作用においては、FEP Aは、RESマトリクスにおける「パラメータFEPへの修正」と比較され、ダイアゴナル構成要素1と関連付けられる。FEPも影響もどちらも相互作用マトリクスには表わされていない。そのために、ダイアゴナル構成要素1の関連文

書には、FEPについての説明や影響を規定する記述が必要となるが、FEPの影響を認識し、説明するためには、まだ十分なものではない。

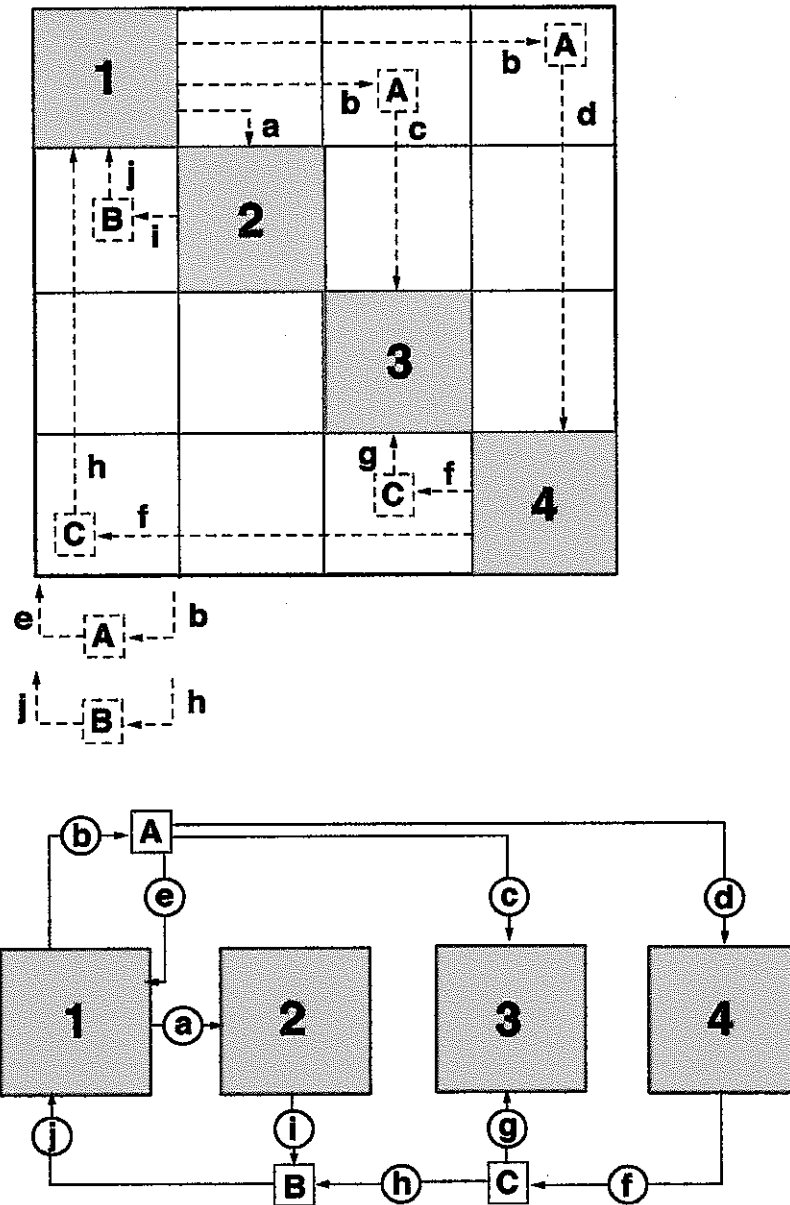


図4. 1-1 インフルエンス・ダイアグラム（下部）における主要パラメーターFEP間の相互作用、及び相互作用連鎖、及びRESマトリクス（上部）におけるそれぞれの位置
(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

FEP Aを「微生物の活動」とすると、主要パラメーターFEPやダイアゴナル構成要素1、3及び4は、それぞれ「地下水化学」、「ガスの流動や移行」、「バリア特性」となるであろう。水における微生物、溶解した栄養分、有機炭素、pH及び溶解した毒性を含んだ物質は、ベントナイト埋め戻し

(影響b)における微生物の活動の発生や範囲を決定するであろう。微生物の活動の「気体の流動や移行」(主要パラメーターFEP3)への潜在的な影響は、気体の発生(影響c)である。生物膜の形成(影響d)は、「バリア特性」(主要パラメーター4)に影響を及ぼし、微生物による活動は水における水素イオン濃度、酸化還元電位、腐食剤や錯化剤の濃度(影響e)を変化させるかもしれない。そして、その結果、「地下水化学」(主要パラメーターFEP1)に影響を及ぼすこともあり得る。

図4. 1-1は、インフルエンス・ダイアグラムに見られるような付加的なタイプの相互作用連鎖、すなわち、2つのFEPを有する2つの主要パラメーターFEP間の相互作用連鎖を示している。主要パラメーターFEP4は、影響f、FEP C、影響h、FEP B及び影響jを経由して主要パラメーターFEP Iと相互に作用を及ぼし合うであろう。

そのような相互作用連鎖は、相互作用マトリクスの形に直接変換されることはない。1つの解決策として考えられることは、FEP Bを「主要パラメーター1への修正」として分類することである。相互作用連鎖は、マトリクスにおいて、ダイアゴナル構成要素4と1をつなげる非ダイアゴナル構成要素の下部にFEP Cを位置付けることによって説明できるであろう。そのため、非ダイアゴナル構成要素が、主要パラメーター間の2者間の相互作用を表わすだけでなく、主要パラメーターとパラメーターへの修正要素間の2者間の相互作用を表わすことが必要となるであろう。

2つのFEPに関連する相互作用連鎖の一例として、「地下水の流動」と「ベントナイト埋め戻し特性」の間の相互作用が挙げられる。ニアフィールド(近傍)母岩における地下水の流動(影響D)の大きさ、方向、分配は、ベントナイト埋め戻しの「再飽和」(FEP C)に影響を及ぼすであろう。再飽和は、埋め戻しの「隆起」(影響h及びFEP B)を開始させ、隆起の度合いによって、埋め戻しの水力学的特性(主要パラメーターFEP1への影響j)に影響を及ぼすであろう。マトリクスにおいて、「地下水の流動」と「ベントナイト埋め戻し特性」を連結させるような、非ダイアゴナル構成要素に「再飽和」を位置付けたり、「隆起」を「ベントナイト埋め戻し特性」へ修正した要素として分類することによって、前述のように表わすことができるであろう。この場合、「再飽和」は、主要パラメーターと主要パラメーターを修正したものとの間の相互作用としての役割を果たす。しかしながら、飽和の度合いは、埋め戻しの主要パラメーターとして定義付けされ得るので、インフルエンス・ダイアグラムにおけるこの相互作用連鎖をより厳密に説明するためには、おそらく上記のように、「地下水の流動」から「再飽和」そして「再飽和」から「ベントナイト埋め戻し特性」を説明することになるであろう。この飽和の度合いは、「隆起」に影響を及ぼし、さらに埋め戻しの水力学的特性にも影響を及ぼすことになると思われる。マトリクスにおけるFEPの位置は同じであるが、この場合には「再飽和」は、2つの主要パラメーター間の相互作用である。

もし、システムの物理的変数を表わすようなFEPだけが、マトリクスにおける主要ダイアゴナル構成要素と定義付けされるのであれば、上記のように、インフルエンス・ダイアグラムをRESマトリクスに変換することが可能である。システムにおける全てのFEPをダイアゴナル要素と定義し、FEP間のすべての影響を非ダイアゴナル要素と定義付けすることによって、インフルエンス・ダイアグラムは、マトリクスの形態に直接変換することが可能になる。しかしながら、このマトリクスはRESマト

リクスの必要条件を満たすものではない。

4. 2 方法論の比較

インフルエンス・ダイアグラムの手法もRES手法も、システムの長期的な働きに関係するようなFEP間のすべての相互作用や組み合わせが決定されるような方法で、処分システムについてのFEPを構築することに関連した手法である。インフルエンス・ダイアグラム手法とRES手法の両方の手法において、システムに関連したFEPが既存のFEPリストから選択され、システムを完全に説明する必要がある時には、新しいFEPが作り出されるが、それら2つの方法論にはいくつかの相違点がある。

第1に、システムの記述構成の開発方法が異なることが挙げられる。RES方法論において、システムの主要変数が選択され、マトリクスの主要ダイアゴナルに沿って位置付けられる。FEPは、主要変数との関係に応じてマトリクスに位置付けされる。インフルエンス・ダイアグラム方法論においては、システムはバリアシステムを表わす区域に分割される。バリア性能に影響を及ぼすようなFEPと、放射性核種移行に影響を及ぼすようなFEPが分離されるように、FEPが発生したり処理されたりするような、それぞれの区域において、FEPはボックスで示され、バリアにおける化学特性、物理特性機械的特性や状態などが説明される。そうして、FEP間の相互作用は認識され、何組かのFEPをつなげ、影響の方向を示している矢印によってFEP間の相互作用は表わされる。すべてのFEPが記述され、文書に規定されているすべての影響はダイアグラムに連結される。

RESマトリクスとインフルエンス・ダイアグラムに、それぞれ集められた情報から結果を比べることをしなくても、RESの方法論の方が構造的にはより簡単かと思われる。というのは、RES方法論では、システムの物理変数に重点を置いて、FEPがどのように物理変数に影響を及ぼしているのかということについて主に扱っているからである。さらに、RESマトリクスがシステムを表わすことの方が、インフルエンス・ダイアグラムよりもおそらく容易であろう。

RESマトリクスやインフルエンス・ダイアグラムに含まれている情報を、適用性という観点で比較すると、インフルエンス・ダイアグラムの手法の方がすぐれている。というのは、インフルエンス・ダイアグラムの分析手法は、FEPに大きく影響を受けるからである。物理的変数を使って、直接的なモデルを開発するのであればRES方法論の方が望ましい。この意味でインフルエンス・ダイアグラムと匹敵するためには、RESマトリクス開発の際の文書化を拡大しなければならない。さらに、前述のサブセクションにおける事例にも示されているように、そのマトリクスには、おそらくより高い分解能が必要とされるであろう。

第2の相違点は、シナリオの開発に関するものである。インフルエンス・ダイアグラムに基づいた方法論の最初のステップは、規定されたシステムについての基礎的で一般的なインフルエンス・ダイアグラムを作り上げることである。この一般的なインフルエンス・ダイアグラムには、システムの範囲内に存在すると思われるすべてのFEPと、状況に関わりなくFEP間に発生すると思われるすべての相互作用が網羅されていなくてはならない。従って、選別されていないFEPのリストが、一般的な

インフルエンス・ダイアグラムを作り上げるための基礎となる。そして、シナリオ・インフルエンス・ダイアグラムは、ある一組の境界線における状態の影響の重要性を評価することによって、もしくはFEPにより混乱が生じた場合に影響の重要性を評価することによって、一般的なインフルエンス・ダイアグラムより開発される。重要性の低い影響を取り除き、そしてその結果、システムの働きに何の影響も及ぼさなくなったFEPを取り除くことによって、様々なレベルの重要性を有するシナリオ・インフルエンス・ダイアグラムを作り出せるようになる。このようにして、FEPを選別するということが、系統立った方法論の一部となり、システムに付随した文書化によって、選別について議論されるようになる。

状況に関わりなく物理的なパラメーター間に生じると思われる、すべての相互作用を含んでいるような一般的な相互作用マトリクスの構築はRES手法の範囲ではない。RES方法論は、マトリクスを作り上げる際には、重要な過程やメカニズムの方にむしろ重点を置いていて、入手可能なFEPリストとの比較はもっと後の段階で行われる。RES方法論を岩盤の力学に適用する時、選別されたFEPリストが考慮され、システムを包括的に説明するために、新しいRESFEPもまた考慮に入れられる。RES方法論を、キャニスタの減衰、ベントナイト、及び生物圏に適用する時、RESマトリクスが、基準減衰シナリオに作り上げられた。このような場合、入手可能なFEPリストと比較する文書の入手は困難であると思われる。

FEPをシステムにおしついたり、FEPがシステムにいかに関与を及ぼしていくかについては、インフルエンス・ダイアグラム方法論もRES方法論も、ほとんど変わらないように感じられる。RESマトリクスにおいても、インフルエンス・ダイアグラムにおいても、それぞれマトリクス及びダイアグラムを通して流動経路を強調することによって過渡的経過を説明することができる。

インフルエンス・ダイアグラム方法論とRES方法論は、異なるものであるが、2つの方法論を用いて結果として生じるようなシステムを解釈し、説明することは可能のように思われる。RES方法論の手法は、インフルエンス・ダイアグラムの手法よりも簡単に思える。なぜならば、RES方法論において、システムの物理的変数に重点が置かれ、FEPがどのようにシステムの物理的変数に関与しているのかということについて主に扱っているからである。しかし、インフルエンス・ダイアグラム方法論に匹敵するためには、RES方法論においては、マトリクス内の相互作用を明確に表わすという意味で文書化の手順（品質）を向上させなければならない。また、上記の文書には、異なるシナリオにおいても考慮にいれられなければならないようなメカニズムを選択するために、マトリクスが実際にどのように使われているのかを表わすことも含まれている。

両方の方法論を比較した結果、このレポートに記述されている適用方法に使用されているRESマトリクスの分解能が非常に低くて、インフルエンス・ダイアグラムに含まれているすべての情報を処理することが出来ないと考えられる。マトリクスにおけるダイアゴナル要素の選択数は、研究の目的によって異なるが、それはまたシステムの完成を引き換えにして、システム全体のバランスをとるという問題でもある。ダイアゴナル要素の数が増えれば、システムにおけるすべての相互作用を認識でき

る可能性も高まるが、それによってシステム全体の概観が得られるなくなる可能性がある。この問題を解決する最良の方法は、おそらく、高い分解能を有するマトリクスと低い分解能を有するマトリクスを併用してシステムを説明することである。その際には、高い分解能を有する変数は、低い分解能を有する変数が拡張されたものでなければならない。

インフルエンス・ダイアグラム方法論の利点は、FEPを直接用いていることで、そのために、それを説明する多くの文書が作成され、コンピュータ処理されている。RES方法論の便利な利点は、すべてのメカニズムやFEPを表わすために、処分システムの物理的状態変数やマトリクス構造を用いていることである。インフルエンス・ダイアグラムの手法とRES方法論の手法のどちらにおいても、メカニズムを選別し、重要なメカニズム経路を認識するために、専門家による判断が用いられている。両手法とも実用的で、文書化しやすく、関連プロトコルによって高い品質が保証されている。

また、インフルエンス・ダイアグラムを説明する文書は包括的なものである。RES手法は、同時に作用しているすべてのメカニズムを数値的に評価するために、潜在的に完全連結モデルを用いている。さらに、両方の手法とも処分場のサブシステムを認識するのに非常に適している。インフルエンス・ダイアグラム方法論におけるFEPのクラスターやRESマトリクスにおける関連状態変数のクラスターを考慮することによって、サブシステムが認識できる。以上をまとめると以下のことが言える。

* 現在、知られている特性、事象、過程（FEP）についてすべて詳しく研究することは、処分システムを理解する上で重要なことである。

* 処分システムにおけるプロセス間のつながりを概観できるようになるための視覚化ツールが重要である

* すべての判断を記録し、将来、見直しができるようにするためには、シナリオ開発方法論のすべての段階を完全に文書化することが必要である。

* 方法論におけるすべての段階が適度に詳しく処理されるために、文書化の何らかの方策が必要である。

* 処分場システムの安全性を評価することになる最終的なシナリオを選択するためには、系統立ったシナリオ開発方法論によって、シナリオ選択に必要な背景知識や動機が形成される必要がある。

FEP方法論では、処分システムは小さい部分に分割して別々に評価できるようにすることができる。この方法論を適用することによって、インフルエンス・ダイアグラムは、例えば重要な影響矢印を色付きのコードで強調したり、重要でない影響を削除することによって、表示の複雑性を緩和したりして、重要なサブシステムに優先順位をつけることができる。しかし、ダイアグラム全体の構造は非常に複雑である。

また、重要な経路についてや擾乱がどのようにシステムに広がっていくかなどについて理解することは非常に困難である。方法論における文書化のシステムは、すべてのFEPや影響についての適切なデータベースが存在し、大変優れたものである。

RES方法論は、処分場システムの視覚化に適した方法論と考えられる。マトリクスを構築する際には、トップ/ダウン手法が適用され、研究グループの専門知識が、お互いに良い刺激になるように生かされる。その結果、作り上げられたマトリクスは、知識の限られた慣れない人でも比較的理解しやすい。処分システムを部分集合に分割することができ、それぞれの部分集合は、各々のマトリクスによって表わされる。相互作用は、半定量システムやカラーコード化によって、容易に包括的に示すことが出来る。それぞれの相互作用ボックスの詳細さのレベルは、科学的用途には十分なものではないので、文書によって詳しく説明されなければならない。文書化手法の開発を進めていかなければならない。

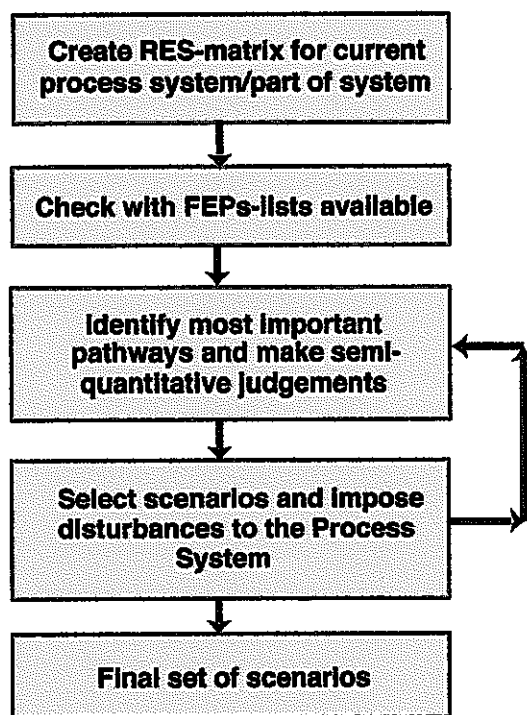


図4. 1-2 シナリオ開発方法論において提案されているステップそれぞれの段階における包括的な文書化は欠くことの出来ないものとなるであろう。

(SKB TECHNICAL REPORT 94-28より)

全体的な結論として言えることは、インフルエンス・ダイアグラムとRES方法論のそれぞれ最良の部分を取り入れたシナリオ開発方法論が最も価値のある方法論になるであろうということである。そのような方法論には、図4. 1-2に示されているような段階が含まれると考えられる。

**簡易FEP管理ソフトウェア
簡易操作説明書**

【 目 次 】

1	はじめに	1
1. 1	特徴	1
1. 2	動作環境	1
1. 3	用語	1
2	インストール方法	2
3	起動と終了	4
3. 1	CASCADEの起動	4
3. 2	CASCADEの終了	5
4	ウィンドウとメニュー	6
4. 1	ウィンドウの種類と操作	6
4. 1. 1	階層マトリクスウィンドウ	6
4. 1. 2	サブ・マトリクスウィンドウ	7
4. 1. 3	ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ	8
4. 1. 4	個別FEP内容ウィンドウ	10
4. 1. 5	内容変更理由記述ウィンドウ	11
4. 1. 6	制御ウィンドウ	12
4. 2	メニューの種類と操作	12
4. 2. 1	ファイルメニュー	12
4. 2. 2	編集メニュー	14
4. 2. 3	検索メニュー	15
4. 2. 4	書式メニュー	16
5	注意事項	17
5. 1	ファイルおよびフォルダの扱い	17
5. 2	個別FEP情報内容変更について	18

1 はじめに

本書は、簡易FEPリスト管理ソフトウェア「以下、CASCADEと称す」の操作説明書であります。

CASCADEは、パーソナル・コンピュータのMacintoshのグラフィクス・ユーザー・インターフェイスを用いて目的とするFEP情報の選出や表示を行い、必要に応じ変更、修正するための支援システムです。

1. 1 特徴

CASCADEの特徴はおよそ次のとおりです。

- マトリクス・ウィンドウからのローカル・インフルエンス・ダイアグラムの表示
- マトリクス・ウィンドウからの個別FEP内容の表示
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムからの因果関係内容の表示
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムからローカル・インフルエンス・ダイアグラムを表示
- 個別FEP内容からローカル・インフルエンス・ダイアグラムの生成

1. 2 動作環境

CASCADEの利用可能なMacintoshの動作環境は次のとおりです。

- CPU : MC68030以上またはPowerPC搭載のMacintosh
- メモリー : 8MB以上推奨
- OS : 漢字Talk7.1以上
- ディスプレイ : 13インチ以上のカラーモニター
- 磁気ディスク空き容量 : 5MB以上 (インストール時は約4MB)

1. 3 用語

CASCADEの操作を説明する用語は、一般にMacintoshの操作で使われる用語を使用しています。

なお、本書に記載した用語や内容につきましては、Macintoshで市販のアプリケーション・ソフトウェアを使いこなせるレベルのユーザーを対象として説明しています。

2 インストール方法

CASCADEのインストールは、次の要領で行います。

配布しましたフロッピーディスク（名称：配布CASCADE）をフロッピーディスクドライブに挿入します。

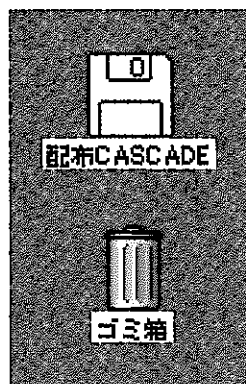


図2-1 フロッピーディスク挿入後の画面表示

配布CASCADEフロッピーディスクアイコンをダブルクリックします。配布CASCADEフロッピーディスク格納内容が表示されます。

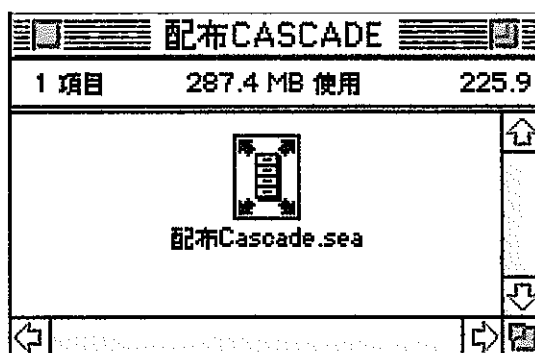


図2-2 配布フロッピーディスク内CASCADE.seaファイル

配布フロッピーディスク内には、圧縮ファイルCASCADE.seaが格納されています。CASCADE.seaアイコンをダブルクリックします。図2-3に示すCASCADE格納先指定ダイアログが表示されます。

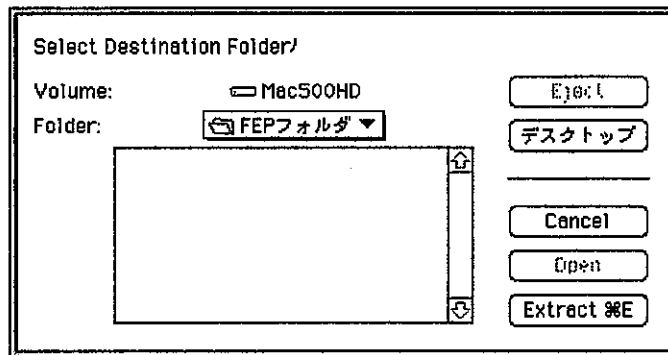


図 2 - 3 CASCADE格納先指定ダイアログ

CASCADEを格納するフォルダの指定を図 2 - 3 のダイアログを用いて行います。図 2 - 3 はデスクトップ上を指定しています。格納先を指定後、ダイアログ内のボタンをクリックします。圧縮ファイルの解凍が始まります。

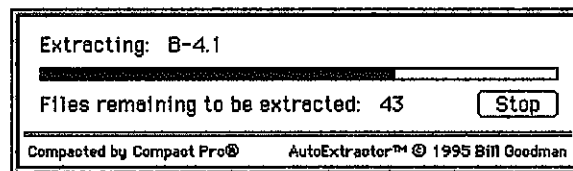


図 2 - 4 CASCADE.sea圧縮ファイル解凍処理ウィンドウ

解凍処理が終了すると図 2 - 4 で指定された場所（フォルダ）にCASCADEという名称でフォルダが作成されます。CASCADEフォルダの所在を確認後、配布CASCADEフロッピーディスクをドラッグしてください。

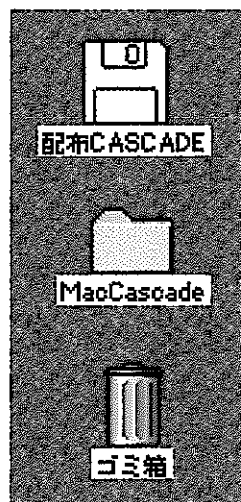


図 2 - 5 デスクトップ上に作成されたCASCADEフォルダ

CASCADEフォルダをダブルクリックし、CASCADEフォルダ内に図2-6に示すファイルおよびフォルダが存在することを確認します。

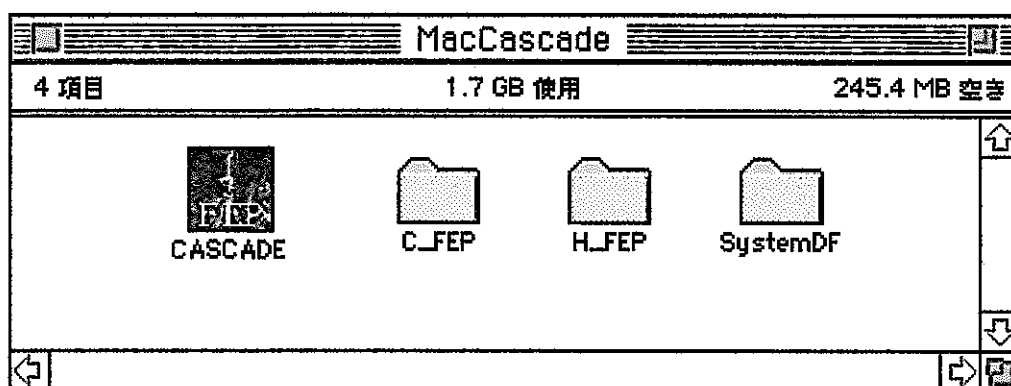


図2-6 CASCADEフォルダの内容

CASCADEの処理および操作は全てCASCADEフォルダ内で行います。

- CASCADEアプリケーションファイル：CASCADE動作用アプリケーションファイル。
- C_FEPフォルダ：最新の個別FEPファイルを格納するフォルダ。
- H_FEPフォルダ：処理済個別FEPファイル保管フォルダ
- SystemDFフォルダ：CASCADEアプリケーション設定ファイル格納フォルダ

CASCADEの通常操作では、CASCADEアプリケーションファイルを除き、直接アクセスすることはありません。なお、SystemDFフォルダはCASCADEアプリケーション動作環境ファイルを含んでいますので変更しないようお願いします。

3 起動と終了

3.1 CASCADEの起動

CASCADEフォルダ内のCASCADEアプリケーションアイコンをダブルクリックすることによりCASCADEは起動されます。



図3.1-1 CASCADEアプリケーションアイコン

CASCADEの起動を示すプラッシュウィンドウ表示（1～2秒で消える）後、図3.1-2に示すログインウィンドウが表示されます。

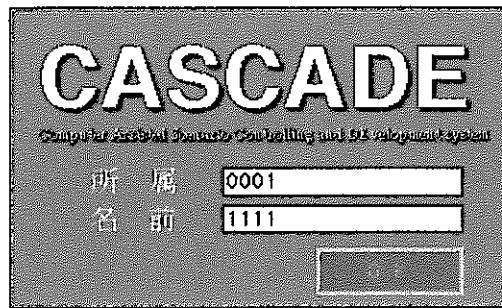


図 3. 1-2 ログインウィンドウ

ログインウィンドウの所属フィールド、名前フィールドに入力します。各フィールドは、半角全角すべての文字が入力可能です。一度入力すると次回からは前回入力した所属、名前が表示されます。変更がなければOKボタンをクリックするかリターンキーを押下してください。CASCADEのログインウィンドウは、一般のソフトウェアのようにユーザーの使用制限を目的としたものではありません。そのことから、ログインウィンドウの所属、名前フィールドは未入力（スペース）でもシステムの起動に支障はありませんが、CASCADEの目的を御理解いただき必ず入力をお願いいたします。

	FF 層名	HF 層名	BF 層名	OP 層名	G 層名
物理現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
物質移動現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
放射線学的現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
イベント	H-7		OP-7		

全終了 | 全終了 | サブID | 終了

図 3. 1-3 階層マトリクスウィンドウと制御ウィンドウ

ログインウィンドウのOKボタンをクリックされると図 3. 1-3 のウィンドウが表示されます。CASCADEは、図 3. 1-3 の階層マトリクスウィンドウを開始ウィンドウとして操作します。

3. 2 CASCADEの終了

CASCADEの終了は、2つの方法で行うことができます。

(1) 制御ウィンドウからの終了

図 3. 1-3 に示す制御ウィンドウの終了ボタンをクリックすることによりCASCADEは終了します。制御ウィンドウは、CASCADE動作中は常時画面の下部に表示されています。

(2) ウィンドウメニューからの終了

ウィンドウメニューのファイル・プルダウンメニューの終了項目を選択することによりCASCADEは終了します。

ファイル	
開く	⌘O
保存	⌘S
ページ設定...	
作業データ印刷	⌘D
ファイル印刷	⌘P
ウィンドウ印刷	⌘W
終了	⌘Q

図 3. 2 - 1 ファイル・プルダウンメニュー

4 ウィンドウとメニュー

4. 1 ウィンドウの種類と操作

CASCADEのウィンドウの種類はおよそ次のとおりです。

- 階層マトリクスウィンドウ
- サブ・マトリクスウィンドウ
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ
- 個別FEP内容ウィンドウ
- 内容変更理由記述ウィンドウ
- 制御ウィンドウ

その他に保存やテキスト検索時等のダイアグラム・ウィンドウがありますが、ほぼ一般のソフトウェアに準拠していることから、詳細な説明は割愛しています。

4. 1. 1 階層マトリクスウィンドウ

階層マトリクスウィンドウは、ログインウィンドウ処理後に表示されサブ・マトリクス項目を選択するために用います。

	FEP母層	NF母層	ベントナイト	イベント	物質固体系
熱的現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
物質移動現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
放射線学的現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
イベント		H-7		OP-7	

7

図 4. 1-1 階層マトリクスウィンドウと制御ウィンドウ

サブ・マトリクス項目の選択は、ウィンドウ内のH-1やB-4のボタンをクリックします。今回配布したCASCADEバージョンでは、次のボタンをサポートしています。

B-1, B-3, B-4, G-4, H-4, OP-1, OP-3, OP-4

選択ボタンのクリックにより、選択されたサブ・マトリクスウィンドウ（図 4. 1-2 参照）が表示されます。

4. 1. 2 サブ・マトリクスウィンドウ

サブ・マトリクスウィンドウは、個別FEPの情報（FEP内容、ローカルID）の表示を選択するために用います。

B-4 ベントナイトの化学的現象・特性	
●B-4.1 ベントナイト空降水の化学	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.2 ベントナイトの鉱物組成・特性	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.3 ベントナイト中のガス（空気）	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.4 ベントナイト中の微生物の活動	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.5 ベントナイト中の有機物	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.6 ベントナイトコロイドの形成	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
●B-4.7 塩の置換	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>
	<input type="button" value="関連ID"/> <input type="button" value="FEP内容"/>

図 4. 1-2 サブ・マトリクスウィンドウ

関連IDボタン : 当該個別FEPのローカルIDを表示します。

FEP内容ボタン : 当該個別FEPの情報を表示します。

ウィンドウの左上に配置されている■ボタンは、本ウィンドウを閉じます。（ウィンドウのクロー

ズ)

4. 1. 3 ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウは、サブ・マトリクスウィンドウ（図4.1-2参照）の関連IDボタンから表示されます。ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウは、当該個別FEPの因果関係（原因、結果）を表示します。

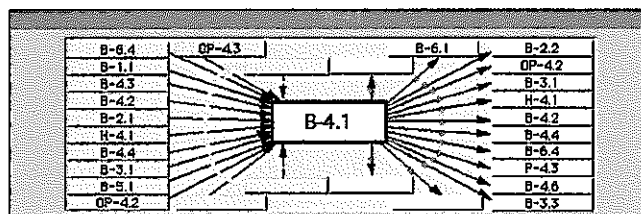


図 4. 1 - 3 ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウの左右および中心に配置されている各FEP番号は、中心部に表示されている当該FEP番号の個別FEP内容から因果関係を抽出して表示しています。図 4. 1 - 3 の左右に示す因果関係（原因、結果）のFEP番号は、各々ボタンとなっておりクリックすると選択したFEP番号を中心としたローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウを表示します。

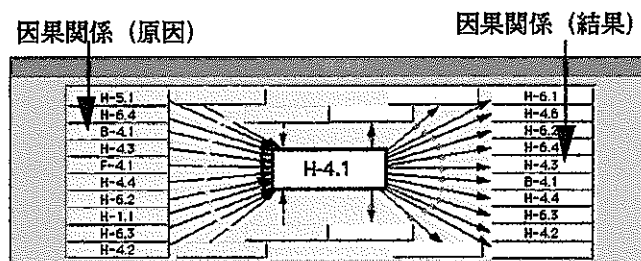


図 4. 1 - 4 ローカルIDウィンドウ

また、ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウの因果関係（原因、結果）を示すFEP番号ボタンと当該FEP番号を結ぶ矢印の間に配置されている青色（原因）または赤色（結果）の●は当該FEPとの因果関係内容を表示します。

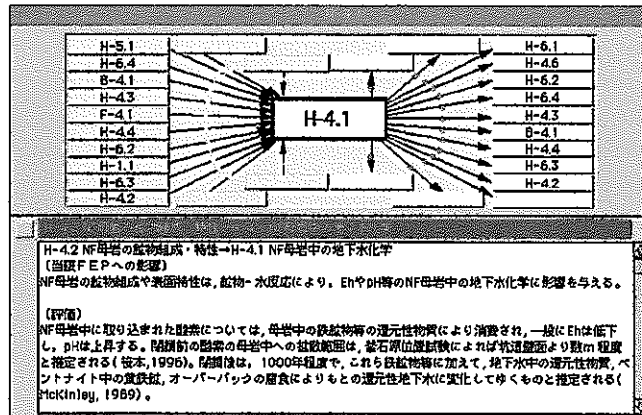


図 4. 1 - 5 因果関係 (原因) 内容の表示

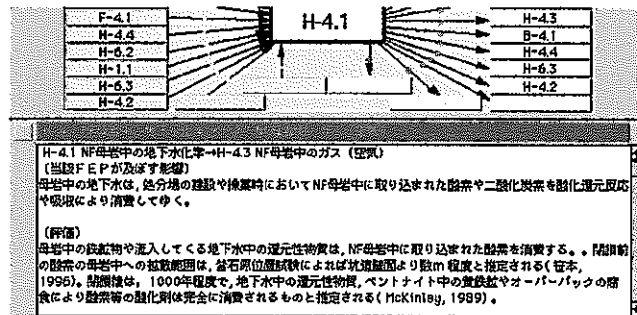


図 4. 1 - 6 因果関係 (結果) 情報の表示

中心部の当該FEP番号を示す部分をクリックすると、因果関係を除く当該FEP内容を表示します。

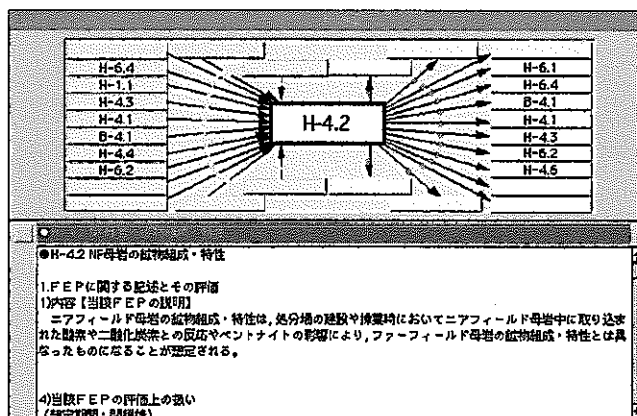


図 4. 1 - 7 当該FEP情報の表示

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウから表示される因果関係 (原因、結果) 内容および当該FEP内容は表示のみとしています。内容の変更は、次項の個別FEP内容ウィンドウを用いて

行います。個別FEP内容ウィンドウで変更された内容は、ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウで表示される各情報に反映します。

4. 1. 4 個別FEP内容ウィンドウ

個別FEP内容ウィンドウは、サブ・マトリクスウィンドウ（図4.1-2参照）のFEP内容ボタンから表示されます。個別FEP内容ウィンドウを用いて当該FEPの内容を変更することができます。個別FEP内容ウィンドウは、4. 1. 5項に示す内容変更理由記述ウィンドウと一対となっています。

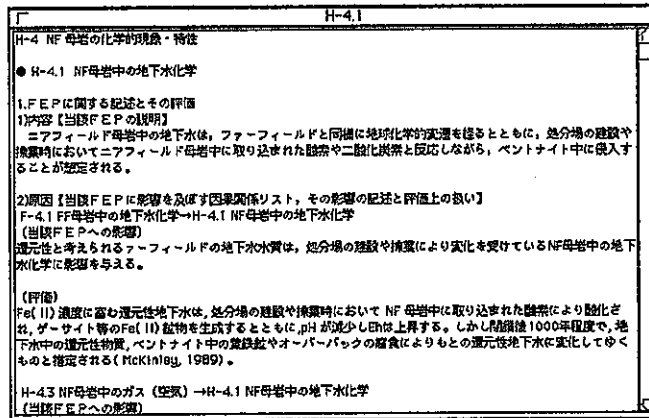


図 4. 1 - 8 個別FEP内容ウィンドウ

個別FEP内容ウィンドウの使用方法は、一般のテキストエディタ用アプリケーションとほとんど同じです。なお、個別FEP内容ウィンドウに表示される個別FEP内容は、常に最新内容を表示します。個別FEP内容ウィンドウ内の表示内容を変更後、ウィンドウ・クローズボックスのクリックまたはメニューの保存選択を行うと図 4. 1 - 9 に示すダイアログが表示されます。



図 4. 1 - 9 保存確認ダイアログ

- 取消 : 作業中のウィンドウに戻ります。
- 保存無し : 内容変更なしでウィンドウを閉じます。
- 保存する : 内容を変更して保存後ウィンドウを閉じます。

図 4. 1 - 10 は、保存時に処理する個別FEP内容ファイルについて示したものです。個別FEPフォルダと履歴ファイルフォルダに最新内容を格納します。個別FEPフォルダに格納した情報ファイルは次回に個別FEP内容ウィンドウ実行時に表示されます。

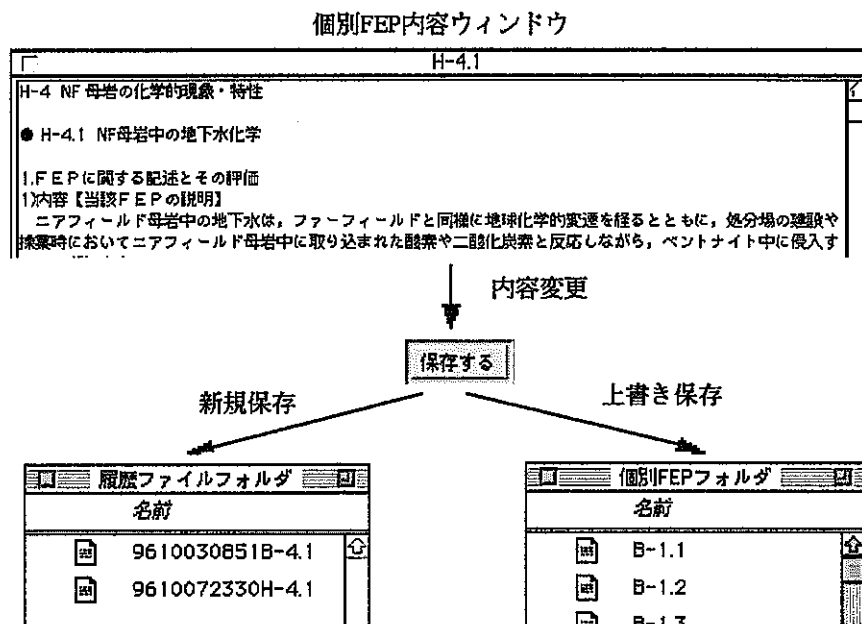


図 4. 1 - 1 0 保存時の個別FEP情報ファイル

4. 1. 5 内容変更理由記述ウィンドウ

内容変更理由記述ウィンドウは、4. 1. 4項の個別FEP内容ウィンドウの内容を変更した理由を入力するために用います。内容変更理由記述ウィンドウは、個別FEP内容ウィンドウと対になっており、常に最新内容が表示されます。

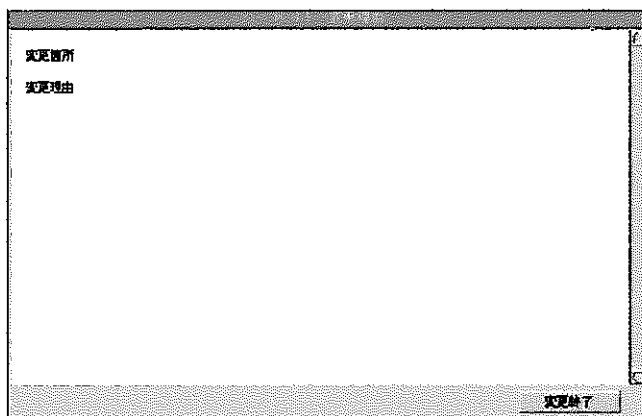


図 4. 1 - 1 1 内容変更理由記述ウィンドウ

使用方法は個別FEP内容ウィンドウとほぼ同じです。変更箇所、変更理由を入力終了後変更終了ボタンをクリックすることにより内容が保存されます。なお、ウィンドウ内に表示されている「変更箇所」「変更理由」は、処理毎に表示されます。

4. 1. 6 制御ウィンドウ

制御ウィンドウは、CASCADE起動中常時画面上に表示されています。本バージョンでは、階層マトリクスウィンドウの表示とCASCADE終了のために用います。

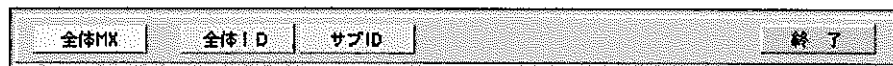


図 4. 1-12 制御ウィンドウ

本バージョンでは、全体IDボタンとサブIDボタンは未対応でアクションは設定されておりません。

4. 2 メニューの種類と操作

CASCADEのウィンドウメニューは4種類で、それぞれプルダウン・メニューとなっています。

- ファイルメニュー
- 編集メニュー
- 検索メニュー
- 書式メニュー



図 4. 2-1 ウィンドウ・メニュー

各メニューおよびプルダウン・メニューの選択項目は、ウィンドウの内容により選択可能な項目と選択不可能な項目に分かれています。選択不可能な項目に関しては画面上に半透明で表示されます。



図 4. 2-2 選択可能と不可能なメニュー表示例

4. 2. 1 ファイルメニュー

ファイルメニューは、最前面に表示されているウィンドウに対して保存や印刷等の処理を行うために使用します。また、CASCADEの終了もこのメニューで行えます。

ファイル	
開く	⌘O
保存	⌘S
ページ設定...	
作業データ印刷	⌘D
ファイル印刷	⌘P
ウィンドウ印刷	⌘W
終了	⌘Q

図 4. 2-3 ファイルメニュー

(1) 開く

「開く」は、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウで処理した過去の情報を表示する場合に選択します。「開く」で表示された内容は、1つのウィンドウに選択した個別FEP内容と変更内容を表示します。最初に個別FEP内容を表示し、その後ろに変更内容を表示します。

(2) 保存

個別FEP内容ウィンドウで内容変更後、保存する場合に選択します。(4. 1. 4項の個別FEP内容ウィンドウを参照)

(3) ページ設定

印刷の設定を行います。

(4) 作業データ印刷

個別FEP内容ウィンドウの全体内容をテキスト印刷する場合に使用します。個別FEP内容ウィンドウが最前面に表示されている時のみ有効です。

(5) ファイル印刷

作業データ印刷は、最前面（現在表示中）の内容を印刷しますが、ファイル印刷は、既存（履歴ファイル等）の印刷に用います。ファイル印刷を選択すると、印刷ファイル選択ダイアグラムが表示されます。

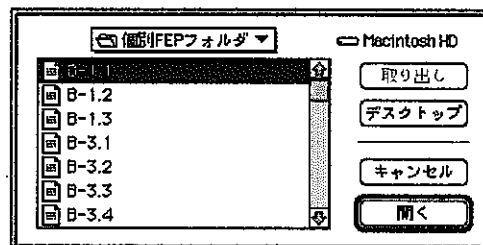


図 4. 2-4 印刷ファイル選択ダイアグラム

(6) ウィンドウ印刷

最前面に表示されているウィンドウをウィンドウ単位で印刷する場合に使用します。

(7) 終了

CASCADEを終了させます。

4. 2. 2 編集メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時にのみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用します。

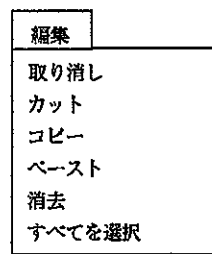


図 4. 2 - 5 編集メニュー

(1) 取り消し

1回前に編集メニュー項目を用いて処理した内容を取り消します。

(2) カット

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをカットし一時的にメモリ内に保存します。マウス・ポインタで指定した範囲のテキストは消されます。

(3) コピー

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをコピーし一時的にメモリ内に保存します。マウス・ポインタで指定した範囲のテキストは、消されません。

(4) ペースト

マウス・ポインタで指定した位置に「カット」または「コピー」で一時的にメモリ内に保存されたテキストを付け加えます。

(5) 消去

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをメモリ内に保存せずに消去します。

(6) すべてを選択

マウス・ポインタで全範囲テキストを指定したことと同等です。

4. 2. 3 検索メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時のみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用します。

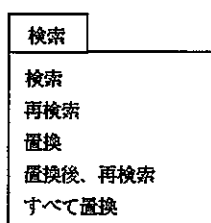


図 4. 2-6 検索メニュー

検索メニュー内のいずれかの項目を選択すると表示されているテキスト・フィールド内容のテキスト検索用ウィンドウが表示されます。テキスト検索用ウィンドウの「検索文字列」フィールドに目的とするテキストを入力し「実行」ボタンをクリックすることにより、合致するテキスト検索を開始します。

「置換文字列」フィールドは、「検索文字列」フィールドで入力したテキストが検索された場合に検索テキストを置き換えるテキストを入力します。

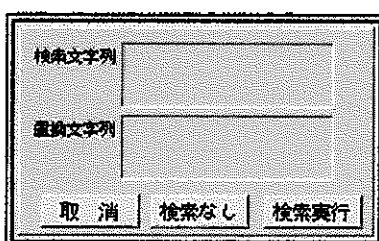


図 4. 2-7 テキスト検索用ウィンドウ

(1) 検索

「検索文字列」フィールドに入力されたテキストをマウス・ポインタの位置から最初に合致するテキストを検索します。検索実行はテキスト検索用ウィンドウの「検索実行」ボタンがクリックされた時に開始します。

(2) 再検索

検索項目で合致したテキストの次の合致するテキストを検索します。同一テキストがあると思われる場合は再検索を繰り返します。

(3) 置換

「検索文字列」フィールドに入力されたテキストをマウス・ポインタの位置から最初に合致するテキストを検索後、「置換文字列」フィールドに入力されているテキストに置き換えます。「置換文字列」フィールドに入力されている場合のみ有効です。

(4) 置換後、再検索

置換により置き換えられたテキストから、次の同一テキストを検索し置き換えます。同一テキストがあり、置き換える場合は置換後、再検索を繰り返します。

(5) すべてを置換

置換および置換後再検索は、マウス・ポインタの位置から順に1回ずつ検索、置換を行いますが、すべて置換は内容すべての検索合致テキストを置き換えます。

4. 2. 4 書式メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時のみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用します。書式メニュー項目でテキスト内容のフォントやサイズまたはスタイルを変更することができます。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする書式メニュー項目で行います。

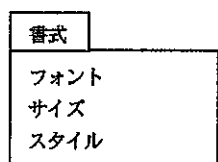


図4. 2-8 書式メニュー

(1) フォント

フォントは動作させるMacintoshに登録されているフォント・メニューが表示されます。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とするフォントを指定します。

(2) サイズ

サイズは文字の大きさを変更させる場合に使用します。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする文字サイズを指定します。

(3) スタイル

スタイルは文字スタイルを変更させる場合に使用します。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする文字スタイル（太文字や斜体文字等）を指定します。

書式メニューで設定したフォント、サイズおよびスタイルは保存時ファイルおよび現表示ウィンドウに反映しますが、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウの起動時は常にOOSAKA 12ポイントで表示します。なお、ファイルメニューの「開く」項目選択で表示したウィンドウのテキストは設定したフォントとなります。

5 注意事項

CASCADEを利用するにあたり、基本的な注意事項を示します。

5.1 ファイルおよびフォルダの扱い

CASCADEは2項のインストールの説明で記述したとおり1つのファイルと3つのフォルダで構成されています。

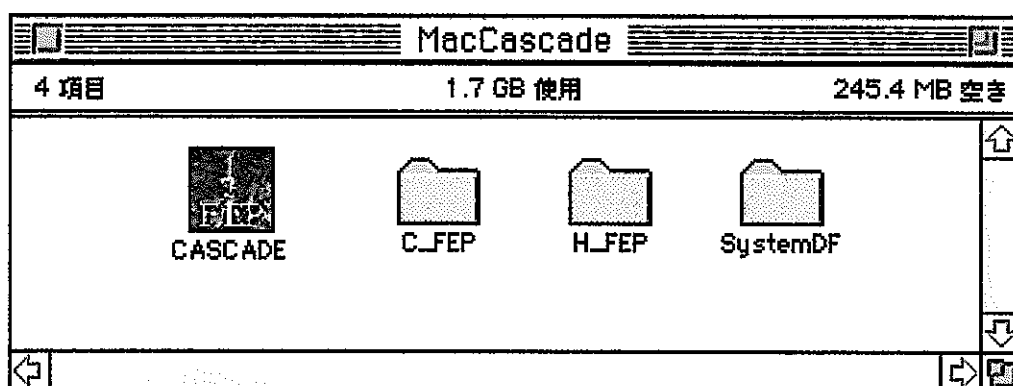


図5.1-1 CASCADEのファイルとフォルダ

(1) CASCADEアプリケーション

CASCADE動作アプリケーションファイルです。消去はもちろん他のフォルダに移動も行わないで下さい。

(2) 個別FEPフォルダ

最新の個別FEPファイルが格納されているフォルダです。本フォルダに格納されている個別FEPファイルから個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウに表示します。ファイル名の変更または消去をするとアプリケーションは誤動作します。また、テキストエディタで直接ファイルを変更すると最新情報として個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウに表示されますが、履歴管理が不可能となりますので必ずCASCADEのウィンドウから変更して下さい。

(3) 履歴ファイルフォルダ

処理済個別FEPファイルが保管されているフォルダです。個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウで変更し保存したファイルが格納されます。履歴ファイル名は次の方法で名称付けています。

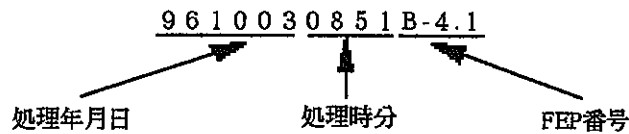


図 5. 1 - 2 履歴ファイル名称

ファイルメニューの「開く」項目を用いて過去のFEP情報を参照する際は、このファイル名称を利用して下さい。

(4) SystemDFフォルダ

CASCADEアプリケーション設定ファイルを格納しているフォルダです。アプリケーションの動作に影響しますので、フォルダ名の変更および移動や格納ファイルの変更は行わないでください。

5. 2 個別FEP情報内容変更について

個別FEP内容ウィンドウを用いての内容変更時の注意事項は次のとおりです。規定外の処理を行うとアプリケーション誤動作の原因となります。

(1) 因果関係（原因）情報の変更

因果関係（原因）情報は、ローカルIDウィンドウの表示に反映しています。既存情報の変更および因果関係（原因）の追加時の注意事項を図 5. 2 - 1 に示します。

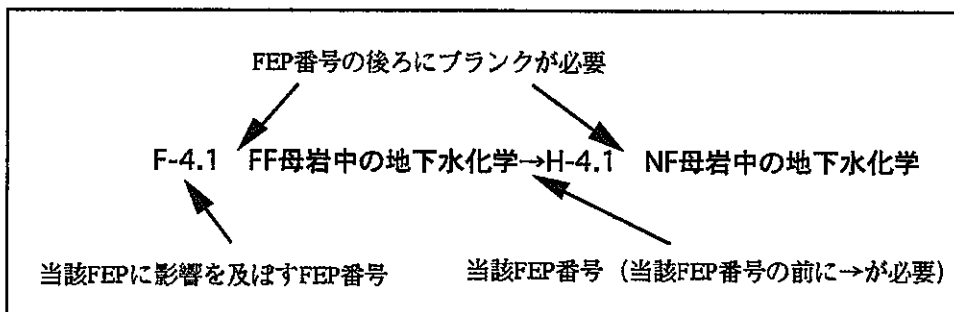


図 5. 2 - 1 因果関係（原因）情報変更・追加時の注意

(2) 因果関係（結果）情報の変更

因果関係（結果）情報は、ローカルIDウィンドウの表示に反映しています。既存情報の変更および因果関係（結果）の追加時の注意事項を図 5. 2 - 2 に示します。

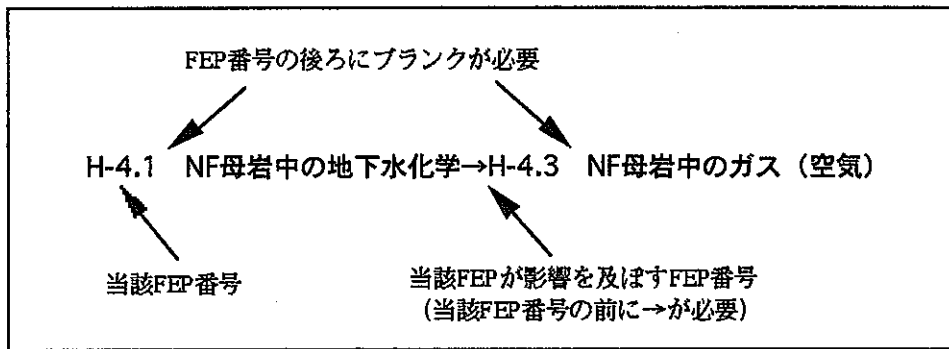


図5. 2-2 因果関係（結果）情報変更・追加時の注意

(3) その他

個別FEP情報内容中にCASCADEがウィンドウに表示するために使用している文（行）が2ヶ所あります。削除をしないでください。

● 1ヶ所目

最終因果関係（結果）情報項と4)当該FEPの評価上の扱い項の間 ***** 文（行）

H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性
 [当該FEPが及ぼす影響] NF母岩中の地下水化学は、鉱物-水反応によりNF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

【評価】
 NF母岩の地下水中に取り込まれた酸素は、母岩中の鉄鉱物等を酸化させゲージサイト等の鉄酸化鉱物を表面に形成する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本,1996)ため、鉄鉱物を有意に含む母岩の表面は、これら鉄酸化鉱物の被膜でコーティングされる。

***** ←————— 1ヶ所目

4)当該FEPの評価上の扱い
 (想定期間：閉鎖後)
 処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた空

図5. 2-3 システム使用文（行）その1

● 2ヶ所目

4.諸外国での取扱い項と変更箇所情報の間 /-----/ 文（行）

4. 諸外国での取扱い

● Kristallin- I (Nagra, 1994)

Kristallin- I では、NF 母岩の地下水化学に着目した評価は行われていない。しかし、掘削から閉鎖、処分に至る一連のNF化学の定性的評価が行われている (McKinley et al, 1989)。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ McKinley et al (1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

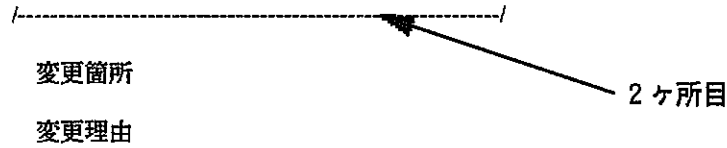


図5. 2-4 システム使用文(行) その2

簡易FEP管理ソフトウェア
(英 文)

簡易操作説明書

[Contents]

1	Introduction	1
2	Features	1
3	System requirements	1
4	Installation	1
5	How to work with windows	3

PROGRAM for processing the contents of FEP (CASCADE)

1. Introduction

This program "CASCADE: Computer Assisted Scenario Controlling and DEvelopment system", developed on a Macintosh personal computer, is designed to process the contents of FEP developed and edited in the form of a document file on the word processor via a GUI, to select by mouse those contents of the FEP you want to see, and display influence diagrams on the screen without difficulty. The program is subject to further improvements and addition of new functions for a wider use among the users.

2. Features

Following are some of CASCADE's features:

- Local Influence Diagrams are displayed from the Sub Matrix window;
- Contents of Individual FEPs are displayed from the Sub Matrix window;
- Local Influence Diagrams are displayed from the Sub Influence Diagram;
- Contents of Cause-effect Relationships are displayed from the Local Influence Diagrams;
- Local Influence Diagrams are switched from one FEP number to another number;
- Local Influence Diagrams are generated from the Contents of Individual FEP.

3. System requirements

- Operating system : MacOS Version 7.1 or greater
- Total memory : 5 MB or greater recommended
- Free memory : 2 MB or greater recommended
- Display : 13-inch or larger color monitor, 256 colors available

4. Installation

The floppy disk delivered to you stores the demonstration version of CASCADE compressed with Macintosh software, Compact_Prol.51.



CASCADE.sea

Fig.4-1 CASCADE stored on the floppy disk

To install CASCADE on your hard drive proceed as follows:

- (1) Double-click the file icon in the floppy disk folder, then the Compact_Pro1.51 Diagram window will open.
- (2) After selecting the destination folder for CASCADE on the Compact_Pro1.51 Diagram window, click **Extract ⌘E**. The CASCADE demonstration version will be decompressed and a MacCascade folder will be created in the selected folder. (The operating environment for the CASCADE demonstration version is all defined in the created MacCascade folder.)

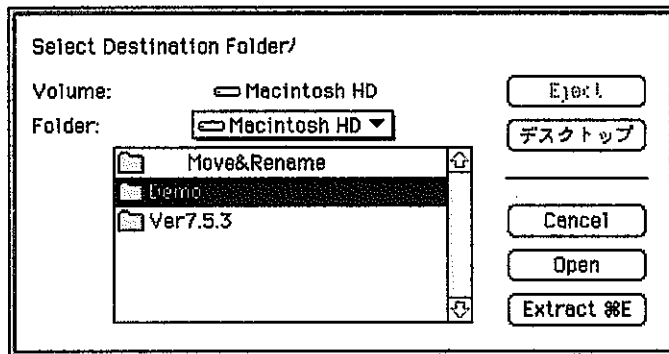


Fig.4-2 Compact_Pro1.51 Diagram

- (3) After making sure that all the files and folders shown in Fig.4-3 are stored in the destination folder, eject the floppy disk from the floppy disk drive.

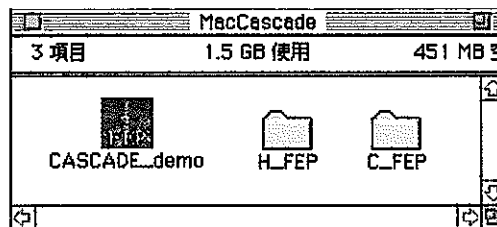


Fig.4-3 MacCascade folder

The above steps are all that are necessary to complete the installation of CASCADE.

To start the CASCADE: Double-click the CASCADE_Demo icon in the MacCascade

During the installation of CASCADE, no CASCADE-based files other than those in the MacCascade folder are created. If you do not need the CASCADE demonstration version, you should remove the MacCascade folder.

5. How to work with windows

CASCADE has the following windows. Explanation of the window menu is omitted from this document as they are almost the same as those of other software programs currently sold on the market.

- ◆The FEP Matrix window ;
- ◆The Control window ;
- ◆The Sub Matrix windows;
- ◆The Sub Influence Diagram window;
- ◆The Local Influence Diagram windows;
- ◆The Contents of Individual FEPs windows;
- ◆The Cause-Effect Relationship Text List windows.

(1) The FEP Matrix and Control windows

FEP Matrix					
	F.F. Host Rock	N.F. Host Rock	Buffer Material	Overpack	Vitrified Waste
Thermal phenomena and properties	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
Hydrological phenomena and properties	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
Mechanical migrational phenomena and properties	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
Chemical phenomena and properties	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
Material phenomena and properties	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
Radiological phenomena and properties	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
Events	H-7		OP-7		

Matrix Diagram Sub I.D. Quit

Fig. 5-1 FEP Matrix and Control windows

The FEP Matrix and Control windows are the first ones to appear on the display after the log-in to start CASCADE is finished. The FEP Matrix window allows you to select a Sub Matrix window from the FEP Numbers to display them. The Control window allows you to select and display the Sub Influence Diagram. In this demonstration version of CASCADE, information

in the FEP Matrix and Control window can be selected as follows:

◆ The FEP Matrix window

Each of the FEP Number buttons B-1 B-3 B-4 G-4 H-4 OP-1 OP-3 OP-4 allocated in the window displays the Sub Matrix window for the respective FEP Number.

◆ The Control window

Matrix Diagram button : displays the Matrix window.

Sub I.D. button : displays the Influence Diagram related to the bentonite.

Quit button : quits the CASCADE program.

(2) The Sub Matrix windows

B - 4 Chemical phenomena and properties of Buffer Material		
B-4.1 Chemical of groundwater of Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.2 Mineral formation properties of Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.3 Gas(Air) in Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.4 Activities of microorganism in Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.5 Organic matter in Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.6 Formation of Colloid by Buffer Material	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
B-4.7 Accumulation of salt	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>
	<u>Influence Diagram</u>	<u>Document</u>

Fig.5-2 Sub Matrix window

The Sub Matrix windows are displayed from the Matrix window and designed to display the Influence Diagrams and Contents for the Individual FEPs.

Influence Diagram buttons : display the Influence Diagram for the specified on the same line.

Document buttons : display the Text Lists of the FEP specified on the same line.

(3) The Sub Influence Diagram window

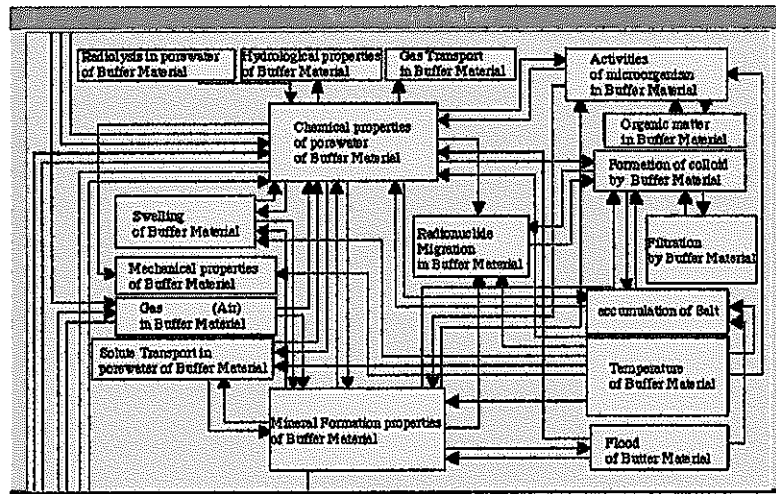


Fig. 5-3 Sub Influence Diagram window

The Sub Influence Diagram windows are displayed from the Control window. Under the demonstration version of CASCADE, the Sub Influence Diagram window related to the bentonite is displayed. From each item of Individual FEP shown in the Sub Influence Diagram window, the Local Influence Diagram for that item can be displayed. Under the demonstration version, you can select those FEP items marked by arrows as shown in Fig.5-4.

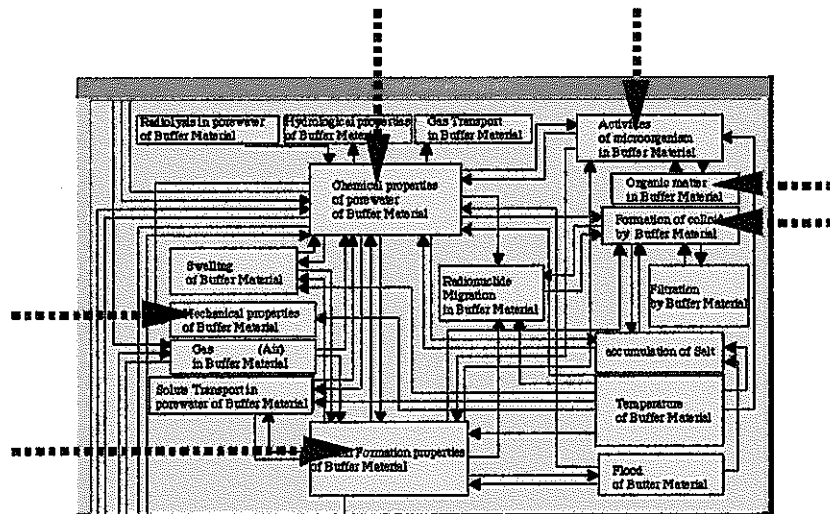


Fig. 5-4 Valid FEP Items shown by arrows on the Sub Influence Diagram

(4) Local Influence Diagram windows

The Local Influence Diagram windows are displayed from the Sub Matrix windows or the Sub Influence Diagram windows.

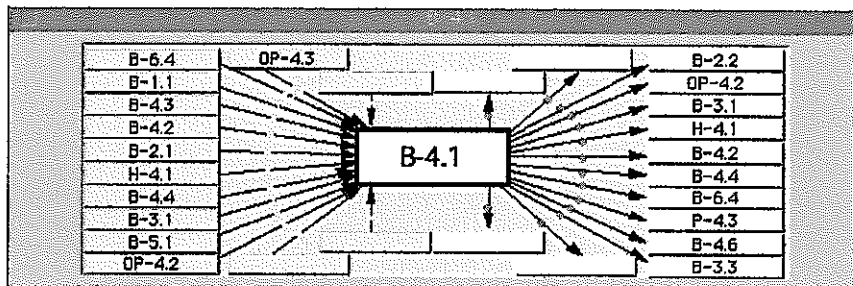


Fig.5-5 Local Influence Diagram window

The Local Influence Diagram window allows you:

- to select from the Contents of Cause-effect Relationships for the currently selected FEP (FEP No. located in Fig.5-5) the FEP No. (as a cause) influencing the FEP and FEP No. (as an effect) influenced by that FEP, and,
- to display FEP No. (as a cause) in the blue button in the left and FEP No. (as an effect) in the yellow button in the right.

The blue and yellow buttons with FEP No's. shown on them are linked with their contents of FEP. Clicking each of them displays a Local Influence Diagram window with a selected FEP No. located in the center.

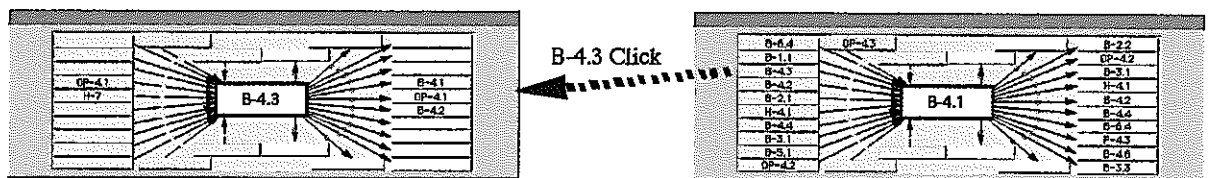


Fig.5-6 Switch between Local Influence Diagram windows by selecting FEP No.

The marks "●" on the lines connecting the currently selected FEP No. and the blue and yellow buttons mean causes and effects respectively, and are the buttons to display the Contents of Cause-effect Relationships between Individual FEPs. For example, Fig.5-7 shows the Contents of B-4.3 (as a cause) influencing B-4.1.

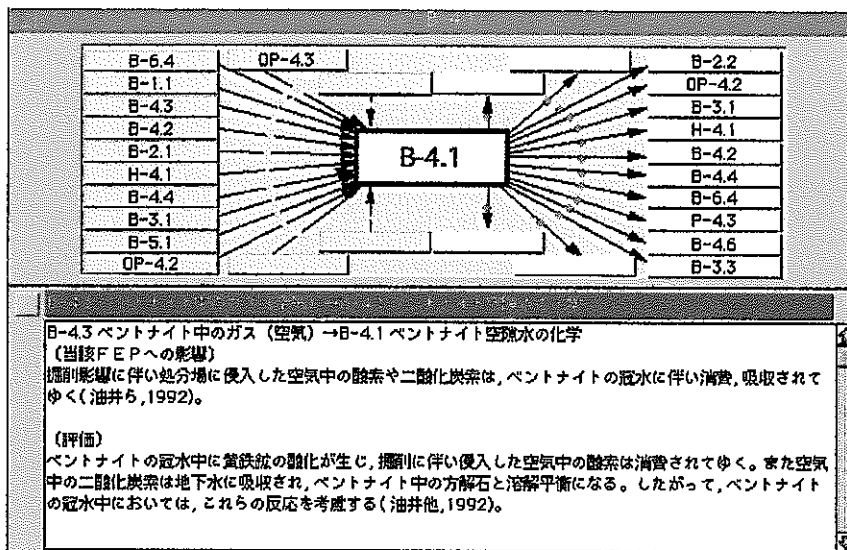


Fig. 5-7 Contents of Cause-effect Relationships

The currently selected FEP No., shown in the center, is the button to display the Contents of Individual FEPs, excluding cause-effect relationships.

(5) The windows displaying the Contents of Individual FEPs

The Contents of Individual FEPs are displayed from the Sub Matrix window. The Contents of Individual FEP windows display the Contents of Individual FEPs, including cause-effect relationships. In the Contents of Individual FEPs window you can update the contents of individual FEPs by adding or deleting information and the updated text is always displayed in the window as the latest list. With every change in the cause-effect relationships, the Local Influence Diagram is automatically updated.

This window is designed primarily for the following purposes:

- to distribute this program together with data to scientists and experts
 in a variety of industries and academia for their reviewing the FEP information on their own Macintosh and adding to it their own results and opinions, and,
- to recover those programs reviewed and revised by the above people for effectively collecting various opinions and FEP information in detail.

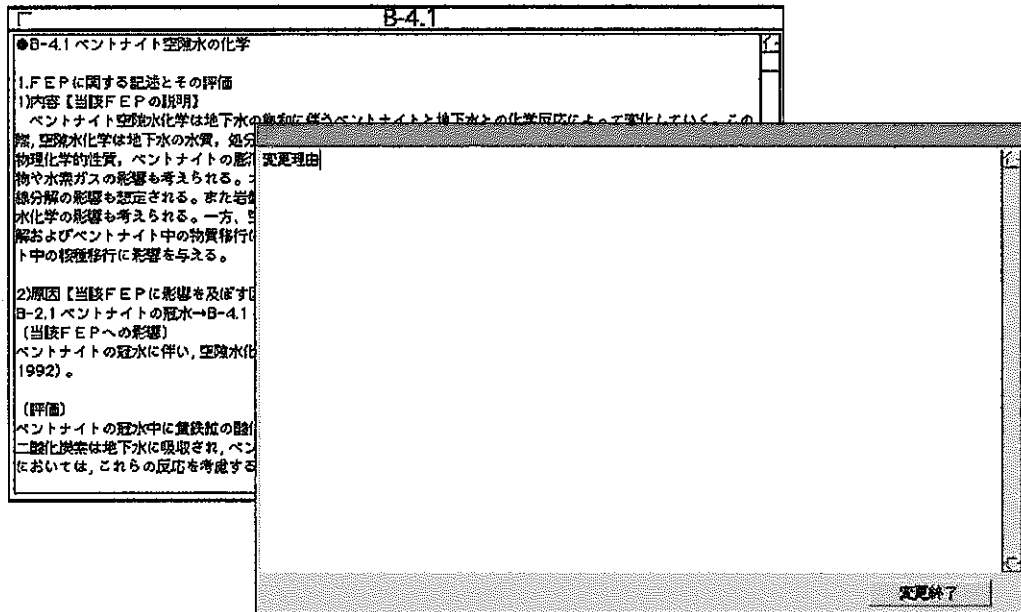


Fig.5-8 Window for the Contents of Individual FEPs and Window for Specifying the Reasons for Revision

Fig.5-8 shows the window of the Contents of Individual FEPs as the latest and the window for specifying the reasons for revision which appears on the screen after the Contents of Individual FEPs are revised.

What is written on the window for specifying the reasons for revision is stored and coupled with the Contents of Individual FEPs. This record is used to understand the history and revisions when the same contents of Individual FEPs are revised.

(6) The Log-in window

Under the CASCADE program, the Log In window is so intended to collect information from those users the program has been delivered to rather than to restrict use like usual software, log-in windows.

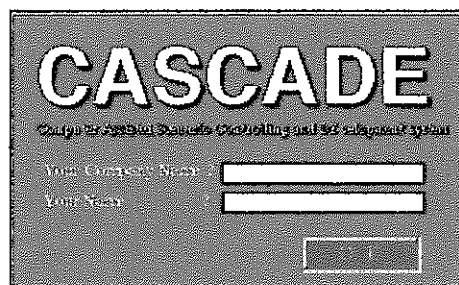


Fig.5-9 Login window

After inputting the user's name and organization, click the OK button. Then the Matrix window will appear on the screen. As mentioned earlier, the program is designed to restrict the use, so the Matrix window is displayed just by clicking the OK button without inputting the name and organization.

To sum up the above explanations, the overall window flow is shown in the Fig.5-10 (excluding the Log in window).

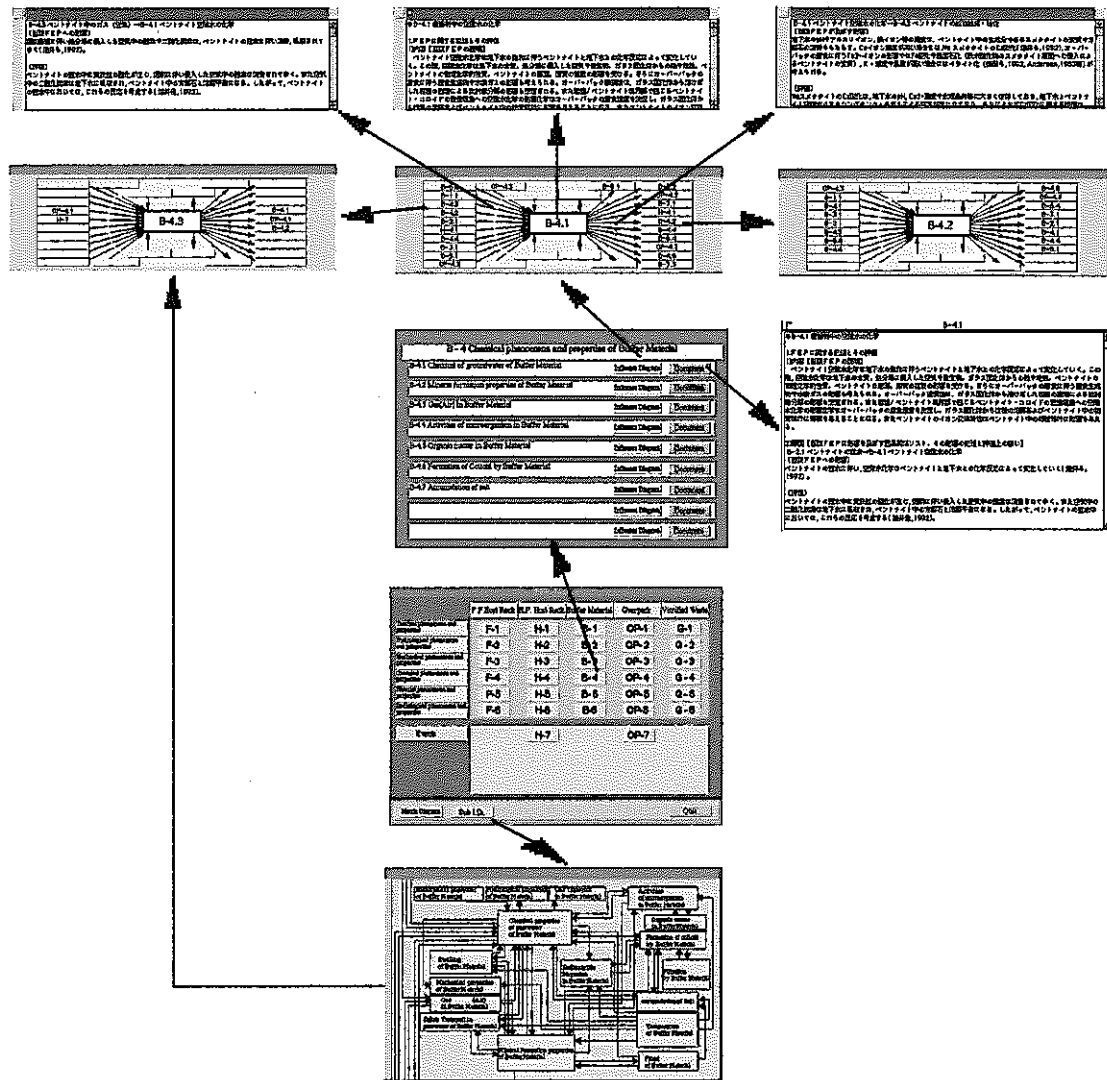


Fig.5-10 Overall Window Flow of CASCADE

**簡易FEP管理ソフトウェア (CASCADE)
運用管理要領書**

第1版

平成8年度

【 目 次 】

1	はじめに	1
2	全体構成と基本運用事項	1
2.1	全体構成	1
2.2	FEPリスト管理ソフトウェアの位置付け	3
2.2.1	データベース管理ソフトウェア	3
2.2.2	簡易FEPリスト管理ソフトウェア(CASCADE)	4
2.2.3	簡易FEPリスト表示、作成、編集ソフトウェア(配布CASCADE)	4
2.2.4	CASCADE支援ソフトウェア(CASCADE)	4
2.3	基本運用事項	5
2.3.1	動作環境基本運用事項	5
2.3.2	データベース基本運用事項	8
2.3.3	CASCADE基本運用事項	9
2.3.4	配布CASCADE基本運用事項	10
2.3.5	CASMGR基本運用事項	12
3	サーバーシステムの運用情報収集管理要領	13
3.1	サーバーシステムの運用	13
3.2	サーバーシステムの情報収集管理	17
4	CASCADE情報収集管理要領	21
4.1	特徴	21
4.2	起動と終了	21
4.2.1	CASCADEの起動	21
4.2.2	CASCADEの終了	22
4.3	ウィンドウとメニュー	23
4.3.1	ウィンドウの種類と操作	23
4.3.2	メニューの種類と操作	28
4.4	個別FEP情報内容変更について	33
4.4.1	各フォルダの扱い	33
4.4.2	FEPリスト内容の変更	33
4.4.3	その他	34
4.5	CASMGR操作要領	35
4.5.1	FEP文書表示	36
4.5.2	因果関係検査	37
4.5.3	マトリクス情報の変更	40
5	FEPリストの情報登録と整備方法	40

1. はじめに

本書は、地層処分FEP情報データベースシステムの設計・検討で行った、簡易FEPリスト管理ソフトウェア（ソフトウェア名称：CASCADE）とデータベースを利用したFEPリスト情報の収集と管理運用についての検討結果をFEPリスト情報収集管理要領書として次のとおりまとめたものである。

- (1) 全体構成と基本運用事項
- (2) サーバシステムの運用情報収集管理要領
- (3) CASCADE情報収集管理要領
- (4) FEPリストの情報登録と整備方法情報収集管理要領

2. 全体構成と基本運用事項

全体構成と基本運用事項要領は、システムの全体構成とFEPリスト管理ソフトウェアの位置づけおよび基本的運用・操作手法について記述したものである。

2. 1 全体構成

地層処分FEP情報データベースシステムは、ネットワークを利用したサーバ／クライアント方式で構成している。図2. 1-1に、地層処分FEP情報データベースシステムの全体構成を示す。

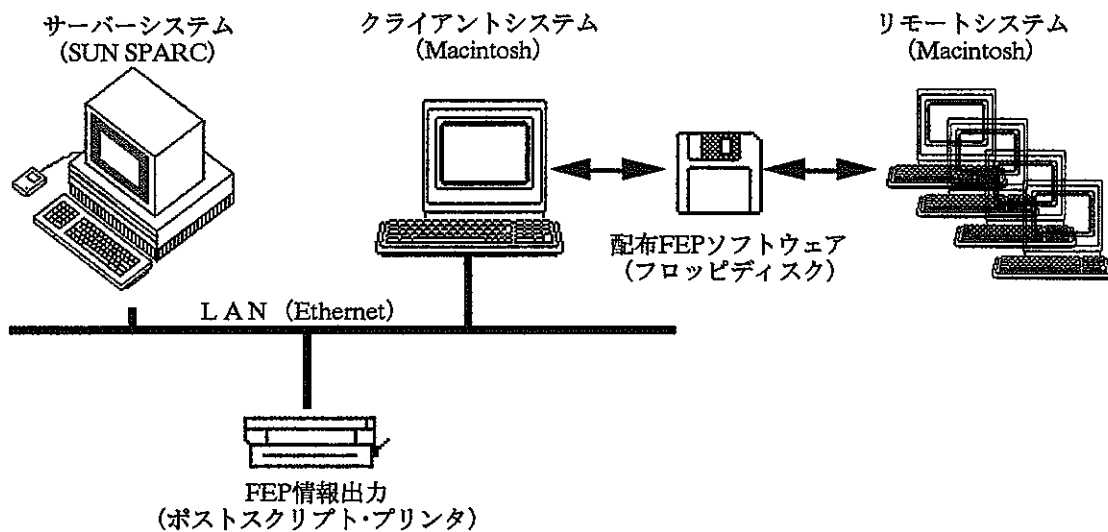


図2. 1-1 地層処分FEP情報データベースシステム全体構成

(1) サーバシステム

サーバシステムは、地層処分FEP情報データベースシステム（以下「本システム」と称す）の全ての情報を保有・管理し、クライアントにFEPに関わる情報を提供する本システムの中核を担うものである。

本システムのサーバーシステムは、オペレーティングシステムにUNIX (SunOS) を用い、FEP情報を格納・管理するデータベースとしてPOSTGRES 95を採用し構築した。ハードウェアとソフトウェアの基本仕様は次のとおりである。

a. ハードウェア

CPU : SUN SPARC
メモリー : 32MB
ディスク : 2GB
ネットワーク : Ethernet

b. 基本ソフトウェア

OS : 日本語SunOS 4. 1. 3
ウィンドウ : OpenWindow
データベース : Postgres 95

(2) クライアントシステム

クライアントシステムは、サーバーシステムのデータベースから得られたFEP情報をCASCADEを用いて目的とするFEP情報を表示する。また、必要に応じてデータベースから得られたFEP情報を変更してサーバーシステムに戻すことによりデータベース内のFEP情報を更新することができる。クライアントシステムのCASCADEを動作させるために必要なハードウェアとソフトウェアの基本仕様は次のとおりである。

a. ハードウェア

CPU : PowerPC推奨
メモリー : 32MB推奨
ディスク : CASCADEに必要な容量は最低3MB
ネットワーク : Ethernet

b. 基本ソフトウェア

OS : 漢字Talk 7. 5以上推奨

(3) リモートシステム

リモートシステムは、最新のFEP情報を配布用CASCADEを用いて参照、追加することを目的とするシステムである。リモートシステムの配布CASCADEを動作させるために必要なハードウェアとソフトウェアの基本仕様は次のとおりである。

a. ハードウェア

CPU : PowerPC推奨

メモリー : 32MB推奨
ディスク : 配布CASCADEに必要な容量は最低3MB

b. 基本ソフトウェア

OS : 漢字Talk 7.5以上推奨

2.2 FEPリスト管理ソフトウェアの位置付け

FEPリストデータ(情報)は、全てサーバーシステムのデータベースに格納されている。このFEPリストデータを管理し、目的とするFEP情報を表示したり、また外部からのFEPリストデータを収集し必要に応じ、最新FEPリストとしてデータベース再構成するためのFEPリスト管理ソフトウェアとして次のものがある。

- (1) データベース管理ソフトウェア
- (2) 簡易FEPリスト管理ソフトウェア (CASCADE)
- (3) 簡易FEPリスト表示、作成、編集ソフトウェア (配布CASCADE)
- (4) CASCADE支援ソフトウェア (CASMGR)

2.2.1 データベース管理ソフトウェア

データベース管理ソフトウェアは、サーバーシステムで動作するソフトウェアである。全てのFEPリストデータは構造化(データベースモデル)され、サーバーシステムのデータベース (POSTGRES) にテーブル形式で格納されている。このデータベースから様々なFEP情報を提供するためのデータベース管理ソフトウェア機能は次のとおりである。

- (1) FEPリスト検索表示機能
- (2) FEPリスト検索結果作成機能
- (3) FEPデータベース更新機能
- (4) マトリクス情報の作成機能
- (5) 因果関係情報の作成機能
- (6) 個別FEPリスト表示機能
- (7) 個別FEPリスト作成機能
- (8) 履歴データ表示機能
- (9) 履歴データ更新機能
- (10) 配布用FEPデータ作成機能

上記の機能は、データベース管理ソフトウェアのFEPデータベース管理ウィンドウから行うことができる。以上のようにデータベース管理ソフトウェアは、本システムのFEPリストデータの基底的役割を行い、FEPリストデータの総合管理やクライアントに対するFEP情報の提供等を行う。

2. 2. 2 簡易FEPリスト管理ソフトウェア (CASCADE)

簡易FEPリスト管理ソフトウェアCASCADEは、本システムのサーバーシステムが存在するネットワークに接続されたクライアントシステム (Macintosh) で動作するソフトウェアである。CASCADEは、サーバーシステムから提供された最新のFEPリストをMacintoshのグラフィックス・ユーザーインターフェイスに準備されたCASCADEの階層マトリクスウィンドウやインフルエンス・ダイアグラムから、目的とするFEPリストやFEP因果関係情報を表示しシナリオ解析の支援を行うソフトウェアである。CASCADEの主な機能は次のとおりである。

- (1) 階層マトリクスウィンドウの表示機能
- (2) サブ・マトリクスウィンドウの表示機能
- (3) 最新FEPリストによるインフルエンスダイアグラムの表示機能
- (4) 個別FEPリストの表示
- (5) 個別FEPリストの変更
- (6) FEP因果関係情報の表示

上記の機能に加えて、CASCADEの個別FEPリストの変更機能により変更されたFEPリストおよび配布CASCADEにより外部から収集されたFEPリストに履歴情報を付け足し、サーバーシステムに受け渡す処理機能も持つ。サーバーシステムでは、CASCADEから渡されたFEPリストを基にデータベースを更新する。

2. 2. 3 簡易FEPリスト表示、作成、編集ソフトウェア (配布CASCADE)

配布CASCADEは、2. 2. 1項で記述したCASCADEとほぼ同等の機能を持ち、サーバーシステムで作成された配布用FEPリストデータを使用してシナリオ解析の支援を行うソフトウェアである。

配布CASCADEの本来の目的は、ネットワークから切り離して使用できることから外部でのシナリオ解析のアプローチと外部の各分野の専門家からのFEPリスト情報収集である。収集されたFEPリストはクライアントからサーバーシステムに渡されデータベースに追加される。配布CASCADEとCASCADEの相違は、CASCADEがネットワーク上にあることからサーバーシステムのデータベース更新により、常時最新のFEP情報を得られるに対して、配布CASCADEは次のFEPリスト配布まで同じ情報ということである。

2. 2. 4 CASCADE支援ソフトウェア (CASMGR)

CASCADE支援ソフトウェア (CASMGR) は、マトリクス・ウィンドウやインフルエンス・ダイアグラムを用いてサーバーシステムから提供される定型的なFEPリストを表示するCASCADEや配布CASCADEと異なり、シナリオ解析者が様々な視点からFEPリストを検討する場合の支援ソフトウェアである。様々な視点とは、データベースに構造化され集積されているFEPリストを個別FEP単位だけでなく、FEPリストを構成する項目内の「モデル化に関する記述」内容について「化学的現象・特性」で「オーバーパック」に関する情報集めて (リングド・リンク) 表示するものである。

CASMGRは、ネットワーク接続でのみ動作しシステム環境はCASCADEが動作する環境と同じでよい。CASMGRの機能は次のとおりである。

- (1) リンクド・リンクFEPリスト表示
- (2) 因果関係検査
- (3) マトリクス情報の更新

上記機能で因果関係検査は、現バージョンFEPリスト間の因果関係の整合性を検査するものであり、マトリクス情報の更新は、CASCADEの階層マトリクス・ウィンドウの表示を変更するものである。

2. 3 基本運用事項

基本運用事項とは、本システムを使用するについての基本的な操作方法を記述したものである。なお、本項に記述した内容については、UNIXシステム（SunOS）とMacintoshおよびに基本的なネットワーク知識があることを前提としている。

基本運用事項は次のとおりである。

- (1) 動作環境基本運用事項
- (2) データベース基本運用事項
- (3) CASCADE基本運用事項
- (4) 配布CASCADE基本運用事項
- (5) CASMGR基本運用事項

2. 3. 1 動作環境基本運用事項

本システムは、サーバーシステムを中核としたサーバー／クライアント方式で構成されていることは前述した。そのことから、外部にあるリモートシステムの運用は別として本システムの動作環境における最低の条件として、サーバーシステムとクライアントシステムが正常に動作していることとネットワークに物理的（トランシーバーとケーブル）に接続されていることである。

(1) クライアントシステムからの接続確認

クライアントシステム（Macintosh）からサーバーシステムへの接続およびサーバーシステムが正常に動作していることの確認は、Macintosh用MacTCP Pingソフトウェアを用いる。

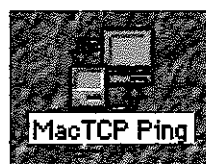


図 2. 3 - 1 MacTCP Pingソフトウェア・アイコン

MacTCP Pingソフトウェアは、自身のコンピュータ（ここではクライアント）からネットワーク上の他のコンピュータ（ここではサーバー）に試験データを送信し、応答を求めるものである。

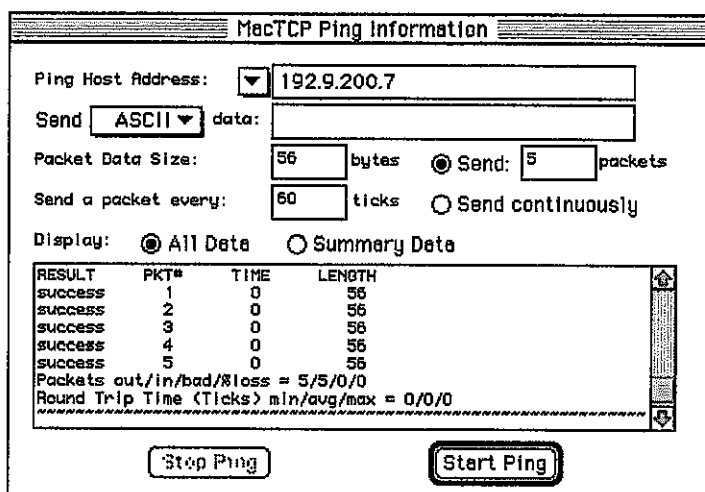


図 2. 3-2 MacTCP PingウィンドウとPING実行接続成功例

MacTCP Pingウィンドウの試験データ転送フィールドの応答結果項目（RESULT）にSUCCESSが表示されれば接続成功である。

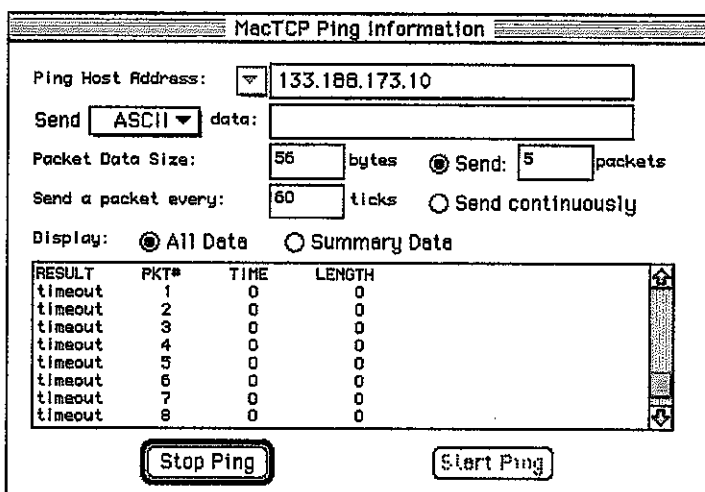


図 2. 3-3 PING実行接続失敗例

図 2. 3-3 に示すようにRESULTにtimeoutが表示され続けた場合は、相手先と接続されていないことを示している。相手先の原因であるかネットワークの状態であるかをネットワーク管理者に相談し図 2. 3-2 に示す状態を維持する。

(2) サーバシステムからの接続確認

サーバシステム (UNIX) からクライアントシステム (Macintosh) への接続およびクライアントシステムが正常に動作していることの確認は、サーバシステムの標準コマンドであるpingを使用する。pingコマンドは、クライアントシステムで記述したMacTCP Pingソフトウェアと同等の機能である。

```
akagi_kim%  
akagi_kim% ping 192.9.200.74  
192.9.200.74 is alive  
akagi_kim%
```

図 2. 3-4 サーバシステム (UNIX) によるpingコマンド接続成功例

図 2. 3-4 でpingの後ろに入力されているIP番号は、接続確認先である。pingコマンド発行後接続確認先IP番号に続いてaliveが表示されれば接続されていることを示す。また、MacTCP Pingソフトウェアと同じく試験データを送信してデータ送受信検査を行うこともできる。

```
akagi_kim% ping -s 192.9.200.74  
PING 192.9.200.74: 56 data bytes  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=0. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=1. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=2. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=3. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=4. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=5. time=2. ms  
64 bytes from 192.9.200.74: icmp_seq=6. time=2. ms  
^C  
----192.9.200.74 PING Statistics----  
7 packets transmitted, 7 packets received, 0% packet loss  
round-trip (ms) min/avg/max = 2/2/2  
akagi_kim%
```

図 2. 3-5 pingコマンドによるデータ送受信応答

pingコマンドによるデータ送受信応答は、クライアントとサーバ間の接続で正常にデータ送受信が行われているかの確認を行うものでネットワークの状態を検査するものである。


```
akagi_kim% ping 193.9.200.10
no answer from 193.9.200.10
akagi_kim%
```

図 2. 3-6 pingコマンドによる接続確認失敗例

図 2. 3-6 は、相手先と接続されていないことを示している。相手先の原因であるかネットワークの状態であるかをネットワーク管理者に相談する。

2. 3. 2 データベース基本運用事項

本システムのデータベースはPOSTGRESDBMSを採用している。データベースの基本運用は、サーバーシステムに設定されたPOSTGRESの管理運用を行うことである。POSTGRESは、サーバーシステムのブート（電源投入後の初期起動）時に自動的に動作するよう設定してある。何らかの原因でPOSTGRESが動作しない場合は、POSTGRESのデータベース管理機能であるpostmasterデーモンがサーバーシステム上で動作していることを確認する。

```
17:00 10 6:00 /usr/local/sbin/psd
17:00 7 6:00 /usr/local/sbin/psd
17:00 10 6:00 /usr/bin/psd
17:04 10 6:00 /usr/bin/postmaster ← postmaster
17:05 5 6:00 /usr/bin/psd
17:07 10 6:00 /usr/bin/psd
17:07 10 6:00 /usr/bin/psd
17:07 10 6:00 /usr/bin/psd
```

図 2. 3-7 postmasterデーモンの動作確認

図 2. 3-7 は、サーバーシステムのプロセス活動状況の一部を示したものである。プロセス活動状況は、ps-axコマンドでウィンドウに表示することができる。postmasterデーモンがプロセス活動状況に表示されない場合は、次のコマンドを入力する。

```
fuqakus% cd /usr/local/postgres#5/bin
fuqakus% ./postmaster
```

図 2. 3-8 postmasterデーモンの再起動

本システム使用中は、postmasterデーモンを終了させてはならない。

POSTGRESの動作確認は、psql FEPコマンド入力により行う。psql FEPコマンド入力後、POSTGRES開始のプロンプトが表示されFEP=>と画面に出ればPOSTGRESは正常に動作していることを示す。図 2. 3-9 は、POSTGRESの開始と終了を示したものである。

POSTGRES開始コマンド

```
postgres>psql FEP
psql (3.0.1) FEP: you are now running, type "q" to exit
Welcome to the POSTGRES interactive sql monitor.
Please read the file COPYRIGHT for copyright terms of POSTGRES.

Type ? for help on slash commands.
Type \q to quit.
Type \g or terminate with semicolon to execute query.
You are currently connected to the database: FEP

FEP>\q
postgres
```

POSTGRES終了コマンド

図 2. 3-9 POSTGRESの開始と終了コマンド

以上のようにデータベースの基本運用管理は、postmasterデーモンが動作していることとpsqlコマンドによりPOSTGRESが起動されることが確認できることである。

2. 3. 3 CASCADE基本運用事項

CASCADEは、クライアントシステム（Macintosh）上で動作するソフトウェアである。CASCADEは、図 2. 3-10 に示すアイコンで表され一般のMacintoshソフトウェアと同様にマウスによるダブルクリックにより起動する。起動後はCASCADEウィンドウで目的とする操作を行う。メニューやウィンドウ操作は、市販されている一般のMacintoshソフトウェアにほぼ準拠している。



図 2. 3-10 CASCADEソフトウェア・アイコン

CASCADEは、最新のFEP情報をサーバーシステムのデータベースより取得しCASCADEのデータとして使用している。CASCADE用のデータは、サーバーシステムの共有ディスクを使用し、変更されたFEPリストは同フォルダ内の履歴ファイルフォルダに格納される。CASCADEを操作するためには、サーバーシステムの共有ディスクをマウントする必要がある。

マウントは、Macintoshの標準機能であるAppleShareを用いて行う。

登録利用者

名前 : postgres

パスワード : post95

マウントディスク名は、postgres_macである。



図 2. 3 - 1 1 サーバシステムディスクのマウントアイコン

CASCADEおよび各フォルダが格納されているフォルダは、Macintosh内のいずれの場所に移動またはフォルダ名を変更しても機能に差し障りはないが、履歴ファイルフォルダの移動や名称およびフォルダ内の各ファイル内容を変更してはならない。

CASCADEは、動作中FEPリストデータ等をサーバシステムの共有ディスクから取得している。そのことから、CASCADE使用中は、サーバシステムのデータベース更新処理を行ってはならない。

2. 3. 4 配布CASCAD E基本運用事項

配布CASCADEは、ネットワークから切り離された単体のMacintosh上でCASCADEと同等な操作がでいるソフトウェアである。配布CASCADEは、フロッピーディスクで配布されフロッピーディスク内に圧縮された形で格納されている。

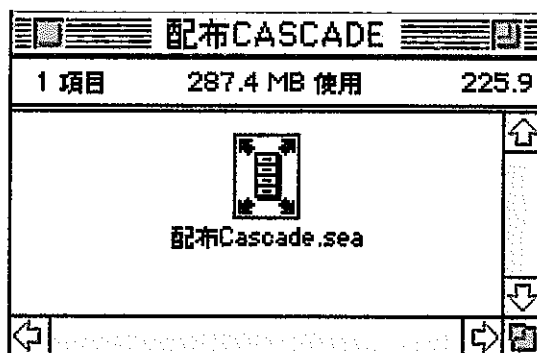


図 2. 3 - 1 2 フロッピーディスク内の圧縮配布CASCAD E

図 2. 3 - 1 2 は、配布されたフロッピーディスクの内容を示したものである。CASCADEの作成（解凍）は、フロッピーディスク内の配布Cascade.seaアイコンをマウスにてダブルクリックすることにより始まる。

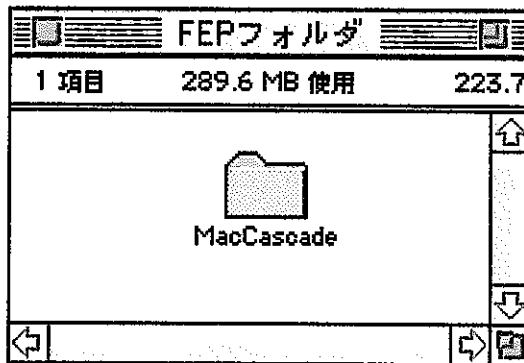
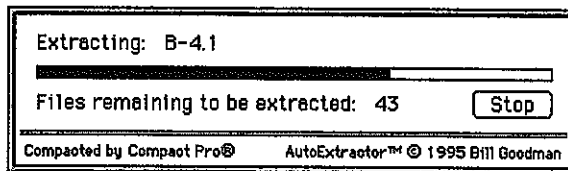
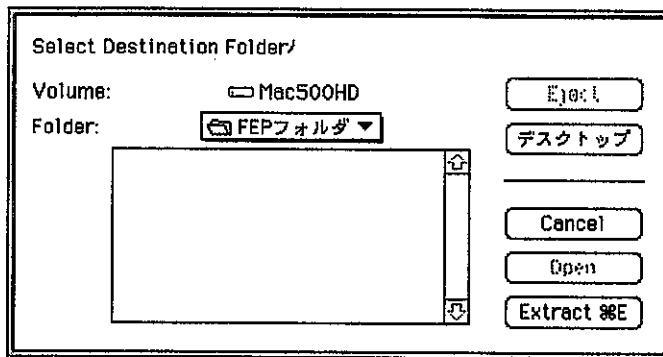


図 2. 3-13 配布CASCADEインストール手順

図 2. 3-13 は、配布フロッピーディスクからのインストール時のウィンドウを示したものである。一番上のウィンドウは、配布Cascade.seaアイコンをマウスにてダブルクリック後、配布CASCADEの格納先を指定するウィンドウであり、指定後Extractボタンにより解凍が始まる（2番目のウィンドウ）。解凍処理終了後、3番目に示すウィンドウとおりCASCADEソフトウェアおよびCASCADEデータが格納されているフォルダが作成される。図 2. 3-13 の3番目に示したウィンドウのMacCascadeフォルダの内容は、2. 3. 3項の図 2. 3-11と同じである。何らかの原因で、配布CASCADEに不具合を生じた場合でも配布フロッピーディスクから復元することができるが、変更や追加したFEPリスト内容は復元されないので他の媒体、または複写等のバックアップを行うようにする。

2. 3. 5 CASMGR基本運用事項

CASMGRは、順序的にFEP情報を表示するCASCADEと違いデータベースを利用したFEPリンクド・リストの表示や最新FEPリストの因果関係検査結果を表示させる機能を持つ。CASMGRは、サーバーシステムのデータベースと連動しており、サーバー/クライアント方式でのみ動作する。そのことから、クライアントでCASMGRを操作する場合は、サーバーシステムの指定ディスクをマウントする必要がある。マウントは、Macintoshの標準機能であるAppleShareを用いて行う。

登録利用者

名前 : postgres

パスワード : post95

マウントディスク名は、postgres_macである。



図 2. 3 - 1 4 サーバーシステムディスクのマウントアイコン

サーバーシステムディスクがマウントされたらCASMGRを起動しCASMGRウィンドウから目的とする操作を行う。なお、マウントしたディスクは、クライアントからあたかもローカルディスクのように扱うことが可能であるが、決して内容を変更してはならない。

3. サーバシステムの運用情報収集管理要領

ここでは、サーバシステムの運用と情報管理要領について記述する。

3. 1 サーバシステムの運用

サーバシステムは、SUN SPARC STATIONを使用し構築している。SUN SPARC STATIONおよびSUN SPARC STATIONのオペレーティングシステムやウィンドウシステム等の操作や運用方法については、別途計算機に付随する専門書を参照願いたい。

サーバシステムのFEP情報に関わる運用管理は、サーバシステムに用意したFEPデータベース管理ウィンドウを用いて行う。サーバシステムに次の要領でログインしOpenWindowを起動する。

```
login      : postgres
password  : post95
```

OpenWindow起動後、コマンドウィンドウよりfepwinと入力する。

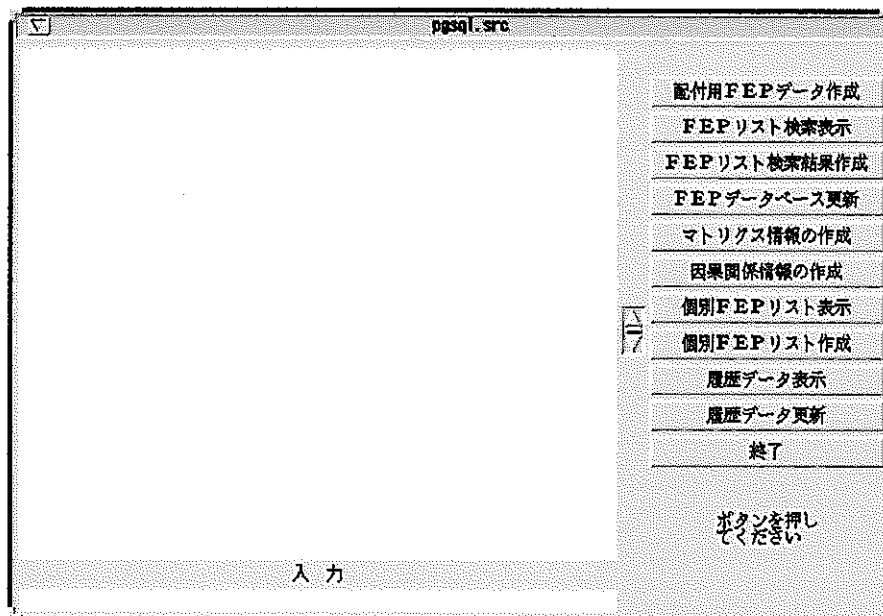


図 3. 1 - 1 FEPデータベース管理ウィンドウ

FEPデータベース管理ウィンドウは、ボタン部と表示フィールドおよび入力フィールドで構成されている。FEPデータベース管理ウィンドウは、配置されているボタンをクリックすることにより処理が行われる。

(1) 配布用FEPデータ作成ボタン

配布CASCADEに渡すための最新FEP情報を作成する。本処理終了後、クライアントのMacintoshでサーバシステムディスクをマウントし、図 3. 1 - 2 に示す配布CASCADEソフトウェアファイル

と3つの各フォルダを圧縮後、フロッピーディスクに格納する。

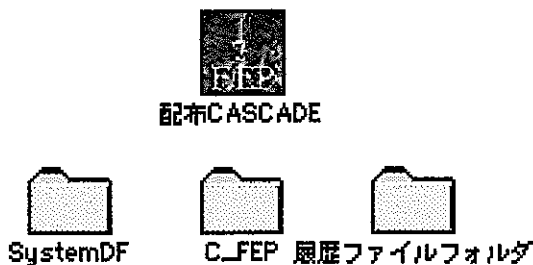


図3. 1-2 配布CASCAD E用ファイルとフォルダ

配布用FEPデータ作成ボタンは、データベースから最新（ここにいる最新とは、リスト登録日付でなくFEP評価解析者が設定してFEPリストのことである）のFEPリストを選択し、CASCAD Eデータにする。

(2) FEPリスト検索表示ボタン

FEPリスト検索表示ボタンは、データベースに登録されている最新のFEPリストからPOSTGRESのSQLコマンドを用いて目的とするリストを表示するために使用する。ボタンクリック後、入力フィールドにselect文を入力しリターンキーを押下することにより、表示フィールドにselect文の結果を表示する。

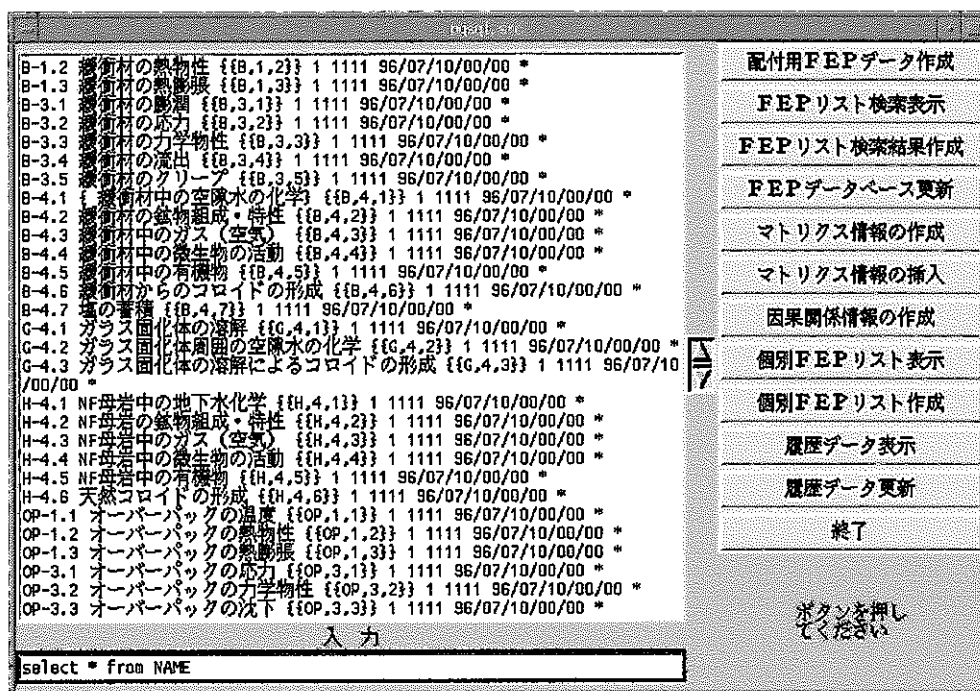


図3. 1-3 FEPリスト検索表示ボタンによる結果の表示

(3) FEPリスト検索結果作成ボタン

FEPリスト検索結果作成ボタンは、(2) FEPリスト検索表示ボタンとほぼ同等の機能であるが、select文の結果を表示フィールドに出さずCASMGに渡すためのファイルを作成する。CASMGから、このファイルを表示することができる。

(4) FEPデータベース更新ボタン

クライアントおよび配布CASCADE先から収集した更新または追加FEPリストを構造化し、データベースの各テーブルへ履歴付けをして登録する。

(5) マトリクス情報の作成ボタン

CASCADEおよび配布CASCADEの階層マトリクス・ウィンドウの表題を変更する場合に用いる。変更したマトリクス情報は、CASCADEおよび配布CASCADEに渡された時点から変更表示される。

(6) 因果関係情報の作成ボタン

データベースに登録されている最新のFEPリストの各因果関係（原因、結果）を調べて整合性を検査する。検査結果は、CASMGの因果関係検査機能でクライアントシステムで確認することができる。

(7) 個別FEPリスト表示ボタン

データベースに登録されているFEPリストから、指定された個別FEPリストを表示フィールドに表示する。ボタンクリックの後、入力フィールドに個別FEP番号（例：B-4.1）を入力しリターンキーを押下することにより表示フィールドに指定した個別FEPリストを表示する。

(8) 個別FEPリスト作成ボタン

個別FEPリスト作成ボタンは、(7) 個別FEPリスト表示ボタンとほぼ同等の機能であるが、個別FEPリストを表示フィールドに出さずCASMGに渡すためのファイルを作成する。CASMGから、このファイルを表示することができる。

(9) 履歴データ表示ボタン

データベースに登録されているFEPリストでクライアントや配布先から更新や追加のFEPリストを収集し、データベースを更新すると同番号の個別FEPリストがデータベース内に存在することとなる。履歴データ表示ボタンをクリックし、入力フィールドに個別FEP番号を入力することにより、入力した個別FEPリストの全履歴（FEPリスト作成日や作成者）を表示フィールドに表示する。

(10) 履歴データ更新ボタン

履歴データ更新ボタンは、最新FEPリストを作成する場合に用いる。履歴データ表示機能や個別FEPリスト表示および因果関係検査機能等からFEPリストを評価し、最適な個別FEPリストを選択する。

履歴データ更新ボタンを押下後、入力フィールドに個別FEP番号を入力し表示される履歴データの番号を指定する。

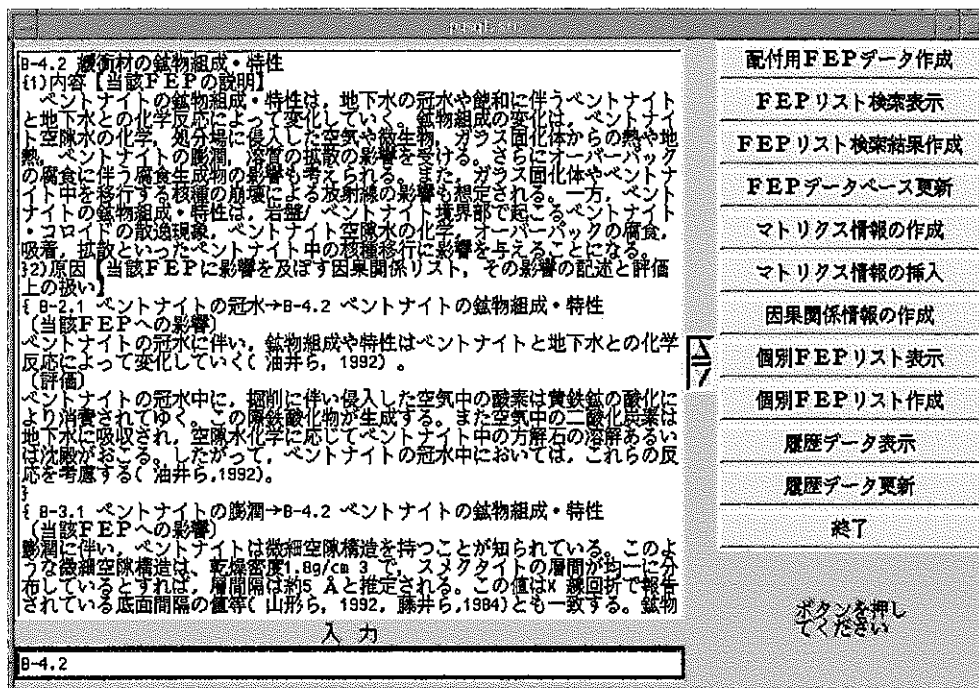


図 3. 1 - 4 個別FEPリスト表示ボタンによる結果の表示

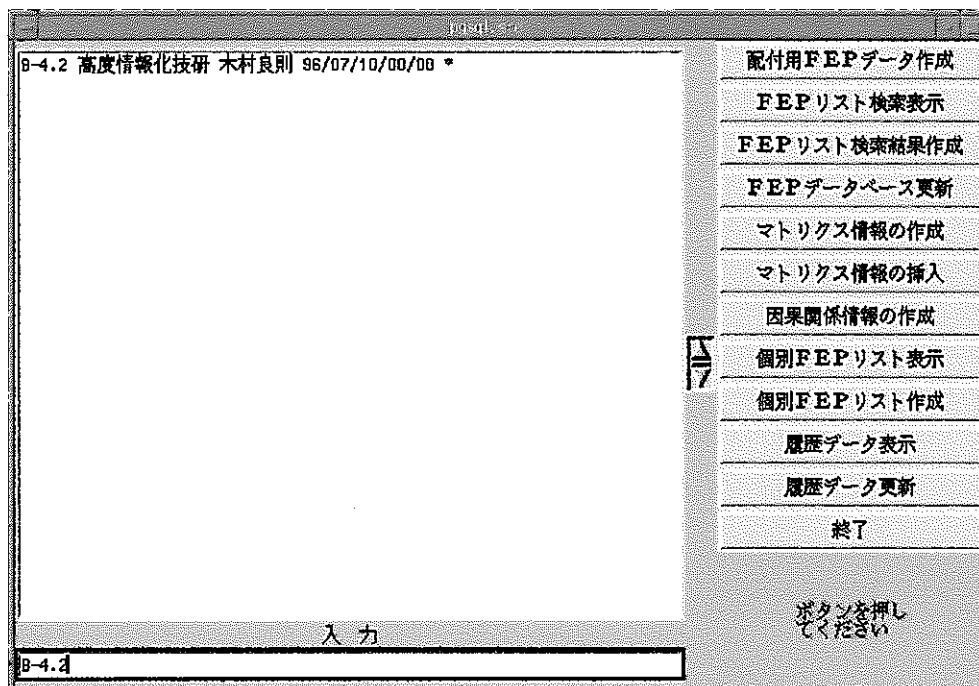


図 3. 1 - 5 履歴データ表示ボタンによる結果の表示

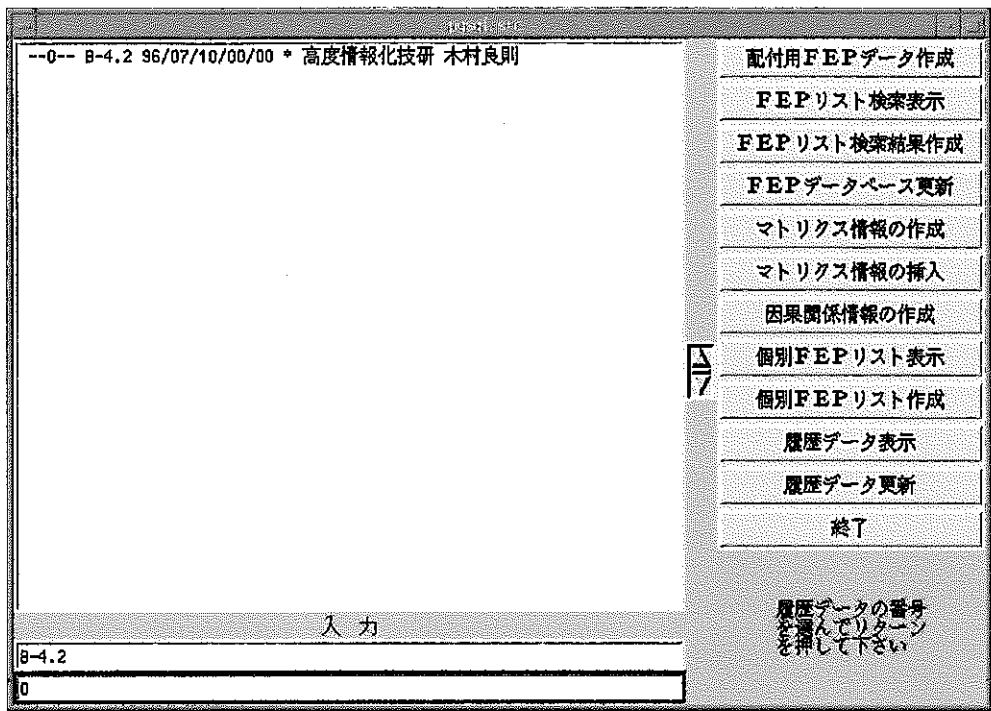


図 3. 1 - 6 履歴データ更新ボタンによる結果の表示

3. 2 サーバシステムの情報収集管理

サーバシステムとクライアントシステムは、ネットワークと介してサーバシステムのディレクトリをCAP機能を用いて共有している。2. 3. 5 項のCASMGR基本運用事項で記載した要領で共有ディスク (postgres95_mac) をマウントするとクライアントからは、あたかもローカルなフォルダとして画面上に表示される。

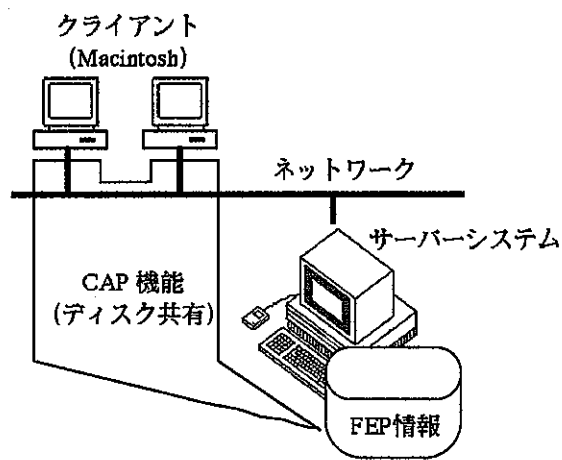


図 3. 2 - 1 ディスクの共有

このディスク共有機能を使用してクライアントおよび配布先から変更または追加されたFEPリストをサーバシステムに収集する。

(1) クライアントシステムからのFEPリスト収集

クライアントでCASCADEの個別FEPリスト表示後、変更した場合はCASCADEが格納されているフォルダ内の履歴ファイルフォルダに保存される。サーバーシステムのデータベースに変更した個別FEPリストを登録する場合は、共有ディスク (postgres95_mac) 内のFEPboxフォルダに履歴ファイルフォルダに格納されている変更FEPリストを移す。

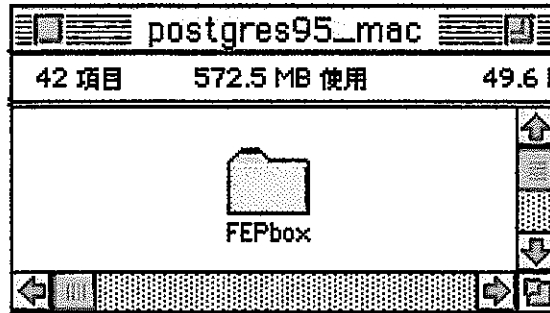


図 3. 2-2 共有ディスク (postgres95_mac) のFEPboxフォルダ

FEPboxフォルダに格納された変更FEPリストは、サーバーシステムのFEPデータベース管理ウィンドウのFEPデータベース更新ボタンにより、構造化されデータベースの各FEPテーブルに登録される。更新FEPリストのデータベース内での重複を避けるため、FEPboxフォルダに移した履歴ファイルフォルダ内の変更FEPリストは削除する。

(2) 配布CASCADEからのFEPリスト収集

配布先のCASCADEで変更、追加された保存されている履歴ファイルフォルダ内の個別FEPリストをフロッピーディスクに格納して送付または届けていただき、クライアントとなっているMacintoshからその内容をサーバーシステムのFEPboxフォルダに移す。その後は前項と同様の処理を行う。

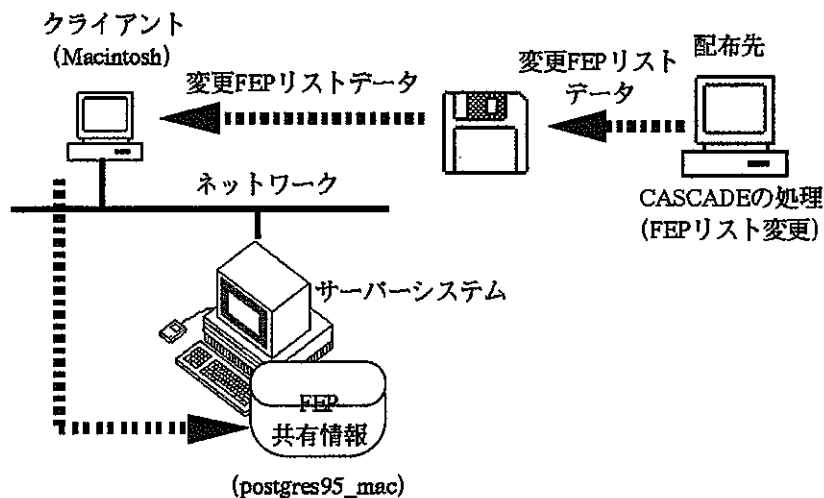


図 3. 2-3 配布CASCADEからのFEPリスト収集

サーバーシステムのデータベースは、収集しFEPboxフォルダに格納されている変更FEPリストを、FEPデータベース管理ウィンドウのFEPデータベース更新ボタンが選択された時に項目別に構造化し各テーブルに登録し管理する。FEPデータベースのテーブル一覧を図3. 2-4に示す。

Owner	Relation	Type
postgres	CE	table
postgres	CE5	table
postgres	CE1	table
postgres	EHA	table
postgres	NAME	table
postgres	OVERSEA	table
postgres	STS	table
postgres	app	table

図3. 2-4 FEPデータベースのテーブル一覧

図3. 2-4に表示したCE等のテーブルは、次のとおりFEPリストを構造化している。

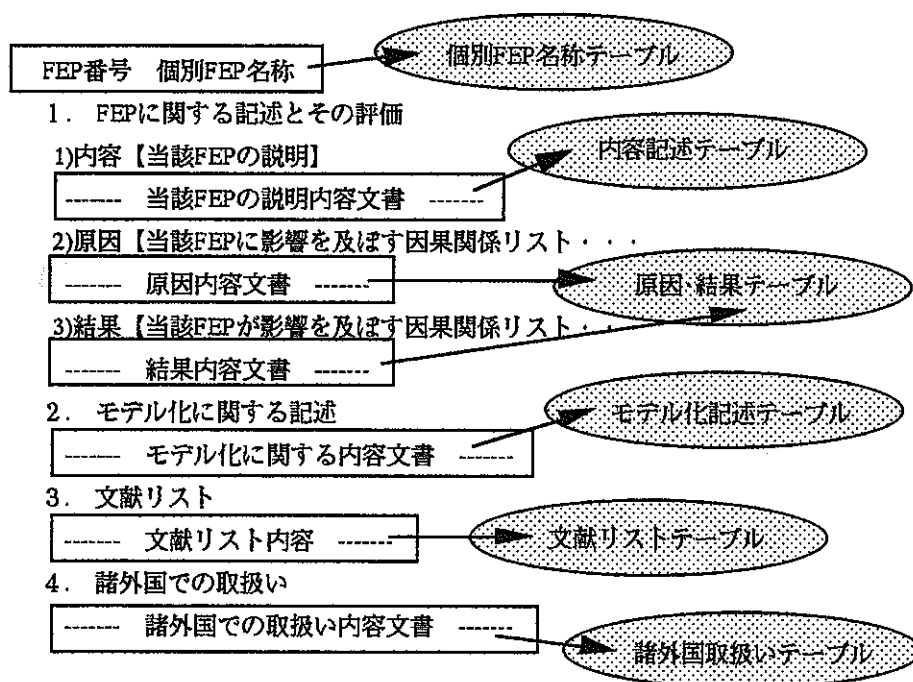


図3. 2-5 FEPリストの構造化

個別FEP名称テーブル : NAME
 内容記述テーブル : DES
 原因結果テーブル : CE
 モデル化記述テーブル : EVA
 文献リストテーブル : DIT
 諸外国取り扱いテーブル : OVERSEA

(3) FEPリスト履歴管理

クライアントおよび配布先から収集されデータベースに登録されたFEPリストは、履歴情報を持って管理している。

H-4.3	H-4.3	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.1	H-4.1	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.2	H-4.2	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.3	H-4.3	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.4	H-4.4	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.5	H-4.5	1	1111	96/97/18/88/88	*
H-4.6	H-4.6	1	1111	96/97/18/88/88	*

図3. 2-6 FEPリストの履歴情報テーブル内容

履歴情報は、次の各フィールドにてテーブル構成している。

個別FEP番号フィールド : 個別FEP番号

配列FEP番号フィールド : 個別FEP番号

重複順序番号フィールド : 個別FEPリストの数

収集先番号フィールド : 収集先キー

履歴日時フィールド : CASCADEによるFEPリスト変更日時

使用リストフィールド : *は最新FEPリスト、他の履歴リストは空白

履歴情報表示および履歴の変更（最新FEPリストの更新）は、FEPデータベース管理ウィンドウで行うことができる。

4. CASCADE 情報収集管理要領

CASCADEおよび配布CASCADEによるFEPリストをサーバシステムに収集させる要領は、前述したクライアントおよび配布先からのFEPリスト収集を参照のこと。収集させるFEPリストの変更については本項の操作要領を参照のこと。本項では、CASCADEとCASMG Rの操作要領について記述することにした。なお、配布CASCADEは、CASCADEと操作において遜色ないことから、CASCADEと記し相違がある場合に限って明記することとする。

4. 1 特徴

CASCADEの特徴はおよそ次のとおりである。

- マトリクス・ウィンドウからのローカル・インフルエンス・ダイアグラムの表示
- マトリクス・ウィンドウからの個別FEP内容の表示と変更
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムからの因果関係内容の表示
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムからローカル・インフルエンス・ダイアグラムを表示
- 個別FEP内容からローカル・インフルエンス・ダイアグラムの生成

4. 2 起動と終了

4. 2. 1 CASCADEの起動

MacCascadeフォルダ（このフォルダ名は任意名称でよい）内のCASCADEアイコンをマウスにてダブルクリックすることによりCASCADEが起動される。



図 4. 2-1 CASCADEアイコン

CASCADEの起動を示すスプラッシュウィンドウ表示（1～2秒で消える）後、図 4. 2-2 に示すログインウィンドウが表示される。

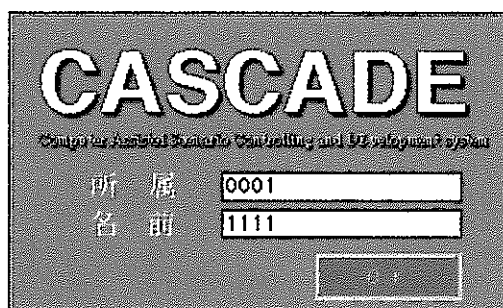


図 4. 2-2 ログインウィンドウ

ログインウィンドウの所属フィールド、名前フィールドに入力する。各フィールドは、半角全角す

すべての文字が入力可能である。一度入力すると次回からは前回入力した所属、名前が表示される。変更がなければOKボタンをクリックするかリターンキーを押下すればよい。CASCADEのログインウィンドウは、一般のソフトウェアのようにユーザーの使用制限を目的としたものではない。そのことから、ログインウィンドウの所属、名前フィールドは未入力（スペース）でもシステムの起動に支障はないが、CASCADEの目的を理解して必ず入力していただきたい。

	FF母巻	MF母巻	パン付け	OPボタン	対応化体
結晶現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
物質移動現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
材料科学的現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
イベント		H-7		OP-7	

全体OK 全体ID サブID 終了

図4. 2-3 階層マトリクスウィンドウと制御ウィンドウ

ログインウィンドウのOKボタンをクリックされると図4. 2-3のウィンドウが表示される。CASCADEは、図4. 2-3の階層マトリクスウィンドウを開始ウィンドウとして操作する。

4. 2. 2 CASCADEの終了

CASCADEの終了は、2つの方法で行うことができる。

(1) 制御ウィンドウからの終了

図4. 2-3に示す制御ウィンドウの終了ボタンをクリックすることによりCASCADEは終了する。制御ウィンドウは、CASCADE動作中は常時画面の下部に表示される。

(2) ウィンドウメニューからの終了

ウィンドウメニューのファイル・プルダウンメニューの終了項目を選択することによってもCASCADEは終了する。

ファイル	
閉く	⌘O
保存	⌘S

ページ設定...	
作業データ印刷	⌘D
ファイル印刷	⌘P
ウィンドウ印刷	⌘W

終了	⌘Q

図 4. 2-4 ファイル・プルダウンメニュー

4. 3 ウィンドウとメニュー

4. 3. 1 ウィンドウの種類と操作

CASCADEのウィンドウの種類はおよそ次のとおりである。

- 階層マトリクスウィンドウ
- サブ・マトリクスウィンドウ
- ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ
- 個別FEP内容ウィンドウ
- 内容変更理由記述ウィンドウ
- 制御ウィンドウ

その他に保存やテキスト検索時等のダイアグラム・ウィンドウがあるが、ほぼ一般のソフトウェアに準拠していることから、詳細な説明は割愛することとした。

(1) 階層マトリクスウィンドウ

階層マトリクスウィンドウは、ログインウィンドウ処理後に表示されサブ・マトリクス項目を選択するために用いる。

	FF最値	NF最値	ベッ付付	イベント	D%固化物
熱的現象・特性	F-1	H-1	B-1	OP-1	G-1
水理学的現象・特性	F-2	H-2	B-2	OP-2	G-2
力学的現象・特性	F-3	H-3	B-3	OP-3	G-3
化学的現象・特性	F-4	H-4	B-4	OP-4	G-4
物質移動現象・特性	F-5	H-5	B-5	OP-5	G-5
放射線学的現象・特性	F-6	H-6	B-6	OP-6	G-6
イベント	H-7		OP-7		

全体ID 全体ID サブID 終了

図 4. 3-1 階層マトリクスウィンドウと制御ウィンドウ

サブ・マトリクス項目の選択は、ウィンドウ内の [H-1] や [B-4] のボタンをクリックする。今回のCASCADEバージョンでは、次のボタンをサポートしている。

B-1, B-3, B-4, G-4, H-4, OP-1, OP-3, OP-4

選択ボタンのクリックにより、選択されたサブ・マトリクスウィンドウ (図4. 3-2 参照) が表示される。

(2) サブ・マトリクスウィンドウ

サブ・マトリクスウィンドウは、個別FEPの情報 (FEP内容、ローカルID) の表示を選択するために用いる。

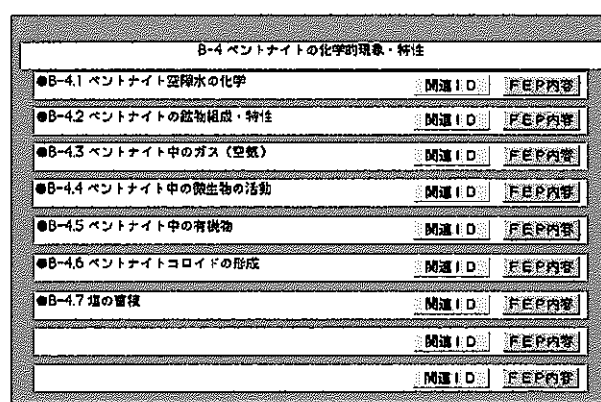


図4. 3-2 サブ・マトリクスウィンドウ

[関連ID] ボタン：当該個別FEPのローカルIDを表示。

[FEP内容] ボタン：当該個別FEPリストを表示。

ウィンドウの左上に配置されている ■ ボタンは、本ウィンドウを閉じる。(ウィンドウのクローズ)

(3) ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウは、サブ・マトリクスウィンドウの関連IDボタンから表示される。ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウは、当該個別FEPの因果関係 (原因、結果) を表示する。

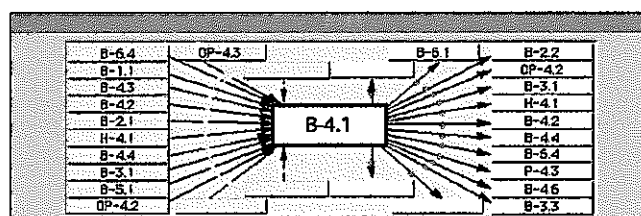


図4. 3-3 ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウ

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウの左右および中心に配置されている各FEP番号は、中心部に表示されている当該FEP番号の個別FEP内容から因果関係を抽出して表示している。図4. 3-3の左右に示す因果関係（原因、結果）のFEP番号は、各々ボタンとなっておりクリックすると選択したFEP番号を中心としたローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウを表示する。

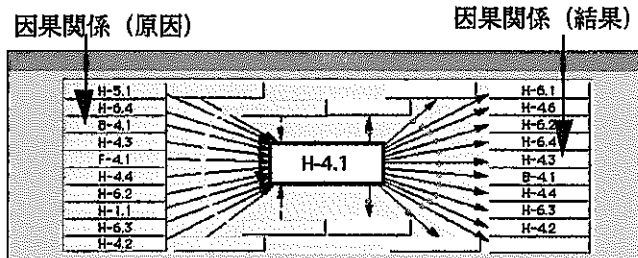


図4. 3-4 ローカルIDウィンドウ

また、ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウの因果関係（原因、結果）を示すFEP番号ボタンと当該FEP番号を結ぶ矢印の間に配置されている青色（原因）または赤色（結果）の●は当該FEPとの因果関係内容を表示する。

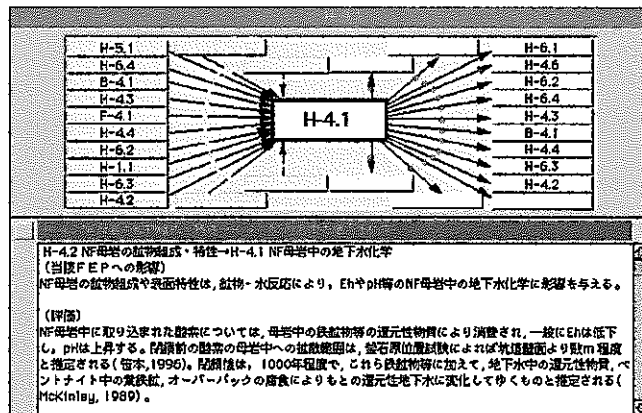


図4. 3-5 因果関係（原因）内容の表示

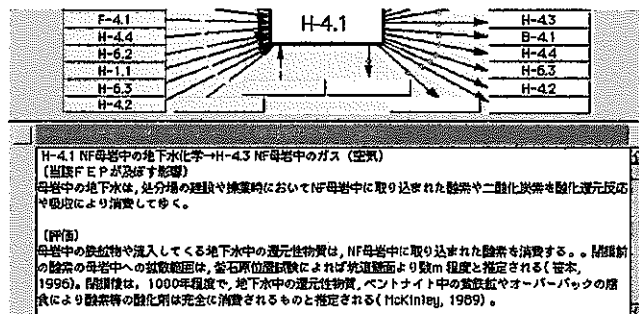


図4. 3-6 因果関係（結果）情報の表示

中心部の当該FEP番号を示す部分をクリックすると、因果関係を除く当該FEP内容を表示する。

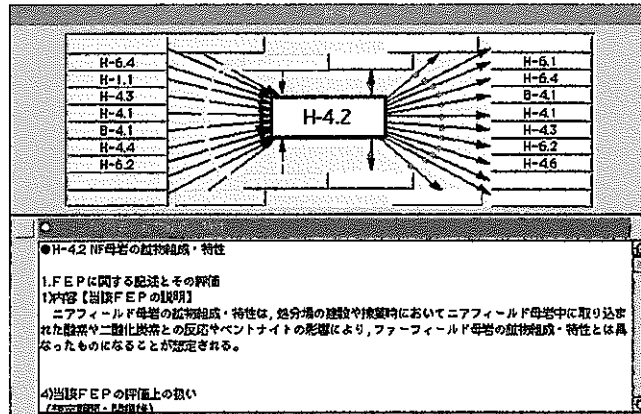


図 4. 3 - 7 当該FEP情報の表示

ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウから表示される因果関係（原因、結果）内容および当該FEP内容は表示のみとしている。内容の変更は、次項の個別FEP内容ウィンドウを用いて行う。個別FEP内容ウィンドウで変更された内容は、ローカル・インフルエンス・ダイアグラムウィンドウで表示される各情報に反映する。

(4) 個別FEP内容ウィンドウ

個別FEP内容ウィンドウは、サブ・マトリクスウィンドウのFEP内容ボタンから表示される。個別FEP内容ウィンドウを用いて当該FEPの内容を変更することができる。個別FEP内容ウィンドウは、(5) 項に示す内容変更理由記述ウィンドウと一対となっている。

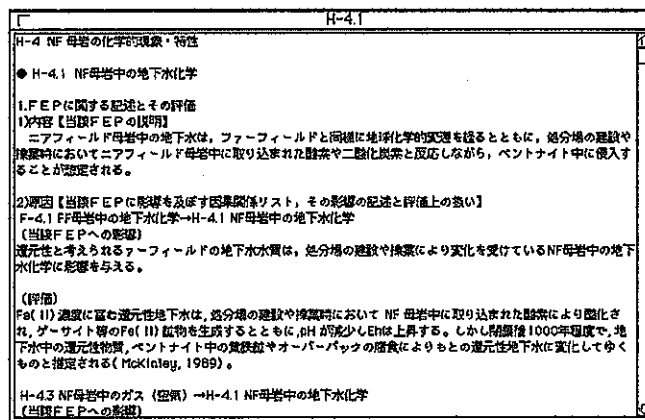


図 4. 3 - 8 個別FEP内容ウィンドウ

個別FEP内容ウィンドウの使用方法は、一般のテキストエディタ用アプリケーションとほとんど同じである。なお、個別FEP内容ウィンドウに表示される個別FEP内容は、常に最新内容を表示する。

個別FEP内容ウィンドウ内の表示内容を変更後、ウィンドウ・クローズボックスのクリックまたはメニューの保存選択を行うと図4. 3-9に示すダイアログが表示される。



図4. 3-9 保存確認ダイアログ

- [取消] : 作業中のウィンドウに戻る。
- [保存無し] : 内容変更なしでウィンドウを閉じる。
- [保存する] : 内容を変更して保存後ウィンドウを閉じる。

図4. 3-10は、保存時に処理する個別FEP内容ファイルについて示したものである。個別FEPフォルダと履歴ファイルフォルダに最新内容を格納する。個別FEPフォルダに格納した情報ファイルは次回に個別FEP内容ウィンドウ実行時に表示される。

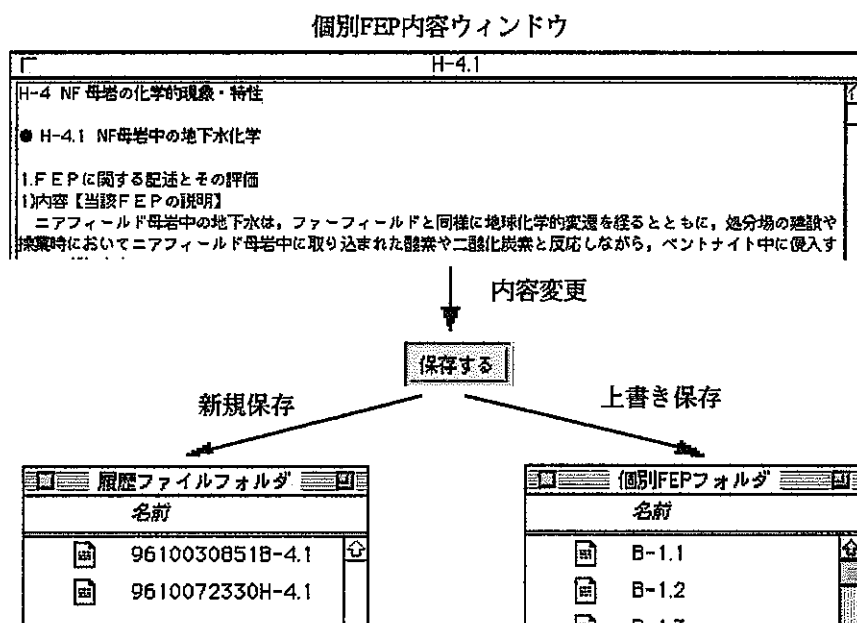


図4. 3-10 保存時の個別FEP情報ファイル

(5) 内容変更理由記述ウィンドウ

内容変更理由記述ウィンドウは、(4)項の個別FEP内容ウィンドウの内容を変更した理由を入力するために用いる。内容変更理由記述ウィンドウは、個別FEP内容ウィンドウと対になっており、常に最新内容が表示される。

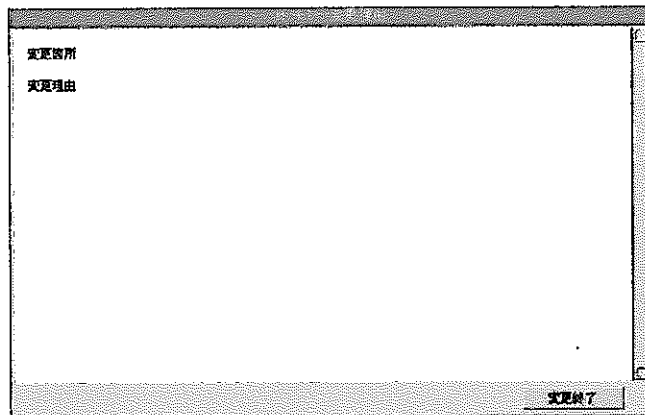


図 4. 3-1 1 内容変更理由記述ウィンドウ

使用方法は個別FEP内容ウィンドウとほぼ同じです。変更箇所、変更理由を入力終了後 [変更終了] ボタンをクリックすることにより内容が保存される。なお、ウィンドウ内に表示されている「変更箇所」「変更理由」は、処理毎に表示される。

(6) 制御ウィンドウ

制御ウィンドウは、CASCADE起動中常時画面上に表示されている。本バージョンでは、階層マトリクスウィンドウの表示とCASCADE終了のために用いる。

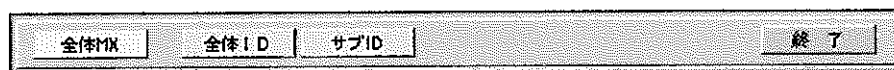


図 4. 3-1 2 制御ウィンドウ

本バージョンでは、全体IDボタンとサブIDボタンは未対応でアクションは設定されていない。

4. 3. 2 メニューの種類と操作

CASCADEのウィンドウメニューは4種類で、それぞれプルダウン・メニューとなっている。

- ファイルメニュー
- 編集メニュー
- 検索メニュー
- 書式メニュー



図 4. 3-1 3 ウィンドウメニュー

各メニューおよびプルダウン・メニューの選択項目は、ウィンドウの内容により選択可能な項目と選択不可能な項目に分かれている。選択不可能な項目に関しては画面上に半透明で表示される。



図 4. 3-14 選択可能と不可能なメニュー表示例

(1) ファイルメニュー

ファイルメニューは、最前面に表示されているウィンドウに対して保存や印刷等の処理を行うために使用する。また、CASCADEの終了もこのメニューで行える。

ファイル	
開く	⌘O
保存	⌘S

ページ設定...	
作業データ印刷	⌘D
ファイル印刷	⌘P
ウィンドウ印刷	⌘W

終了	⌘Q

図 4. 3-15 ファイル・メニュー

a. 開く

「開く」は、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウで処理した過去の情報を表示する場合に選択する。「開く」で表示された内容は、1つのウィンドウに選択した個別FEP内容と変更内容を表示する。最初に個別FEP内容を表示し、その後ろに変更内容を表示する。

b. 保存

個別FEP内容ウィンドウで内容変更後、保存する場合に選択する。4. 3. 1 (4) 項の個別FEP内容ウィンドウを参照のこと。

c. ページ設定

印刷の設定を行う。

d. 作業データ印刷

個別FEP内容ウィンドウの全体内容をテキスト印刷する場合に使用する。個別FEP内容ウィンドウが最前面に表示されている時にのみ有効である。

e. ファイル印刷

作業データ印刷は、最前面（現在表示中）の内容を印刷するが、ファイル印刷は、既存（履歴ファイル等）の印刷に用いる。ファイル印刷を選択すると、印刷ファイル選択ダイアグラムが表示される。

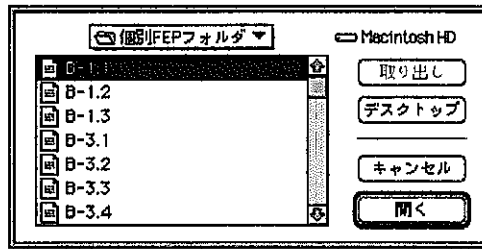


図4. 3-16 印刷ファイル選択ダイアグラム

f. ウィンドウ印刷

最前面に表示されているウィンドウをウィンドウ単位で印刷する場合に使用する。

g. 終了

CASCADEを終了させる。

(2) 編集メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時のみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用する。

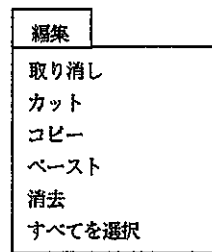


図4. 3-17 編集メニュー

a. 取り消し

1回前に編集メニュー項目を用いて処理した内容を取り消す。

b. カット

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをカットし一時的にメモリ内に保存する。マウス・ポインタで指定した範囲のテキストは消される。

c. コピー

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをコピーし一時的にメモリ内に保存する。マウス・ポインタで指定した範囲のテキストは、消されない。

d. ペースト

マウス・ポインタで指定した位置に「カット」または「コピー」で一時的にメモリ内に保存

されたテキストを付け加える。

e. 消去

マウス・ポインタで指定した範囲のテキストをメモリ内に保存せずに消去する。

f. すべてを選択

マウス・ポインタで全範囲テキストを指定したことと同等である。

(3) 検索メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時にのみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用する。

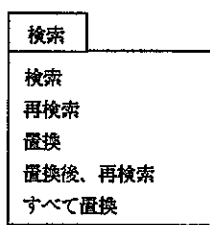


図 4. 3-18 検索メニュー

検索メニュー内のいずれかの項目を選択すると表示されているテキスト・フィールド内容のテキスト検索用ウィンドウが表示される。テキスト検索用ウィンドウの「検索文字列」フィールドに目的とするテキストを入力し「実行」ボタンをクリックすることにより、合致するテキスト検索を開始する。「置換文字列」フィールドは、「検索文字列」フィールドで入力したテキストが検索された場合に検索テキストを置き換えるテキストを入力する。

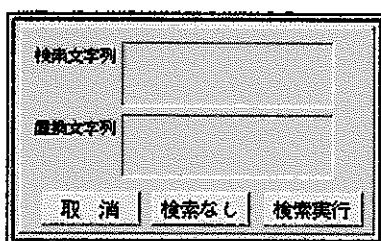


図 4. 3-19 テキスト検索用ウィンドウ

a. 検索

「検索文字列」フィールドに入力されたテキストをマウス・ポインタの位置から最初に合致するテキストを検索する。検索実行はテキスト検索用ウィンドウの「検索実行」ボタンがクリックされた時に開始する。

b. 再検索

検索項目で合致したテキストの次の合致するテキストを検索する。同一テキストがあると思

われる場合は再検索を繰り返す。

c. 置換

「検索文字列」フィールドに入力されたテキストをマウス・ポインタの位置から最初に合致するテキストを検索後、「置換文字列」フィールドに入力されているテキストに置き換える。

「置換文字列」フィールドに入力されている場合のみ有効である。

d. 置換後、再検索

置換により置き換えられたテキストから、次の同一テキストを検索し置き換える。同一テキストがあり、置き換える場合は置換後、再検索を繰り返す。

e. すべてを置換

置換および置換後再検索は、マウス・ポインタの位置から順に1回ずつ検索、置換を行うが、すべて置換は内容すべての検索合致テキストを置き換える。

(4) 書式メニュー

個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウが最前面に表示されている時にのみ有効であり、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウ内テキスト・フィールドに表示されている内容に対して使用する。書式メニュー項目でテキスト内容のフォントやサイズまたはスタイルを変更することができる。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする書式メニュー項目で行う。

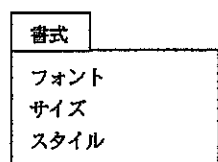


図4. 3-20 書式メニュー

a. フォント

フォントは動作させるMacintoshに登録されているフォント・メニューが表示される。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とするフォントを指定する。

b. サイズ

サイズは文字の大きさを変更させる場合に使用する。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする文字サイズを指定する。

c. スタイル

スタイルは文字スタイルを変更させる場合に使用します。マウス・ポインタで変更範囲を設定し目的とする文字スタイル（太文字や斜体文字等）を指定する。

書式メニューで設定したフォント、サイズおよびスタイルは保存時ファイルおよび現表示ウィンドウに反映するが、個別FEP内容ウィンドウまたは変更理由記述ウィンドウの起動時は常にOOSAKA12ポイントで表示する。なお、ファイルメニューの「開く」項目選択で表示したウィンドウのテキストは設定したフォントとなる。

4. 4 個別FEP情報内容変更について

個別FEP内容ウィンドウを用いての内容変更時の注意事項は次のとおりである。規定外の処理を行うとアプリケーション誤動作の原因となることから注意を要す。

4. 4. 1 各フォルダの扱い

(1) 履歴ファイルフォルダの扱い

処理済（変更）個別FEPファイルが保管されているフォルダである。個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウで変更し保存したファイルが格納される。履歴ファイル名は次の方法で名称付けている。

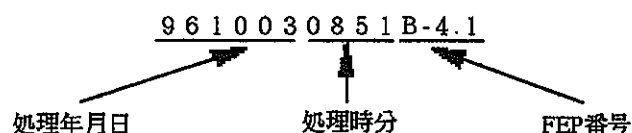


図 4. 4 - 1 履歴ファイル名称

ファイルメニューの「開く」項目を用いて過去のFEP情報を参照する際は、このファイル名称を利用のこと。

(2) SystemDFフォルダの扱い

配布CASCADE設定ファイルを格納しているフォルダである。CASCADEは、サーバーシステムの共有ディスクのフォルダを使用している。CASCADEのウィンドウ動作等に影響することから、フォルダ名の変更および移動や格納ファイルの変更は行わないこと。

(3) C_FEPフォルダの扱い

最新の個別FEPファイルが格納されているフォルダである。本フォルダに格納されている個別FEPファイルから個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウに表示する。ファイル名の変更または消去をするとアプリケーションは誤動作する。また、テキストエディタで直接ファイルを変更すると最新情報として個別FEP内容ウィンドウおよび変更理由記述ウィンドウに表示されるが、履歴管理が不可能となることから必ずCASCADEのウィンドウから変更のこと。

4. 4. 2 FEPリスト内容の変更

(1) 因果関係（原因）情報の変更

因果関係（原因）情報は、ローカルIDウィンドウの表示に反映している。既存情報の変更および因果関係（原因）の追加時の注意事項を図 4. 4 - 2 に示す。

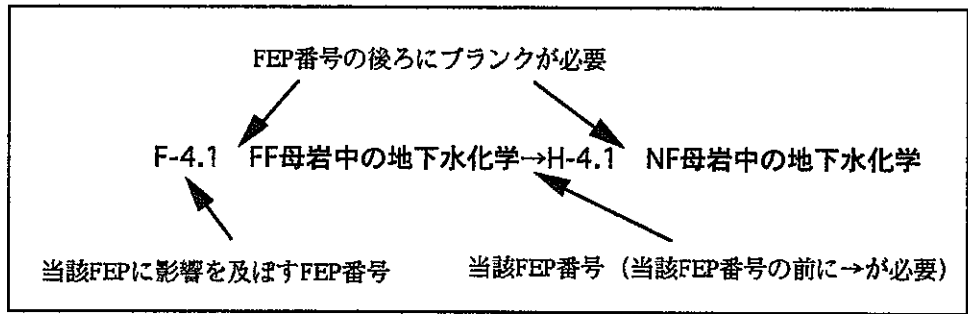


図 4. 4 - 2 因果関係（原因）情報変更・追加時の注意

(2) 因果関係（結果）情報の変更

因果関係（結果）情報は、ローカルIDウィンドウの表示に反映している。既存情報の変更および因果関係（結果）の追加時の注意事項を図 4. 4 - 3 に示す。

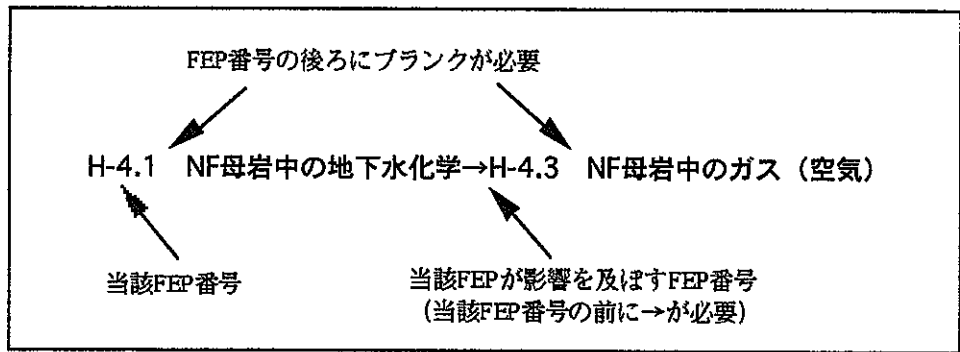


図 4. 4 - 3 因果関係（結果）情報変更・追加時の注意

4. 4. 3 その他


個別FEP情報内容中にMacFEPがウィンドウに表示するために使用している文（行）が2ヶ所ある。削除をしないこと。

(1) 1ヶ所目

最終因果関係（結果）情報項と4)当該FEPの評価上の扱い項の間 ***** 文（行）

H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性
 [当該FEPが及ぼす影響] NF母岩中の地下水化学は、鉱物-水反応によりNF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

【評価】
 NF母岩の地下水水中に取り込まれた酸素は、母岩中の鉄鉱物等を酸化させゲージサイト等の鉄酸化鉱物を表面に形成する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、蓋石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本,1996)ため、鉄鉱物を有意に含む母岩の表面は、これら鉄酸化鉱物の被膜でコーティングされる。

*****  1ヶ所目

4)当該FEPの評価上の扱い
 (想定期間：閉鎖後)
 処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた空


図4. 4-4 システム使用文(行) その1

(2) 2ヶ所目

4. 諸外国での取扱い項と変更箇所情報の間 /-----/ 文(行)

4. 諸外国での取扱い
 ● Kristallin- I (Nagra, 1994)
 Kristallin- I ではNF母岩の地下水化学に着目した評価は行われていない。しかし、掘削から閉鎖、処分に至る一連のNF化学の定性的評価が行われている(McKinley et al,1989)。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ McKinley et al(1989):The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

/-----/  2ヶ所目

変更箇所
 変更理由

図4. 4-5 システム使用文(行) その2

4. 5 CASMGR 操作要領

CASMGRは、定型的なFEP情報を表示するCASCADEと違いサーバーシステムのデータベースからリンクド・リンクFEPリストの検索結果をクライアント上で表示したり、最新FEPリストの因果関係の整合性検査結果表示の機能を持つ。CASMGRの機能は、次のとおりである。

- (1) FEP文書表示
- (2) 因果関係検査
- (3) マトリクス情報の更新

CASMGRの起動は、CASMGRアイコンをダブルクリックすることにより行う。CASCADEと同様のスプラッシュウィンドウが1～2秒表示後、図4.5-1に示すCASMGR初期ウィンドウが表示される。



図4.5-1 CASMGR初期ウィンドウ

CASMGRの各機能操作は、CASMGR初期ウィンドウのボタンクリックにより行われる。

4.5.1 FEP文書表示

FEP文書表示は、サーバーシステムのFEPデータベース管理ウィンドウのFEPリスト検索結果作成で処理されたデータベースの検索結果をクライアントのウィンドウに表示する。

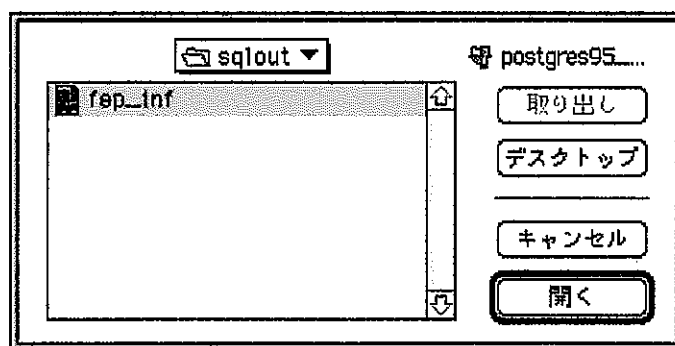


図4.5-2 FEP文書選択ダイアログウィンドウ

FEP文書表示ボタンをクリックすると、FEP文書選択ダイアログウィンドウが表示される。FEPデータベース管理ウィンドウのFEPリスト検索結果作成で処理されたデータベースの検索結果は、共有ディスクのpostgres95_mac内のsqloutフォルダに格納される。FEP文書選択ダイアログウィンドウから表示するファイルを選択する。

B-1.2	緩衝材の熱物性	{B,1,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-1.3	緩衝材の熱膨張	{B,1,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-3.1	緩衝材の膨潤	{B,3,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-3.2	緩衝材の応力	{B,3,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-3.3	緩衝材の力学物性	{B,3,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-3.4	緩衝材の流出	{B,3,4}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-3.5	緩衝材のクリープ	{B,3,5}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.1	緩衝材中の空隙水の化学	{B,4,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.2	緩衝材の鉱物組成・特性	{B,4,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.3	緩衝材中のガス（空気）	{B,4,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.4	緩衝材中の微生物の活動	{B,4,4}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.5	緩衝材中の有機物	{B,4,5}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.6	緩衝材からのコロイドの形成	{B,4,6}	1	1111	96/07/10/00/00 *
B-4.7	塩の蓄積	{B,4,7}	1	1111	96/07/10/00/00 *
G-4.1	ガラス固化体の溶解	{G,4,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *
G-4.2	ガラス固化体周囲の空隙水の化学	{G,4,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
G-4.3	ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成	{G,4,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.1	NF母岩中の地下水化学	{H,4,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.2	NF母岩の鉱物組成・特性	{H,4,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.3	NF母岩中のガス（空気）	{H,4,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.4	NF母岩中の微生物の活動	{H,4,4}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.5	NF母岩中の有機物	{H,4,5}	1	1111	96/07/10/00/00 *
H-4.6	天然コロイドの形成	{H,4,6}	1	1111	96/07/10/00/00 *
OP-1.1	オーバーパックの温度	{OP,1,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *
OP-1.2	オーバーパックの熱物性	{OP,1,2}	1	1111	96/07/10/00/00 *
OP-1.3	オーバーパックの熱膨張	{OP,1,3}	1	1111	96/07/10/00/00 *
OP-3.1	オーバーパックの応力	{OP,3,1}	1	1111	96/07/10/00/00 *

図 4. 5 - 3 FEPリスト検索結果表示

4. 5. 2 因果関係検査

因果関係検査は、サーバーシステムのFEPデータベース管理ウィンドウの因果関係検査結果作成により行われた因果関係の整合性をクライアントのウィンドウに表示するものである。

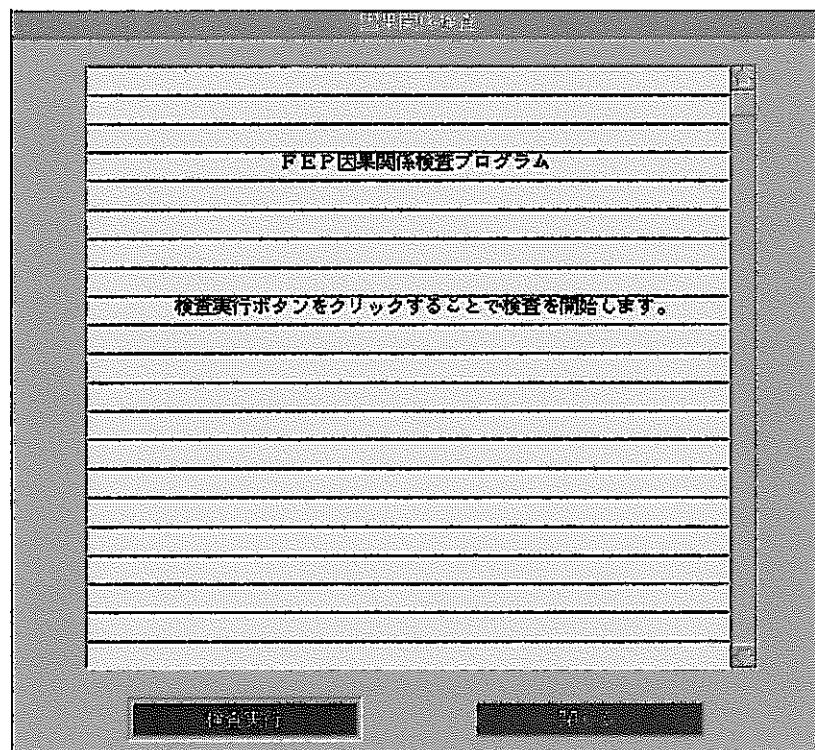


図 4. 5 - 4 因果関係検査ウィンドウ

因果関係検査ウィンドウの実行ボタンをクリックすることにより、因果関係検査結果を表示する。

原因部	関係	結果部	結果
B-1.1	->	B-1.2	OK
B-1.1	->	B-1.3	OK
B-1.1	->	B-2.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-2.2	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-3.1	OK
B-1.1	->	B-3.3	OK
B-1.1	->	B-4.1	OK
B-1.1	->	B-4.2	OK
B-1.1	->	B-4.4	OK
B-1.1	->	B-4.7	OK
B-1.1	->	B-6.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	B-6.4	RELATION ERROR
B-1.1	->	H-1.1	RELATION ERROR
B-1.1	->	DP-1.1	OK
B-1.2	->	B-1.1	OK
B-1.3	->	B-3.2	OK
B-2.1	->	B-1.2	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.1	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.3	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-3.5	RELATION ERROR
B-2.1	->	B-4.1	RELATION ERROR

図4.5-5 因果関係検査結果表示ウィンドウ

因果関係検査結果表示ウィンドウに表示された内容は、最新個別FEPリストの原因、結果部の全ての因果関係整合性を検査したものである。結果として、最右にRELATION ERRORと表示されている行の因果関係は整合性が取れていないことを示している。不整合の内容を確認するには、不整合を示す行をクリックする。



図 4. 5-6 不整合因果関係内容の表示

また、不整合なFEPリストを表示するには、図 4. 5-6 からFEPファイルを開くボタンをクリックする。

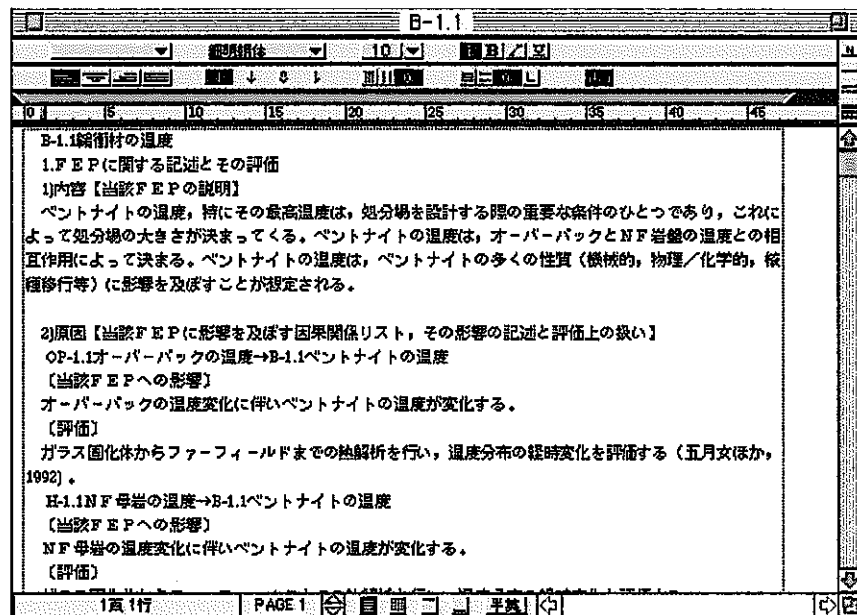


図 4. 5-7 不整合個別FEPリストの表示

因果関係に整合性の取れていない個別FEPリストは、相互の内容を評価の上、変更し最新FEPリストとして使用する。

4. 5. 3 マトリクス情報の変更

マトリクス情報の変更は、CASCADEの階層マトリクス・ウィンドウのヘッダ表示およびマトリクスボタン表示を変更する場合に使用する。

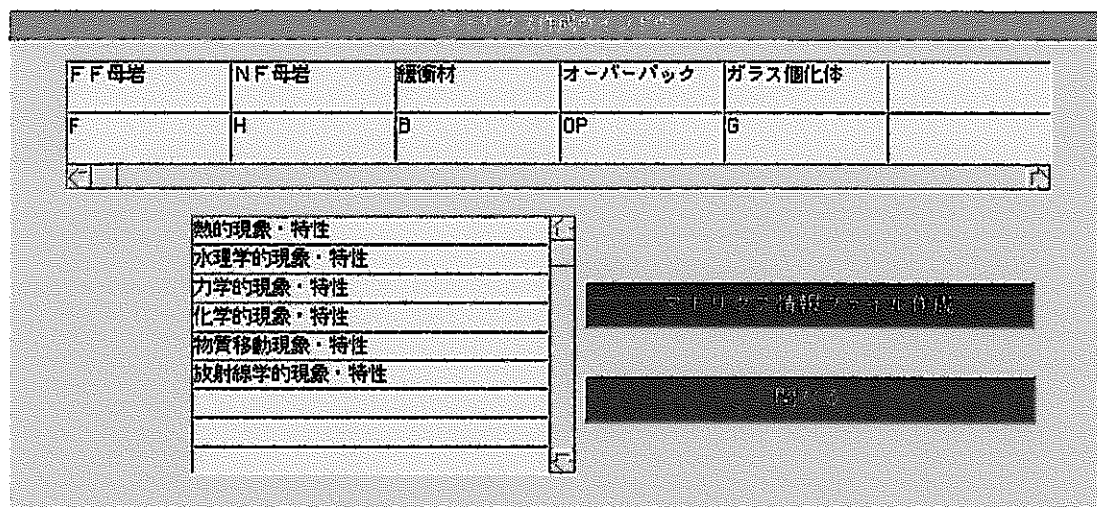


図 4. 5 - 8 マトリクス情報変更用ウィンドウ

マトリクス情報変更用ウィンドウの上部に配置されたフィールドは、階層マトリクス・ウィンドウの縦ヘッダ部とマトリクスボタン表示を変更する。上部に配置されたフィールドは2段になっており、1段目が縦ヘッダ変更であり、それに対応するサブ階層マトリクスボタン表示変更は2段目のフィールドで行う。下部のフィールドは横ヘッダの表示変更である。

変更終了後、マトリクス情報ファイル作成ボタンをクリックすることによって、サーバーシステムに情報変更を伝える。サーバーシステムのFEPデータベース管理ウィンドウのマトリクス情報変更ボタンをクリックすることにより、次回のCASCADE起動から階層マトリクス・ウィンドウの表示が変更される。なお、本処理は、データベースのFEPリストに連動されることから無意味な変更は、CASCADEの機能に不都合な結果をもたらすので、注意を払うこと。

4. 5. 4 FEPリストの情報登録と整備方法

FEPリストの情報登録は、3. 2項サーバーシステムの情報収集管理(1)、(2)参照のこと。また、FEPリストの整備方法については、3. 2項サーバーシステムの情報収集管理(3)および4項のCASCADEおよびCASMGGRの操作方法を参照願いたい。

整備したFEPリスト

【 目 次 】

B-1.1	緩衝材の温度	1
1	FEPに関する記述とその評価	1
2	モデル化に関する記述	3
3	文献リスト	3
4	諸外国での取扱い	3
B-1.2	緩衝材の熱物性	4
1	FEPに関する記述とその評価	4
2	モデル化に関する記述	4
3	文献リスト	4
4	諸外国での取扱い	4
B-1.3	緩衝材の熱膨張	6
1	FEPに関する記述とその評価	6
2	モデル化に関する記述	6
3	文献リスト	6
4	諸外国での取扱い	6
B-3.1	緩衝材の膨潤	7
1	FEPに関する記述とその評価	8
2	モデル化に関する記述	8
3	文献リスト	8
4	諸外国での取扱い	8
B-3.2	緩衝材の応力	10
1	FEPに関する記述とその評価	10
2	モデル化に関する記述	12
3	文献リスト	12
4	諸外国での取扱い	12
B-3.3	緩衝材の力学物性	13
1	FEPに関する記述とその評価	13
2	モデル化に関する記述	13
3	文献リスト	13
4	諸外国での取扱い	13
B-3.4	緩衝材の流出	14
1	FEPに関する記述とその評価	14
2	モデル化に関する記述	15
3	文献リスト	15
4	諸外国での取扱い	16
B-3.5	緩衝材のクリープ	17
1	FEPに関する記述とその評価	17
2	モデル化に関する記述	17
3	文献リスト	17
4	諸外国での取扱い	18
B-4.1	緩衝材中の空隙水の化学	19
1	FEPに関する記述とその評価	19
2	モデル化に関する記述	23
3	文献リスト	23
4	諸外国での取扱い	24
B-4.2	緩衝材の鉱物組成・特性	25
1	FEPに関する記述とその評価	25
2	モデル化に関する記述	28

3	文献リスト	28
4	諸外国での取扱い	28
B-4.3	緩衝材中のガス (空気)	30
1	FEPに関する記述とその評価	30
2	モデル化に関する記述	30
3	文献リスト	31
4	諸外国での取扱い	31
B-4.4	緩衝材中の微生物の活動	32
1	FEPに関する記述とその評価	32
2	モデル化に関する記述	32
3	文献リスト	32
4	諸外国での取扱い	33
B-4.5	緩衝材中の有機物	34
1	FEPに関する記述とその評価	34
2	モデル化に関する記述	34
3	文献リスト	34
4	諸外国での取扱い	34
B-4.6	緩衝材からのコロイドの形成	35
1	FEPに関する記述とその評価	35
2	モデル化に関する記述	36
3	文献リスト	36
4	諸外国での取扱い	36
B-4.7	塩の蓄積	37
1	FEPに関する記述とその評価	37
2	モデル化に関する記述	38
3	文献リスト	38
4	諸外国での取扱い	38
G-4.1	ガラス固化体の溶解	39
1	FEPに関する記述とその評価	39
2	モデル化に関する記述	41
3	文献リスト	41
4	諸外国での取扱い	41
G-4.2	ガラス固化体周囲の空隙水の化学	43
1	FEPに関する記述とその評価	43
2	モデル化に関する記述	44
3	文献リスト	44
4	諸外国での取扱い	45
G-4.3	ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成	46
1	FEPに関する記述とその評価	46
2	モデル化に関する記述	46
3	文献リスト	46
4	諸外国での取扱い	46
H-4	NF母岩の化学的現象・特性	48
H-4.1	NF母岩の地下水化学	48
1	FEPに関する記述とその評価	48
2	モデル化に関する記述	51
3	文献リスト	51
4	諸外国での取扱い	52
H-4.2	NF母岩の鉱物組成・特性	53
1	FEPに関する記述とその評価	53

2	モデル化に関する記述	5 5
3	文献リスト	5 5
4	諸外国での取扱い	5 6
H-4.3	NF母岩の鉱物組成・特性	5 7
1	FEPに関する記述とその評価	5 7
2	モデル化に関する記述	5 7
3	文献リスト	5 7
4	諸外国での取扱い	5 7
H-4.4	NF母岩の微生物の活動	5 8
1	FEPに関する記述とその評価	5 8
2	モデル化に関する記述	5 9
3	文献リスト	5 9
4	諸外国での取扱い	5 9
H-4.5	NF母岩中の有機物	6 0
1	FEPに関する記述とその評価	6 0
2	モデル化に関する記述	6 0
3	文献リスト	6 0
4	諸外国での取扱い	6 0
H-4.6	天然コロイドの形成	6 1
1	FEPに関する記述とその評価	6 1
2	モデル化に関する記述	6 2
3	文献リスト	6 2
4	諸外国での取扱い	6 2
OP-1	オーバーパックの熱的現象・特性	6 3
OP-1.1	オーバーパックの温度	6 3
1	FEPに関する記述とその評価	6 3
2	モデル化に関する記述	6 4
3	文献リスト	6 4
4	諸外国での取扱い	6 4
OP-1.2	オーバーパックの熱物性	6 5
1	FEPに関する記述とその評価	6 5
2	モデル化に関する記述	6 5
3	文献リスト	6 5
4	諸外国での取扱い	6 5
OP-1.3	オーバーパックの熱膨張	6 6
1	FEPに関する記述とその評価	6 6
2	モデル化に関する記述	6 6
3	文献リスト	6 6
4	諸外国での取扱い	6 6
OP-3.1	オーバーパックの応力	6 7
1	FEPに関する記述とその評価	6 7
2	モデル化に関する記述	6 8
3	文献リスト	6 8
4	諸外国での取扱い	6 8
OP-3.2	オーバーパックの力学物性	6 9
1	FEPに関する記述とその評価	6 9
2	モデル化に関する記述	6 9
3	文献リスト	6 9
4	諸外国での取扱い	6 9
OP-3.3	オーバーパックの沈下	7 0
1	FEPに関する記述とその評価	7 0

	2	モデル化に関する記述	7 0
	3	文献リスト	7 0
	4	諸外国での取扱い	7 0
OP-3.4		オーバーパックの腐食膨張	7 2
	1	FEPに関する記述とその評価	7 2
	2	モデル化に関する記述	7 2
	3	文献リスト	7 2
	4	諸外国での取扱い	7 2
OP-4.1		オーバーパックの腐食	7 3
	1	FEPに関する記述とその評価	7 3
	2	モデル化に関する記述	7 4
	3	文献リスト	7 4
	4	諸外国での取扱い	7 4
OP-4.1.1		全面腐食 (サブFEP)	7 6
	1	FEPに関する記述とその評価	7 6
	2	モデル化に関する記述	7 8
	3	文献リスト	7 8
	4	諸外国での取扱い	7 8
OP-4.1.2, OP-4.1.3		孔食、すきま腐食 (サブFEP)	7 9
	1	FEPに関する記述とその評価	7 9
	2	モデル化に関する記述	8 1
	3	文献リスト	8 1
	4	諸外国での取扱い	8 1
OP-4.1.4		大気腐食 (不飽和状態での腐食) (サブFEP)	8 2
	1	FEPに関する記述とその評価	8 2
	2	モデル化に関する記述	8 3
	3	文献リスト	8 3
	4	諸外国での取扱い	8 3
OP-4.1.5		応力腐食割れ (サブFEP)	8 4
	1	FEPに関する記述とその評価	8 6
	2	モデル化に関する記述	8 6
	3	文献リスト	8 6
	4	諸外国での取扱い	8 6
OP-4.2		水素ガスの発生	8 7
	1	FEPに関する記述とその評価	8 7
	2	モデル化に関する記述	8 7
	3	文献リスト	8 7
	4	諸外国での取扱い	8 7
OP-4.3		腐食生成物の生成	8 8
	1	FEPに関する記述とその評価	8 8
	2	モデル化に関する記述	8 9
	3	文献リスト	8 9
	4	諸外国での取扱い	8 9
OP-4.4		腐食生成物コロイドの形成	9 0
	1	FEPに関する記述とその評価	9 0
	2	モデル化に関する記述	9 1
	3	文献リスト	9 1
	4	諸外国での取扱い	9 1

B-1.1 緩衝材の温度

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイトの温度、特にその最高温度は、処分場を設計する際の重要な条件のひとつであり、これによって処分場の大きさが決まってくる。ベントナイトの温度は、オーバーパックとNF岩盤の温度との相互作用によって決まる。ベントナイトの温度は、ベントナイトの多くの性質（機械的、物理/化学的、核種移行等）に影響を及ぼすことが想定される。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.1オーバーパックの温度→B-1.1緩衝材の温度

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックの温度変化に伴いベントナイトの温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する（五月女ほか、1992）。

H-1.1NF母岩の温度→B-1.1緩衝材の温度

【当該F E Pへの影響】

NF母岩の温度変化に伴いベントナイトの温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する。

B-1.2緩衝材の熱物性→B-1.1緩衝材の温度

【当該F E Pへの影響】

熱物性の変化に伴いベントナイトの温度が変化する。

【評価】

熱解析を行う際に、熱物性の変化を考慮する必要がある。ただし、例えば、浸潤に伴う熱伝導率の変化を無視して、乾燥状態での熱物性を用いることにより保守的な熱解析を行うような場合もある。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-1.1緩衝材の温度→H-1.1NF母岩の温度

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイトの温度変化に伴いNF母岩の温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する。

B-1.1緩衝材の温度→OP-1.1オーバーパックの温度

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイトの温度変化に伴いオーバーパックの温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する。

B-1.1緩衝材の温度→B-2.1緩衝材の冠水

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイト中の温度勾配により水分移動が起こり、冠水特性が変化する。

【評価】

Philip-de Vries 型のモデルによりベントナイト中の温度勾配による水分移動現象を評価することが必要であると考えられる（Kanno et al., 1996）。

B-1.1緩衝材の温度→B-2.2緩衝材の水理特性

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイトの水理特性は温度に依存する。

【評価】

透水性を表す物性パラメータ（透水係数、水分拡散係数等）の温度依存性（Kanno et al., 1994, 竹内ほか、1995）を定量的に検討し、熱-水理連成解析の形で評価する。

B-1.1緩衝材の温度→B-3.1緩衝材の膨潤

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの膨潤状態は温度に依存する。

〔評価〕

膨潤状態（膨潤圧、膨潤量）に及ぼす温度の影響を把握する必要がある。ただし、この影響はあまり大きくないと考えられる。

B-1.1緩衝材の温度→B-1.3緩衝材の熱膨張

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの温度が上昇するとによりベントナイトが熱膨張する。また、温度の上昇により、ベントナイトが乾燥収縮する場合は、この熱膨張量に影響することが考えられる。

〔評価〕

ベントナイトの線膨張係数（茂呂他、1994）により熱応力を評価する。また、ベントナイトの乾燥収縮量を実験的に把握する必要がある（Kanno et al., 1993）。

B-1.1緩衝材の温度→B-3.3緩衝材の力学物性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの力学物性は温度に依存することが想定される。

〔評価〕

ベントナイトを対象として温度をパラメータとした力学試験を行う必要があるが、ベントナイト力学物性に及ぼす温度の影響は比較的小さいと予測される。

B-1.1緩衝材の温度→B-1.2緩衝材の熱物性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの熱物性は温度に依存することが想定される。

〔評価〕

100℃以下では、ベントナイトの熱伝導率への温度の影響は小さいことが確認されている（藤田ほか、1992）。その他の熱物性についても影響は小さいと予想される。

B-1.1緩衝材の温度→B-4.2緩衝材の鉱物組成・特性

B-4.2 参照

B-1.1緩衝材の温度→B-6.1緩衝材中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の温度は収着等の核種移行に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

収着については、常温と地温程度（50～70℃）の間に大きな違いはないと考えられる。拡散については、活性化エネルギーが得られており、これに基づく評価を行う。

B-1.1緩衝材の温度→B-6.4緩衝材中の空隙水中の溶質の拡散

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の温度は溶質の拡散に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

拡散については、活性化エネルギーが得られており、これに基づく評価を行う。

B-1.1緩衝材の温度→B-4.1緩衝材中の空隙水の化学

B-4.1 参照

B-1.1緩衝材の温度→B-4.7塩の蓄積

B-4.7 参照

B-1.1緩衝材の温度→B-4.4緩衝材中の微生物の活動

B-4.4 参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

〔想定期間：閉鎖後〕

・H3での取扱い：ベントナイトの熱伝導率を一定（乾燥側の値）として処分場ニアフィールドの

熱解析（非連成）を実施した。ベントナイトの最高温度はほぼ100°C以下である。

- ・ H3以降の取扱い：熱-水理-（応力）連成解析によりベントナイトの温度を評価する。

2.モデル化に関する記述

熱-水理-（応力）連成解析では、温度勾配による水分移動、膨潤応力の影響、ギャップ（空気）の影響等を考慮する必要がある。

3.文献リスト

- ・ T.Kanno, K.Kato and J.Yamagata(1996): Moisture movement under a temperature gradient in highly compacted bentonite, Engineering Geology 41.
- ・ T.Kanno, S.Takeuchi, H.Suzuki(1994): Temperature dependence of hydraulic conductivity of compacted bentonite, PNCTN1100 94-003.
- ・ T.Kanno and H.Wakamatsu(1993): Moisture adsorption and volume change of partially saturated bentonite buffer materials, Mater. Res. Soc. Proc., 294.
- ・ 五月女敦, 藤田朝雄, 原啓二, 納多勝(1992): 地層処分場の熱的安定性の検討, 動燃技術資料, PNCTN1410 92-054.
- ・ 柴田雅博, 亀井玄人(1992): ベントナイトの長期安定性評価, PNCTN8410 92-165.
- ・ 竹内真司, 原啓二, 中野政詩 (1995) : 圧縮ベントナイトの水分拡散係数と水の移動形態, 地盤工学会論文報告集.
- ・ 藤田朝雄, 杉田裕, 納多勝, 幾世橋広(1992): 緩衝材の熱物性試験, 動燃技術資料, PNC TN1410 92-052.
- ・ 茂呂吉司, 藤田朝雄, 菅野毅, 小林晃 (1994) : 緩衝材大型試験設備 (BIG-BEN)における熱-水-応力連成試験, 放射性廃棄物研究, 1.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

処分坑道離間距離を40m, 廃棄体定置間隔を5m, 処分深度を1200mとした場合, 緩衝材の最大上昇温度は約150°Cになり, 緩衝材の厚さを半分以下にしても100°Cを越える結果となっている。また, 温度の高い期間は50年よりも短い。

B-1.2 緩衝材の熱物性

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイトの熱物性は、処分場の温度を評価する上で重要なパラメータである。ベントナイトの熱物性は、温度・含水比・応力（乾燥密度）に依存することが想定され、厳密には熱-水理-応力連成解析の中で考慮する必要がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-1.1緩衝材の温度→B-1.2緩衝材の熱物性

B-1.1参照

B-2.1緩衝材の冠水→B-1.2緩衝材の熱物性

【当該F E Pへの影響】

冠水によるベントナイトの含水比の変化に伴い熱物性も変化する。

【評価】

ベントナイトの熱伝導率に関しては、その含水比依存性のデータが取得済である（鈴木ほか、1992）。その他の熱物性についても検討中であるが、含水比依存性は比較的小さいと予想される。

B-3.2緩衝材の応力→B-1.2緩衝材の熱物性

【当該F E Pへの影響】

ベントナイト中の応力によりベントナイト中の密度が変化し、それに伴い熱物性が変化することが想定される。

【評価】

ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度における熱物性として評価する（鈴木ほか、1992）。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-1.2緩衝材の熱物性→B-1.1緩衝材の温度

B-1.1参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：ベントナイトの熱伝導率を一定（乾燥側の値）として処分場ニアフィールドの熱解析（非連成）を実施した。

・H3以降の取扱い：熱-水理-応力連成解析の中でベントナイトの熱物性の变化を考慮する。ただし、温度依存性は比較的小さいことが予想される。

2.モデル化に関する記述

ベントナイト熱物性の温度依存性は比較的小さく、モデル化では無視できると考えられる。含水比と応力（乾燥密度）依存性に関しては、連成解析の中で考慮する。

3.文献リスト

・五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝(1992): 地層処分場の熱的安定性の検討，動燃技術資料，PNCTN1410 92-054.

・鈴木英明，柴田雅博，山形順二，広瀬郁郎，寺門一馬(1992): 緩衝材の特性試験（I），動燃技術資料，PNCTN1410 92-057.

・竹内真司，原啓二，中野政詩（1995）：圧縮ベントナイトの水分拡散係数と水の移動形態，地盤工学会論文報告集.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I（Nagra, 1994）

熱伝導率と比熱について、その温度と含水比依存性を考慮している模様（温度：30-150℃，含水比

7-0%)であるが詳細は不明 (K-I, p.44-45)。

B-1.3 緩衝材の熱膨張

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ガラス固化体の発熱により温度が上昇し、ベントナイトが熱膨張することが想定される。熱膨張量は温度と応力的な拘束条件に依存し、厳密には熱-水理-応力連成解析の中で評価する必要がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-1.1緩衝材の温度→B-1.3緩衝材の熱膨張

B-1.1参照

B-3.2緩衝材の応力→B-1.3緩衝材の熱膨張

〔当該F E Pへの影響〕

ベントナイトに作用する応力により熱膨張量が制限される。

〔評価〕

ベントナイトを対象とした熱-水理-応力連成解析の中で、ベントナイトの線膨張係数（茂呂他、1994）を用い評価する。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-1.3緩衝材の熱膨張→B-3.2緩衝材の応力

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

熱膨張が拘束されることによりベントナイト中に熱応力が発生する。

〔評価〕

ベントナイトを対象とした熱-水理-応力連成解析の中で、ベントナイトの線膨張係数（茂呂ほか、1994）を用い評価する。

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：ベントナイトの熱膨張は考慮されていない。

・H3以降の取扱い：ベントナイトを対象とした熱-水理-応力連成解析の中で、ベントナイトの線膨張係数（茂呂他、1994）を用い評価する。ただし、処分環境においては、熱応力は他の応力（膨潤応力、腐食膨張による応力、地圧）と比べると小さいと考えられる。

2.モデル化に関する記述

ベントナイトを対象とした熱-水理-応力連成解析の中で、ベントナイトの線膨張係数（茂呂ほか、1994）を用い評価する。

3.文献リスト

・茂呂吉司、藤田朝雄、菅野毅、小林晃（1994）：緩衝材大型試験設備（BIG-BEN）における熱-水-応力連成試験、放射性廃棄物研究、1。

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I（Nagra, 1994）

（ベントナイト熱膨張の考慮については不明）

B-3.1 緩衝材の膨潤

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

ベントナイトの浸潤に伴い、モンモリロナイト層間に微視的な膨潤圧が発生し、これが巨視的な応力（膨潤応力）となる。この膨潤応力は、人工バリアおよび周辺母岩における応力場を決める重要な要因の一つである。膨潤応力は水が緩衝材中に浸透するにつれて徐々に発生し、その大きさはベントナイトの種類、密度、含水量、温度および間隙水の化学的特性に依存する。また膨潤応力は、オーバーパックと母岩に影響を与えることが想定される。さらに膨潤によりベントナイト中に密度分布が生じる可能性がある。母岩中の亀裂を充填したり、ベントナイトのブロック間、ベントナイト／母岩の境界およびベントナイト／オーバーパックの境界の双方のギャップを埋めることが期待される。ただし、母岩の亀裂幅が大きい場合は、膨潤によりベントナイトが亀裂中へ流出ことが想定される。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1緩衝材の冠水→B-3.1緩衝材の膨潤

【当該FEPへの影響】

ベントナイトの冠水によりベントナイト中のモンモリロナイト鉱物の層間に水分子が数個取り込まれる（中野ほか、1984；山形ほか、1992）ことにより層間が広がり膨潤が起こる。この際、層間には微視的な膨潤圧が発生する。

【評価】

浸潤にともなうベントナイト間隙水の初期のサクシオン（負の間隙水圧）の変化量として微視的な膨潤圧が記述されている（藤田ほか、1995）。ただし、微視的な膨潤圧は、直接計測することが困難であり、これより発生する巨視的な応力（膨潤応力）として評価する。

B-4.1緩衝材中の空隙水の化学→B-3.1緩衝材の膨潤

【当該FEPへの影響】

ベントナイトの膨潤状態は空隙水の化学（pH、イオン強度、溶存イオン種の濃度等）に依存することが想定される。

【評価】

膨潤状態（膨潤圧、膨潤量）に及ぼす空隙水化学の影響を把握する必要がある。ただし、既存データでは、あまり大きな影響は報告されていない（Ishikawa et al., 1989；Pusch, 1980）。

B-1.1緩衝材の温度→B-3.1緩衝材の膨潤

B-1.1参照

B-4.2緩衝材の鉱物組成・特性→B-3.1緩衝材の膨潤

B-4.2参照

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.1緩衝材の膨潤→B-2.2緩衝材の水理特性

【当該FEPが及ぼす影響】

ベントナイトの膨潤によりベントナイト中の間隙構造が変化し、それに伴い、間隙中を流れる水の透水性が変化する。

【評価】

膨潤に伴う微視的な間隙の透水性の変化を直接評価することは困難であり、巨視的・平均的な間隙量の変化による巨視的な透水性の変化として評価する。

B-3.1緩衝材の膨潤→B-3.2緩衝材の応力

【当該FEPが及ぼす影響】

膨潤圧によりベントナイト中に巨視的な応力が発生する。

【評価】

サクシオンの変化量に等しいと仮定して評価した微視的な膨潤圧は観測される巨視的な応力（膨潤応力）とは一致しない（藤田ほか、1995）。今後、この両者が相違する要因を検討する必要がある。

B-3.1緩衝材の膨潤→B-3.4緩衝材の流出

〔当該FEPへの影響〕

膨潤によりベントナイトが周辺岩盤の亀裂中へ侵入し流出することが想定される。小型模擬試験により、この膨潤で亀裂に侵入する場合のベントナイトの変位は時間の平方根 (Kanno et al., 1991) や対数 (Pusch, 1983) に比例するという実験式が得られている。流出したベントナイト・ゲルの先端の含水比はその粘土の液性限界値にほぼ一致する (Boisson, 1989)。また、亀裂幅が0.1mm程度と小さい場合はこの流出はほとんど起こらないことが報告されている (Pusch, 1983)。

〔評価〕

この流出現象の駆動力は膨潤圧であると考えられるが、膨潤圧と流出量の定量的な関係はまだ把握されていない。処分場で想定される膨潤圧と亀裂開口幅に基づいて流出速度、流出量を評価する必要がある。

B-3.1緩衝材の膨潤→B-4.1緩衝材中の空隙水の化学

B-4.1参照

B-3.1緩衝材の膨潤→B-4.2緩衝材の鉱物組成・特性

B-4.2参照

④当該FEPの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】処分環境では、流出する部分を除き、ベントナイトの体積変化は拘束された状態にあることが想定されるため、膨潤プロセスは膨潤圧による機械的応力の発生という形で評価される。

- ・ H3での取扱い：膨潤プロセスを熱応力のアナロジーとして、弾塑性2次元軸対称解析を実施
- ・ H3以降の取扱い：膨潤圧が初期サクシヨンの変化量に等しいと仮定したモデル化を実施

2.モデル化に関する記述

微視的な膨潤圧が初期サクシヨンの変化量に等しいと仮定したモデル化を実施している。ただし、微視的な膨潤圧は計測が困難であり、ベントナイト中の巨視的な応力として評価する必要がある。

3.文献リスト

- ・ 藤田朝雄, 千々松正和, 菅野 毅, 小林 晃, 茂呂吉司, 中野政詩, (1995): 緩衝材の膨潤応力のモデル化に関する検討, 土木学会第50回年次学術講演会。
- ・ 藤田朝雄, 五月女敦, 原啓二, 納多勝 (1992): 人工バリアの構造力学的検討, 動燃技術資料, PNC/TN1410 92-053.
- ・ 中野政詩, 雨宮 悠, 藤井克己, 石田朋靖, 石井明俊 (1984): 拘束された不飽和粘土の浸潤と膨潤圧, 農土論集, 112
- ・ 中野政詩 (1991): 土の物質移動学, 東京大学出版会
- ・ Pusch (1980): Swelling pressure of highly compacted bentonite, SKBF/KBSTR 80-13.
- ・ 鈴木英明, 柴田雅博, 山形順二, 広瀬郁郎, 寺門一馬 (1992): 緩衝材の特性試験 (I), PNC/TN1410 92-057.
- ・ 竹内真司, 原 啓二, 中野政詩 (1995): 圧縮ベントナイトの水分拡散係数と水の移動形態, 地盤工学会論文報告集。
- ・ 山形順二, 鈴木英明, 柴田雅博 (1992): 緩衝材の特性試験 (II), PNC/TN8410 92-169.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

飽和によるベントナイトの体積増加は、処分坑道の体積によって妨げられる。ベントナイトの膨潤圧については、周辺岩の亀裂やクラックを塞ぐかもしれないが、安全評価では無視している。母岩の破壊を避けるために、膨潤圧が静岩圧30MPaを越えないようなベントナイトの乾燥密度が選択される。母岩からベントナイトへの水の浸透は局部的に限定されることが想定されるが、ベントナイト中での浸潤

フロントが温度場によって均一化されることを示している研究もある(Carnahan,1988)。

B-3.2 緩衝材の応力

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ガラス固化体の発熱、ベントナイトの微視的な膨潤圧、オーバーパックの腐食膨張および周辺岩盤のクリープによりベントナイト内に応力が発生することが想定される。ベントナイト内の応力の変化により、オーバーパックとNF岩盤の応力状態も変化する。また、オーバーパックの沈下現象はベントナイト中の応力分布に依存すると考えられる。ベントナイト中の応力の変化に伴い、密度が変化し様々な特性が変わることが想定される。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.1緩衝材の膨潤→B-3.2緩衝材の応力

B-3.1参照

H-3.1NF母岩の応力→B-3.2緩衝材の応力

【当該F E Pへの影響】

周辺岩盤の応力がベントナイトに作用して、ベントナイト中の応力状態が変化する。

【評価】

処分孔や処分坑道が自立している場合は、周辺岩盤からベントナイトに応力がかかることはない。周辺岩盤がクリープ変形する場合は、ベントナイトが圧縮されることが想定される。この場合、ベントナイトに作用する応力の最大値は地圧に等しいと考えられる（動燃事業団、1992）。

OP-3.1オーバーパックの応力→B-3.2緩衝材の応力

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックの応力が作用して、ベントナイト中の応力状態が変化する。

【評価】

オーバーパックの熱応力等がベントナイトに作用されることが考えられる。

OP-3.4オーバーパックの腐食膨張→B-3.2緩衝材の応力

【当該F E Pへの影響】

腐食によるオーバーパックの膨張によりベントナイトに機械的応力が作用する。

【評価】

ベントナイトの厚さを70cmとすればベントナイトの健全性は確保されるという検討例もある（豊田、1995）が、オーバーパック、オーバーパック腐食生成物、ベントナイトおよび岩盤に関して適切な力学的構成式を用い、数値解析等により応力の平衡状態を評価する必要がある。

B-1.3緩衝材の熱膨張→B-3.2緩衝材の応力

B-1.3参照

B-3.3緩衝材の力学物性→B-3.2緩衝材の応力

【当該F E Pへの影響】

力学物性の変化に伴いベントナイトの応力が変化する。

【評価】

応力解析の中でベントナイトの力学物性の変化を適正に考慮する必要がある。

B-3.4緩衝材の流出→B-3.2緩衝材の応力

【当該F E Pへの影響】

流出によってベントナイトの量が減り、ベントナイトの応力状態が変化するが想定される。

【評価】

流出量を評価することにより応力への影響を推定する。流出量が小さい場合、応力的な影響はほとんどないと考えられる。

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.2緩衝材の応力→OP-3.1オーバーパッキングの応力

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力がオーバーパッキングに作用する。

〔評価〕

周辺岩盤の地圧がベントナイトを介してオーバーパッキングに作用するという評価でオーバーパッキングの設計が行われている（動燃事業団，1992）。

B-3.2緩衝材の応力→H-3.1NF母岩の応力

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力が岩盤に作用する。

〔評価〕

岩盤の力学的安定性に及ぼす影響を評価する必要がある。特に、ベントナイトの応力が地圧と同じ程度の大きさとなる場合は影響が大きい（Saotome et al., 1991）。ベントナイトの厚さを70cmとすれば岩盤の健全性は確保されるという検討例もある（豊田，1995）が、オーバーパッキング腐食生成物、ベントナイトおよび岩盤に関して適切な力学的構成式を用い、数値解析等により応力の平衡状態を評価する必要がある。

B-3.2緩衝材の応力→B-1.3緩衝材の熱膨張

B-1.3参照

B-3.2緩衝材の応力→B-1.2緩衝材の熱物性

B-1.2参照

B-3.2緩衝材の応力→B-2.2緩衝材の水理特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力によりベントナイト中の密度が変化することにより、水理特性が変化する。

〔評価〕

ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度における水理特性として評価する。

B-3.2緩衝材の応力→B-3.3緩衝材の力学物性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの力学物性が応力に依存するが想定される。

〔評価〕

三軸試験等によりベントナイトの力学物性の応力依存性に関するデータを取得する。

B-3.2緩衝材の応力→B-3.4緩衝材の流出

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの流出特性はベントナイトの膨潤応力に依存すると考えられる。

〔評価〕

この流出現象の駆動力は膨潤応力であると考えられるが、膨潤応力と流出量の定量的な関係はまだ把握されていない。処分場で想定される膨潤応力と亀裂開口幅に基づいて流出速度、流出量を評価する必要がある。

B-3.2緩衝材の応力→B-3.5緩衝材のクリープ

〔当該F E Pへの影響〕

オーバーパッキングの沈下等によるベントナイトのクリープ現象はベントナイト中の応力状態に依存する。

〔評価〕

ベントナイトのクリープ量は、ベントナイト中の平均応力に依存する。

B-3.2緩衝材の応力→B-6.1緩衝材中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

オーバーパッキングの腐食膨張等により、ベントナイト中の応力が増加する場合、ベントナイト中の密度が変化することにより、ベントナイト中の核種の移動特性が変化することが想定される。

〔評価〕

ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度における核種移行特性を評価する。

B-3.2緩衝材の応力→B-6.2緩衝材によるフィルター効果

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力によりベントナイト中の密度が変化することにより、ベントナイト中のフィルター効果が変化することが想定される。

〔評価〕

ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度におけるフィルター効果を評価する。

B-3.2緩衝材の応力→B-6.3緩衝材中のガス移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力によりベントナイト中の密度が変化することにより、ベントナイト中のガス移行特性が変化する。

〔評価〕

ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度におけるガス移行特性を評価する。

B-3.2緩衝材の応力→B-6.4緩衝材中の溶質の拡散

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の応力の増加によりベントナイト中の密度が増加することにより、ベントナイト空隙中の溶質の拡散特性が変化する。

〔評価〕

密度の増加により溶質の拡散係数は減少するため、この現象は保守的に無視し得る。

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後およびベントナイト飽和後】

・H3での取扱い：膨潤応力は熱応力のアナロジーとして、弾塑性2次元軸対称解析を実施。腐食膨張現象は膨張量を仮定して、ベントナイト中の応力を評価。周辺岩盤のクリープの詳細解析は行っていないが、クリープによりベントナイトに地圧がかかることを想定している。

・H3以降の取扱い：ベントナイトの粘・弾塑性物性データの取得を行い、数値解析により、熱応力、腐食膨張および岩盤クリープ現象による応力の平衡状態を評価する。

2.モデル化に関する記述

ベントナイトについては、三軸試験により、カム・クレイモデル等の弾塑性または粘・弾塑性モデルの適用性を検討する。

3.文献リスト

・動燃事業団 (1992):高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度—, PNC/TN1410/92-081.

・Saotome et al.,(1991): Study of mechanical stability of engineered barrier system for deep geological isolation of high-level radioactive waste. In Proc. 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, JAPAN.

・豊田正敏 (1995):高レベル放射性廃棄物地層処分場のニアフィールド挙動およびレイアウトに関する考察, 日本原子力学会誌, Vol 37, No.4.

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

母岩の破壊を避けるために、膨潤圧が静岩圧30MPaを越えないようなベントナイトの乾燥密度が選択される。鉄の腐食による磁鉄鉱の形成は、キャニスターの体積を2倍にし、緩衝材中の応力を増加させる。応力解析では、100cmの厚みのベントナイトであれば応力はベントナイト内で緩衝され、岩盤には影響がないことが示されている(Saotome,1991)。

B-3.3 緩衝材の力学物性

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイトの力学物性については、まず力学モデルの選定が前提となる。したがって、三軸試験等により既存の粘・弾塑性モデルの適用性を検討した後に物性値を確定するという手順になる。その際、力学物性の温度・含水比・応力依存性についても検討する必要がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1ベントナイトの冠水→B-3.3ベントナイトの力学物性

【当該F E Pへの影響】

ベントナイトの力学物性は含水量に依存することが想定される。

【評価】

ベントナイトの力学物性の含水比依存性を試験的に確認する必要がある。弾性係数については飽和度の関数として含水比依存性のデータが取得済み（藤田ほか，1992）である。

B-1.1緩衝材の温度→B-3.3緩衝材の力学物性

B-1.1参照

B-4.1緩衝材中の空隙水の化学→B-3.3緩衝材の力学物性

B-4.1参照

B-3.2緩衝材の応力→B-3.3緩衝材の力学物性

B-3.2参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.3緩衝材の力学物性→B-3.2緩衝材の応力

B-3.2参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

- ・H3での取扱い：弾性係数については、飽和度の関数として含水比依存性を評価した。
- ・H3以降の取扱い：力学物性の応力依存性は三軸試験等により検討中である。

2.モデル化に関する記述

ベントナイトについては、三軸試験により、カム・クレイモデル等の弾塑性または粘・弾塑性モデルの適用性を検討し、力学物性データの検討する。

3.文献リスト

- ・藤田朝雄，五月女敦，原啓二（1992）：緩衝材の力学試験，動燃技術資料，PNC/TN8410 92-170。

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I（Nagra, 1994）

（ベントナイトの力学物性については不明）

B-3.4 緩衝材の流出

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

膨潤したベントナイトの可塑性により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。以下のプロセスが、ベントナイトの好ましい特性を損じるかもしれない。-流入する緩衝材の先端がソフトゲルを形成する-ソフトゲルが地下水流により浸食される-浸食されたソフトゲルに相当する量が処分孔から補給される-処分孔中の緩衝材の量が減少し続ける

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.1緩衝材の膨潤→B-3.4緩衝材の流出

B-3.1参照

B-3.2緩衝材の応力→B-3.4緩衝材の流出

B-3.2参照

H-2.2NF母岩の水理地質構造→B-3.4緩衝材の流出

【当該FEPが及ぼす影響】

NF母岩中の亀裂の開口幅や表面粗さが流出に大きく影響することが想定される。亀裂幅が0.1mm程度と小さい場合はこの流出はほとんど起こらないことが報告されている(Pusch, 1983)。

【評価】

流出速度は亀裂幅に依存するという試験結果が得られている(Kanno et al., 1991)。亀裂の開口幅、表面粗さ等の水理地質構造が流出に及ぼす影響を試験的に把握し、実処分環境におけるこれら特性の影響を評価する。なお、周辺岩盤の亀裂開口部に既に天然の充填鉱物や人工のグラウト材等が存在する場合はベントナイトの侵入は起こらないと考えられる。

H-2.1NF母岩の地下水流動→B-3.4緩衝材の流出

【当該FEPへの影響】

亀裂へ侵入したベントナイトのソフトゲルが地下水流によって浸食される可能性がある。ベントナイトの粒子間力と地下水流速の抗力を比較して、10-4m/sの流速が臨界値となり、これ以下の流速では浸食の影響は無視できるという報告がある(Pusch, 1983)。

【評価】

浸食は、地下水流の抗力がベントナイトの粒子間力よりも大きい場合に起こると考えられる。浸食が起こる臨界流速を試験的に把握し、実処分場における浸食の有無を評価する。

H-4.1NF母岩中の地下水化学→B-3.4緩衝材の流出

【当該FEPが及ぼす影響】

NF母岩亀裂中でベントナイトと接する地下水の化学特性がベントナイトの剥離特性に影響することが想定される。

【評価】

ベントナイトの剥離特性に及ぼす地下水化学の影響を実験的に把握する必要がある。

H-4.2NF母岩の鉱物組成・特性→B-3.4緩衝材の流出

【当該FEPが及ぼす影響】

NF母岩中の亀裂表面の鉱物がベントナイトの流出に化学的な影響を及ぼすことが想定される。

【評価】

ベントナイトコロイドの鉱物表面への吸着特性として、現象を実験的に把握する。

B-6.3緩衝材中のガス移行→B-3.4緩衝材の流出

【当該FEPが及ぼす影響】

ベントナイト中をガスが移行する際にベントナイトを押し出す可能性がある。

【評価】

ガス移行に関する模擬試験等により、ガス移行がベントナイト流出に及ぼす影響を調査する必要がある。

ある。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト，その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.4緩衝材の流出→B-4.6緩衝材からのコロイドの形成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

周辺岩盤に侵入したベントナイトが地下水に浸食されて，ベントナイトコロイドが形成される可能性がある。

〔評価〕

剥離したベントナイト粒子がどのような物理／化学環境条件下で安定なコロイドとなるかを実験等で評価する必要がある。

B-3.4緩衝材の流出→H-2.2NF母岩の水理地質構造

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトが母岩の亀裂中に侵入し，NF母岩の水理地質構造が変化する可能性がある。

〔評価〕

侵入したベントナイトによりNF岩盤亀裂の一部が充填されることにより，NF岩盤の水理場が変化することが考えられる。

B-3.4緩衝材の流出→H-4.2NF母岩の鉱物組成・特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトが母岩の亀裂中に侵入し，NF母岩と化学反応を起こし，母岩の鉱物組成が変化することが想定される。

〔評価〕

ベントナイトコロイドの岩盤亀裂表面への吸着を含め，ベントナイトコロイドと母岩との化学反応を実験的に調べる必要がある。

B-3.4緩衝材の流出→B-2.2緩衝材の水理特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

流出により地下水との境界付近のベントナイトの透水性が変化することが想定される。

〔評価〕

ベントナイトの流出部の乾燥密度を評価し，透水性の変化量を推定する。

B-3.4緩衝材の流出→B-3.2緩衝材の応力

B-3.2参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：実際の岩の亀裂開口部は，一般に亀裂充填物で占有されており，さもなければ開口亀裂はグラウト注入されることが想定される。このため，流出プロセスを考慮することは非常に保守的であると考えられる。深部地下での地下水流速は非常に小さいため，ベントナイトの浸食は処分場では起こらないと考えられる（動燃事業団，1992）。

・H3以降の取扱い：ベントナイトの亀裂への侵入速度や浸食の起こる臨界地下水流速等を実験的に把握し，実処分場条件下でのベントナイトの流出量を評価する。NF母岩中における核種移行では，亀裂中に侵入したベントナイトの影響を考慮した評価をする方が現実的と考えられる。

2.モデル化に関する記述

ベントナイトの膨潤による亀裂への侵入現象については，粘性流体モデルや拡散モデルが適用されている。粘性流体モデルでは，流体としては不合理な高い粘度が得られている。また，拡散モデルは現象論的なアプローチである。明確なメカニズムを含むより詳細なモデルとしては，粘・弾塑性挙動を示す固体としてのモデル化が妥当であると考えられる。

3.文献リスト

・動燃事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度—，

PNCTN1410 92-081.

- Boisson (1989): Study on the erosion possibilities by flowing groundwaters on bentonite plugs expanded from borehole into fractures, Proc. NEA/CEC Workshop - Sealing of radioactive waste repositories.
- Kanno and Wakamatsu (1991): Experimental study on bentonite gel migration from a deposition hole, Proc. 3rd Int. Conf. Nuclear Fuel Reprocessing and Waste Management (RECOD'91).
- Pusch (1983): Stability of bentonite gels in crystalline rock - physical aspects, SKBF/SKB TR 83-04.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

ベントナイト浸食の速度を計算した結果, 良好に設置されかつ低流速が期待される場合には重要でないことが示されている(Nagra, 1987:pp 64-65; Brenner, 1988)。その反面埋め戻しが十分でなかったり, 高透水性の含水領域の近くにキャニスターを設置した場合には, 浸食の影響が大きくなることもありうるが, その可能性は品質保証や坑道掘削および定置前の特性調査により低くすることができる。このため, このプロセスは今後の検討から除外することができる。

B-3.5 緩衝材のクリープ

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイトは良好な可塑性を有しているが、充填密度に依存してベントナイトの圧密や粘弾塑性変形が生ずるかもしれない、オーバーバックがベントナイト中で沈下する可能性がある。このことは核種移行経路の長さを減少させるかもしれない。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1緩衝材の冠水→B-3.5緩衝材のクリープ

【当該F E Pへの影響】

ベントナイトが冠水に伴い軟化する（藤田他，1992）ことによりベントナイトのクリープが起こる。

【評価】

ベントナイトの粘・弾塑性物性を取得し、含水量の増加に伴うベントナイトの軟化挙動を評価する。

OP-3.3オーバーバックの沈下→B-3.5緩衝材のクリープ

【当該F E Pへの影響】

オーバーバックの沈下に伴いベントナイトのクリープが発生する。

【評価】

三軸クリープ試験を実施し、オーバーバックが沈下する状況におけるベントナイトのクリープ特性を把握する必要がある。

B-3.2緩衝材の応力→B-3.5緩衝材のクリープ

B-3.2参照

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.5緩衝材のクリープ→OP-3.3オーバーバックの沈下

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイトがクリープすることによりオーバーバックがベントナイト中を沈下する。

【評価】

ベントナイトのクリープ特性を把握した後に、処分環境条件下におけるオーバーバックの沈下量を評価する必要がある。

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：ベントナイト中での空隙水排水がある場合については圧密弾塑性モデルを、非排水の状態の場合については粘弾塑性モデルを用いた。それぞれの解析の結果、オーバーバック沈下の程度はベントナイト中での核種移行にあたる影響は無視できるほど小さいことを示している。

・H3以降の取扱い：三軸試験によりベントナイトの粘・弾塑性挙動を把握し、モデルや物性データの信頼性を上げてから解析を行う。

2.モデル化に関する記述

オーバーバック沈下に関する解析を行った（藤田ほか，1992）。ベントナイト中での空隙水排水がある場合については圧密弾塑性モデルを、非排水の状態の場合については粘弾塑性モデルを用いた。それぞれの解析の結果、オーバーバック沈下の程度はベントナイト中での核種移行にあたる影響は無視できるほど小さいことを示している。三軸試験等のデータ取得によりモデルの信頼性を向上させることが課題である。

3.文献リスト

- ・藤田朝雄，五月女敦，原啓二（1992）：緩衝材の力学試験，動燃技術資料，PNC TN8410 92-170.
- ・藤田朝雄，五月女敦，原啓二，納多勝（1992）：人工バリアの構造力学的検討，動燃技術資料，

PNCTN1410 92-053.

・ Saotome et al., (1991): Study of mechanical stability of engineered barrier system for deep geological isolation of high-level radioactive waste. In Proc. 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, JAPAN.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

ベントナイトが飽和した状態で、通常の土壌力学の creep-strain 方程式および短期の圧縮試験のデータを用いた解析では、10000年間における最大の沈下量は1～5 mmであり、時間とともに減少することが示された(Whittle et al., 1991)。核種移行に対しては、20cm沈下(20%づれ)の場合は緩衝材からの総拡散フラックスに影響を与えず、70cm沈下(50%づれ)の場合でも総フラックスが20%増えるだけである(Mckinley et al., 1992)。しかしながら、非常に長期の時間スケールにわたって応力ひずみ硬化となる性質の固体として圧縮ベントナイトをモデル化することが適切かどうかについては不確かなものとなっている。沈下速度が小さいが一定の速度である場合には、キャニスターはベントナイト中を沈下し、やがては処分坑道壁に接することになる。現在の理解では、沈下は起こらないか、あるいは起こったとしても遅くて重要ではないと考える(必要ならば、sand richな支持層あるいはstone支持のようなものを考える)。それゆえにこのFEPは将来的に検討する価値はあるものと定義するが、放射線学的な結果はKristallin- Iでは評価していない。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイト空隙水化学は地下水の飽和に伴うベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく。この際、空隙水化学は地下水の水質、処分場に侵入した空気や微生物、ガラス固化体からの熱や地熱、ベントナイトの物理化学的性質、ベントナイトの膨潤、溶質の拡散の影響を受ける。さらにオーバーパックの腐食に伴う腐食生成物や水素ガスの影響も考えられる。オーバーパック破損後は、ガラス固化体から溶けだした核種の崩壊による放射線分解の影響も想定される。また岩盤/ベントナイト境界部で起こるベントナイト・コロイドの散逸現象への空隙水化学の影響も考えられる。一方、空隙水化学はオーバーパックの腐食速度を決定し、ガラス固化体から核種の溶解およびベントナイト中の物質移行に影響を与えることになる。またベントナイトのイオン交換特性はベントナイト中の核種移行に影響を与える。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1 緩衝材の冠水→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pへの影響】

ベントナイトの冠水に伴い、空隙水化学はベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく(油井ら, 1992)。

【評価】

ベントナイトの冠水中に黄鉄鉱の酸化が生じ、掘削に伴い侵入した空気中の酸素は消費されてゆく。また空気中の二酸化炭素は地下水に吸収され、ベントナイト中の方解石と溶解平衡になる。したがって、ベントナイトの冠水中においては、これらの反応を考慮する(油井他, 1992)。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pへの影響】

一般に地下水のpHやEhは、ベントナイト中の主成分であるスメクタイトや不純物として含まれる黄鉄鉱や方解石による化学的緩衝作用で、性能評価上好ましいレンジに変化する(油井ら, 1992)。

【評価】

地下水で飽和後のベントナイトの空隙水化学は、スメクタイトのイオン交換作用、方解石や黄鉄鉱等の化学反応によって支配されることになる(Wanner, 1986, Sasaki et al, 1995)。陽イオン交換については主に溶解したCaとスメクタイト層間中のNaとの間で生じる。可溶性塩(NaCl, CaSO₄等)は、飽和初期のベントナイト-水反応により溶出、逸散すると考えられる。一方、スメクタイトの表面サイト(エッジサイト)も方解石の消費後にはpHに影響を与えると考えられる(Wanner et al, 1992, Wieland et al, 1994)。また、方解石の溶解により長期的には、NaスメクタイトのCa型化も生じ、これにより緩衝作用も低下する(油井ら, 1992)。このため、飽和後のベントナイトの空隙水化学は、これらの反応やその影響を考慮する。

H-4.1 NF母岩中の地下水化学→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pへの影響】

NF母岩中のpH, Eh, 炭酸濃度, イオン強度等の地下水水質は、ベントナイト中の鉱物との反応により変化し、ベントナイト空隙水の化学に影響を与える。

【評価】

ベントナイトに浸入してくる母岩の地下水水質は、pHや方解石に対する平衡状態の違いで緩衝性維持時間が異なる。またベントナイトのイオン交換による緩衝能力は、地下水のイオン強度、特にNa⁺やCa²⁺濃度に依存する(Wanner, 1986, 油井ら, 1992)。またイオン強度の違いはエッジサイトの解離に影響するため、緩衝性維持時間が異なる(Wieland et al, 1994)。

B-4.3 緩衝材中のガス(空気)→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pへの影響】

掘削影響に伴い処分場に侵入した空気中の酸素や二酸化炭素は、ベントナイトの冠水に伴い消費、吸収されてゆく(油井ら, 1992)。

【評価】

ベントナイトの冠水中に黄鉄鉱の酸化が生じ、掘削に伴い侵入した空気中の酸素は消費されてゆく。また空気中の二酸化炭素は地下水に吸収され、ベントナイト中の方解石と溶解平衡になる。したがって、ベントナイトの冠水中においては、これらの反応を考慮する(油井他,1992)。

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

[当該FEPへの影響]

硫酸塩還元菌等の微生物による空隙水への影響としては、酸化還元反応の加速や錯形成配位子の供給が考えられる。

[評価]

微生物は、ベントナイトの不飽和段階では地下水の飽和とともに微生物は移行するものの、微生物の大きさがミクロンオーダーであるため、ベントナイトが飽和されれば、ベントナイトの微細空隙構造によりろ過されると考えられる(吉川ら, 1996)ため、空隙水化学への影響は無視できる。

B-1.1 緩衝材の温度→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

[当該FEPへの影響]

ニアフィールドにおける温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、空隙水化学に影響を与える可能性がある。

[評価]

空隙水化学は、25℃の標準状態での熱力学データを用いて評価されている(油井ら,1992)。地温程度(50~60℃)での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

B-3.1 緩衝材の膨潤→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

[当該FEPへの影響]

膨潤に伴い、ベントナイトは微細空隙構造を持つことが知られている。このような微細空隙構造は、乾燥密度1.8g/cm³で、スメクタイトの層間が均一に分布しているとすれば、層間隔は約5Åと推定される。この値はX線回折で報告されている底面間隔の値等(山形ら, 1992, 藤井ら,1984)とも一致する。空隙水化学は、このような微細空隙中での溶液化学を扱うものであり、空隙壁面とイオンの相互作用により影響を受ける(大江,1995)。

[評価]

微細空隙中での空隙壁面とイオンの相互作用の影響は、電気2重層を考慮した水溶性化学種の活量係数の補正も試みられている(大江,1995)が、濃厚溶液と同程度であろうと考えられる(McKinley,1994)。

B-6.4 緩衝材中の空隙水中の溶質の移行→B-4.1 ベントナイト空隙水の化学

[当該FEPへの影響]

ベントナイトは地下水と接すると膨潤し、透水性は著しく低下するため、物質の移行は拡散支配となる。したがって、飽和後の空隙水化学の経時変化は、化学反応と拡散により支配される。

[評価]

ベントナイト-水反応の経時変化を評価するため簡易モデルとしては、ミキシング・タクモデルがあり評価が行われている(Wanner et al,1992, Wieland et al,1994, 油井ら,1992)。より厳密にベントナイト-水反応の経時変化を評価するためには、物質移行-地球化学連成モデルが必要である。

B-5.1 緩衝材中の空隙水の放射線分解→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

[当該FEPへの影響]

ガラス固化体中の核種から放射線やベントナイト中を移行する核種が崩壊することによって、水の放射線分解が生じ、ベントナイト空隙水化学に影響を与えることが想定される。

[評価]

オーバーパックによる核種閉じ込め機能が維持されている限り、 α 線と β 線は完全に遮蔽されるが、 γ 線と中性子線はオーバーパックを透過してベントナイトへ達する。またオーバーパックによる核種閉じ込め機能が喪失する時点(約1000年)においては、インベントリの大半を占める短半減期の核種が減衰しているため、 β 線、 γ 線、中性子線の影響は無視することができ、長半減期の核種の α 崩壊による影響のみが残ることになる。したがって、ガラス固化体表面やベントナイト中を拡散する核種からの α 線による放射線分解を考慮することになるが、単純な解析(動燃事業団, 1992)によれば、過酸化水素といった放射線分解によって生成するすべての酸化剤は、炭素鋼製オーバーパックの腐食生

成物で緩衝されることが示されている。

OP4.2 水素ガスの発生→B4.1 緩衝材中の空隙水の化学

〔当該F E Pへの影響〕

還元雰囲気下におけるオーバーパックの腐食に伴う水素については、空隙水のEhに影響を与えるだろう。

〔評価〕

水素は元来不活性であるためその影響は無視できる。

OP4.3 腐食生成物の生成→B4.1 緩衝材中の空隙水の化学

〔当該F E Pへの影響〕

ベントナイト空隙水がオーバーパックと接触し、腐食が開始され、最終的に安定な腐食生成物が形成されるまでの一連のプロセスにより空隙水化学は影響を受ける。

〔評価〕

最終的に安定な腐食生成物としてはマグネタイト(Fe_3O_4)が考えられ、スメクタイトのイオン交換反応、方解石や石英の溶解平衡に加えてマグネタイトの溶解平衡を考慮して空隙水化学が評価されている(油井ら,1992)。しかしながら、最新のベントナイト-鉄-水反応のバッチ実験によれば、溶液中のpHやEhを支配している現実的な腐食生成物として $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ が同定されているため(楠戸ら,1996)、これによる空隙水化学への影響を考慮する。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

地下水のpHやアルカリイオン、鉄イオン等の濃度は、ベントナイト中の主成分であるスメクタイトの変質や方解石の消費をもたらす。Caイオン濃度が高い場合には、NaスメクタイトのCa型化(油井ら,1992)、オーバーパックの腐食に伴う Fe^{2+} イオンの影響ではFe型化や緑泥石化(鉄水酸化物のスメクタイト層間への侵入によるベントナイトの変質)、 K^+ 濃度や温度が高い場合にはイライト化(柴田ら,1992, Anderson,1983等)が考えられる。

〔評価〕

NaスメクタイトのCa型化は、地下水のpH、 Ca^{2+} 濃度や水理条件等に大きく依存しており、地下水とベントナイト空隙水のミキシングタンク・モデルによる試算が行われており、それによればCa型化に要する時間は500～1500万年である(油井ら,1992)。イライト化については、ナチュラル・アナログ研究や室内実験により、想定される温度や K^+ 濃度といった処分環境条件では顕著ではないことが示されている。Fe $^{2+}$ イオンの影響では、Fe $^{2+}$ イオン濃度が鉄鉱物との平衡で支配される場合、イオン交換平衡から計算されるFe型化は全イオン交換容量に対して大きくないことが示されている(小田ら,1996)。緑泥石化については、ベントナイト空隙水の領域では、鉄水酸化物錯体が安定でないことから考えにくい(Grauer,1990)。

B4.1 緩衝材中の空隙水の化学→H4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩の地下水水質は、ベントナイトの地下水による浸食や亀裂中への侵入により影響や空隙水と地下水の混合による影響を受ける。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもないと開口部亀裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著に起こらないと考えられる(動燃事業団,1992)。よってベントナイトの流出による母岩の地下水水質への影響は小さいと考えられる。地下水の下流側では移流・分散による影響は考慮する必要があるが、核種移行評価上は非保守的な評価になるものと考えられる。

B4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B4.4 緩衝材中の微生物の活動

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水化学は、不飽和段階では酸化性であるが、飽和段階ではベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食の影響により還元性になるため微生物の生息環境に影響を与える。

〔評価〕

微生物のpHやEh耐性領域図が作成されており(Fukunaga et al, 1995)それによれば不飽和段階では、鉄酸化細菌、イオウ酸化細菌等の好気性細菌が、飽和段階では、硫酸塩還元菌等の嫌気性細菌が活性となる。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-3.1 緩衝材の膨潤

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの膨潤、分散性は接触する溶液のイオン強度等に依存する。

〔評価〕

一般に海水系では膨潤圧力が低下することが知られているが、高圧縮密度ではその差は顕著ではない。また、分散性については、流出の観点からは、逆に分散性の低い方が好ましいことも考えられる。いずれにしても、空隙水化学の変化がベントナイトの膨潤性能について緩衝材性能を著しく低下させる程度には寄与しないと考えられる。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-6.4 緩衝材中の溶質の移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水化学は、拡散化学種および拡散経路でのスメクタ等からの電気二重層の広がり(ポテンシャル)を支配するため溶質の拡散に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイト中の核種の拡散については、主に空隙構造を表すフォーメーション・ファクターにより評価されてきた(佐藤ら, 1992)が、支配的拡散化学種を考慮した電気二重層モデルによる解釈がおこなわれており(Sato et al., 1995), 化学種によって実効拡散係数は数桁異なる。よってベントナイト空隙水化学に基づき予測される支配的化学種を考慮した拡散の評価を行う。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.2 水素ガスの発生

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水化学は、オーバーパックの腐食に影響を与えるため水素ガスの発生挙動にも影響する。

〔評価〕

水素ガスの発生挙動は、主に水素分圧、腐食生成物や溶存水素の拡散により影響されるが、前2者が主にベントナイト空隙水化学により影響を受ける。空隙水化学の幅に応じた腐食速度に基づく評価を考慮する。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.3 腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水化学に応じて腐食生成物が異なるため、インターフェース部の地下水化学は影響を受ける。

〔評価〕

安定な腐食生成物としては、マグネタイトやゲーサイトが考慮されてきたが、最近の実験(楠戸ら, 1995)によれば $\text{Fe}(\text{OH})_2$ や黄鉄鉱等の影響を考慮する必要がある。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-2.2 緩衝材の水理特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの水理特性は、ベントナイト空隙水化学に依存する。

〔評価〕

ベントナイトの透水性は高イオン強度の溶液で高くなることが知られている。しかし、その変化は緩衝材中の溶質の拡散支配を覆す程度には大きくない。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト分散性はベントナイト空隙水化学に依存するため、ベントナイト外側境界からのベントナイトコロイドの発生に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

一般に、イオン強度の小さい降水系地下水に比べ、イオン強度の高い海水系地下水中では分散性が悪く凝集しやすいため、ベントナイトコロイドの粒径は大きくなると考えられる。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-3.3 緩衝材の力学特性

〔当該FEPが及ぼす影響〕

ベントナイトの力学特性は、ベントナイト空隙水化学に依存する。

〔評価〕

ベントナイト空隙水の化学は、粘弾性等の特性に影響することは考えられるが、その程度は緩衝材料として期待される特性を著しく損なうものではなく、無視し得ると考える。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-6.1 緩衝材中の核種移行

〔当該FEPが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水の化学は、核種の化学形態、核種の吸着や拡散に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイト空隙水の化学に対して、核種の化学形態は熱力学データにより評価されており(油井ら, 1992)それに基づく分配係数の議論がなされている(濫谷ら, 1992)。さらに核種の熱力学データ, 分配係数の整備や鉱物の表面特性を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められている。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間: オーバーパック破損前)

ガラス固化体に接する空隙水については、地下水とベントナイトやオーバーパックの腐食生成物との相互作用を考慮して解析を行った(油井ほか, 1992)。ここでのモデル(Wanner, 1986)ではイオン交換や随伴鉱物の反応を考慮に入れた。その結果処分場閉鎖後ベントナイト中に残留している酸素や二酸化炭素については、黄鉄鉱の酸化や水への吸収により消費される。最終的には地下水はベントナイトにより緩衝され比較的高pHで還元性へとシフトすることとなる。また、方解石の溶解により長期的には、NaスメクタイトのCa型化も生じ、これにより緩衝作用も低下する(油井ら, 1992)。一方、スメクタイトの表面サイト(エッジサイト)の酸・塩基解離は、ベントナイトの圧縮密度が高い場合や高イオン強度の地下水が侵入した場合、また方解石の消費後にはpHを減少させると考えられる(Wanner et al, 1992, Wieland et al, 1994)。このため、飽和後のベントナイトの空隙水化学は、これらの反応の影響を考慮する。腐食生成物としてはFe(OH)₂や黄鉄鉱を、熱の影響としては、地温程度(～50℃)を考慮する。溶質の拡散については、これら化学反応との連成を考慮し現実的な評価を行う必要がある。微生物の影響については、飽和後ベントナイトのろ過効果により侵入できないため考慮しない。

(想定期間: オーバーパック破損後)

オーバーパック破損後の評価も、酸素や二酸化炭素の影響以外の取扱は基本的に破損前と同様であるが、ベントナイト中を拡散する核種から生じる α 線による放射線分解を考慮する必要があるが、発生するすべての酸化剤はオーバーパックの腐食生成物により緩衝されることが示されている(動燃事業団, 1992)。

2. モデル化に関する記述

イオン交換、鉱物の溶解反応、ガスの吸収や酸化還元反応については、地球化学コードをもちいて平衡論モデルによる評価が可能である(油井ら, 1992)。酸・塩基解離(Wieland et al, 1994)の影響についても同様に平衡論モデルにより評価可能である。これら解析で用いる熱力学データベースは、イオン交換数、エンタルピー等を含めて整備が進んでいる。拡散・化学反応の連成についてもコードを用いた評価が可能である。

3. 文献リスト

- ・ Anderson, M. (1983): Smectite Alteration, KBSTR 83-03
- ・ 動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-, PNCTN1410 92-081
- ・ Fukunaga, S., et al (1995): Experimental Investigation of the Active Range of Sulfate-Reducing Bacteria for Geological Disposal, Scientific Basis for Nuclear waste Management XVIII, pp173-180
- ・ 藤井ら(1984): ベントナイト吸着水の化学ポテンシャルについて, 農土論集, 112, 55-65

- ・ Grauer, R.(1990):The Chemical Behaviour of Montmorillonite in a Repository Backfill: Selected Aspects, Nagra Technical Report 88-24E
- ・ 楠戸ら(1995):鉄-水-ベントナイト混合系における化学的相互作用,第42回腐食防食討論会講演集, pp109-112
- ・ 小田ら(1996):準備中
- ・ 大江ら(1995):緩衝材間隙水中での核種溶解度の解析評価,日本原子力学会「秋の大会」予稿集, p644
- ・ Pusch, R. et al :
- ・ McKinley, I.G.(1995):private communication
- ・ Sasaki, Y. et al(1995):Experimental Studies on the Interaction of Groundwater with Bentonite, Scientific Basis for Nuclear Waste ManagementXVIII, pp337-344
- ・ 佐藤ら(1992):ベントナイト及び岩石中での実効拡散係数,PNC TN8410 92-164
- ・ Sato, H.(1995):Diffusion Behavior for Se and Zr in Sodium-Bentonite,Scientific Basis for Nuclear Waste ManagementXVIII, pp269-276
- ・ 柴田ら(1992):ベントナイトの長期安定性評価, PNC TN8410-165
- ・ 油井ら(1992):高レベル廃棄物地層処分的人工バリアシステムによる地下水の化学的 緩衝作用とモデル化, PNC TN8410 92-162.
- ・ Wanner,H.(1986):Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation, EIR-Bericht Nr.589
- ・ Wanner,H.(1992):Thermodynamic modelling of bentonite-groundwater interaction and implications for near-field chemistry in a repository for spent fuel, SKB TR 92-37.
- ・ Wieland, E., et al(1994):A Surface Chemical Model of the Bentonite-water Interface and Its Implications for Modelling the Near Field Chemistry in a Repository for a Spent fuel,SKB TR 94-26
- ・ 山形ら(1992):緩衝材の特性試験(II),PNC TN8410 92-169
- ・ 吉川ら(1996):高レベル廃棄物地層処分システムの圧縮ベントナイト中における微生物の透過性, 動燃技術資料, 準備中

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

Wannerによるイオン交換モデルと鉱物相との溶解平衡(Curti,1993)を仮定した。空隙水の計算には地球化学コードの適用性を考慮し、簡便な方法(Grauer,1983)を用いて50°Cで評価を行っている。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ Curti,E., Godon,N. and Vernaz,E. Y. (1993): Enhancement of the glass corrosion in the presence of clay materials; Testing experimental results with an integrated glass dissolution model., Mat. Res. Spc. Symp. Proc.294, pp163-170.

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

ベントナイトの鉱物組成・特性は、地下水の冠水や飽和に伴うベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく。鉱物組成の変化は、ベントナイト空隙水の化学、処分場に侵入した空気や微生物、ガラス固化体からの熱や地熱、ベントナイトの膨潤、溶質の拡散の影響を受ける。さらにオーバーパックの腐食に伴う腐食生成物の影響も考えられる。また、ガラス固化体やベントナイト中を移行する核種の崩壊による放射線の影響も想定される。一方、ベントナイトの鉱物組成・特性は、岩盤/ベントナイト境界部で起こるベントナイト・コロイドの散逸現象、ベントナイト空隙水の化学、オーバーパックの腐食、吸着、拡散といったベントナイト中の核種移行に影響を与えることになる。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1 緩衝材の冠水→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

【当該FEPへの影響】

ベントナイトの冠水に伴い、鉱物組成や特性はベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく(油井ら, 1992)。

【評価】

ベントナイトの冠水中に、掘削に伴い侵入した空気中の酸素は黄鉄鉱の酸化により消費されてゆく。この際鉄酸化物が生成する。また空気中の二酸化炭素は地下水に吸収され、空隙水化学に応じてベントナイト中の方解石の溶解あるいは沈殿がおこる。したがって、ベントナイトの冠水中においては、これらの反応を考慮する(油井ら, 1992)。

B-3.1 緩衝材の膨潤→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

【当該FEPへの影響】

膨潤に伴い、ベントナイトは微細空隙構造を持つことが知られている。このような微細空隙構造は、乾燥密度1.8g/cm³で、スメクタイトの層間が均一に分布しているとすれば、層間隔は約5 Åと推定される。この値はX線回折で報告されている底面間隔の値等(山形ら, 1992, 藤井ら, 1984)とも一致する。鉱物表面の電気化学特性は、このような微細空隙中では溶液中のイオンとの相互作用により影響を受ける(大江, 1995)。

【評価】

微細空隙中での空隙壁面とイオンとの相互作用の影響は、電気2重層を考慮した水溶性化学種の活量係数の補正も試みられている(大江, 1995)。また、スメクタイトの表面サイト(エッジサイト)の影響のベントナイト密度依存性が評価されている(Wanner et al, 1992, Wieland et al, 1994)。

B-4.3 緩衝材中のガス(空気)→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

【当該FEPへの影響】

掘削影響に伴い処分場に侵入した空気中の酸素や二酸化炭素は、ベントナイトの冠水に伴いベントナイトと反応し、その鉱物組成や特性に影響を与える(油井ら, 1992)。

【評価】

ベントナイトの冠水中に黄鉄鉱の酸化が生じ、掘削に伴い侵入した空気中の酸素は消費され、鉄酸化物が生じる。また空気中の二酸化炭素は地下水に吸収され、ベントナイト空隙水化学に応じて方解石の沈殿や溶解が起こる。したがって、ベントナイトの冠水中においては、これらの反応を考慮する(油井ら, 1992)。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

B-4.1 参照。

B-6.4 緩衝材中の溶質の移行→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

【当該FEPへの影響】

ベントナイトは地下水と接すると膨潤し、透水性は著しく低下するため、物質の移行は拡散支配となる。したがって、飽和後の鉱物組成の経時変化は、化学反応と拡散により支配される。

【評価】

ベントナイト-水反応の経時変化を評価するため簡易モデルとしては、ミキシング・タクモデルがあり評価が行われてきた(Wanner et al, 1992, Wieland et al, 1994, 油井ら, 1992)が、より厳密にベントナイト-水反応の経時変化を評価するためには、物質移行-地球化学連成モデルが必要である。

B-1.1 緩衝材の温度→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

〔当該FEPへの影響〕

ニアフィールドにおける温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、鉱物組成の変化に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

ベントナイト中の鉱物-水反応は、25℃の標準状態での熱力学データを用いて評価されている(油井ら, 1992)。地温程度(50~60℃)での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

〔当該FEPへの影響〕

硫酸塩還元菌等の微生物による鉱物組成への影響としては、酸化還元反応の加速による鉄酸化鉱物の生成がある。

〔評価〕

微生物は、ベントナイトの不飽和段階では地下水の飽和とともに微生物は移行するものの、微生物の大きさがミクロンオーダーであるため、ベントナイトが飽和されれば、ベントナイトの微細空隙構造によりろ過されると考えられる(吉川ら, 1996)。したがって不飽和段階では鉄酸化鉱物の生成が加速されるが、飽和段階では、鉱物組成への影響は無視できる。

OP-4.3 腐食生成物の生成→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

〔当該FEPへの影響〕

ベントナイト空隙水がオーバーパックと接触し、腐食が開始され、最終的に安定な腐食生成物が形成されるまでの一連のプロセスによる腐食生成物の生成により、ベントナイトの鉱物組成・特性は影響を受ける。

〔評価〕

最終的に安定な腐食生成物としてはマグネタイト(Fe_3O_4)が考えられ、スメクタイトのイオン交換反応、方解石や石英の溶解平衡に加えてマグネタイトの溶解平衡を考慮した鉱物-水反応の評価が行われてきている(油井ら, 1992)。しかしながら、最新のベントナイト-鉄-水反応のバッチ実験によれば、溶液中のpHやEhを支配している現実的な腐食生成物として $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ が同定されているため(楠戸ら, 1996)、これを考慮した評価を行う。

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-2.1 緩衝材の冠水

〔当該FEPが及ぼす影響〕

鉱物組成や特性はベントナイトと地下水との化学反応によって変化し(油井ら, 1992)、ベントナイトの冠水に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイト中のスメクタイトは、地下水の侵入に伴い膨潤し空隙構造や透水性が変化するためベントナイトの冠水挙動に影響を与える。侵入した空気中の酸素による鉄酸化物の冠水に与える影響は、スメクタイトの膨潤による影響にくらべ顕著ではないと考えられる。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-3.1 緩衝材の膨潤

〔当該FEPが及ぼす影響〕

ベントナイト中のスメクタイトは、地下水の浸潤により膨潤する。

〔評価〕

スメクタイトの浸潤に伴うベントナイト空隙水の初期のサクション(負の間隙水圧)の変化量として、微視的な膨潤圧が記述されている。ただし、微視的な膨潤圧は直接計測することが困難であり、これにより発生する巨視的な応力(膨潤応力)として評価する。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの鉱物組成や特性は、酸素や二酸化炭素の影響を受ける冠水初期や飽和後のベントナイト空隙水の化学に影響を与える。

〔評価〕

冠水初期においては黄鉄鉱の酸化により酸素を消費し、pHが低下する。一方飽和後は、方解石やNaスメクタイトのイオン交換によりpHや炭酸イオン濃度が変化したり、緩衝性維持時間が影響を受ける(Wanner,1986, 油井ら,1992)。またスメクタイト・エッジサイトの酸塩基解離特性より緩衝性や緩衝性維持時間が異なる(Wieland et al, 1994)。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-6.4 緩衝材中の溶質の移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイトの鉱物組成や表面特性は、イオン排斥等により溶質の拡散に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイト中の溶質の拡散については、主に空隙構造を表すフォーメーション・ファクターにより評価されてきた(佐藤ら, 1992)が、表面電位を考慮した電気2重層モデルによる解釈がおこなわれている(Sato et al., 1995)。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.4 ベントナイト中の微生物の活動

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中の鉱物組成や特性は、微生物の生息環境に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイトの不飽和段階では地下水の飽和とともに微生物は移行するものの、微生物の大きさがミクロンオーダーであるため、ベントナイトが飽和されれば、スメクタイトの微細空隙構造によりろ過されると考えられる(吉川ら, 1996)。したがって不飽和段階では微生物の活動が考えられるが、飽和段階では活動は無視できる。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→OP-4.3 腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト空隙水がオーバーパックと接触し、腐食が開始され、最終的に安定な腐食生成物が形成されるまでの一連のプロセスにおいて、ベントナイトの鉱物組成・特性は空隙水化学を通じて腐食生成物の生成に影響を及ぼす。

〔評価〕

最終的に安定な腐食生成物としてはマグネタイト(Fe_3O_4)が考えられ、スメクタイトのイオン交換反応、方解石や石英の溶解平衡に加えてマグネタイトの溶解平衡を考慮した鉱物-水反応の評価が行われてきている(油井ら,1992)。しかしながら、最新のベントナイト-鉄-水反応のバッチ実験によれば、溶液中のpHやEhを支配している現実的な腐食生成物として $Fe(OH)_2(s)$ や黄鉄鉱が報告されているため(楠戸ら, 1996)、これらを考慮した評価を行う。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-6.1 緩衝材中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト中のスメクタイトのイオン交換特性、表面の酸塩基解離特性は核種の吸着や拡散に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイトに対する分配係数や拡散係数については、バッチ実験や拡散実験によるデータに基づき議論がなされている(澁谷ら,1992)。さらに核種の熱力学データ、イオン交換反応モデルや表面錯体反応モデルによる解釈に基づく分配係数や鉱物の酸塩基解離特性、電気2重層モデルによる解釈に基づく実効拡散係数を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められている。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ベントナイト分散性はスメクタイト等の鉱物特性に依存するため、ベントナイト外側境界からのベントナイトコロイドの発生に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

ベントナイトの鉱物組成や特性に基づき、Al, Si, Fe等を含んだコロイドが発生すると考えられるが、詳細は今後の研究に待たねばならない。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間：オーバーパック破損前) 鉱物-水反応については、地下水とベントナイトやオーバーパックの腐食生成物との相互作用を考慮して解析を行った(油井ら, 1992)。ここでのモデル(Wanner, 1986)ではイオン交換や随伴鉱物の反応を考慮に入れた。掘削や操業により取り込まれた酸素や二酸化炭素の影響については、鉄酸化鉱物の生成や方解石の溶解・沈殿を仮定した。また、方解石の溶解により長期的には、NaスメクタイトのCa型化も生じた(油井ら, 1992)。一方、スメクタイトの表面サイト(エッジサイト)の酸・塩基解離は、ベントナイトの圧縮密度が高い場合や高イオン強度の地下水が侵入した場合、また方解石の消費後にはpHを減少させると考えられる(Wanner et al, 1992, Wieland et al, 1994)。このため、飽和後の鉱物-水反応では、これらの影響を考慮する。腐食生成物としてはFe(OH)₂や黄鉄鉱を、熱の影響としては、地温程度(～50℃)を考慮する。溶質の拡散については、これら化学反応との連成を考慮し現実的な評価を行う必要がある。微生物の影響については、飽和後ベントナイトのろ過効果により侵入できないため考慮しない。ベントナイトコロイドの発生については、今後の研究に待たねばならない。

(想定期間：オーバーパック破損後)

オーバーパック破損後の評価も、基本的に破損前と同様である。ベントナイト中の核種移行では、現象理解に基づくデータを体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められる。

2.モデル化に関する記述

イオン交換、鉱物の溶解反応、ガスの吸収や酸化還元反応については、地球化学コードをもちいて平衡論モデルによる評価が可能である(油井ら, 1992)。酸・塩基解離(Wieland et al, 1994)の影響についても同様に平衡論モデルにより評価可能である。これら解析で用いる熱力学データベースは、イオン交換定数、エンタルピー等を含めて整備が進んでいる。拡散-化学反応の連成についてもコードを用いた評価が可能である。ベントナイト中の核種移行では、イオン交換反応モデルや表面錯体反応モデルによる解釈に基づく分配係数や鉱物の酸塩基解離特性、電気2重層モデルによる解釈に基づく実効拡散係数を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められる。

3.文献リスト

- ・藤井ら(1984): ベントナイト吸着水の化学ポテンシャルについて, 農土論集, 112, 55-65
- ・楠戸ら(1995): 鉄-水-ベントナイト混合系における化学的相互作用, 第42回腐食防食討論会講演集, pp109-112
- ・大江ら(1995): 緩衝材間隙水中での核種溶解度の解析評価, 日本原子力学会「秋の大会」予稿集, p644
- ・佐藤ら(1992): ベントナイト及び岩石中での実効拡散係数, PNCTN8410 92-164
- ・Sato, H. et al(1995): Diffusion Behavior for Se and Zr in Sodium-Bentonite, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVI II, pp269-276
- ・澁谷ら(1992): ベントナイト及び岩石中での核種の分配係数, PNCTN8410 92-163
- ・油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分的人工バリアシステムによる地下水の化学的 緩衝作用とモデル化, PNCTN8410 92-162.
- ・Wanner, H.(1986): Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation, EIR-Bericht Nr. 589
- ・Wanner, H.(1992): Thermodynamic modelling of bentonite-groundwater interaction and implications for near-field chemistry in a repository for spent fuel, SKB TR 92-37.
- ・Wieland, E., et al(1994): A Surface Chemical Model of the Bentonite-water Interface and Its Implications for Modelling the Near Field Chemistry in a Repository for a Spent fuel, SKB TR 94-26
- ・山形ら(1992): 緩衝材の特性試験(II), PNCTN8410 92-169
- ・吉川ら(1996): 高レベル廃棄物地層処分システムの圧縮ベントナイト中における微生物の透過性, 動燃技術資料, 準備中

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994) Wannerによるイオン交換モデルと鉱物相との溶解平衡(Curti, 1993)を

仮定した。鉱物-水反応の計算には地球化学コードの適用性を考慮し、簡便な方法(Grauer,1983)を用いて50℃で評価を行っている。

- Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- Curti,E., Godon,N. and Vernaz,E. Y. (1993): Enhancement of the glass corrosion in the presence of clay materials; Testing experimental results with an integrated glass dissolution model., Mat. Res. Spc. Symp. Proc.294, pp163-170.

B-4.3 緩衝材中のガス (空気)

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

処分場の操業期間中において、空気は人工バリアシステムに自由に供給されることになる。処分場閉鎖後に残存するある程度の酸素は空隙水化学に影響を与えるだろうが、ベントナイトに取り込まれた酸素は、ベントナイトの随伴鉱物である黄鉄鉱の酸化や炭素鋼製オーバーパットの腐食により消費されることが期待される。岩盤中に混入した酸素については、H-4.3に記述する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-7 掘削→B-4.3 緩衝材中のガス (空気)

【当該F E Pへの影響】

掘削や操業に伴い処分場に取り込まれた空気は、閉鎖後のベントナイト中の空気やその消費に影響を与える。

【評価】

圧縮ベントナイトに取り込まれた空気中の酸素や二酸化炭素は、ベントナイト中の黄鉄鉱や水への吸収により消費される(油井ら, 1992)。一方岩盤中にとりこまれた空気中の酸素が、閉鎖後、岩盤や地下水中の還元性物質によって消費されない場合は、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパットの腐食による消費を考慮する。

OP-4.1 オーバーパットの腐食→B-4.3 緩衝材中のガス (空気)

【当該F E Pへの影響】

不飽和段階におけるオーバーパットの腐食による空気中の酸素の消費は、ベントナイト中の酸素量を低減させる。

【評価】

不飽和段階でもオーバーパットの腐食による空気中の酸素の消費は起こるが、評価は1の考え方による。

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.3 緩衝材中のガス (空気) →OP-4.1 オーバーパットの腐食

【当該F E Pが及ぼす影響】

ベントナイト中の空気中の酸素は、不飽和段階におけるオーバーパットの腐食に影響を与える。

【評価】

不飽和段階におけるオーバーパットの腐食は主に空気中の酸素により起こるため、酸素の存在する環境で腐食実験を行い、平均腐食深さと最大腐食深さの関係を求め、ベントナイト中に取り込まれたすべての酸素が腐食に寄与すると仮定して最大腐食深さを見積もった(動燃事業団,1992)。現実的には、ベントナイト中の黄鉄鉱により酸素は消費されるため、またベントナイトが飽和に達した後は、溶存酸素の供給が制限されるため、酸素の腐食に寄与は小さいと考えられる。

B-4.3 緩衝材中のガス (空気) →B-4.1 緩衝材中の空隙水化学

B-4.1 参照

B-4.3 緩衝材中のガス (空気) →B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

B-4.2 参照

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

ベントナイトの随伴鉱物である黄鉄鉱の酸化のみでも、また炭素鋼製オーバーパットの腐食のみでも、処分場の操業中に持ち込まれたすべての酸素を十分に消費する能力がある(油井ほか, 1992)。

2.モデル化に関する記述

評価のパラメータとして重要なのは、処分場の掘削や操業中に持ち込まれた酸素量である。

3.文献リスト

- ・動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-, PNC/TN1410 92-081
- ・油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, 動燃技術資料, PNC/TN8410 92-162.

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994) 保守的な評価では, 操業時に取り込まれた酸素はキャニスタの腐食によって一定の期間内で完全に消費される。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

処分場に設置されたベントナイト中には微生物が存在するものと考えられる。微生物による空隙水化学への影響は、錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速および核種の吸着や移行が想定される。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

B-4.1 参照

B-4.5 緩衝材中の有機物→B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

〔当該F E Pへの影響〕

ベントナイト中に存在する有機物は、微生物の栄養源であり、その生息に影響をあたえる。

〔評価〕

ベントナイト中に存在する有機物は、高々1%であり、ベントナイト飽和後は、その微細構造によりろ過されるため、微生物の影響は無視できると考えられる。

B-1.1 緩衝材の温度→B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

〔当該F E Pへの影響〕

ベントナイト中の温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。

〔評価〕

ベントナイト中の温度は、最大でも100℃を超えず、閉鎖後1000年後には約55℃まで下がる(動燃事業団,1992)。微生物はこの温度でも生息できるが、ベントナイト飽和後は、その微細構造によりろ過される(吉川ら, 1996)ため、微生物の影響は無視できると考えられる。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

B-4.2 参照。

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

B-4.1 参照

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.5 緩衝材中の有機物

〔当該F E Pへの影響〕

微生物は有機物をエネルギー源として取り込み、酸化分解する。

〔評価〕

ベントナイト中に存在する有機物は、高々1%であることや、ベントナイト飽和後は、微生物はその微細構造によりろ過される(吉川ら, 1996)ため、微生物の影響は顕著ではないと考えられる。

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性

B-4.2 参照。

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

性能評価の観点から処分場に存在する典型的な微生物を特定することは困難である。硫酸塩を硫化物に還元する硫酸塩還元菌の影響については、炭素鋼製オーバーパックの腐食評価において考慮している(石川ほか,1992)。しかしながら、微生物の大きさはミクロンオーダーであり、圧縮ベントナイトの微細構造によりろ過される(吉川ら, 19のものと考えられる。

2.モデル化に関する記述

3.文献リスト

・石川ら(1992) : オーバーパック候補材料選定と炭素鋼オーバーパックの寿命評価, PNC TN8410 92-139.

・吉川ら(1996): 高レベル廃棄物地層処分システムの圧縮ベントナイト中における微生物の透過性, 動燃技術資料, 準備中

4. 諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994) 極度に保守的な仮定として, 炭素鋼製オーバーパックの硫化物による腐食評価において, 硫酸塩還元菌の影響を仮定した。しかしながら, この反応経路はありえそうにはない。

・Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

B-4.5 緩衝材中の有機物

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

フミン酸やフルボ酸といった有機物は、深部地下水やベントナイトに含まれていると考えられる。有機物は地下水の酸化還元電位を減少させるとともに、炭酸濃度や錯形成配位子濃度を上昇させ、また核種の溶解度を上昇させる可能性がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→B-4.5 緩衝材中の有機物

B-4.4 参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.5 緩衝材中の有機物→B-4.4 緩衝材中の微生物の活動

B-4.4 参照

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

深部地下水やベントナイトには有機物が極微量しか含まれていないため、有機物の影響を考慮していない。また微生物や酸化剤の作用により有機物が著しく分解されないかぎり、有機物は圧縮ベントナイトの微細構造によりろ過される(吉川ら, 1996)ものと考えられる。

2. モデル化に関する記述

3. 文献リスト

・吉川ら(1996): 高レベル廃棄物地層処分システムの圧縮ベントナイト中における微生物の透過性, 動燃技術資料, 準備中

4. 諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

有機物の分解による影響(ガス発生)は無視しうる。

・Nagra (1994): Kristallin-I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

溶解したガラス成分やベントナイトは、ベントナイト空隙水化学に応じてコロイドを形成し、これらのコロイドが、核種を吸着したり、取り込んだりしてベントナイトの微細空隙中を移動することが想定される。またコロイドの移動には、それら微細空隙幅や表面電位のような物理化学特性に依存するものと考えられる。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

B-4.1 参照。

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

B-4.2 参照。

B-6.2 緩衝材によるフィルター効果→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

【当該FEPへの影響】

ベントナイトの微細構造は、コロイドをろ過するため、ベントナイトコロイドの形成に影響する。

【評価】

ベントナイトは、SiやAlの鉱物のコロイドを形成する可能性がある。、ベントナイトは飽和後、微細な空隙を持つことが知られており、15nmの金コロイドを用いた移行実験では、ろ過されることが確認されている(Kurosawa et al, 1996)。よって、ベントナイト中のSiやAlのコロイドは、ベントナイトの微細構造によりろ過される。

B-6.1 緩衝材中の核種移行→B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成

【当該FEPへの影響】

ベントナイト中を拡散する核種は、ベントナイトの構成成分とコロイドを形成する可能性がある。

【評価】

ベントナイト中を拡散する核種は、ベントナイト中のSiやAlの鉱物とコロイドを形成する可能性があるが、ベントナイトの微細構造によりろ過される(Kurosawa et al, 1996)ため、その影響は無視できる。

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成→B-6.1 緩衝材中の核種移行

【当該FEPが及ぼす影響】

ベントナイトの構成成分とコロイドを形成した核種は、ベントナイト中を移行する可能性がある。

【評価】

ベントナイト中のSiやAlの鉱物とコロイドを形成した核種は、ベントナイトの微細構造によりろ過される(Kurosawa et al, 1996)。

B-4.6 緩衝材からのコロイドの形成→H-6.2 NF母岩中のコロイドの移行

【当該FEPが及ぼす影響】

ベントナイトコロイドの形成は、NF母岩の亀裂媒体中でのコロイド移行に影響を与える。

【評価】

ベントナイトコロイドは、それらの粒径分布や表面電位、亀裂中の地下水流速、亀裂ネットワーク、亀裂壁面の凹凸や表面電位により移行挙動が異なる。平滑な亀裂平板の場合、コロイドの移行は速いが、凹凸のある亀裂平板中や亀裂ネットワーク中の移行は、フィルトレーション効果(長崎ら, 1994)によりかなり遅延される。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

コロイドの移動については、ベントナイトが有するフィルトレーション効果により重要ではないと報告(McKinley, 1985)されている。また、15nmの金のコロイドを用いた圧縮ベントナイトのろ過実験

ではその効果が示されている (Kurosawa et al, 1996) 。よって、ベントナイトによりコロイドはろ過されると考えられる。

2.モデル化に関する記述

3.文献リスト

- McKinley, I. G. (1985): The Geochemistry of the Near-field, Nagra NTB 84-48.
- Kurosawa, S., et al (1996): Experimental Studies of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, to be submitted.
- 長崎ら(1994): 亀裂媒体中核種移行に及ぼす疑似コロイド形成の影響, 日本原子力学会「1994春の年会」

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994) 放射性のコロイドは、主としてガラスの溶解や沈澱過程で廃棄物近傍に形成されるであろう。非常に重要となるベントナイトの機能は、廃棄物からのコロイド移動を妨げることであり、それはベントナイトの微細空隙構造によって達成できる。ベントナイトが有する可塑性と膨潤性は、コロイドが移動できるような空隙や割れ目がある中に存在しえないことを保証するものであることが期待されている。

- Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

B-4.7 塩の蓄積

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイト中に温度勾配があり、浸潤フロントが形成され、浸潤フロントに向かう水と溶質の動きとフロントでの水の蒸発といった水の循環があると、浸潤フロントで可溶性成分が蓄積され、空隙水中の塩濃度の増加が起こる。また、温度の上昇に伴って溶解度の低下する物質（硫酸塩等）が温度勾配の影響で高温側で沈殿することが考えられる。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-2.1 緩衝材の冠水→B-4.7 塩の蓄積

【当該F E Pへの影響】

ベントナイトの飽和過程で浸潤フロントが形成される。

【評価】

本現象は、浸潤のみでは形成されるものではない。温度勾配の存在が重要となる。

B-1.1 緩衝材の温度→B-4.7 塩の蓄積

【当該F E Pへの影響】

ベントナイト中での温度勾配が塩の蓄積の重要な要因となる。

【評価】

塩の蓄積は、温度勾配下でのベントナイト中において、ストリップパでのBuffer Mass Test等（Pusch, 1985, Push et al, 1993）や、室内試験（Karnland and Pusch, 1995）で認められている。この現象は温度勾配に依存するので、緩衝材厚さが十分に厚く、緩衝材内側温度が100℃以下とされる現在の設計温度勾配は、これらの報告より勾配が緩く、この現象は穏やかなものであると考えられる。さらに、溶質塩濃度の増加や沈殿は、いずれも可逆の反応であり、緩衝材内側温度が低下する十分時間の後にはこの現象によるベントナイト中での塩の存在の不均一性は無視し得ると考えられる。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→B-4.7 塩の蓄積

【当該F E Pへの影響】

蓄積する塩の起源は空隙水中に存在していたものである。高温側での沈殿形成は空隙水組成に大きく依存する。

【評価】

参照材料のベントナイトには硫酸塩、硫化物の不純物が存在し、初期には高い濃度になることも予想される。ただし、B-1.1 緩衝材の温度→B-4.7 塩の蓄積の評価を考慮することが重要である。

B-6.4 緩衝材空隙水中の溶質の移行→B-4.7 塩の蓄積

【当該F E Pへの影響】

塩の蓄積を形成するためにはベントナイト空隙中を溶質が移行することが必要である。不飽和状態では、溶質の移行は水分とともに拡散により移行すると考えられる。

【評価】

本現象で問題となる溶質の移行は、再冠水挙動と密接にリンクするものであり、必要に応じて、再冠水時の水の動きを参照した評価を実施する。しかし、B-1.1 緩衝材の温度→B-4.7 塩の蓄積の評価を考慮することが重要である。

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.7 塩の蓄積→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pが影響を及ぼす】

塩の蓄積により、緩衝材中の溶質塩濃度が局部的に増加することが予想される。

【評価】

濃度増加の程度が著しい場合には、場の不均一性を考慮した空隙水組成の推定およびそれに伴う緩衝材物理性能の変化等を考慮する必要がある。しかし、上記2) B-1.1 緩衝材の温度→B-4.7 塩の蓄積の評価を考慮することが重要である。

B-4.7 塩の蓄積→B-6.4 緩衝材中の溶質の移行

緩衝材中の溶質塩濃度が不均一となることで、濃度勾配による可溶性塩の溶質の拡散現象が起こる。

〔評価〕

〔当該F E Pが影響を及ぼす〕

塩の蓄積により、緩衝材中の溶質塩濃度が局部的に増加することが予想される。

〔評価〕

濃度増加の程度が著しい場合には、場の不均一性を考慮した空隙水組成の推定およびそれに伴う緩衝材物理性能の変化等を考慮する必要がある。しかし、上記2) B-1.1 緩衝材の温度→B-4.7 塩の蓄積の評価を考慮することが重要である。

④当該F E Pの評価上の扱い

塩の蓄積は、温度勾配下でのベントナイト中において、ストリッパでのBuffer Mass Test等 (Pusch, 1985, Pusch et al, 1993) や、室内試験 (Karnland and Pusch, 1995) で認められている。この現象は温度勾配に依存する。緩衝材厚さが十分に厚く、緩衝材内側温度が100℃以下とされる現在の設計温度勾配は、これらの報告より勾配が緩く、この現象は穏やかなものであると考えられる。さらに、溶質塩濃度の増加や沈殿は、いずれも可逆の反応であり、緩衝材内側温度が低下する十分時間の後にはこの現象によるベントナイト中での塩の存在の不均一性は無視し得ると考えられる。

2.モデル化に関する記述

3.文献リスト

- ・ Pusch, R. (1985): Final Report of the Buffer Mass Test- Volume II Test Results. Stripa Project TR 85-12
- ・ Pusch, R. et al (1993): Hydrothermal Field Test with French Candidate Clay Embedding Steel Heater in the Stripa Mine, SKB-TR 93-02
- ・ Karnland, O. and Pusch, R. (1995): Cementation Phenomena of Importance for the Performance of Smectite Clay Buffer in HLW Repositories, Radioactive Waste Management and Environmental Remediation-ASME 1995

4.諸外国での取扱いなし

G-4.1 ガラス固化体の溶解

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ガラス固化体は、 $\text{Si}(\text{OH})_4(\text{aq})$ が $\text{SiO}_2(\text{am})$ に対する飽和濃度に達するまでは、一次反応律速で溶解するが、飽和濃度に達した後は、一定の残存溶解速度で溶解すると考えられている。ガラスの溶解は、オーバーパックの破損後に始まり、その溶解挙動はオーバーパックの腐食生成物、ガラス固化体周囲の空隙水の化学や放射線分解、ガラスの温度、ガラスの割れ、ガラス固化体中での放射性崩壊、ガラスの放射線損傷の影響を受ける。一方、ガラスの溶解挙動は、核種の溶出や溶解度制限、ガラスの溶解速度、ガラス固化体周囲の空隙水の化学、腐食生成物中の核種移行に影響を及ぼす。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-7 オーバーパックの破損→G-4.1ガラス固化体の溶解

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックの破損時期によって、ガラス中の核種インベントリが異なるため、ガラスの溶解挙動は影響を受けることが想定される。

【評価】

オーバーパックの破損時期は、処分場閉鎖後1000年を仮定している（動燃事業団,1992）が、 C_m を用いた α 加速試験によれば、ガラス溶解に伴うpH等の変化は、高レベルガラス固化体を用いた1年程度のものとは比べて大きな違いはない。

OP-4.3 腐食生成物の生成→G-4.1ガラス固化体の溶解

【当該F E Pへの影響】

腐食生成物はガラス固化体の溶解に伴い放出されるSiを吸着したり、Siと共沈により、ガラス固化体の溶解を加速される可能性がある。

【評価】

腐食生成物によるSiの吸着や、共沈については、モデルあるいは実測値に基づく評価を行う予定である。

G-3.2 ガラス固化体の割れ→G-4.1 ガラス固化体の溶解

【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体の割れは、空隙水と接するガラスの表面積を増加させるため、ガラスの溶解挙動に影響を与える。

【評価】

ガラス固化体の割れによる表面積の増加を考慮して、実験データに基づくガラス溶解速度に対して10倍の値が設定されている（動燃事業団,1992）。

G-1.1 ガラス固化体の温度→G-4.1 ガラス固化体の溶解

【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体の温度は、ガラスの溶解速度に影響を与える。

【評価】

ガラスの溶解速度の設定においては、90～100℃のガラス溶解実験のデータが考慮されている（油井ら,1992）。

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学→G-4.1 ガラス固化体の溶解

【当該F E Pが及ぼす影響】

ガラス固化体周囲の空隙水の化学は、ガラスの溶解過程における表面変質層の特性に影響を与える。

【評価】

ガラス固化体周囲の空隙水のpHは、ガラスの溶解過程における表面変質層の生成過程を左右し、pHが7以下ではガラスマトリックスの非調和溶解、pHが7以上では調和溶解になるとの結果が示されている（Advocat et al., 1991）。

G-5.1 ガラス固化体中での放射性崩壊→G-4.1 ガラス固化体の溶解

【当該F E Pが及ぼす影響】

ガラス固化体中での放射性崩壊は、ヘリウムガス等を蓄積させ、ガラスの溶解に影響を与える可能性

がある。

〔評価〕

Cmを用いた α 加速試験によれば、ガラス溶解挙動は、高レベルガラス固化体を用いた1年程度のものと比べて大きな違いはない。

G-5.3ガラス固化体周囲の空隙水の放射線分解→G-4.1ガラス固化体の溶解

〔当該F E Pへの影響〕

ガラス固化体中の核種が崩壊することによって、水の放射線分解が生じ、ガラスの溶解挙動に影響を与えることが想定される。

〔評価〕

Cmを用いた α 加速試験によれば、ガラス溶解に伴うpH等の変化は、高レベルガラス固化体を用いた1年程度のものと比べて大きな違いはない。

G-5.2ガラス固化体の放射線損傷→G-4.1ガラス固化体の溶解

〔当該F E Pへの影響〕

ガラス固化体の放射線損傷により、ガラス構造が変化しガラスの溶解挙動に影響を与えるかもしれない。

〔評価〕

Cmを用いた α 加速試験によれば、ガラス溶解に伴うpH等の変化は、高レベルガラス固化体を用いた1年程度のものと比べて大きな違いはない。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-4.1ガラス固化体の溶解→G-4.2ガラス固化体周囲の空隙水の化学

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ガラス固化体の溶解に伴い、アルカリ元素やSiが溶出するため一般にpHは上昇する。

〔評価〕

ガラス固化体の溶解に伴うpHの上昇は速く、長期的にはベントナイトや腐食生成物による緩衝作用が支配的になる(油井ら,1992)と想定される。

G-4.1ガラス固化体の溶解→G-6.1コングルエントな溶出

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

一般に、Cs等の可溶性元素はガラス固化体の溶解速度に従って(コングルエントに)溶出する。

〔評価〕

ガラス固化体の溶解速度とコングルエントと仮定したCs溶解速度は、ガラス固化体の溶解速度にCsのガラス固化体中の重量分率をかけることにより求めた(大井ら,1992)。

G-4.1ガラス固化体の溶解→G-6.2溶解度制限

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

難溶性元素は、溶解度が低いことから、ガラスの溶解速度よりも、むしろ、ガラス表面で形成される固相の溶解度によって制限される。

〔評価〕

腐食生成物の影響を考慮したベントナイト空隙水に対するアクチニド等の難溶性元素の溶解度が求められ(油井ら,1992)、それを用い、難溶性元素のガラス固化体からの溶出を制限した。難溶性元素の溶解度は温度依存に関する熱力学データが不十分であることから、25°Cのデータを用いた。

G-4.1ガラス固化体の溶解→G-6.3ガラス固化体の溶解速度

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ガラスの溶解挙動に依存して、ガラスの溶解速度は決定される。

〔評価〕

ガラス固化体は、 $\text{Si}(\text{OH})_4(\text{aq})$ が $\text{SiO}_2(\text{am})$ に対する飽和濃度に達するまでは、一次反応律速で溶解するが、飽和濃度に達した後は、一定の残存溶解速度で溶解すると仮定して、90~100°Cの浸出実験結果に基づき溶解速度の評価が行われている(油井ら,1992)。

G-4.1ガラス固化体の溶解→OP-6.1腐食生成物中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

腐食生成物中の核種移行は、ガラスの溶解に伴う核種の放出速度に依存する。

〔評価〕

腐食生成物中の核種移行は、保守的に無視している(動燃事業団,1992)。

G-4.1 ガラス固化体の溶解→G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成 〔当該F E Pへの影響〕

ガラスの溶解に伴い、SiやAlコロイド、これらに核種が吸着された疑似コロイドが発生すると考えられる。

〔評価〕

ガラスの溶解に伴い、Alコロイドや核種が吸着された疑似コロイドの発生が報告されている(小原ら, 1993)が、ベントナイトの微細構造(Kurosawa et al, 1996)によりろ過される。

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: オーバーパック破損後) ガラスの溶解反応は、オーバーパックの破損時期や放射線学的現象による影響は小さいことが、 α 加速試験によって示された。温度およびガラスの割れの影響については、90~100°Cの実験データに基づくガラス溶解速度の設定に対して、さらに10倍高い値で評価されている(動燃事業団,1992)。しかしながら、ガラスの溶解速度は、腐食生成物とSiとの吸着や共沈によって加速されることが報告されておりモデルあるいは実験データに基づく評価が必要である。ガラス固化体周囲の空隙水のpHは、ガラスの溶解メカニズムを左右する重要な因子(Advocat et al., 1991)であり、評価にあたって検討を要する。一方、ガラスの溶解に伴う核種の放出は、その核種が可溶性であるか難溶性であるかによって異なった扱いがなされた。可溶性元素(Cs)の場合は、ガラスの溶解速度とコングレントな溶解速度で溶解し、難溶性元素は、ガラス表面で形勢される固相の溶解度によって制限されるとして評価した(油井ら,1992)。なお、ガラスの溶解に伴い、コロイドの発生が報告されている(小原ら, 1993)が、ベントナイトの微細構造(Kurosawa et al, 1996)によりろ過される。

2.モデル化に関する記述

ガラス固化体は、 $\text{Si}(\text{OH})_4(\text{aq})$ が $\text{SiO}_2(\text{am})$ に対する飽和濃度に達するまでは、一次反応律速で溶解するが、飽和濃度に達した後は、一定の残存溶解速度で溶解すると仮定した。

3.文献リスト

- ・ Advocat, T., et al.(1991): Hydrolysis of R7T7 Nuclear Waste Glass in Dilute Media: Mechanisms and Rate as a Function of pH, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 212, pp. 57-64
- ・ 動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-PNCTN 1410 92-081.
- ・ 小原ら (1993):高レベルガラス固化体浸出液中の放射性コロイドの特性測定, 日本原子力学会「1993秋の大会」 p.649
- ・ Kurosawa, S., et al (1996): Experimental Studies of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, to be submitted.
- ・ 大井ら (1992):人工バリア中の核種移行解析, PNCTN8410 92-061
- ・ 油井ら (1992):ガラス固化体からの元素の溶出挙動と人工バリア空隙水中の溶解度評価, PNCTN8410 92-161

4.諸外国での扱い

Kristallin-I(Nagra 1994)

- ・ ガラスの組成、pH、温度を固定すれば、ガラスの溶解速度は、ガラス表面での珪酸塩濃度に関する一次反応により支配される。
 - ・ 評価においては、長期試験の結果から得られる長期溶解速度を用いる。
 - ・ ガラスの溶解は、ガラスの表面積に比例して起こる。
 - ・ 全ての核種の溶出はガラスの溶解と調和的に起こるが、溶出した核種は、仮想的なりザーバに瞬時に溶解し、その中で同位体存在比を考慮した核種の溶解度による制限を受ける。
 - ・ ガラスの溶解速度は人工バリアに求められるニアフィールド性能に関してそれほど重要ではない。
- Nagra(1994): Kristallin-I: Safety Assessment Report. NTB 93-22E.
- ・ GRAUER, R. 1985: Synthesis of recent investigations on corrosion behaviour of radioactive waste glass, Nagra Technical Report, NTB 85-27
 - ・ VERNAZ, E. T. and DUSSOSSOY, L. L. 1992: Current state of the kno

wledge of nuclear waste glass corrosion mechanisms: the case of R7T7 glass. Appl. Geochem. Suppl. Issue No. 1,13-22.

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学

1. F E P に関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ガラス固化体周囲のベントナイト空隙水の化学は、核種溶出挙動に対して大きな影響を与える因子の一つである。緩衝材およびオーバーパック（腐食生成物）との反応の後ガラス固化体の周囲に到達するベントナイト空隙水の化学は、緩衝材に浸入してきた地下水よりも核種溶出に対して好ましいものになっていることが期待される。また、ガラス固化体成分の溶解、ガラス固化体の変質あるいは放射線分解等のガラス固化体側からの寄与により、その特性が変わる可能性もある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-4.1 ガラス固化体の溶解→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学 【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体の溶解に伴いアルカリ元素やSiが溶出するため一般にpHは上昇する。

【評価】

ガラス固化体の溶解に伴うpHの上昇は速く、長期的にはベントナイトや腐食生成物による緩衝作用が支配的になる(油井ら,1992)と想定される。

OP-4.3 腐食生成物の影響→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学 【当該F E Pへの影響】

オーバーパック/ベントナイトのインターフェース部空隙水化学のpHやFe (II)濃度は、ガラス固化体の溶解により放出されるSiと腐食生成物の共沈やSiの腐食生成物への吸着に影響を与え、ガラス固化体周囲の空隙水の化学に影響する。

【評価】

ガラス固化体周囲の空隙水の化学は、Siと腐食生成物の共沈やSiの腐食生成物への吸着とガラス固化体の溶解速度とバランスしたところで、決定されると考えられるが、Siと腐食生成物の共沈については、Fe-Si沈殿の溶解平衡により(McVay and Buckwalter,1983),Siの腐食生成物への吸着については、マグネタイトとSiの吸着平衡により(大江ら,1986)各々評価されている。

G-5.3 ガラス固化体周囲の空隙水の放射線分解→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学 【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体中の核種が崩壊することによって、水の放射線分解が生じ、インターフェイス部におけるガラス固化体周囲の空隙水の化学に影響を与えることが想定される。

【評価】

オーバーパックによる核種閉じ込め機能が維持されている限り、 α 線と β 線は完全に遮蔽されるが、 γ 線と中性子線はオーバーパックを透過してベントナイトへ達する。またオーバーパックによる核種閉じ込め機能が喪失する時点(約1000年)においては、インベントリの大半を占める短半減期の核種が減衰しているため、 β 線、 γ 線、中性子線の影響は無視することができ、長半減期の核種の α 崩壊による影響のみが残ることになる。したがって、ガラス固化体表面からの α 線による放射線分解を考慮することになるが、単純な解析(動燃事業団,1992)によれば、過酸化水素といった放射線分解によって生成するすべての酸化剤は、炭素鋼製オーバーパックの腐食生成物で緩衝されることが示されている。

G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイド生成→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学 【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体の溶解により、難溶性元素はやがて溶解度に達するが、アクチニド元素やAl等はコロイドを生成し(小原ら,1993),ガラス固化体周囲の空隙水の化学に影響を与える可能性がある。

【評価】

ガラス固化体が溶解する時には、ベントナイトは既に飽和しており、生成したコロイドはベントナイトの微細構造(Kurosawa et al.,1996)によりろ過される。しかし、コロイドによるガラス固化体周囲の空隙水の化学への影響は、ベントナイトや腐食生成物に比べて顕著ではない。

G-1.1 ガラス固化体の温度→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学 【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体周囲の温度の変化は、ガラス固化体成分の溶解やガラス固体の変質等の平衡状態ある

いは速度論に影響を与えることによりガラス固化体周囲での地下水化学を変える可能性がある。

〔評価〕

ガラス固化体周囲における地下水化学の変化自体が考慮されておらず、温度の影響についても検討されていない（動燃事業団, 1992）が、熱力学データの整備により評価を行う必要がある。なお、オーバーパックの破損時期には、ガラス固化体からの発熱が無視できるよルドの温度は周囲の岩帯の温度と等しくなる。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学→G-4.1 ガラス固化体の溶解

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ガラス固化体周囲の空隙水の化学は、ガラスの溶解過程における表面変質層の特性に影響を与える。

〔評価〕

ガラス固化体周囲の空隙水のpHは、ガラスの溶解過程における表面変質層の生成過程を左右し、pHが7以下ではガラスマトリックスは非調和溶解、pHが7以上では調和溶解となるとの結果が示唆されている（Advocat et al, 1991）。

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学→G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイド生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

ガラス固化体周囲の空隙水の化学は、ガラス固化体の溶解によるアクチノイド元素やAl等のコロイド生成に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

ガラス固化体が溶解する時には、ベントナイトは既に飽和しており、生成したコロイドはベントナイトの微細構造によりろ過される。

④当該F E Pの評価上の扱い

（想定期間：オーバーパック破損後）ガラス固化体周囲のベントナイト空隙水の化学は、緩衝材と腐食生成物との平衡を仮定してモデル解析（油井ほか, 1992a）され、ガラス固化体表面での難溶性核種の溶解度設定（油井ほか, 1992b）に反映されている。腐食生成物とSiの相互作用によるガラス固化体周囲の地下水化学への影響は考慮する必要がある。また、放射線分解については、それにより生成する酸化種が選択的にガラス固化体表面に蓄積したと想定しても、オーバーパック（腐食生成物）が十分な緩衝能力を持ち得るといふ試算がなされている（動燃事業団, 1992）。なおガラス固化体成分溶解等の影響はベントナイトや腐食生成物と比較し顕著な影響はないと考えられる。

2.モデル化に関する記述

Siと腐食生成物の共沈についてはFeSiO₄との溶解平衡（McVay, G., L and Buckwalter, 1983）、Siの腐食生成物への吸着については、マグネタイトとの吸着平衡（大江ら, 1986により各々評価されている。基本定数としては、Si含有腐食生成物の熱力学データ、腐食生成物に対するSiの吸着定数である。

3.文献リスト

- ・ Advocat, T. et al (1991): Hydrolysis of R7T7 Nuclear Waste Glass in Dilute Media: Mechanisms and Rate as a function of pH, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 212, pp.57-64
- ・ 動燃(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-PNCTN 1410 92-081.
- ・ Kurosawa, S., et al (1996): Experimental Studies of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, to be submitted.
- ・ 大江ら(1986): 高レベル廃棄物固化体の浸出特性(その5), 電力中央研究所報告: 285039
- ・ McVay, G., L and Buckwalter, C., Q. (1983): Effect of Iron on Waste Glass Leaching, Journal of the American Chemical Society, pp170-174
- ・ 小原ら (1993): 高レベルガラス固化体浸出液中の放射性コロイドの特性測定, 日本原子力学会「1993秋の大会」 p.649
- ・ 油井ら(1992a): 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, PNCTN 8410 92-162.
- ・ 油井ら(1992b): ガラス固化体からの元素の溶出挙動と人工バリア空隙水中の溶解度評価,

PNCTN841092-161.

4. 諸外国での扱い

Kristallin- I (Nagra 1994)

pHはガラスの腐食生成物により決まり、珪酸/珪酸塩とほう酸/ほう酸塩により、9.5に緩衝される。現実的には、キャニスターと腐食生成物により、還元状態が保たれ、ニアフィールドにおける放射線分解による酸化状態を考える必要はない。

G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

化学的条件によっては、ガラス固化体表面で核種を含むあるいは核種を吸着するコロイドが生成するかもしれない。コロイドの形成は、従来の溶存イオンに注目した平衡論的なモデルによる予測とは異なる核種の溶出およびガラス固化体周囲の地下水化学を生ずる可能性があり、また、核種の移行形態となる可能性もある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-4.1 ガラス固化体の溶解→G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成

G-4.1 参照。

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学→G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成

G-4.2 参照。

B-6.2 緩衝材によるフィルター効果→G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成

【当該F E Pが及ぼす影響】

ガラスから放出されるコロイドは、ベントナイトによりろ過されるため、コロイドの形成に影響を与える可能性がある。

【評価】

ガラスから放出されるコロイドは、ベントナイトの微細構造によりろ過されることが示されている(Kurosawa et al, 1996)。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学

G-4.2 参照

G-4.3 ガラス固化体の溶解によるコロイドの形成→OP-6.1 腐食生成物中の核種移行

【当該F E Pが及ぼす影響】

ガラスから溶解により形成されるコロイドは、腐食生成物中の核種移行に影響を与える可能性がある。

【評価】

ガラスから放出されるコロイドは、腐食生成物に吸着されたり、拡散により移行が抑制されると考えられるため保守的に無視される。

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: オーバーパック破損後) ガラス溶解に伴い形成されるコロイドは、ベントナイトの微細構造によりろ過される(Kurosawa et al, 1996)。

2. モデル化に関する記述

3. 文献リスト

- ・小原ら (1993): 高レベルガラス固化体浸出液中の放射性コロイドの特性測定, 日本原子力学会「1993秋の大会」p.649
- ・Kurosawa, S., et al (1996): Experimental Studies of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, to be submitted.

4. 諸外国での扱い

Kristallin- I (Nagra 1994)

放射性核種を含むコロイドは、ガラスの品質低下/溶解や廃棄物回りでの沈殿/共沈により生ずる可能性がある。現在の理解では、コロイドが緩衝材でトラップされずに移行していくことはなく、K-Iにおいては定量的な評価はなされていない。

H-4 NF母岩の化学的現象・特性

H4.1 NF母岩中の地下水化学

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

ニアフィールド母岩中の地下水は、ファーフィールドと同様に地球化学的変遷を経るとともに、処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素と反応しながら、ベントナイト中に侵入することが想定される。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

F4.1 FF母岩中の地下水化学→H4.1 NF母岩中の地下水化学

【当該FEPへの影響】

還元性と考えられるニアフィールドの地下水水質は、処分場の建設や操業により変化を受けているNF母岩中の地下水化学に影響を与える。

【評価】

Fe(II)濃度に富む還元性地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素により酸化され、ゲーサイト等のFe(II)鉱物を生成するとともに、pHが減少しEhは上昇する。しかし閉鎖後1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

H4.3 NF母岩中のガス(空気)→H4.1 NF母岩中の地下水化学

【当該FEPへの影響】

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素は、pHやEhといった母岩中の地下水水質を変化させる。

【評価】

NF母岩中に取り込まれた酸素については、母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質により消費される。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

H4.4 NF母岩中の微生物の活動→H4.1 NF母岩中の地下水化学

【当該FEPへの影響】

深部地質環境中に存在する微生物としては種々のものが考えられるが、深部地下水中の溶存酸素濃度が一般に低いことから、嫌気性の細菌が主なものと考えられる。また処分場の建設や操業中において、酸素や二酸化炭素とともに微生物がニアフィールド母岩中に入り込むことも考えられる。これら微生物は、地下水の水質形成に係る多様な反応に対して触媒として作用することにより、不均質または加速された進展をもたらす。微生物による地下水化学への影響は、錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速などが想定される。

【評価】

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素によるFe(II)や硫化物の酸化や閉鎖後のFe(III)や硫酸の還元反応が加速されることが考えられる。しかし、微生物の活動にとって必要な栄養(有機物)が地下深部では限られていることからその効果は一様ではないと考えられる。

B4.1 緩衝材中の空隙水化学→H4.1 NF母岩中の地下水化学

B4.1 参照

H-6.2 NF母岩中のコロイド→H4.1 NF母岩中の地下水化学

【当該FEPへの影響】

膨潤したベントナイトの可塑性により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。さらに流入するベントナイトはソフトゲルを形成し、その先端ではベントナイトコロイドが地下水流により運ばれる。したがって、地下水水質はベントナイトにより影響を受ける事になる。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければ開口裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著でないと考えられる（動燃事業団，1992）。したがって、コロイドの形成によるNF母岩中の地下水化学への影響は有意ではない。

H-6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該FEPへの影響〕

NF母岩マトリックス中の溶質の拡散は、鉱物の溶解や酸化還元反応とともに地下水の水質に影響する。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による酸化還元反応は、一般に遅いため、拡散と化学反応を練成させた評価が必要である（笹本，1996）。しかしながら、地下水の流速は化学反応と比較し、一般に非常に小さく、平衡論による評価が可能と考えられる（油井ら，1992）。

H-1.1 NF母岩の温度→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該FEPへの影響〕

NF母岩中における温度変化は、鉱物-水反応や鉱物の変質に影響を与えるため、NF母岩中の地下水化学に影響を与える。

〔評価〕

母岩中の地下水化学は、25°Cの標準状態での熱力学データを用いて評価されている（油井ら，1992）。地温程度（50～60°C）での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

H-5.1 NF母岩中の地下水の放射線分解→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該FEPへの影響〕

NF母岩中を移行する核種が崩壊することによって、水の放射線分解が生じ、NF母岩中の地下水化学に影響を与えることが想定される。

〔評価〕

オーバーパックによる核種閉じ込め機能が維持されている限り、 α 線と β 線は完全に遮蔽されるが、 γ 線と中性子線はオーバーパックを透過してベントナイトへ達する。またオーバーパックによる核種閉じ込め機能が喪失する時点（約1000年）においては、インベントリの大半を占める短半減期の核種が減衰しているため、 β 線、 γ 線、中性子線の影響は無視することができ、長半減期の核種の α 崩壊による影響のみが残ることになる。したがって、ガラス固化体表面やベントナイト中を拡散する核種からの α 線による放射線分解を考慮することになるが、単純な解析（動燃事業団，1992）によれば、過酸化水素といった放射線分解によって生成するすべての酸化剤は炭素鋼製オーバーパックの腐食生成物で緩衝されることが示されている。NF母岩中を移行する核種の放射線分解による影響はガラス固化体表面に比べ、かなり少ないため、無視できると考えられる。

H-6.3 NF母岩中のガス移行→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該FEPへの影響〕

オーバーパックの腐食に伴う水素ガスの発生、移行は、Eh等のNF母岩中の地下水化学に影響を与える可能性がある。

〔評価〕

水素ガスは、元来不活性であり、NF母岩中の地下水化学に与える影響は無視できる。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

〔当該FEPへの影響〕

NF母岩の鉱物組成や表面特性は、鉱物-水反応により、EhやpH等のNF母岩中の地下水化学に影響を与える。

〔評価〕

NF母岩中に取り込まれた酸素については、母岩中の鉄鉱物等の還元性物質により消費され、一般にEhは低下し、pHは上昇する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される（笹本，1996）。閉鎖後は、1000年程度で、これら鉄鉱物等に加えて、地下水中

の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱、オーバーパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト, その影響の記述と評価上の扱い】

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H4.3 NF母岩中のガス(空気)

【当該F E Pが及ぼす影響】

母岩中の地下水は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素を酸化還元反応や吸収により消費してゆく。

【評価】

母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質は、NF母岩中に取り込まれた酸素を消費する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食により酸素等の酸化剤は完全に消費されるものと推定される(McKinley, 1989)。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行

【当該F E Pが及ぼす影響】

NF母岩中の地下水化学は、鉱物の溶解・沈澱や酸化還元反応により、坑道周辺の岩盤の空隙特性を変化させることにより、溶質の拡散に影響する。

【評価】

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による酸化還元反応は、亀裂表面や岩盤の空隙をゲーサイト等の鉄(III)鉱物で被覆したり、埋めたりする。したがって、溶質の拡散を評価する上でこれらの変質効果を考慮する必要がある。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→B4.1 緩衝材中の空隙水の化学

B4.1 参照

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H6.2 NF母岩中のコロイド

【当該F E Pが及ぼす影響】

地下水により膨潤したベントナイトの可塑性や地下水による浸食により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。さらに流入するベントナイトはソフトゲルを形成し、その先端ではベントナイトコロイドが形成され、地下水流により運ばれる。

【評価】

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもない限り開口裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著でないと考えられる(動燃事業団, 1992)。したがって、NF母岩中の地下水化学によるコロイドの形成への影響は有意ではない。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H4.4 NF母岩中の微生物の活動

【当該F E Pが及ぼす影響】

閉鎖初期の不飽和段階では、酸化雰囲気であり好気性細菌が、飽和段階では還元性雰囲気となるため嫌気性細菌が活動する。

【評価】

微生物のpHやEhの耐性領域図が作成されており(Fukunaga et al, 1995)、それによれば不飽和段階では、鉄酸化細菌、イオウ酸化細菌等の好気性細菌が、飽和段階では、硫酸塩還元菌等の嫌気性細菌が活性となる。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H4.6 天然コロイドの形成

【当該F E Pが及ぼす影響】

NF母岩中の地下水化学に応じて、鉄コロイド、シリカコロイド、アルミニウムコロイド等の天然コロイドが形成される。

【評価】

NF母岩中に存在する天然コロイドに比べて、人工バリアであるベントナイトから形成されるベントナイトコロイドは多く、支配的になることが想定される。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.3 NF母岩中のガス移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水は、人工バリアより放出されるガスを吸収することによりガス移行に影響を与える。

〔評価〕

人工バリアより放出されるガスとしては、水素ガスが考えられるが水に対する溶解度が小さくため、ガス移行に与える影響は無視できる。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H-6.1 NF母岩中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

NF母岩中の地下水水質は核種の化学形態や鉱物の表面特性を支配するため、吸着や拡散といった核種移行に影響を与える。

〔評価〕

NF母岩中の地下水水質に対して、核種の化学形態は熱力学データにより評価されており(油井ら,1992)それに基づく分配係数の議論がなされている(澁谷ら,1992)。さらに核種の熱力学データ、分配係数の整備や鉱物の表面特性を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められている。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

〔当該F E Pが及ぼす影響〕NF母岩中の地下水化学は、鉱物-水反応によりNF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

〔評価〕

NF母岩の地下水水中に取り込まれた酸素は、母岩中の鉄鉱物等を酸化させゲーサイト等の鉄酸化鉱物を表面に形成する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本,1996)ため、鉄鉱物を有意に含む母岩の表面は、これら鉄酸化鉱物の被膜でコーティングされる。

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間：閉鎖後)

処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた空気中の酸素や二酸化炭素と地下水との反応については、ベントナイトや炭素鋼製オーバーパックの腐食を含めたニアフィールド全体の体系により解析を行っている(油井ほか,1992)。ここでのモデル(Wanner,1986)ではイオン交換や随伴鉱物の反応を考慮に入れた。その結果処分場閉鎖後ベントナイト中に残留している酸素や二酸化炭素については、黄鉄鉱の酸化や水への吸収により消費されることが示されている。最終的には地下水はベントナイトにより緩衝され比較的高pHで還元性へとシフトすることとなる。坑道掘削に伴う岩盤内への酸素の影響範囲は、坑道壁面より数m程度である(笹本,1996)。

2.モデル化に関する記述

NF母岩中の地下水水質は、平衡論モデルによる深部地下水水質の導出に加え、特に亀裂性岩盤における掘削影響による酸素の影響を移流・分散・化学反応連成モデルにより試算する。パラメータとしては、酸化還元反応速度、地下水流速度、空隙率、基本定数としては鉱物等の熱力学データである。

3.文献リスト

・動燃事業団(1992):高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-,PNC TN1410 92-081

・Fukunaga, S., et al(1995): Experimental Investigation of the Active Range of Sulfate-Reducing Bacteria for Geological Disposal, Scientific Basis for Nuclear waste Management XVIII, pp173-180

・McKinley et al(1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

・笹本ら(1996): 準備中

・澁谷ら(1992): ベントナイト及び岩石中での核種の分配係数, PNC TN8410 92-163

・油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, PNC TN8410 92-162.

・ Wanner, H. (1986): Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation, EIR-Bericht Nr. 589

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

Kristallin- I では, NF 母岩の地下水化学に着目した評価は行われていない。しかし, 掘削から閉鎖, 処分に至る一連のNF化学の定性的評価が行われている (McKinley et al, 1989)。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ McKinley et al (1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

1. F E P に関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ニアフィールド母岩の鉱物組成・特性は、処分場の建設や操業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素との反応やベントナイトの影響により、ファーフィールド母岩の鉱物組成・特性とは異なったものになることが想定される。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

H-4.1 参照

H-4.3 NF母岩中のガス(空気)→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素は、鉄鉱物等を酸化させ、NF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

【評価】

NF母岩中に取り込まれた酸素は、母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中のFe(II)イオンを酸化させ、表面が鉄酸化鉱物でコーティングされる。なお、閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本,1996)。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

NF母岩の鉱物組成・特性は、ベントナイト空隙水と地下水の混合による溶解・沈殿により影響を受ける。

【評価】

地下水の下流側におけるベントナイト空隙水の移流・分散による溶解・沈殿の影響は考慮する必要があるが、核種移行評価上は好ましいレンジに変化するものと考えられる。

H-1.1 NF母岩の温度→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

NF母岩中における温度変化は、鉱物-水や鉱物の変質に影響を与え、NF母岩の鉱物組成・特性を変化させる。

【評価】

母岩中の鉱物-水反応の熱力学的解析は、25°Cの標準状態での熱力学データを用いて評価されている(油井ら, 1992)。地温程度(50~60°C)での評価についても、熱力学データを整備し行う必要がある。

H-4.4 NF母岩中の微生物の活動→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

深部地質環境中に存在する微生物としては種々のものが考えられるが、深部地下水中の溶存酸素濃度が一般に低いことから、嫌気性の細菌が主なものと考えられる。処分場の建設や操業中において、酸素や二酸化炭素とともに微生物がニアフィールド母岩中に入り込むことも考えられ、酸化還元反応等を加速し、NF母岩の鉱物組成・特性に影響を与える。

【評価】

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素によるFe(II)や硫化物の酸化や閉鎖後のFe(III)や硫酸の還元反応が加速され、鉄酸化鉱物の被覆をもたらすと考えられる。しかし、微生物の活動にとって必要な栄養(有機物)が地下深部では限られていることからその効果は一律ではないと考えられる。

H-6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

【当該F E Pへの影響】

NF母岩マトリックス空隙水中の溶質の拡散は、鉱物の溶解や酸化還元反応によりNF母岩の鉱物組

成・特性に影響する。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による酸化還元反応は、一般に遅いため、拡散と化学反応を連成させた評価が必要である(笹本, 1996)。しかしながら、地下水の流速は化学反応と比較し、一般に非常に小さく、平衡論による評価が可能と考えられる(油井ら, 1992)。

H-6.2 NF母岩中のコロイド→H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性

〔当該F E Pへの影響〕

NF母岩の鉱物組成・特性は、ベントナイトの地下水による浸食や亀裂中への侵入により影響を受ける。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもないと開口亀裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は処分場では顕著に起こらないと考えられる(動燃事業団, 1992)。よってベントナイトの流出によるNF母岩の鉱物組成・特性への影響は小さいと考えられる。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

H-4.1 参照。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

〔当該F E Pが影響及ぼす影響〕

ベントナイトに浸入してくる母岩の地下水水質は、NF母岩の鉱物組成・特性に影響されるため、ベントナイト空隙水の化学に影響を与える。例えば、ベントナイトのイオン交換による緩衝能力は、地下水中のCa²⁺濃度、即ち方解石に対する平衡状態の違いに依存する(Wanner, 1986, 油井ら, 1992)。

〔評価〕

地下水で飽和後のベントナイトの空隙水化学は、スメクタイトのイオン交換作用、方解石や黄鉄鉱等の化学反応によって支配されることになる(Wanner, 1986, Sasaki et al, 1995)。陽イオン交換については主に溶解したCaとスメクタイト層間中のNaとの間で生じる。一方地下水の方解石に対する平衡状態の違いに依存して、NaスメクタイトのCa型化も生じ、これにより緩衝作用も低下する(油井ら, 1992)。また掘削や操業に伴い取り込まれた酸素の消費については、NF母岩中の鉄鉱物だけでは充分でない場合、ベントナイト中の黄鉄鉱による寄与が考えられる。このため、飽和後のベントナイトの空隙水化学の評価においては、これらの反応やその影響を考慮する。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.3 NF母岩中のガス(空気)

〔当該F E Pが影響及ぼす影響〕

NF母岩中の鉄鉱物等は、処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素や二酸化炭素を酸化還元反応や吸収により消費してゆく。

〔評価〕

NF母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質は、NF母岩中に取り込まれた酸素を消費する。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、NF母岩の鉄鉱物等に加えて、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱、オーバーパックスの腐食により酸素等の酸化剤は完全に消費されるものと推定される(McKinley, 1989)。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-6.4 NF母岩空隙水中の溶質の移行

〔当該F E Pが影響及ぼす影響〕

NF母岩中の鉱物の溶解・沈殿や酸化還元反応は、NF母岩マトリックス空隙水中の溶質の拡散の移行経路の空隙率や表面特性に影響すると考えられる。

〔評価〕

処分場の建設や操業時においてNF母岩中に取り込まれた酸素による鉄酸化鉱物等の沈殿は、一般に遅いため、拡散と化学反応を連成させた評価が必要である(笹本, 1996)。拡散経路の空隙率の変化等については、今後の研究を待たねばならないが、ゲーサイト等のコーティングは還元環境では安定で

ないと考えられる。またこれを考慮したとしても非保守的な評価になると考えられる。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-6.2 NF母岩中のコロイド

〔当該FEPが及ぼす影響〕

地下水により膨潤したベントナイトの可塑性や地下水による浸食により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流出することが考えられる。さらに流出するベントナイトはソフトゲルを形成し、その先端ではベントナイトコロイドが形成され、地下水流により運ばれる。この際、NF母岩の鉱物組成やその表面特性は、コロイド移行に影響を与えると考えられる。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填鉱物で占有されており、さもないと開口亀裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいことにより、ベントナイトの流出は処分場では顕著でないと考えられる(動燃事業団, 1992)。したがって、NF母岩中における顕著なコロイド移行は考えにくい。コロイドの移行を評価する場合は、鉱物の表面電位による排斥効果よりもフィルトレーション効果(長崎ら, 1994)の方が顕著な影響を与えることが示されている。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-6.1 NF母岩中の核種移行

〔当該FEPが及ぼす影響〕

NF母岩中の鉱物組成や鉱物の表面特性は、吸着や拡散といった核種移行挙動に影響を与える。

〔評価〕

NF母岩中の地下水水質に対して、核種の化学形態は熱力学データにより評価されており(油井ら, 1992)、さらに鉱物組成等を考慮して分配係数の議論がなされている(澁谷ら, 1992)。今後は、核種の熱力学データ、分配係数の整備や鉱物の表面特性を体系的に整備した上で、より信頼性の高い評価が求められる。

H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.6 天然コロイドの形成

〔当該FEPが及ぼす影響〕

NF母岩の鉱物組成に応じて、鉄コロイド、シリカコロイド、アルミニウムコロイド等の天然コロイドが形成される。

〔評価〕

NF母岩中に存在する天然コロイドに比べて、人工バリアであるベントナイトから形成されるベントナイトコロイドは多く、支配的になることが想定される。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間：閉鎖後)

処分場の建設や作業時においてニアフィールド母岩中に取り込まれた空気中の酸素の酸化により母岩表面は鉄酸化鉱物で被覆される場合が考えられ、その速度は微生物の効果により加速される。しかしながら、還元環境ではこれら変質鉱物は安定でないと推測されるが、熱力学データの充実により今後判断し、必要であれば空隙水中の核種の拡散や吸着の評価においてその影響を考慮する。またNF母岩中に取り込まれた酸素については、母岩中の鉄鉱物や流入してくる地下水中の還元性物質により消費される。閉鎖前の酸素の母岩中への拡散範囲は、釜石原位置試験によれば坑道壁面より数m程度と推定される(笹本, 1996)。閉鎖後は、1000年程度で、地下水中の還元性物質、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食によりもとの還元性地下水に変化してゆくものと推定される(McKinley, 1989)。

2.モデル化に関する記述

NF母岩の鉱物の変質は、平衡論モデルによる解析に加え、特に亀裂性岩盤における掘削影響による酸素の影響を移流・分散・化学反応連成モデルにより試算する。パラメータとしては、酸化還元反応速度、地下水流速度、空隙率、基本定数としては鉱物等の熱力学データである。

3.文献リスト

- ・動燃事業団(1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-, PNC TN1410 92-081
- ・McKinley et al(1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

- ・ Sasaki, Y. et al(1995): Experimental Studies on the Interaction of Groundwater with Bentonite, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVIII, pp337-344
- ・ 笹本ら(1996) : 準備中
- ・ 濫谷ら(1992): ベントナイト及び岩石中での核種の分配係数, PNC TN8410 92-163
- ・ 油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分システムの性能評価における地下水の地球化学的特性に関するモデル化 PNC TN8410 92-166.
- ・ 油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, PNC TN8410 92-162.
- ・ Wanner, H. (1986): Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation, EIR-Bericht Nr. 589

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

Kristallin- I では, NF 母岩の鉱物組成や特性に着目した評価は行われていない。しかし, 掘削から閉鎖, 処分に至る一連のNF化学の定性的評価が行われている(McKinley et al, 1989)。

- ・ Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ McKinley et al(1989): The Near-Field Geochemistry of HLW Disposal in Argillaceous Host Rock, Nagra Technical Report 88-26

H-4.3 NF母岩中のガス（空気）

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

処分場の建設や操業期間中において、坑道からニアフィールド母岩中に空気が自由に供給されることになる。処分場閉鎖後に残存するある程度の酸素は地下水の化学的条件に影響を与えることになるが、この取り込まれた酸素は、隣接したベントナイトの随伴鉱物である黄鉄鉱の酸化により最終的に消費されることが期待される。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-7 掘削→H-4.3 NF母岩中のガス（空気）

〔当該F E Pへの影響〕

処分場の掘削や操業により、空気が処分場に取り込まれる。

〔評価〕

処分場に取り込まれた空気中の酸素は、岩盤や地下水中の還元性物質により消費される。釜石での原位試験によれば、酸素の拡散範囲は坑道から数m程度であると考えられる(笹本ら, 1996)。

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H-4.3 NF母岩中のガス（空気）

H4.1 参照。

H4.2 NF母岩の鉱物組成・特性→H-4.3 NF母岩中のガス（空気）

H4.2 参照。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-4.3 NF母岩中のガス（空気）→H-4.1 NF母岩中の地下水化学

H-4.1 参照

H-4.3 NF母岩中のガス（空気）→H-4.2 NF母岩鉱物組成・特性

H-4.2 参照。

④当該F E Pの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

処分場の掘削や操業により取り込まれた酸素は、岩盤や地下水中の還元性物質により消費されると考えられるが、十分に消費されない場合は、ベントナイト中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食により消費されることになる。

2. モデル化に関する記述

NF母岩中の地下水水質は、平衡論モデルによる深部地下水水質の導出に加え、特に亀裂性岩盤における掘削影響による酸素の影響を移流・分散・化学反応連成モデルにより試算する。パラメータとしては、酸化還元反応速度、地下水流速度、空隙率、基本定数としては鉱物等の熱力学データである。

3. 文献リスト

- ・油井ら(1992): 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, 動燃技術資料, PNCTN8410 92-162.
- ・笹本ら(1996): 準備中

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

保守的な評価では、操業時に取り込まれたすべての酸素はキャニスタの腐食によって一定の期間内で完全に消費される。

- ・Nagra (1994): Kristallin- I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

H-4.4 NF母岩中の微生物の活動

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

深部地質環境中において天然に存在する微生物としては種々のものが考えられるが、深部地下水中の溶存酸素濃度が一般に低いこと、有機物などのエネルギー源に乏しいこと、光エネルギーが存在しないこと、圧力がある程度高いことなどの特徴から、嫌気性のバクテリアが主なものと考えられる(methanogenicあるいは硫酸還元性のもの)。また処分場の建設や操業中において、酸素や二酸化炭素とともに微生物がニアフィールド母岩中に入り込むことも考えられる。

微生物は、地下水の水質形成に係る多様な反応もしくはこの地下水と放射性核種との反応の一部に対して触媒として作用することにより、反応系全体の不均質または加速された進展をもたらす(たとえば、acid mine drainage)、微生物による地下水化学への影響は、錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速などが想定される。

また微生物は、それ自身が放射性核種を吸着することにより、あるいは微生物を媒介して、鉄の酸化によって生じる水酸化鉄コロイド等を取り込むことにより、移行媒体としてのコロイド生成源ともなりうる。一方、地質環境中の微生物の多くは、鉱物表面に付着した状態にあると考えられ、移行途中の核種を取り込む効果を有するものと期待されるが、逆に微生物の死骸が固相から離脱する際に、上述のように核種の新たな移行媒体となる可能性も有する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H.4.1 NF母岩中の地下水化学→H.4.4 NF母岩中の微生物の活動

H.4.1 参照

H.4.5 NF母岩中の有機物→H.4.4 NF母岩中の微生物の活動

【当該F E Pへの影響】

NF母岩中に存在する有機物は、微生物の栄養源であり、その生息に影響を与える。

【評価】

地下水中に存在する有機物は、高々1ppm程度であるが、硫酸塩還元菌等が存在し得る(笹本,1996)環境である。

H.1.1 NF母岩の温度→H.4.4 NF母岩中の微生物の活動

【当該F E Pへの影響】

NF母岩中の温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。

【評価】

NF母岩の温度は、約50°C程度であり(動燃事業団,1992)、微生物はこの温度で十分生息可能である。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H.4.4 NF母岩中の微生物の活動→H.4.1 NF母岩中の地下水化学

H.4.1 参照

H.4.4 NF母岩中の微生物の活動→H.4.5 NF母岩中の有機物

【当該F E Pが及ぼす影響】

微生物は有機物をエネルギー源として取り込み、酸化分解する。

【評価】

地下水中に存在する有機物は、高々1ppm程度であり、微生物による影響は顕著ではないと考えられる。

H.4.4 NF母岩中の微生物の活動→H.6.2 NF母岩中のコロイド

【当該F E Pが及ぼす影響】

微生物自身がコロイド的挙動を示したり、有機物を分解して移動し易くする可能性がある。

【評価】

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければ開口亀裂はグラウト注

入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、微生物のコロイド的挙動や分解有機物の移動は顕著に起こらないと考えられる（動燃事業団，1992）。

H-4.4 NF母岩中の微生物の活動→H-6.1 NF母岩中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

微生物自身が核種を吸着してコロイド的挙動を示したり、バイフィロムを形成して核種を吸着する可能性がある。

〔評価〕

実際の岩の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもないければ開口亀裂はグラウト注入されることが想定される。また深部地下での地下水流速は非常に小さいため、核種を吸着した微生物のコロイド的挙動は顕著に起こらないと考えられる（動燃事業団，1992）。また、バイフィロムを形成して核種を吸着する可能性については保守的に無視される。

H-4.4 NF母岩中の微生物の活動→H-4.2 NF母岩鉱物組成・特性
H-4.2参照。

④当該F E Pの評価上の扱い

（想定期間：閉鎖後）

性能評価の観点から処分場近傍に位置する深部ニアフィールド母岩に存在する典型的な微生物が、もともと存在するものか、あるいは掘削などによってもたらされたものかを区別することは、現時点では困難である（West & McKinley, 1984）。地下深部で湧出する地下水のこれまでの調査によると、掘削時に取り込まれる微生物が混入しているものの、地下深部においても生息条件（水温、水圧、酸化還元状態、栄養物等）を満たしていれば、微生物活動が普遍的であることを示している（青木ほか，1992）。しかしながら、バクテリアの生存量は供給される栄養に依存しており、この栄養が地表あるいはその近傍の生物圏と比べて極めて微小もしくは限られたものであることから、地下深部（ニアフィールド、ニアフィールドとも）におけるバクテリアの分布は必ずしも一様とはならないものと考えられる。

2.モデル化に関する記述

3.文献リスト

- ・青木和弘，小室光世，松島英治(1992): 深部地下水中の微生物調査2), Proc. of the 2nd Sympto. on Geo-Environments, pp.163-168.
- ・動燃料事業団.(1992):高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書-平成3年度-, PNC TN1410 92-081
- ・笹本ら(1996): 釜石鉱山における地下水の地球化学的研究(1)
- ・West, J.M. & McKinley, I.G. (1984): The Geomicrobiology of Nuclear Disposal, Sci. Basis Nucl. Waste Manage. Vol.7, pp.487-494.

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

(調査中)

- ・Nagra (1994): Kristallin- I , Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

H-4.5 NF母岩中の有機物

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

フミン酸やフルボ酸といった有機物は、低濃度ながらも深部地下水やベントナイトに含まれているものと考えられる。有機物は地下水の酸化還元電位を減少させるとともに、炭酸濃度や錯形成配位子濃度を上昇させ、また核種の溶解度を上昇させる可能性がある。また、液相中での核種の化学形を支配することにより、吸着等の移行遅延プロセスに影響を及ぼすことも想定される。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-4.4 NF母岩中の微生物の活動→H-4.5 NF母岩中の有機物
H-4.4 参照

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H-4.5 NF母岩中の有機物→H-4.4 NF母岩中の微生物の活動
H-4.4 参照

H-4.5 NF母岩中の有機物→H-6.1 NF母岩中の核種移行

【当該FEPが及ぼす影響】

有機物は核種と錯体を作ったり、吸着されたりしてNF母岩中の核種移行に影響を与える可能性がある。

【評価】

地下水中の有機物は高々1ppm程度であり、他の錯体をつくり易い炭酸イオン等と比較するとかなり小さく、核種との錯形成や吸着による影響は小さいと考えられる。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

深部地下水やベントナイトには有機物が極微量しか含まれていないと考えられるためその影響は小さいと考えられる。しかし、詳細な評価については今後の研究を待たねばならない。

2. モデル化に関する記述

3. 文献リスト

4. 諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

有機物の分解による影響(ガス発生)は無視しうる。

・ Nagra (1994): Kristallin-I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

H-4.6 天然コロイドの形成

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

コロイドは1~1000nm程度の径を有する粒子と定義され、放射性核種を吸着もしくはそれ自体の中に取り込むことが想定される。またコロイドは、ニアフィールド母岩中の深部地下水中に普遍的に含まれているものと考えられる。

コロイドには有機物と無機物を起源とするものがあり、地層処分システム中での主要な供給源としては、不均質なpHやEhの分布に対応して、地下水流動プロセスで生じる粘土鉱物の沈殿あるいは既存の粘土鉱物の削剥や分散などが考えられる。また断層や水河などの外的事象によってコロイド濃度の急激な変化が生じる可能性もある。またベントナイト中では、ろ過作用によりコロイド移動を抑制する効果を有するものの、ニアフィールド母岩とベントナイトの境界においては、母岩に対してコロイドの供給源となりうる。

コロイドの粒径分布や表面電位等の物理/化学特性に応じて、コロイドは地下水自体よりも速いかもしくは遅く移動することが考えられる。コロイド粒子による放射性核種の移行についても同様である。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H4.1 NF母岩中の地下水化学→H4.6天然コロイドの形成

H4.1参照

H4.2 NF母岩鉱物組成・特性→H4.6天然コロイドの形成

H4.2参照。

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

H4.6天然コロイドの形成→H-6.2 NF母岩中のコロイド

【当該FEPが及ぼす影響】

Fe, Al等の水酸化物や有機物のコロイドの形成は、亀裂媒体中での移行に影響を与える。

【評価】

Fe, Al等の水酸化物や有機物のコロイドの形成は、それらの粒径分布や表面電位、亀裂中の地下水流速、亀裂ネットワーク、亀裂壁面の凹凸や表面電位により移行挙動が異なる。平滑な亀裂平板の場合、コロイドの移行は速いが、凹凸のある亀裂平板中や亀裂ネットワーク中の移行は、フィルトレーション効果（長崎ら, 1994）によりかなり遅延される。

H4.6天然コロイドの形成→H-6.1 NF母岩中の核種移行

【当該FEPが及ぼす影響】

Fe, Al等の水酸化物や有機物のコロイドの形成は、核種を吸着することにより亀裂媒体中での移行に影響を与える。

【評価】

Fe, Al等の水酸化物や有機物のコロイドに吸着された核種の移行は、コロイドの粒径分布や表面電位、亀裂中の地下水流速、亀裂ネットワーク、亀裂壁面の凹凸や表面電位により移行挙動が異なる。平滑な亀裂平板の場合、核種を吸着したコロイドの移行は速くなる場合があるが、凹凸のある亀裂平板中や亀裂ネットワーク中のこれらコロイドの核種移行は、フィルトレーション効果（長崎ら, 1994）によりかなり遅延される。

④当該FEPの評価上の扱い

(想定期間: 閉鎖後)

OECD/NEAによるアリゲーターリバー・アナログ国際共同研究(ARAP)によれば、地下水が酸性であるものの、種々のコロイド粒子が地下水の中に存在していることが認められている(Yamakawa, M., 1991)。ここでは、ウランが溶けやすい環境下にあるため、ウランのほとんどが地下水に溶存しており、核種移行の観点からコロイドはさほど重要ではないことがわかっている。またトリウムの中での挙動に関しては、コロイド粒子やそれよりも大きな懸濁物質が重要であることが確認されている。コロイドの移行については、平滑な亀裂平板、凹凸のある亀裂平板、亀裂ネットワークの順で移行が遅延される。

2.モデル化に関する記述

Hwang(1989)のモデルにフィルトレーション効果を入れて、解析する予定である。

3.文献リスト

- ・ Hwang, Y., et al(1989): Analytic Solution of Pseudocolloid Migration in Fractured Rock, Fuel Cycle and Waste Management
- ・ 長崎ら(1994): 亀裂媒体中核種移行に及ぼす疑似コロイド形成の影響, 日本原子力学会「1994春の年会」
- ・ Yamakawa, M.(1991): Geochemical Behaviour of Natural Radionuclides in the Geological Formation. Proceedings of 3rd International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research "Global Environment and Nuclear Energy", 13-15th March 1991, Mito, Japan, pp.150-158.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

以下に示す仮定がニアフィールド母岩中でのコロイド移動の評価について行われている。

- ・ コロイドは天然の状態地下水中に存在する。
- ・ コロイドの濃度は時間的・空間的に一定である。
- ・ コロイドの生成と消滅は平衡状態にある。
- ・ コロイドは核種移行と同様の経路に沿って移流によって移動する。
- ・ コロイドはその大きさと電荷の影響を受け、マトリクス中には拡散しない。
- ・ コロイドは移行経路の壁面と相互作用する。
- ・ 放射性核種はコロイド表面に吸着し移行する。

コロイド移動を評価するため、ニアフィールド母岩中の移行モデルのパラメータを変化させる必要がある。コロイド表面への非線型吸着については、移流速度、ベントナイト外側流量、ダルシー流速、線型吸着による遅延係数および非線型吸着による遅延係数は、すべて濃度の関数となる。Kristallin-Iの評価では、等温非線型吸着に関するデータが不十分であるため、コロイド表面への吸着は線型吸着のみを考慮している。

- ・ Nagra (1994): Kristallin-I, Safety Assessment Report, NTB 93-22E.

OP-1 オーバーパックの熱的現象・特性

OP-1.1 オーバーパックの温度

1. F E P に関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

オーバーパックの温度は、ベントナイトとガラス固化体の温度との相互作用によって決まる。オーバーパックの温度は、特にその腐食特性や力学特性に影響すると考えられる。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

G-1.1ガラス固化体の温度→OP-1.1オーバーパックの温度

【当該F E Pへの影響】

ガラス固化体の温度変化に伴いオーバーパックの温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する。

B-1.1緩衝材の温度→OP-1.1オーバーパックの温度

B-1.1参照

OP-1.2オーバーパックの熱物性→OP-1.1オーバーパックの温度

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックの熱物性の变化に伴って温度が変化する。

【評価】

金属材料の場合、その熱物性の温度依存性は処分環境条件下では小さく、温度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

OP-4.3腐食生成物の生成→OP-1.1オーバーパックの温度

【当該F E Pへの影響】

オーバーパック腐食生成物の存在がオーバーパックの温度に影響を及ぼすことが考えられる。

【評価】

腐食生成物が大量に生成するのはベントナイトが飽和した後であり、この時点ではオーバーパックとベントナイト境界の温度はあまり高くないので、腐食生成物が温度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.1オーバーパックの温度→B-1.1緩衝材の温度

B-1.1参照

OP-1.1オーバーパックの温度→G-1.1ガラス固化体の温度

【当該F E Pが及ぼす影響】

オーバーパックの温度変化に伴いベントナイトの温度が変化する。

【評価】

ガラス固化体からファーフールドまでの熱解析を行い、温度分布の経時変化を評価する。

OP-1.1オーバーパックの温度→OP-1.2オーバーパックの熱物性

【当該F E Pが及ぼす影響】

オーバーパックの熱物性が温度に依存することが想定される。

【評価】

金属材料の場合、その熱物性の温度依存性は処分環境条件下では小さいと考えられる。

OP-1.1オーバーパックの温度→OP-1.3オーバーパックの熱膨張

【当該F E Pが及ぼす影響】

温度の上昇によりオーバーパックが熱膨張する。

【評価】

オーバーパックの線膨張係数データにより熱膨張量を評価する。

OP-1.1オーバーパットの温度→OP-2.2腐食生成物の水理特性
〔当該F E Pが及ぼす影響〕

腐食生成物の水理特性が温度に依存することが想定される。
〔評価〕

腐食生成物が多孔質媒体と考えられる場合は、その水理特性の温度依存性は固有透過度の概念を適用して評価することが可能である。

OP-1.1オーバーパットの温度→OP-3.2オーバーパットの力学物性
〔当該F E Pが及ぼす影響〕

オーバーパットの力学物性が温度に依存することが想定される。
〔評価〕

オーバーパットの設計では、強度計算をする際にオーバーパットの最大温度を考慮する。

OP-1.1オーバーパットの温度→OP-4.1オーバーパットの腐食
OP-4.1参照

OP-1.1オーバーパットの温度→OP-4.3腐食生成物の生成
OP-4.3参照

OP-1.1オーバーパットの温度→OP-6.1腐食生成物中での核種移行
〔当該F E Pが及ぼす影響〕

腐食生成物中での核種移行特性が温度に依存することが想定される。
〔評価〕

腐食生成物中での核種移行は保守的に無視する。

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：オーバーパットの熱物性を一定として処分場ニアフィールドの熱解析（非連成）を実施した。

・H3以降の取扱い：

2.モデル化に関する記述

特になし。

3.文献リスト

・五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝(1992): 地層処分場の熱的安定性の検討，動燃技術資料，PNCTN1410 92-054.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

オーバーパットの最高温度は150℃程度 (K-I, p.46 fig.3.4.2)と推定される。

OP-1.2 オーバーパックの熱物性

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

オーバーパックの温度は、その熱物性に依存する。特に、腐食生成物が外側に蓄積した場合には、腐食生成物も含むオーバーパック全体としての熱物性として評価する必要性も考えられる。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.1オーバーパックの温度→OP-1.2オーバーパックの熱物性OP-1.1参照

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.2オーバーパックの熱物性→OP-1.1オーバーパックの温度OP-1.1参照

④当該FEPの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

- ・ H3での取扱い：オーバーパックの熱物性の变化は考慮されていない。
- ・ H3以降の取扱い：オーバーパックの熱物性の变化は考慮されていない。

2. モデル化に関する記述

3. 文献リスト

・ 五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝(1992): 地層処分場の熱的安定性の検討，動燃技術資料，PNCTN1410 92-054.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

(オーバーパックの熱物性は不明)

OP-1.3 オーバーパックの熱膨張

1. F E P に関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ガラス固化体の発熱により温度が上昇し、オーバーパックが熱膨張することが想定される。熱膨張量は温度と応力的な拘束条件に依存する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.1ベントナイトの温度→OP-1.3オーバーパックの熱膨張

OP-1.1参照

OP-3.1オーバーパックの応力→OP-1.3オーバーパックの熱膨張

〔当該F E Pへの影響〕

熱膨張量はオーバーパックの力学的な拘束条件に依存する。

〔評価〕

オーバーパックの線膨張係数を用いた熱応力解析により評価が可能である。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.3オーバーパックの熱膨張→OP-3.1オーバーパックの応力

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

熱膨張によりオーバーパック内に熱応力が発生する。

〔評価〕

オーバーパックの線膨張係数を用いた熱応力解析により評価が可能である。

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

- ・ H 3 での取扱い：オーバーパックの熱膨張は考慮されていない。
- ・ H 3 以降の取扱い：オーバーパックの線膨張係数を用いた熱応力解析により評価が可能である。

2.モデル化に関する記述

オーバーパックの線膨張係数を用いた熱応力解析により評価が可能である。

3.文献リスト

特になし。

4.諸外国での取扱い

不明（オーバーパックの熱膨張は考慮されていない模様？）

OP-3.1 オーバーパットの応力

1. F E P に関する記述とその評価

①内容【当該 F E P の説明】

深部地下に定置したオーバーパットに外圧として作用する応力としては、緩衝材の膨潤応力や地圧（地下水圧を含む）が考えられる。また、炭素鋼製オーバーパットの腐食の進展によるオーバーパットの体積膨張により応力が作用することが想定される。さらに施工方法によっては、溶接部等に内部応力（残留応力）を有する場合も考えられる。

②原因【当該 F E P に影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.2 緩衝材の応力→OP-3.1 オーバーパットの応力

B-3.2 参照

OP-3.4 オーバーパットの腐食膨張→OP-3.1 オーバーパットの応力

【当該 F E P への影響】

腐食生成物の膨張によりオーバーパットに機械的応力が作用する。

【評価】

オーバーパット、オーバーパット腐食生成物、ベントナイトおよび岩盤に関して適切な力学的構成式を用い、数値解析等により応力の平衡状態を評価する必要がある。

OP-1.3 オーバーパットの熱膨張→OP-3.1 オーバーパットの応力

OP-1.3 参照

OP-3.2 オーバーパットの力学物性→OP-3.1 オーバーパットの応力

【当該 F E P への影響】

力学物性の変化に伴ってオーバーパットの応力が変化する。

【評価】

金属材料としてのオーバーパットの力学物性は、処分環境条件下ではほとんど変化しないと考えられる。

③結果【当該 F E P が影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-3.1 オーバーパットの応力→B-3.2 緩衝材の応力

B-3.2 参照

OP-3.1 オーバーパットの応力→OP-1.3 オーバーパットの熱膨張

OP-1.3 参照

OP-3.1 オーバーパットの応力→OP-7 オーバーパットの破損

【当該 F E P が及ぼす影響】

オーバーパット中の応力によりオーバーパットが破損する。

【評価】

オーバーパットの腐食代分の厚さが腐食で喪失した後に、オーバーパットの設計圧相当の外力条件でオーバーパットが破損することが想定される。しかし、破損モードや正確に何年後に破損するかといった予測は困難である。

OP-3.1 オーバーパットの応力→G-3.1 ガラス固化体の応力

【当該 F E P が及ぼす影響】

オーバーパット中の応力がガラス固化体に作用する。

【評価】

実際には、オーバーパットの応力がガラス固化体に作用して、ガラスに新たな割れが生じるような事象も想定されるが、ガラス固化体全体の力学的物性データがないため、力学的な解析ではオーバーパットの中は空洞として評価される。

OP-3.1オーバーパックスの応力→OP-4.1オーバーパックスの腐食

OP-4.1参照

④当該FEPの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：オーバーパックスに作用する地圧は岩盤クリープ特性等に依存し、初期地圧がすべて負荷されるわけではないが、保守的に初期地圧を外圧として考えている。初期地圧の垂直成分を27.5MPa（地下1000m、岩盤の浸潤密度2.8g/cm³）とし、水平成分は場所による変化があるため、垂直成分の2倍までを想定して、有限要素法によるオーバーパックスの強度計算を実施している（本田ほか、1992）。なおベントナイトの膨潤圧や腐食生成物による体積膨張の影響については、オーバーパックスの強度計算の際の外部応力としては考慮していない。

・H3以降の取扱い：オーバーパックス、オーバーパックス腐食生成物、ベントナイトおよび岩盤に関して適切な力学的構成式を用い、数値解析等により応力の平衡状態を評価する。

2.モデル化に関する記述

オーバーパックス健全部の力学的モデル化は問題がないが、設計規準としては種々の考え方がある。

3.文献リスト

・本田明、野高晶之、鶴留浩二、井上邦博、石川博久、佐々木憲明（1992）：炭素鋼オーバーパックスの試作、PNCTN1410 92-059.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I（Nagra, 1994）

圧縮ベントナイトの膨潤圧に相当する30MPaの静水圧が外部応力として作用するものとして、ADINA-Tモデルを用いて、キャニスタの機械的強度を評価している（Steag and Motor-Columbus, 1985）。機械的強度の評価手法については、モデルキャニスタの破損予測への適用も含めて、ある程度の検証／確証が行われている（Attinger and Duijvestijn 1994）。なお、強度解析においては、地圧がそのままキャニスタに負荷するという想定はなされていない。また、腐食生成物による応力の上昇は考慮されていない。

OP-3.2 オーバーパックの力学物性

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

オーバーパックの強度解析においてはその力学物性を適切に評価する必要がある。特に、金属材料の許容応力は温度の関数となるので注意を要する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-1.1オーバーパックの温度→OP-3.2オーバーパックの力学物性

OP-1.1参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-3.2オーバーパックの力学物性→OP-3.1オーバーパックの応力

OP-3.1参照

OP-3.2オーバーパックの力学物性→OP-4.1オーバーパックの腐食

OP-4.1参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

- ・ H 3 での取扱い：炭素鋼の許容応力は150℃のときの値を用いた。
- ・ H 3 以降の取扱い：

2. モデル化に関する記述

特になし。

3. 文献リスト

・ 本田明, 野田昌之, 鶴留浩二, 井上邦博, 石川博久, 佐々木憲明 (1992) : 炭素鋼オーバーパックの試作, 動燃技術資料, PNC TN1410 92-059.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

オーバーパックの力学物性は不明。

OP-3.3 オーバーパックの沈下

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

ベントナイトは良好な可塑性を有しているが、充填密度に依存してベントナイトの圧密や粘弾塑性変形が生ずるかもしれない、オーバーパックがベントナイト中で沈下する可能性がある。このことは核種移行経路の長さを減少させるかもしれない。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-3.5緩衝材のクリープ→OP-3.3オーバーパックの沈下

B-3.5参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-3.3オーバーパックの沈下→B-6.1緩衝材中の核種移行

【当該F E Pが及ぼす影響】

沈下量が多い場合、ベントナイト中の核種移行経路の長さが減少し、核種移行特性に影響を及ぼす。

【評価】

オーバーパックの沈下量は1mm程度以下（藤田ほか，1992）と小さいため核種移行への影響は特に評価されていない。

OP-3.3オーバーパックの沈下→B-3.5緩衝材のクリープ

B-3.5参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

・H3での取扱い：ベントナイト中での空隙水排水がある場合については圧密弾塑性モデルを、非排水の状態の場合については粘弾塑性モデルを用いた。それぞれの解析の結果、オーバーパック沈下の程度はベントナイト中での核種移行にあたる影響は無視できるほど小さいことを示している。

・H3以降の取扱い：三軸試験によりベントナイトの粘・弾塑性挙動を把握し、モデルや物性データの信頼性を上げてから解析を行う。

2.モデル化に関する記述

オーバーパック沈下に関する解析を行った（藤田ほか，1992）。ベントナイト中での空隙水排水がある場合については圧密弾塑性モデルを、非排水の状態の場合については粘弾塑性モデルを用いた。それぞれの解析の結果、オーバーパック沈下の程度はベントナイト中での核種移行にあたる影響は無視できるほど小さいことを示している。三軸試験等のデータ取得によりモデルの信頼性を向上させることが課題である。

3.文献リスト

- ・藤田朝雄，五月女敦，原啓二（1992）：緩衝材の力学試験，動燃技術資料，PNCTN8410 92-170。
- ・藤田朝雄，五月女敦，原啓二，納多勝（1992）：人工バリアの構造力学的検討，動燃技術資料，PNCTN1410 92-053。
- ・Saotome et al.,(1991): Study of mechanical stability of engineered barrier system for deep geological isolation of high-level radioactive waste. In Proc. 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, JAPAN.

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I（Nagra, 1994）

ベントナイトが飽和した状態で、通常の土壌力学の creep-strain 方程式および短期の圧縮試験のデータを用いた解析では10000年間における最大の沈下量は1～5mmであり、時間とともに減少すること

とが示された(Whittle et al.,1991)。核種移行に対しては,20cm沈下(20%づれ)の場合は緩衝材からの総拡散フラックスに影響を与えず,70cm沈下(50%づれ)の場合でも総フラックスが20%増えるだけである(Mckinley et al.,1992)。しかしながら,非常に長期の時間スケールにわたって応力ひずみ硬化となる性質の固体として圧縮ベントナイトをモデル化することが適切かどうかについては不確かなものとなっている。沈下速度が小さいが一定の速度である場合にはキャニスターはベントナイト中を沈下し,やがては処分坑道壁に接することになる。現在の理解では,沈下は起こらないか,あるいは起こったとしても遅くて重要ではないと考える(必要ならば,sand richな支持層あるいはstone支持のようなものを考える)。それゆえにこのFEPは将来的に検討する価値はあるものと定義するが,放射線学的な結果はKristallin-Iでは評価していない。

OP-3.4 オーバーパックスの腐食膨張

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

オーバーパックスの腐食に伴う体積膨張はニアフィールド内の応力分布に影響を与え、オーバーパックスに負荷される応力も増加することが考えられるため、オーバーパックスの力学的安定性に影響を与える可能性がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.2腐食生成物の生成→OP-3.4オーバーパックスの腐食膨張

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックスの腐食により鉄が酸化鉄に変化して体積が増大する。

【評価】

酸化鉄（マグネタイト）を仮定すると腐食膨張分は元の体積の約2倍となるが、これは、腐食生成物が緻密な構造を持つ場合であり、多孔質体の場合は、もっと体積が大きくなると想定される。

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-3.4オーバーパックスの腐食膨張→B-3.2緩衝材の応力

B-3.2参照

OP-3.4オーバーパックスの腐食膨張→OP-3.1オーバーパックスの応力

OP-3.1参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

【想定期間：閉鎖後】

- ・ H3での取扱い：オーバーパックスの機械的強度の解析（本田ほか, 1992）においては、腐食生成物の影響は考慮しておらず、その評価は今後の課題である。
- ・ H3以降の取扱い：

2.モデル化に関する記述

オーバーパックス、オーバーパックス腐食生成物、ベントナイトおよび岩盤に関して適切な力学的構成式を用い、数値解析等により応力の平衡状態を評価する必要がある。このうち、ベントナイトと岩盤の物性データについては、三軸試験等で取得する。

3.文献リスト

- ・ 本田明, 野高晶之, 鶴留浩二, 井上邦博, 石川博久, 佐々木憲明 (1992) : 炭素鋼オーバーパックスの試作, PNC TN1410 92-059.
- ・ Saotome et al., (1991): Study of mechanical stability of engineered barrier system for deep geological isolation of high-level radioactive waste. In Proc. 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, JAPAN.
- ・ 豊田正敏 (1995): 高レベル放射性廃棄物地層処分場のニアフィールド挙動およびレイアウトに関する考察, 日本原子力学会誌, Vol 37, No.4.

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra, 1994)

オーバーパックスの機械的強度の評価 (Steag and Motor-Columbus 1985 ; Attinger and Duijvestijn 1994) において、腐食生成物の影響は考慮されていない模様である。

OP-4.1 オーバーパックの腐食

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

炭素鋼オーバーパックはベントナイトに浸潤した地下水と接触することによって腐食する。腐食形態は環境条件により異なる。炭素鋼オーバーパックに生起/進展する可能性のある腐食形態は以下のとおり。・全面腐食・孔食・すきま腐食・大気腐食（不飽和ベントナイト中での腐食）・応力腐食割れ(水素脆化を含む)

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト, その影響の記述と評価上の扱い】

OP-2.1 オーバーパックと空隙水の接触→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1～OP-4.1.5参照

B-4.3 緩衝材中のガス（大気）→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1～OP-4.1.4参照

OP-4.2 水素ガスの発生→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.5参照

OP-3.1 オーバーパックの応力→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.5参照

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1～OP-4.1.5参照

OP-4.3 腐食生成物の生成→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1～OP-4.1.5参照

B-4.1 ベントナイト空隙水の化学→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1～OP-4.1.5参照

OP-3.2 オーバーパックの力学物性→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.5参照

B-5.1 ベントナイト空隙水の放射線分解→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.2, OP-4.1.5参照

OP-5.3 腐食生成物空隙水の放射線分解→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.2, OP-4.1.5参照

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→OP-4.1オーバーパックの腐食

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.2, OP-4.1.5参照

③結果【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト, その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1オーバーパックの腐食→OP-4.2 水素ガスの発生

【当該F E Pが及ぼす影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.2参照

OP-4.1オーバーパックスの腐食→OP-4.3 腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

炭素鋼オーバーパックスと空隙水の反応により腐食生成物が生じる。腐食生成物は鉄の酸化物、水酸化物、炭酸塩などからなるものと推定される。

〔評価〕

溶存酸素濃度をパラメータ試験ではマグネタイト、シデライト、ゲーサイトなどが確認されている。圧縮ベントナイト中における炭素鋼の腐食試験ではマグネタイト、ヘマタイト、シデライトなどの腐食生成物が確認されている。また、低酸素濃度下における鉄-水ベントナイト反応試験では溶液の化学特性を支配する腐食生成物が水酸化第一鉄である可能性が示唆されている。

OP-4.1 オーバーパックスの腐食→OP-7 オーバーパックスの破損

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

オーバーパックスの腐食に伴う減肉が、外圧に耐えられなくなる程度まで進行することにより、機械的にオーバーパックスが破損することが考えられる。また、オーバーパックスの内部に空間部がなく、内容物が外圧に耐えられると仮定すれば、オーバーパックスの破損は腐食による減肉のみによって生じるものと考えられる。

〔評価〕

性能評価上のオーバーパックスの破損は、オーバーパックスの厚み30cmのうち、腐食しろである5cmが消費された時点すなわち処分場閉鎖後1000年においてすべてのオーバーパックスで同時生じるものとして取り扱っている。なお、オーバーパックスの具体的な破損モードの解析については行っていない。

OP-4.1オーバーパックスの腐食→B-4.3 緩衝材中のガス（空気）

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

オーバーパックスの腐食により処分場の掘削により持ち込まれた酸素が消費される。酸素の消費によりオーバーパックス周辺環境は徐々に還元性環境になる。

〔評価〕

ベントナイト空隙に存在する酸素およびベントナイトに吸着した酸素はすべてオーバーパックスの腐食に寄与すると仮定した。

④ 当該F E Pの評価上の取扱い

オーバーパックスの寿命を評価するうえで、腐食挙動の評価は不可欠である。第1次とりまとめにおいては酸素、水、バクテリアによる腐食を考慮して1000年間の腐食深さを32mmと評価した。現在、オーバーパックスの埋設から破損までの腐食シナリオを整理し、オーバーパックスに起こりうる腐食形態について、発生/進展挙動を評価している。また、炭素鋼オーバーパックスの腐食による水素発生速度の評価、鉄-水-ベントナイト系における腐食生成物の評価を行っている。

2.モデル化に関する記述

オーバーパックスに生起する可能性のある腐食形態について処分環境下での腐食挙動を評価するためのモデル開発が行なわれている。

3.文献リスト

- ・石川他(1992): PNC TN8410 92-139.
- ・A.Honda et.al(1995):A Modelling Study for Long-Term Life Prediction of Carbon Steel Overpack for Geological Isolation of High-Level Radioactive Waste, Draft Proceeding of International Symposium on Plant Aging and Life Prediction of Corrodible Structures, A-II-08.
- ・楠戸他 (1995):第42回腐食防食討論会講演集 A-216.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra 1994)

基本的にはProject Gewähr report と同一で、酸素消費型腐食、水素発生型腐食および硫化物による腐食を仮定している。これら全てについてまず全面腐食を想定して評価している。酸素消費型腐食は処分場の酸素が全て腐食に寄与したと仮定しても1mm/1000yである。酸素による腐食は処分後早期に水

素発生型腐食で生成するマグネタイトを酸化するだけになり、水素発生型腐食と比較して大きな影響はなくなると考えている。硫化物による腐食では、キャニスターに到達する硫酸塩全てが、硫化物に還元されると仮定して、腐食量を評価している。これはSRBが存在する場合のみ、起こりうるもので起こりにくいとしている。水素発生型腐食では、実験値に基づき $20\mu\text{m/y}$ という保守的な腐食速度を想定して1000年で20mmという値を評価している。ここで想定した腐食速度には不均一化に対する腐食量も含まれるとした。また不均一化により多く腐食している部位には、より多くの固体腐食生成物が形成され、腐食サイトをシーリングすることにより腐食が低減される。

OP-4.1.1 全面腐食 (サブF E P)

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

オーバーパック表面にマクロな電位の勾配がなく、アノードとカソードの空間的分離と固定がなされない状況で腐食が進行する。結果として、マイクロアノードとマイクロカソードが場所を入替えながら金属の全面にわたって腐食が進行する。処分環境下で炭素鋼が不働態化しない場合には酸素または水の還元による全面腐食が進行すると考えられる。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-2.1 オーバーパックと空隙水の接触→OP-4.1.1全面腐食

【当該F E Pへの影響】

ベントナイト空隙水がオーバーパックの接した時点からオーバーパックが腐食する。処分開始初期には不飽和ベントナイト中で腐食が進行すると考えられる。不飽和ベントナイト中ではベントナイトの飽和度の相違により、腐食の不均一化の程度が大きくなる可能性がある。一方ベントナイトが地下水で飽和した後はオーバーパックへの酸素の供給が制限されるため、水の還元による全面腐食が進行し、顕著な腐食の局在化は生じないと考えられる。

【評価】

第1次とりまとめにおける、オーバーパックの腐食寿命評価では不飽和期間、飽和後を区別していない。ただし、飽和度の相違による腐食の不均一化については酸素による腐食に含められている。オーバーパック周辺のベントナイトが地下水で飽和したあとは酸素の供給が制限されるため、顕著な腐食の不均一化は生じないと考えられるが、長期間腐食が進行した場合の不均一化の程度を評価する必要がある。

B-4.3 緩衝材中のガス (空気) →OP-4.1.1 全面腐食

【当該F E Pへの影響】

処分開始初期には地上から持ち込まれた大気中の酸素による腐食が進行する。

【評価】

酸素による腐食に含めた。

OP-4.2 水素ガスの発生→OP-4.1.1 全面腐食

【当該F E Pへの影響】

オーバーパック/緩衝材界面に水素ガスが蓄積し、水素分圧が上昇することによって腐食速度が変化する可能性がある。

【評価】

脱気条件下において水素分圧と腐食速度の関係を調査している。

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.1.1 全面腐食

【当該F E Pへの影響】

オーバーパック周囲の温度は、緩衝材の熱変質防止の観点から100℃を超えないように設計されることが考えられている。オーバーパック周囲の温度はガラス固化体の発熱により、処分直後に徐々に上昇し、数10年程度で最高温度に達する。その後時間とともに下がり最終的には周囲の温度とほぼ等しくなると予測される。溶存酸素の存在する水溶液中では温度の上昇によって対流や拡散が促進されるため、温度の上昇とともに腐食速度が増加するが、開放系では温度の上昇とともに酸素の溶解度が低下するため、約80℃以上では温度の上昇とともに腐食速度は減少する。

【評価】

炭素鋼オーバーパックの寿命評価のための腐食試験においては、温度パラメータ試験以外は、開放系で腐食速度が極大を示す80℃で行っている。密封系における圧縮ベントナイト中の温度パラメータ試験では、腐食速度は概ね温度の上昇とともに増加したが、100℃付近で一旦減少する傾向が確認された。また、腐食環境として想定される50～80℃の範囲で腐食速度の変化は2倍程度であった。

OP-4.3 腐食生成物の生成→OP-4.1.1 全面腐食

【当該F E Pへの影響】

腐食生成物と空隙水との反応によりオーバーパック周辺の化学特性が変化して腐食速度に影響を与えることが考えられる。また、金属表面が腐食生成物で覆われることによって腐食速度が変化することが予想される。

〔評価〕

低酸素濃度条件下では腐食生成物の皮膜により全面腐食速度が低下することが確認されている。一方、ベントナイト中において腐食生成物堆積下では腐食の局在化が増加するという報告がある。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.1.1 全面腐食

〔当該FEPへの影響〕

従来知見を整理すると、淡水中で塩化物イオン、硫酸イオンは全面腐食速度には大きくは影響しないと考えられる。また、局部腐食が生起しない場合、pH 5～9の範囲では腐食速度はほぼ一定である。また、炭酸水素イオンはCaCO₃、FeCO₃等の生成による保護作用により腐食を抑制する。

〔評価〕

圧縮ベントナイト中では塩濃度の低い人工淡水系よりも塩濃度の高い人工海水系のほうが腐食速度が大きいことが確認されている。また、低溶存酸素濃度下ではイオン濃度、pHの腐食速度への明確な影響は確認されなかった。

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→OP-4.1.1 全面腐食

〔当該FEPへの影響〕

微生物の代謝作用による生成物がアノード反応あるいはカソード反応を促進することによって起こる腐食を微生物腐食とよぶ。中性～アルカリ性環境下で炭素鋼の腐食に寄与すると考えられる既知のバクテリアとして、硫酸塩還元菌（嫌気性）硫酸酸化細菌（好気性）、鉄細菌（好気性）等が挙げられる。土壌中の鋼の腐食において、硫酸塩還元菌単独で作用する場合には腐食速度への影響は小さい。しかし、鉄細菌、硫酸酸化細菌などの共存下で速い速度で局部的に腐食が進行する場合がある。

〔評価〕

第1次とりまとめにおいては硫酸塩還元菌による影響の評価を行った。一方カソード反応に酸素が寄与しない限り、硫酸塩還元菌による腐食速度は小さいことがK.Kasaharaらによって確認されている。また、好気性菌は酸素の供給速度が非常に遅い飽和ベントナイト中では活動は無視できると考えられる。さらに、これらのバクテリアの大きさは1 μm程度であるが、飽和ベントナイト中を透過できる粒子径は数nmと小さく、オーバーパック表面にバクテリアが移動・集中して腐食に寄与することは困難と考えられる。以上のことからバクテリアによる極端な腐食の加速が起こる可能性は小さいと考えられる。ただし飽和ベントナイト中で微生物による影響の可能性を評価する必要がある。

B-5.1 緩衝材中の空隙水の放射線分解→OP-4.1.1 全面腐食

〔当該FEPへの影響〕

放射線分解により生じた酸化性化学種がオーバーパックに供給され、全面腐食速度の増加や腐食の局在化が起こる可能性がある。

〔評価〕

オーバーパック表面での酸化性化学種の供給速度は、極めて小さいため(1000年間で1.5 μm相当)、放射線分解による酸化性化学種の寄与を考える必要はない。

OP-5.3 腐食生成物空隙水の放射線分解→OP-4.1.1 全面腐食

〔当該FEPへの影響〕

放射線分解により生じた酸化性化学種がオーバーパックに供給され、全面腐食速度の増加や腐食の局在化が起こる可能性がある。

〔評価〕

オーバーパック表面での酸化性化学種の供給速度は、極めて小さいため(1000年間で1.5 μm相当)、放射線分解による酸化性化学種の寄与を考える必要はない。

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1.1 全面腐食→OP-4.2 水素ガス発生

〔当該FEPが及ぼす影響〕

溶存酸素濃度の低い還元環境下において、炭素鋼オーバーパックの腐食は水の還元による腐食が支配的となる。水の還元による腐食では以下の反応式に示すように水素が発生する。

・アノード反応： $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

・カソード反応： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ オーバーパック/緩衝材界面に水素ガスが蓄積すると緩衝材中に透気経路が形成される可能性がある。

〔評価〕

1次とりまとめでは、脱気条件における炭素鋼の浸漬試験および他の研究期間による報告事例から水の還元による平均腐食速度を0.01mm/年、最大腐食速度を0.02mm/年と評価した。オーバーパックの表面積を8m²とすると、0.02mm/年の腐食速度は0.5Nm³/m³の水素ガス発生速度に相当する。この速度は

拡散により放出される速度 $0.01\text{Nm}^3/\text{m}^3$ よりも大きい。よって水素ガスは徐々にオーバーパック/ベントナイト界面に蓄積することが予想される。一方腐食速度は皮膜の形成により経時的に減少することが実験的に確認されている。今後数年程度の比較的長期の試験により長期経過後に腐食速度がどの程度まで減少するか調査する。また、水素分圧の上昇による腐食速度への影響を調査している。

OP-4.1.1全面腐食→OP-4.3 腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4.1 参照

OP-4.1.1全面腐食→OP-7 オーバーパックの破損

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4.1 参照

OP-4.1.1全面腐食→B-4.3 緩衝材中のガス (空気)

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4.1 参照

④ 当該F E Pの評価上の取扱い

処分環境下において炭素鋼が不働態化しない場合には全面腐食が進行すると考えられる。また、低溶存酸素濃度下においては水の還元による水素発生型の全面腐食が進行する。よってオーバーパックの寿命、水素ガス発生挙動を評価するうえで全面腐食の評価は不可欠である。

2.モデル化に関する記述

酸素および水による腐食を考慮し、腐食生成物の皮膜の効果を無視したモデルの開発を行った。酸素などの腐食に関与する化学種の輸送特性、電気化学反応速度式に関するデータが必要である。

3.文献リスト

- ・石川他(1992): PNC TN8410 92-139.
- ・A.Honda et.al(1995):A Modelling Study for Long-Term Life Prediction of Carbon Steel Overpack for Geological Isolation of High-Level Radioactive Waste, Draft Proceeding of International Symposium on Plant Aging and Life Prediction of Corrodible Structures, A-II-08.
- ・腐食防食協会,PNC ZJ1560 96-001

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra 1994)

基本的にはProject Gewähr report と同一で、酸素消費型腐食、水素発生型腐食および硫化物による腐食を仮定している。これら全てについてまず全面腐食を想定して評価している。酸素消費型腐食は処分場の酸素が全て腐食に寄与したと仮定しても $1\text{mm}/1000\text{y}$ である。酸素による腐食は処分後早期に水素発生型腐食で生成するマグネタイトを酸化するだけになり、水素発生型腐食と比較して大きな影響はなくなると考えている。

OP-4.1.2, 4.1.3 孔食, すきま腐食 (サブFEP)

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

孔食は、通常塩化物を含む水環境に置かれた不動態化した金属の自由表面上にくぼみ状の金属溶解箇所が拡大していく腐食形態である。孔食の発生機構には諸説あり定説はない。孔食の進展機構の大略は以下のようである。不動態化した表面と閉塞され酸素の乏しい食孔内部との間に電位勾配が形成され、電池を形成する。すなわち不動態化した金属表面で起こるカソード反応（通常は酸素の還元反応）が、食孔内部のアノード反応を支える。食孔内部で起こるアノード溶解反応の反応生成物は加水分解して、閉塞された食孔内部のpHを低下させる。またアノード溶解によって生成するカチオンに対して電気的中性を保つために食孔内にアニオン（主に塩化物イオン）が流入してくる。これらの作用により、食孔内部の溶液は、低pHかつ高塩化物イオン濃度のアグレッシブな状態に保たれ孔食は進展する。すきま腐食は、通常塩化物を含む水環境に置かれた不動態化した金属の表面上にすきま構造がもたらされたときに、すきま閉塞部が腐食する現象である。その発生は閉塞部中の溶存酸素の消費とpHの低下による局所的な脱不動態化による。進展機構は基本的に孔食と同様である。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-2.1 オーバーパックと空隙水の接触→OP-4.1.2,4.1.3孔食, すきま腐食

【当該FEPへの影響】

オーバーパックに空隙水が接した時点からオーバーパックの腐食が進行する。処分開始初期には不飽和ベントナイト中で腐食が進行すると考えられる。不飽和ベントナイト中ではベントナイトの飽和度の相違による通気差セルが形成され、不動態化した金属表面で孔食やすきま腐食などの局部腐食の進展する可能性がある。一方ベントナイトが地下水で飽和した後はオーバーパックへの酸素の供給が制限されるため、これらの局部腐食は進展しにくくなると考えられる。

【評価】

孔食およびすきま腐食進展には、不動態保持電流密度以上のカソード電流密度を維持しうるだけの水以外の酸化性化学種が必要であるとして、地下水で飽和したベントナイト中の酸素フラックスを計算することにより、地下水で飽和したベントナイト中ではこれらの局部腐食は早期に停止することが示された。よってこれらの腐食はベントナイトが飽和に到るまでの期間について考慮すればよい。

B-4.3 緩衝材中のガス（空気）→OP-4.1.2,4.1.3孔食, すきま腐食

【当該FEPへの影響】

処分開始初期には地上から持ち込まれる大気中の酸素によって酸化性の環境がもたらされる。このような酸化性条件においては条件により炭素鋼が不動態化し、塩化物イオンの存在下で孔食, すきま腐食などの局部腐食の発生/進展する可能性がある。

【評価】

第1次とりまとめにおいては酸素による腐食に孔食およびすきま腐食の進展の効果を含めた。現在炭素鋼が不動態化するような溶液中でこれらの局部腐食の発生条件と進展速度を評価している。

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.1.2,4.1.3孔食, すきま腐食

【当該FEPへの影響】

溶存酸素の存在する水溶液中では温度の上昇によって対流や拡散が促進されるため、温度の上昇とともに腐食速度が増加するが、開放系では温度の上昇とともに酸素の溶解度が低下する。よって温度により孔食, すきま腐食の進展速度が影響を受けることが予想される。また、炭素鋼の不動態化挙動、孔食/すきま腐食の発生臨界条件は温度に依存する。

【評価】

孔食やすきま腐食が進展しうる処分開始初期の酸化性はオーバーパック表面が比較的高温になると想定されること、溶存酸素の存在する開放系では腐食速度が80℃で極大を示すことを考慮して、炭素鋼オーバーパックの寿命評価のための腐食試験においては、温度パラメータ試験以外は、80℃で行っている。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.1.2,4.1.3孔食, すきま腐食

【当該FEPへの影響】

ある程度酸化性でかつアルカリ性の条件で炭素鋼は不動態化し、塩化物イオンなどの不動態を破壊する作用のある化学種の存在下では孔食, すきま腐食などの局部腐食を受ける。塩化物イオンは孔食, すきま腐食の発生/進展を促進するとともに不動態化を妨げる方向に作用する。一方炭酸/炭酸水素イオンは孔食, すきま腐食の発生/進展を抑制するとともに不動態化を促進する方向に作用する。硫

酸イオンは塩化物イオンと同様の作用をすると考えられる。

〔評価〕

孔食、すきま腐食の生起臨界電位が塩化物イオン濃度の上昇とともに卑下し、炭酸/炭酸水素イオン濃度の上昇とともに貴化することを確認した。また、pH上昇により臨界電位が貴化することを確認した。また、ベントナイトは炭素鋼の不動態化を妨げる傾向のあることが確認されている。

OP-4.3 腐食生成物の生成→OP-4.1.2,4.1.3孔食、すきま腐食

〔当該F E Pへの影響〕

炭素鋼オーバーパックとのあいだに金属/腐食生成物すきまを形成し、酸化性条件ではすきま腐食の発生/進展する可能性がある。また、腐食生成物の堆積により孔食やすきま腐食の進展速度が変化することが予想される。

〔評価〕

すきま腐食については第1次とりまとめにおいては酸素による腐食に含まれている。また、現在すきま腐食の発生条件や進展速度の評価を行っている。

B-4.4 緩衝材中の微生物の活動→OP-4.1.2,4.1.3孔食、すきま腐食

〔当該F E Pへの影響〕

腐食性微生物の活動により局部腐食の生起臨界電位が卑化すること、または金属の自然電位を貴化することによって局部腐食が生起する可能性がある。

〔評価〕

飽和ベントナイト中では炭素鋼が不動態を維持できないことや微生物の移行が妨げられることなどからこの影響は無視しうる。不飽和ベントナイト中での微生物の活動による影響を評価する必要がある。

B-5.1 緩衝材中の空隙水の放射線分解→OP-4.1.2,4.1.3孔食、すきま腐食

〔当該F E Pへの影響〕

放射線分解により生じた酸化性化学種がオーバーパックに供給され、金属の電位を貴化させ、局部腐食を引き起こす可能性がある。

〔評価〕

オーバーパック表面での酸化性化学種の供給速度は極めて小さいため(1000年間で1.5 μm相当)であり、放射線分解による酸化性化学種の寄与を考慮する必要はない。

OP-5.3 腐食生成物空隙水の放射線分解→OP-4.1.2,4.1.3孔食、すきま腐食

〔当該F E Pへの影響〕

放射線分解により生じた酸化性化学種がオーバーパックに供給され、金属の電位を貴化させ、局部腐食を引き起こす可能性がある。

〔評価〕

オーバーパック表面での酸化性化学種の供給速度は極めて小さいため(1000年間で1.5 μm相当)であり、放射線分解による酸化性化学種の寄与を考慮する必要はない。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1.2,4.1.3孔食/すきま腐食→OP-4.3 腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4. 1 参照

OP-4.1.2,4.1.3孔食/すきま腐食→OP-7オーバーパックの破損

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4. 1 参照

OP-4.1.2,4.1.3孔食/すきま腐食→B-4.3 緩衝材中のガス (空気)

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4. 1 参照

OP-4.1.2,4.1.3孔食/すきま腐食→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

孔食またはすきま腐食の発生/進展した部分を起点として応力腐食割れの生起する場合がある。

〔評価〕

第1次とりまとめにおいては応力腐食割れの発生は仮定していない。現在、定電位SSRT試験等により、孔食またはすきま腐食を起点とした応力腐食割れの発生条件を調査している。

OP-4.1.2,4.1.3孔食/すきま腐食→OP-4.2 水素ガスの発生

[当該FEPが及ぼす影響]

孔食/すきま腐食が進展した場合、腐食が進行した部分で局部的にpHが低下することが予想される。その部分で水素イオンの還元反応によって水素ガスが発生することが考えられる。

[評価]

溶存酸素濃度をパラメータとした水素発生量の測定試験では溶存酸素濃度の増加とともに水素発生量が増加する傾向が確認された。

④ 当該FEPの評価上の取扱い

孔食、すきま腐食ともに不動態化した金属表面に発生するため、処分環境下での不動態化挙動を評価することが重要である。また、孔食、すきま腐食などの局部腐食は進展速度が大きく、応力腐食割れの原因になることもあるため、炭素鋼が不動態化する条件ではこれらの局部腐食の発生条件の評価が必要である。さらに、孔食、すきま腐食の発生する可能性のある環境にオーバーパックが置かれる場合にはその進展速度や応力腐食割れの発生条件を評価する必要がある。なお、地下水で飽和したベントナイト中ではこれらの局部腐食は早期に停止するため、ベントナイト飽和後はほとんど考慮する必要がない。

2.モデル化に関する記述

局部腐食の進展速度と進展期間を評価するためのモデル開発が行われている。モデルによる評価においては腐食に関与する化学種の輸送特性、電気化学速度式、不動態保持電流密度などのデータが必要である。

3.文献リスト

- ・石川他, PNC TN8410 92-139(1992).
- ・谷口他, 第41回腐食防食討論会講演集B-203

4.諸外国での取扱い

ベントナイト空隙水のような緩衝溶液中では、通気差セルによるpHの局所的相違は緩和される。また含水率30%のベントナイトの比抵抗は104 Ωcmであるから、通気差セル形成のリスクは低い。実際にも、一般にこのオーダーの抵抗の場合カソード防食を実施しない。したがって局部腐食は発生しにくいとした。例え発生したと仮定して、カソード面積:アノード面積が10:1としても、酸素による最大浸食深さは1cm/1000y以下である。また酸素は水で飽和したベントナイト中を拡散により移動するので、酸素による腐食の速度は拡散支配になる。よって金属表面の酸素分布の不均一性は現実的には除外される。よって酸素の影響は水の還元による腐食に比べて無視しうる。また通気差セルの形成は有り得ないとした。

OP-4.1.4 大気腐食（不飽和状態での腐食）（サブFEP）

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

大気腐食は表面の濡れ具合によって次のように分類される。1濡れ大気腐食表面が液膜で覆われている状態で雨、霧および相対湿度100%の雰囲気に対応する。2湿り大気腐食相対湿度100%以下で表面が目に見えない薄い水膜で覆われている状態。3乾き大気腐食表面に液膜の存在しない状態。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-2.1 オーバーパックと空隙水の接触→OP-4.1.4 大気腐食

【当該FEPへの影響】

処分開始初期には不飽和ベントナイト中で腐食が進行すると考えられる。緩衝材が地下水で飽和されるまでの期間は、固体のベントナイトと湿度を持った空気がオーバーパックに接していると想定される。この期間においては'大気腐食'に類似する腐食を受ける可能性がある。大気腐食では温度の上昇とともに腐食速度が大きくなるが、湿度が100%以上になり、金属表面の水膜の厚さが増すと酸素の供給が制限されるため、腐食速度がやや低下する。

【評価】

大気腐食は酸素による腐食に含められており、湿度による影響は特に考慮していない。

B-4.3 緩衝材中のガス（空気）→OP-4.1.4 大気腐食

【当該FEPへの影響】

処分開始初期には地上から持ち込まれる大気中の酸素による腐食が進行する。

【評価】

酸素による腐食に含められている。

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.1.4 大気腐食

【当該FEPへの影響】

ベントナイトへの地下水の浸潤開始初期にはオーバーパックの温度によりオーバーパック表面に凝縮する水の層の厚さが影響を受ける。また、温度により溶存酸素濃度が変化する。

【評価】

大気腐食は酸素による腐食に含められており、温度による影響についても同様の取扱いをしている。

OP-4.3 腐食生成物の生成→OP-4.1.4 大気腐食

【当該FEPへの影響】

表面の腐食生成物皮膜の安定性により大気腐食速度が影響を受けると考えられる。

【評価】

特に考慮していない。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.1.4 大気腐食

【当該FEPへの影響】

空隙水のpH、電導度により腐食速度や皮膜の保護性が影響を受けると考えられる。

【評価】

特に考慮していない。

③結果【当該FEPが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1.4 大気腐食→OP-4.3 腐食生成物の生成

【当該FEPが及ぼす影響】

金属表面の水膜を介して腐食することによって腐食生成物が生じる。

【評価】

大気腐食による腐食生成物の生成は特に考慮していない。

OP-4.1.4 大気腐食→OP-7 オーバーパックの破損

【当該FEPが及ぼす影響】

OP-4.1 参照

OP-4.1.4 大気腐食→B-4.3 緩衝材中のガス（空気）

【当該FEPが及ぼす影響】

OP-4. 1 参照

④ 当該FEPの評価上の取扱い

大気腐食そのものについて評価は行っていないが、酸素による腐食に含められている。

2.モデル化に関する記述

とくになし。

3.文献リスト

・石川他(1992): PNC/TN8410 92-139.

4.諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra1994)

特に考慮はしていないが、酸素による腐食に含まれる。

OP-4.1.5 応力腐食割れ (サブF E P)

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

応力腐食割れとは、金属材料に引っ張り応力を負荷した状態で、その材料に固有の腐食環境中にさらした場合に、割れを発生する現象である。応力腐食割れは、進展速度が大きいため、妥当な腐食代の設定は不可能である。処分環境では主に孔食、すきま腐食を経由した割れと炭酸塩の寄与による割れおよび水素脆化を考慮する必要がある。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1.2, 4.1.3 孔食, すきま腐食→OP-4.1.5 応力腐食割れ

【当該F E Pへの影響】

処分開始初期には地上から持ち込まれる大気中の酸素による腐食が進行する。酸化性条件において、炭素鋼が不働態化した場合には塩化物イオンの存在下で孔食、すきま腐食などの局部腐食が発生/進展し、その部分を起点として応力腐食割れの進展することが考えられる。

【評価】

第1次とりまとめにおける、オーバーパックの腐食寿命評価では応力腐食割れは発生しないものとしている。現在、局部腐食を起点とした応力腐食割れの発生条件の評価を進めている。

OP-4.2 水素ガスの発生→OP-4.1.5 応力腐食割れ

【当該F E Pへの影響】

低溶存酸素濃度下では水の還元による水素発生型の腐食が進行する。これにより発生した水素が金属中に吸収され、水素脆化を起こすことが考えられる。また、酸化性条件において、炭素鋼が不働態化した場合には塩化物イオンの存在下で孔食、すきま腐食などの局部腐食の発生/進展する可能性がある。局部腐食の進展している部分でpHの低下が起こり、水素イオンの還元により水素が発生することが考えられる。

【評価】

低酸素濃度下での水の還元による水素発生型腐食とそれによる水素吸収の評価を行っている。局部腐食の進展によるpH低下と水素イオンの還元による水素発生については考慮していない。ベントナイト中ではpH緩衝性により顕著なpHの低下はおこりにくいと考えられる。

OP-3.1 オーバーパックの応力→OP-4.1.5 応力腐食割れ

【当該F E Pへの影響】

オーバーパックには緩衝材の膨潤圧、地圧、静水圧のほか、腐食に伴うガスや腐食膨張による応力、溶接による残留応力などが作用すると考えられる。これらの要因がオーバーパックの応力分布に影響を及ぼし、応力条件と環境条件が亀裂発生の条件を満たした場合、割れが発生しうる。

【評価】

現在、環境条件に着目した評価を行っている。応力条件については特に考慮していない。

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.1.5 応力腐食割れ

【当該F E Pへの影響】

応力腐食割れの感受性、発生条件は温度による影響を受けると考えられる。一般に水素脆化は室温付近で最も生じやすい。

【評価】

局部腐食を経由した応力腐食割れと炭酸塩による応力腐食割れについてはこれまで90°Cで評価を行っている。水素脆化については特に温度による影響は考慮していないが40°Cで実施している。

OP-2.1 オーバーパックと空隙水の接触→OP-4.1.5 応力腐食割れ

【当該F E Pへの影響】

ベントナイトの浸潤過程でオーバーパック周囲の酸化還元性が変化することが予想される。環境の酸化還元性の変化により応力腐食割れの機構、感受性が影響を受けると考えられる。

【評価】

局部腐食を経由した割れはある程度酸化性の条件で発生すると考えられ、ベントナイトが不飽和の期間に発生する可能性がある。ベントナイトが飽和に達した後は水の還元による腐食が支配的になるため、水素脆化が問題になると考えられる。炭酸塩による割れは活性態-不動態の遷移する電位条件で生起すると考えられる。

B-4.1 ベントナイト空隙水の化学→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

孔食、すきま腐食などの局部腐食を起点とした応力腐食割れにおいては、塩化物イオン、硫酸イオン、炭酸/炭酸水素イオン、pHが発生条件に影響を及ぼすと考えられる。炭酸塩による応力腐食割れは炭酸/炭酸水素イオン濃度が濃厚な条件で発生しうる。また、水素の侵入はH₂S、CN⁻、Asなどの存在によって促進され、pHが低いほど水素吸収が促進される。

〔評価〕

塩化物イオンを含む水溶液中で定電位SSRT試験を実施し、孔食、すきま腐食を起点とした応力腐食割れの領域を調査している。また、濃厚な炭酸塩溶液における応力腐食割れの生起挙動を炭素鋼の不動態化挙動と併せて評価する予定である。水素脆化についてはこれまでの研究により炭酸ガスの吹き込みにより水素吸収が促進されることが確認されている。

OP-4.3 腐食生成物の生成→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

金属表面が腐食生成物で覆われることにより水素の侵入効率が低下する。

〔評価〕

とくに考慮していない。

OP-3.2 オーバーパックの力学物性→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

材料の強度が高くなるにつれて水素脆化に必要な鋼中水素濃度が少なくなる。120kg/mm²を超える高強度鋼の脆化に対しては雨水などの中性水環境における腐食に伴う水素発生で十分であるのに対して40～80kg/mm²級の鋼に対しては酸性でH₂Sを含むような過酷な腐食環境が必要である。

〔評価〕

低強度鋼をオーバーパックとして用いることにより水素脆化は大きな問題とはならないと考えられるが炭酸塩の存在下での水素脆化の可能性を評価する必要がある。

B-4.4 ベントナイト中の微生物の活動→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

腐食性微生物の活動により応力腐食割れの生起臨界電位が卑化すること、または金属の自然電位を貴化することによって応力腐食割れが生起する可能性がある。

〔評価〕

飽和ベントナイト中では炭素鋼が不動態を維持できないことや微生物の移行が妨げられることなどからこの影響は無視しうる。不飽和ベントナイト中での微生物の活動による影響を評価する必要がある。

B-5.1 ベントナイト空隙水の放射線分解→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

放射線分解により生じた酸化性化学種がオーバーパックに供給され、金属の電位を貴化させ、応力腐食割れを引き起こす可能性がある。

〔評価〕

オーバーパック表面での酸化性化学種の供給速度は極めて小さいため(1000年間で1.5 μm相当)であり、放射線分解による酸化性化学種の寄与を考慮する必要はない。

OP-5.3 腐食生成物空隙水の放射線分解→OP-4.1.5 応力腐食割れ

〔当該F E Pへの影響〕

金属表面が腐食生成物で覆われることにより水素の侵入効率が低下する。

〔評価〕

とくに考慮していない。

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1.5 応力腐食割れ→OP-7 オーバーパックの破損

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

応力腐食割れは進展速度が大きいため、発生した場合には短期間でオーバーパックが破損すると考えられる。

〔評価〕

応力腐食割れによるオーバーパックの破損は考慮していない。

④ 当該F E Pの評価上の取扱い

2.モデル化に関する記述

SSRT試験等により、応力腐食割れ発生条件を評価する研究が進められている。

3.文献リスト

- ・石川他, PNCTN8410 92-139(1992).
- ・J.A.Beavers, N.G.Thompson, R.N.Parkins :Stress Corrosion Cracking of Low-Strength Carbon Steels in Candidate High-Level Waste Repository Environment,NUREG/CR-3861(1987).
- ・腐食防食協会,PNC ZJ1560 93-001
- ・腐食防食協会,PNC ZJ1560 94-001

4.諸外国での取扱い

Kristallin- I (Nagra 1994)

溶接等による残留応力によって応力腐食割れが起こる可能性がある。しかし、その可能性は低いと考えられる。もし、必要があれば、ボルトやねじによって蓋を締めることで応力腐食割れを避けることができる。鋳鋼の場合、高温クリープや水素脆化は無視できる。

OP-4.2 水素ガスの発生

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

溶存酸素濃度の低い環境下では水の還元による腐食が支配的となり、腐食に伴って水素が発生する。また、酸化性条件において腐食が局在化した場合にも局所的にpHの低下が起こり、水素イオンの還元により水素が発生する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1 オーバーパックの腐食→OP-4.2 水素ガスの発生

【当該F E Pへの影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.2～2.2.3 参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.2 水素ガス発生→OP-4.1 オーバーパックの腐食

【当該F E Pが及ぼす影響】

OP-4.1.1, OP-4.1.5参照

OP-4.2 水素ガス発生→B-6.3 ベントナイト中のガス移行

【当該F E Pが及ぼす影響】

水素ガス発生速度はベントナイト中の溶存水素の移行速度や水素ガスの蓄積によるガスの破過に影響を与える。

【評価】

還元条件における1年程度の実験により確認された腐食速度は10-3mm/年であり、水素ガス発生速度に換算すると0.025Nm³/年となる。この速度は時間とともにさらに低下すると考えられる。一方溶存水素の溶解度を3.2Nm³/m³、拡散係数を10-11m²/sとすると拡散速度は0.01Nm³/年である。長期的には水素ガス発生速度が低下するために水素の蓄積は起こりにくいと考えられる。

OP-4.2 水素ガス発生→B-5.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該F E Pが及ぼす影響】

B-5.1参照

④当該F E Pの評価上の取扱い

水の還元による水素ガスの発生速度については低溶存酸素濃度下での腐食試験により腐食速度を水素発生速度に換算して評価している。腐食の局在化にともなう水素ガスの発生については酸化性期間の場合に限られていること、ベントナイトがpH緩衝機能を有することなどから大きな問題にはならないと考えられる。

2. モデル化に関する記述

とくになし。

3. 文献リスト

・石川他(1992): PNC TN8410 92-139.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra 1994)

水素ガスの発生は腐食反応で1.2mol/y/can(1μm/y)である。有機物の分解によるガス発生、α崩壊によるガス発生は無視しうる。

OP-4.3 腐食生成物の生成

1. F E Pに関する記述とその評価

①内容【当該F E Pの説明】

炭素鋼オーバーパックの地下水との反応による腐食生成物は、鉄の酸化物、水酸化物あるいは炭酸塩などから成るものと推定される。腐食生成物は地下水のpHや酸化還元電位(Eh)を化学的に緩衝する能力を有している。また、ガラス固化体から溶出したSiや放射性核種を収着したり、それらと化合物を生成したりする性質を有する。

②原因【当該F E Pに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.1オーバーパックの腐食→OP-4.3腐食生成物の生成

〔当該F E Pへの影響〕

OP-4.1参照

OP-1.1 オーバーパックの温度→OP-4.3腐食生成物の生成

〔当該F E Pへの影響〕

温度により生成する腐食生成物の種類や特性は異なる可能性がある。

〔評価〕

温度が上昇した場合、腐食速度は変化するものの生成される腐食生成物の種類は殆ど変わらないものと推定される。

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.3腐食生成物の生成

〔当該F E Pへの影響〕

B-4.1参照

B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性→OP-4.3腐食生成物の生成

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

B-4.2参照

③結果【当該F E Pが影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.3腐食生成物の生成→OP-4.1 オーバーパックの腐食

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-4.1.1～OP-4.1.5参照

OP-4.3腐食生成物の生成→OP-6.1 腐食生成物中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

腐食生成物は核種に対する吸着剤や拡散媒体として作用する可能性がある。また、核種を取り込んでコロイドとして移行する可能性がある。

〔評価〕

腐食生成物による核種の遅延については様々な核種に対する分配係数が報告されているが、性能評価上は保守的に無視する。

OP-4.3腐食生成物の生成→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

B-4.1参照

OP-4.3腐食生成物の生成→OP-3.4オーバーパックの腐食膨張

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-3.4参照

OP-4.3腐食生成物の生成→G-4.1 ガラス固化体の溶解

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

G-4.1参照

OP-4.3腐食生成物の生成→OP-1.1オーバーパックの温度

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

OP-1.1参照

OP-4.3 腐食生成物の生成 → B-4.2 緩衝材の鉱物組成・特性
〔当該 F E P が及ぼす影響〕
B-4.2 参照

OP-4.3 腐食生成物の生成 → G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学
〔当該 F E P が及ぼす影響〕
G-4.2 参照

④ 当該 F E P の評価上の取扱い

腐食生成物による応力発生やガラス固化体溶解時の核種の溶解度を規定するニアフィールド空隙水の化学的特性の評価においては（油井ほか，1992），腐食生成物として磁鉄鉱を想定している。腐食生成物はベントナイト空隙水の化学特性やオーバーパッキングの応力分布に影響を及ぼすと考えられるため，その種類，性質を把握する必要がある。

2. モデル化に関する記述

とくになし。

3. 文献リスト

- ・ Saotome, A., Hara, K., Fujita, T. and Sasaki, N. (1991): Study on Mechanical Stability of Engineered Barrier System for Geological Disposal of HLW, 11th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Tokyo, Japan, Aug. 1991.
- ・ 油井三和，牧野仁史，芦田敬，梅木博之，石黒勝彦，根山敦史（1992）：ガラス固化体からの元素の溶出挙動と人工バリア空隙水中の溶解度評価，PNC/TN8410 92-161.

4. 諸外国での取扱い

Kristallin-I (Nagra 1994)

腐食生成物によってニアフィールド内に発生する応力の具体的な計算評価はなされていない。溶解度はベントナイト空隙水に対して評価されているが（Berner, 1994），このとき腐食生成物の効果は考慮されていない。放射線分解によって生じた酸化性ラジカルの還元については評価され，期待されている（McKinley, 1984）。腐食生成物による核種の収着，共沈等の効果は評価上無視されている。

- ・ Nagra (1994) : Kristallin-1: Safety Assessment Report, NTB 93-22E.
- ・ Berner, U. (1994): Kristallin-I; estimates of solubility limits for safety relevant radionuclides, NTB in prep., Nagra.
- ・ McKinley, I. G. (1984): The Geochemistry of the Near-Field, NTB 84-48, Nagra.

OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成

1. FEPに関する記述とその評価

①内容【当該FEPの説明】

腐食生成物はベントナイト空隙水に応じてコロイドを形成する。これらのコロイドは核種を吸着したり、取り込んだりしてベントナイトの微細空隙を移行する。コロイドの移行は、それら微細空隙幅や表面電位のような物理化学特性に依存する。

②原因【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学→OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成

【当該FEPへの影響】

ベントナイト空隙水の化学はオーバーパックの腐食に伴い生成するFeコロイドの特性に影響を与える。

【評価】

ベントナイトの飽和段階ではベントナイト空隙水の化学に応じてFe(OH)₂などのFe含有コロイドを生成するが、ベントナイトの微細構造により濾過され、オーバーパック/ベントナイトインターフェース部に留まると考えられる。

G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学→OP-4.4 腐食生成物コロイドの生成

【当該FEPへの影響】

ガラス固化体周囲の空隙水化学は腐食生成物の生成に伴いコロイドを形成する可能性がある。

【評価】

Fe-Siコロイドの生成が想定されるが、ベントナイト飽和後はその微細構造によって濾過されると考えられる。

OP-6.1 腐食生成物中の核種移行→OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成

【当該FEPへの影響】

腐食生成物中を移行する核種は腐食生成物に吸着され、コロイドを形成する可能性がある。

【評価】

腐食生成物により形成されたコロイドはベントナイトの微細構造によって濾過されると考えられる。

B-6.2 ベントナイトのフィルター効果→OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成

【当該FEPへの影響】

腐食生成物により形成されたコロイドはベントナイトに濾過され、移行しない可能性がある。

【評価】

ベントナイトは飽和後、微細な空隙をもつことが知られており、15nmの金コロイドを用いた移行実験では濾過されることが確認されている(Kurosawa et al, 1996)。よって、腐食生成物により形成されたコロイドは、ベントナイトの微細構造により濾過される。

③結果【当該FEPに影響を及ぼす因果関係リスト、その影響の記述と評価上の扱い】

OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成→B-4.1 緩衝材中の空隙水の化学

【当該FEPが及ぼす影響】

オーバーパックの腐食に伴い生成するFeコロイドは吸着や沈殿によりベントナイト空隙水の化学に影響を与える。

【評価】

ベントナイトの飽和段階では腐食に伴い生成するFeコロイドは移動しにくい。また、飽和後ではベントナイトの微細構造により濾過されるため、ベントナイト空隙水の化学はFe(OH)₂等の鉄鉱物や水素ガスの平衡により評価できると考えられる

OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成→G-4.2 ガラス固化体周囲の空隙水の化学

【当該FEPが及ぼす影響】

腐食生成物によるコロイドの形成はガラス固化体より放出されるSiを吸着しガラス固化体周囲のベントナイト空隙水化学に影響を与える可能性がある。

【評価】

腐食生成物がSiを吸着することにより、ガラス固化体の溶解を加速させたり、周囲の空隙水化学に影響を与える可能性があるため、Si吸着モデル等による評価を行う。

OP-4.4 腐食生成物コロイドの形成→OP-6.1腐食生成物中の核種移行

〔当該F E Pが及ぼす影響〕

腐食生成物のコロイドにより吸着された核種は、腐食生成物中を移行する可能性がある。

〔評価〕

腐食生成物のコロイドに吸着された核種はベントナイトの微細構造により濾過される。

(Kurosawa et al,1996)

④当該F E Pの評価上の取扱い

(想定期間: オーバーパック破損後)

腐食生成物やそのコロイドは核種を吸着するであろう。コロイドの移行はベントナイトのフィルトレーション効果(Kurosawa et al,1996)により重要ではないと考えられる。

2.モデル化に関する記述

3.文献リスト

- ・ Kurosawa.S,et.al(1996):Experimental Studies of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, to be Submitted.
- ・ MaKinley.I.G.(1985):The Geochemistry of the Near-FIELD, Nagra NTB 84-48.

4.諸外国での取扱い

放射性のコロイドは、主としてガラスの溶解や沈殿過程で廃棄物近傍に形成されるであろう。ベントナイトの非常に重要な機能は、コロイドの廃棄物からの移行を妨げることで、それはベントナイトの微細空隙構造によって達成できる。ベントナイトの可塑性と膨潤性は、コロイドが移行できるような空隙や割れ目がある中に存在しえないことを保証するものであることが期待されている。