

地層処分性能評価における シナリオ解析の高度化（ ）

- 概要報告書 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2004年2月

株式会社 三菱総合研究所

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

〒319 - 1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2004

地層処分の性能評価におけるシナリオ解析の高度化 ()

- 概要報告書 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

大久保博生*

要 旨

第 2 次取りまとめでは、国際的なコンセンサスの得られたアプローチを踏襲しつつシナリオの作成を行い、一定の評価を得ているものの、シナリオから解析ケース設定までの手順の透明性の向上が課題として指摘された。

このことを踏まえ、本年度は、まず、シナリオ解析の透明性や追跡性をさらに向上させるとともに、結果をわかりやすく示していくための方法論のより実務的なワークフレームの構築、さらにシナリオの試作などを通じた方法論の見直しや今後の課題の整理を行った。

次に、変動シナリオに関する解析技術の検討を行った。まず、諸外国で検討されている変動シナリオを調査し、その評価状況を整理した。特に、日本における地震、断層活動、火成活動の 3 つのシナリオを評価するための技術的知見を整理した。さらに、これらの変動シナリオ毎に、想定される発生様式と影響パターンに基づき、解析対象とすべき変動タイプを設定し、その取り扱い概念、モデリング要件、必要なデータ情報を明らかにした。

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

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

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター

処分研究部 システム解析グループ

* 株式会社 三菱総合研究所

The Advanced Scenario Analysis
for Performance Assessment of Geological Disposal : Part ()
- Summary Document -

(Document Prepared by Other Organization, Based on the Trust Contract)

Hiroo Ohkubo *

Abstract

In “H12 Project to Establish Technical Basis for HLW Disposal in Japan” an approach that is based on an international consensus was adopted to develop scenarios to be considered in performance assessment. Adequacy of the approach was, in general term, appreciated through the peer review. However it was also suggested that there are issues related to improving transparency and traceability of the procedure.

Therefore, in the current financial year, in the first place a scenario development methodology was constructed taking into account the requirements identified last year. Furthermore a practical work-frame was developed to support the activities related to the scenario development. This work-frame was applied to an example scenario to check its applicability and identify issues for further research.

Secondly, scenario analysis method with regard to perturbation scenario has been studied. First of all, a survey of perturbation scenario discussed in different countries has been carried out and its assessment has been examined. Especially, in Japan, technical information has been classified in order to assess three scenarios, which are seismic activity, faulting and igneous activity. Then, on the basis of assumed occurrence pattern and influence pattern for each perturbation scenario, variant type that should be considered in this analysis has been identified, and the concept of treatment, modeling data and requirements have been clarified.

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

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

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

* Mitsubishi Research Institute, Inc. (MRI)

目 次

1.はじめに	1
2.シナリオ解析手法の検討	3
2.1 ワークフレームの検討	3
2.1.1.本研究におけるシナリオ解析の目的及びシナリオの定義	3
2.1.2.相関関係マトリクスを用いた基本シナリオ構築の方法	3
2.1.3.相関関係マトリクスを用いた変動シナリオ構築の方法	6
2.1.4.基本シナリオ及び変動シナリオに対応する解析ケースの設定方法	7
2.2 ワークフレームの適用性の確認と課題の抽出	8
2.2.1 ニアフィールドを例題としたワークフレームの適用性の確認	8
2.2.2 ファーフィールドを例題としたワークフレームの適用性の確認	23
2.2.3 計算機を使用した処理技術の検討	34
2.3 課題の抽出	34
3.変動シナリオに関する解析技術の検討	38
3.1 高レベル放射性廃棄物と使用済燃料の処分に関する変動シナリオの 調査	38
3.2 変動事象選定のための技術的根拠	41
3.2.1 他の国家プログラムにおける地質学的事象取り扱いに関する情報	41
3.2.2 日本における地質学的変動事象選定の技術的根拠	41
3.3 変動事象の分類(ケース設定)の検討	42
3.4 変動シナリオの設定と概念モデルの構築	47
3.4.1 変動シナリオの設定	47
3.4.2 変動シナリオのための概念モデルの構築	49
3.5 概念モデルのための計算モデルの構築	56
3.5.1 はじめに	56
3.5.2 断層活動シナリオのための計算ケースの取り扱い	58
3.6 変動シナリオの様々な概念モデルのための感度分析	66

3.7 様々な変動シナリオの計算ケースに必要なデータ	69
3.7.1 地下水化学の緩衝 - 酸化還元の緩衝能力	69
3.7.2 母岩 - 熱を拡散させる能力	70
3.8 まとめ	70
3.8.1 各節のまとめ	70
3.8.2 今後の方向性	71
4.おわりに	72
参考文献	74

目 次

表 2.2-1 ガラス固化体に関する状態 FEP 及び対応するステータス	11
表 2.2-2 基本シナリオに関連した不確実性に対応する解析ケース設定の ための変動要因の例（ニアフィールド）	13
表 2.2-3 コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響に対応 する解析ケース設定のための変動要因（モデル）	22
表 2.2-4 コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響に対応 する解析ケース設定のための変動要因（パラメータ）	22
表 2.2-5 基本シナリオに関連した不確実性に対応する解析ケース設定の ための変動要因の例（ファーフールド）	30
表 2.2-6 処分場近傍の塩淡境界の影響に対応する解析ケース設定の ための変動要因（パラメータ）	34
表 3.1-1 各国でのシナリオ選定とその取り扱いについての調査	39
表 3.3-1 変動シナリオを分類するための検討要素	45
表 3.4-1 変動シナリオと 3.3 節で設定された様々な要素との関係	47
表 3.4-2 断層活動の変動シナリオの簡単な説明	48
表 3.4-3 地震事象の変動シナリオの簡単な説明	48
表 3.4-4 火成活動の変動シナリオの簡単な説明	49
表 3.4-5 断層活動の変動シナリオにおける主な影響のまとめ	51
表 3.4-6 地震事象の変動シナリオにおける主な影響のまとめ	54
表 3.4-7 火成活動の変動シナリオにおける主な影響のまとめ	56
表 3.5-1 変動シナリオの取り扱い - 断層活動	59
表 3.5-2 変動シナリオの取り扱い - 地震事象	62
表 3.5-3 変動シナリオの取り扱い - 火成活動	64
表 3.6-1 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ： 断層活動	66
表 3.6-2 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ： 地震事象	68

表 3.6-3 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ：

火成活動	68
------------	----

目 次

図 2.1-1 相関関係マトリクスを用いた基本シナリオ構築の手順	4
図 2.1-2 各安全機能の相対的重要度の範囲	5
図 2.1-3 相関関係マトリクスを用いた変動シナリオ構築の手順	6
図 2.2-1 サブマトリクスにおける状態 FEP ステータス間の関連の定義例	14
図 2.2-2 ニアフィールドにおけるインフルエンスダイアグラム (概要版)	15
図 2.2-3 ニアフィールドでの化学及び放射線の条件に関する インフルエンスダイアグラム (詳細版: 関連度 3)	16
図 2.2-4 ニアフィールドでの化学及び放射線の条件に関する解析モデル フローチャート (詳細版: 関連度 3)	17
図 2.2-5 ニアフィールドでの化学及び放射線の条件に関する不確実性の 伝播 (基本シナリオ)	18
図 2.2-6 ニアフィールドにおける変動シナリオの例: コンクリート支保 の反応に起因する高アルカリの影響 (関連度 2 以上)	20
図 2.2-7 ニアフィールドにおける変動シナリオの例: コンクリート支保 の反応に起因する高アルカリの影響 (関連度 2 以上) における解析 モデルフローチャート	21
図 2.2-8 ファーフィールドにおけるインフルエンスダイアグラム (概要版)	26
図 2.2-9 ファーフィールドでの水理・物質移動に関するインフルエンス ダイアグラム (詳細版: 関連度 3)	27
図 2.2-10 ファーフィールドでの水理・物質移動に関する解析モデル フローチャート (詳細版: 関連度 3)	28
図 2.2-11 ファーフィールドでの水理・物質移動に関する不確実性の伝播 (基本シナリオ)	29
図 2.2-12 ファーフィールドにおける変動シナリオの例: 処分場近傍の 塩淡境界の影響 (関連度 1 以上)	32

図 2.2-13 ファーフィールドにおける変動シナリオの例：処分場近傍の 塩淡水境界の影響に関する解析モデルフローチャート (関連度 1 以上)	33
図 3.3-1 起点事象の発生場所の取り扱い	43
図 3.3-2 起点事象の発生規模の取り扱い	44
図 3.3-3 起点事象の発生時期の取り扱い	44

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下サイクル機構）は、我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の研究成果を取りまとめ、平成 11 年 11 月に「第 2 次取りまとめ」を国へ提出した。この第 2 次取りまとめにおけるシナリオ解析では、国際的に合意が得られている体系的なアプローチを踏襲しながらシナリオの作成を行い一定の評価を受けているものの、国際レビュー等ではシナリオから解析ケースの設定までの流れについて、より分かりやすく提示する必要があるとの指摘を受けた。

このことを踏まえ、昨年度まで、シナリオ開発に関する国際的な動向を踏まえて、第 2 次取りまとめの特徴や課題を整理し、シナリオ解析の透明性と追跡性及びわかりやすさを向上させるための手法に関する概念的検討を行った。

具体的には、FEP(Features, Events and Processes^注)リストからシナリオ及び解析ケースを導くまでの過程において必要となる、様々な情報や専門家の判断を体系的に整理すること、情報の抜け落ちが無いようにそれらを網羅的に整理すること、さらに透明性と追跡性及びわかりやすさを向上させることを目的として、プロセスインフルエンスダイアグラムや相互関連性マトリクスを用いたシナリオ解析手法について検討した。この結果、FEP の相関関係の整理において、FEP をシステムの特性とそこで生じるプロセスに区分するとともに、モデルやパラメータとの対応にも配慮しながらそれら FEP の組み合わせを表現することが、従来のシナリオ解析手法を改善するための有効な対処法となりえることを確認した。今後は、これらの検討結果に基づき、より実務的な方法論として具体化していくことが必要となる。

また、シナリオ解析で対象とするシナリオは基本シナリオのみならず、天然事象に起因するシナリオ（変動シナリオ）も含まれることから、天然事象を考慮した評価モデルの構築手法や解析技術を整備しておくこともあわせて必要である。

そこで本研究では、昨年までの検討を踏まえて、シナリオ解析の透明性や追跡

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

性などを向上させるとともに、わかりやすく示していくための方法論のより実務レベルでのワークフレームの構築、さらにシナリオの試作などを通じた方法論の見直しや今後の課題などを整理する（第2章）。また、変動シナリオにおいては、天然事象の発生様式や影響パターンの整理、それに基づく概念モデルや解析モデルの検討などを行う（第3章）。

2. シナリオ解析手法の検討

2.1. ワークフレームの検討

2.1.1. 本研究におけるシナリオ解析の目的及びシナリオの定義

シナリオ解析は、性能評価に必要な科学的あるいは技術的な情報を整理・統合することの総称として、

- ・ 安全性に関係する特徴、イベントあるいはプロセス (FEP; Features, Events and Processes) の抽出
- ・ 各現象に対する科学的理解やモデルの統合
- ・ 解析ケースの選出

といった幅広い項目を含むものであり、全体として、解析ケースやそれぞれについての計算結果を、情報不足に起因するバイアスや不備も含めて総合的に議論するための枠組みを与えるものと位置づけられる。また、反復的に行われる性能評価の中で、シナリオ解析の内容も随時更新されるべきという考え方が優勢となってきた。本研究もまた、このような性能評価の反復的な試みの中で位置づけられるものであり、わが国における地層処分研究成果の第2次取りまとめの内容を規定するシナリオ解析の枠組みを、外部の専門家や非専門家と共有するための、より高い追跡性や透明性を持つ手法の開発を目的としている。また、以下の検討においては、基本シナリオを、「ほぼ確実に生じると考えられる現象によって多重バリアシステムの種々の安全機能がどのように発揮されるかについて、その具体的なメカニズムを記述するもの」と定義し、他方、内部因子を対象としたシナリオのうち基本シナリオ以外のシナリオと天然事象などの外部因子を考慮したシナリオを合わせて変動シナリオとみなし、この変動シナリオを、「基本シナリオでは考慮されていない現象が、処分システムの安全機能に影響を及ぼす可能性とその具体的なメカニズムを記述するもの」として定義することとする。

2.1.2. 相関関係マトリクスを用いた基本シナリオ構築の方法

相関関係マトリクスは、昨年度の研究(大久保, 2003)において検討された、地層処分の安全性に関連する FEP 間の相互依存性を整理するためのフォーマットで

ある。このマトリクスでは、処分システムの特徴や状態を表す features FEP (状態 FEP) が行列の対角要素に配置され、プロセス及びイベント FEP が非対角要素に配置されるという構造をとる。状態 FEP はシステムのある時点での処分システムの状態に関連するものであり、これに対して他の状態 FEP がプロセス・イベント FEP (プロセス FEP) を介して影響を及ぼすことによって、システムの動的な変遷が記述されることとなる (状態 FEP とプロセス FEP の関係は、より詳細なレベルの記述として、ステータスとサブプロセス FEP で具体化される)。

相関関係マトリクスを用いた基本シナリオ構築の手順を図 2.1-1 に示す。

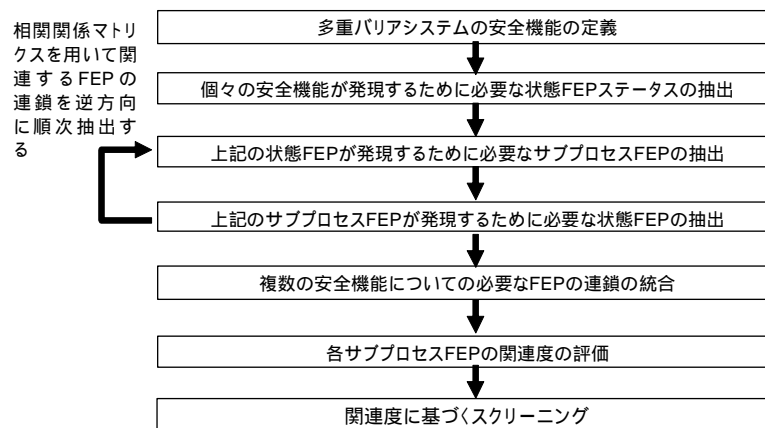


図 2.1-1 相関関係マトリクスを用いた基本シナリオ構築の手順

安全機能の発現に関係する種々の FEP は、安全機能との関連の程度及び生起の確からしさの観点でそれぞれ異なったものとなる可能性があり、この場合、これらの FEP の性能評価上での取り扱いもまた異なることとなる。そこで、まず、下流側の状態 FEP がプロセス FEP を介して安全上好ましいステータスとなることについての、上流側の状態 FEP の関連の程度 (関連度) を定義し、スクリーニングを行うことが合理的と考えられる。

安全機能の重要性は、類似した処分システムについての過去の様々な評価結果や経験に基づき専門家が判断するべきものであると考えられる。しかしながら、このような判断には主観的な要素が介入せざるを得ず、また、尺度が共有されていることを確認することも一般には困難である。そこでこのような専門家の判断を支援するための参考情報として簡易な計算方法を提案する。

N 個の安全機能を有するシステムに対して、what if シナリオとして各機能が発揮される場合とされない場合（評価の保守性の程度に応じて、完全に機能が喪失される状況あるいは効果が部分的に損なわれる状況等を想定する）の組み合わせを考え、全体としての安全性の程度に基づきスコアリングする。このようなスコア S の与え方としては、例えば、次のようなものが考えられる。

$$(2.1-1) \quad S = \log D_0 - \log D^*$$

ただし、 D_0 : いずれの安全機能も発揮されない場合の影響（被ばく線量、等）の大きさ、

D^* : 想定する安全機能の組み合わせにおける影響（被ばく線量、等）の大きさ

さて、ある what if シナリオにおいて m 個の安全機能 $i=1,2,\dots,m$ が発現している場合のスコアを $S(1,2,\dots,m)$ とした場合、この安全機能の組み合わせの中での i 番目の安全機能のスコアを

$$(2.1-3) \quad S_{(1,2,\dots,m)}^i = \frac{S(i)}{\sum_{j=1}^m S(j)} S(1,2,\dots,m)$$

と定義する。この安全機能に関する相対的重要度の考え方を、多重バリアシステムに適用した結果を図 2.1-2 に示す。

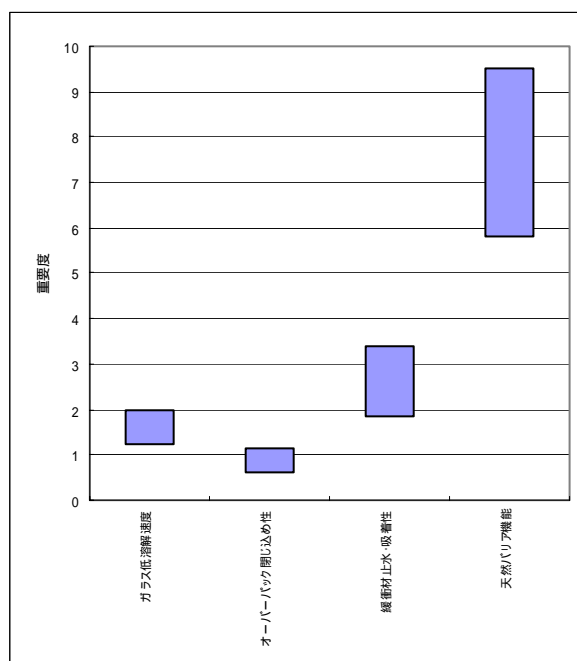


図 2.1-2 各安全機能の相対的重要度の範囲

2.1.3. 相関関係マトリクスを用いた変動シナリオ構築の方法

相関関係マトリクスを用いた変動シナリオ構築の手順を図 2.1-3 に示す。

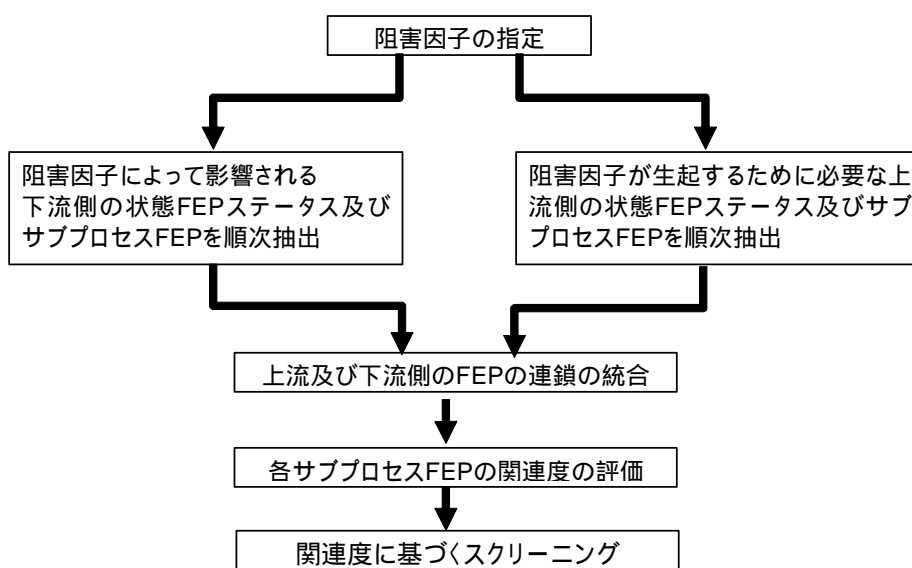


図 2.1-3 相関関係マトリクスを用いた変動シナリオ構築の手順

2.1.4. 基本シナリオ及び変動シナリオに対応する解析ケースの設定方法

基本シナリオ及び変動シナリオに対応する解析ケースの設定は、

- ・ インフルエンスダイアグラムに含まれる各状態 FEP ステータスとサブプロセス FEP 及びこれらの間の相互作用を適切に区分し、それぞれのグループに解析モデル（定量的なモデルが開発されていない場合にはより一般的な知見）を対応付けること
- ・ 上記の対応付けに基づき、インフルエンスダイアグラムを、解析上の情報の処理及び流れを示す解析モデルフローチャートに変換すること
- ・ 解析モデルフローチャートにおけるモデルオプション及び顕著な変動範囲を有するパラメータといった不確実性要因の抽出
- ・ 不確実性要因の伝播経路の特定
- ・ システム性能評価における変動要因（性能評価パラメータ値の変更、モデルの変更）の明確化
- ・ 複数の変動要因の組み合わせとしての解析ケースの選定

という手順で行われる。

最終段階の解析ケース選定においては、状態 FEP のステータスの選択肢、各ステータスに対応するモデルオプションや入力パラメータ値の変動範囲が存在することを考えると、基本シナリオに対応する解析ケース数は、これらの変動要因数の掛け算として増大することとなる。そこで、こうして網羅的に抽出される解析ケースの数が一定以上となる場合には、感度解析や予察解析を通じて、保守的な代表性を有する解析ケースを抽出することによりケース数を低減することが必要と考えられる。このような作業は、反復的に行われることが必要であり、また、統計的な解析による感度構造の把握と決定論的な解析による代表的ケースについての詳しい解析とを相互補完的に組み合わせることが効果的と考えられる。

2.2. ワークフレームの適用性の確認と課題の抽出

2.2.1. ニアフィールドを例題としたワークフレームの適用性の確認

(1) 基本シナリオ構築への適用

(i) 安全機能の定義

ニアフィールドの安全機能は、人工バリアからの核種放出率を制限することにより、これはさらに、以下の三つの安全機能に区分することができる。

- ・ オーバーパックによる廃棄物の閉じ込め機能
- ・ ガラス浸出率制限機能
- ・ 緩衝材物質移動制限機能

(ii) 安全機能に関連する状態 FEP 及びそれらのステータスの抽出

上述した安全機能は、ニアフィールドにおける種々の環境条件に依拠して発現し、また、逆に、ある種の環境条件によって安全機能が阻害される可能性も予想される。そこで、ここでは、まず、引き続く見当の対象とすべき状態 FEP を抽出し、さらに、その具体的な内容をステータスとして細分化した。各状態 FEP に対応するステータスの例を表 2.2-1 にまとめる。

(iii) プロセス FEP を介した状態 FEP 間の関連の整理

前出の相関関係マトリクスにおいて、各状態 FEP は、プロセス FEP の影響を受けて変化することとなるが、このようなプロセス FEP の発生や程度あるいは進展速度には、他の状態 FEP が関連することとなる。このような、状態 FEP 及びプロセス FEP 間の関連は、状態 FEP として記述するよりも、ステータスに基づき記載することにより、その対応関係がより具体的なものとなる。そこで、該当する状態 FEP 同士の交差部となる非対角要素を、対応するステータス間のマトリクス（サブマトリクス、図 2.2-1 参照）であるとみなし、このレベルにおいて、現象間の関連の詳細をステータスとサブプロセス FEP で記述することとした。なお、下流側の状態 FEP ステータスが成立するために、複数の上流側の条件が同時に成立する必要がある場合については、関連度に基づくスクリーニングにおいてこの関係を考慮することが必要であるため、その関係をサブマトリクス

に付記することとした。

(iv) 安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖の抽出

前項で述べたサブマトリクスを用いて、安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖の抽出を行った。関連度 3 において抽出された安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖をインフルエンスダイアグラムとして図 2.2-2 及び図 2.2-3 にまとめる。なお、こうして作成されるインフルエンスダイアグラムは、全体をステータスのレベルで記述すると膨大な情報量となり理解することが困難であるため、前節において述べたように、全体の概要を状態 FEP のレベルで表現しておき、用途に応じて該当する部分の詳細を表示するという方法が適切と考えられる。用途に応じた詳細化の「切り口」としては、

- ・ 特定のバリア材料に着目し、関連する FEP のみ詳細に表示する
- ・ 特定の分野の現象（核種、化学・放射線、水理・物質移動、熱、力学、等）に着目し、関連する FEP のみ詳細に表示する
- ・ 特定の期間（オーバーパック開口前と開口後、等）に着目し、関連する FEP のみ詳細に表示する

等が考えられるが、ここでは、引き続いて行う解析モデルフローチャートの作成という用途に照らして最も適切と考えられる「現象の分野」に着目した切り口で詳細化を行うこととした。ここで、注意すべき点は、各安全機能の発現のために求められる条件が必ずしも両立することが明らかなものばかりではなく、互いに矛盾する可能性のあるものも含まれているという点である。

(v) 基本シナリオにおける解析モデルフローチャートの作成

上記において作成したインフルエンスダイアグラムにおける状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖を適切に区分し、解析モデルと対応付けることによって、図 2.2-4 に例示する解析モデルフローチャートが得られることとなる。なお、状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP 間の連鎖の中には、定量的な解析モデルが開発されておらず、試験結果や観察事実に基づく経験的な情報

や定性的な理解といった知見のみが入手可能なものも含まれている（これらについては、図中で薄い色を用いて表現している）。各解析モデル間の境界部分は、モデル間の入出力関係に対応しており、上流側の解析結果が下流側の入力情報として用いられるべきものであることを示している。また、インフルエンスダイアグラムの端部は、初期条件（設計仕様や施工条件など）、境界条件（ファーフールドにおける地質環境条件等）あるいは安全機能に対応する。定量的な解析モデルの開発されていない部分についても、該当する知見に入る矢印は、試験等の前提条件として考慮すべき事項を表すものとなっている。

(vi) 基本シナリオにおける解析ケースの設定

インフルエンスダイアグラムとして表現される基本シナリオが一意に定まる場合においても、プロセスのモデル化に関する不確実性や、状態 FEP ステータスとして表現されているパラメータ値に関する不確実性のために、解析ケースは必ずしも一通りには決定されない。そこで、前節において述べたように、まず、これらの不確実性要因を抽出し、次にその影響の伝播をインフルエンスダイアグラムを用いて分析することが、考慮すべき解析ケースの設定のために必要な作業となる。

上記の要因に起因した不確実性の伝播をインフルエンスダイアグラムを用いて抽出した結果の例が図 2.2-5 である。また、この不確実性の伝播を考慮した場合に、システム性能評価として考慮すべき変動要因は、表 2.2-2 に示すように抽出される。なお、ニアフィールドの基本シナリオに関する解析ケースの全体は、これらの変動要因を組み合わせとなるが、それぞれのケースにおいて、対応する評価条件をどの程度変動させるべきかについては、変動の原因となる不確実性要因を考慮した現象解析及び変動の影響についての感度解析に加えて当該分野の専門家の知見を踏まえて設定することが必要と考えられる。また、ここに挙げた変動要因を組み合わせ得られる全てのケースについて解析を行う必要があるとは限らず、類似した各ケース間の相対的な保守性を踏まえて代表的な解析ケースを選定することが可能と考えられる。

表 2.2-1 ガラス固化体に関する状態 FEP 及び対応するステータス

状態 FEP	ステータス
ガラス固化体周囲の 空隙水中核種濃度	ガラス固化体近傍の空隙水中核種濃度高
	ガラス固化体近傍の空隙水中核種濃度低
	ガラス固化体近傍のコロイドとしての核種濃度高
	ガラス固化体近傍のコロイドとしての核種濃度低
ガラス固化体周囲の 固相中の核種量	ガラス固化体変質層中に吸着された核種量大
	ガラス固化体変質層中に吸着された核種量小
	ガラス固化体変質層中に沈殿した核種量大
	ガラス固化体変質層中に沈殿した核種量小
ガラス固化体の化学特性	ガラス変質層の厚さ大
	ガラス変質層の厚さ小
	ガラス固化体溶解速度大
	ガラス固化体溶解速度小
ガラス周囲の空隙水化学	ガラス表面の空隙水中シリカ濃度高
	ガラス表面の空隙水中シリカ濃度低
	ガラス表面の空隙水中 pH 高
	ガラス表面の空隙水中 pH 低
	ガラス表面の空隙水中 Eh 高
	ガラス表面の空隙水中 Eh 低
	ガラス表面の空隙水中有機物濃度高
	ガラス表面の空隙水中有機物濃度低
	ガラス表面の空隙水中 pH 中
ガラス固化体における放射線特 性	ガラス固化体表面 線強度高
	ガラス固化体表面 線強度低
	ガラス固化体表面 線強度高
	ガラス固化体表面 線強度低
	ガラス固化体表面 線強度高
	ガラス固化体表面 線強度低

表 2.2-1 ガラス固化体に関する状態 FEP 及び対応するステータス (続き)

状態 FEP	ステータス
ガラス固化体の力学特性	ガラス固化体の強度高
	ガラス固化体の強度低
	ガラス固化体の可塑性大
	ガラス固化体の可塑性小
ガラス固化体に働く応力	ガラス固化体への圧縮応力大
	ガラス固化体への圧縮応力小
	ガラス固化体へのせん断応力大
	ガラス固化体へのせん断応力小
	ガラス固化体への熱応力大
	ガラス固化体への熱応力小
ガラス固化体の形状	ガラス固化体の割れ目数大
	ガラス固化体の割れ目数小
	ガラス固化体の体積大
	ガラス固化体の体積小

表 2.2-2 基本シナリオに関連した不確実性に対応する解析ケース設定のための変動要因の例（ニアフィールド）

システム性能評価のパラメータ	変動の方向	不確実性要因
オーバーパック開口時期	増大	<ul style="list-style-type: none"> 腐食体積膨張率についての現実的なデータの使用 座屈変形開始後のオーバーパックの変形・開口に要する時間の考慮
	減少	
ガラス溶解速度	増大	・ガラスの割れによる比表面積増大
	減少	
核種の溶解度	増大	
	減少	・高圧密ベントナイト空隙水中の活量係数の増大を考慮
ミキシングセル内地下水流量	増大	<ul style="list-style-type: none"> 劣化後の坑道支保の透水性上昇 掘削影響領域の透水性について悲観的に設定
	減少	・掘削影響領域の透水性について楽観的に設定

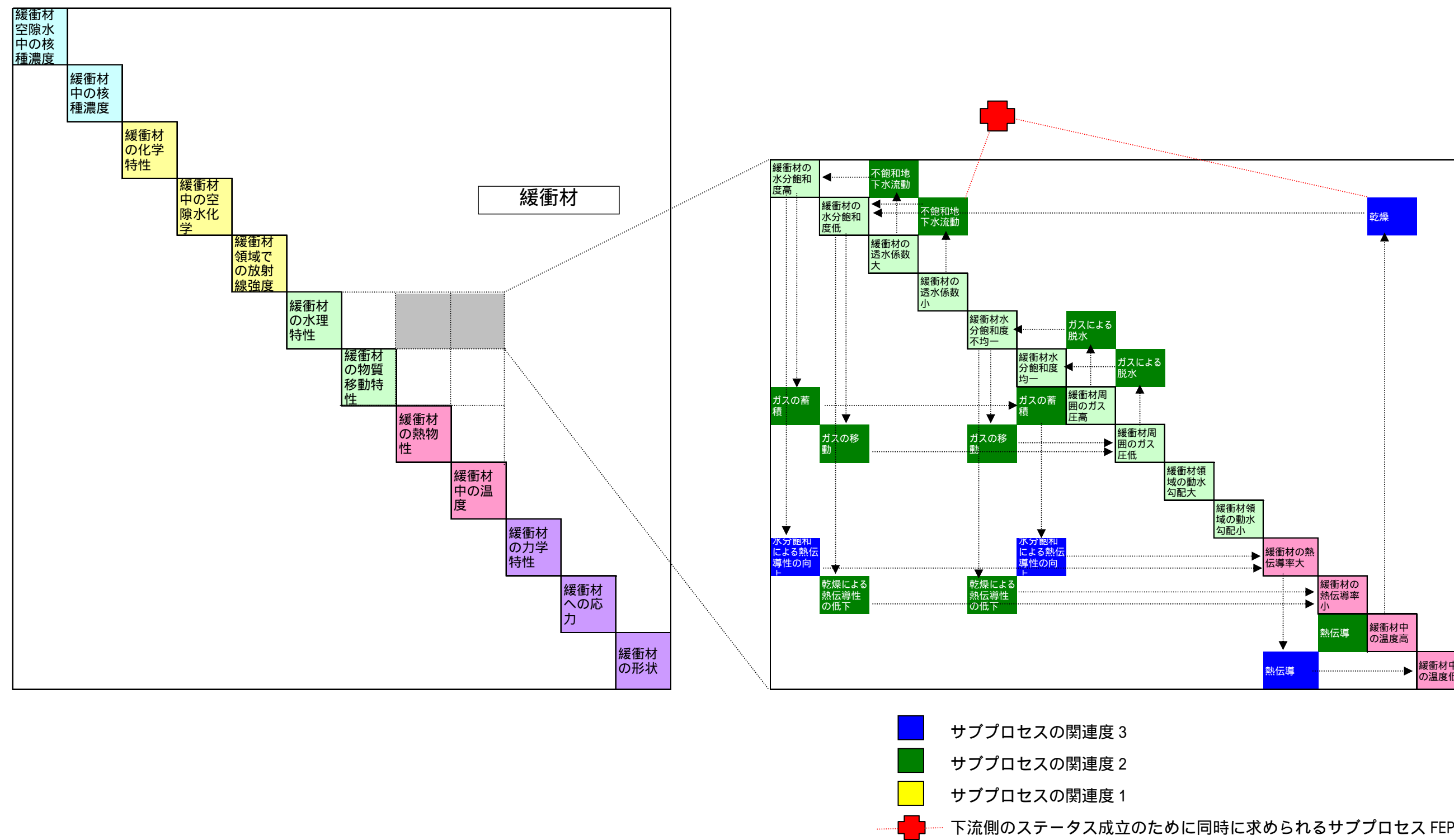


図 2.2-1 サブマトリクスにおける状態 FEP ステータス間の関連の定義例

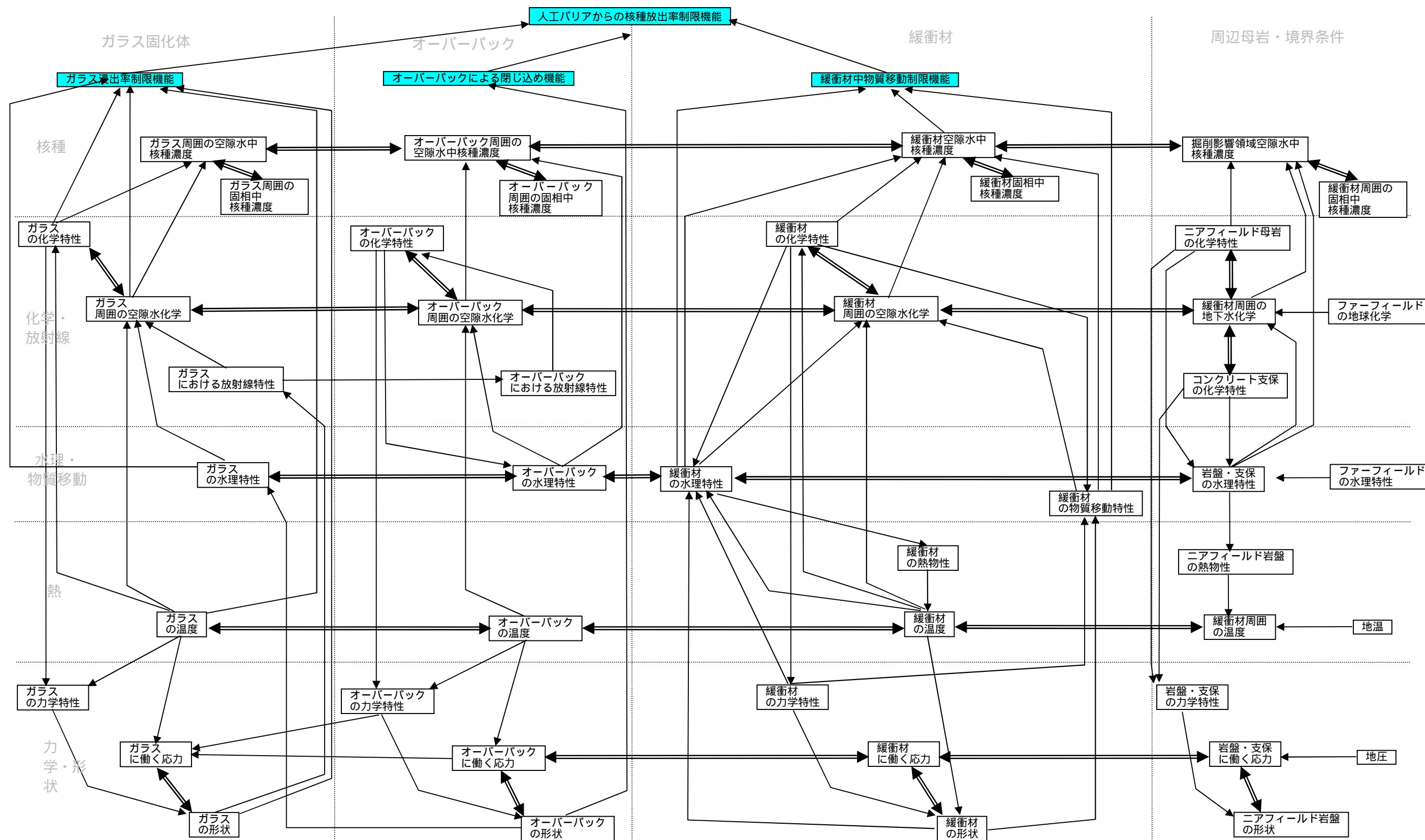


図 2.2-2 ニアフィールドにおけるインフルエンスダイアグラム (概要版)

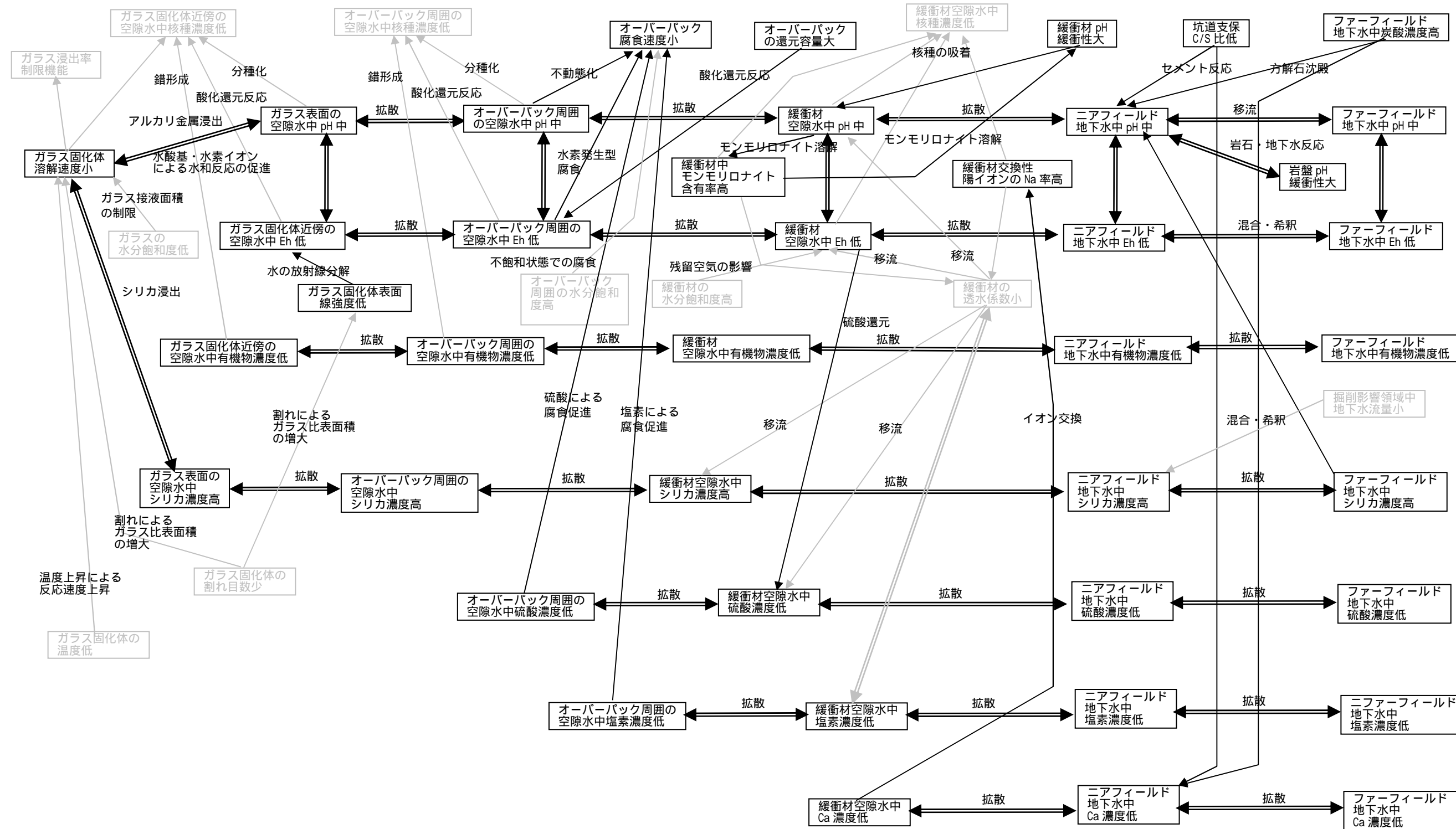


図 2.2-3 ニアフィールドでの化学及び放射線の条件に関するインフルエンスタグラム (詳細版: 関連度 3)

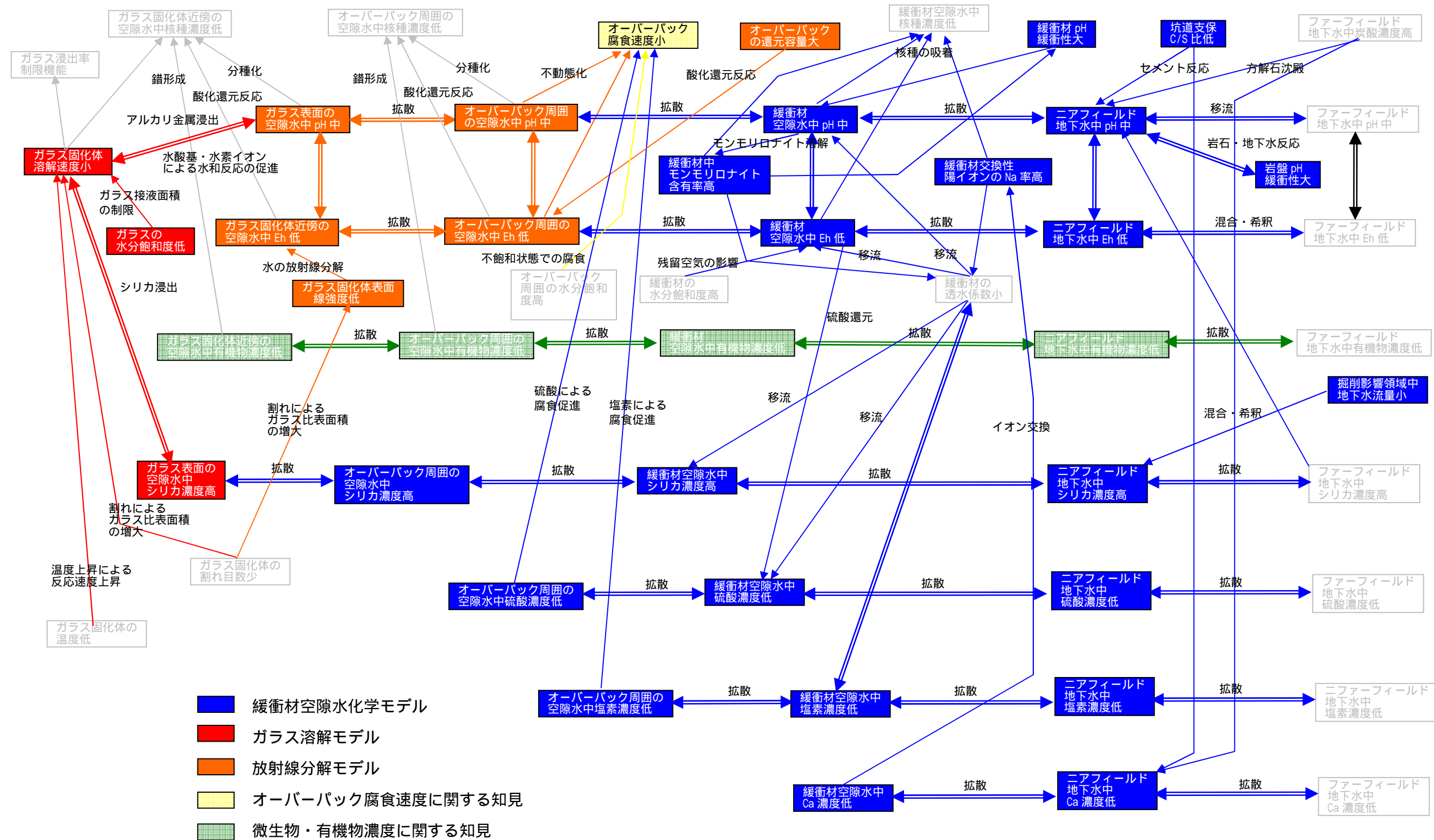


図 2.2-4 ニアフィールドでの化学及び放射線的条件に関する解析モデルフローチャート (詳細版: 関連度 3)

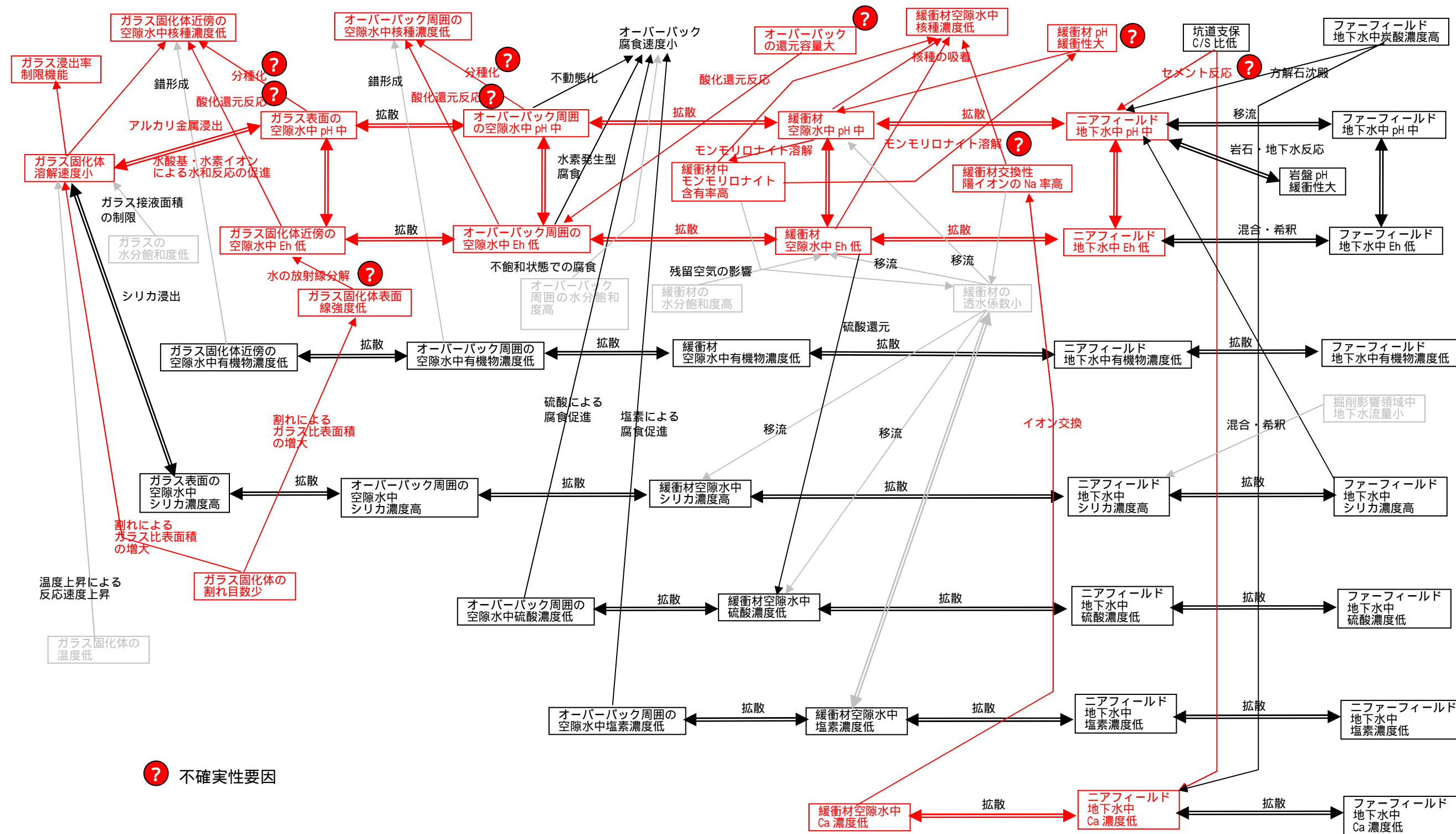


図 2.2-5 ニアフィールドでの化学及び放射線的条件に関する不確実性の伝播 (基本シナリオ)

(2) 変動シナリオ構築の事例

種々の安全機能に対して、その働きを脅かすような要因（阻害要因）を考え、その潜在的な影響の伝播を分析することによって、変動シナリオが構築されることとなる。ここでは、具体的な阻害要因として、

- ・ 処分場閉鎖後の緩衝材の乾燥・温度上昇によるセメンテーション
- ・ コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響

の二つについて変動シナリオの構築を試みた。このうちコンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響について影響伝播を抽出した結果の例を図 2.2-6 に示す。なお、ここでは、第 2 次取りまとめで想定していた低 pH セメントではなく、通常のポルトランドセメント (OPC) が使用されることを前提として変動シナリオの構築を行った。関連度 3 のレベルにおいては、坑道支保の反応によって生じる高アルカリの地下水は緩衝材中に進入し、緩衝材外側では空隙水中の pH の上昇及びモンモリロナイトの溶解による緩衝材の鉱物学的変化が顕著に進む可能性があるものの、高アルカリのフロントは緩衝材中にとどまり、オーバーパック表面には至らないこと、及び、緩衝材の一部は健全性を保持し止水性が保たれることを示している。他方、関連度 2 のレベルでは、高アルカリフロント及びモンモリロナイトの溶解フロントが緩衝材内側にまで至り、

- ・ pH 上昇に伴う炭素鋼の不動態化による早期の開口
- ・ モンモリロナイト溶解による止水性及びコロイドろ過性の喪失、並びに核種吸着性の低下
- ・ 早期開口に伴う高温での高アルカリの空隙水によるガラス溶解の促進が生じる可能性を考慮する必要があることが示されている。

コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響を例として、変動シナリオに対応した解析ケースの設定に関する検討を行った。図 2.2-7 は、関連度 2 のインフルエンスダイアグラムに対応する解析モデルフローチャートである。また、システム性能評価において考慮すべき解析モデルあるいはパラメータ値の変動要因は、表 2.2-3 及び表 2.2-4 にそれぞれまとめる通りである。

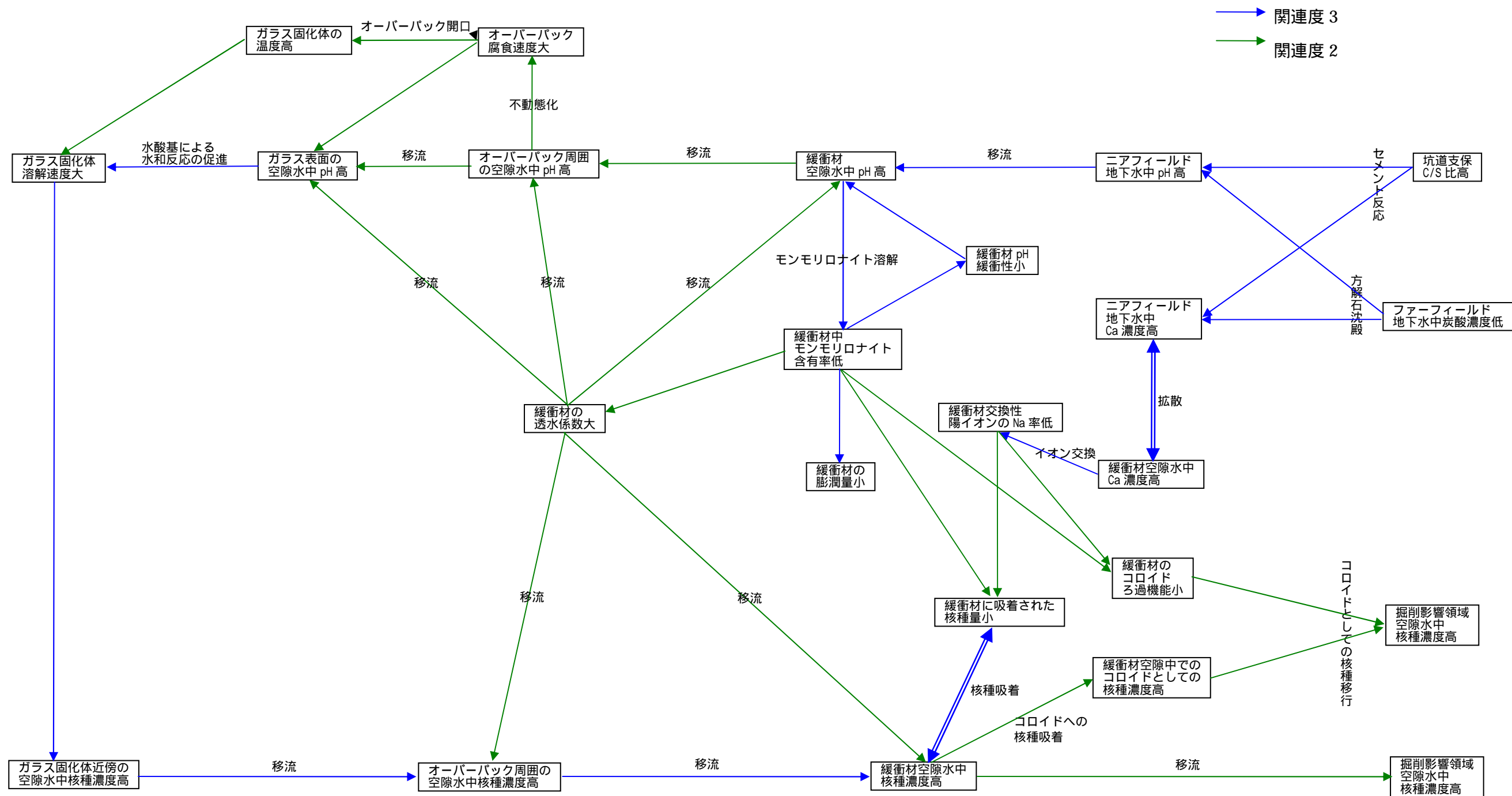


図 2.2-6 ニアフィールドにおける変動シナリオの例：コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響（関連度 2 以上）

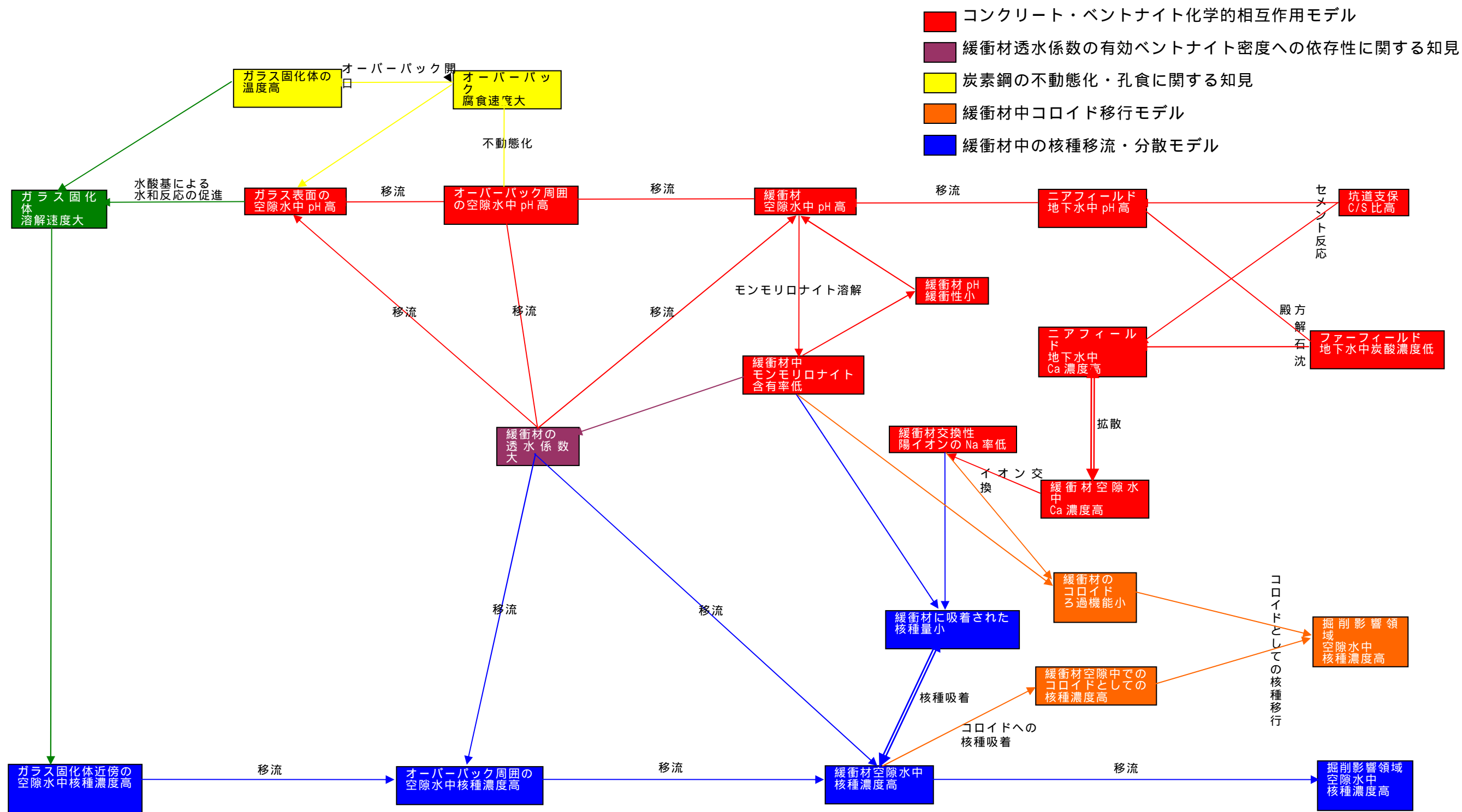


図 2.2-7 ニアフィールドにおける変動シナリオの例：コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響（関連度 2 以上）における解析モデルフローチャート

表 2.2-3 コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響に対応する解析ケース設定のための変動要因（モデル）

モデルの要素	変動シナリオにおける モデルオプション	基本シナリオにおける モデルオプション	対応する不確実性要因
核種移行メカニズム	分散・移流	分子拡散	モンモリロナイト溶解による止水性の喪失
座標系	2次元あるいは3次元	軸対象1次元	
核種移行形態	溶存形及びコロイド	溶存形のみ	モンモリロナイト溶解によるコロイドろ過性の喪失

表 2.2-4 コンクリート支保の反応に起因する高アルカリの影響に対応する解析ケース設定のための変動要因（パラメータ）

パラメータ	変動の方向	対応する不確実性要因
オーバーパック開口時期	減少	オーバーパック表面での pH 上昇に伴う炭素鋼の不動態化による早期の開口
ガラス溶解速度	増大	早期開口に伴う高温での高アルカリの空隙水との接触によるガラス溶解の促進
緩衝材中地下水流速	増大	モンモリロナイト溶解による止水性の喪失
緩衝材中の核種分配係数	減少	モンモリロナイト溶解、イオン交換による核種吸着性の低下

2.2.2. ファーフィールドを例としたワークフレームの適用性の確認

(1) ファーフィールドにおける基本シナリオ構築への適用

(i) 安全機能の定義

ファーフィールドの安全機能は、人工バリアから放出された核種の天然バリア中での移行を遅延することにより、これはさらに、以下の二つの安全機能に区分することができる。

- ・ 地下水による移流の制限機能
- ・ 吸着による遅延機能

(ii) 安全機能に関連する状態 FEP 及びそれらのステータスの抽出

上述した安全機能は、ファーフィールドにおける種々の環境条件に依拠して発現し、また、逆に、ある種の環境条件によって安全機能が阻害される可能性も予想される。そこで、ここでは、まず、引き続き検討の対象とすべき状態 FEP を抽出し、さらに、その具体的な内容をステータスとして細分化した。

(iii) プロセス FEP を介した状態 FEP 間の関連の整理

ニアフィールドの場合と同様、状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP に関して、サブマトリクスとして関連を整理した。

(iv) 安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖の抽出

前項で述べたサブマトリクスを用いて、安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖の抽出を行った。関連度 3 において抽出された安全機能の発現に関連する状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖をインフルエンスダイアグラムとして図 2.2-8 にまとめる。なお、こうして作成されるインフルエンスダイアグラムは、全体をステータスのレベルで記述すると膨大な情報量となり理解することが困難であるため、前節において述べたように、全体の概要を状態 FEP のレベルで表

現しておき、用途に応じて該当する部分の詳細を表示するという方法が適切と考えられる。ここでは、引き続いて行う解析モデルフローチャートの作成という用途に照らして最も適切と考えられる「現象の分野」に着目した切り口で詳細化を行うこととした。

(v) 基本シナリオにおける解析モデルフローチャートの作成

上記において作成したインフルエンスダイアグラムにおける状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP の連鎖を適切に区分し、解析モデルと対応付けることによって、解析モデルフローチャート(図 2.2-10)が得られることとなる。なお、状態 FEP ステータス及びサブプロセス FEP 間の連鎖の中には、定量的な解析モデルが開発されておらず、試験結果や観察事実に基づく経験的な情報や定性的な理解といった知見のみが入手可能なものも含まれている(これらについては、図中で薄い色を用いて表現している)。

各解析モデル間の境界部分は、モデル間の入出力関係に対応しており、上流側の解析結果が下流側の入力情報として用いられるべきものであることを示している。また、インフルエンスダイアグラムの端部は、地理・地形やテクニクセッティング等のより大きなスケールでの条件、境界条件(ニアフィールドからの核種の移行率等)あるいは安全機能に対応する。定量的な解析モデルの開発されていない部分についても、該当する知見に入る矢印は、試験等の前提条件として考慮すべき事項を表すものとなっている。

(vi) 基本シナリオにおける解析ケースの設定

インフルエンスダイアグラムとして表現される基本シナリオが一意に定まる場合においても、プロセスのモデル化に関する不確実性や、状態 FEP ステータスとして表現されているパラメータ値に関する不確実性のために、解析ケースは必ずしも一通りには決定されない。そこで、前節において述べたように、まず、これらの不確実性要因を抽出し、次にその影響の伝播を、インフルエンスダイアグラムを用いて分析することが、考慮すべき解析ケースの設定のために必要な作業となる。ファーフールドの性能評価において考

慮すべき不確実性の種類は、地質環境の具体的な条件や調査の進捗状況に応じて種々に異なるため、一般化することは困難である。そこで、ここでは、比較的後の調査段階にまで残存すると考えられる亀裂の特性についての不確実性（参照）に着目し、これを例として対応する解析ケースの抽出を試みることにした。

上記の要因に起因した不確実性の伝播をインフルエンスダイアグラムを用いて抽出した結果の例が図 2.2-11 である。また、この不確実性の伝播を考慮した場合に、システム性能評価として考慮すべき変動要因は、表 2.2-2 に示すように抽出される。なお、ファーフィールドの基本シナリオに関する解析ケースの全体は、これらの変動要因を組み合わせとなるが、それぞれのケースにおいて、対応する評価条件をどの程度変動させるべきかについては、変動の原因となる不確実性要因を考慮した現象解析及び変動の影響についての感度解析に加えて当該分野の専門家の知見を踏まえて設定することが必要と考えられる。また、ここに挙げた変動要因を組み合わせで得られる全てのケースについて解析を行う必要があるとは限らず、類似した各ケース間の相対的な保守性を踏まえて代表的な解析ケースを選定することが可能と考えられる。

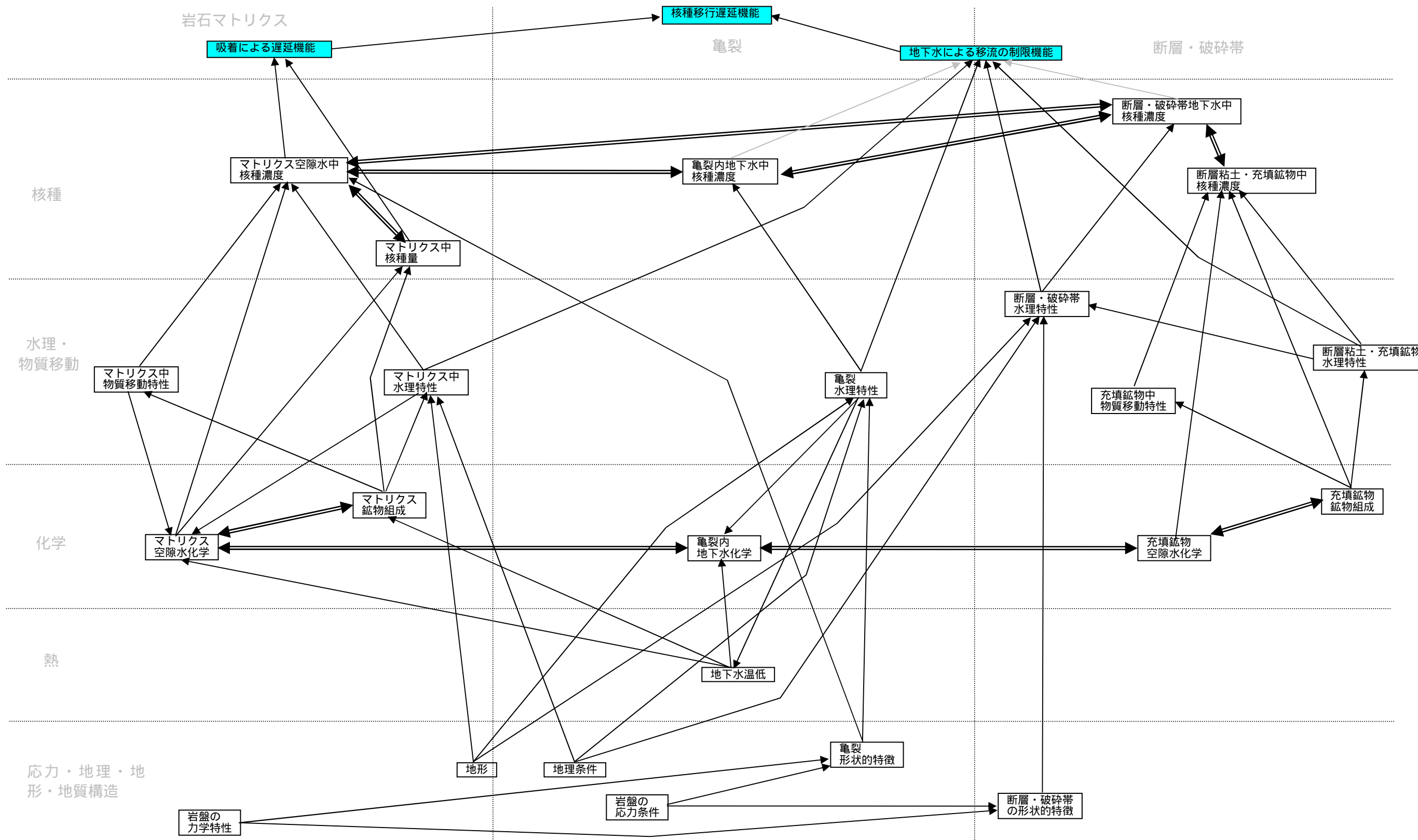
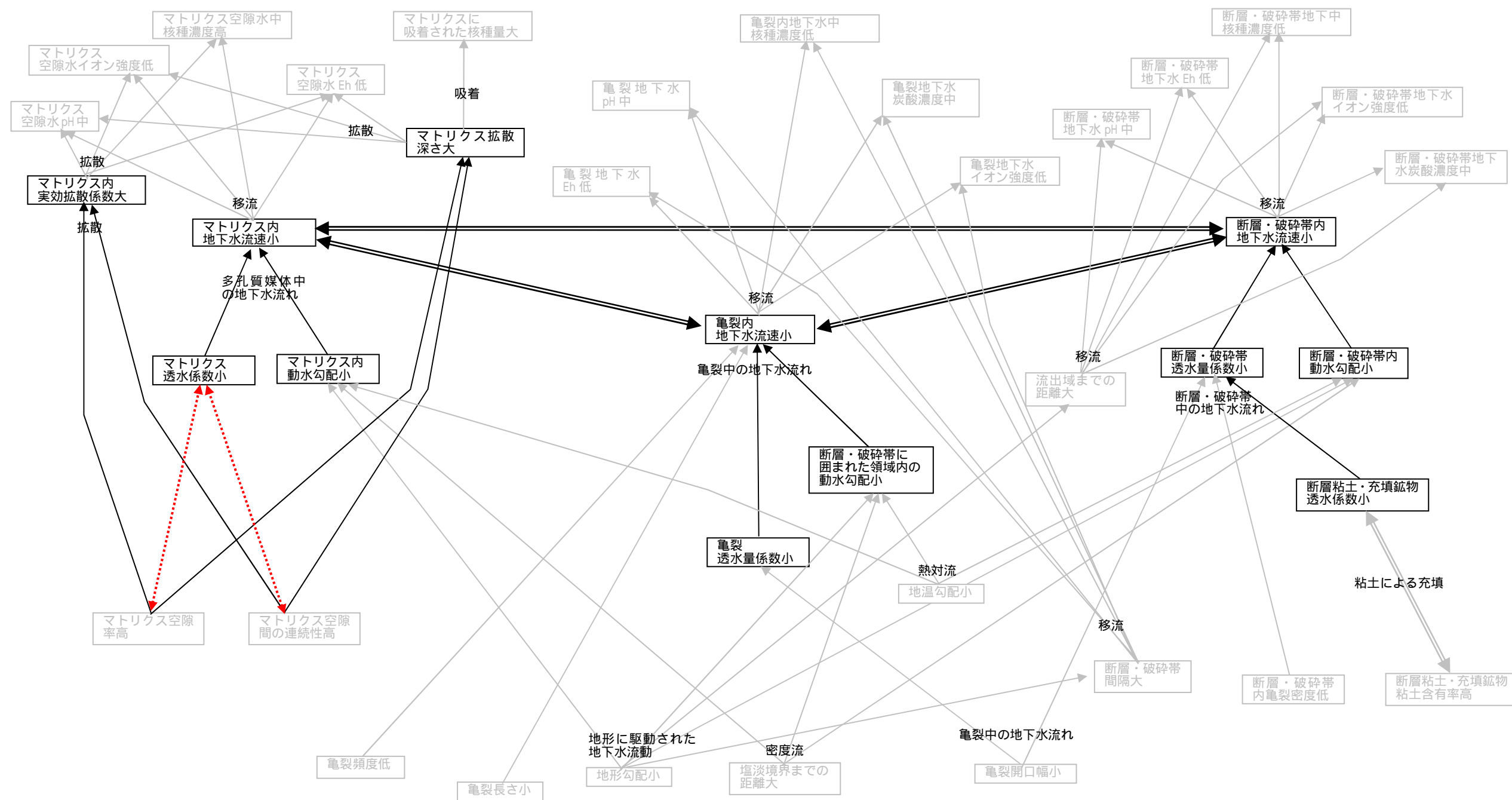


図 2.2-8 ファーフィールドにおけるインフルエンスダイアグラム (概要版)



◀.....▶ 両立しない可能性のある条件

図 2.2-9 ファーフィールドでの水理・物質移動に関するインフルエンスダイアグラム (詳細版：関連度 3)

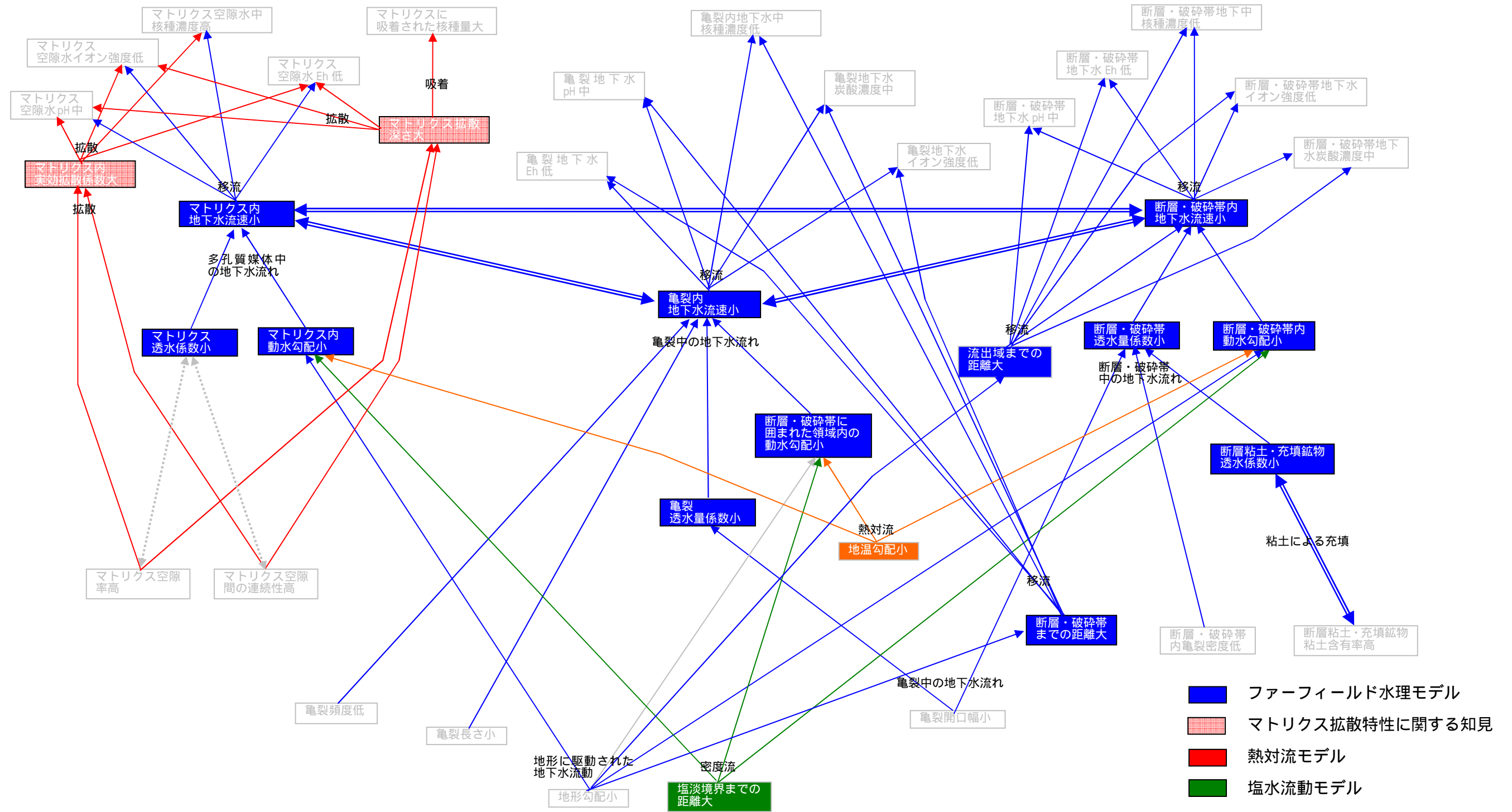


図 2.2-10 ファーフィールドでの水理・物質移動に関する解析モデルフローチャート（詳細版：関連度3）

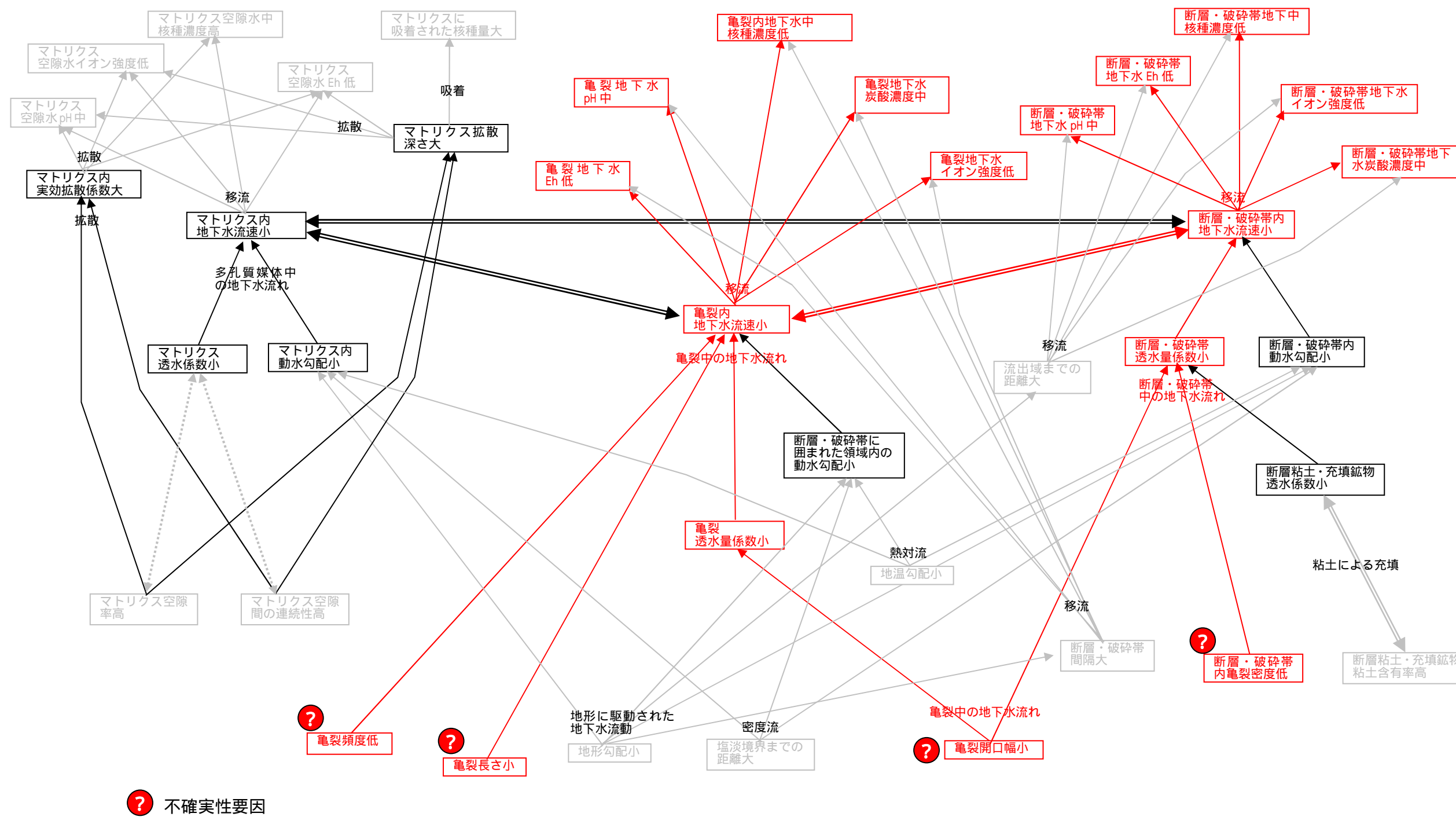


図 2.2-11 ファーフィールドでの水理・物質移動に関する不確実性の伝播（基本シナリオ）

表 2.2-5 基本シナリオに関連した不確実性に対応する解析ケース設定のため
の変動要因の例（ファーフールド）

システム性能評価の パラメータ	変動の 方向	不確実性要因
亀裂内地下水流速	増大	亀裂開口幅、亀裂頻度、亀裂長さについての悲観的データの採用
	減少	亀裂開口幅、亀裂頻度、亀裂長さについての楽観的データの採用
亀裂開口幅	増大	悲観的データの採用
	減少	楽観的データの採用
マトリクス拡散に有効な 亀裂表面積	増大	楽観的データの採用
	減少	悲観的データの採用
マトリクス拡散深さ	増大	楽観的データの採用
	減少	悲観的データの採用
断層・破砕帯中の 地下水流速	増大	亀裂開口幅、断層・破砕帯中亀裂頻度、亀裂長さについての悲観的データの採用
	減少	亀裂開口幅、断層・破砕帯中亀裂頻度、亀裂長さについての楽観的データの採用

(2) ファーフィールドにおける変動シナリオ構築の事例

前節において構築したファーフィールドの基本シナリオで規定される種々の安全機能に対して、その働きを脅かすような要因（阻害要因）を考え、その潜在的な影響の伝播を分析することによって、変動シナリオが構築されることとなる。ここでは、以下に、具体的な阻害要因として、「予想よりも近傍に存在する塩淡境界の影響」を想定して検討を試みることにした。

(i) 近傍の塩淡境界の影響に関する変動シナリオの構築

処分場近傍の塩淡境界の影響について、基本シナリオ構築の際に述べたものと同じ状態 FEP ステータス間の関連についてのサブマトリクスを用いて、阻害要因の影響伝播に対応したサブプロセス FEP 及び状態 FEP ステータスの連鎖の抽出を行った。結果の例を図 2.2-12 に示す。関連度 3 においては、降水起源の地下水と塩水との混合により地下水の塩分濃度が上昇することにより、イオン交換により吸着する核種（Cs-135 等）の吸着性が低下し、吸着による遅延機能が低下する可能性が示されているのに対して、関連度 1 以上のレベルでは、吸着による遅延機能に加えて、塩淡境界に沿って生じる上向きの流れによる亀裂内地下水流速あるいは断層・破碎帯内地下水流速の増大が生じ、移流に対する制限機能も影響を受ける可能性があることが示唆されている。

(ii) 変動シナリオに対応した解析ケースの設定

処分場近傍の塩淡境界の影響について、変動シナリオに対応した解析ケースの設定に関する検討を行った。図 2.2-13 は、関連度 1 のインフルエンスダイアグラムに対応する解析モデルフローチャートである。また、システム性能評価において考慮すべきパラメータ値の変動要因は、表 2.2-6 にまとめる通りである。なお、この変動シナリオについては、ファーフィールドにおけるシステム性能評価モデルを基本シナリオのものから変更する必要性はないと判断された。

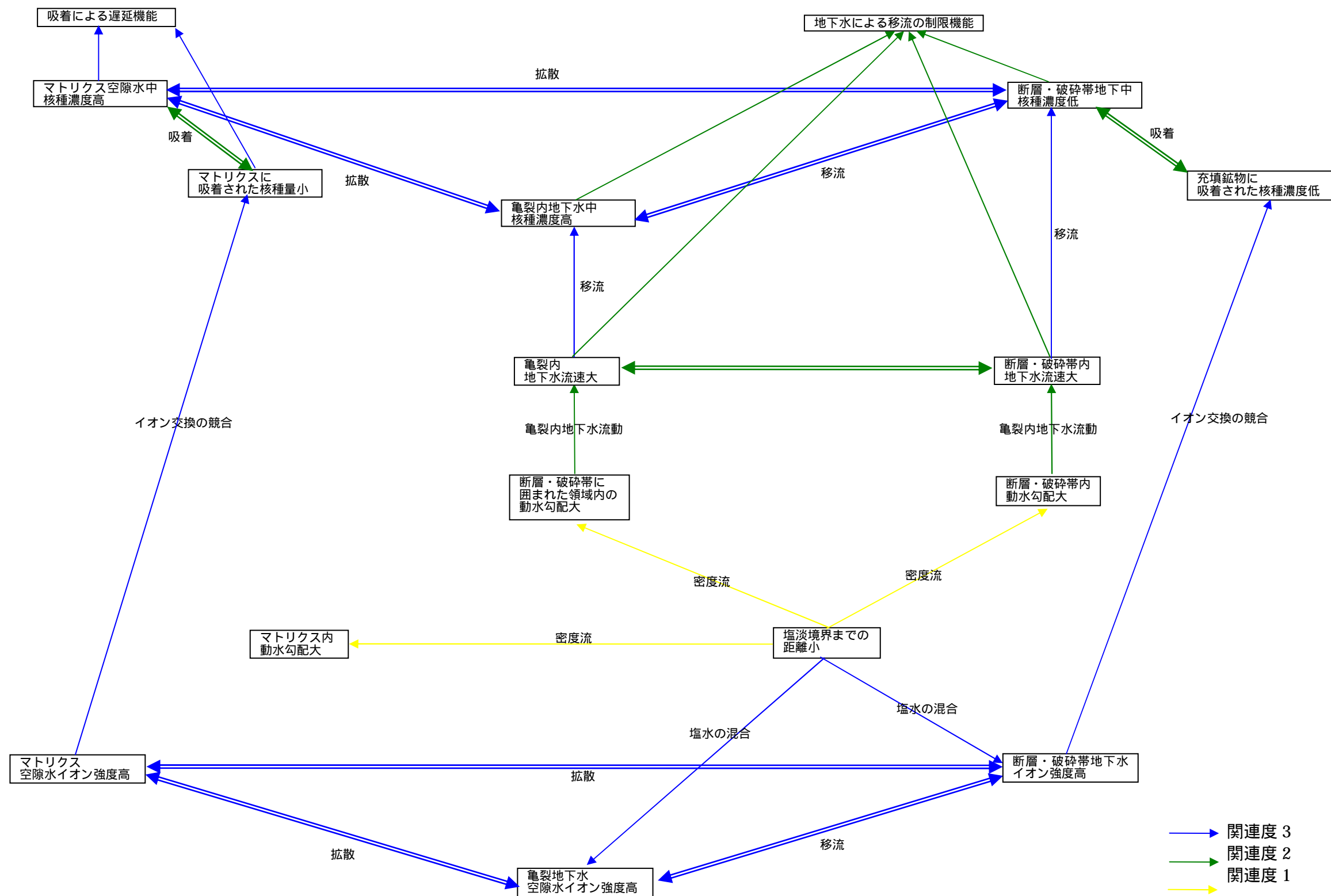


図 2.2-12 ファーフィールドにおける変動シナリオの例：処分場近傍の塩淡水境界の影響（関連度 1 以上）

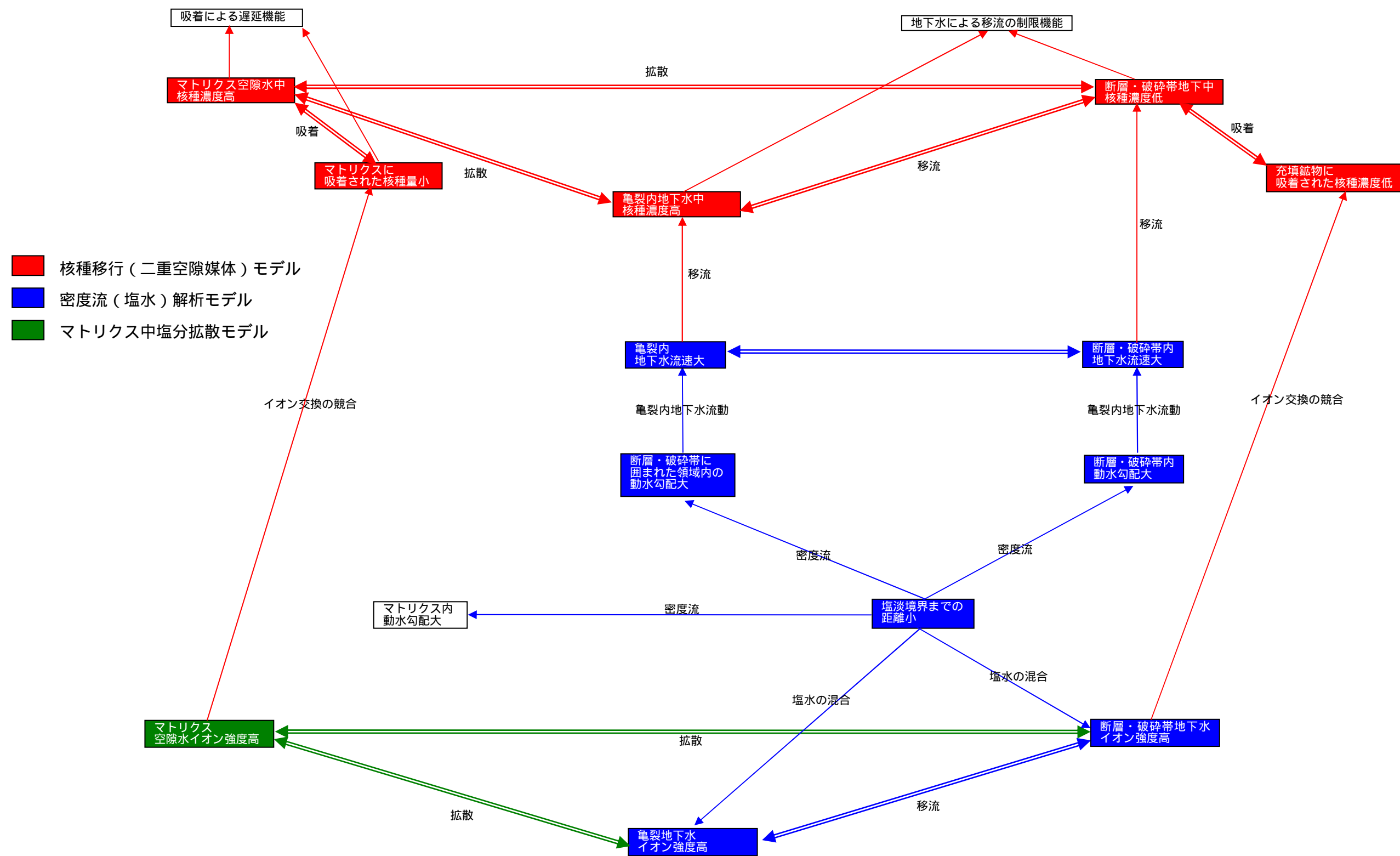


図 2.2-13 ファーフィールドにおける変動シナリオの例：処分場近傍の塩淡水境界の影響に関する解析モデルフローチャート（関連度 1 以上）

表 2.2-6 処分場近傍の塩淡境界の影響に対応する解析ケース設定
のための変動要因（パラメータ）

パラメータ	変動の方向	対応する不確実性要因
亀裂中地下水流速	増大	塩淡境界近傍での地下水の上向き流れの可能性
断層・破砕帯地下水流速	増大	
岩石マトリクス中での核種分配係数	減少	塩水中の陽イオンとの競合によるイオン交換性の吸着量の低下の可能性
断層・破砕帯内の充填鉱物における核種分配係数	減少	

2.2.3. 計算機を使用した処理技術の検討

前節までに述べた状態 FEP ステータス及びサブプロセスについての相関関係マトリクスは、詳細なレベルで見れば数百行の正方行列となり、手動でこれを取り扱い連鎖の抽出やスクリーニング等の操作を行うことは非効率であり、また、誤りの原因にもなる。そこで、今回の検討は、以下に述べるような簡易な解析用ツールのプロトタイプを作成し、これを用いて行った。ただし、現状の簡易ツールでは、ループを含むインフルエンスダイアグラムを自動的に描画することができず、複数の樹形図を分割して出力し、最終的にはユーザーが手動で統合する必要がある。

2.2.4. 課題の抽出

本年度開発したシナリオ構築及び解析ケース設定の手法は、ニアフィールド及びファーフィールドにおける基本シナリオ及び変動シナリオの構築に対して適用性が確認された。今後、この手法をより確実なものとし、実務的なワークフレームとしての適用性を高めるためには以下のような課題があるものと考えられる。

(1) ソフトウェアの利用による分析負荷の軽減

今回の例題演習では、状態 FEP のステータスまでを含んだ詳細な相関関係マトリクスの作成及びこれを用いた FEP 連鎖の抽出を一部手動で行った。しかしながら、この作業は煩雑なものであり、全体システムに対応する大規模なマトリクスについての検討を手動で行うことには限界があるものと考えられる。そこで、前節で述べた計算機を用いた処理手法を確立し、これを用いて検討の効率化を図ることが重要な課題になるものと考えられる。

計算機を用いた処理手法を確立することは、

- ・ シナリオ解析手法のアルゴリズムとしての明確化
- ・ 抜け落ち等に対する品質管理の向上

といったメリットも同時にもたらすものと考えられる。なお、今後作成するソフトウェアにおいては、本年度作成した簡易ツールの諸機能に加えて、以下の機能を付加することが重要と考えられる。

- ・ 複数の上流側ステータスが一つのサブプロセス FEP に影響を及ぼす、あるいは複数のサブプロセス FEP が一つの下流側ステータスに影響を及ぼすような状況で、これらが同時に成立しなければ下流側に影響が伝播しないことを定義する機能
- ・ 相関関係マトリクスの編集画面において画面分割を行うことにより、両軸あるいは対角要素から離れた部位の作業でも対応する状態 FEP を目視できるようにする機能
- ・ ステータス及びサブプロセス FEP 間の関係の連鎖を、樹形図の集合ではなく、ループを含んだインフルエンスダイアグラムとして自動的に描画する機能
- ・ 状態 FEP とそのステータス、あるいはプロセス FEP とサブプロセス FEP といった階層構造をインフルエンスダイアグラムにも持ち込み、状態 FEP とプロセス FEP によって記述された概要版のインフルエンスダイアグラムに対して、バリア毎、時期毎（例えば、オーバーパック開口前後）、あるいは現象の分野毎（核種、化学・放射線、水理・物質移動、熱、力学、等）といった視点を用途に応じて指定することにより、該当する FEP のみが詳細なレベルにまで細分化されて表示される機能

- ・ ステータス及びサブプロセス FEP のグループを解析モデルと対応付けるような入力を可能とする機能
- ・ 上記の入力情報に基づき、FEP 間のインフルエンスダイアグラムを解析モデルフローチャートに変換する機能

(2) 他の研究開発行為との連動を含んだ例題への適用

本章の冒頭に述べたように、近年、シナリオ解析は、地層処分の性能評価に関する多様な研究の成果や情報を統合する役割を担ってきており、他の研究項目との密接な連携を反復的に行う必要が生じている。例えば、変動シナリオに対応する解析ケースの設定は、現象解析や試験研究あるいは地質環境調査や感度解析といった他の研究と連携することによってはじめて完結するものである。この意味からは、本手法の実務的な適用性を高めるために、これらの研究の成果を反映する方法や逆にこれらの研究の対象の抽出や重要度分類を行う方法を具体化すること、及び現実的な例題によってその適用性を確認することが課題になるものと考えられる。

(3) 外部事象への適用

今回開発した手法は、冒頭に述べたように、基本シナリオ及び内部事象に起因する変動シナリオを対象としたものである。しかしながら、外部事象に起因する影響を、今回抽出したニアフィールドあるいはファーフィールドの状態 FEP ステータスの変化として定義することができれば、それ以降の影響伝播については本章の検討と全く同一の手法によって分析することが可能と考えられる。さらに、外部事象（発端事象）から、ニアフィールドあるいはファーフィールドのステータスまでの影響連鎖についても、新たに該当するシステムを記述し、状態 FEP やそのステータスを定義して相関関係マトリクスを作成することによって関連の連鎖を抽出するという基本的には同じ手法が適用可能であると予想される。そこで、今後は、具体的な外部事象を例として、これを発端とするような変動シナリオの構築についての例題演習を通じて、手法の具体化及び適用性の確認を行うことが課題になるものと考えられる。

(4) 複数の指標に基づく総合的なスクリーニング方法の開発

今回の手法では、安全上好ましい現象の発現や逆にこれらを阻害する影響に関する「関連度」という単一の指標に基づくスクリーニングを行ったが、これを拡張して、社会的な注目度や現状の知見や専門家の合意の程度といった複数の指標を定義し、これらについての重み付けされた和に基づきスクリーニングを行うことも可能である。この場合、種々のステークホルダーは多くの指標に対して異なる重みを与えることが予想され、ユーザーの視点に応じたシナリオ解析を行うことも可能と考えられる。

3. 変動シナリオに関する解析技術の検討

3.1 高レベル放射性廃棄物と使用済燃料の処分に関する変動シナリオの調査

ここでは高レベル放射性廃棄物や使用済燃料処分を検討している国々において、性能・安全性評価の観点からどのようなシナリオが選択されているのか、またそれらのシナリオがどのように取り扱われているかについて調査した。

具体的には日本に加えて以下の6カ国で調査を行った。

- ・ ベルギー
- ・ カナダ
- ・ フィンランド
- ・ スウェーデン
- ・ スイス
- ・ 米国

調査を行うにあたって、最新の性能・安全評価を参考にした。また、専門家達の意見をもとに、シナリオ選定とその取り扱いに関連する記述を行ったケースもある。

この調査結果から得られた主な情報を表 3.1-1 にまとめた。

表 3.1-1: 各国でのシナリオ選定とその取り扱いについての調査

国 [評価]	廃棄物処分の概念	基本シナリオ	変動シナリオ	備考
ベルギー [SAFIR2]	高レベル放射性廃棄物 粘土質母岩	通常進展シナリオ: 予測進展; 決定論的計算	8つの変動進展シナリオ: そのうち以下の6つは定性的な扱い: 採掘、(温室効果)、断層活性化、寒冷的な氷河作用、閉鎖不良、(人工バリアの初期欠陥)、ガス移動、試掘	地質学的変動、気候変動については通常進展シナリオに分類される。決定論的評価
カナダ [EIS]	使用済燃料 結晶質岩	中心的シナリオ(感度分析を可能にするシナリオ群): 通常、または予測可能なプロセス	ボーリング開孔シナリオ: 偶発的な人間侵入 地震、侵食、氷河作用、隕石、火山活動以外の考えられる事象についての議論	確率論的リスク解析による 取り扱い: リスクは全ての重要なシナリオの合計。
フィンランド [TILA-99]	使用済燃料 結晶質岩	通常進展: 4周期にわたる検討; 地質学的、水理地質学的環境は同等と仮定。	想定シナリオ: 処分場への融氷水の浸入(酸化性状態)、後氷期の断層運動	TILA-99の焦点は主に通常進展シナリオである。正式なFEP解析やシナリオ構築はない。決定論的評価
スウェーデン [SR97]	使用済燃料 結晶質岩	基本シナリオ: 現在の気候以外の予測進展が維持される	4つの変動シナリオ: キャニスターの欠陥、気候に起因した変動、テクトニクス/地震、人間侵入(掘削)	体系的なシナリオ構築プロセスはない。全5シナリオの決定論的評価。

表 3.1-1：各国でのシナリオ選定とその取り扱いについての調査（続き）

国 [評価]	廃棄物処分の概念	基本シナリオ	変動シナリオ	備考
スイス [Kristallin-I]	高レベル放射性廃棄物結晶質岩	リファレンスシナリオ: 長期の地質学的変動、気候変動を無視	代替シナリオ: 地下水深井戸; 坑道閉鎖不良; 気候に関する代替シナリオ; 人間活動(定量的でない)、パラメータ変化で扱う長期の地質学的変動、気候変動シナリオ	決定論的評価; 代替モデルを想定したリファレンスシナリオの不確実性解析
米国 [TSPA 2000]	使用済燃料不飽和凝灰岩	予定シナリオ: もっとも起こり得る進展	破壊的シナリオ: 火山活動、地震活動、人間侵入(偶発的掘削)	低確率で発生する事象以外の事象に関する議論 確率論的評価
日本 [H12]	高レベル放射性廃棄物結晶質岩や堆積岩	基本シナリオ (リファレンスシナリオ): 現在の地質学的環境は不変、EBS(人工バリア)が機能し、現在の地表環境が維持されている状態	地下水変動シナリオ: 降起・侵食、気候及び海水準変動、 接近シナリオ: マグマ貫入によるバリアの崩壊、人間侵入	決定論的評価 立地を基準とした基本シナリオからの選定: 地震や断層運動、火成活動、概略計算による接近シナリオ

3.2 変動事象選定のための技術的根拠

3.2.1 他の国家プログラムにおける地質学的事象取り扱いに関する情報

本調査を通じ、カナダの AECL のように、処分場近隣で生ずる事象の発生可能性が無視し得るほど小さいと考えて、破壊的な地質学的シナリオの定量的評価が行われなかった例や、その他（スイスの NAGRA のように）、そうではあるが、概略的な計算を通じ、発生可能性の低い事象から受けると考えられる影響の見通しをたてようとした例が見受けられた。

地質学的事象を定量的に評価した例については、数ケースしかないものの、地震（スウェーデンの SKB）、火成活動（米国の DOE）の例があった。いずれのケースでも、このようなシナリオを検討するための技術的根拠の検証は、これらの地質学的事象の規模、発生場所、影響範囲を過去のデータから推定することに大きく依存したものとなっており、さらに、いずれのケースでも、サイト固有の特性に大きく基づいた詳細情報の蓄積が行われた。このことは、他国の計画での地質学的シナリオに使える技術的根拠としての範囲（限界）を表明している。

よって、他国での議論や情報を日本のケースに利用する場合には制限がある。従って、日本の変動事象選定のための技術的根拠を裏付ける最も適切な情報源は、日本の地質学的事象の議論に依存したものと考えられる。このような結論は、日本のテクトニクス場と比べた他国の地質学的場との違いを考えると、当然のことである。一般に、日本のテクトニクス場は、西欧や北米と比べ、重大な事象（地震、断層活動、火成活動）の発生頻度が高い、ということが指摘される。

3.2.2 日本における地質学的変動事象選定の技術的根拠

深地層処分場立地の適切性を評価する上で重要な地質学的情報として以下のようなものがあげられる。

- ・ その地域が数 10 万年に亘って地質学的に安定であることの検証
- ・ 過去に地質学的事象が生じたことがある場合には、その地域におけるそ

の地質学的事象(例えば、断層活動、火成活動)の発生頻度、密度、空間分布に関する情報

これらの情報は、まさにサイト固有の特性の詳細調査結果から得られる。このような詳細情報が得られない場合のある地質学的変動事象を選定する最善の方法としては、なるべく広域に亘る現存の地質学的データ情報を活用することである。

現存する情報について言えば、現在ある知見の利点を活用して日本の相対的に安定した地域に処分場が決定できることは合理的なことと思われる。例えば、そのような安定地域での火山活動発生可能性は無視できるほど低いであろうし、マグニチュード 8 の地震が発生する地域を避けたところに処分場を建設することはあり得ることである。

本調査で得られたいくつかの主要な知見で次節での変動タイプ提案の基となるものをあげると以下の通りである。

- ・断層活動
 - 大きな活断層の平均変位速度は 1000 年当り 0.01m ~ 10m である。
 - 埋没したかあるいは 1000 年当り 0.01m 以下の変位速度の活断層は特定調査技術でも見落し得る。
- ・地震
 - 地震が深部の地質環境に与える影響には限りがあると考えられる。
- ・火成活動
 - 火山の配列は、プレートの沈み込み構造に従った予測可能なものである。
 - 火山フロントの位置が経時的に変化する速度は、10 万年当り数 100m から数 km と推定される。
 - 新しい火山の出現場所は既存の火山から数 km 以内である。

3.3 変動事象の分類(ケース設定)の検討

変動シナリオの設定のための方法論は、体系的な方法で広範なシナリオに適用できるようできるだけ一般的なものにしなければならない。このような第 2

次取りまとめのリファレンスケースを前提とすると、様々な変動シナリオの設定の目的は、3.2節で述べた情報と結論をできる限り考慮してこれらの変動がリファレンスケースの特徴に与える影響を研究することとするべきである。

出発点として、変動シナリオは、発生様式として、起点事象に適用される3つの主要要素（特性）に基づいて選定し得る。

- (a) 発生場所 - 処分場とそのバリアからどれくらい離れたところで起点事象が発生するか（図 3.3-1）
- (b) 発生規模 - 起点事象の大きさはどれくらいか（図 3.3-2）
- (c) 発生時期 - 起点事象はいつ発生するか（図 3.3-3）

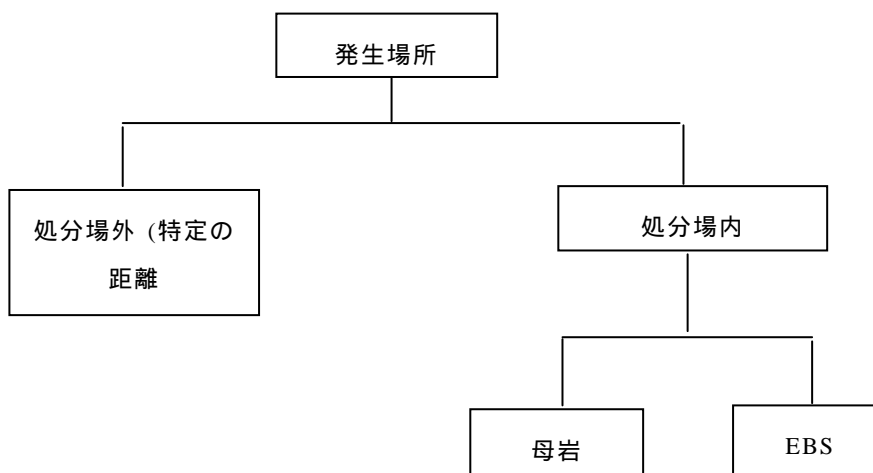


図 3.3-1 起点事象の発生場所の取り扱い

影響パターンは、発生様式と分離して検討されるべきではなく、むしろ、変動シナリオを細分類または特定する際の起点事象の特性検討中に合わせて検討されるべきである。

特性検討プロセスでの指針となる根拠は以下の通りである。

- ・ 発生場所と規模（及び形態）だけが、起点事象の最初の特性を表わす要素となるべきである。事象がいつ発生するかについては、発生場所と規模に基づく影響の性質が特定されてから設定すべきである。
- ・ 発生時期は、結果として生じる影響が間接的であるケース以外は、処分

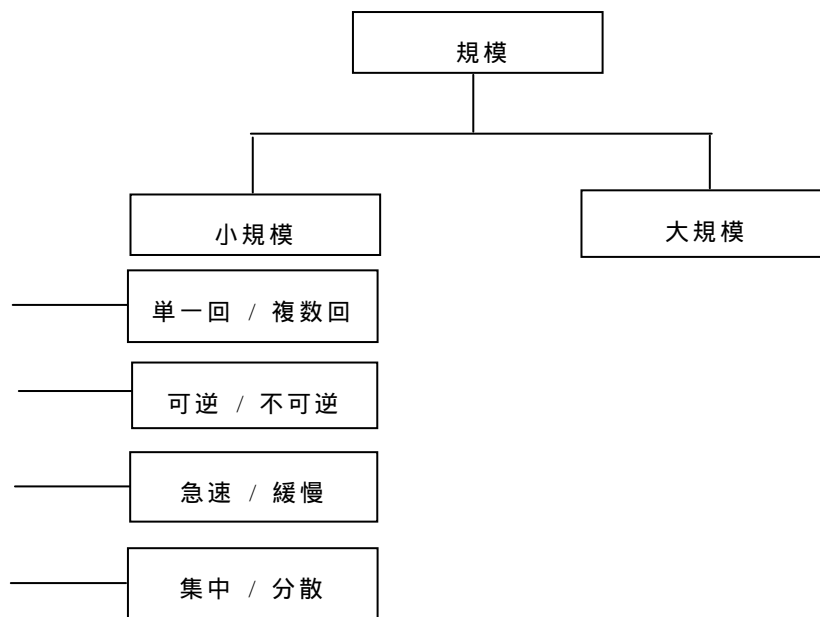


図 3.3-2 起点事象の発生規模の取り扱い

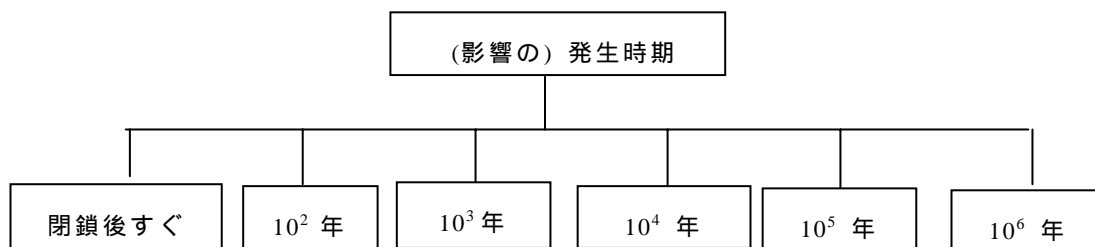


図 3.3-3 起点事象の発生時期の取り扱い

場内の影響の特性とより関係がある。影響が間接的な場合、主要な影響は処分場外で発生するが、例えば、地下水化学または地下水流の変化のように、徐々に処分場内に影響を与える。このような状況下では、事象が t 時点で発生した場合、処分場内の影響は $t+x$ 時点で発生する。

- ・ 他の特性は「周期的」及び「非周期的」である。あるシナリオでは、例えば、「気候変動」や「海水準変動」のように表現することができるが、「周期的」及び「非周期的」な特性は、「複数回の事象」として表現できるので、この特性は明示しない。
- ・ 空間分布（集中または分散）は影響とより関連があり、表 3.3-1 で示される「直接的 / 間接的」の要素に含まれるので、「空間分布」も明示しない。

表 3.3-1：変動シナリオを分類するための検討要素

要素 / 特性	起点事象	結果として生じる主要な影響	備考
発生場所	処分場外	間接的 直接的 - 全体的	例：地質圏における地下水化学の変化。 地震事象等全体的な影響により処分場全体に影響が生ずる。
	処分場内 - 母岩	直接的 - 局所的 直接的 - 全体的	事象の発生した場所で影響が発生する。 処分場全体（母岩及び EBS）に影響を与える。
	処分場内 - EBS	直接的 - 局所的 直接的 - 全体的 直接的 + 間接的	事象の発生した場所で最初の影響が発生する。 処分場全体（母岩及び EBS）に影響を与える。 間接的な例 - 地下水流動状況の変化
規模	小規模	小規模 大規模	例：地震揚水 用語は定性的であるが、おそらく可能性は低い。
	大規模	小規模 大規模	
形態	単一事象 - 急速 単一事象 - 急速	一時的（可逆的） 段階的变化（不可逆的）	例：異なる時期に生ずる地震揚水 段階的变化が連続して生ずること
	単一事象 - 長期的	時間とともに累積的に変化	単一回の長期的な事象で扱える。
	複数回事象 - 急速	一時的（可逆）	
	複数回事象 - 長期的	累積的变化 累積的	

注：「全体的」という言葉は、処分場全体で発生する最初の影響を説明するために使用される。即ち、局所的または特定のバリアではないことを意味する。影響における「間接的」という言葉は、最初の影響が処分場外で発生するが、最終的に処分場システムに影響（二次的）を与える影響を意味する。

- ・ ある特性 / 要素は、変動シナリオの性質となる。即ち、それらは変動シナリオ内では変化せず、それ故、変動シナリオの数は変わらない。例えば、地震事象は常に単一の不連続で急激な事象である。同じ理由で、あるシナリオには適用されない要素が存在する。
- ・ スケール：この段階では、「小規模」及び「大規模」と比較して、低度 / 中度 / 高度といった三段階のスケールを検討する利点はない。ある意味において、「小規模」はおそらく三段階モードの中度と等しく、「低度」（三段階モード）は「無視できる」と等しい。明らかに、これらの用語は定性的なものであり、やや任意的である。規模 / スケールの特性を表わすよい方法として考えられるのは、1つ以上のバリアにおいて機能の喪失が発生するかどうかである。このような状況では、「大規模な」影響はバリア機能の喪失と等しく、小規模な影響は EBS の破損はあるがバリア機能の喪失はないことと等しくなる。
- ・ スケール：大方の場合、事象のスケールは影響のスケールほど重要ではない。起点事象のスケールが検討されなければならない理由はこのようなスケールの事象が発生し得るかどうかを特定するためであり、もし発生する場合には発生可能性を特定することが示唆される。
- ・ スケール：特定のシナリオを検討しなければ、「小規模な」事象が「大規模な」影響をどのように生じさせるかを理解するのは難しい。しかし、スケールは相対的なものである。それ故、例えば、「小規模な」火成事象は処分場外で発生するが、温度変化は、処分場内で大規模な影響を生じさせるのに十分な大きさとなり得る。しかし、これらの用語はまだ定性的である。この場合、「大規模な」影響が「大規模」事象=>「大規模」影響という連鎖によって結び付けられる例もあり得る。
- ・ T-H-M-C 影響：このような影響は、変動シナリオが特定されてから、FEP に関して分析される（3.4 節、3.5 節での検討の一部として）。ある一つのシナリオで様々な変動を解析する場合に特定の影響（T-H-M-C FEP）とその程度が本質的に同じであるという理由で、変動の数を低減できる状況が生じ得る。

3.4 変動シナリオの設定と概念モデルの構築

3.4.1 変動シナリオの設定

最初のステップは、3.3 節で選択された要素に関して、断層活動、地震事象、火成活動の変動シナリオを検討することである。3つのシナリオの要素と結果の関係を表 3.4-1 に示す。表 3.4-1 の 2-4 欄の「Yes」は、検討対象のシナリオにある要素が適用されることを意味している。「No」は、ある要素が適用されないまたは関連がないことを意味している。これに基づき、各変動シナリオにおける変動を検討した結果を表 3.4-2～表 3.4-4 に示す。但し、EBS 内または処分場敷地を起点とする地震事象の可能性は、極端に低いと考えられる。さらに、このような 2 つの事象（処分場内、EBS）の影響で違いが生じる可能性は全く非現実的である。それ故、S5 から S12 までの変動は、変動の体系的取り扱いに従って完全にするために記載されているが、これらの変動を計算ケースとして検討することは推奨しない。また、EBS 内または処分場敷地での火成活動の発生の可能性は極めて低いと考えられる。それ故、IG5 から IG12 までの変動は、変動の体系的取り扱いに従って完全にするために記載されているが、これらの変動を計算ケースとして検討することは推奨しない。

表 3.4-1 変動シナリオと 3.3 節で設定された様々な要素との関係

要素 / 特性	断層活動	地震事象	火成活動
処分場外	Yes	Yes	Yes
処分場内（母岩）	Yes	Yes	Yes
処分場内(EBS)	Yes	Yes	Yes
小規模	Yes	Yes	Yes
大規模	Yes	Yes	Yes
急速	Yes	Yes	Yes
緩慢	No	No	No
単一回事象	Yes	Yes	Yes
複数回事象	Yes	Yes	Yes
一時的（可逆的）最初の影響	No	Yes	No
段階的 / 累積的变化（不可逆的）最初の影響	Yes	No（断層活動を除く）	Yes
局地的最初の影響（起点事象の発生サイトで発生）	Yes	No	No
全体的（処分場全体）最初の影響	No	Yes	Yes

注：厳密には、「一時的」または「段階的 / 累積的变化」と「局地的 / 全体的」という要素は、外部（変動）事象自体よりもむしろその事象から及ぼされる最初の影響に適用される。3.3 節の表 3.3-1 の脚注を参照。

表 3.4-2 断層活動の変動シナリオの簡単な説明

変動	説明
F1	処分場外の断層活動；小さな変位（数 10 cm）
F2	処分場外で発生する複数回の断層活動；大規模な断層（単一回の活動 / 事象）と等価な累積的変位（数メートル）
F3	処分場外の断層活動；数メートルの変位
F4	処分場外で発生する複数回の断層活動；数 10メートルの累積的変位
F5	処分場内（母岩）の断層活動；数 10 cm の変位
F6	処分場内（母岩）で発生する複数回の断層活動；大規模断層（単一回活動 / 事象）と等価な累積的変位（数メートル）
F7	処分場内（母岩）の断層活動；数メートルの変位
F8	処分場内（母岩）で発生する複数回の断層活動；数 10メートルの累積的変位
F9	処分場内（EBS）の断層活動；数 10 cm の変位。緩衝材の破損 - 移流の発生。
F10	処分場内（EBS）で発生する複数回の断層活動；大規模断層（単一回活動 / 事象）と等価な累積的変位（数メートル）。緩衝材の破損 - 移流の発生。
F11	処分場内（EBS）の断層活動；数メートルの変位。1つのオーバーパックの破断。緩衝材の破損 - 移流の発生。
F12	処分場内（EBS）で発生する複数回の断層活動；数 10メートルの累積的変位。複数のオーバーパックの破断。緩衝材の破損 - 移流の発生。

表 3.4-3 地震事象の変動シナリオの簡単な説明

変動	説明
S1	処分場からかなり離れた場所で発生する地震；マグニチュードの小さな事象
S2	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震；マグニチュードの小さな事象
S3	処分場からかなり離れた場所で発生する地震；S1 よりマグニチュードの大きな事象
S4	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震；S2 よりマグニチュードの大きな事象
S5	処分場内（母岩）で発生する地震；マグニチュードの小さな事象
S6	処分場内（母岩）で発生する一連の地震；マグニチュードの小さな事象
S7	処分場内（母岩）で発生する地震；マグニチュードの大きな事象 - S5 より大きい
S8	処分場内（母岩）で発生する一連の地震；マグニチュードの大きな事象 - S6 より大きい
S9	処分場内（EBS）で発生する地震；マグニチュードの小さな事象
S10	処分場内（EBS）で発生する一連の地震；マグニチュードの小さな事象
S11	処分場内（EBS）で発生する地震；マグニチュードの大きな事象 - S9 より大きい
S12	処分場内（母岩）で発生する一連の地震；マグニチュードの大きな事象 - S10 より大きい

表 3.4-4 火成活動の変動シナリオの簡単な説明

変動	説明
IG1	処分場から離れた場所（15km）での火成活動；30 万年間の処分場周辺の熱的フィールドの増加。
IG2	処分場から離れた場所（15km）での一連の火成活動；少なくとも 100 万年間続く処分場周辺の熱的フィールドの増加。
IG3	処分場から離れた場所（10km）での火成活動；30 万年間の処分場周辺の熱的フィールドの増加。IG1 よりも温度の上昇は大きい。
IG4	処分場から離れた場所（10km）での一連の火成活動；少なくとも 100 万年間続く処分場周辺の IG2 よりも大きな熱的フィールドの増加。
IG5	処分場（母岩）内の火成活動；30 万年間の熱的フィールドの増加。温度の上昇は IG1/IG3 よりも大きい。
IG6	処分場（母岩）内の一連の火成活動；少なくとも 100 万年間続く熱的フィールドの増加。温度の上昇は IG1/IG3 よりも大きい。
IG7	処分場（母岩）内の火成活動；30 万年間の熱的フィールドの増加。温度の上昇は IG5 よりも大きい。
IG8	処分場（母岩）内の一連の火成活動；少なくとも 100 万年間の熱的フィールドの増加。温度の上昇は IG6 よりも大きい。
IG9	処分場内（EBS）の火成活動；本文を参照。
IG10	処分場内（EBS）の一連の火成活動；本文を参照。
IG11	処分場内（EBS）の火成活動；本文を参照。
IG12	処分場内（EBS）の一連の火成活動；本文を参照。

3.4.2 変動シナリオのための概念モデルの構築

3.4.2.1 概念モデル - 断層活動

3.4.2.1.1 処分場外

断層が処分場外で発生するため、一連の変動に関連した直接的な影響はないはずである。それ故、可能性のある主要な間接的な影響は以下の通りと考えられる。

- ・ 新しい断層に沿って流入する酸化性地下水によってもたらされる地下水化学の変化
 - ・ 新しい断層によって処分場に流入する地下水流路の変化が生ずることにより、地下水流速が増加（このような変化は処分場から離れたところで最初に発生するため間接的影響と考えられる）。
 - ・ リファレンスケースよりも処分場に近いところに新しい断層ができることによってもたらされる処分場から流れる地下水流路の変化
- 数 10cm の小規模な変位 (F1) が流速の増加を生じさせるとは考えにくい。

しかし、この断層によって酸化性地下水が処分場内に流入することが想定される。F2 の場合、数メートルの累積的変位によって地下水化学が変化する (F1) のに加え、地下水流速の変化 (増加) が生ずると想定される。

処分場外の断層の他の影響は、リファレンスケースとは異なる放射性核種の処分場外への移行経路である。明らかに、処分場から 100m 以上離れた場所での断層の発生は、移行経路に影響を与えない。そのため、新しく発生する断層は、処分場の境界から 100m 以下の任意の距離、例えば、50m (F3 と F4) に位置するべきである。F3 では、処分場の境界から 50m のところに新しい断層が 1 つだけ発生する。F4 では、この新しい断層によって (リファレンスケースと比べて) 異なる処分場からの移行経路が発生するとともに F1 と F2 に類似した断層がさらに発生する。これにより、地下水化学と処分場内への地下水流動流速が変化する。

3.4.2.1.2 処分場内 (母岩)

処分場内 (母岩) の断層からの主要な影響のいくつかは、処分場外での断層変位から生じる影響と類似している。主な違いは、EBS との近接さである。地下水化学と地下水流速の変化の可能性に加えて、処分場内で発生する断層活動は、直接的影響をもつ。特に、移行特性が EBS に近いという特徴をもつ経路の発生である。放射性核種は、リファレンスケースの断層または新しく活動した断層のいずれかを通して移行する。新しく活動した断層の場合の断層の移行特性として、F5 から F8 に向かって移動性がより大きくなる。F6 からの影響 (複数の小さな変位) は、F7 からの影響 (単一の大きな変位) と類似し、発生時期だけが異なると考えられる。F5 から F8 への影響を等級で表わすため、F5 と F6 の地下水化学または地下水流速に変化はないと想定する。

3.4.2.1.3 処分場内 (EBS)

緩衝材の遅延効果が喪失するとすれば、この一連の変動では、最大の影響が生じる。F11 と F12 の唯一の違いは、F11 では 1 つのオーバーパックが破断するのに対し、F12 では複数のオーバーパックが破断することである。

緩衝材の破損と 1 つまたはそれ以上のオーバーパックの破断 (F11 と F12)

のほかには、放射性核種は、検討した前述の一連の変動と同じように、リファレンスケースの断層または新しく活動した断層のいずれかを通して移行する。ここでも、新しく活動した断層の移動特性として、F9 から F12 に向かって移動性がより大きくなる。F5 から F8 の場合（3.4.2.1.2 参照）のように、F9 から F12 への影響を等級で表わすため、F9 または F11 の地下水化学または地下水流速に変化はないと想定する。

3.4.2.1.4 影響パターンのまとめ

表 3.4-5 では、3.4.2.1.1～3.4.2.1.3 での検討に基づいてまとめた断層活動シナリオの様々な変動から予想される主な影響と影響を受ける T-H-M-C FEPs を示す。明らかに、影響をさらに細かく等級で表わすために他の変動を追加することもできるが、体系的アプローチという意味では 12 の変動で十分であると考えられる。

表 3.4-5 断層活動の変動シナリオにおける主な影響のまとめ

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs
F1	処分場外の断層活動 小さな変位（数 10cm）	間接的、局所的；地下水化学の変化のみ。	地下水化学の変化 （還元性=>酸化性）
F2	処分場外の複数回の断層活動 数メートルの累積的変位	間接的；処分場の地下水化学と地下水流速の変化	C：地下水化学の変化 （還元性=>酸化性） H：地下水流速の増加
F3	処分場外の断層活動 数メートルの変位	間接的；処分場からの流路距離の減少（50m）	H：新しい地下水流路； 流路距離の減少（50m）
F4	処分場外の複数回の断層活動 数 10メートルの累積的変位	間接的；地下水化学と地下水流速の変化；流路距離の減少（50m）	C：地下水化学の変化 （還元性=>酸化性） H：地下水流速の増加 流路距離の減少（50m）
F5	処分場内（母岩）の断層の活動 数 10cm の変位	直接的；地下水流路の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（10m）	H：流路距離（10m）と移動特性（新しい断層と母岩）の変化
F6	処分場内（母岩）の複数回の断層活動 数メートルの累積的変位	直接的；地下水流路と地下水流速の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（10m）	H：地下水流速の増加； 流路距離（10m）と移動特性の変化

表 3.4-5 断層活動の変動シナリオにおける主な影響のまとめ（続き）

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs
F7	処分場内（母岩）の断層活動数メートルの変位	間接的と直接的；地下水化学（断層のみ）と地下水流速の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（10m）	C：断層移行においてのみ地下水化学の変化（還元性=>酸化性） H：地下水流速の増加；流路距離（10m）と移動特性の変化
F8	処分場内（母岩）の複数回の断層活動数10メートルの累積的変位	間接的と直接的；地下水化学と地下水流速の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（10m）	C：地下水化学の変化（還元性=>酸化性） H：地下水流速の大きな増加；流路距離（10m）と移動特性の変化
F9	処分場内（EBS）の断層活動数10cmの変位 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的；緩衝材の小さな破損 - 移流の発生；地下水流路の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（0m）	H：流路距離の変化（0m）；緩衝材中の移流
F10	処分場内（EBS）の複数回の断層活動数メートルの累積的変位 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的；地下水化学の変化；緩衝材の破損 - 移流の発生；地下水流速と地下水流路の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（0m）	C：地下水化学の変化（還元性=>酸化性） H：地下水流速の増加；流路距離（0m）と移動特性の変化
F11	処分場内（EBS）の断層活動数メートルの変位 1つのオーバーパックスの破断 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的；オーバーパックスの破断；緩衝材の大きな破損 - 移流の発生；地下水流路の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（0m）	H：地下水流路の変化；流路距離（0m）と移動特性（断層）の変化
F12	処分場内（EBS）の複数回の断層活動数10メートルの累積的変位 複数のオーバーパックスの破断 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的；緩衝材の大きな破損；複数のオーバーパックスの破断；緩衝材中の移流の発生；地下水流路の変化；（新しい）断層への流路距離の減少（0m）	C：地下水化学の変化（還元性=>酸化性） H：地下水流速の増加；流路距離（0m）と移動特性（断層）の変化

3.4.2.2 概念モデル - 地震事象

3.4.1 項では、処分場敷地内での地震事象の発生の可能性は極めて低いと記

載した。従って、この変動に関連する影響は、計算ケースの対象とすべきではない。それ故、ここでは、処分場外で発生する地震事象のみを検討する。

3.4.2.2.1 処分場外の地震事象

地震と関連した断層活動がない場合、変動間の影響の規模の違いの他には、大きな違いを想定することは難しい。それは、主に地震が全域的に発生する、即ち、地震波は処分場全体とその周辺にわたって生じるからである。そのため、影響のマグニチュード（規模）の変化は処分場 / EBS レベルで生じる。

S1 では、小さなマグニチュードの単一回の地震事象が一時的（可逆的）影響即ち、地震揚水と地下水化学の変化の可能性のみを伴い、発生すると想定される。それ故、この変動は重大な長期的な影響を生じるとは想定されず、無視でき得ると考えられる。

S2 では、緩衝材中のオーバーパックの若干の移動が想定される。しかし、緩衝材中の（放射性核種の）移行経路がリファレンスケースと比べて減少すると考えられるが、このような移動がオーバーパックと母岩を接触させるには不十分である。即ち、緩衝材の隔離は維持される。

S3 と S4 では、地盤 / 母岩の加速度の程度は緩衝材中のオーバーパックの沈下を引き起こすほど大きいと想定する。そのため、緩衝材の隔離機能は喪失する。さらに、これらの変動では、地下水流速が増加すると考えられる。

緩衝材中のオーバーパックの沈下は、特に、緩衝材が飽和し、膨潤圧が維持された場合、推論にすぎないと考えられる。このため、検討している影響につながるこのような地震事象の最も発生し得る発生時期は、緩衝材の完全な飽和に至る前と考えるべきである。即ち、処分場閉鎖後数十年以内である。そのため、この観察結果は、計算ケースにおける発生時期の選定に影響を与える。

表 3.4-6 は、地震事象の変動シナリオにおける主な影響と影響を受ける T-H-M-C FEPs のまとめを示す。

表 3.4-6 地震事象の変動シナリオにおける主な影響のまとめ

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs
S1	処分場からかなり離れた場所で発生する地震 マグニチュードの小さな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水流と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。	C：地下水化学の可逆的变化 - 無視 H：地下水流の可逆的变化（地震揚水） - 無視 M：応力場の小さな変化
S2	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震 マグニチュードの小さな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水流と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。 緩衝材中のオーバーパックのわずかな移動	C：地下水化学の可逆的变化 - 無視 H：地下水の流れ方向の可逆的变化（地震揚水） - 無視 緩衝材中の経路長の減少（50%） M：応力場の小さな変化
S3	処分場からかなり離れた場所で発生する地震 S1 よりマグニチュードの大きな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水の流れ方向と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。 局所的影響：オーバーパックが母岩と接触	C：地下水化学の可逆的变化 - 無視 H：地下水の流れ方向の可逆的变化（地震揚水） - 無視 緩衝材機能の喪失 M：応力場の変化
S4	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震 S2 よりマグニチュードの大きな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水の流れ方向と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。地下水流速の増加を考慮。 局所的影響：オーバーパックが母岩と接触	C：地下水化学の可逆的变化 - 無視 H：地下水の流れ方向の可逆的变化（地震揚水） - 無視 地下水流速の増加 緩衝材機能の喪失 M：応力場の変化

3.4.2.3 概念モデル - 火成活動

3.4.1 項では、国の指針^{注1}に従ったサイト選定が実施されると想定した場合、処分場 / EBS 内で火成活動が発生する可能性は極めて低いと記載した。従って、この変動に関連する影響は、計算ケースの対象とすべきではない。それ故、ここでは、処分場外で発生する火成活動のみを検討する。

3.4.2.3.1 処分場外での火成活動

IG1 では、単一回の火成活動が約 5km の深度で立地除外区域、即ち、15km の地点で発生すると想定される。主な影響、熱的フィールドの増加は、本質的には全体的であり、処分場内とその周辺で生じる。熱的フィールドの増加し続ける期間の長さは、H12 評価^{注2}で実行されたモデリングに基づき、30 万年と想定される。

IG2 では、IG1 との唯一の違いは、立地除外区域の地点で複数回の火成活動が発生するという点である。この複数回の事象の影響は、より長期少なくとも 100 万年にわたる処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加である。

IG3 と IG4 では、起点事象のより大きな影響が想定される。これは、日本において火山活動域の移動の結果、約 5km の深度で処分場から 10 km の地点で火成活動が発生する場合を検討することによって考えられる。それに伴う熱的フィールドの増加はより大きく、30 万年間 (IG3) と 100 万年間 (IG4)、IG1 と IG2 と同じように発生する。

表 3.4-7 は、ここで検討された火成活動の変動シナリオにおける主な影響と影響を受ける T-H-M-C FEPs のまとめを示す。

注1 NUMO は、国として、既存の火山の中心から半径 15km 以内の地域を処分場の立地除外区域と設定している。

注2 JNC(1999b)の 2.4.2 項参照

表 3.4-7 火成活動の変動シナリオにおける主な影響のまとめ

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs
IG1	処分場から 15km の地点で 5km の深度で発生する火成活動	全体的な影響(処分場とその周辺); 処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加 ; 30 万年間持続	T : 母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H : 地下水流系の変化 M : 熱の上昇による応力場の変化 C : 温度上昇は化学的平衡に影響を与える
IG2	処分場から 15km の地点で 5km の深度で発生する一連の火成活動	全体的な影響(処分場とその周辺); 処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加 ; 処分場の寿命まで持続	T : 母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H : 地下水流系の変化 M : 熱の上昇による応力場の変化 C : 温度上昇は化学的平衡に影響を与える
IG3	処分場から 10km の地点で 5km の深度で発生する火成活動	全体的な影響(処分場とその周辺); 処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加 (IG1 よりも大きく増加) ; 30 万年間持続	T : 母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H : 地下水流系の変化 M : 熱の上昇による応力場の変化 C : 温度上昇は化学的平衡に影響を与える
IG4	処分場から 10km の地点で 5km の深度で発生する一連の火成活動	全体的な影響(処分場とその周辺); 処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加 (IG1 よりも大きく増加) ; 処分場の寿命まで持続	T : 母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H : 地下水流系の変化 M : 熱の上昇による応力場の変化 C : 温度上昇は化学的平衡に影響を与える

3.5 概念モデルのための計算モデルの構築

3.5.1 はじめに

本節の目的は、3.4 節の変動シナリオの適切な計算モデルによる評価方法を提案することである。そのため、本節の理論的な開始点は、第 2 次取りまとめにおけるリファレンスケース(JNC,1999a)で安全評価計算を実行するために使用された一連の計算モデルである。

3.4 節^注の表 3.4-5 ~ 表 3.4-7 では、各変動での温度 - 水理地質学 - 力学 - 化

^注 3.4.2 項参照。

学 (T-H-M-C) の影響の発生種類とこれらの評価方法を検討するために検討されてきた。これらの T-H-M-C 影響はリファレンスケースと相対している。結果を表 3.5-1 ~ 表 3.5-3 に提示した。表 3.4-5 ~ 表 3.4-7 の元の欄は(表 3.5-1 ~ 表 3.5-3 の各々において) ほぼ同様に残す。ただし、各計算ケースでのある変動の取り扱い方法と考慮すべきタイムスケールについて示す欄を追加している。

3.5.1.1 計算ケースの発生場所と発生時期の取り扱い方法

3.5.1.1.1 事象の発生場所

事象の発生場所は、特に断層活動の場合、変動シナリオの取り扱いにおいて、体系的になるように選定されてきた。それ故、最初の影響に関しては、影響の程度を等級で表わそうとしている。このような影響は、処分場外での断層の発生から緩衝材の破損を伴わない処分場内の断層の発生、最後に緩衝材が破損しオーバーパックが破断する処分場内の断層の発生へと増大していく。

処分場に対して特定の場所を正当化する特別な技術的根拠は存在しない。それ故、断層活動の一連の体系的な変動シナリオによってあらゆる可能性の範囲をカバーすることを目的とする。

同様に、地震活動の場合も、場所の選定を支援するために使う技術的根拠はない。場所については、処分場からの距離を任意とし、また特定していないが、起こると考えられる様々な影響の範囲を生成することを目的とする。

火成活動の場合、処分場からの距離の選定を支援する技術的根拠は、推察される火山前線の想定移動速度と NUMO の立地除外区域である。

3.5.1.1.2 発生時期

一連の発生時期は、以下の表の通り、計算ケースを実行するための根拠として示される。一連の発生時期の主な目的は、結果として生じる影響が評価される期間を提示することである。この意味で、発生時期は、多くの場合任意ではあるが、検討されている変動シナリオと矛盾しないように選定されるべきである。

例えば、火成活動の場合、NUMO の立地選定基準である活火山活動からの

最短距離に従えば、処分場から 10km ~ 15km 以内で発生する火成活動の可能性は最初の 10 万年間では極めて低い。それ故、火成活動変動シナリオの計算ケースは 10 万年以内の発生時期を含むべきではない。

3.5.2 断層活動シナリオのための計算ケースの取り扱い

断層活動に関しては、3.4 節で検討したように、連続する変動で影響を等級で表わすように変動シナリオを選定している。即ち、F1 から F2、そして、F12 へと移動していく。このような状況になったのは、主に変動シナリオ設定のための体系的アプローチのためである。それ故、処分場外で発生する断層活動では、影響の等級は最初から最後の変動へと移動していく。同様に、処分場内の断層活動も母岩のみの直接的影響から EBS の損傷を起こす処分場内の断層活動へと移動していく。

それ故、3 つの断層活動の発生場所の各集合体、(i) 処分場外、(ii) 処分場内 (母岩)、(iii) 処分場内 (EBS) の中で、それぞれ、2 つ以下の変動に焦点を当てるのが合理的である。従って、以下の変動シナリオを変動の最大数として評価し検討することを推奨する。

- ・ F1、F4、F5、F8、F9、F12

さらに、変動数を減らすために、3 つの各断層発生場所で最大の影響がある変動のみに焦点を当てることも合理的である。即ち、

- ・ F4、F8、F12

である。

表 3.5-1 変動シナリオの取り扱い - 断層活動

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
F1	処分場外の断層活動 小さな変位 (数 10cm)	間接的、局所的；地下水化学の変化のみ	C：地下水化学の変化 (還元性=>酸化性)	PHREEQC-酸化性状態 (Eh) に基づく間隙水化学のモデリング
F2	処分場外の複数回の断層活動 数メートルの累積的変位	間接的；処分場の地下水化学と地下水流速の変化	C：地下水化学の変化 (還元性=>酸化性) H：地下水流速の増加	PHREEQC-酸化性状態 (Eh) に基づく間隙水化学のモデリング MATRICS-地下水流速の増加を組み込む 発生時期：1,000 年、1 万年、10 万年後の酸化性状態の可能性
F3	処分場外の断層活動 数メートルの変位	間接的；処分場からの流路距離の減少 (50m)	H：新しい地下水流路； 流路距離の減少 (50m)	MATRICS - 流路 (新しい断層) への距離の減少を組み込む (50m)。 発生時期：1,000 年、1 万年、10 万年
F4	処分場外の複数回の断層活動 数 10 メートルの累積的変位	間接的；地下水化学と地下水流速の変化；流路距離の減少 (50m)	C：地下水化学の変化 (還元性=>酸化性) H：地下水流路 (新しい断層) と地下水流速の変化；流路距離の減少 (50m)；移動特性の修正	PHREEQC：酸化性状態 (Eh) に基づく間隙水化学のモデリング MATRICS - 流路 (新しい断層) への距離の減少を組み込む (50m)；地下水流速の増加。断層の移動特性 (開口幅と透水性) と亀裂のある母岩のマトリクスの移動特性 (有効間隙率、透水性) の範囲の評価 発生時期：1,000 年、1 万年、10 万年後の酸化性状態の可能性

表 3.5-1 変動シナリオの取り扱い - 断層活動 (続き)

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
F5	処分場内(母岩)の断層活動; 数 10cm の変位; EBS は損傷を受けない	直接的; (新しい)断層への流路距離の減少(10m)	H: 流路距離(10m)と移動特性(新しい断層と母岩)の変化	MATRICES-短縮された垂直断層への経路長を組み込む(100=>10m)。断層の移動特性(開口幅と透水性)と亀裂のある母岩のマトリクスの移動特性(有効間隙率、透水性)の範囲の評価 発生時期: 1,000 年、1 万年、10 万年
F6	処分場内(母岩)の複数回の断層活動 数メートルの累積的変位; EBS は損傷を受けない	直接的; 地下水流路と地下水流速の変化; (新しい)断層への流路距離の減少(10m)	H: 地下水流速の増加; 流路距離(10m)と移動特性の変化	MATRICES-短縮された垂直断層への経路長を組み込む(100=>10m)。断層の移動特性(開口幅と透水性)と亀裂のある母岩のマトリクスの移動特性(有効間隙率、透水性)の範囲の評価。地下水流速の増加。 発生時期: 1,000 年、1 万年、10 万年
F7	処分場内(母岩)の断層活動; 数メートルの変位; EBS は損傷を受けない	間接的と直接的; 地下水化学と地下水流速の変化;(新しい)断層への流路距離の減少(10m)	C: 地下水化学の変化(還元性=>酸化性) H: 地下水流路の変化; 経路長の減少(10m); 地下水流速の増加; 移動特性の変化	PHREEQC-酸化性状態に基づく地下水化学のモデリング(Eh) MATRICES-短縮された垂直断層への経路長を組み込む(100=>10m); 断層の移動特性(開口幅と透水性)と亀裂のある母岩のマトリクスの移動特性(有効間隙率、透水性)の範囲の評価。地下水流速の増加。 発生時期: 1,000 年、1 万年、10 万年後の酸化性状態の可能性
F8	処分場内(母岩)の複数回の断層活動 数 10メートルの累積的変位 EBS は損傷を受けない	間接的と直接的; 地下水化学と地下水流速の変化;(新しい)断層への流路距離の減少(10m)	C: 地下水化学の変化(還元性=>酸化性) H: 地下水流路の大きな変化; 流路距離(10m)と移動特性の変化; 地下水流速の増加	変動 F7 と類似。F7 よりも速い地下水流速と断層の移動特性のより大きな増加の評価 発生時期: F7 と同じ

表 3.5-1 変動シナリオの取り扱い - 断層活動 (続き)

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
F9	処分場内 (EBS) の断層活動 ; 数 10cm の変位 ; 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的 ; 局所的 ; 緩衝材の小さな破損 - 移流の発生 ; 地下水流路の変化 ; (新しい) 断層への流路距離の減少 (0m)	H : 地下水流路の変化 ; 流路距離の変化 (0m) ; 緩衝材中の移流 ; マトリクス拡散なし	MESHNOTE-放射性核種の拡散よりもむしろ移流による移行 MATRICS-短縮された垂直断層への経路長を組み込む (100=>0m) 。断層の移動特性 (開口幅、透水性) の範囲の評価 発生時期 : 1,000 年、1 万年、10 万年
F10	処分場内 (EBS) の複数回の断層活動 ; 数メートルの累積的変位 ; 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的 ; 地下水化学の変化 ; 緩衝材の破損 - 移流の発生 ; 地下水流速と地下水流路の変化 ; (新しい) 断層への流路距離の減少 (0m)	C : 地下水化学の変化 (還元性=>酸化性) H : 地下水流路の増加 ; 流路距離の減少 (0m) ; 移動特性の変化 ; 緩衝材中の移流 ; マトリクス拡散なし	変動 F9 と同じだが、さらなる化学的变化 PHREEQC-酸化性状態に基づく地下水化学のモデリング (Eh) ; 地下水 - 緩衝材の平衡 発生時期 : 1,000 年、1 万年、10 万年後の酸化性状態の可能性
F11	処分場内 (EBS) の断層活動 ; 数メートルの変位 1 つのオーバーパックの破断 ; 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的 ; オーバーパックの破断 ; 緩衝材の大きな破損 - 隔離機能の喪失 ; ; 廃棄体の劣化 ; (新しい) 断層への流路距離の減少 (0m)	H : 地下水流路の変化 ; 流路距離の減少 (0m) ; 移動特性の変化 ; マトリクス拡散なし ; 緩衝材中の移流 ; マトリクス拡散なし	MESHNOTE-溶解速度の増加 ; 放射性核種の移流による移行。 MATRICS-経路長の減少 (100=>10m) 発生時期 : 10 年、100 年
F12	処分場内 (EBS) の複数回の断層活動 ; 数 10 メートルの累積的変位 ; 複数のオーバーパックの破断 ; 緩衝材の破損 - 移流の発生	直接的、局所的 ; 地下水化学の変化 ; 緩衝材の大きな破損 - 隔離機能の喪失 ; 複数のオーバーパックの破断 ; 緩衝材中の移流の発生 ; (新しい) 断層への流路距離の減少 (0m)	C : 地下水化学の変化 (還元性=>酸化性) 。 廃棄体の溶解。 H : 地下水流路の変化 ; 流路距離の減少 (0m) ; 移動特性の変化 ; 緩衝材中の移流 ; マトリクス拡散なし	PHREEQC-酸化性状態に基づく地下水化学のモデリング (Eh) ; 地下水 - 緩衝材の平衡 PHREEQE-局所的平衡 - 溶解度制限の喪失 MESHNOTE-溶解速度の増加 ; 放射性核種の移流による移動 MATRICS-経路長の減少 (100=>0m) 発生時期 : 10 年、100 年後の酸化性状態の可能性

表 3.5-2：変動シナリオの取り扱い - 地震事象

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
S1	処分場からかなり離れた場所で発生する地震 マグニチュードの小さな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水流と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る	C:地下水化学の可逆的変化 - 無視 H:地下水流の可逆的変化（地震揚水） - 無視 M:応力場の小さな変化	ささいなケース - 計算ニーズはない。
S2	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震 マグニチュードの小さな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水流と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る； 緩衝材中のオーバーパックスのわずかな移動 - 母岩により近接	C:地下水化学の可逆的変化 - 無視 H:地下水の流れ方向の可逆的変化（地震揚水） - 無視 緩衝材中の経路長の減少（50%） M:応力場の小さな変化（S1より大きい）	MESHNOTE：緩衝材中の経路長の減少（50%） 発生時期：1,000年、1万年、10万年

表 3.5-2：変動シナリオの取り扱い - 地震事象（続き）

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
S3	処分場からかなり離れた場所で発生する地震 S1 よりマグニチュードの大きな事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水の流れ方向と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。 局所的影響：オーバーパックが母岩と接触 - オーバーパックの沈下と等価	C:地下水化学の可逆的变化 - 無視 H:地下水の流れ方向の可逆的变化（地震揚水） - 無視 緩衝材機能の喪失 M:応力場の変化	MESHNOTE：放射性核種の移流による移行；緩衝材中の拡散と緩衝材の吸着なし 発生時期：最初の 100 年間でオーバーパックが沈下するが、計算ケース（即ち、初期のオーバーパックの喪失はない）として 1,000 年、1 万年、10 万年を検討。
S4	処分場からかなり離れた場所で発生する一連の地震 S2 より大きなマグニチュードの事象	全体的な影響（処分場とその周辺）；地下水の流れ方向と地下水化学の一時的変化（地震揚水） - そのため、無視でき得る。地下水流速の増加を考慮。 局所的影響：オーバーパックが母岩と接触 - オーバーパック沈下と等価	C:地下水化学の可逆的变化 - 無視 H:地下水の流れ方向の可逆的变化（地震揚水） - 無視。地下水流速の増加。 緩衝材機能の喪失 M:応力場の変化；オーバーパックの初期の喪失（500 年）を考慮	MESHNOTE：放射性移流による移行；緩衝材中の拡散と緩衝材の吸着なし MATRICS：流速の増加 発生時期：発生時期：最初の 100 年間でオーバーパックが沈下するが、計算ケース（即ち、初期のオーバーパックの喪失がある）として 500 年を検討。

表 3.5-3：変動シナリオの取り扱い - 火成活動

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
IG1	処分場から 15km の地点で 5km の深度で発生する火成活動	全体的な影響（処分場とその周辺）；処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加；30 万年間持続	T：母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H：地下水流系の変化 M：熱の上昇による応力場の変化 C：温度上昇による化学的 / 地球化学的平衡の変化	FINAS：特定の温度上昇の考慮 母岩と EBS 構成要素を通る熱流の変化 HYDROGEOLOGICAL MODEL：より大きな対流を考慮 PHREEQC：温度上昇による間隙水化学の変化 PHREEQE：温度上昇による元素溶解度の変化 MESHNOTE：ガラス溶解速度の増加 MATRICS：地下水流速の増加 発生時期：10 万年、50 万年
IG2	処分場から 15km の地点で 5km の深度で発生する一連の火成活動	全体的な影響（処分場とその周辺）；処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加；処分場の寿命まで持続	T：母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H：地下水流系の変化；緩衝材の飽和（即ち、リファレンスケース） M：熱の上昇による応力場の変化 C：温度上昇による化学的 / 地球化学的平衡の変化	IG1 と同じだが、熱的フィールドの上昇期間がより長く持続する。 発生時期：10 万年、50 万年

表 3.5-3：変動シナリオの取り扱い - 火成活動（続き）

変動	簡単な説明	影響パターン	T-H-M-C FEPs	影響を受けるモデル-計算ニーズ-発生時期
IG3	処分場から 10km の地点で 5km の深度で発生する火成活動	全体的な影響（処分場とその周辺）；処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加(IG1 よりも大きく増加)；30 万年間持続	T：母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H：地下水流系の変化；緩衝材が不飽和 - 膨潤圧の喪失 M：全体的、局所的；熱の上昇による応力場の変化；膨潤圧の喪失 C：温度上昇による化学的 / 地球化学的平衡の変化	FINAS：特定の温度上昇の考慮（IG1 よりも高い 50 -100 ）；母岩と EBS 構成要素を通る熱流の変化 HYDROGEOLOGICAL MODEL:IG1/IG2 より大きな対流を考慮 PHREEQC：温度上昇による間隙水化学の変化 PHREEQE：温度上昇による元素溶解度の変化 MESHNOTE：温度上昇によるガラス溶解速度の増加；緩衝材中の地下水流の変化 MATRICS：地下水流速の増加（IG1/IG2 よりも大きい） 発生時期： 10 万年、50 万年
IG4	処分場から 10km の地点で 5km の深度で発生する一連の火成活動	全体的な影響（処分場とその周辺）；処分場内とその周辺での熱的フィールドの増加(IG1 よりも大きく増加)；処分場の寿命まで持続；30 万年間持続	T：母岩と EBS 構成要素の温度上昇 H：地下水流系の変化。緩衝材が不飽和 - 膨潤圧の喪失 M：熱の上昇による応力場の変化 C：温度上昇による化学的 / 地球化学的平衡の変化	IG3 と同じであるが、熱的フィールドの上昇期間がより長く持続する。 発生時期： 10 万年、50 万年

3.6 変動シナリオの様々な概念モデルのための感度分析

本節では、感度分析と 3.4 節で生成した様々な概念モデルの感度分析による評価方法とを記載する。変動を検討する際、起点事象から生じる主な影響の数は限られている。そこで、「断層活動」のもとでの変動シナリオについて、第一近似として、起点事象の規模とともに発生可能性と重要性が増大する影響を以下のように設定した。

- ・ 地下水化学の変化の可能性；還元性状態から酸化性状態への変化の可能性
- ・ 処分場から生物圏への垂直断層経路までの放射性核種の移行経路の短縮
- ・ 新しい断層の発生による地下水流動系の変化の可能性
- ・ 新しい断層活動による移行特性の変化の可能性
- ・ 緩衝材の移動特性の変化（拡散よりもむしろ移流）
- ・ 緩衝材の隔離機能の喪失
- ・ オーバーパックの隔離機能の喪失

他の影響も発生し得るが、上述した影響は処分場システムの性能に影響を及ぼすものと考えられる。これらの影響は以下のように細分類でき得る。

- ・ 母岩（サイト）の性能 / 安定性 / 特徴に関連した影響
- ・ EBS の性能に関連した影響

明らかに、母岩に関連したこれらの影響は、サイト固有の情報とデータに関連がある。

表 3.6-1～表 3.6-3 は、様々な変動シナリオの計算モデルと関連するパラメータのまとめを示す。サイト固有のデータに関連するパラメータがいくつか見られるが、これはさらに 3.7 節で検討する。

表 3.6-1 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ：断層活動

変動シナリオ	リファレンスケースに関連した可能性のある影響	パラメータ / 感度分析
F1	地下水化学の変化	母岩の緩衝能力 Eh 変化に要する時間 (R=>0)
F2	地下水化学の変化（複合的变化？） 地下水流速の変化	母岩の緩衝能力 Eh 変化に要する時間 (R=>0) 地下水流速

表 3.6-1 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ：断層活動
(続き)

変動シナリオ	リファレンスケースに関連した可能性のある影響	パラメータ / 感度分析
F3	新しい断層への距離の減少	距離：100m から 50m
F4	地下水化学の変化（複合的变化？） 新しい断層への距離の減少 地下水流速の増加 断層の移動特性の変化	母岩の緩衝能力 Eh 変化に要する時間（ $R=>O$ ） 距離：100m から 50m 地下水流速 断層の移動特性（開口幅、透水性）と母岩の移動特性（透水性）
F5	新しい断層への距離の減少	距離：100m から 10m
F6	新しい断層への距離の減少 地下水流速の変化 断層の移動特性の変化	距離：100m から 10m 地下水流速 断層の移動特性（開口幅、透水性）と母岩の移動特性（透水性）
F7	地下水化学の変化 地下水流速の変化 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	母岩の緩衝能力 Eh 変化に要する時間（ $R=>O$ ） 地下水流速 距離：100m から 10m 断層の移動特性（開口幅、透水性）と母岩の移動特性（透水性）
F8	地下水化学の変化（複合的变化？） 地下水流速の増加 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	母岩の緩衝能力 Eh 変化に要する時間（ $R=>O$ ） 地下水流速 距離：100m から 10m 断層の移動特性（開口幅、透水性）と母岩の移動特性（透水性）
F9	緩衝材中の移流 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	移流；緩衝材中の拡散なし 距離：100m から 0m 断層の移動特性（開口幅、透水性）
F10	緩衝材間隙水化学 緩衝材中の移流 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	Eh 値の範囲（ $R=>O$ ）；吸着 K_d 移流による移動；緩衝材中の拡散なし 距離：100m から 0m 断層の移動特性（開口幅、透水性）
F11	緩衝材の隔離機能の喪失 廃棄体の溶解 緩衝材中の移流 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	ガラス溶解速度 移流による移動；緩衝材中の拡散なし 距離：100m から 0m 断層の移動特性（開口幅、透水性）
F12	緩衝材の隔離機能の喪失 緩衝材間隙水化学 廃棄体の溶解 緩衝材中の移流 新しい断層への距離の減少 断層の移動特性の変化	Eh 値の範囲（ $R=>O$ ）；吸着 K_d ガラス溶解速度 移流による移動；緩衝材中の拡散なし 距離：100m から 0m 断層の移動特性（開口幅、透水性）

表 3.6-2 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ：地震事象

変動シナリオ	リファレンスケースに関連した可能性のある影響	パラメータ / 感度分析
S1	ささいなケース；計算は必要なし	-
S2	緩衝材中の放射性核種移行経路長の減少	緩衝材中の経路長
S3	緩衝材の隔離機能喪失	移流による移動
S4	緩衝材の隔離機能の喪失 オーバーパックの損壊 廃棄体の劣化 地下水流速の変化	移流による移動 オーバーパック損壊の時間 ガラス溶解速度 地下水流速

表 3.6-3 変動シナリオの感度分析を通じて評価し得るパラメータ：火成活動

変動シナリオ	リファレンスケースに関連した可能性のある影響	パラメータ / 感度分析
IG1	熱的フィールド 地下水流系の変化 化学的効果 - 温度の関数 廃棄体の劣化	様々な種類の母岩の熱伝導特性 - 温度上昇を拡散させる能力 地下水流速 温度上昇 溶解速度
IG2	熱的フィールド 地下水流系の変化 化学的効果 - 温度の関数 廃棄体の劣化	様々な種類の母岩の熱伝導特性 - 温度上昇を拡散させる能力 地下水流速 温度上昇 溶解速度
IG3	熱的フィールド 地下水流系の変化 緩衝材が不飽和 化学的効果 - 温度の関数 廃棄体の劣化	様々な種類の母岩の熱伝導特性 - 温度上昇を拡散させる能力 地下水流速 緩衝材中の不飽和状態での移動 温度上昇 (IG1 / IG2 より大きい) 溶解速度
IG4	熱的フィールド 地下水流系の変化 緩衝材が不飽和 化学的効果 - 温度の関数 廃棄体の劣化	様々な種類の母岩の熱伝導特性 - 温度上昇を拡散させる能力 地下水流速 (IG1 / IG2 より大きい) 緩衝材中の不飽和状態での移動 温度上昇 溶解速度

3.7 様々な変動シナリオの計算ケースに必要なデータ

3.6節で述べたように、全てではないが、いくつかの影響は、母岩の性能や安定性に関連して、感度分析を通じて評価でき得る。一般に、このようなデータを様々なサイトの差別化のために使用することは難しい。しかし、この例外は以下の通り2つある。

- ・ 地下水化学を緩衝するサイトの能力、特に、Ehで表わされる酸化性/還元性の可能性
- ・ 火成活動からの熱的フィールドの上昇によって生じる温度上昇を拡散させる母岩の能力

3.7.1 地下水化学の緩衝 - 酸化還元の緩衝能力

ある断層活動の変動の場合、前提となる想定は、新しい断層活動によって処分場地域に向かって下方へ浸透する酸素を豊富に含む水源が与えられることである。

酸化還元プロセスはある原子から他の原子へと電子の移動を伴い、自然状態のもとで、 O_2 、 Fe^{2+} 、 H_2S 、 CH_4 等の核種を分配する上で重要な調整を担う。地下水の酸化還元レベルは、涵養された酸化性地下水の流入の相対速度、地下水流速と地下水循環速度と(微生物媒介の)還元反応による酸素消費速度に支配されている。可能性のある還元剤には、ケイ酸第二鉄、酸化第二鉄、硫化物、マンガン酸化物、有機物質やメタン、フルボン酸、フミン酸等の水溶性有機化があり得る。

酸化還元の緩衝効果には以下の3つの重要な側面がある。

1. 潜在的な酸化還元力の絶対値、これは母岩の主要な酸化還元の緩衝によってかなり異なり得る。
2. 酸化還元の緩衝能力の量、即ち、母岩や地下水にどの程度の還元性化学成分が存在するか。
3. 母岩の還元性化学成分の反応速度、一般に、鉱物の溶解速度と還元化学種の地下水への放出速度による。

よって、これらの要素は、鉱物学に従い、サイトを差別化するために使用することが可能である。

3.7.2 母岩 - 熱を拡散させる能力

ある母岩は他よりも早く熱を拡散させる能力を保持するが、これは、これらの母岩を構成する鉱物の熱伝導特性による。しかし、これらの熱伝導特性が大きく異なる可能性は低い。そのため、サイト間で大きく異なる可能性も低い。ここでは、このオプションは、完全を期すために与えられている。

3.8 まとめ

3.8.1 各節のまとめ

本章では、以下に示す7つの節において具体的な検討がなされてきた。

3.1節では、諸外国において、どのような変動シナリオが設定され評価されているかを把握し、このようなシナリオ選定の技術的根拠を特定するために、諸外国（ベルギー、カナダ、フィンランド、スウェーデン、スイス、米国）の調査を行った。調査によって、日本の状況に使用できる情報が少なく、シナリオ選定のための技術的根拠は限られていることがわかった。

3.2節では、日本で入手可能な既存の技術情報、主に、日本の地質学的安定性に関する側面を取り扱った。本節の目的は、断層活動、地震事象、火成活動に関して、シナリオの選定と変動シナリオを正当化するのに使用でき得る技術情報をできるだけ得ることであった。この点で、H12 評価からの情報のいくつかは有用であることが明らかにされた。

3.3節では、いくつかの反復的検討を行い、最終的には、特定の変動を設定するというよりむしろ、様々な変動シナリオのもとで変動を設定するための方法の構築を目的とした。本節での検討に基づき、変動を設定するために起点事象の発生場所と発生規模を主要要素（または特性）として用いた。他の下部要素「形態」（規模の要素）は、単一回の事象か複数回の事象かを扱っているが、これも変動を細分類するために使用された。影響パターンまたは結果として生

じる最初の影響と2次的影響の性質は変動シナリオを設定するためには使われないが、3.5節で検討された。さらに、発生時期の要素またはタイムスケールは計算モデルの検討段階で取り扱った。

3.4節では、3.3節で構築した方法を断層活動、地震事象、火成活動の3つの変動シナリオに対して検証した。いくつかの変動が設定され、変動の主要な様式に対し、概念モデルが構築された。さらに、起点事象に影響される特定のFEP（温度 - 水理地質学 - 力学 - 化学、T-H-M-C）が明らかにされた。

3.5節では、第2次取りまとめの評価のために構築されたモデル連鎖を使って、概念モデルと計算モデル間の関連性を取り扱った。起点事象からの影響を受ける影響パターンとT-H-M-C FEPに基づき、各変動シナリオのための計算ケースを実行するためのモデル化要件が検討された。

3.6節では、様々な計算モデルを用いた感度分析に組み込み得るパラメータが明らかにされた。いくつかのパラメータは母岩の性能や安定性に関連しているが、ほとんどのパラメータはEBSに関連しているため、サイト間を差別化するために使うことはできないと考えられる。

この結論は3.7節に進んでさらに検討された結果、母岩の緩衝能力が主要なパラメータであることが明らかにされた。

3.8.2 今後の方向性

明らかに3.1節から3.7節を通じて重要な論拠を網羅したため、必然的に、起点事象から生じる影響の検討は相対的に粗くなったかもしれない。

このため、今後は、例えば、昨年（大久保, 2003）で開発されたような相互関連性マトリクスを使って、全ての影響をより完全に検討するべきと考える。

また、特にサイト固有の調査を検討するために有意義で有用なパラメータに対し、それらの検討や解釈を容易にするため、3.4節から3.6節で構築された情報の表を統合する必要があると言える。

4. おわりに

本年度の実施内容は、以下の通りである。

(1) シナリオ解析手法の検討

基本シナリオと変動シナリオの定義を見直し、相関関係マトリクスに含まれる状態 FEP に対して、解析モデルやパラメータとの対応付けを行うことも考慮した詳細なステータスを定義し、これらのステータスとサブプロセス FEP との相関関係に基づき、安全機能の発現に必要な FEP の連鎖やこれらの機能を阻害するような影響の連鎖を抽出する手法を開発した。

また、昨年度までの研究において検討した「影響度」と「重要度」を踏襲し、各ステータスとサブプロセス FEP 間の「関連度」を定義し、これに基づきスクリーニングを行う手法を明らかにした。また、各安全機能の相対的な重要性を表す「重要度」を設定するための参考情報として、各安全機能の多重バリアシステムにおける効果を定量化するための簡易的な計算手法を考案した。

さらに、構築されたシナリオに対応して解析ケースを設定するための方法として、まず、インフルエンスダイアグラムに記載された一群のステータスとサブプロセス FEP 及びこれらの間の相関関係を解析モデル(あるいはそれに相当する知見)と対応付けることにより、性能評価における解析情報の流れを示す解析モデルフローチャートに変換することを考案した。また、この解析モデルフローチャートに基づき、モデルオプションや入力パラメータ値の変動といった不確実性要因がどのように伝播するかを分析することにより、どのような解析ケースの組み合わせを考え、また、どのような不確実性要因に対応してシステム性能評価の解析ケースをどのように設定するべきかを検討する手法を明らかにした。

最後に、ニアフィールド及びファーフィールドに関する基本シナリオと変動シナリオの一部を例として、以上のシナリオ解析手法を適用することを通じ、実務的なワークフレームとしての有効性を確認した。また、この手法を今後活用していく上での効率を向上するために、計算機を用いた処理方法の要件を抽出するとともに、プロトタイプを作成した。

(2) 変動シナリオに関する解析技術の検討

次に、変動シナリオに関する解析技術の検討を行った。まず、諸外国で検討されている変動シナリオを調査し、その評価状況を整理した。特に、日本で地震、断層活動、火成活動の3つのシナリオを評価するための技術的知見を整理した。さらに、発生様式と影響パターンに基づき、解析対象とすべき変動タイプを設定し、その取り扱い概念、モデリング要件、必要なデータ情報を明らかにした。

なお、本年度の研究を通じて抽出された今後の研究課題は以下の通りである。

- ・ ソフトウェアの利用によるシナリオ解析プロセス分析負荷の軽減
- ・ 他の研究開発行為との連動を含んだ例題へのシナリオ解析手法の適用
- ・ 複数の指標に基づく総合的なスクリーニング方法の開発
- ・ 感度分析も含めたシナリオ解析手法の外部事象（変動シナリオ）への適用
- ・ 本年度検討しなかった変動シナリオ（隆起・侵食、気候変動など）に関する解析技術の検討

参考文献

- (1) JNC: “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - ,分冊3 地層処分システムの安全評価”, JNC TN1400 99-023 (1999a)
- (2) JNC: “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - 分冊1 わが国の地質環境”, JNC TN1400 99-021 (1999b)
- (3) 大久保博生: “地層処分の性能評価におけるシナリオ解析の高度化()”, JNC TJ8400 2003-051 (2003)
- (4) OECD/NEA: Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories: Systematic Approaches to Scenario Development (1992)
- (5) OECD/NEA: Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories: Its Development and Communication (1999a)
- (6) OECD/NEA: Scenario Development Methods and Practice (1999b)
- (7) R. Pusch, H. Takase, and S. Benbow: “Chemical processes causing cementation in heat-affected smectite - the Kinnekulle bentonite”, SKB TR-98-25 (1998)