

地層処分システムの設計・安全評価体系の
システム化に関する研究

—成果報告書—

（核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書）

2002 年 3 月

三菱重工業株式会社

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

〒319 - 1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

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

Japan

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

2002

地層処分システムの設計・安全評価体系のシステム化に関する研究

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

石原義尚^{*1}，福井 裕^{*1}，佐川 寛^{*1}，伊藤隆哉^{*1}，
松永健一^{*1}，小華和治^{*1}，桑山有紀^{*1}

要 旨

本研究では，統合解析システムの開発に資するため，第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し，今後の研究開発で得られる成果も考慮した上で，これらを計算機上に展開し，システム化するための設計検討を行った。

- (1) 地層処分システムの設計・性能評価を実施するための共通の作業基盤となる統合解析システムの開発に向けて，地質環境を含む地層処分システムを計算機上に構築（統一環境場の構築方針の策定）するための検討を実施した。
- (2) 第2次取りまとめにおける「処分技術（設計）」および「性能評価」のワーク（評価）項目に対して，その基盤となる技術情報（入出力情報）の対応付けを行い，地層処分システムの設計・安全評価に関する一連の作業をまとめた評価フローを作成した。
- (3) 性能・安全評価の体系化に向けて，今後の地層処分研究における詳細モデル開発に関する課題を抽出し，これらの課題を統合解析システムに取り込むための情報として整理した。

本報告書は，三菱重工業株式会社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

* 1 三菱重工業株式会社

Study on Systematic Integration Technology of Design and Safety Assessment for HLW Geological Disposal

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

Yoshinao Ishihara^{* 1}, Hiroshi Fukui^{* 1}, Hiroshi Sagawa^{* 1},
Kenichi Matsunaga^{* 1}, Takaya Ito^{* 1}, Osamu Kohanawa^{* 1},
Yuki Kuwayama^{* 1}

ABSTRACT

The present study was carried out relating to basic design of the “Geological Disposal Technology Integration System” that will be systematized as knowledge base for analysis and assessment of geological disposal by integrating organically and hierarchically analysis and evaluation method in three study field. The key conclusions are summarized as follows:

- (1) The examination to construct the virtual geological disposal system which contained the geological environment on the computer was executed aiming at the development of integration and the analysis systems which became working common basic to execute the design and the performance assessment of the geological disposal system.
- (2) Technological information (I/O information) which became the base was associated with work (evaluation) item of "Disposal technology (design)" and "Performance assessment" in the Second Progress Report by JNC, and the evaluation flow by which a series of work concerning the design and the safety assessment of the geological disposal system was brought together was made.
- (3) The subject concerning the detailed model development in the R&D activity of the geological disposal system in the future was extracted aiming at the systematization of the performance and safety assessment, and was arranged as information to take these detailed models into the “Geological Disposal Technology Integration System”.

This work was performed by Mitsubishi Heavy Industries, LTD. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

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

*1 Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

目 次

1 . はじめに -----	1
2 . 統合解析システム詳細機能の検討 -----	3
2.1 性能評価のための機能検討 -----	3
2.2 研究開発支援機能の検討 -----	22
3 . 技術基盤情報の体系化 -----	37
3.1 「処分技術」分野に関する評価フローの作成 -----	37
3.2 「性能評価」分野における評価フローの作成 -----	70
3.3 FEP リストとの対応 -----	72
4 . 追加評価モデルの検討 -----	113
4.1 ニアフィールド現象 -----	113
4.1.1 課題の抽出と優先順位の設定 -----	113
4.1.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定 -----	120
4.2 ファーフィールド現象 -----	135
4.2.1 課題の抽出と優先順位の設定 -----	135
4.2.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定 -----	146
4.3 処分場スケール -----	174
4.3.1 課題の抽出と優先順位の設定 -----	174
4.3.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定 -----	181
5 . おわりに -----	188
参考文献 -----	189
付録 1 統合解析システムの適用事例案 -----	付-1(192)
付録 2 感度解析に基づく研究開発項目の整理 -----	付-2(207)
付録 3 作業時の開放坑道を考慮した予備的熱解析 -----	付-3(232)

図目次

図 1-1	地層処分システムの設計・安全評価の解析スケールと解析シーケンス	----- 1
図 2.1-1	統合解析システムの全体概念図	----- 5
図 3.1-1	「処分技術」分野のワークフロー階層構成図	----- 38
図 3.1-2	ワークフロー作成規約	----- 55
図 3.1-3	「処分技術」設計条件に関するワークフロー	----- 56
図 3.1-4	「処分技術」オーバーパック設計に関するワークフロー	----- 57
図 3.1-5	「処分技術」緩衝材設計に関するワークフロー	----- 58
図 3.1-6	「処分技術」坑道設計に関するワークフロー	----- 59
図 3.1-7	「処分技術」空洞安定性評価に関するワークフロー	----- 60
図 3.1-8	「処分技術」耐震安定性（空洞）に関するワークフロー	----- 61
図 3.1-9	「処分技術」坑道配置（熱解析）に関するワークフロー	----- 62
図 3.1-10	「処分技術」レイアウト検討に関するワークフロー	----- 63
図 3.1-11	「処分技術」プラグ/グラウト/埋戻し材設計に 関するワークフロー	----- 64
図 3.1-12	「処分技術」熱的・水理学的評価（再冠水挙動）に 関するワークフロー	----- 65
図 3.1-13	「処分技術」構造力学安定性評価に関するワークフロー	----- 66
図 3.1-14	「処分技術」オーバーパック腐食生成ガス評価に 関するワークフロー	----- 67
図 3.1-15	「処分技術」力学特性評価（人工バリア耐震安定性）に 関するワークフロー	----- 68
図 3.1-16	「処分技術」建設・操業・閉鎖に関するワークフロー	----- 69
図 3.2-1	「性能評価」分野のワークフロー階層構成図	----- 71
図 3.2-2	「性能評価」シナリオ分析に関するワークフロー	----- 72
図 3.2-3	「性能評価」インベントリ評価に関するワークフロー	----- 75
図 3.2-4	「性能評価」放射線場評価に関するワークフロー	----- 76
図 3.2-5	「性能評価」亀裂ネットワークモデル構築に関するワークフロー	----- 77
図 3.2-6	「性能評価」パイプネットワークモデル構築に関するワークフロー	----- 78
図 3.2-7	「性能評価」連続体モデル構築に関するワークフロー	----- 79
図 3.2-8	「性能評価」地下水組成評価に関するワークフロー	----- 80
図 3.2-9	「性能評価」間隙水組成評価に関するワークフロー	----- 81
図 3.2-10	「性能評価」溶解度評価に関するワークフロー	----- 82
図 3.2-11	「性能評価」移行特性データ取得（人工バリア）に 関するワークフロー	----- 83

図 3.2-12	「性能評価」移行特性データ取得（天然バリア）に関するワークフロー	84
図 3.2-13	「性能評価」人工バリア中核種移行評価に関するワークフロー	85
図 3.2-14	「性能評価」天然バリア中核種移行評価（亀裂性媒体）に関するワークフロー	86
図 3.2-15	「性能評価」天然バリア中核種移行評価（多孔質媒体）に関するワークフロー	87
図 3.2-16	「性能評価」天然バリア中核種移行評価（断層）に関するワークフロー	88
図 3.2-17	「性能評価」生物圏評価に関するワークフロー	89
図 3.2-18	「性能評価」変動シナリオ（隆起・侵食）評価に関するワークフロー	90
図 3.2-19	「性能評価」変動シナリオ（気候・海水準変動）評価に関するワークフロー	91
図 4.1-1	ニアフィールド連成現象の概念図	124
図 4.1-2	ニアフィールド連成現象の相関マトリクス（例）	127
図 4.2-1	3次元モデルを用いた核種移行解析評価フロー	150
図 4.2-2	第2次取りまとめで作成された亀裂ネットワークモデル	150
図 4.2-3	第2次取りまとめにおける3次元モデルフローの概念図	151
図 4.2-4	亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル（Type-A）	152
図 4.2-5	亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル（Type-B）	153
図 4.2-6	亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル（Type-C）	153
図 4.2-7	FFDFコードにおける亀裂ネットワークの作成例	155
図 4.2-8	FFDFコードにおける有限要素法メッシュの作成例	155
図 4.2-9	FFDFコードによる解析例	156
図 4.2-10	東濃地域における広域地下水流動解析の対象範囲	158
図 4.2-11	東濃地域における広域地下水流動解析の研究フロー	159
図 4.2-12	東濃地域の広域地下水流動解析のための水理地質構造モデル	160
図 4.2-13	地下水流動解析の結果（全水頭）	161
図 4.2-14	試錐孔における全水頭分布（実測値と解析結果の比較）	162
図 4.2-15	海底下の地下水流動の概念図	165
図 4.2-16	海水準の変動に伴う地下水の変動状況	166
図 4.2-17	東濃地域における表層水理観測の概要	171
図 4.2-18	表層水理調査による推定される東濃地域の水理地質構造	171
図 4.2-19	海水と淡水におけるガイベン-ヘルツベルグの関係	172

表目次

表 2.1-1	「処分技術」分野の評価・検討項目-----	8
表 2.1-2	「性能評価」分野の評価・検討項目-----	18
表 2.2-1	第2次取りまとめの安全評価における地質環境・設計情報の取り扱い ---	27
表 2.2-2	第2次取りまとめにおける設計評価ツール-----	33
表 2.2-3	第2次取りまとめにおける安全評価ツール-----	35
表 3.1-1	「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト -----	39
表 3.2-1	第2次取りまとめにおける包括的 FEP リスト (地下水移行シナリオのみ) -----	73
表 3.2-2	第2次取りまとめにおいて影響が小さいとして除外した FEP リスト(地下水移行シナリオのみ) -----	74
表 3.3-1	再冠水挙動(熱・水連成)評価に係わる FEP リスト-----	99
表 3.3-2	構造力学安定性評価に係わる FEP リスト-----	100
表 3.3-3	オーバーパック腐食生成ガス評価に係わる FEP リスト-----	101
表 3.3-4	人工バリア耐震安定性評価に係わる FEP リスト-----	102
表 3.3-5	インベントリ評価・放射線場評価に係わる FEP リスト-----	103
表 3.3-6	亀裂ネットワークモデル・パイプネットワークモデル・ 連続体モデル構築に係わる FEP リスト-----	104
表 3.3-7	地下水組成評価に係わる FEP リスト-----	105
表 3.3-8	間隙水組成評価に係わる FEP リスト-----	106
表 3.3-9	溶解度評価に係わる FEP リスト-----	107
表 3.3-10	人工バリア中の移行特性データ(ガラス溶解速度)取得に 係わる FEP リスト-----	108
表 3.3-11	人工バリア中の移行特性データ(拡散係数・分配係数)取得に 係わる FEP リスト-----	109
表 3.3-12	天然バリア中の移行特性データ取得に係わる FEP リスト -----	110
表 3.3-13	人工バリア中核種移行評価に係わる FEP リスト -----	111
表 3.3-14	天然バリア中核種移行評価に係わる FEP リスト -----	112
表 4.1-1	追加評価モデルの検討リスト(ニアフィールド現象) -----	115
表 4.1-2	追加評価モデルの検討リストの整理(ニアフィールド) -----	119
表 4.1-3	個別現象モデルの支配方程式の例-----	129
表 4.2-1	追加評価モデルの検討リスト(ファーフィールド) -----	137
表 4.2-2	追加評価モデルの検討リストの整理(ファーフィールド) -----	145

表 4.2-3	東濃地域の広域地下水流動解析における構成要素の区分と 物性値の設定 -----	160
表 4.2-4	各解析ケースにおける境界条件と地層区分の設定-----	161
表 4.2-5	密度流解析の基礎方程式-----	168
表 4.3-1	追加評価モデルの検討リスト（処分場スケール）-----	175
表 4.3-2	追加評価モデルの検討リストの整理（処分場スケール）-----	180
表 4.3-3	関係する反応-----	186

1. はじめに

サイトを特定しない第2次取りまとめにおいては、仮想的な地質環境に例示的な処分システムが構築され、これが所期の安全機能をすべて発揮することを前提に性能・安全評価を行ってきた。今後は、処分事業の進展に伴って、処分地（候補地等を含む）が持つ具体的な地質環境条件を適切に考慮した設計・シナリオに基づいて評価モデルおよびパラメータを設定し、安全評価を実施していくことが重要となる（図1-1参照）。このため、サイクル機構殿に対しては、第2次取りまとめまでの研究成果ならびに今後ENTRY, QUALITY および深地層の研究施設等で得られる新たな研究成果を活用して、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の高度化に向けた研究開発が求められている。

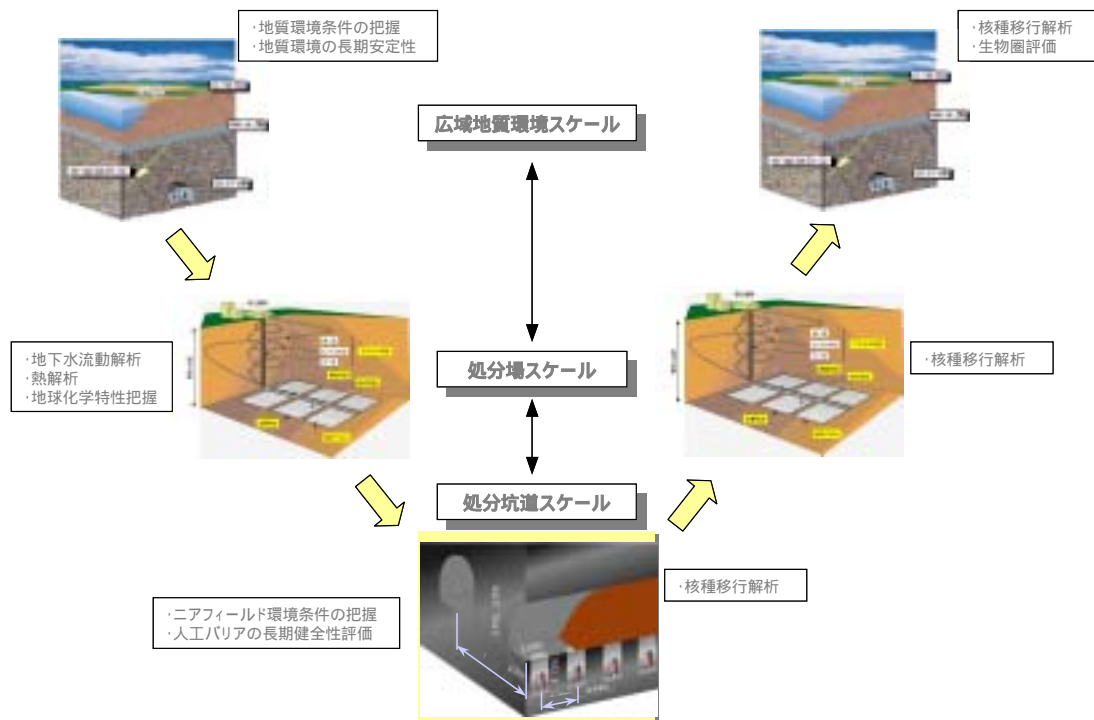


図1-1 地層処分システムの設計・安全評価の解析スケールと解析シーケンス

地層処分システムの長期の安全性は、シナリオで表現される長期間の複合的な現象を考慮して処分システム全体の性能を定量化することによって示される。特に、安全評価の基本となる地下水移行シナリオに関しては、今後進められる個別詳細研究の成果を取り込みつつ、シナリオの成立性（例えば、ニアフィールドに関連するものとして、緩衝材の幾何形状、温度変化、完全飽和の達成、還元条件の回復、拡散場の形成、変質・劣化など）を確認し、これを安全評価に適切に反映していくことが重要である。このため

には、地層処分システムの設計（長期健全性評価含む）で得られる知見を組み合わせた適切なシナリオの構築と、シナリオに応じた一連の安全評価を実施するための作業基盤として、地層処分システム（地質環境条件を含む）を計算機上に展開した統合解析システムの開発が必要である。

本研究では、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し、今後の研究開発で得られる成果を取り入れることも考慮した上で、これらを計算機上に展開し、システム化するための設計検討を行う。

2. 統合解析システム詳細機能の検討

地層処分システムの設計・性能評価を実施するための共通の作業基盤となる統合解析システムの開発に向けて、地質環境を含む地層処分システムを計算機上に展開（統一環境場の提示）し、知識ベースとして構築するための検討を実施する。

2.1 性能評価のための機能検討

地層処分システムに関する研究開発は、地質環境条件の調査（サイト特性調査）、処分技術（処分場の設計）、性能・安全評価の3分野から成り立っている。第2次取りまとめにおいては、わが国における地層処分の技術的信頼性を示すという観点から、サイトを特定せずに検討が進められてきた。しかし、処分事業の実施主体（原子力発電環境整備機構）が設立され、今後は具体的なサイト選定作業が進められて行くことから、研究開発においても実際の地質環境条件を対象とした具体的な検討が必要となる。このためには、3つの研究分野の連携がより重要となり、各分野における試験データ取得、現象理解、シナリオ構築、モデル開発、解析・評価に至るまでの情報の流れと、それらを有機的かつ階層的に統合し体系化していく必要がある。

以上のような背景を踏まえて、今後の研究開発の進展に併せて開発を進めていく統合解析システムの全体概念を図2.1-1に示す。地質環境条件の調査で得られる具体的なデータに基づいて作成された地質構造モデルを計算機上に展開し、これを共通の作業基盤として、処分場の設計検討、および設計された地層処分システムに対する性能・安全評価が実施できるようなシステムを基本概念とする。図2.1-1に示した統合解析システムの基本機能を以下に簡単に示す。また、実際の評価・検討作業への統合解析システムの適用事例（案）を付録1にまとめる。

- 計算機上に展開された地質構造モデルは拡大・縮小などの操作を可能とすることで、広域環境スケール、処分場スケール、処分坑道スケールの各スケールに応じた設計・性能評価の実施を容易にする。
- 地質構造モデル作成に用いた地質環境条件（データ）はデータベースで保存・管理し、設計・性能評価においても同一のデータを使用可能とする。また、設計・性能評価の結果をデータベースで合わせて管理することにより、様々な評価結果に基づく“場の条件（状態）”を容易に確認できるようにする。
- 評価フロー／データの流れに基づく相関関係をシステムで適切に管理すること

により，評価・解析の際の条件設定（入力値作成）を効率的に実施できるようにするとともに，各評価間の整合性確保を図る。

このように，研究開発のための知識ベースを構築することで，3分野の連携と具体的な条件に基づく検討を効率的に実施できると考えられる。統合解析システムで実現すべき3分野の連携のうち，「地質環境条件の調査」に係わる機能については別途研究が進められているため，ここでは「処分技術」および「性能・安全評価」分野におけるシステムの機能についてまとめる。

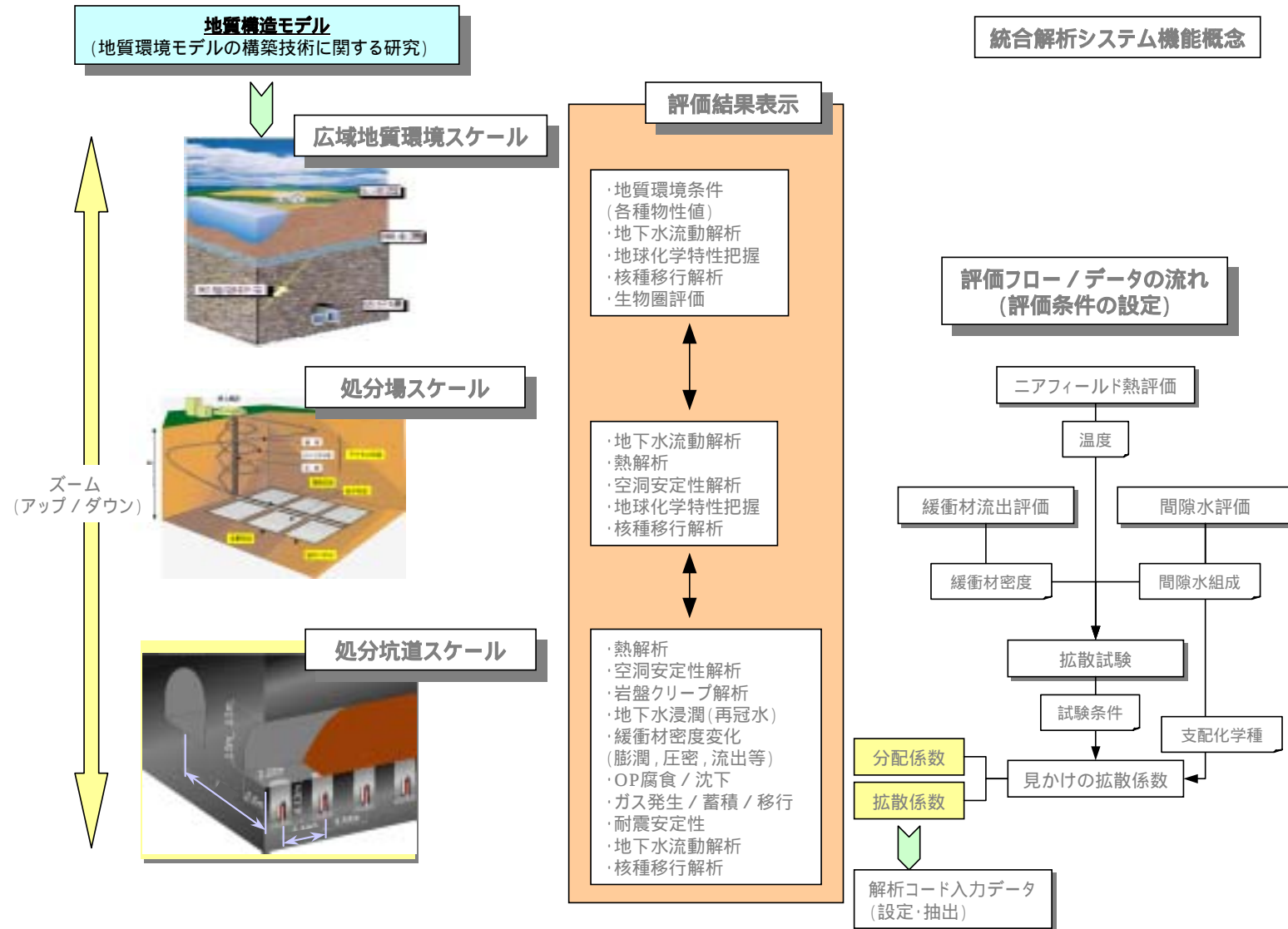


図2.1-1 統合解析システムの全体概念図

(1) 「処分技術」分野におけるシステムの機能

統合解析システムで実現する「処分技術」分野の機能についてまとめるため、第2次取りまとめにおける検討項目を中心に、各ワーク（評価）項目間の相関関係について整理した。ワーク（評価）項目の選定は、基本的に第2次取りまとめの報告書の目次構成に準じて抽出した。「処分技術」分野におけるワーク（評価）項目とそれらの相関関係（入出力関係）を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 では、「処分技術」分野のワーク項目を大きく、設計条件、人工バリア設計、処分施設設計、長期健全性評価、建設・操業・閉鎖の5項目に分類して整理した。各分類には、第2次取りまとめに準じて以下のワーク項目を含めた。

設計条件

- ・ ガラス固化体
- ・ 処分深度
- ・ 定置方式

人工バリア設計

- ・ オーバーパック設計：材質、形状、耐食評価、耐圧評価、放射線遮へい評価、製作・施工性
- ・ 緩衝材設計：基本特性、密度設定、厚さ設定

処分施設設計

- ・ 坑道設計：処分坑道（孔）、主要・連絡坑道、アクセス坑道、坑道交差部
- ・ 坑道耐震安定性
- ・ 坑道配置（熱解析）
- ・ レイアウト検討：パネル、アクセス坑道
- ・ プラグ/グラウト/埋戻し材設計

長期健全性評価

- ・ 熱・水理特性評価：再冠水挙動
- ・ 構造力学安定性評価：岩盤クリープ、オーバーパック沈下、緩衝材流出、耐震安定性、オーバーパック腐食膨張、ガス発生・移行

建設・操業・閉鎖

これらの各ワーク（評価）項目に対して，入力情報となるワーク項目およびパラメータ，評価コード・手法，主要出力情報，ならびに下流側ワーク項目を，各ワーク項目間の相関関係に留意して整理した。

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目		入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
			ワーク項目	パラメータ			
設計条件	ガラス固化体		インベントリ評価	・ガラス固化体種類 （発熱量，放射能量）	・ORIGEN2	・対象ガラス固化体 ・埋設本数	・人工バリア設計 ・処分施設設計
	処分深度		（地質環境条件）	・地層の長期安定性 ・岩盤物性	-	・処分深度	・すべての評価項目
			空洞安定性	・建設技術（施工性） ・支保工厚			
			坑道配置（熱解析）	・占有面積			
	定置方式		（地質環境条件）	・岩盤物性	-	・縦置き / 横置き	・すべての評価項目
			建設・操業・閉鎖	・定置ハンドリング性			
人工バリア設計	オーバーパック設計	材質（腐食）	（地質環境条件）	・地下水組成	・主として実験 （腐食データ）	・材質 / 腐食速度	・すべての評価項目
			間隙水組成評価	・OP 接触水の組成			
			坑道配置（熱解析）	・OP 近傍温度			
		形状（仕様）	設計条件	・ガラス固化体形状	-	・OP 形状 ・内径（固化体収容孔） ・外径	・すべての評価項目
			製作・施工性	・製作公差			
			耐食評価	・耐食厚さ			
			耐圧評価	・耐圧厚さ			
			放射線遮へい性	・遮へい厚さ			
		耐食評価	OP 設計（材質）	・腐食速度 ・腐食生成物の種類	-	・耐食厚さ	・OP 設計（形状）
						・腐食膨張率	・緩衝材設計
		耐圧評価	OP 設計（材質）	・機械的強度	-（解析的手法） ・ただし，詳細評価は FEM 解析	・耐圧厚さ	・OP 設計（形状）
			OP 設計（形状）	・形状			
			処分深度	・地圧 / 静水圧			
			緩衝材設計	・緩衝材圧密反力			
			長期健全性評価	・岩盤クリープ圧			
		放射線遮へい性	放射線場評価	・吸収線量率 ・放射線分解生成物	・解析解	・遮へい厚さ	・OP 設計（形状）
			OP 設計（材質）	・カソード電流密度			
		製作・施工性	（工学的情報）	（工学的情報）	-	・溶接方法等	・建設・操業・閉鎖

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
人工バリア設計（続き）	緩衝材設計	基本特性（組成）	（地質環境条件）	・主として試験	・組成（鉱物組成等） ・締め固め特性 ・熱的性質 ・水理的性質 ・力学的性質 ・膨潤特性	・密度設定 ・OP 設計 ・坑道配置（熱解析） ・長期健全性評価 ・移行特性データ取得
			処分深度			
			坑道配置（熱解析）			
		密度設定（仕様）	基本特性	-（解析的手法）	・ケイ砂混合率 ・成形密度 ・膨潤後密度 ・緩衝材圧密反力（厚さとも関連）	・全ての評価項目
			OP 設計			
			製作・施工性			
		厚さ設定	人工バリア中核種移行解析	-（設計の観点では、一意には定まらない）	・厚さ	・全ての評価項目
			天然バリア中核種移行解析			
		放射線遮へい性	放射線場評価	・主として実験		・移行特性データ取得
		製作・施工性	（工学的情報）	-	・成形方法等	・建設・操業・閉鎖
処分施設設計	処分坑道（孔）	断面形状設定	（地質環境条件）	-	・断面形状	・空洞安定性 ・処分施設設計 ・長期件脆性評価 ・建設・操業・閉鎖 ・人工バリア中核種移行評価
			処分深度			
			人工バリア設計			
			建設・操業・閉鎖			
		支保工設計	（地質環境条件）	・理論解	・支保工材質 ・支保工厚さ	・空洞安定性 ・坑道配置（熱解析） ・建設・操業・閉鎖 ・移行特性データ取得 ・人工バリア核種移行評価
			処分深度			
			定置方式			
			断面形状設定			
			（工学的情報）			

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目		入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
			ワーク項目	パラメータ			
処分施設設計 （ 続き ）	（ 続き ）	空洞安定性	（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学特性	・ ABAQUS	・ 坑道離間距離 ・ 廃棄体埋設ピッチ	・ 処分深度 ・ 主要・連絡坑道設計 ・ 坑道配置（熱解析） ・ レイアウト検討 ・ 建設・操業・閉鎖
			処分深度	・ 地圧			
			定置方式	・ 定置方式			
			断面形状設定	・ 断面形状			
			支保工設計	・ 支保工材質 / 厚さ			
	主要・連絡坑道	断面形状設定	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様	-	・ 主要・連絡坑道仕様	・ 処分深度 ・ レイアウト検討（パネル） ・ 建設・操業・閉鎖
		支保工設計	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様	・ 理論解		
		空洞安定性	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様	・ ABAQUS		
	アクセス坑道	断面形状設定	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様	-	・ アクセス坑道仕様	・ 処分深度 ・ レイアウト検討（アクセス） ・ 建設・操業・閉鎖
		支保工設計	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様			
		空洞安定性	処分坑道（孔）の場合と同様	処分坑道（孔）の場合と同様	ABAQUS		
	坑道交差部		（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学強度	ABAQUS	・ 坑道交差角 ・ 補強範囲	・ レイアウト検討（パネル） ・ 建設・操業・閉鎖
			処分深度	・ 地圧			
			処分坑道設計	・ 断面形状 ・ 支保工材質 / 厚さ			
			主要・連絡坑道設計	・ 断面形状 ・ 支保工材質 / 厚さ			
	坑道耐震安定性		（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学特性 ・ 地震応答波	SHAKE NASTRAN ABAQUS	・ 掘削時安定性 ・ 地震時安定性 （局所安全率、最大せん断ひずみ、最小主応力）	・ 処分深度 ・ 坑道設計 ・ 建設・操業・閉鎖
			処分深度	・ 地圧 / 静水圧			
			坑道設計	・ 坑道断面形状 ・ 支保工材質 / 厚さ			
			（ 重複反射理論 ）	・ 地震入力波（水平深度）			

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
処分施設設計 （続き）	坑道配置（熱解析）	（地質環境条件）	・地温勾配 ・岩盤熱物性	FINAS （ABAQUS）	・ニアフィールドの温度 ・坑道離間距離 ・廃棄体埋設ピッチ	・処分深度 ・レイアウト検討 ・建設・操業・閉鎖 ・OP 設計（腐食） ・緩衝材設計（基本特性） ・レイアウト検討（パネル） ・埋め戻し材設計 ・再冠水挙動 ・OP 腐食挙動 ・間隙水組成評価 ・溶解度評価 ・移行特性データ取得
		処分深度	・地温			
		定置方式	・定置方式			
		OP 設計	・OP 仕様（材質、厚さ） ・OP 熱物性			
		緩衝材設計	・緩衝材仕様（ケイ砂混合率、厚さ） ・緩衝材熱物性			
		坑道設計	・坑道仕様（断面積） ・支保工仕様 ・廃棄体埋設ピッチ ・坑道離間距離			
		建設・操業・閉鎖	・施工時ギャップ ・緩衝材成形時含水比			
		インベントリ評価	・ガラス固化体発熱量			
	レイアウト検討（パネル）	（地質環境条件）	・地質構造（破碎帯等） ・岩盤物性・分布	-	・パネル形状 ・パネル配置・方向 ・パネル規模・数 ・坑道離間距離 ・廃棄体埋設ピッチ	・建設・操業・閉鎖 ・プラグ設計 ・熱・水理特性評価 ・天然バリア中核種移行評価（処分場スケール）
		坑道設計	・坑道仕様（断面積） ・支保工仕様 ・廃棄体埋設ピッチ ・坑道離間距離			
		坑道交差部	・坑道交差角			
		坑道配置（熱解析）	・坑道離間距離 ・廃棄体埋設ピッチ			
		建設・操業・閉鎖	・掘削方法（装置） ・搬送定置装置仕様 ・操業性（物流・換気等） ・安全性（非難経路等）			
		水理評価	・地下水流動方向			

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
処分施設設計 （続き）	レイアウト検討（アクセス坑道）	（地質環境条件）	・地質構造（破砕帯等） ・岩盤物性・分布	-	・アクセス形式 ・坑道本数 ・位置	・建設・操業・閉鎖 ・天然バリア中核種移行評価
		アクセス坑道設計	・坑道仕様（断面積） ・支保工仕様			
		レイアウト検討（パネル）	・パネル形状 ・パネル配置・方向 ・パネル規模・数			
		建設・操業・閉鎖	・掘削方法（装置） ・搬送定置装置仕様 ・操作性（物流・換気等） ・安全性（非難経路等）			
		水理評価	・地下水流動方向			
	プラグ設計	（地質環境条件）	・地質構造（亀裂分布） ・岩盤力学特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤水理特性	-	・プラグ仕様 ・設置間隔	・建設・操業・閉鎖 ・水理評価（処分場スケール） ・天然バリア中核種移行評価（処分場スケール）
		定置方式	・定置方式			
		緩衝材設計	・緩衝材膨潤圧			
		レイアウト検討（パネル／アクセス）	・形状／形式 ・配置・方向 ・規模・数／本数			
		建設・操業・閉鎖	・製作・施工性			
		水理解析	・地下水流動			
	グラウト設計	（地質環境条件）	・地質構造（亀裂分布） ・岩盤水理特性	-		・建設・操業・閉鎖 ・水理評価（処分場スケール） ・天然バリア中核種移行評価（処分場スケール）
		レイアウト検討（パネル／アクセス）	・形状／形式 ・配置・方向 ・規模・数／本数			
		建設・操業・閉鎖	・製作・施工性			
		水理解析	・地下水流動			

表 2.1 - 1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
処分施設設計 （ 続き ）	埋め戻し材設計	（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学特性	ABAQUS	・ 埋め戻し材仕様	・ 建設・操業・閉鎖
		処分深度	・ 地圧 / 静水圧			
		緩衝材設計	・ 緩衝材膨潤圧			
		坑道設計	・ 坑道仕様			
		レイアウト検討	・ 坑道数			
熱・水理特性 評価	再冠水挙動	（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学物性	THAMES	・ 緩衝材再飽和時間 ・ ニアフィールド温度 ・ 緩衝材含水比	・ 移行特性データ取得 ・ 人工バリア中核種移行評価
		処分深度	・ 地圧 / 静水圧 ・ 地温			
		OP 設計	・ OP 仕様（ 熱特性 ）			
		緩衝材設計	・ 緩衝材仕様 （ 水理特性 , 膨潤特性 , 熱特性 , 力学特性 ）			
		レイアウト検討（ パネル ）	・ 坑道仕様 ・ 坑道離間距離			
		埋め戻し材設計	・ 埋め戻し材仕様			
		建設・操業・閉鎖	・ 排水			
		水理評価	・ 地下水流動（ 坑道周辺 ）			
長期健全性 評価	岩盤クリープ	（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学特性	FEM コード	・ 岩盤クリープ変形量 ・ 応力分布 ・ EDZ 範囲（ 弾塑性境界 ）	・ 坑道設計 ・ OP 腐食膨張評価 ・ 水理評価（ EDZ 通過流量 ）
		処分深度	・ 地圧 / 静水圧			
		定置方式	・ 定置方式			
		緩衝材設計	・ 緩衝材仕様 ・ 緩衝材膨潤圧			
		処分坑道（ 孔 ）設計	・ 処分坑道（ 孔 ）仕様			
	オーバーパック沈下	（ 地質環境条件 ）	・ 岩盤力学特性	DACSAR	・ OP 沈下量 ・ 緩衝材応力分布 ・ 過剰間隙水圧	・ 緩衝材設計（ 密度設定 ; OP 保持 ） ・ 移行特性データ取得 ・ 人工バリア中核種移行評価
		処分深度	・ 地圧 / 静水圧			
		定置方式	・ 定置方式			
		OP 設計	・ OP 仕様 / 物性			
		緩衝材設計	・ 緩衝材仕様 ・ 緩衝材膨潤圧			

表 2.1 - 1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
長期健全性 評価（続き）	緩衝材流出	（地質環境条件）	・地質構造 （亀裂分布，開口幅）	ABAQUS	・緩衝材密度 ・緩衝材流出量	・緩衝材設計（密度設定） ・移行特性データ取得 ・人工バリア中核種移行評価
		緩衝材設計	・緩衝材仕様 ・緩衝材膨潤圧			
		処分坑道（孔）設計	・坑道仕様			
	耐震安定性	（地質環境条件）	・岩盤力学特性 ・地震応答波	SHAKE NASTRAN	・人工バリア変形 ・緩衝材せん断挙動（応力／歪み） ・過剰間隙水圧	・
		処分深度	・地圧／静水圧			
		定置方式	・定置方式			
		OP 設計	・OP 仕様／物性			
		緩衝材設計	・緩衝材仕様			
		坑道設計	・坑道断面形状 ・支保工材質／厚さ			
		（重複反射理論）	・地震入力波（水平深度）			
	オーバーバック腐食 挙動	（地質環境条件）	・岩盤力学特性	ABAQUS	・緩衝材応力分布 ・緩衝材圧密反力 ・過剰間隙水圧	・OP 設計（耐圧評価） ・緩衝材設計（密度設定） ・移行特性データ取得 ・人工バリア中核種移行評価
		処分深度	・地圧／静水圧			
		定置方式	・定置方式			
		OP 設計	・OP 仕様／物性 ・腐食速度／腐食膨張率			
		緩衝材設計	・緩衝材仕様			
		処分坑道（孔）設計	・坑道仕様			
		岩盤クリープ評価	・岩盤クリープ変形量			
	ガス発生・移行	（地質環境条件）	・岩盤物性	FDM コード TOUGH2	・ガス蓄積圧 ・緩衝材間隙圧力 ・ガス飽和度 ・間隙水累積排出量	・OP 設計（耐圧評価） ・人工バリア中核種移行評価
		OP 設計	・OP 仕様 ・腐食速度（ガス発生量）			
		緩衝材設計	・緩衝材仕様			
		坑道設計	・坑道仕様			
		坑道配置（熱解析）	・人工バリア温度分布			
		埋め戻し材設計	・埋め戻し材仕様			

表2.1-1 「処分技術」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
建設・操業・閉鎖	建設	（地質環境条件）	・岩盤力学特性 ・水理特性			
		処分深度	・地圧 / 静水圧 ・地温			
		定置方式	・定置方式			
		坑道設計	・坑道 / 支保仕様			
		レイアウト設計	・施設規模（パネル等） ・アクセス坑仕様			
	操業	（地質環境条件）	・岩盤力学物性 ・岩盤熱特性 ・水理特性			
		処分深度	・地圧 / 静水圧 ・地温			
		定置方式	・定置方式			
		OP 設計	・OP 仕様			
		緩衝材設計	・緩衝材仕様			
		坑道設計	・坑道 / 支保仕様			
		レイアウト設計	・施設規模（パネル等） ・アクセス坑仕様			
		プラグ設計	・プラグ仕様			
		グラウト設計	・グラウト仕様			
	閉鎖	（地質環境条件）				
		坑道設計	・坑道仕様			
		レイアウト検討	・施設規模（パネル等） ・アクセス坑仕様			
		埋め戻し材設計	・埋め戻し材仕様			

(2) 「性能評価」分野におけるシステムの機能

前記の「処分技術」分野の整理と同様に，統合解析システムで実現する「性能評価」分野の機能についてまとめるため，第2次取りまとめにおける検討項目を中心に，各ワーク（評価）項目間の相関関係について整理した。ワーク（評価）項目の選定は，基本的に第2次取りまとめの報告書の目次構成に準じて抽出した。「性能評価」分野におけるワーク（評価）項目とそれらの相関関係（入出力関係）を表 2.1-2 に示す。

表 2.1-2 では，「性能評価」分野のワーク項目を FEP リストに合わせて，熱特性，水理特性，化学特性，応力特性，放射線特性，物質移行特性に分類し，さらにシナリオに関する分類項目を追加した。各分類には，第2次取りまとめに準じて以下のワーク項目を含めた。

シナリオ分析

- ・ FEP リスト作成
- ・ FEP 取捨選択
- ・ PID 作成
- ・ シナリオ作成

放射線学的特性評価

- ・ インベントリ評価
- ・ 放射線場評価

水理学的特性評価

- ・ 亀裂性媒体：亀裂ネットワークモデル構築，亀裂媒体水理解析，パイプネットワークモデル構築
- ・ 多孔質媒体：連続体モデル構築，多孔質媒体水理解析，移行経路抽出

化学特性評価

- ・ 地下水組成評価
- ・ 間隙水組成評価
- ・ 溶解度評価

物質移行特性評価

- ・ 移行特性データ取得：人工バリア，天然バリア
- ・ 人工バリア中核種移行評価

- ・天然バリア中核種移行評価：亀裂媒体，多孔質媒体，断層
- ・生物圏評価

変動シナリオ評価

- ・隆起 / 侵食
- ・気候海水準変動
- ・火山 / 火成活動
- ・地震 / 断層活動
- ・工学的欠陥
- ・人間活動（侵入）

これらの各ワーク（評価）項目に対して，入力情報となるワーク項目およびパラメータ，評価コード・手法，主要出力情報，ならびに下流側ワーク項目を，各ワーク項目間の相関関係に留意して整理した。

表2.1-2 「性能評価」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
シナリオ分析	FEP リスト作成	-	・国際 FEP リスト	-	・FEP リスト	・PID 作成
	FEP 取捨選択	-	・個別研究成果(現象理解)	-	・除外 FEP リスト	・PID 作成
	PID 作成	FEP 取捨選択	・FEP リスト	-	・PID (FEP 相関図)	・シナリオ作成
	シナリオ作成	PID 作成	・PID	-	・地下水シナリオ ・変動シナリオ	・すべての評価項目
放射線学的 特性評価	インベントリ評価	（ 固化体種類 ）	・ 燃焼条件 ・ 再処理条件 ・ 固化条件 ・ 貯蔵条件	・ ORIGEN2 ・ 核ライブラリ	・ 毒性指数(評価対象核種)	・ 移行特性データ取得
					・ 放射能量(放射線発生量)	・ 放射線場解析
					・ 発熱量	・ 熱解析
					・ 核種量	・ 人工バリア中核種移行解析
	放射線場評価	インベントリ評価	・放射能量(放射線発生量)	・ MCNP ・ 核ライブラリ	・ 線量当量率 ・ 吸収線量率	・ OP 厚さ（放射線遮へい厚さ） （ ・ 緩衝材劣化変質 ）
		人工バリア設計	・ OP 仕様 ・ 緩衝材仕様			
水理学的 特性評価	亀裂ネットワークモデル構築	（ 地質環境条件 ）	・ 地質構造（亀裂特性）	・ FracMan	・ 亀裂ネットワーク ・ 亀裂頻度（開口幅）	・ 水理解析 ・ 緩衝材流出
		処分施設設計	・ 坑道仕様			
	亀裂媒体水理解析	（ 地質環境条件 ）	・ 動水勾配	・ FracMan ・ MAFIC	・ 掘削影響領域流量	・ パイプネットワーク ・ 人工バリア中核種移行評価
		亀裂ネットワークモデル構築	・ ネットワーク			
	パイプネットワークモデル構築	亀裂媒体水理解析	・ 地下水流動場	・ PAwork	・ 核種移行経路 ・ 流速	・ 天然バリア中核種移行評価
	連続体モデル構築	（ 地質環境条件 ）	・ 地質構造	・ SGSIM	・ 不均質透水係数場	・ 水理解析
	多孔質媒体水理解析	（ 地質環境条件 ）	・ 動水勾配	・ TAGSAC	・ 掘削影響領域流量	・ 人工バリア中核種移行評価
		連続体モデル構築	・ 不均質透水係数場			
	移行経路抽出	多孔質媒体水理解析	・ 地下水流動場	・ TR3D/Info	・ 核種移行経路 ・ 流速	・ 天然バリア中核種移行評価
	化学特性評価	地下水組成評価	（ 地質環境条件 ）	・ 起源（雨水，海水） ・ 構成鉱物分布	・ PHREEQE ・ 熱力学データ	・ 地下水組成
処分施設設計			・ 岩盤温度分布			

表 2.1 - 2 「性能評価」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
化学特性評価 （ 続き ）	間隙水組成評価	地下水組成評価	・ 地下水組成	・ PHREEQC ・ 熱力学データ	・ 間隙水組成 ・ 主要溶存化学種	・ 溶解度評価 ・ 人工バリア設計(OP 腐食) ・ 移行特性データ取得 (・ 緩衝材変質)
		人工バリア設計	・ OP 仕様（ 腐食生成物 ） ・ 緩衝材仕様			
		処分施設設計	・ 緩衝材温度分布 ・ 支保仕様（ 組成 ）			
	溶解度評価	緩衝材組成評価	・ 間隙水組成	・ PHREEQE ・ 熱力学データ	・ 溶解度	・ 人工バリア中核種移行解析
		処分施設設計	・ 緩衝材温度			
		インベントリ評価	・ 対象放射性元素			
物質移行 特性評価	移行特性データ取得 （ 人工バリア ）	インベントリ評価	・ 評価対象核種	・ 主として実験	・ ガラス溶解速度 ・ 分配係数 ・ 拡散係数	・ 人工バリア中核種移行評価
		人工バリア設計	・ OP 仕様（ 初期 ） ・ 緩衝材仕様（ 初期 ）			
		処分施設設計	・ 緩衝材温度 ・ 支保仕様			
		間隙水組成評価	・ 間隙水組成 ・ 主要溶存化学種			
		長期健全性評価	・ OP 仕様 ・ 緩衝材仕様			
	移行特性データ取得 （ 天然バリア ）	インベントリ評価	・ 評価対象核種	・ 主として実験	・ 分散長 ・ 分配係数 ・ 拡散係数 ・ マトリクス拡散深さ ・ 寄与面積率 ・ 岩盤物性(密度 , 空隙率)	・ 天然バリア中核種移行評価
		（ 地質環境条件 ）	・ 岩種			
		地下水組成評価	・ 地下水組成			
	人工バリア中核種移行評価	インベントリ評価	・ 評価対象核種 ・ 初期核種量	・ MESHNOTE	・ 核種移行率 ・ 濃度分布	・ 天然バリア中核種移行評価
		溶解度評価	・ 溶解度			
		移行特性データ取得	・ 移行特性データ			
		長期健全性評価	・ OP 仕様 ・ 緩衝材仕様			
		水理評価	・ 掘削影響領域通過流量			

表2.1-2 「性能評価」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
移行特性評価 （続き）	天然バリア中核種移行評価（亀裂媒体）	パイプネットワーク	・核種移行経路 ・流速	・ LTG ・ MATRICS	・ 核種移行率 （・濃度分布） （・線量）	・天然バリア中核種移行評価（断層） ・生物圏評価
		移行特性データ取得	・移行特性データ			
		人工バリア中核種移行評価	・核種移行率			
	天然バリア中核種移行評価（多孔質媒体）	流路抽出	・核種移行経路 ・流速	・ MATRICS	・ 核種移行率 （・線量）	・天然バリア中核種移行評価（断層） ・生物圏評価
		移行特性データ取得	・移行特性データ			
		人工バリア中核種移行評価	・核種移行率			
	天然バリア中核種移行評価（断層）	（地質環境）	・断層分布 ・地下水流動（流速）	・ MATRICS	・ 核種移行率 （・線量）	・生物圏評価
		移行特性データ取得	・移行特性データ			
		天然バリア中核種移行評価	・核種移行率			
	生物圏評価	（地質環境）	・地表構成要素 ・移行特性パラメータ（降水量，河川流量等） ・涵養点（GBI）	・ AMBER	・線量当量率 （・線量への換算係数）	-
		（統計データ）	・被ばく関連データ（摂取量等）			
		天然バリア中核種移行評価	・核種移行率			
変動シナリオ	隆起／侵食	（地質環境条件）	・隆起／侵食速度 ・処分深度（移行距離） ・地下水流動の変化 ・地下水水質の変化	・ TIGER	・ 核種移行率 （・線量）	-（地質環境条件の調査，設計へのフィードバックはあり得る）

表2.1-2 「性能評価」分野の評価・検討項目

分類	ワーク（評価）項目	入力情報		評価コード・手法	主要出力情報	下流側ワーク項目
		ワーク項目	パラメータ			
変動シナリオ （続き）	気候海水準変動	（地質環境条件）	・気候変動サイクル ・海水準変動幅（変位幅） ・地下水流動の周期的変遷 ・地下水水質の周期的変遷	・TIGER	・核種移行率 （・線量）	-（地質環境条件の調査，設計へのフィードバックはあり得る）
	火山／火成活動	（地質環境条件）	・火山の発生確率 ・火山の規模／位置 ・処分場直撃確率 ・温度場（熱対流） ・地下水水質の変化	-（解析的手法）	・核種移行率 （・線量）	-（地質環境条件の調査，設計へのフィードバックはあり得る）
	地震／断層活動	（地質環境条件）	・活断層の発生確率 ・活断層の規模／位置 ・処分場直撃確率 ・地下水流動の変化 ・地下水水質の変化	-（解析的手法）	・核種移行率 （・線量）	-（地質環境条件の調査，設計へのフィードバックはあり得る）
	工学的欠陥	OP 設計（製作施工性） 緩衝材設計（製作施工性） 建設・操業閉鎖	・初期欠陥（OP の不完全密封） ・シーリングミス	-（解析的手法）	・核種移行率 （・線量）	-（設計へのフィードバックはあり得る）
	人間活動（侵入）	（ボーリング実績等）	・ボーリング頻度 ・ボーリング規模／位置 ・処分場直撃確率 ・地下水流動の変化 ・地下水水質の変化 ・コア観察関連データ	-（解析的手法）	（・核種移行率） ・線量（コア観察による外部被ばく含む） ・リスク	-

2.2 研究開発支援機能検討

計算機上に展開された地層処分システムにおいて、設計（長期健全性評価）や安全評価を実施する際に考慮すべき現象の選択（シナリオの簡易作成機能）、選択した現象に関する最新の研究成果（個別現象モデル、安全評価モデル、試験データ等）が表示できる機能について検討し、効率的・整合的に評価条件が設定できるようなシステム構成を整理する。

（1）第2次取りまとめの安全評価における地質環境・設計情報の取扱い

図 2.1-1 に示した統合解析システムの全体概念に基づき、計算機上に構築された地層処分システム（地質環境含む）に対して、広域地質環境スケールから処分坑道スケールまでの設計・安全評価を実施する際の機能について検討する。ここで、安全評価は「地質環境条件の調査」および「処分技術」の全ての成果を集約し、これらの情報に基づいて実施されるものである。したがって、地質環境条件の調査で得られた情報や設計で得られた結果と、安全評価におけるそれらの情報の取扱いを整理することにより、実際の地質環境条件に基づく、より具体的な評価を進めるための課題と必要な機能を抽出することができると思われる。

第2次取りまとめの安全評価において、地質環境条件および処分技術の成果である観測・設計結果をどのように取り扱っているかを整理して、表 2.2-1 に示す。観測・設計結果の概要と安全評価上の取扱いについて、以下に簡単にまとめる。

地質構造

地質構造モデルの一例として、第2次取りまとめ分冊1においては、東濃鉾山周辺での地下水流動調査に基づく水理地質構造モデルが構築されている。このモデルでは11の地質に分割されており、地質ごとに水理パラメータ（透水係数、比貯留率）や空隙率が設定されている。

安全評価においてはサイトを特定していないため、地質構造を簡略化・一般化しており、堆積槽（表層）、帯水槽、岩盤の3種類で設定している。岩盤内は一層でモデル化されているが、結晶質岩と堆積岩の区分に基づく岩盤物性値（力学特性、熱特性等）を使用している。しかしながら、岩盤内における場所による不均一性は基本的に考慮されていない。また、核種移行評価上の保守的な条件として、処分場の下流側に大規模な断層破碎帯を仮定し、帯水層に核種が運ばれることを想定している。

今後サイト条件が具体化されるに従い、実際の観測データに基づく水理地質構造モデルが構築され、これを用いた安全評価に推移していくものと考えられる。この際、地質構造がより詳細に設定できたとしても、同一層内におけるパラメータの不均一性は課題として残ると考えられる。また、地下水移行シナリオの評価条件となる、処分場から生物圏までの核種移行経路の抽出・特定がより重要になると考えられる。

処分場

パネル内の坑道離間距離や廃棄体埋設ピッチは力学的観点および熱的観点から決定されているが、パネルレイアウトについては、サイトが特定されていないために、すなわち、パネルを展開するための岩盤の分布や小規模断層の位置等が特定できないため、例示的なものに留まっていると考えられる。

安全評価においては、設計の考え方にに基づき、主要地下水流動方向に直交して配置されたパネル（坑道）、小規模断層の回避、などの情報を踏まえて解析条件が設定されている。

今後サイト条件が具体化されたとしても、かなり詳細な条件（データ）が得られないとパネル配置や小規模断層等を厳密にモデルに組み込むことは困難であると考えられる。一方、設計情報と安全評価の連携を強める上で、第2次取りまとめでは取り扱われていない人工バリアの構成要素（プラグ、支保、埋戻し材）の評価への取り込みが重要になると考えられる。また、処分場スケールにおける地球化学条件（地下水組成等）の不均一性については、廃棄体毎にオーバーパックの腐食挙動や核種移行挙動に影響を与えることから、安全評価上の重要度が増していくと考えられる。

人工バリア設計

人工バリア（オーバーパックおよび緩衝材）に関しては、処分深度、定置方式、岩種によらず一定の仕様が与えられている。また、設計段階では代替オーバーパックとして複合オーバーパックも検討されているが、オーバーパックの仕様（板厚）は炭素鋼単体のみが提示されている。

安全評価においては、1次元移行評価モデルを使用しているため定置方式には依存しない評価となっている。また、設計における長期健全性評価の結果から人工バリア（特に緩衝材）の著しい変化が発生しないことから、人工バリアは所期の性能

を発揮するとして評価が行われている。

今後サイト条件が具体化されるに従い、第2次取りまとめのロバストな人工バリア仕様からサイト条件に応じた合理化を図る必要がある。この際、多重バリアシステムとして人工バリアと天然バリアの機能分担の最適化についても考慮していくことが重要と考えられる。また、設計で担保すべき要件と性能評価で目標性能を示すべき要件（例えば、緩衝材の厚さや乾燥密度の下限値など）を明確にし、設計と性能評価の密接な連携を図ることが肝要と考えられる。

処分坑道

処分坑道の仕様および配置については、岩種および定置方式に応じて4種類の仕様が提示されている。

安全評価においては、基本的に坑道1本を対象として評価が行われており、特に水理評価上は横置き定置を対象とした評価となっている。

今後サイト条件が具体化されるに従い、様々な施設概念・仕様（縦置きの多段定置など）が検討されることが考えられることから、これらに応じた安全性を提示するためにも、施設仕様（坑道仕様）に応じた評価が必要になると考えられる。

天然バリア（坑道一本）

上記の処分坑道と同様に、安全評価上は坑道1本（廃棄体1個）を対象とした評価がレファレンスとなっており、施設仕様には依存しない評価となっている。また、水理・核種移行評価上は地質媒体の不均質性を考慮して、亀裂ネットワークモデルや不均質連続体モデルが構築されており、それらのモデルから得られる流路情報に基づいた核種移行評価が実施されている。

地質媒体の不均質性については、力学特性、熱特性、化学特性なども基本的に不均一であり、具体的なサイト条件ならびに性能評価への影響度に応じて、評価への取り込みが必要と考えられる。特に、地球化学条件は主要なバリア機能である腐食挙動（オーバーパック破損時間）、収着挙動、溶解／沈殿挙動などに影響を及ぼすため、不均質性の影響評価が重要と考えられる。

天然バリア（処分場）

第2次取りまとめにおいては、処分場設計情報を反映した評価として、坑道離間

距離および埋設ピッチ（坑道あたりの固化体埋設本数）を考慮した天然バリア中の核種移行解析も実施されている。これらの評価結果によれば、安全性能（最大線量の低減効果）への影響はあまり大きくない。

しかしながら、第2次取りまとめにおける評価は基本的に坑道から断層破碎帯までの移行距離のみがパラメータとなっており、それ以外（水理特性、化学特性）はレファレンスケースと同じ設定となっている。これより、最下流の坑道（断層破碎帯に一番近い坑道）からの核種移行挙動が支配的となっており、それ以外の坑道からの影響は比較的小さい（移行距離が長くなるため、核種の崩壊・減衰の効果が大きくなり、結果にあまり影響を与えない）と推定される。このため、処分場（パネル）内の水理特性（地下水流動）や化学特性の不均一性を考慮すると異なる結果が得られると考えられる。これらについては感度解析や不確実性解析を通じた影響の把握が必要と考えられる。

地表環境（生物圏）

第2次取りまとめにおける生物圏評価では、地形情報および位置情報を抽象化しており、地表環境における代表的な構成要素をコンパートメントとして表現している。また、同一コンパートメント内の移行は考慮せず、均質・混合媒体として取り扱っている。

今後サイト条件が具体化されるに従って、地表環境の条件も明らかとなり、実際の地形情報・位置情報に基づくモデル化が可能となるが、モデルの構築方法は様々な手法が挙げられる。例えば、第2次取りまとめが構成要素（コンパートメント）間の移行を直線的（ただし、移行経路のフィードバックが考慮されているため、コンパートメントを直線的に配置したモデルではない）に扱ったモデルであるのに対して、スウェーデンの性能評価（SR97）では、構成要素毎にコンパートメントを用意しておき、これを実際の地表の地勢図に合わせて配置する並列的なモデルが採用されている。いずれのモデルを採用するにしても、処分場から生物圏への核種の流入点（GBI；Geosphere Biosphere Interface）の設定は課題として挙げられる。

以上のように、第2次取りまとめの安全評価においては、サイトを特定しない検討であることから、地質環境条件の多様性と空間的な不均質性を類型化して取り扱っている。今後の研究開発においては、具体的なサイト条件に基づく不均質性の評価（モデル構築含む）を取り込んでいく必要があり、統合解析システムでは取得データや評価結果に基づく不均質場の状態を可視化することにより、研究者間での場の情報の共有と評価間で

の確実な情報伝達を達成することが、研究開発支援の有効な機能の一つと考えられる。また、付録 2 に示すような感度解析（あるいは今後実施され则认为られる不確実性解析）の結果に基づく影響因子についての情報を共有することも、今後の研究開発支援に役立つ機能とされる。

表2.2-1 第2次取りまとめの安全評価における地質環境・設計情報の取り扱い

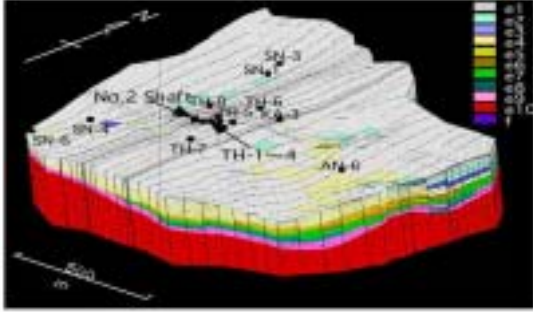
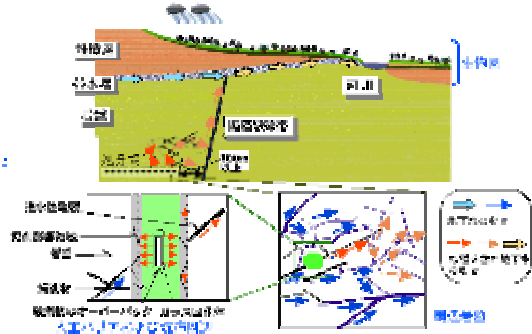
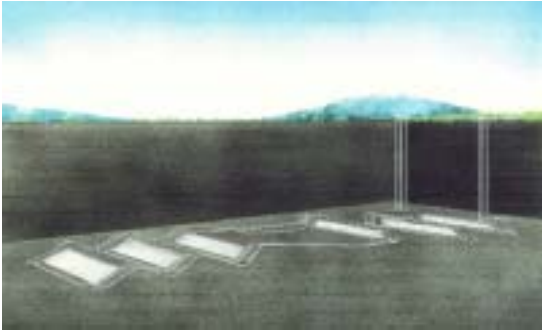
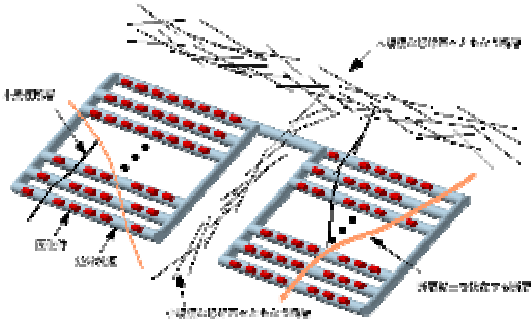
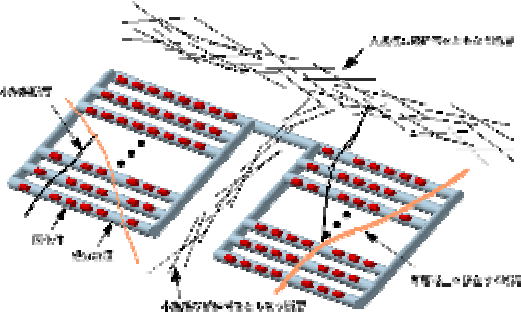
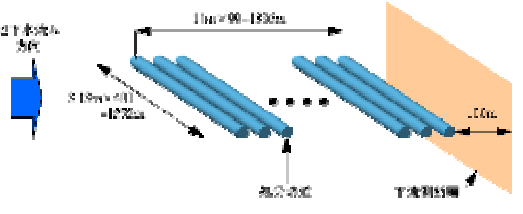
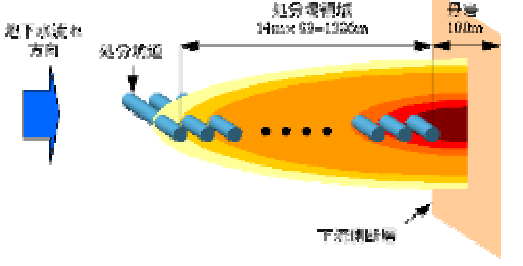
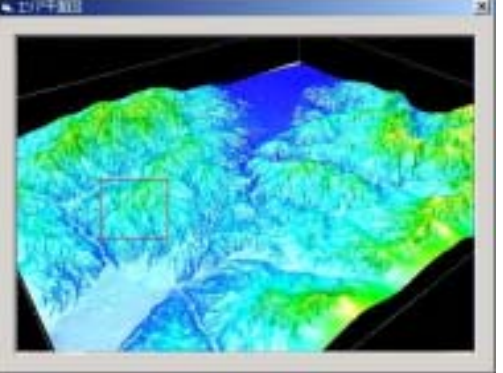
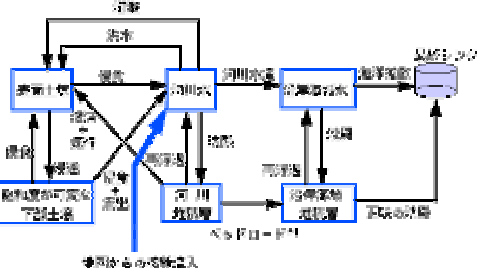
分類	観測・設計結果	安全評価上の取り扱い	設定
地質構造			・地形：山地，丘陵，平野，海域 ・岩種：結晶質岩，堆積岩 ・処分場下流 100 m に断層破砕帯（水理解析は考慮せず，涵養点は帯水層） ・地下水：降水系，海水系（ただし，場所による不均質性は考慮せず） ・岩盤物性値（力学特性，熱特性）： - 結晶質岩；1種類のデータセット - 堆積岩；5種類のデータセット（場所による不均質性は考慮せず）
処分場			・廃棄体本数：4万本 ・処分深度： - 結晶質岩；1000 m - 堆積岩；500 m ・パネル配置：主要地下水流動方向に対して処分坑道は直交 ・定置方式：縦置き，横置き ・プラグ：粘土材もしくは低アルカリ性セメント ・グラウト：（粘土材） ・支保：低アルカリ性セメント ・埋め戻し材：粒度調整ずりとベントナイト混合材

表2.2-1 第2次取りまとめの安全評価における地質環境・設計情報の取り扱い

分類	観測・設計結果	安全評価上の取り扱い	設定
人工バリア			【設計】 ・ガラス固化体：JNFL仕様モデル固化体 ・オーバーバック：炭素鋼 (複合OPは例示のみ) ・緩衝材：30%ケイ砂混合クニゲルV1 ・人工バリア仕様は、場所/岩種によらず一定 【性能評価】 ・単一廃棄体評価(1次元評価のため、設置方式には依存しない) ・緩衝材の不均一性は考慮せず(流出, OP沈下, OP腐食膨張等) ・腐食膨張領域は無視(ただし、代替モデルでは考慮) ・掘削影響領域は移行媒体としては考慮せず(瞬時混合領域) ・地球化学条件の不均質性は考慮せず
処分坑道			・単一坑道評価(横置き) ・動水勾配：地形に準拠 ・透水性：深度依存性考慮 ・掘削影響領域： - TBM掘削を想定 - 連続領域(均質)としてモデル化 ・隣接坑道は考慮せず

表2.2-1 第2次取りまとめの安全評価における地質環境・設計情報の取り扱い

分類	観測・設計結果	安全評価上の取り扱い	設定
天然バリア (坑道一本)	(i) 亀裂ネットワークモデル (ii) チャンネルネットワークモデル (iii) 亀裂ネットワークモデル (iv) 亀裂ネットワークモデル	(i) 亀裂ネットワークモデル (ii) チャンネルネットワークモデル (iii) 亀裂ネットワークモデル (iv) 亀裂ネットワークモデル	・亀裂ネットワークモデルでは、位置情報（流路情報）あり ・重ね合わせモデルでは流路情報が欠落 ・透水量係数：深度依存性考慮 ・動水勾配：地形に準拠 ・移行経路：100 m（下流側断層破砕帯までの最短距離）
	(i) 亀裂ネットワークモデル (ii) チャンネルネットワークモデル (iii) 亀裂ネットワークモデル (iv) 亀裂ネットワークモデル	(左図参照)	・地質統計学法に基づき不透水係数場を設定（50 リアライゼーション） ・水理解析の結果に基づき、下流側断層までの移行流路を抽出（42 流路） ・流路毎に核種移行解析を実施（移行距離，流速は流路毎に異なる） ・42 流路の移行率を重ね合わせ評価（流路毎の位置情報あり） ・50 リアライゼーションについて上記の移行評価を行い，最終的に平均値を算出（この段階で流路情報が意味を持たなくなる） ・動水勾配：地形に準拠

分類	観測・設計結果	安全評価上の取り扱い	設定
天然バリア (処分場)		 	・複数坑道の影響評価（坑道から断層破碎帯までの移行距離を変化） ・横置き定置方式対象 ・処分場設計情報（埋設ピッチ，離間距離）の反映
地表環境 (生物圏)			・地形情報／位置関係は抽象化（構成要素のみコンパートメントとして考慮） ・各構成要素中の移行は考慮せず（均質，混合媒体）

(2) 第2次取りまとめにおける設計・性能評価ツール

統合解析システムに組み込む設計・性能評価ツールとしては、まずは第2次取りまとめにおいて使用されたツールを対象とする。また、前記(1)に記したように、統合解析システムでは不均質場の情報を共有するために、データ(実験データ、原位置取得データ、評価結果等)の空間分布表示が不可欠の機能となる。ここでは、第2次取りまとめにおいて使用された設計・性能評価ツールに関して、評価内容、コード名、次元、解析対象領域(空間分布)、および統合解析システムへの取り込みの観点から整理した。第2次取りまとめの設計評価ツールの整理結果を表 2.2-2 に、安全評価ツールの整理結果を表 2.2-3 に示す。

設計評価ツール

表 2.2-2 に示すように、設計評価ツールに関しては、基本的に2～3次元の有限要素法の解析コードが使用されている。これらは、メッシュデータに基づく空間分布データを持つことから、評価結果のシステムへの組み込みに対しては親和性が高いと考えられる。ただし、各コードでメッシュデータの作成方法が異なることから、共通データとして管理・表示するためにはメッシュ変換用のツールが別途必要となる。

また、第2次取りまとめにおいては、基本的に廃棄体(人工バリア)1個を対象とした評価となっているが、ガラス固化体に関しては埋設対象の固化体が4種類あり、それぞれ発熱特性が異なる。このため、特に熱解析の評価においては固化体の不均一性を取り込むことが、現実的な施設設計の上で有効と考えられる。

安全評価

安全評価ツールに関しては、表 2.2-3 に示すように、水理評価は3次元の解析コードを使用しているが、移行評価は1次元の解析コードである。人工バリア中の核種移行評価に関しては、緩衝材がほぼ均質媒体と仮定できる場合は1次元の解析コードで問題はない(なお、第2次取りまとめにおける MESHNOTE コードは、同心円の形状に対しては複数の領域が考慮できる)。しかし、人工バリアの構造力学安定性評価(オーバーパック沈下、緩衝材流出、オーバーパック腐食膨張など)により、緩衝材の密度・空隙率等に著しい不均一化が生じた場合は多次元の解析コードが必要となる。

天然バリア中の核種移行評価に関しては、水理解析の結果に基づき3次元空間内の流路に沿った移行評価を行うため、移行解析コード自身が1次元であっても、空

間分布と対応付けることは可能である。ただし、第2次取りまとめにおける MATRICS コードでは、指定した点でのフラックス（あるいは濃度）情報しか得られないため、流路内の空間分布は出力できない。また、1次元平行平板モデルの重ね合わせによる評価では、位置情報（流路情報）が特定できないため、統合解析システムへの対応付けは困難となる。

また、地球化学コードに関しては、元々、次元の概念がない。このため、空間分布内のどの点に対する評価であるかは、解析者の判断（解析条件の設定）に依存する。例えば、緩衝材領域を均一組成で扱う場合は緩衝材全体を対象とした評価となるが、不均一性を評価する場合は、解析ポイントは解析者の設定（判断）に依存することになる。特に、地質環境条件の不均一性を評価する場合は、解析ポイントも多くなるため、解析の対象とした空間内の位置（ポイント）と解析の入出力情報を対応付けた適切な管理が必要となる。一方、物質移行 - 地球化学連成モデル（HYDROGEOCHEM, TRACE など）や水理 - 地球化学連成モデルの開発も最近進められており、空間分布を持った地球化学評価が可能であることから、これらのモデルをシステムに導入することも有効である。

第2次取りまとめ以降、サイクル機構殿では不確実性解析用のツールとして米国 Golder 社の GoldSim を使用されている。このツールはパラメータを体系的・総合的に変動させた解析が可能であり、評価結果（例えば、核種移行率や線量）への影響度を把握するのに適している。GoldSim で構築可能なモデルは基本的にコンパートメントモデルであり位置情報自身は持たないが、モデル化したコンパートメントの対象物（例えば、緩衝材など）が特定できるため、統合解析システム上の処分場構成要素と対応付けることで、概略的ではあるがシステムへの取り込み（関連付け）は可能と考えられる。

表2.2-2 第2次取りまとめにおける設計評価ツール

評価内容		コード名	次元	空間分布（解析対象）	統合解析システムへの取り込み
OP 設計	耐食性	簡易式	-	OP	・設計基本データ（人工バリア形状）
	耐圧性	簡易式	-	OP	・設計基本データ（人工バリア形状）
	放射線遮へい性	MCNP	3	固化体，OP，緩衝材	・遮へい厚さは設計基本データ ・放射線分布はメッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
緩衝材設計	自己シール性	簡易式	-	緩衝材	・設計基本データ（人工バリア形状）
	応力緩衝性	簡易式	-	緩衝材	・設計基本データ（人工バリア形状）
空洞安定性	弾塑性解析	ABAQUS	2～3	岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
坑道耐震安定性	自重（静的弾性）	(FEM)		（岩盤）	
	掘削（静的弾性）	(FEM)		（岩盤）	
	応答震度	SHAKE	1	岩盤	・岩盤中の位置情報は深度のみ。水平面に対して一定。
	耐震応答（静的弾性）	(FEM)	2	岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
熱的影響	占有面積（ピッチ，離間距離）	ABAQUS (FINAS)	3	OP，緩衝材，埋め戻し材，岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。） ・開放空洞を考慮する場合，境界条件の設定が困難。（広域になる可能性大。）
緩衝材水理評価	緩衝材再冠水	THAMES	2～3	緩衝材，埋め戻し材，岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
岩盤クリープ	-	(FEM)	2	緩衝材，岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）

表2.2-2 第2次取りまとめにおける設計評価ツール

評価内容		コード名	次元	空間分布（解析対象）	統合解析システムへの取り込み
OP 沈下	-	DACSAR	2	OP，緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
OP 腐食膨張	-	ABAQUS	2	OP，緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
緩衝材流出	-	ABAQUS	2	緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
耐震安定性	深部地震波	SHAKE	1	岩盤	・岩盤中の位置情報は深度のみ。水平面に対して一定。
	固有値	NASTRAN	3	固化体，OP，緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
	緩衝材自重分布	NASTRAN	3	固化体，OP，緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
	岩盤地圧	NASTRAN	3	（岩盤）	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
	動的応答	NASTRAN	3	固化体，OP，緩衝材，岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
ガス移行	溶存水素拡散	(FDM)	2	緩衝材	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）
	ガス／水移行	TOUGH2	2	緩衝材，埋め戻し材，岩盤	・空間分布を持つため，メッシュ変換により対応付け可能。（ただし，対象廃棄体を特定する必要がある。）

表2.2-3 第2次取りまとめにおける安全評価ツール

評価内容		コード名	次元	空間分布（解析対象）	統合解析システムへの取り込み
水理解析	亀裂性媒体	FracMan/MAFIC	3	岩盤	- 空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。） - 隣接坑道は無視。坑道のモデル化長さ（100 m）の変換処理が必要。
	多孔質媒体	SGSIM	3	岩盤	- 空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。） - 坑道のモデル化範囲（本数）の変換処理に注意が必要。
		TAGSAC	3	岩盤	空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。）
地下水化学	母岩中組成	PHREEQE	-	岩盤	位置情報は特定できない。解析者の判断（解析条件）に依存する。
	緩衝材中組成	PHREEQC	-	緩衝材	- 緩衝材を均一組成で扱えば、緩衝材領域への対応付けで可能。 - 緩衝材中の不均一性を評価する場合は、解析者の判断に依存する。
溶解度評価	-	PHREEQE	-	緩衝材（岩盤）	- 緩衝材を均一組成で扱えば、緩衝材領域への対応付けで可能。 - 緩衝材中の不均一性を評価する場合は、解析者の判断に依存する。
インベントリ	-	ORIGEN2	-	固化体	ガラス固化体領域への対応付けで対応可能。（ただし、対象固化体を特定する必要がある。）
人工バリア中核種移行	-	MESHNOTE	1	緩衝材	空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。）

400 2002-042

表2.2 - 3 第2次取りまとめにおける安全評価ツール

評価内容		コード名	次元	空間分布（解析対象）	統合解析システムへの取り込み
天然バリア中核種移行	亀裂性媒体	PAwork/LTG	1（3）	岩盤	・空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。）
	（重ね合わせ）	MATRICS	1	岩盤	・位置情報が特定できないため、対応付けが困難。 ・MATRICS 自身は空間分布を出力しないため、別途処理が必要。
	多孔質媒体	TR3Dinfo	1（3）	岩盤	・空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。）
		MATRICS	1	岩盤	・流線の位置情報と関連付けることにより、対応可能。 ・MATRICS 自身は空間分布を出力しないため、別途処理が必要。
	処分場スケール（複数廃棄体）	畑中・安モデル	1	緩衝材，岩盤	・空間分布を持つため、メッシュ変換により対応付け可能。（ただし、対象廃棄体を特定する必要がある。）
	断層破碎帯	MATRICS	1	岩盤（断層）	・断層位置（ネットワーク）が特定されていれば、対応可能。 ・MATRICS 自身は空間分布を出力しないため、別途処理が必要。
生物圏評価	-	AMBER	1	地表	・対象コンパートメントの位置（場所）情報があるので、基本的に対応可能。 ・ただし、一つのコンパートメントの対象領域が広く、概略的な関連付け。
不確実性評価	-	GoldSim	1	OP，緩衝材，岩盤（その他）	・モデル化したコンパートメントの対象物が特定できるので、対応可能。 ・ただし、コンパートメント自身の位置情報（空間座標）を持たないので、概略的な関連付け。

3. 技術基盤情報の体系化

第2章で整理した第2次取りまとめにおける「処分技術（設計）」および「性能評価」のワーク（評価）項目に対して、その基盤となる技術情報（入出力情報）の対応付けを行い、地層処分システムの設計・安全評価に関する一連の作業をまとめた評価フローを作成した。

3.1 「処分技術」分野に関する評価フローの作成

第2次取りまとめにおける「処分技術」分野のワーク項目の全体像を図3.1-1に示す。基本的には第2次取りまとめ報告書の目次構成に準じる形で整理し、表2.1-1に示した「処分技術」分野の評価・検討項目に基づいて、人工バリアおよび処分施設の設計項目、ならびに設計された処分システムに対する長期健全性評価の項目を階層的にまとめた。

ワークフローを作成するにあたり、まず、設計の各検討項目において使用されているパラメータを整理した。「処分技術（設計）」分野のパラメータの詳細リストを表3.1-1に示す。本表では、左欄に示した各評価（設計）項目ごとに、評価内容の概略、ケース分けがある場合の選択肢、検討（設定）内容、検討に際して考慮すべき影響要因と、影響要因の変動原因となる影響因子について整理した。例えば、オーバーパック（OP）腐食評価の項目では、評価する内容は設計寿命期間中の腐食量（第2次取りまとめにおいては1,000年間の腐食量）である。選択肢の欄は、オーバーパックの種類によって腐食シナリオが異なり、次欄の検討（設定）内容が異なるため、炭素鋼、チタン複合、銅複合のケース分けを行った。炭素鋼の腐食では、基本的に酸素による腐食と水による還元腐食を対象として腐食量を算出し、これらの合計値として1,000年間の腐食量を評価している。ここで、酸素による腐食では、残存酸素量、温度等が腐食に与える影響が大きく、さらにこれらの影響要因は定置方式や坑道仕様、人工バリア中の空隙率などの因子によって変動を受けることになる。腐食評価以外の項目に関しても、同様の考え方で整理した。

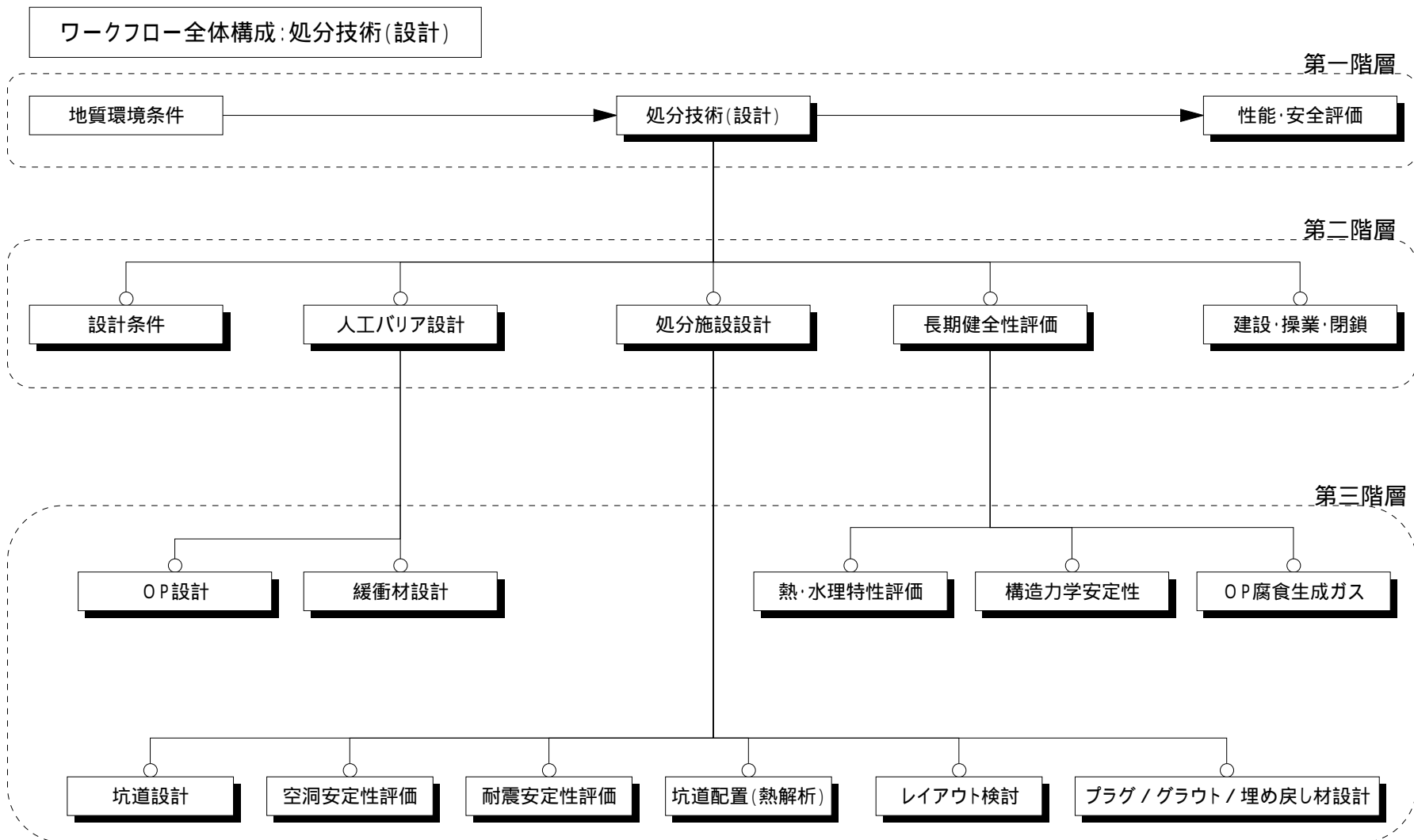


図3.1-1 「処分技術」分野のワークフロー階層構成図

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(1/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
OP腐食評価	腐食量	炭素鋼	酸素による腐食	残存酸素量	定置方式	掘削・搬送定置装置の仕様から決定される。 本来は人工バリアの仕様が無いと装置仕様は決まらない。
					坑道仕様	
					緩衝材空隙	
					埋戻し材空隙	
				温度	処分深度	本来は膨潤前後で異なる。
					地温勾配	本来は膨潤前後で異なる。
					占有面積	
				湿度	再冠水時間	2000年レポートは100%浸潤条件。
					坑道湧水量	
			放射線分解生成物	放射線分解生成物	ガラス固化体種類	
					OP耐圧厚さ	
				水による還元腐食	地下水組成	
					緩衝材組成	
					温度	ベントナイト共存の影響。
					腐食生成物	腐食生成物による加速の可能性あり。
					微生物	(本来, サイト依存)
					有機物	(本来, サイト依存)
					放射線分解生成物	
			孔食 すきま腐食 応力腐食割れ	孔食		
				すきま腐食		
				応力腐食割れ		
		チタン	全面腐食	地下水組成		
				緩衝材組成		
				温度		
			水素脆化	地下水組成		
				水素発生量	全面腐食速度	
				水素吸収量	拡散移行	拡散移行パラメータ必要
				温度		
			すきま腐食			

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(2/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
OP腐食評価 (続き)		銅	酸素による腐食	定置方式		
				残存酸素量		
				温度		
				湿度		
				放射線分解生成物		
			硫酸還元菌による腐食	硫酸イオン量	定置方式	
					坑道仕様	
					緩衝材空隙	
					埋戻し材空隙	
					温度	
			硫化物による腐食	硫酸還元菌		(本来、サイト依存)
				硫化物濃度		
				硫化物供給量	拡散移行	拡散移行パラメータ必要
			孔食	孔食係数	地下水組成	
OP耐圧設計	形状	胴部	内空間寸法	ガラス固化体寸法	製作公差	
		蓋部	蓋形状	製作性(溶接位置)	溶接方法	形状により耐圧評価式は異なる。
	材質		許容応力	温度	処分深度	材質不明(応力値は材質と温度に依存)。本来は人工バリア仕様が無いと温度は評価できない。
					地温勾配	
					占有面積	
	設計外圧	硬岩	地下水静水圧	処分深度		
			緩衝材膨潤圧	緩衝材組成(ケイ砂混合率)		圧密特性の相違。
				地下水組成		海水系地下水の膨潤試験は無しと思量。
				緩衝材厚さ		
			腐食膨張による圧密反力	OP材質		
				腐食膨張率	腐食生成物種類	
				OP腐食代厚さ		
				緩衝材厚さ		緩衝材組成とも関連。
			偏圧	側圧係数	処分深度	2000年レポートは均等圧条件。

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(3/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
OP耐圧設計 (続き)		軟岩	地下水静水圧	処分深度		
			緩衝材膨潤圧	緩衝材組成(ケイ砂混合率)		圧密特性の相違。
			地下水組成			海水系地下水の膨潤試験は無しと思量。
			緩衝材厚さ			緩衝材組成とも関連。
			腐食膨張による圧密反力	OP材質		
				腐食膨張率	腐食生成物種類	
				OP腐食代厚さ		
				緩衝材厚さ		
			岩盤クリープによる圧密反力 偏圧	(不明) 側圧係数		
OP遮へい評価	遮へい厚さ	炭素鋼	酸化性化学種発生量	吸収線量率	OP厚さ	
					ガラス固化体種類	
					放射線量	
				酸化性化学種種類	地下水組成	
		銅	OP表面供給量	拡散移行		拡散パラメータが必要。
			不働態保持電流密度	材質(?)		
			吸収線量率(基準値)	吸収線量率	OP耐圧厚さ ガラス固化体種類 放射線量	諸外国では腐食防止の観点から銅表面の吸収線量率の制限値あり。
OP設計	OP仕様	-	形状			
			OP腐食代	OP腐食評価		
			OP耐圧代	OP耐圧評価		耐圧代と遮へい厚さの大きい方に、腐食代を加えて板厚設定。
			OP遮へい厚さ	OP遮へい評価		
緩衝材基本特性	組成	-	ベントナイト鉱物組成	産地		
			ベントナイト物理特性	産地		
	締固め特性	-	乾燥密度	ベントナイト組成		
				ケイ砂混合率	粒径	
				含水比		
				成型圧力		
	熱的性質	-	熱伝導率	乾燥密度		
				含水比		
				ケイ砂混合率		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(4/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
緩衝材基本特性 (続き)	水理的性質	-	比熱	熱拡散率	乾燥密度	
					含水比	
					ケイ砂混合率	
			透水係数	温度		
				有効粘土密度	乾燥密度	
					ケイ砂混合率	
				地下水組成		
			不飽和透水係数	温度		
				モンモリロナイト含有率	乾燥密度	
	力学的性質	-			ケイ砂混合率	
				含水比		
			一軸圧縮強度	乾燥密度		
			弾性係数	ケイ砂混合率		
			膨潤応力	含水比		
			圧密降伏応力			
			圧縮指数			
			膨潤指数			
	膨潤特性	-	膨潤応力	ベントナイト組成		
				有効粘土密度	ケイ砂混合率	
					乾燥密度	
				地下水組成		
				温度		
	化学的性質	-	化学緩衝性	ベントナイト組成	スメクタイト含有量	
					随伴鉱物組成	
	諸特性	-	収着 / 拡散			
			乾燥収縮	ベントナイト組成		
				乾燥密度		
				ケイ砂混合率		
			透気性	有効粘土密度		
				含水比		
			コロイドフィルトレーション	有効粘土密度		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(5/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
緩衝材設計	厚さ	-	遅延機能	核種移行率	評価パラメータ全て	設計の段階で一義的に決定できない。
			応力緩衝性	OP耐圧厚さ		
				OP腐食膨張量		
				膨潤応力	ケイ砂混合率	
					乾燥密度	
					地下水組成	
					温度	
	乾燥密度	-	施工時乾燥密度	岩盤クリープ量		
				製作・施工性		現場締め固め,ブロック成型を対象。
				強度		ブロックの自立
			膨潤後乾燥密度	熱伝導率		
				コロイドフィルトレーション		
				自己シール性	施工時ギャップ	
	遮へい厚さ	-	処分坑道内の空間線量率 (縦置きのみ)	緩衝材圧密反力	OP耐圧厚さ OP腐食膨張率	緩衝材設計にはOP仕様が必要。OP設計のためには緩衝材仕様が必要。
				緩衝材組成		埋戻し材であるが,緩衝材と同様の組成で評価。
				OP厚さ 放射線強度	ガラス固化体種類	
断面形状設定	断面形状	処分坑道(処分孔),主要・連絡坑道,アクセス坑道(考え方は基本的に同じ)	力学的安定性		処分深度 岩盤強度	既往の研究成果(実績)から幌型採用と思量。
			作業性	定置方式		
				人工バリア仕様	OP厚さ・高さ 緩衝材厚さ・高さ	
				搬送定置装置仕様		
				配置スペース	風管/給水管	
				人員通路		
			経済性	掘削量		
				掘削装置		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(6/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
支保工設計	支保工厚	(理論解)	坑道断面形状			[坑道断面形状設定] 参照
			岩盤(力学特性)	弾性波速度		
				良好度(低減率)		
				一軸圧縮強度		
				引張強度		
				弾性係数		
				粘着力		
				内部摩擦角		
				ポアソン比		
				飽和密度		
				有効間隙率		軟岩系
			支保工材質(力学特性)	コンクリート系材料	設計基準強度	
					弾性係数	
					ポアソン比	
				鋼製	圧縮強度	
					引張強度	
					弾性係数	
			初期地圧	鉛直初期地圧	処分深度	
				側圧係数		
空洞力学安定性評価	坑道離間距離 処分孔間隔	(FEM)	坑道断面形状			[坑道断面形状設定] 参照
			岩盤(力学特性)	弾性波速度		
				良好度(低減率)		
				一軸圧縮強度		
				引張強度		
				弾性係数		
				粘着力		
				内部摩擦角		
				ポアソン比		
				飽和密度		
				有効間隙率		軟岩系

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(7/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
空洞力学安定性評価(続き)			支保工材質	コンクリート系材料	設計基準強度	
					弾性係数	
					ポアソン比	
			支保工厚さ	定置方式		[支保工設計]参照 硬岩系の吹付けコンクリートは構造部材として考慮しない。 TBM工法の場合はセグメント。
				岩種		
				掘削工法		
			初期地圧	鉛直初期地圧	処分深度	
				側圧係数		
			坑道離間距離 処分孔間隔	岩種		既往の実績から2D～5Dの範囲。
				坑道断面形状		
坑道交差部	補強範囲 交差角	処分坑道	自重解析			
			坑道掘削(応力開放)			
			処分孔掘削(応力開放)			
			坑道断面形状			[坑道断面形状設定]参照
			岩盤(力学特性)			
			初期地圧			
坑道掘削 支保設置			坑道掘削	応力解放率		
			支保設置	支保工材質 / 厚さ		[支保工設計]参照
				応力解放率		
耐震安定性	坑道成立性	処分坑道, 主要・連絡坑道, アクセス坑道	応答震度	処分深度		
				入力地震波		
				岩盤物性(力学特性)	層厚	
					岩種	
					飽和密度	
					弾性波速度	
					せん断弾性係数	
					動ポアソン比	
					減衰定数	
					粘着力	
					内部摩擦角	
					引張強度	

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(8/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
耐震安定性 (続き)			自重解析			[空洞力学安定性評価] 参照
			掘削解析			
			耐震解析	坑道仕様 支保材質 / 厚さ	坑道断面形状	
					設計基準強度	
					許容応力度	
					弾性係数	
					ポアソン比	
					単位体積重量	
				応答震度	処分深度	最大ひずみ分布, 地表面ひずみ最大時分布, 処分深度ひずみ最大時分布から3種類設定
					層中心深さ	
					層厚	
					飽和密度	
					せん断応力	
					水平震度	
					層下端せん断応力	
坑道配置	坑道離間距離 埋設ピッチ	(熱解析)	処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
				埋戻し材厚さ		縦置きのみ考慮。
			ガラス固化体熱特性	ガラス固化体発熱量	ガラス固化体種類 中間貯蔵期間	
				熱伝導率	ガラス固化体組成 温度	
				比熱		
				密度		
			OP熱特性	熱伝導率	OP材質 温度	
				比熱		
				密度		
			緩衝材熱特性	熱伝導率	ケイ砂混合率 乾燥密度 含水比	
				比熱		
				密度		
			埋戻し材熱特性	熱伝導率	組成 乾燥密度 含水比	
				比熱		
				密度		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(9/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
坑道配置(続き)			支保工熱特性	熱伝導率	支保工材質 温度	
				比熱		
				密度		
			岩盤熱特性	地温勾配	岩種	
				地表面温度		
				熱伝導率		
				比熱		
				密度		
			施工ギャップ熱特性	熱伝導率	ギャップ充てん物質	粉末ベントナイト, 空気, 水を対象。
				比熱		
				密度		
レイアウト検討	パネル仕様		処分場位置	処分震度		
				岩盤空間分布		
			処分パネル	形状		
				規模 / 数		
				方向 / 配置	地下水流動方向	
			アクセス坑道	方式		
				規模 / 数		
			配置			
埋戻し材設計	埋戻し材仕様		基本特性	組成		
				粒径		
				透水特性	ベントナイト混合率	
				締固め特性	含水比	
					ベントナイト混合率	
				膨潤特性	有効粘土密度	
				強度特性	有効粘土密度	
			緩衝材流出	緩衝材膨潤圧		
				緩衝材物性	乾燥密度	
					弾性係数	
					ポアソン比	
				埋戻し材物性	乾燥密度	
					弾性係数	
					ポアソン比	

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(10/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
再冠水挙動	緩衝材最高到達温度 再冠水時間 (飽和)	(熱解析)	処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
				埋戻し材厚さ		縦置きのみ考慮。
			ガラス固化体熱特性	ガラス固化体発熱量	ガラス固化体種類	
					中間貯蔵期間	
				熱伝導率	ガラス固化体組成 温度	
				比熱		
				熱膨張係数		
			ガラス固化体力学特性	弾性係数	ガラス固化体組成 温度	
				ポアソン比		
				乾燥密度		
			ガラス固化体水理特性	固有透過度		基本的には不浸透
			OP熱特性	熱伝導率	OP材質 温度	
				比熱		
				熱膨張係数		
			OP力学特性	弾性係数	OP材質 温度	
				ポアソン比		
				乾燥密度		
			OP水理特性	固有透過度		基本的には不浸透
			緩衝材熱特性	熱伝導率	ケイ砂混合率 乾燥密度 含水比	
				比熱		
				熱膨張係数		
			緩衝材力学特性	弾性係数	ケイ砂混合率 含水比	
				ポアソン比		
				膨潤圧		
				乾燥密度		
			緩衝材水理特性	固有透過度	温度 体積含水率	
				水分拡散係数		
				有効飽和度	飽和体積含水率 最小容水量	
				比水分容量		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(11/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
再冠水挙動 (続き)			埋戻し材熱特性	熱伝導率	組成 乾燥密度 含水比	
				比熱		
				熱膨張係数		
			埋戻し材力学特性	弾性係数		
				ポアソン比		
				乾燥密度		
			埋戻し材水理特性	固有透過度		
				不飽和透水係数		
			支保工熱特性	熱伝導率	支保工材質 温度	2000年レポートでは考慮せず。
				比熱		
				密度		
			岩盤熱特性	地温勾配		
				地表面温度		
				熱伝導率	岩種	
				比熱		
			岩盤力学特性	弾性係数	岩種	
				ポアソン比		
				乾燥密度		
			岩盤水理特性	固有透過度		
				不飽和透水係数		
			施工ギャップ熱特性	熱伝導率	ギャップ充てん物質	2000年レポートでは考慮せず。
				比熱		
				密度		
岩盤クリープ解析	岩盤変位量 掘削影響領域		処分坑道(孔)仕様	定置方式		2000年レポートは横置きのみ対象。
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		支保の長期安定性を期待できないため解析に含めず。但し、支保分の余掘りを考慮して横置きを対象としているため含まれず。
				埋戻し材厚さ		
			岩盤力学特性	側圧係数	処分深度	
				初期鉛直応力		
				初期水平応力		
コンプライアンスパラメータ						

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(12/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
岩盤クリープ解析 (続き)			緩衝材力学特性	乾燥密度	ケイ砂混合率 含水比	
				弾性係数		
				ポアソン比		
オーバーバック 沈下解析	沈下量 過剰間隙水圧		処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
			OP力学特性	弾性係数	OP材質 温度	
				ポアソン比		
				密度		解析ではガラス固化体重量も含めている。
			緩衝材力学特性	圧縮指数		
				膨潤指数		
				限界状態パラメータ		
				ポアソン比		
				初期間隙比		
				静止土圧係数		
				二次圧密係数		
				初期体積ひずみ速度		
			緩衝材水理特性	透水係数		
				間隙水密度		
				初期全水頭		
緩衝材流出	緩衝材密度		処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
			緩衝材力学特性	固相拡散係数	固相率 亀裂幅 膨潤応力	
				膨潤応力	ケイ砂混合率 乾燥密度	
				粘性係数	固相率	
			岩盤水理特性	亀裂頻度		
				亀裂開口幅		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(13/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
耐震安定性	応力分布 過剰間隙水圧		応答震度	処分深度		
				入力地震波		
				岩盤物性(力学特性)	層厚	
					岩種	
					飽和密度	
					弾性波速度	
					せん断弾性係数	
					動ポアソン比	
					減衰定数	
					粘着力	
					内部摩擦角	
					引張強度	
			自重解析			[空洞力学安定性評価] 参照
			掘削解析			
			耐震解析	坑道仕様	坑道断面形状	
				支保材質 / 厚さ	設計基準強度	
					許容応力度	
					弾性係数	
					ポアソン比	
					単位体積重量	
				応答震度	処分深度	最大ひずみ分布, 地表面ひずみ最大時分布, 処分深度ひずみ最大時分布から3種類設定
					層中心深さ	
					層厚	
					飽和密度	
					せん断応力	
					水平震度	
					層下端せん断応力	

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(14/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
オーバーバック 腐食膨張解析	応力分布 過剰間隙水圧		処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				OP腐食膨張層厚さ	OP材質(腐食膨張率) 腐食代	
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
			OP力学特性	弾性係数	OP材質 温度	
				ポアソン比		
				密度		解析ではガラス固化体重量も含めている。
			OP腐食生成物層物性	弾性係数		
				ポアソン比		
				密度		
			緩衝材力学特性	圧縮指数		
				膨潤指数		
				限界状態パラメータ		
				ポアソン比		
				初期間隙比		
			緩衝材水理特性	透水係数		
				間隙水密度		
				初期全水頭		
			岩盤力学特性	クリープ変形量		[岩盤クリープ解析]参照。結果を引用。
ガス発生・移行	溶存水素移行		処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
			OP化学特性	腐食速度	OP材質 地下水(間隙水)組成	
				ガス発生速度	腐食速度 OP表面積 OP密度 OPモル重量	

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(15/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
ガス発生・移行 (続き)			緩衝材力学特性	弾性係数	ケイ砂混合率 含水率	
				ポアソン比		
				乾燥密度		
			緩衝材水理特性	間隙水圧	処分深度	
			緩衝材物質移行特性	実効拡散係数(ガス)	ケイ砂混合率 含水率	
	ガス移行解析	(二相流解析)	処分坑道(孔)仕様	定置方式		
				OP厚さ		
				緩衝材厚さ		
				支保工厚さ		2000年レポートでは考慮せず。
				埋戻し材厚さ		
			ガラス固化体熱特性	ガラス固化体発熱量	ガラス固化体種類	
					中間貯蔵期間	
				熱伝導率	ガラス固化体組成 温度	
				比熱		
			ガラス固化体物性	間隙率		
				密度		
			ガラス固化体水理特性	絶対浸透率		
				相対浸透率		
				毛管圧力		
			OP熱特性	熱伝導率		
				比熱		
			OP物性	間隙率		
				密度		
			OP水理特性	絶対浸透率		
				相対浸透率		
				毛管圧力		
			OP化学特性	腐食速度		[溶存水素移行] 参照
				ガス発生速度		
			緩衝材熱特性	熱伝導率		
				比熱		
			緩衝材物性	間隙率		
				密度		

表3.1-1 「処分技術」分野の各検討項目における使用パラメータリスト(16/16)

項目	評価内容	選択肢	検討(設定)内容	影響要因	影響因子	備考
ガス発生・移行 (続き)			緩衝材水理特性	絶対浸透率		
				相対浸透率		
				毛管圧力		
			埋戻し材熱特性	熱伝導率		
				比熱		
			埋戻し材物性	間隙率		
				密度		
			埋戻し材水理特性	絶対浸透率		
				相対浸透率		
				毛管圧力		
			岩盤熱特性	地温勾配		
				地表面温度		
				熱伝導率		
				比熱		
			岩盤物性	間隙率		
				密度		
			岩盤水理特性	絶対浸透率		
				相対浸透率		
				毛管圧力		
建設・操業・閉鎖						

表 3.1-1 にまとめたパラメータの詳細リストを参考に，図 3.1-1 に示したワークフローの全体構成に対して，個々の設計・評価項目に関するワークフローを作成した。ワークフローの作成に際しては，図 3.1-2 に示す規約を設けて整理した。具体的には，当該ワーク項目内で行う具体的な検討（試験，データ設定，解析等）を影付きのボックスで，その検討に対する上流／下流の検討を影なしのボックスでそれぞれ表した。各検討項目間の情報（データ）の流れはボックスの左側から入る黒矢印で表し，検討に使用するツール（解析コード）等はボックスの下側から入る情報として表現した。なお，ボックスの上側から入る白矢印は判断基準等に使われる情報を示している。また，各検討項目は，データ設定等の研究者の判断に属すると考えられる項目を赤色で，解析コード等を用いた解析・評価の項目を黄色で，実験や観測等によるデータ取得を水色でそれぞれ表現した。これらの分類は，ワークフローを知識ベースとして構築する際に，技術情報が適切に管理できるようにするためのものである。

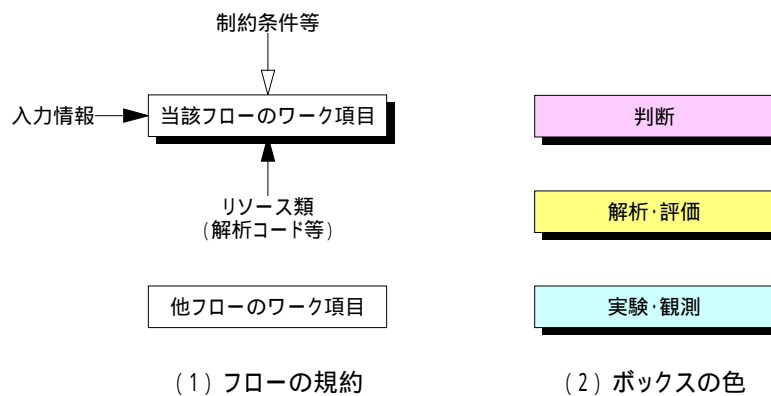


図 3.1 - 2 ワークフロー作成規約

上記の規約に基づき「処分技術」分野のワーク項目毎にまとめた詳細ワークフローを図 3.1-3～図 3.1-16 に示す。また，ここで作成したワークフローには情報のフィードバックを表す流れを明記していない。情報のフィードバックは，ワーク項目の上流側と下流側に同じワーク項目がある場合が，これに相当する。例えば，図 3.1-4 のオーバーパック設計に関するワークフローでは，左側に示した緩衝材設計の項目より，緩衝材組成や膨潤圧・圧密反力等の情報が入力され，これに基づいてオーバーパックの腐食厚さや耐圧厚さが設定される。ここで得られたオーバーパックの板厚や腐食膨張率などの情報が緩衝材設計に再び入力され，腐食膨張圧に基づいて緩衝材の仕様が検討されることになる。統合解析システムにおいては，このようなフィードバックリンクを入力情報と出力情報の対比の形で容易に比較・参照できるような構成・機能を持たせることが重要と考えられる。

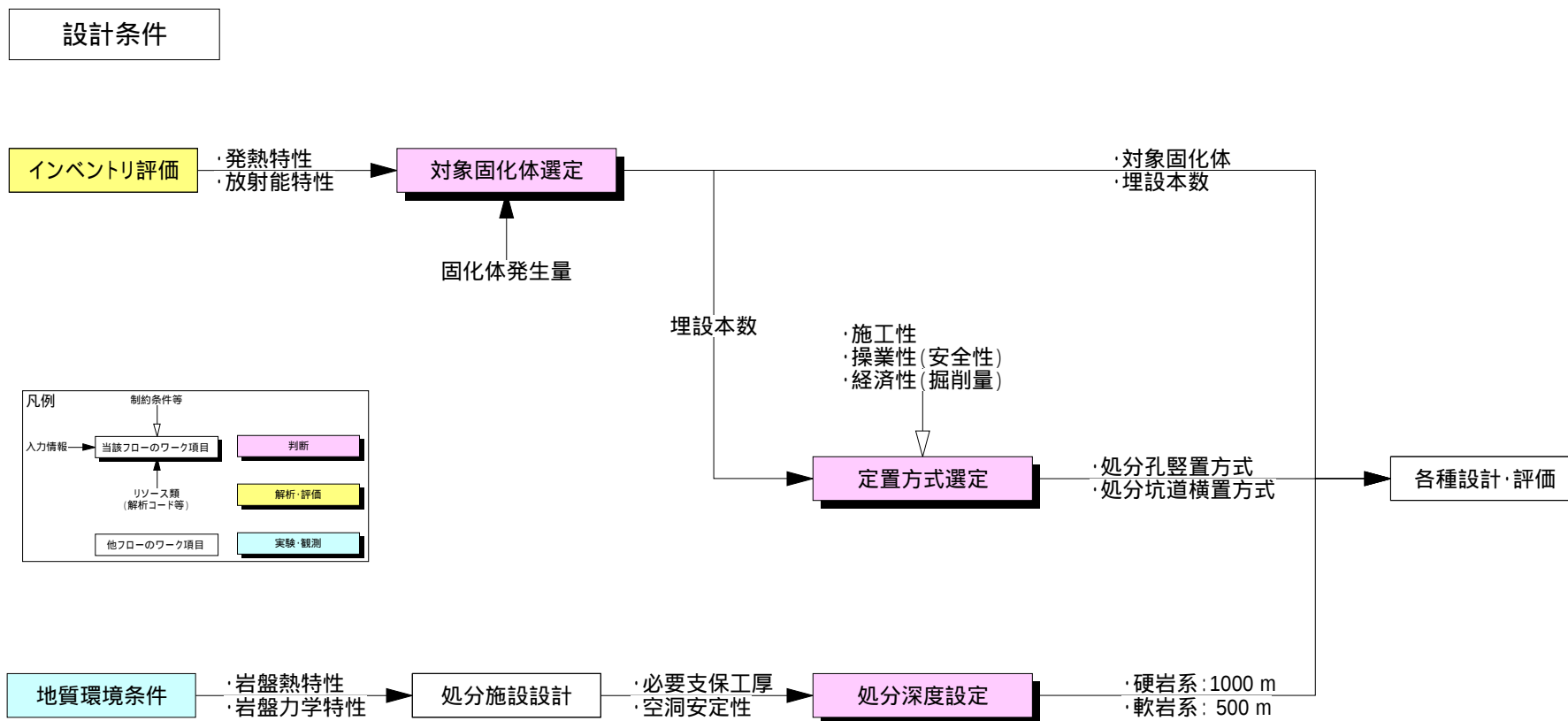


図3.1-3 「処分技術」設計条件に関するワークフロー

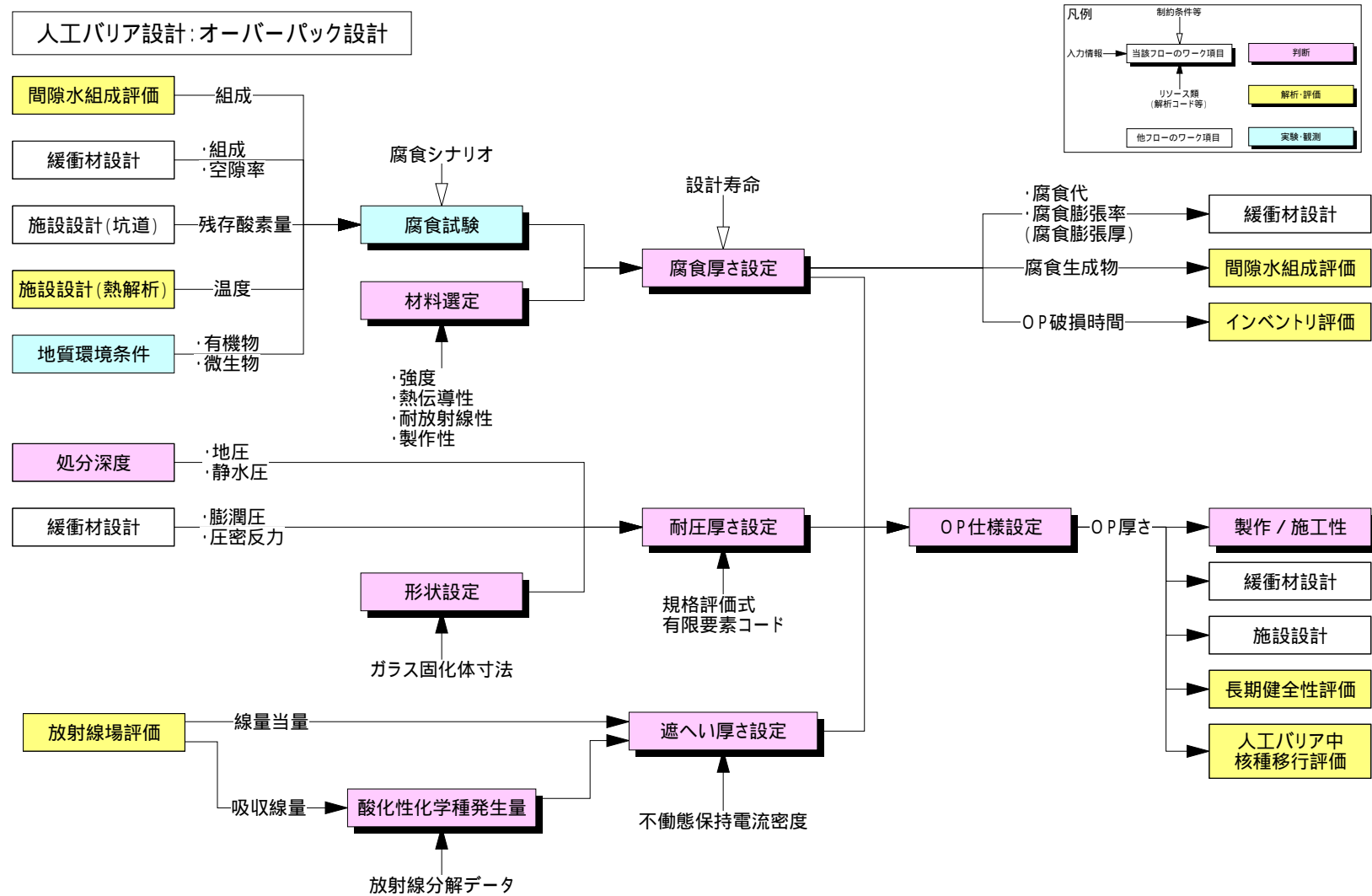


図3.1-4 「処分技術」オーバーパック設計に関するワークフロー

人工バリア設計:緩衝材設計

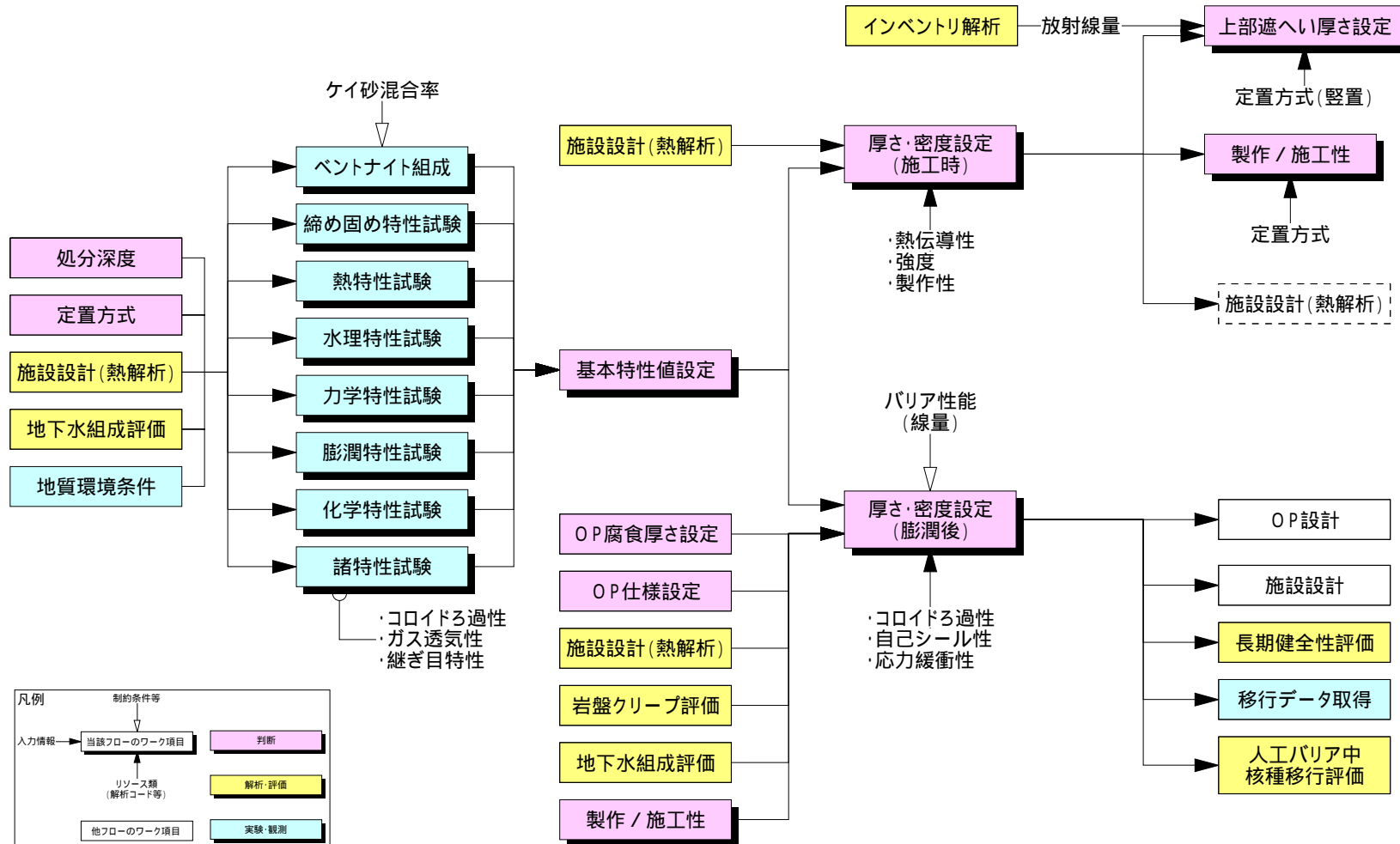


図3.1-5 「処分技術」緩衝材設計に関するワークフロー

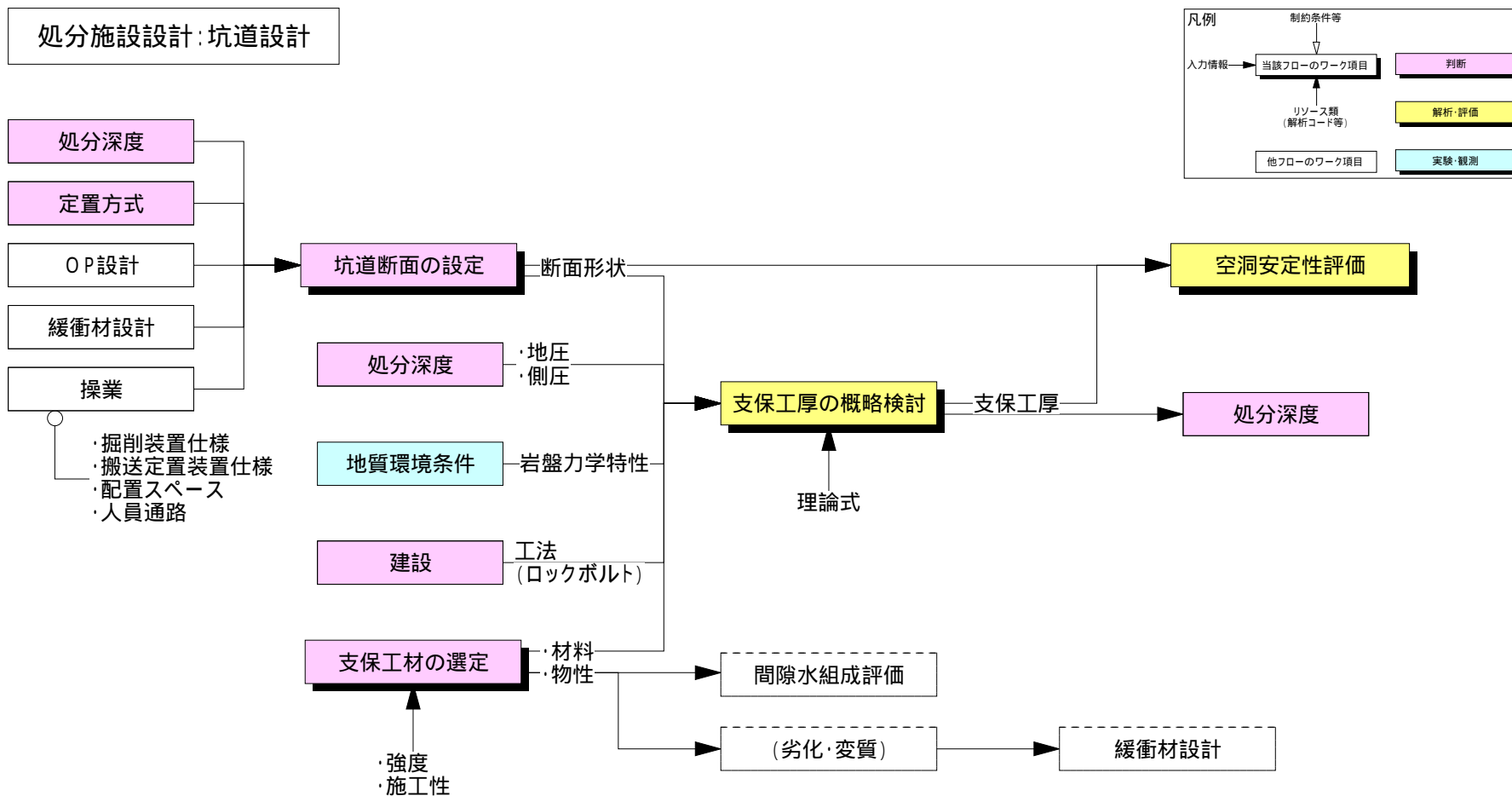


図3.1-6 「処分技術」坑道設計に関するワークフロー

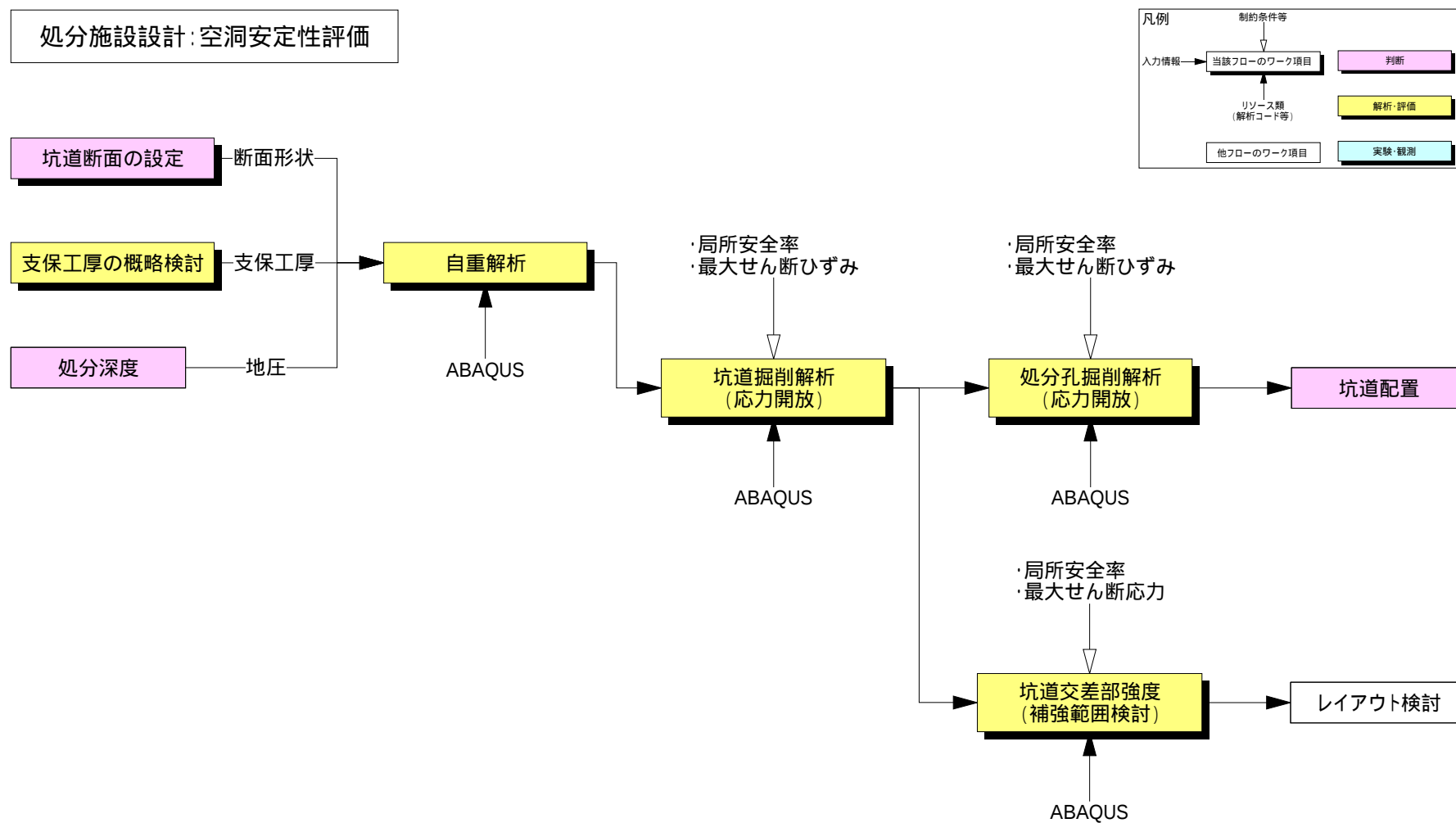


図3.1 - 7 「処分技術」空洞安定性評価に関するワークフロー

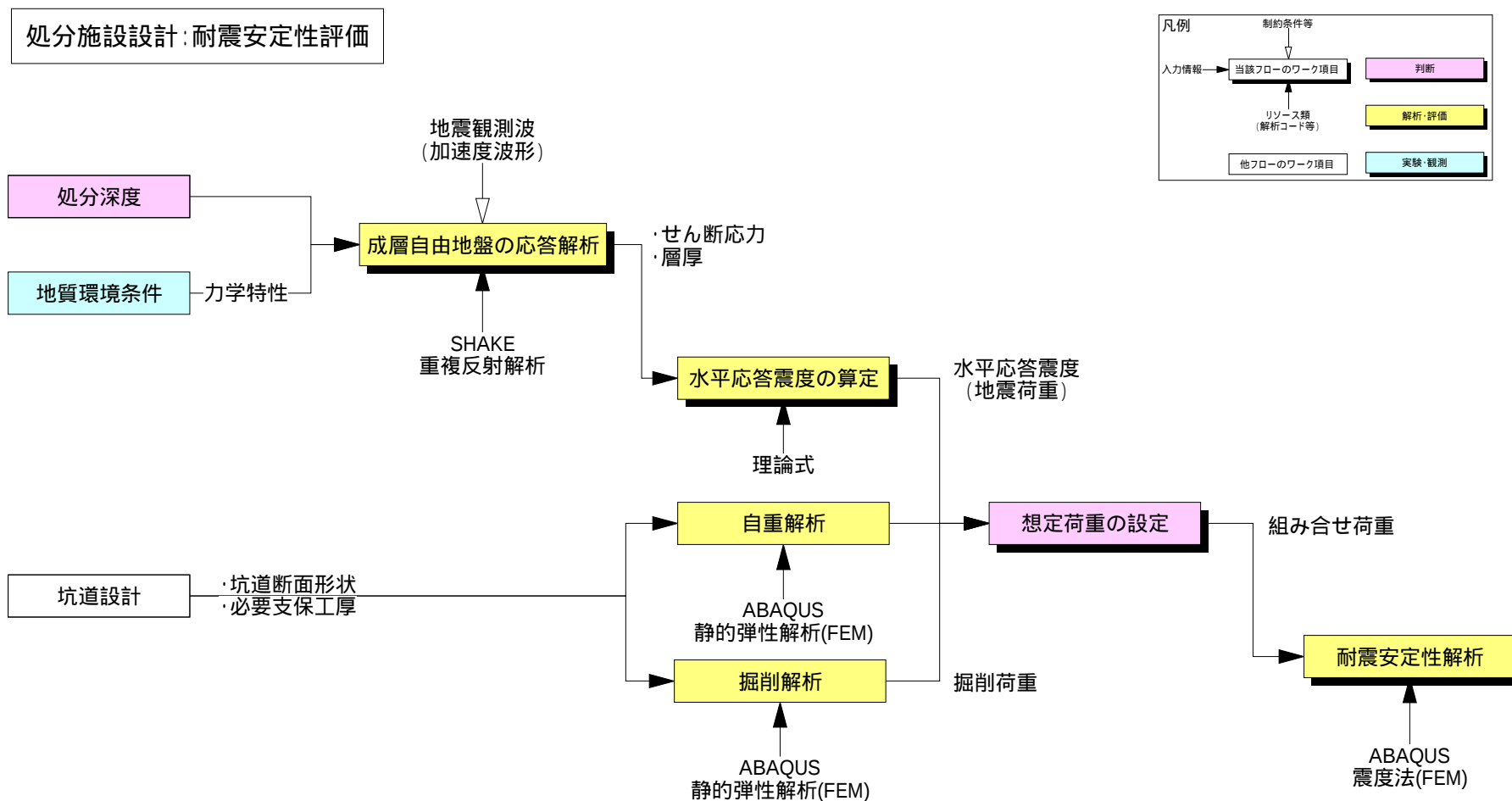


図3.1-8 「処分技術」耐震安定性(空洞)に関するワークフロー

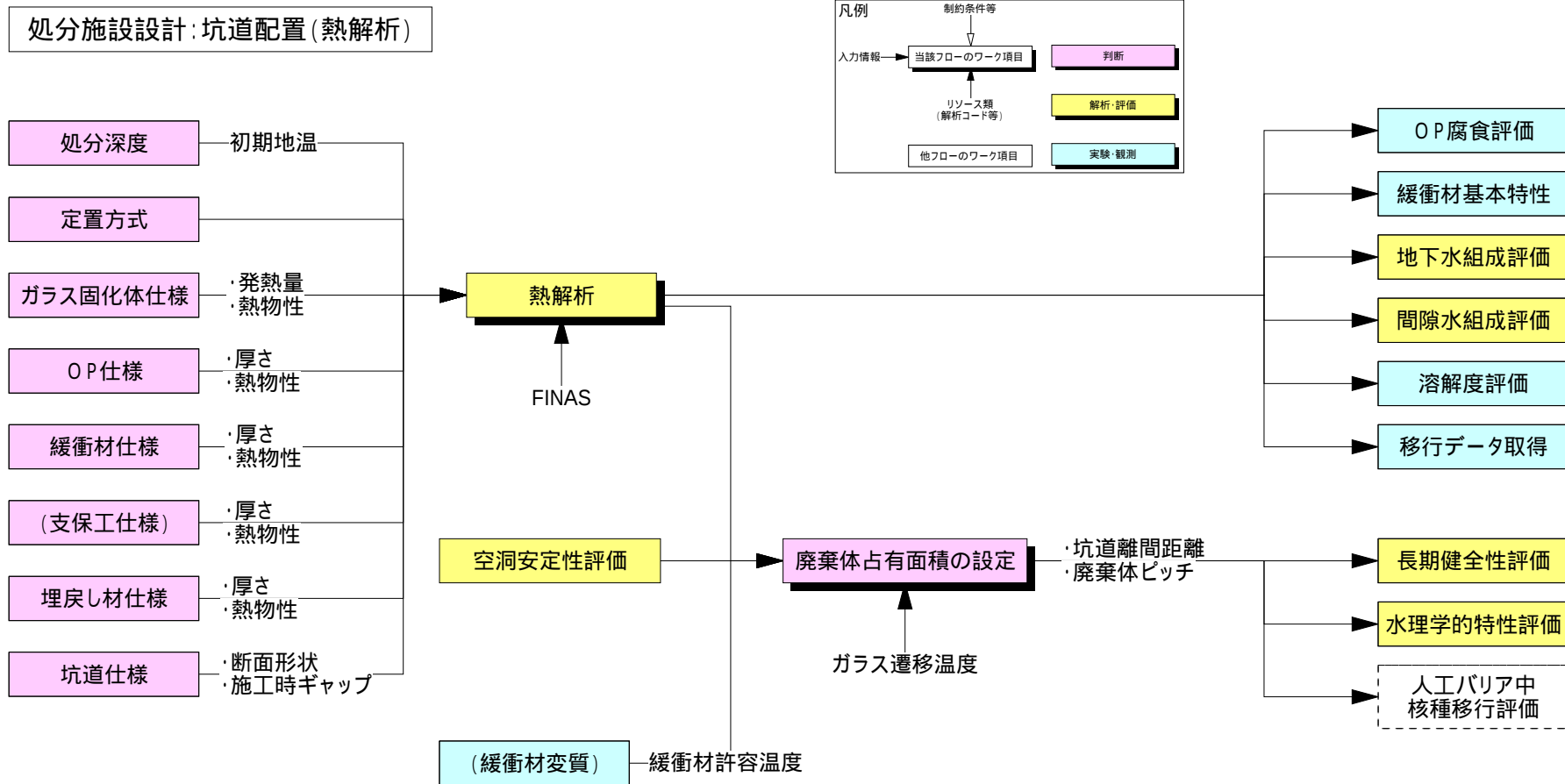


図3.1-9 「処分技術」坑道配置（熱解析）に関するワークフロー

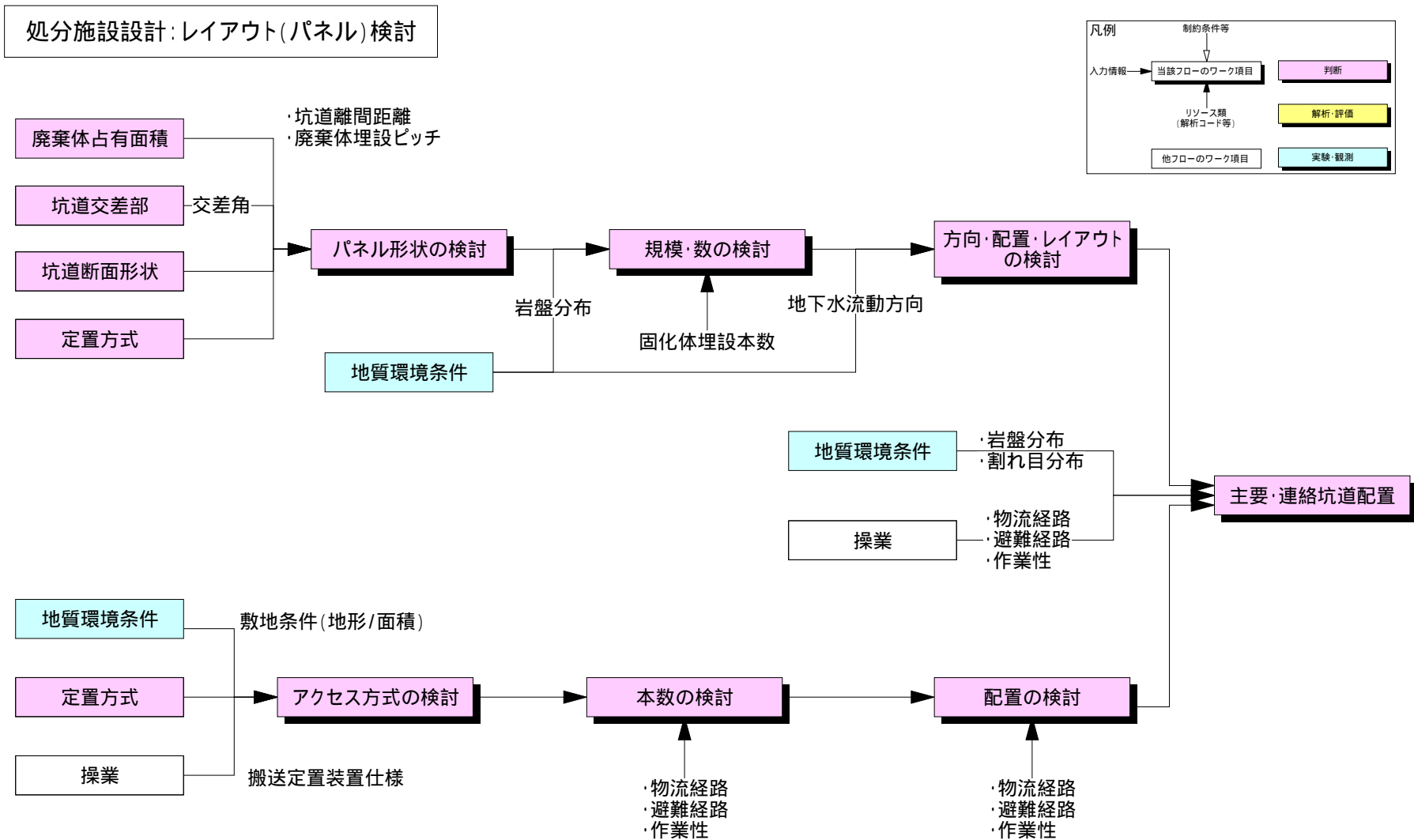


図3.1 - 10 「処分技術」レイアウト検討に関するワークフロー

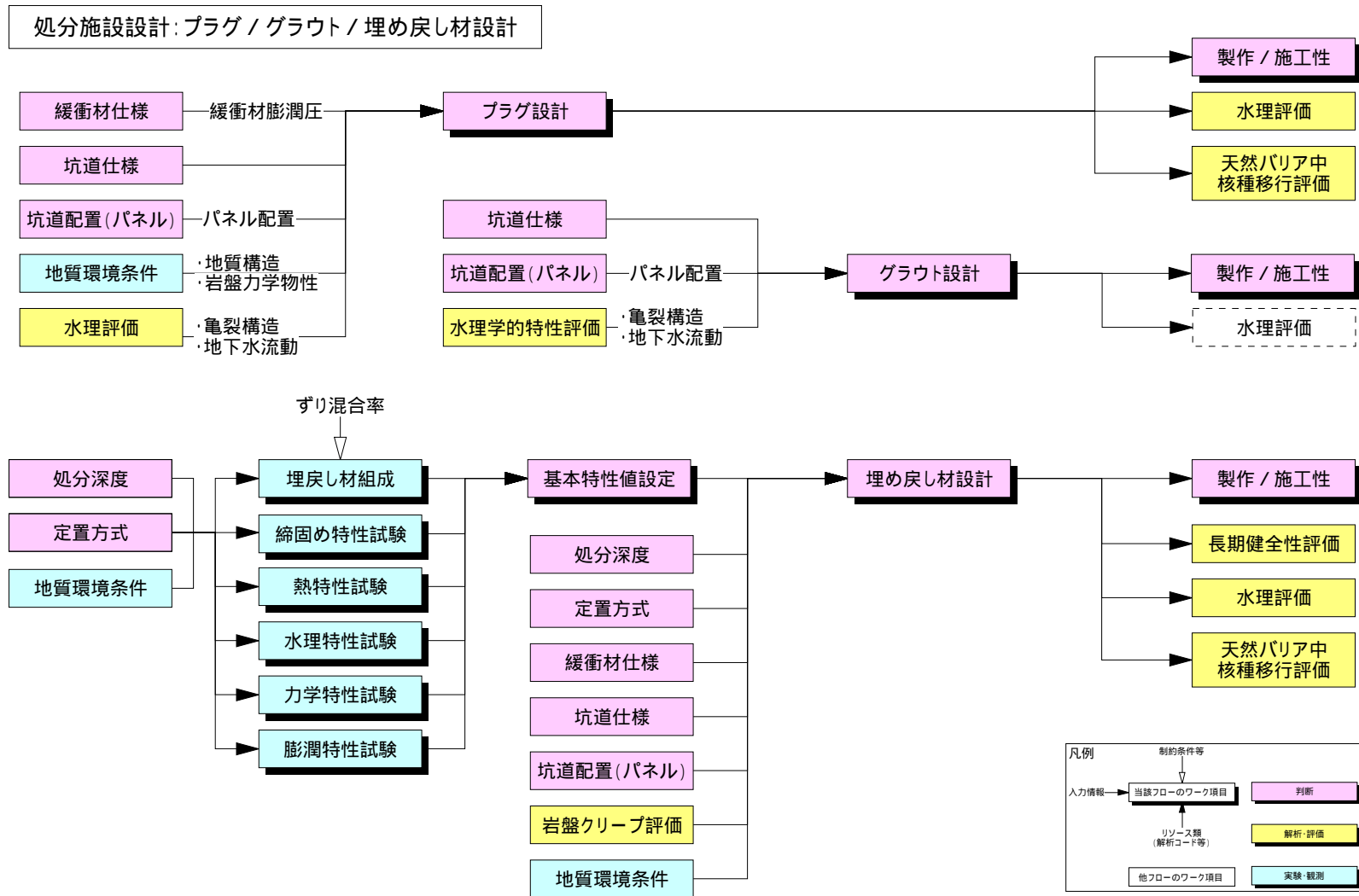


図3.1 - 11 「処分技術」プラグ／グラウト／埋戻し材設計に関するワークフロー

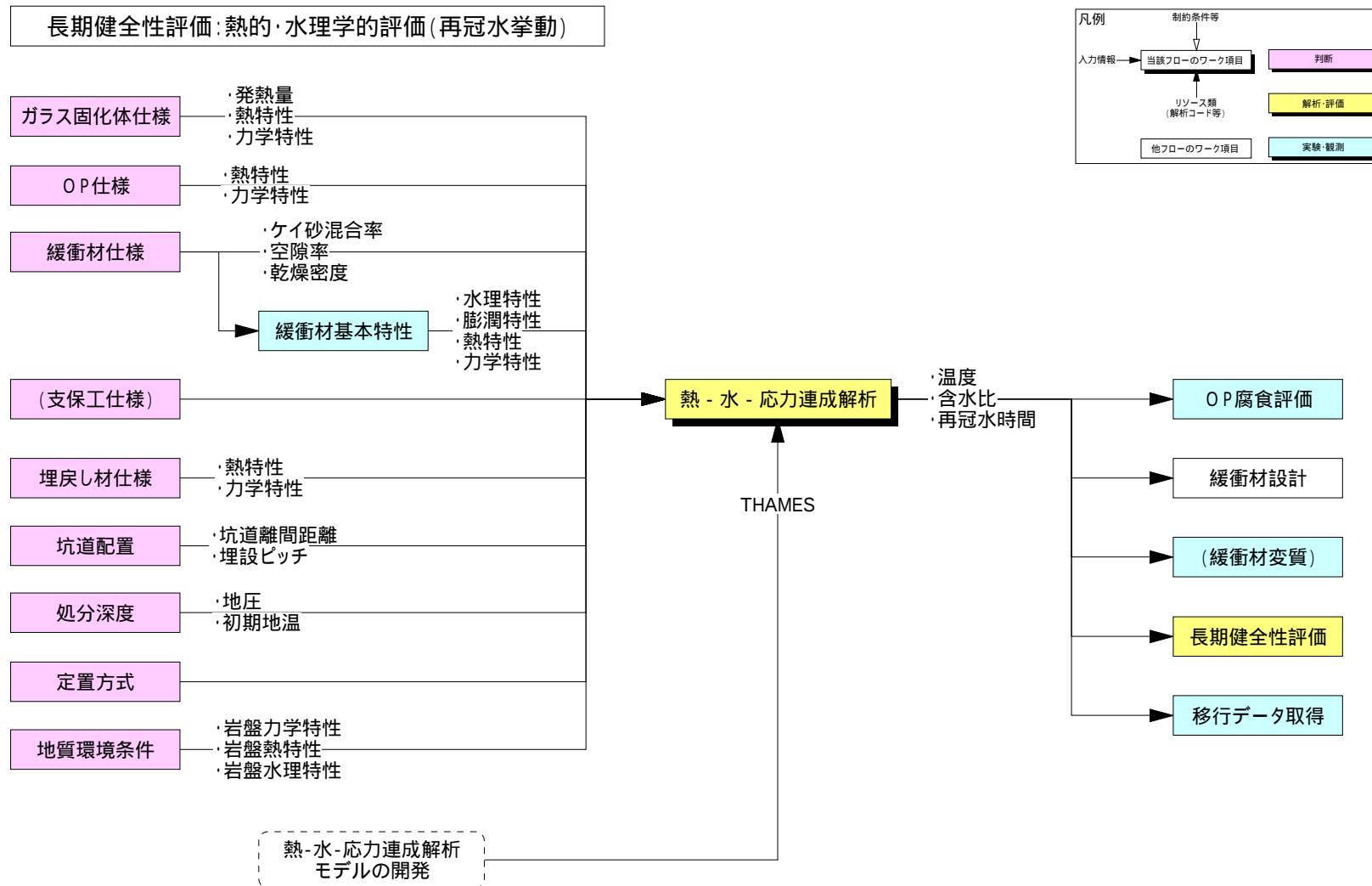


図3.1-12 「処分技術」熱的・水理学的評価(再冠水挙動)に関するワークフロー

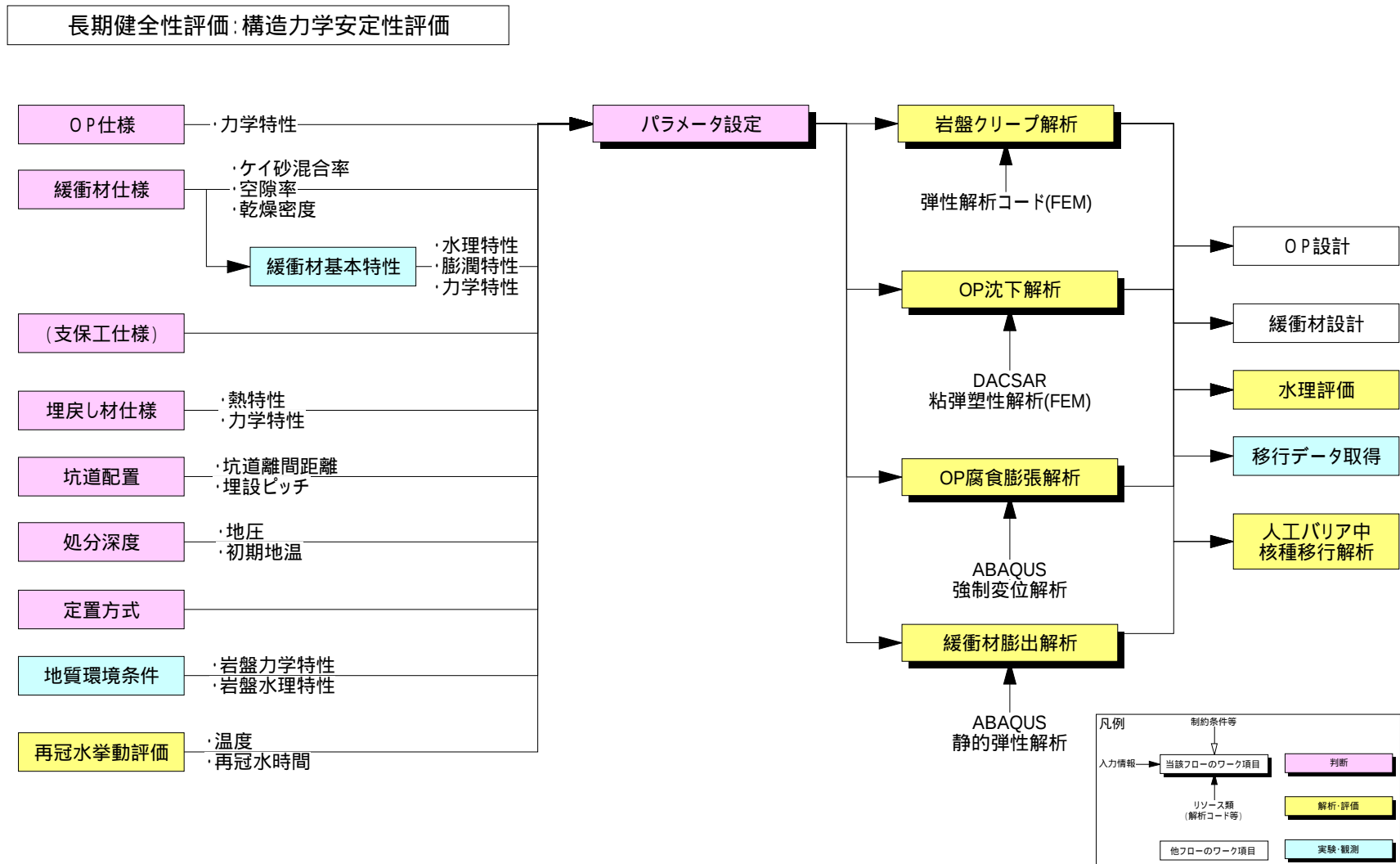


図3.1 - 13 「処分技術」構造力学安定性評価に関するワークフロー

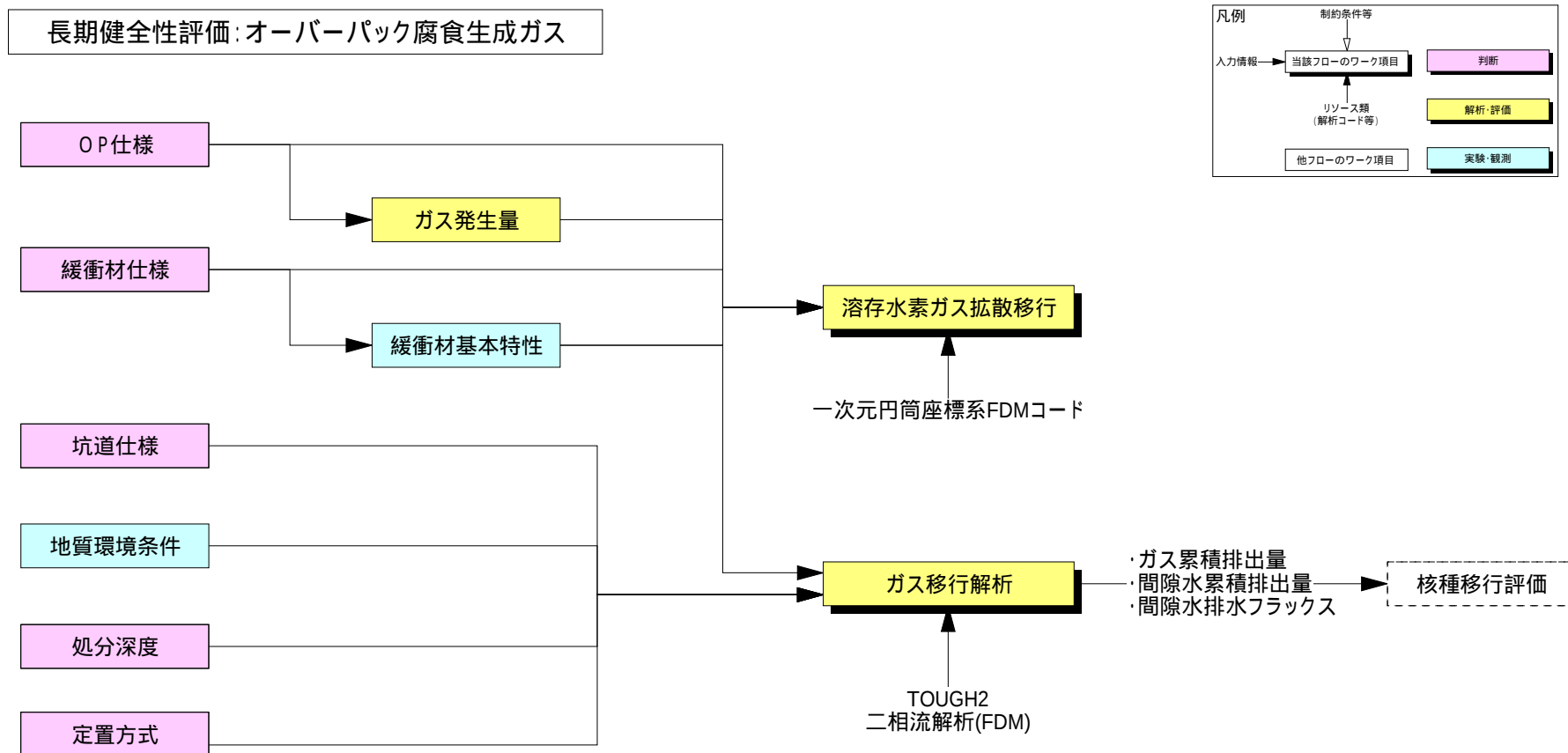


図3.1-14 「処分技術」オーバーパック腐食生成ガス評価に関するワークフロー

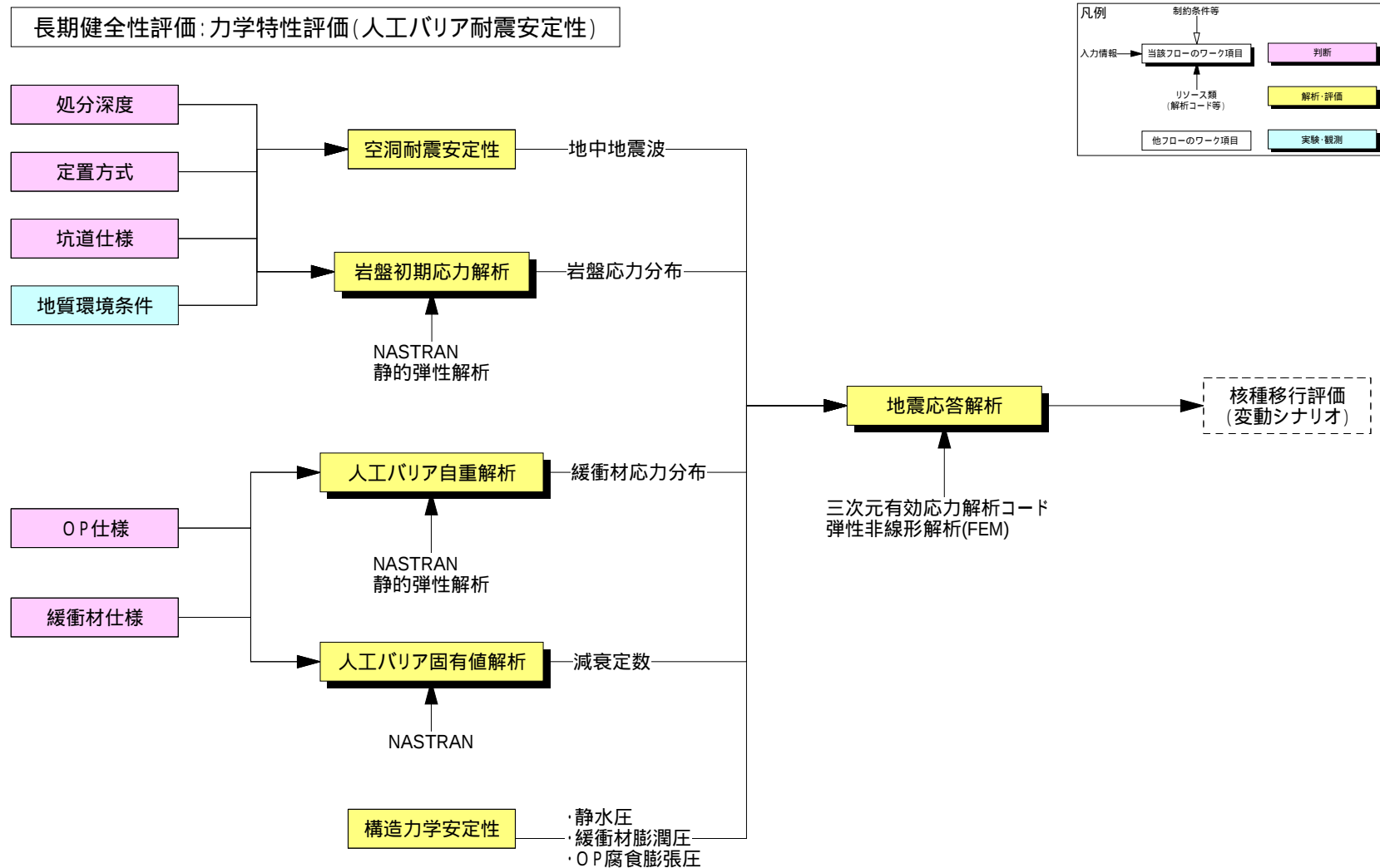


図3.1-15 「処分技術」力学特性評価(人工バリア耐震安定性)に関するワークフロー

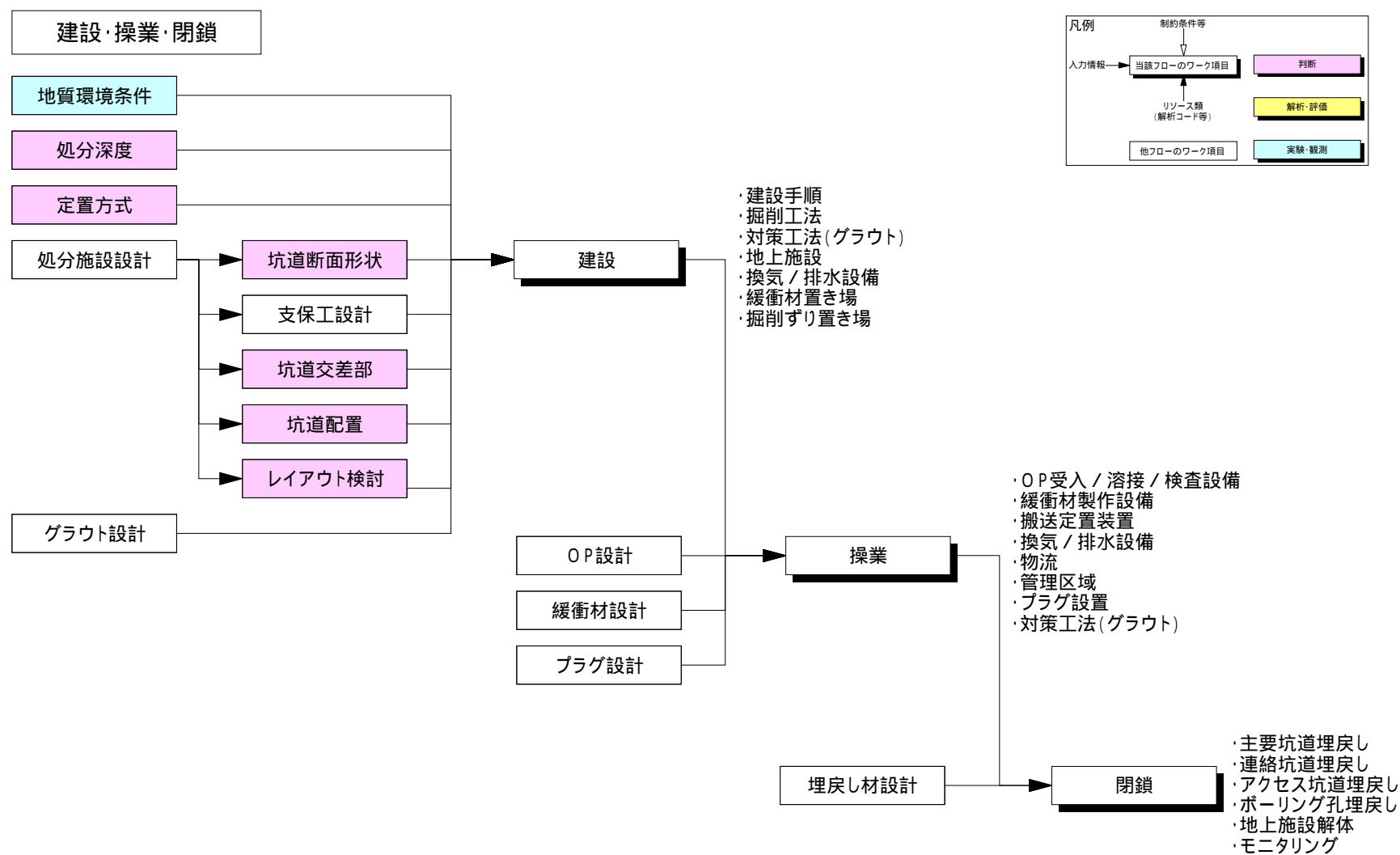


図3.1 - 16 「処分技術」建設・操作・閉鎖に関するワークフロー

3.2 「性能評価」分野における評価フローの作成

第2次取りまとめにおける「性能評価」分野のワーク項目の全体像を図3.2-1に示す。基本的には第2次取りまとめ報告書の目次構成に準じる形で整理し、表2.1-2に示した「性能評価」分野の評価・検討項目に基づいて、放射線学的特性、水理学的特性、化学的特性、物質移行特性に関するワーク項目を階層的にまとめた。なお、FEPリストに挙げられている熱的特性および力学的特性に関する評価については、「処分技術」分野の長期健全性評価として実施されており処分技術のワークフローに含めたため、性能評価のワーク項目には含めていない。

図3.2-1に示したワークフローの全体構成に対して、個々の評価項目に関するワークフローを作成した。「性能評価」分野のワーク項目毎に作成した詳細ワークフローを図3.2-2～図3.2-19に示す。ワークフローの作成にあたっては、「処分技術」分野のワークフローと同様に、図3.1-2に示した規約に基づいて整理した。具体的には、各ワーク項目内で行う具体的な検討（試験、データ設定、解析等）を影付きのボックスで、その検討に対する上流／下流の検討を影なしのボックスでそれぞれ表した。各検討間の情報（データ）の流れはボックスの左側から入る黒矢印で表し、検討に使用するツール（解析コード）等はボックスの下側から入る情報として表現した。なお、ボックスの上側から入る白矢印は判断基準等に使われる情報を示している。また、各検討項目は、研究者の判断に属すると考えられる項目を赤色で、解析・評価の項目を黄色で、実験や観測等の項目を水色でそれぞれ表現した。さらに、現象理解やモデル構築に属する項目を丸ボックスで表し、それらを用いた評価・検討に属する項目を角ボックスで表現した。

図3.2-2に示したシナリオ分析においては、国際的なシナリオ構築手法に基づいて、まず包括的なFEPリストを作成した上で、観測事実や評価結果（設計）を参考に安全機能に対する影響が小さいと判断できるFEPを除外する。このようにして絞り込まれた対象FEPリストを用いて、プロセス間の影響の伝播を表現したPIDを作成し、最終的に評価シナリオを構築することになる。構築された評価シナリオが安全評価（本来は設計も含まれる）の前提条件となる。第2次取りまとめにおける包括的FEPリストを表3.2-1に示し、この中から影響度が小さいと判断して評価対象から除外したFEP項目を表3.2-2に網掛けで示す。図3.2-3～図3.2-19に示した個々のワークフローは第2次取りまとめの評価項目に準じて作成したものであり、FEPリストとの対比の観点から見れば、表3.2-2に示した対象FEP（網掛けしていないFEP項目）に関する評価内容をまとめたものと考えることができる。

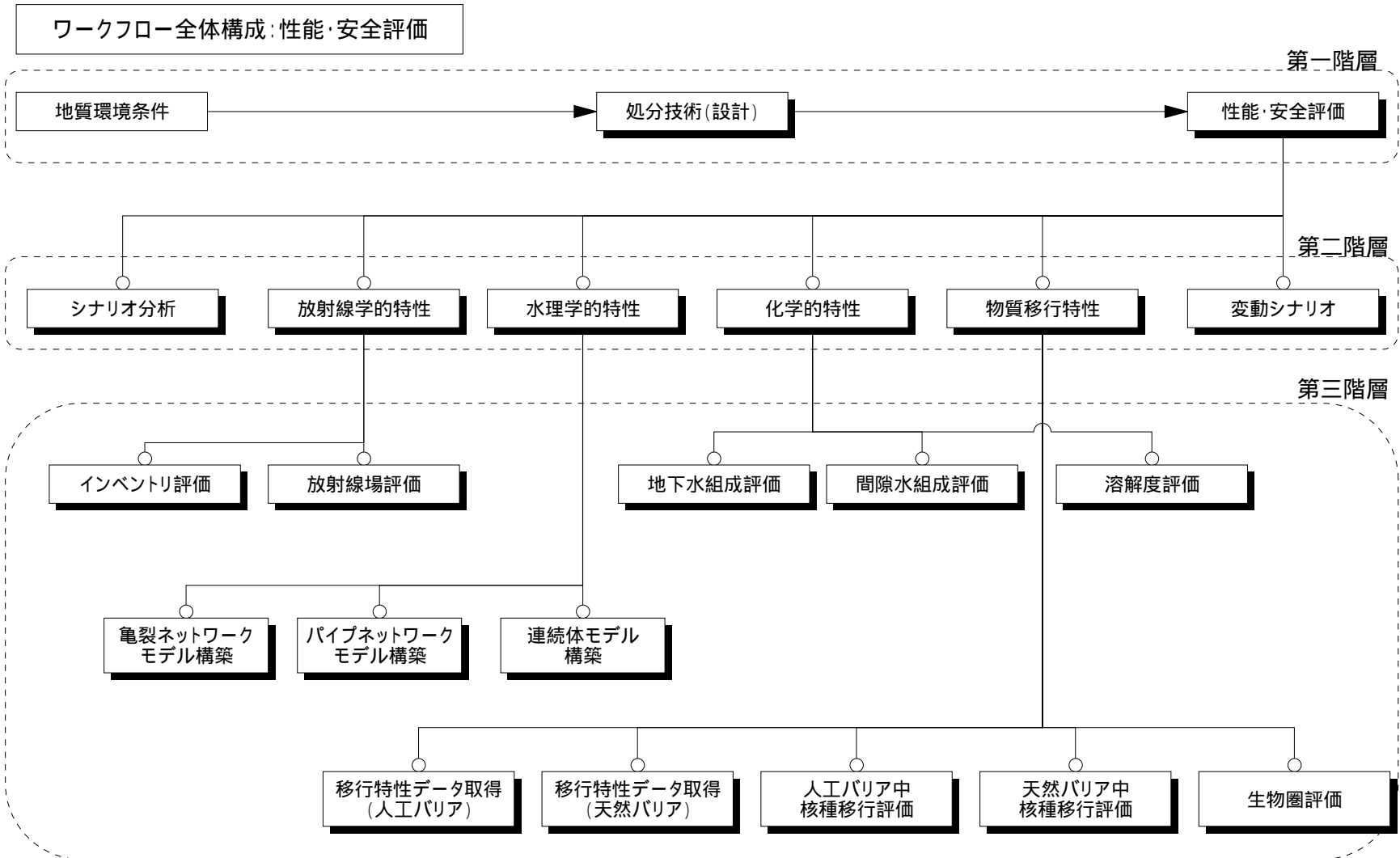


図3.2-1 「性能評価」分野のワークフロー階層構成図

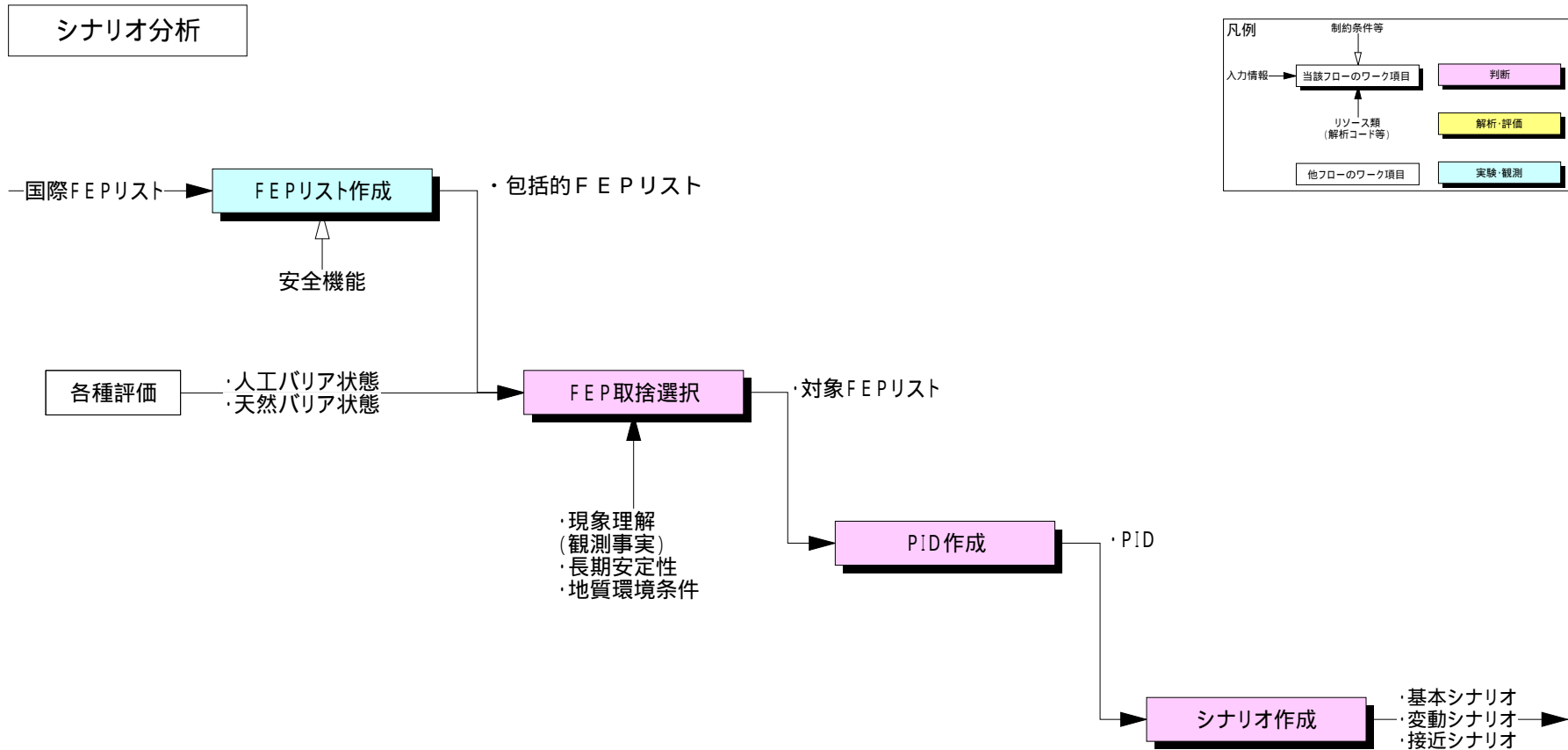


図3.2-2 「性能評価」シナリオ分析に関するワークフロー

表3.2-1 第2次取りまとめにおける包括的FEPリスト(地下水移行シナリオのみ)

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破損 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

表3.2-2 第2次取りまとめにおいて影響が小さいとして除外したFEPリスト(地下水移行シナリオのみ)

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性	OP.1.1 オーバーバックの熱物性	B.1.1 緩衝材の熱物性	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性	H.1.1 母岩の熱物性
	G.1.2 ガラス固化体の温度	OP.1.2 オーバーバックの温度	B.1.2 緩衝材の温度	D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度	H.1.2 母岩の温度
	G.1.3 ガラス固化体の熱膨張	OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.3 母岩の熱膨張
	G.1.4 崩壊熱の発生				
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性	H.2.1 母岩の水理特性
			B.2.2 緩衝材の飽和	D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和	H.2.2 母岩の飽和
			B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性	OP.3.1 オーバーバックの力学特性	B.3.1 緩衝材の力学特性	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性	H.3.1 母岩の力学特性
	G.3.2 ガラス固化体の応力	OP.3.2 オーバーバックの応力	B.3.2 緩衝材の応力	D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力	H.3.2 母岩の応力
	G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.3 オーバーバックの破損	B.3.3 緩衝材の膨潤	D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤	H.3.3 母岩のクリープ
		OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張	B.3.4 緩衝材の変形	D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形	
4. 化学的現象・特性		OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.5 緩衝材の流出	D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	
	G.4.1 ガラス固化体の化学特性	OP.4.1 オーバーバックの化学特性	B.4.1 緩衝材の化学特性	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性	H.4.1 母岩の化学特性
	G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学	OP.4.2 オーバーバックの地下水化学	B.4.2 緩衝材中の地下水化学	D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学	H.4.2 母岩中の地下水化学
	G.4.3 ガラス固化体の溶解	OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応	B.4.3 緩衝材と地下水の反応	D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応	H.4.3 母岩と地下水の反応
	G.4.4 ガスの発生/影響	OP.4.4 オーバーバックの腐食	B.4.4 ガスの発生/影響	D.4.4 ガスの発生/影響	H.4.4 ガスの発生/影響
	G.4.5 微生物の影響	OP.4.4.1 全面腐食	B.4.5 微生物の影響	D.4.5 微生物の影響	H.4.5 微生物の影響
	G.4.6 有機物の影響	OP.4.4.2 孔食	B.4.6 有機物の影響	D.4.6 有機物の影響	H.4.6 有機物の影響
	G.4.7 コロイドの形成	OP.4.4.3 すきま腐食	B.4.7 コロイドの形成	D.4.7 コロイドの形成	H.4.7 コロイドの形成
	G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.4.4 応力腐食割れ	B.4.8 緩衝材の化学的変質	D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.8 母岩の化学的変質
		OP.4.5 腐食生成物の生成	B.4.9 塩の蓄積		
		OP.4.6 ガスの発生/影響			
		OP.4.7 微生物の影響			
		OP.4.8 有機物の影響			
		OP.4.9 コロイドの形成			
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊
	G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解	OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解	B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解	D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解	H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解
	G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性	B.6.1 緩衝材の物質移動特性	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性	H.6.1 母岩の物質移動特性
	G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出	OP.6.2 幾何形状/間隙構造	B.6.2 幾何形状/間隙構造	D.6.2 幾何形状/間隙構造	H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造
	G.6.2.1 核種の調和的な溶出	OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行	B.6.3 緩衝材中での核種の移行	D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行	H.6.3 母岩中での核種の移行
	G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.3.1 移流/分散	B.6.3.1 移流/分散	D.6.3.1 移流/分散	H.6.3.1 移流/分散
		OP.6.3.2 拡散	B.6.3.2 拡散	D.6.3.2 拡散	H.6.3.2 拡散
		OP.6.3.3 収着	B.6.3.3 収着	D.6.3.3 収着	H.6.3.3 収着
		OP.6.3.4 沈殿/溶解	B.6.3.4 沈殿/溶解	D.6.3.4 沈殿/溶解	H.6.3.4 沈殿/溶解
		OP.6.3.5 コロイドによる移行	B.6.3.5 コロイドによる移行	D.6.3.5 コロイドによる移行	H.6.3.5 コロイドによる移行
		OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.3.6 ガスによる移行
					H.6.4 臨界

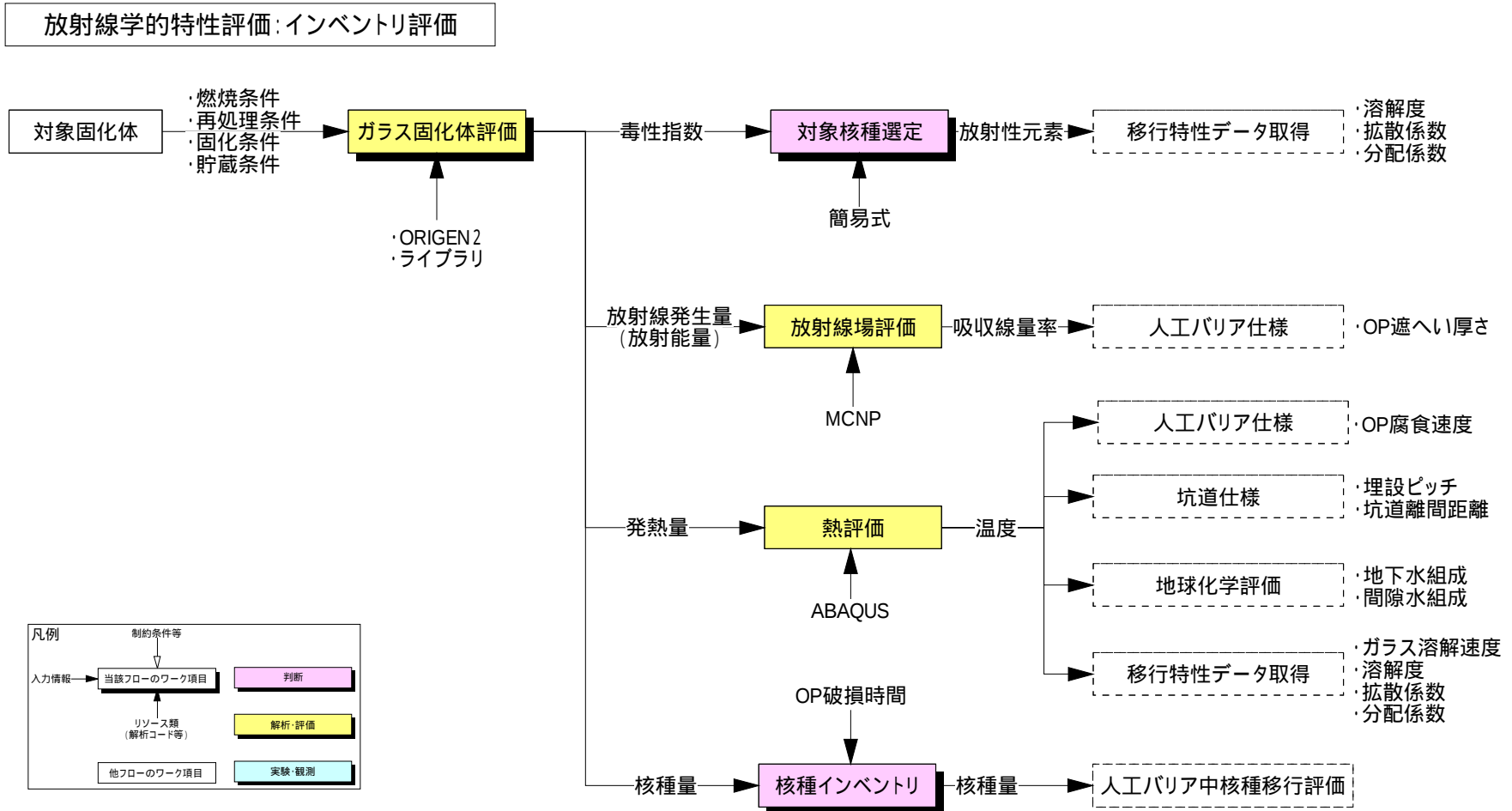


図3.2-3 「性能評価」インベントリ評価に関するワークフロー

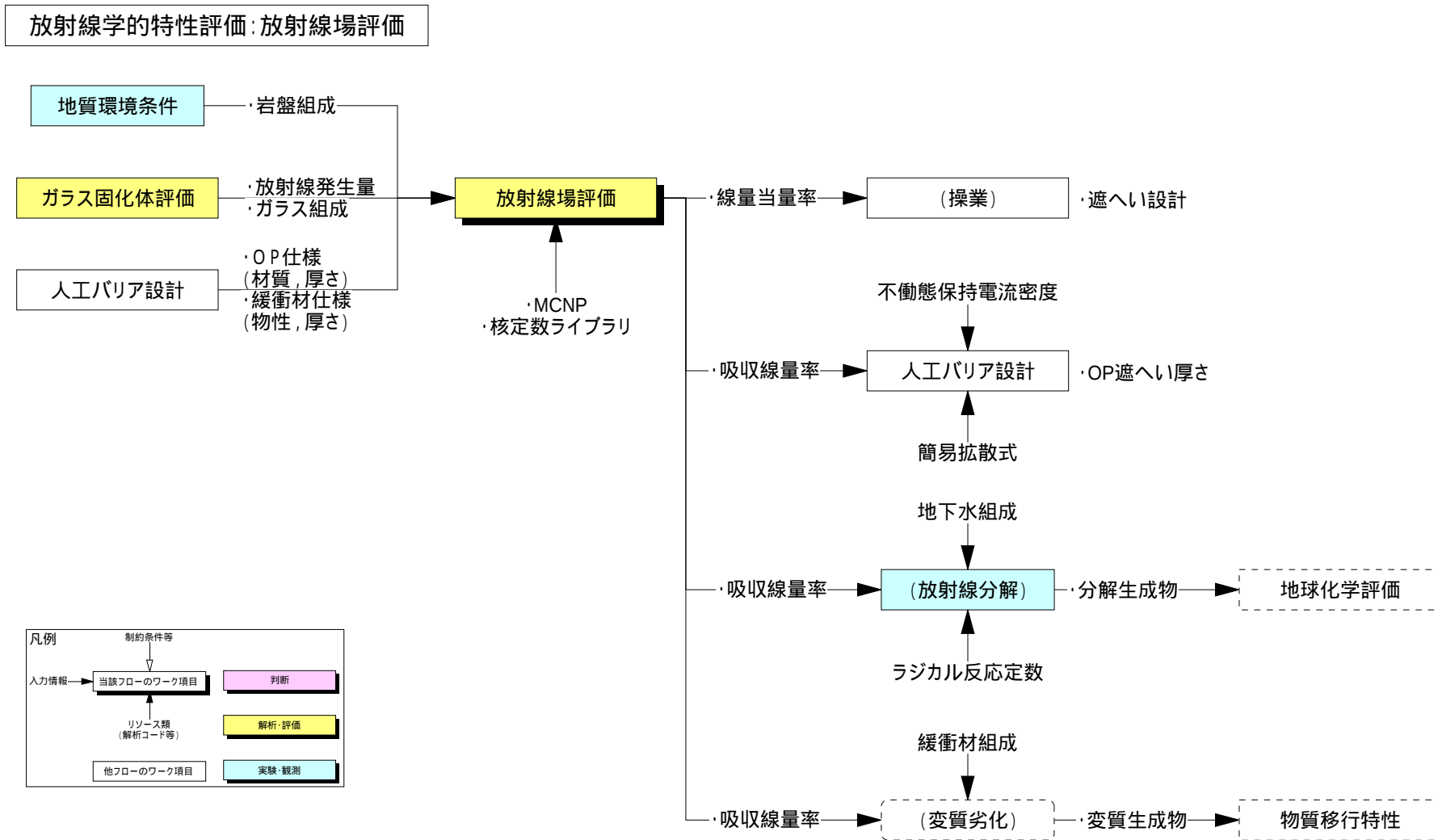


図3.2-4 「性能評価」放射線場評価に関するワークフロー

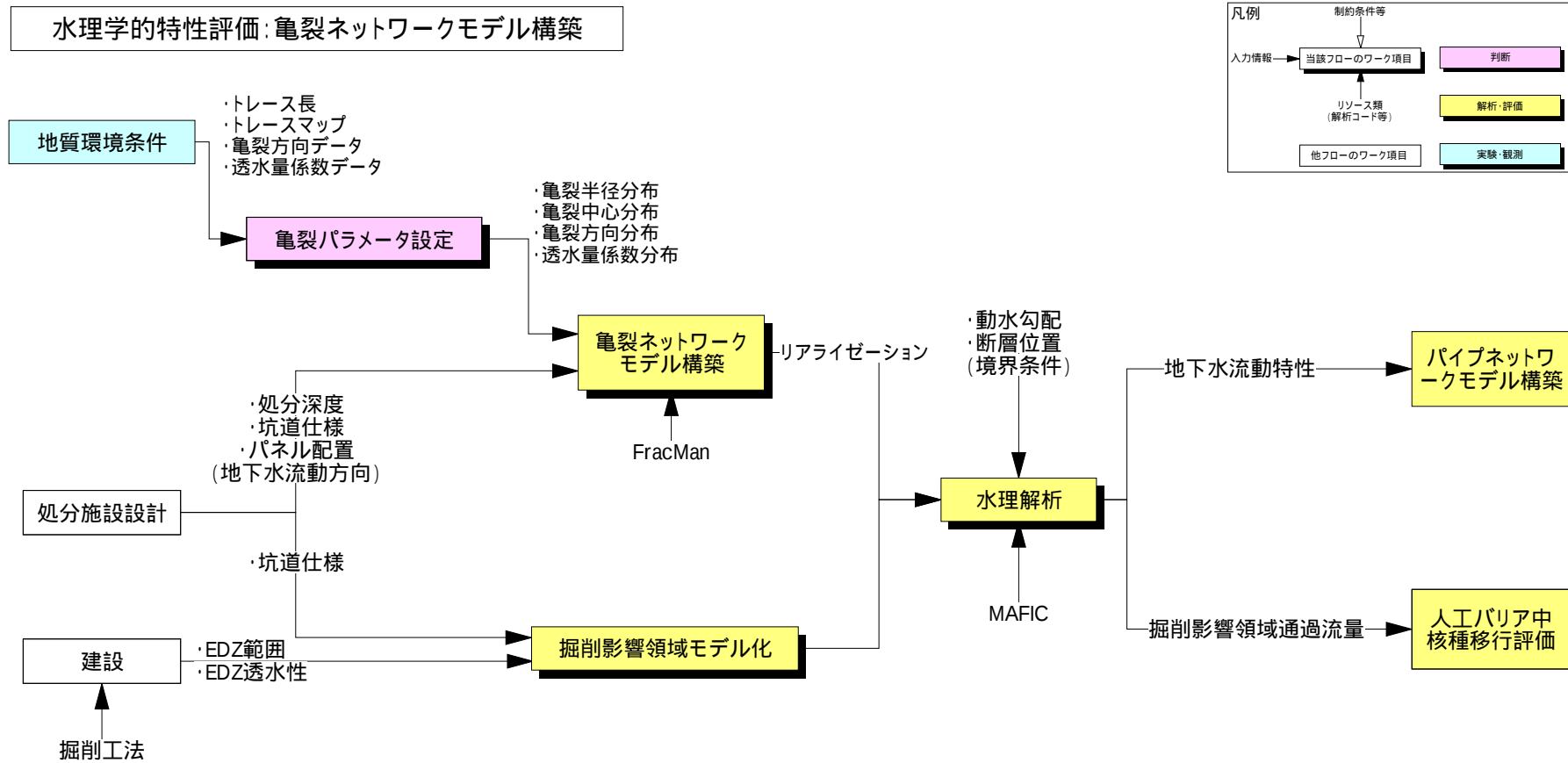


図3.2 - 5 「性能評価」亀裂ネットワークモデル構築に関するワークフロー

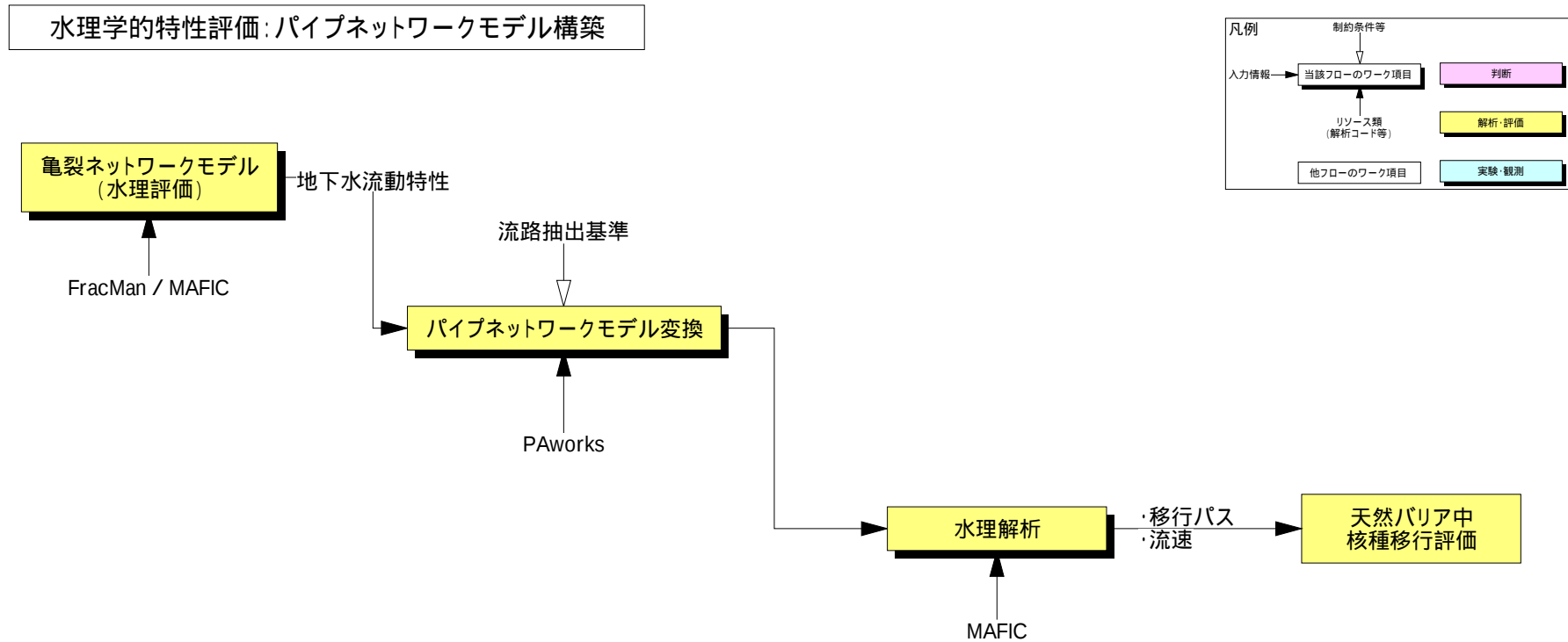


図3.2-6 「性能評価」パイプネットワークモデル構築に関するワークフロー

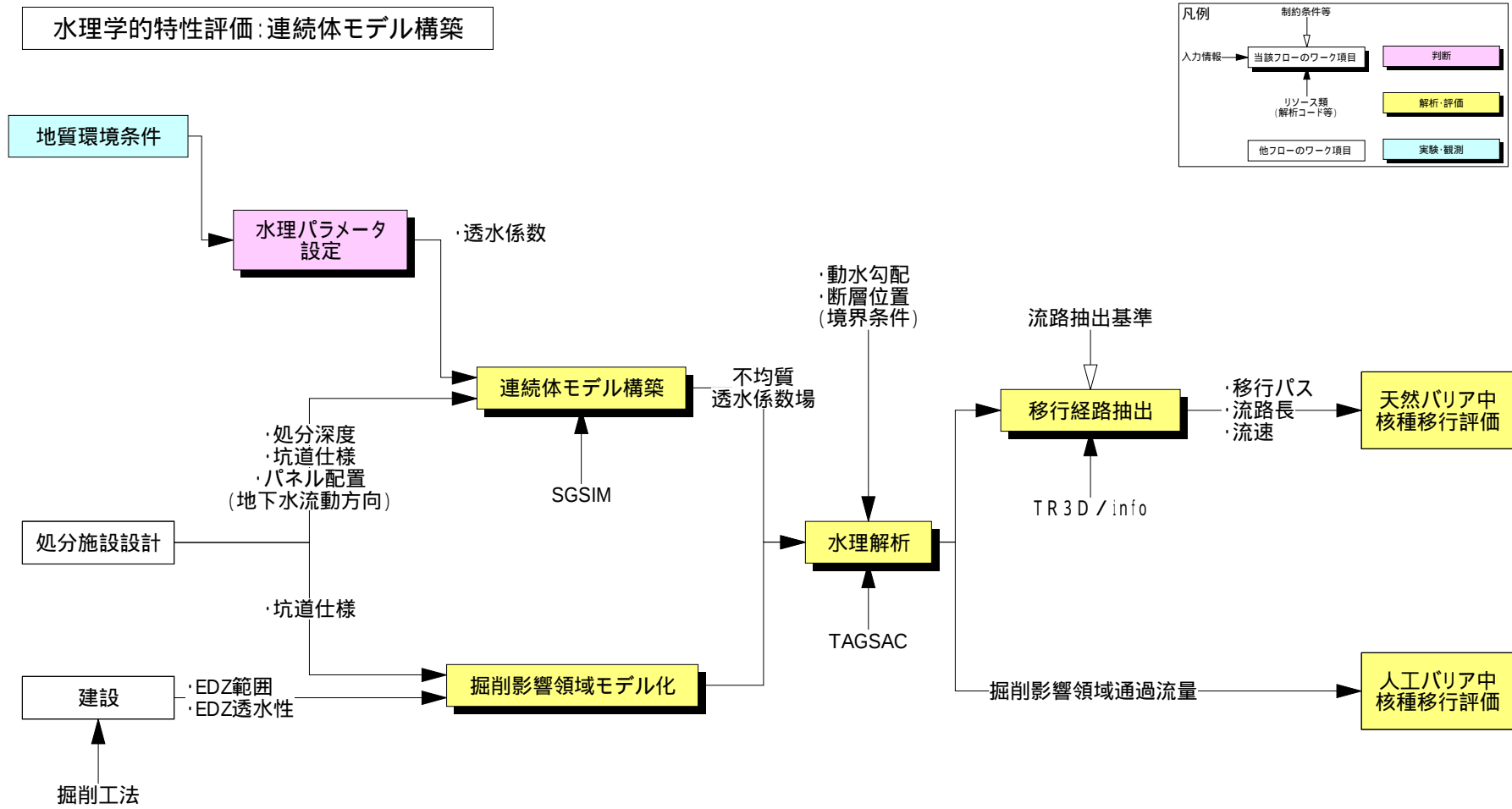


図3.2-7 「性能評価」連続体モデル構築に関するワークフロー

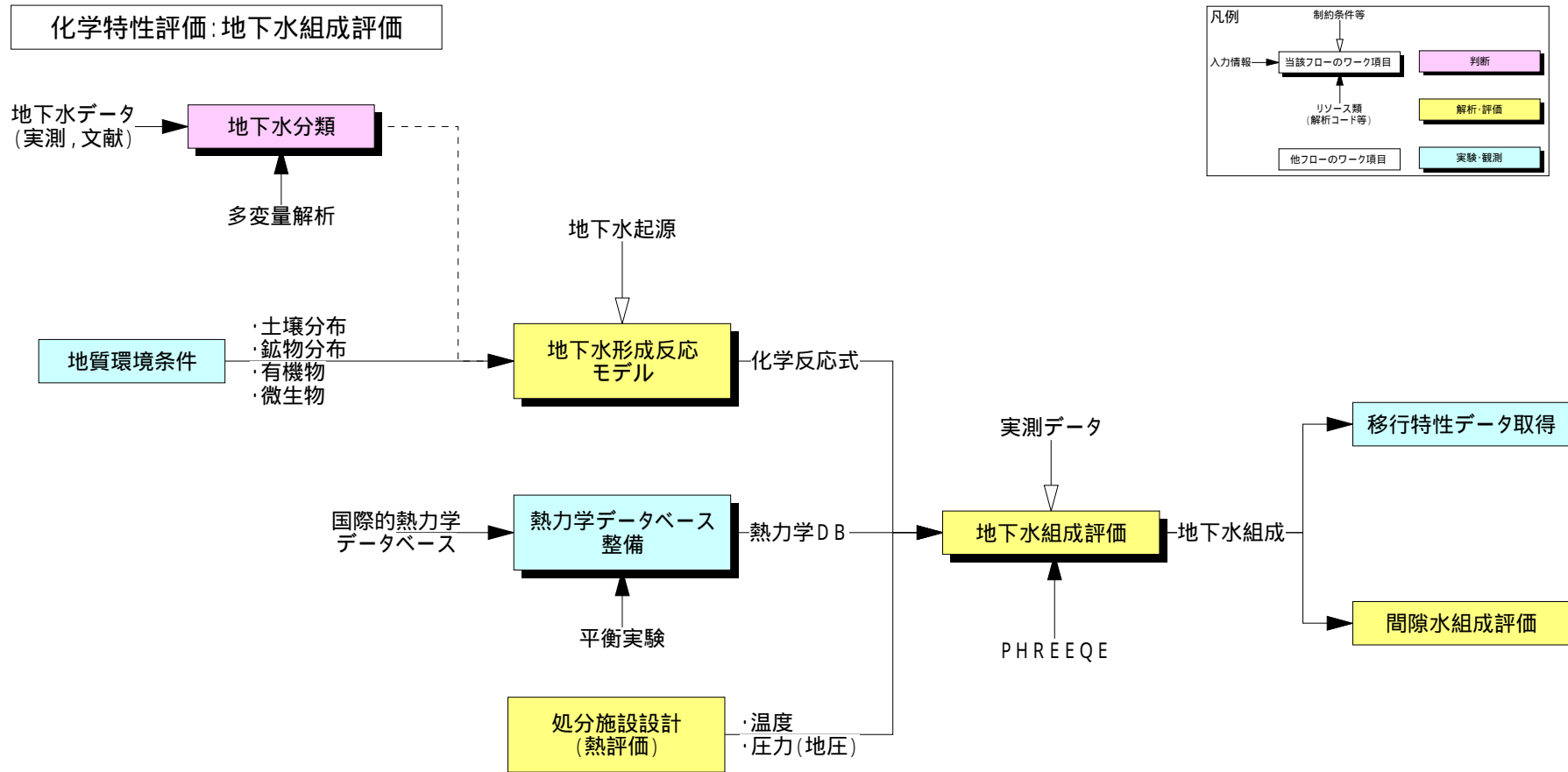


図3.2-8 「性能評価」地下水組成評価に関するワークフロー

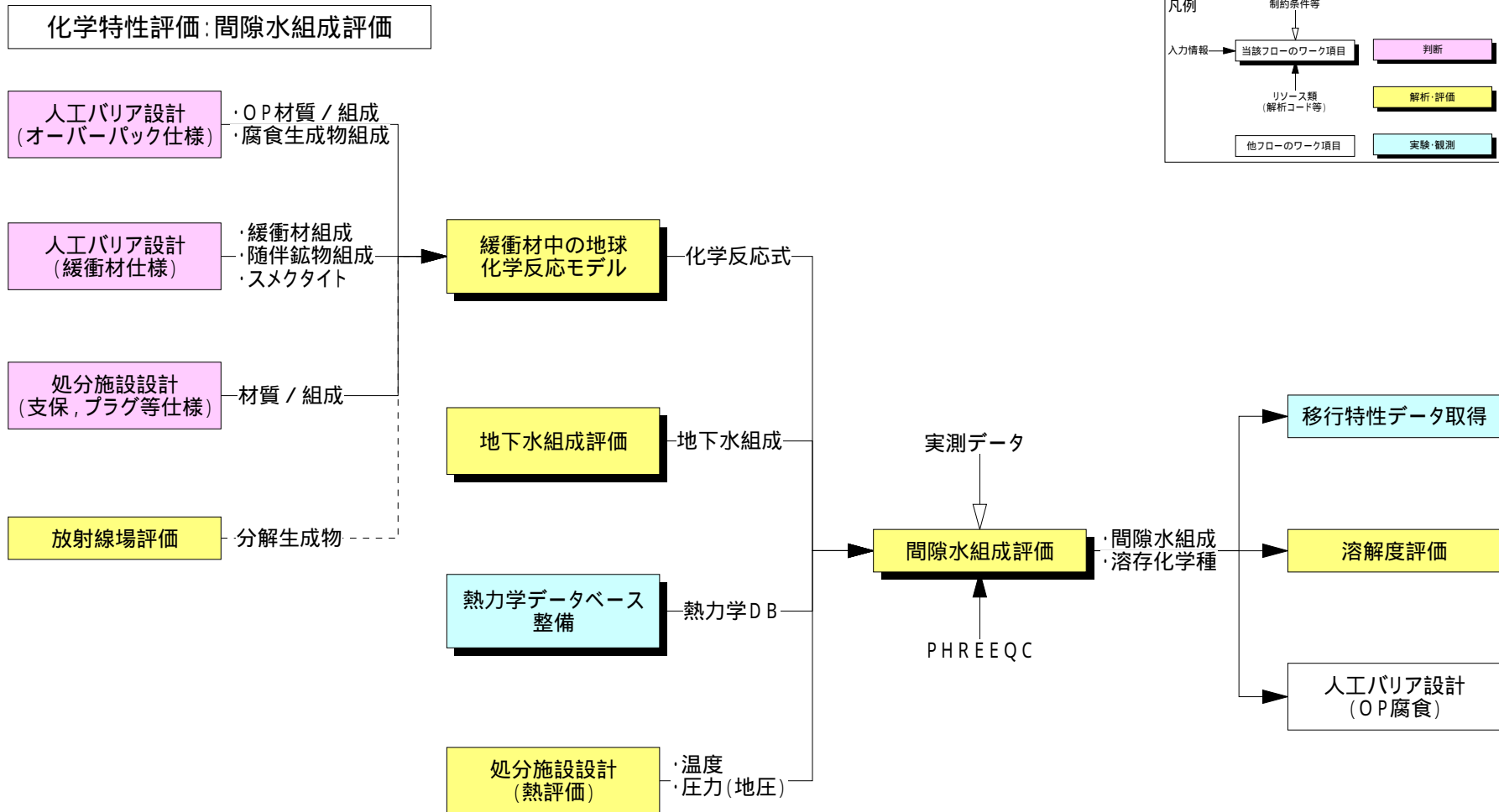


図3.2-9 「性能評価」間隙水組成評価に関するワークフロー

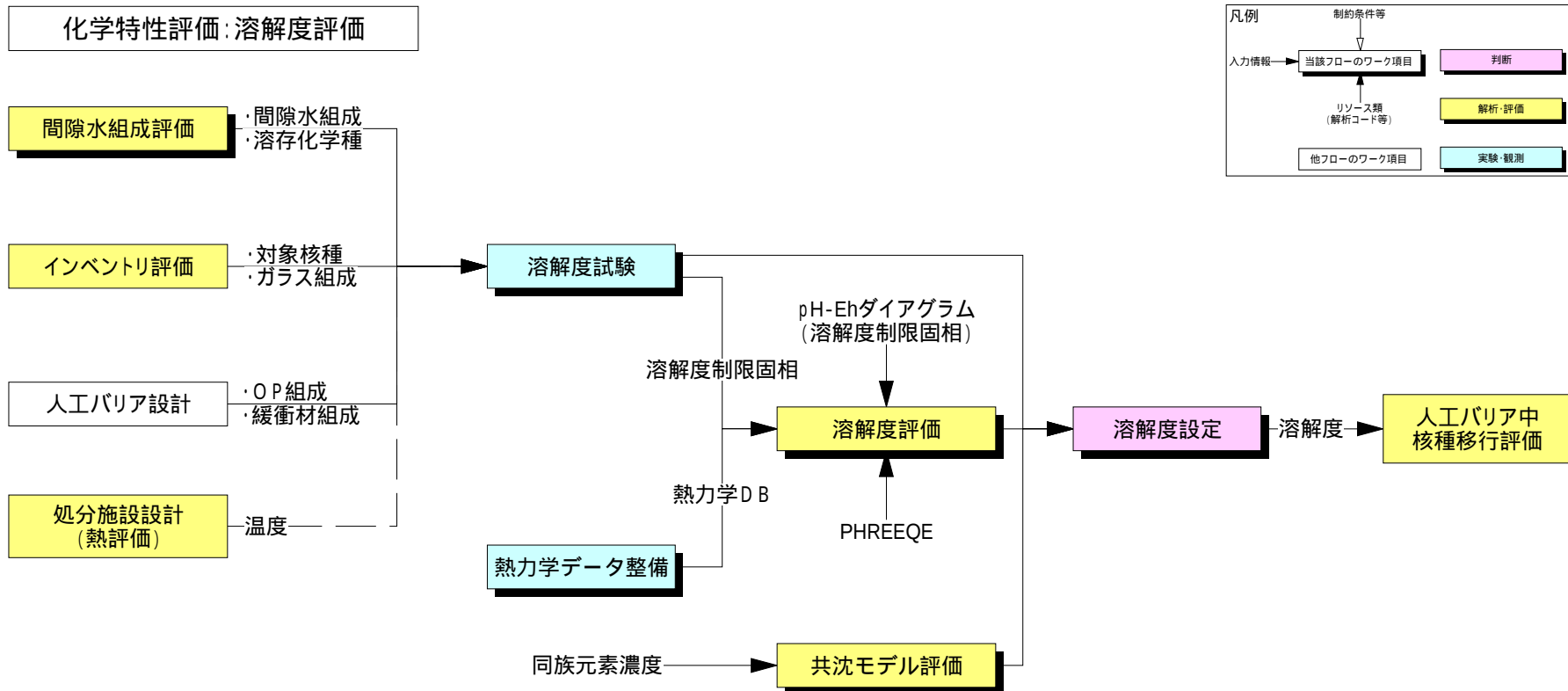
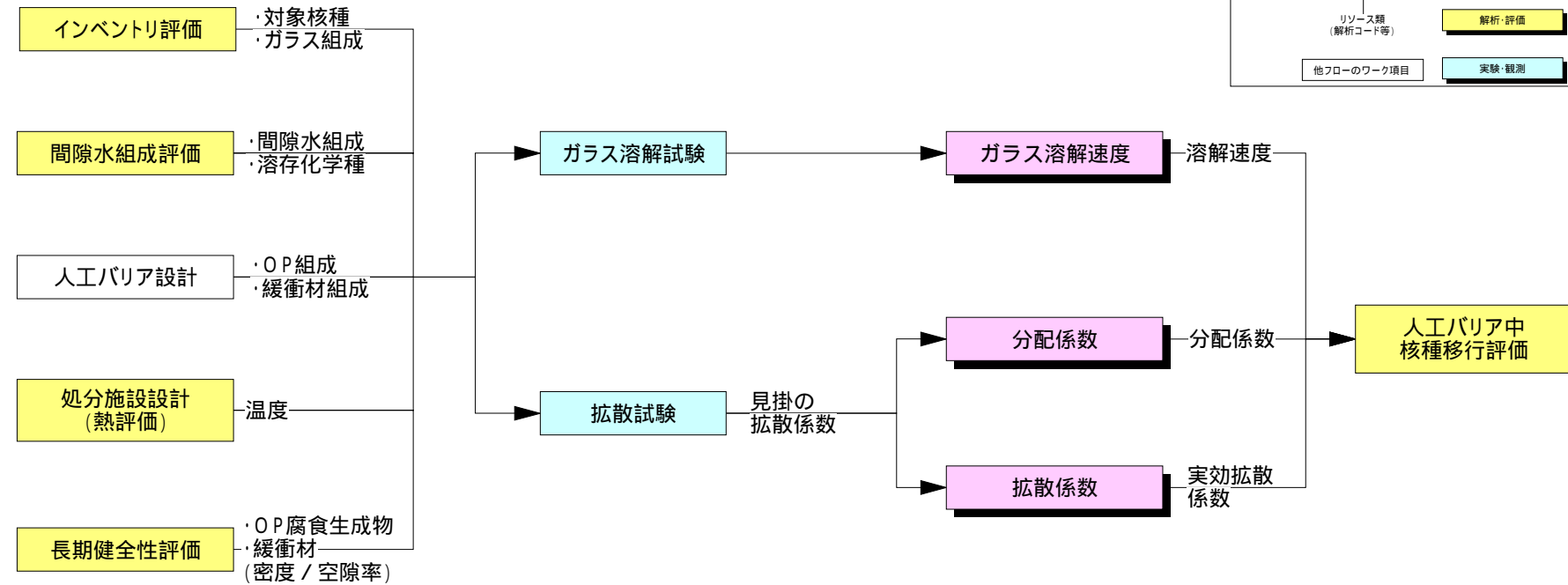


図3.2-10 「性能評価」溶解度評価に関するワークフロー

物質移行特性評価: 移行特性データ取得 (人工バリア)



物質移行特性評価：移行特性データ取得(天然バリア)

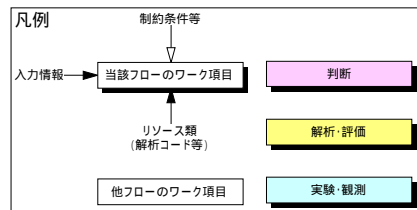
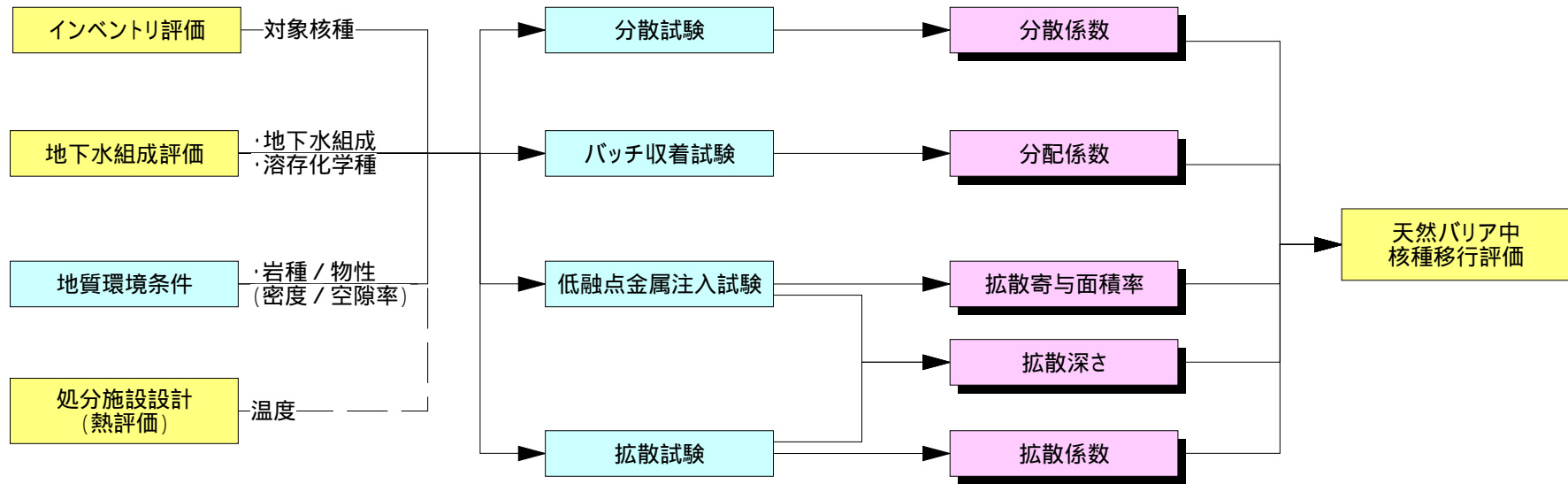


図3.2 - 12 「性能評価」移行特性データ取得(天然バリア)に係わるワークフロー

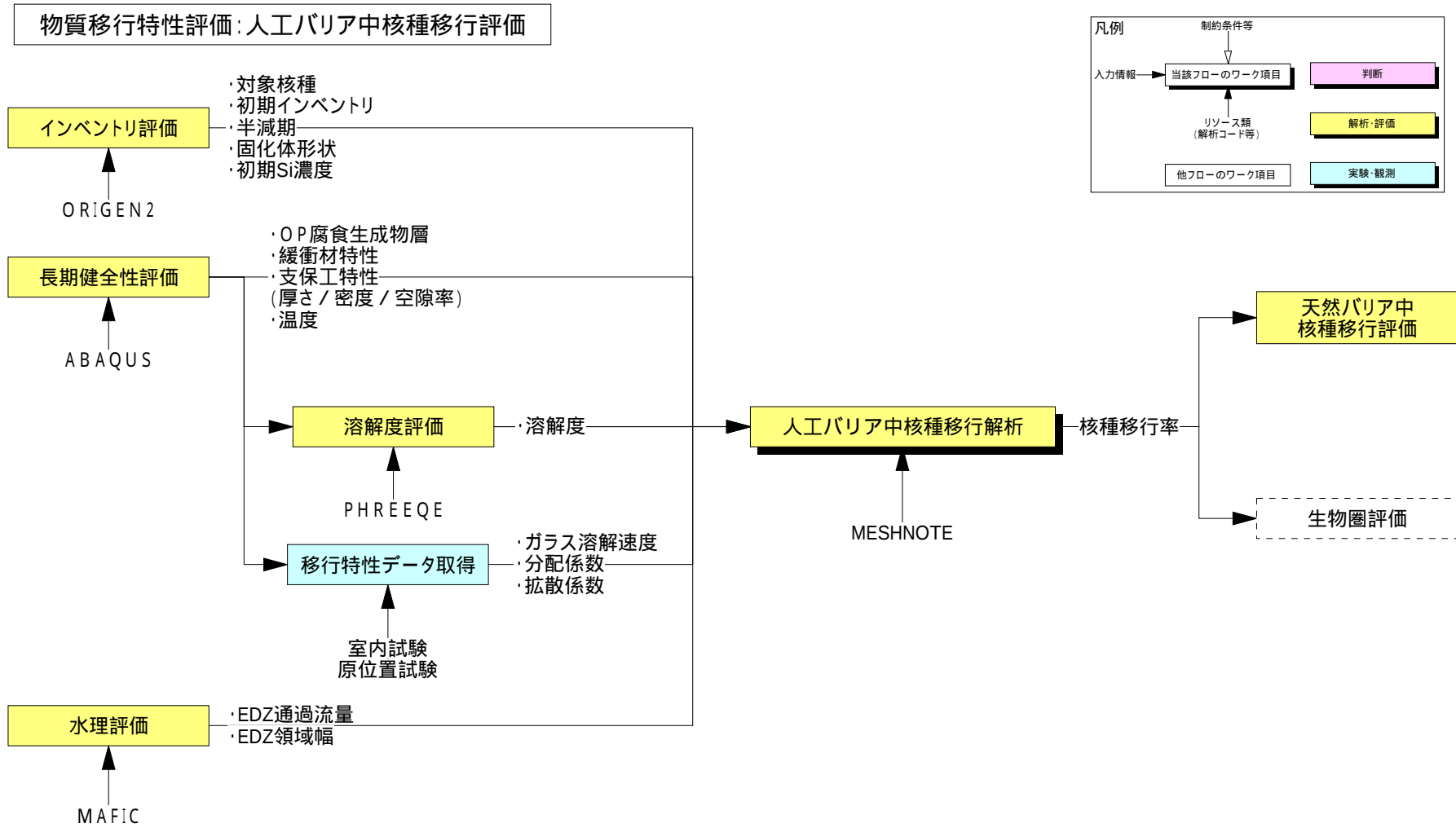


図3.2-13 「性能評価」人工バリア中核種移行評価に関するワークフロー

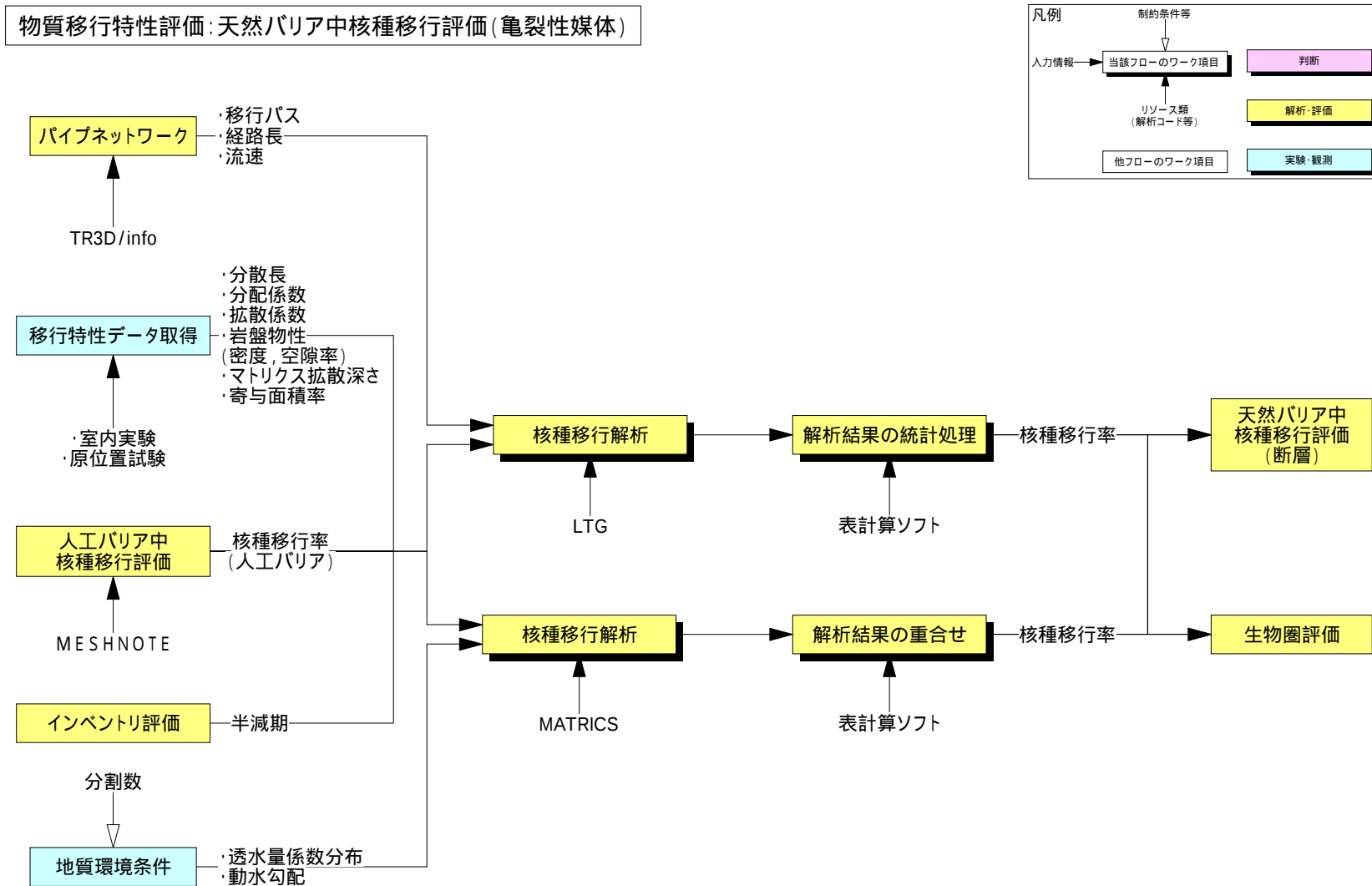


図3.2-14 「性能評価」天然バリア中核種移行評価（亀裂性媒体）に関するワークフロー

物質移行特性評価：天然バリア中核種移行評価（多孔質媒体）

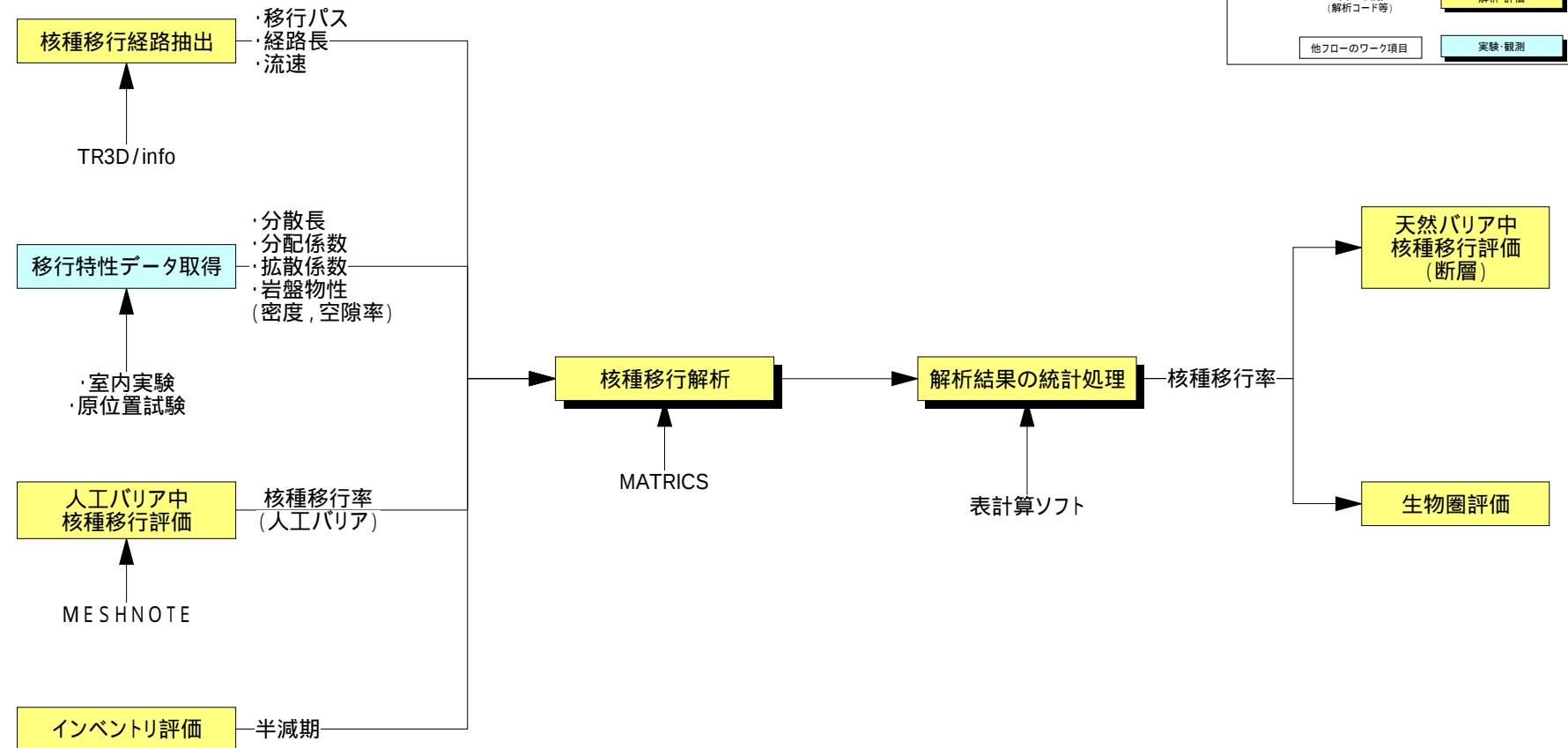


図3.2-15 「性能評価」天然バリア中核種移行評価（多孔質媒体）に関するワークフロー

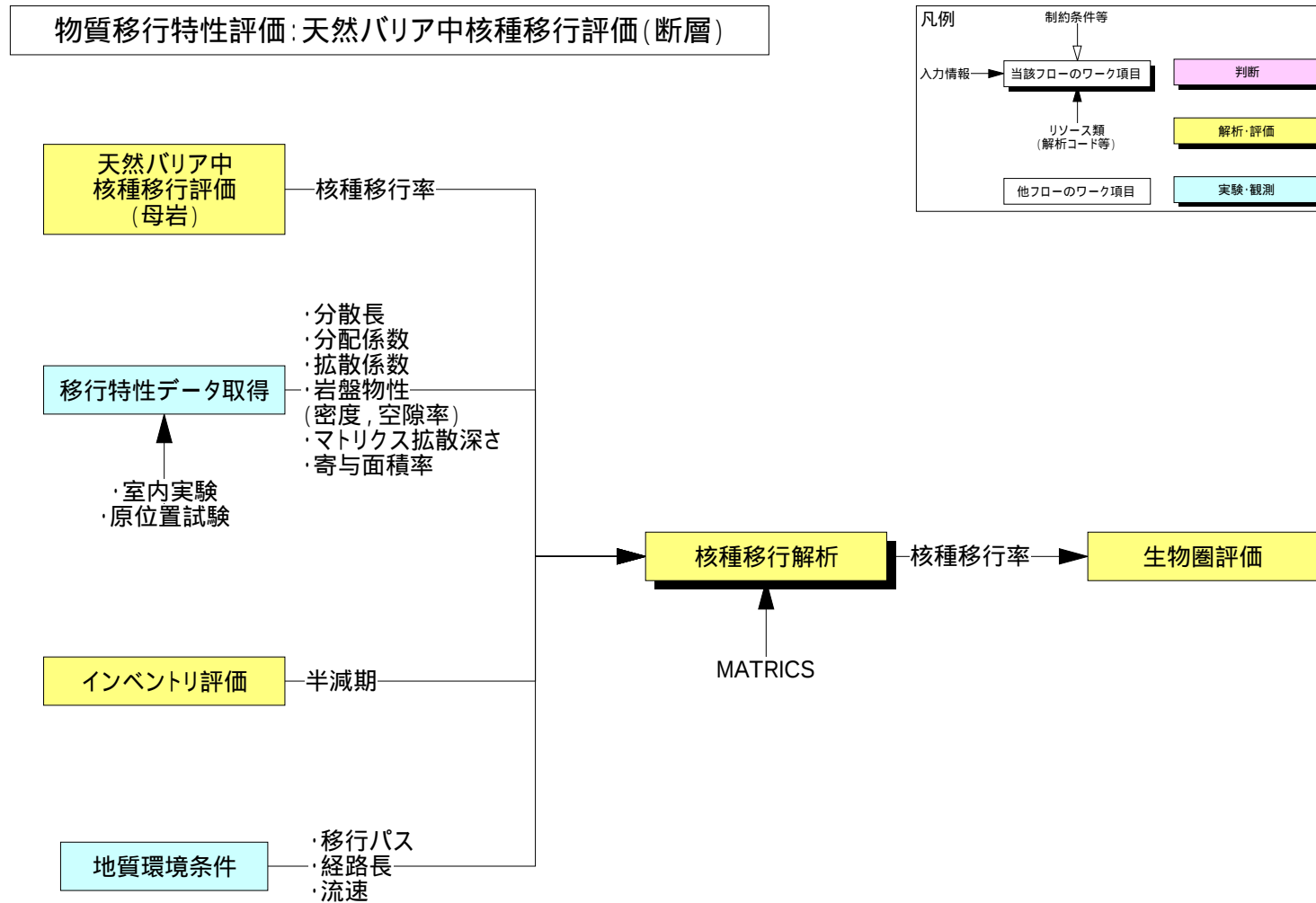


図3.2 - 16 「性能評価」天然バリア中核種移行評価（断層）に関するワークフロー

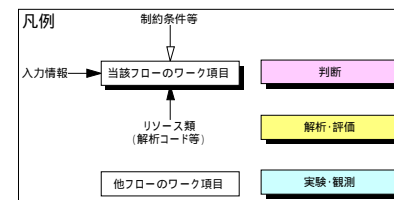


図3.2-17 「性能評価」生物圏評価に関するワークフロー

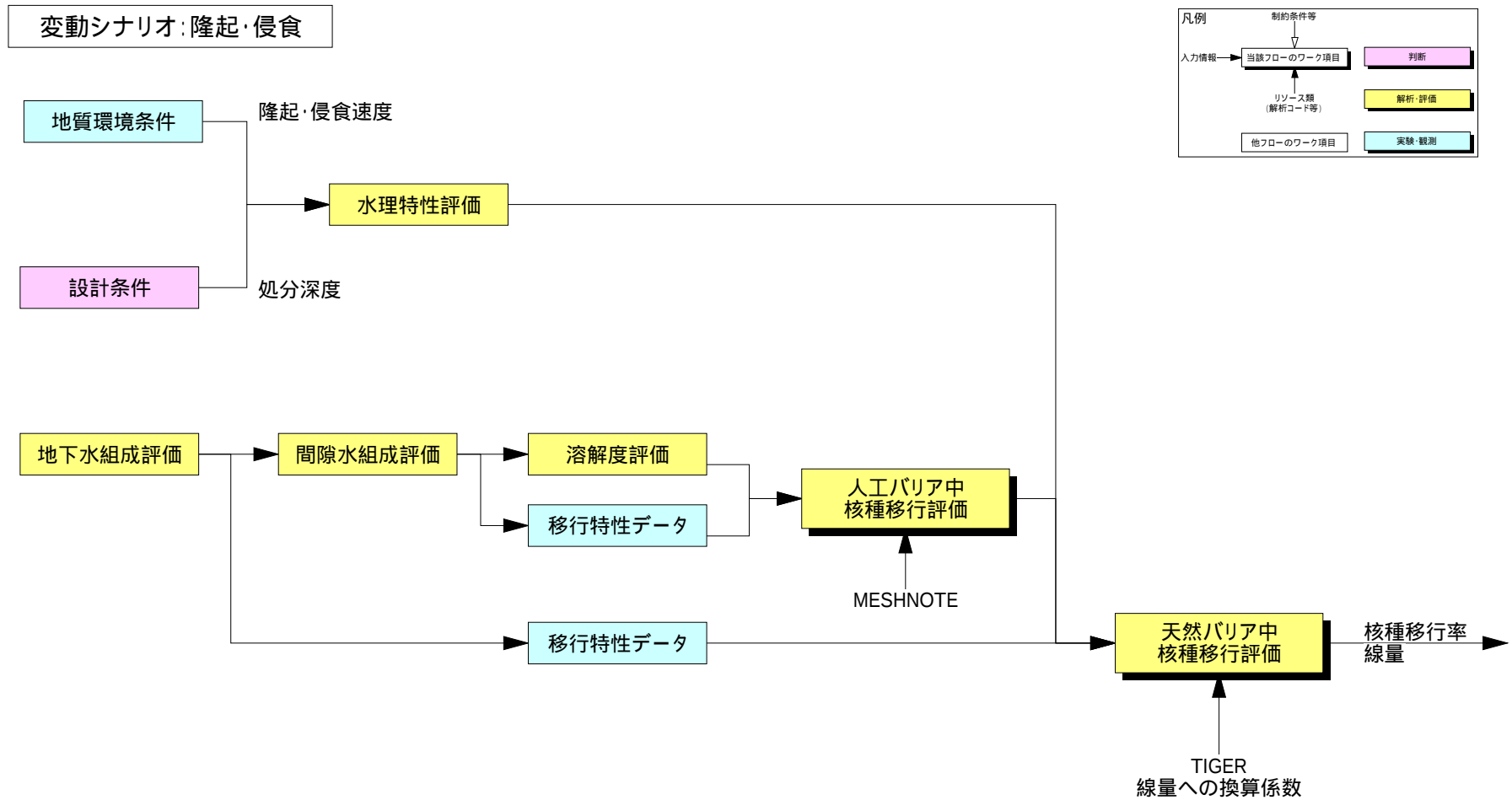


図3.2-18 「性能評価」変動シナリオ(隆起・侵食)評価に関するワークフロー

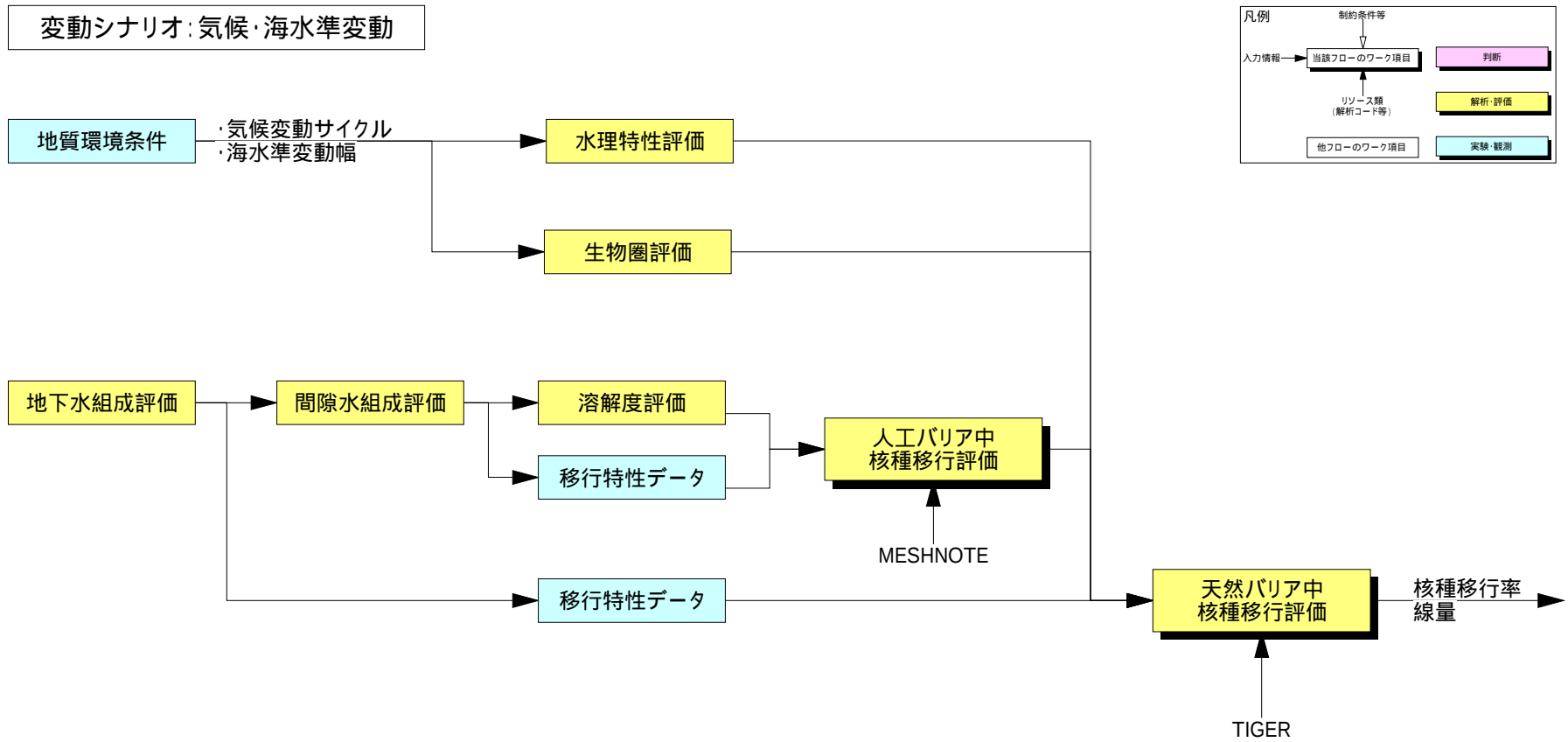


図3.2-19 「性能評価」変動シナリオ(気候・海水準変動)評価に関するワークフロー

3.3 FEP リストとの対応

3.1 節および 3.2 節で整理したワークフローに関して、地層処分システムの安全評価で対象とするプロセス（現象）との関連を明確にするため、個々のワーク項目が第 2 次取りまとめにおける包括的 FEP リストのどの FEP 項目を対象とした評価・検討であるかを整理した。ここでは、解析・評価に関するワーク項目と FEP 項目との対応付けに重点を置き、3.2 節で示した「性能評価」分野のワーク項目だけでなく、3.1 節で示した「処分技術」分野のワークフローに含めた人工バリアの長期健全性評価に係わるワーク項目についても、FEP 項目との対応付けを行った。

表 3.2-1 に示した第 2 次取りまとめにおける包括的 FEP リスト（地下水移行シナリオ）を対象に、下記のワーク項目に関して、FEP 項目との対応関係を整理した結果を表 3.3-1～表 3.3-14 に示す。なお、生物圏評価は国際共同研究（BIOMASS）等に基づいて別途 FEP リストを作成しており、包括的 FEP リストに含まれていないため、ここではワークフローとの対応付けを行っていない。

再冠水挙動（熱・水連成）評価（ワークフロー：図 3.1-12 参照）

構造力学安定性評価（ワークフロー：図 3.1-13 参照）

オーバーパック腐食生成ガス評価（ワークフロー：図 3.1-14 参照）

人工バリア耐震安定性評価（ワークフロー：図 3.1-15 参照）

インベントリ・放射線場評価（ワークフロー：図 3.2-3～図 3.2-4 参照）

亀裂ネットワークモデル・パイプネットワークモデル・連続体モデル構築（ワークフロー：図 3.2-5～図 3.2-7 参照）

地下水組成評価（ワークフロー：図 3.2-8 参照）

間隙水組成評価（ワークフロー：図 3.2-9 参照）

溶解度評価（ワークフロー：図 3.2-10 参照）

移行特性データ（ガラス溶解速度）取得（ワークフロー：図 3.2-11 参照）

移行特性データ（拡散係数・分配係数）取得（ワークフロー：図 3.2-11 参照）

移行特性データ（天然バリア）取得（ワークフロー：図 3.2-12 参照）

人工バリア中核種移行評価（ワークフロー：図 3.2-13 参照）

天然バリア中核種移行評価（ワークフロー：図 3.2-14 参照）

ここで整理した FEP リストにおいては、当該ワーク項目が対象としている評価項目（FEP 項目）を赤字で示し、当該評価項目に影響を与える上流側の FEP 項目を緑色で、当該評価項目から影響を受ける下流側の FEP 項目を黄色でそれぞれ表した。また、第 2 次取りまとめの安全評価において影響が小さいとして除外された FEP 項目をグレー

表示としたが、今後の研究開発の検討対象項目に成り得ることを考慮し、上流／下流の対応関係の中には含めて整理した。各ワーク項目について、対応する FEP 項目の概要を以下にまとめる。

再冠水挙動（熱・水連成）評価

再冠水挙動評価に係わる FEP リストを表 3.3-1 に示す。ここでは、熱・水連成挙動に焦点をあて、力学評価に関しては次項 で整理した（再冠水挙動評価に使用している熱 - 水 - 応力連成解析コードで採用されている力学モデルに比べて、構造力学安定性評価で使用している力学モデルは、緩衝材のモデル化に、より詳細な弾粘塑性モデルを採用している）。

再冠水挙動（熱 - 水連成）評価の対象項目は、人工バリアおよび周辺母岩の温度と飽和挙動である。温度に影響を与える FEP 項目としては、ガラス固化体の発熱量（崩壊熱の発生）および構成要素（埋戻し材を含む人工バリアならびに掘削影響領域を含む周辺母岩）の熱特性である。また、飽和挙動に影響を与える FEP 項目としては、構成要素（緩衝材、埋戻し材、周辺母岩）の水理特性（地下水流動）である。特に、岩盤の水理特性の影響は無視できず、第 2 次取りまとめにおける評価においても、岩盤の固有透過度をパラメータとした感度解析が行われている。さらに、各構成要素の幾何形状／間隙構造についても熱伝導・熱伝達や水分拡散・浸透に影響を与えることから、上流側の FEP 項目として考慮する必要がある。なお、緩衝材の膨潤や岩盤クリープなどの力学特性は幾何形状／間隙構造に影響を与え、水分移動（拡散、浸透挙動）に影響を及ぼす可能性があるため、上流側 FEP 項目に含めている。

下流側の FEP 項目としては、化学反応は基本的に温度の影響を受けるため、全ての化学的現象・特性が対象となる（表の中では、化学的特性を代表として提示した）。また、化学的現象の中で特に重要と考えられる項目（ガラス固化体の溶解、オーバーパックの腐食、各構成要素と地下水の反応等）は、別途黄色で提示した。

構造力学安定性評価

構造力学安定性評価に係わる FEP リストを表 3.3-2 に示す。ワークフロー（図 3.1-13 参照）に示したように、構造力学安定性評価には、岩盤クリープ解析、オーバーパック沈下解析、オーバーパック腐食膨張解析、および緩衝材膨出解析の 4 つの解析・評価が含まれている。このため評価対象 FEP 項目は、オーバーパック腐食膨張／沈下、緩衝材の変形／流出、プラグ・グラウト・支保・埋戻し材の変形／

流出，岩盤クリープの各項目が対象となる。さらに，これらの FEP 項目の評価を通じて，最終的には人工バリア（オーバーパック，緩衝材，プラグ・グラウト・支保・埋戻し材）および掘削影響領域を含む周辺母岩の幾何形状／間隙構造を決定することが重要であり，これが安全評価（核種移行評価）への直接的な入力情報として利用される。このため，幾何形状／間隙構造の項目も評価対象項目として赤色で提示した。なお，母岩の幾何形状・間隙／亀裂構造は，緩衝材の膨潤・流出を評価する際には入力情報（例えば，亀裂頻度など）として必要となる上流側の FEP 項目であり，一方，岩盤クリープ評価の結果として掘削影響領域を含む母岩の間隙構造が決定されることから，評価対象の FEP 項目でもある。

下流側の FEP 項目としては，構造力学安定性評価の結果として決定される各構成要素の幾何形状／間隙構造に基づいて，水理評価ならびに物質移行評価が行われることから，これらに関連する FEP 項目を黄色で提示した。

オーバーパック腐食生成ガス評価

オーバーパック腐食生成ガス評価に係わる FEP リストを表 3.3-3 に示す。評価対象項目はオーバーパック領域のガスの発生／影響である。これを評価するために必要となる上流側の FEP 項目としては，まず，腐食挙動が化学反応であることからオーバーパックの化学特性（特に，地下水との化学反応，腐食挙動）が挙げられ，さらに，これらの化学反応に影響を与える人工バリア中の温度も考慮すべき重要な項目となる。また，緩衝材，埋戻し材等の人工バリアおよび母岩の飽和に関する項目は，腐食条件を設定するための環境条件を与える項目であり，かつ，ガス発生後の移行を評価する上でも重要な前提条件（例えば，不飽和ガス移行の評価の必要性を判断）となる項目と考えられる。

下流側の FEP 項目としては，人工バリアの各構成要素の化学的現象・特性に含まれるガスの発生／影響の項目と，物質移動現象・特性に含まれるガスによる移行の項目が挙げられる。

人工バリア耐震安定性評価

人工バリア耐震安定性評価に係わる FEP リストを表 3.3-4 に示す。評価対象項目は，地震動による人工バリア構成要素への力学的影響（ガラス固化体の割れ，オーバーパックの破損，緩衝材の変形，プラグ・支保・埋戻し材の変形）である。緩衝材の変形には，大規模な変形として緩衝材の液状化現象も含まれるものとして考えた（ただし，液状化が発生した場合は緩衝材の流出の項目が適切と考えられるが，

ここでは変形の項に含めた)。上流側の FEP 項目としては、人工バリア構成要素および母岩の力学特性が挙げられ、オーバーパックの腐食膨張圧や緩衝材の膨潤圧、ならびに母岩の応力状態(坑道掘削に伴う応力再配分)も考慮すべき項目として水色で提示した。また、緩衝材、埋戻し材および母岩の飽和状態についても膨潤圧や固有値解析を行う上で必要な項目として上流側 FEP 項目に含めた。なお、地震波の伝播に基づく入力地震動の設定も評価上重要な項目であるが、弾性波速度データが岩盤の力学特性として設定されていることから、入力地震波の設定は力学特性の項目に含まれるとした。

下流側の FEP 項目としては、安全評価(核種移行評価)の前提条件となる人工バリアの各構成要素の幾何形状/間隙構造の項目が挙げられる。

インベントリ・放射線場評価

インベントリ評価および放射線場評価に係わる FEP リストを表 3.3-5 に示す。評価対象項目は、ガラス固化体中の核種の放射性崩壊を代表として例示し、これに伴う崩壊熱の発生(発熱量評価)も評価項目に含めた。これらの評価に必要な情報については、燃焼度等の燃焼条件や再処理時のウラン移行率等の再処理条件などが挙げられる(図 3.2-3 のワークフロー参照)。しかし、包括的 FEP リストは、固化体埋設後の長期安全評価に対するシナリオ作成を前提に作成されたものであり、インベントリ・放射線場評価に関する明示的な項目が含まれていないため、表中には示していない。

下流側 FEP 項目としては、ガラス固化体の発熱量によって影響を受ける人工バリアから母岩までの各構成要素の温度ならびに熱膨張の項目が挙げられる。また、放射線場評価による影響の伝播としては、人工バリアから母岩までの各構成要素の放射線損傷および地下水の放射線分解が挙げられる。

亀裂ネットワークモデル・パイプネットワークモデル・連続体モデル構築

亀裂ネットワークモデル、パイプネットワークモデル、および連続体モデル等の水理モデル構築に係わる FEP リストを表 3.3-6 に示す。評価対象項目は、いずれのモデル構築に対しても母岩中の地下水流動の項目である。上流側の FEP 項目は母岩の幾何形状、間隙/亀裂の構造と水理特性である。また、緩衝材、支保・埋戻し材等の幾何形状(坑道径も含む)と水理特性は、掘削影響領域の地下水流動に影響を与える可能性があるため、上流側 FEP 項目に含めている。なお、母岩の幾何形状、間隙/亀裂構造は水理解析の結果としてパイプネットワークモデルや流線モ

デルとして決定される項目でもあり，評価対象項目に挙げている。

下流側の FEP 項目としては，母岩の地下水流動に基づく緩衝材および支保・埋戻し材中の地下水流動と核種移行特性が挙げられる。

地下水組成評価

地下水組成評価に係わる FEP リストを表 3.3-7 に示す。評価対象項目は，母岩中の地下水化学の項目である（地下水の化学組成に関しては FEP リストに同一の項目がなく，地下水化学の項目に含まれると考えた）。上流側の FEP 項目は母岩の飽和および地下水流動に関する水理特性，母岩中での地下水との反応や有機物の影響を含む母岩の化学特性，および化学反応に影響を及ぼす母岩の温度である。

下流側の FEP 項目としては，母岩中の物質移行特性，特に拡散，収着，溶解／沈殿，コロイド移行の項目とともに，人工バリアの各構成要素中の地下水化学（地下水組成）が挙げられる。

間隙水組成評価

間隙水組成評価に係わる FEP リストを表 3.3-8 に示す。評価対象項目は，狭義の意味では緩衝材中の地下水組成評価（FEP 項目では緩衝材中の地下水化学）であるが，人工バリアの各構成要素（ガラス固化体，オーバーパック，支保・埋戻し材等）に関する地下水組成も含めて提示した。これらの評価を行う際に考慮すべき上流側の FEP 項目としては，人工バリアの各構成要素の化学特性，地下水との反応，有機物および微生物の影響が挙げられ，これら化学反応に影響を与える温度も重要な項目である。また，放射線損傷や地下水の放射線分解も，化学反応を左右することから上流側 FEP 項目として提示した。

下流側の FEP 項目としては，ガラス固化体の溶解，オーバーパックの腐食，ならびに人工バリア各構成要素における物質移行特性が挙げられる。また，コロイドの形成や各構成要素の化学的変質も間隙水組成の影響を受ける項目である。さらに，オーバーパックの腐食膨張や緩衝材の膨潤も地下水（間隙水）組成の影響を受けることから，下流側 FEP 項目として挙げている。

溶解度評価

溶解度評価に係わる FEP リストを表 3.3-9 に示す。評価対象項目は，人工バリアの各構成要素（ガラス固化体，オーバーパック，支保・埋戻し材等）および母岩

中の沈殿 / 溶解である。上流側の FEP 項目としては、各構成要素の化学特性、化学的変質、地下水の放射線分解、ならびに化学反応に影響を与える温度が挙げられる。また、緩衝材、埋戻し材、母岩の飽和に関しても、沈殿 / 溶解反応を検討する上で考慮すべき項目である。

下流側の FEP 項目としては、各構成要素における核種の移行が挙げられる。また、コロイド移行については、コロイドろ過機能が働かない場合は溶解度の設定が意味を持たないため、溶解度評価を行う上で考慮する必要がある。

移行特性データ（ガラス溶解速度）取得

移行特性データ(ガラス溶解速度)取得に係わる FEP リストを表 3.3-10 に示す。評価対象項目は、ガラス固化体の溶解の項目である。上流側の FEP 項目としては、人工バリア各構成要素中の地下水化学(地下水組成)、有機物および微生物の影響、およびそれら化学反応に影響を与える温度が挙げられる。また、ガラス固化体の放射線損傷や地下水の放射線分解も溶解特性を変化させる要因である。さらに、ガラス固化体の割れ(表面積)もガラス溶解速度に影響を及ぼす因子であり、上流側 FEP 項目として挙げている。

下流側 FEP 項目としては、ガラス固化体からの核種の溶出であり、核種の調和的溶解や固化体近傍での沈殿 / 溶解現象が影響を受ける。

移行特性データ（拡散係数・分配係数）取得

移行特性データ（拡散係数・分配係数）取得に係わる FEP リストを表 3.3-11 に示す。評価対象項目は、オーバーパック、緩衝材、支保・埋戻し材領域における拡散および収着である。上流側の FEP 項目としては、各構成要素の幾何形状 / 間隙構造と、それに影響を与えるオーバーパック腐食膨張 / 沈下、緩衝材等の膨潤 / 変形 / 流出が挙げられる。また、各構成要素の化学特性、地下水化学(地下水組成)、組成に影響を与える微生物・有機物の影響等も移行特性データ取得の際に考慮すべき項目である。さらに、緩衝材、埋戻し材等の飽和(不飽和)、地下水流動、地下水の放射線分解による組成の変化、各構成要素の放射線損傷、化学的変質などの項目も拡散および収着に影響を与える項目であり、上流側 FEP 項目として提示した。下流側 FEP 項目は、人工バリアの各構成要素中の核種の移行である。

移行特性データ（天然バリア）取得

天然バリア中の移行特性データ取得に係わる FEP リストを表 3.3-12 に示す。評

評価対象項目は、母岩の物質移行特性、ならびに拡散・収着の項目である。母岩の物質移行特性には、分散長、マトリクス拡散深さ、マトリクス拡散寄与面積率、充てん鉱物中の移行などの移行パラメータが含まれていると考えた。上流側の FEP 項目としては、母岩の幾何形状、間隙／亀裂構造が第一に挙げられ、岩種、岩種に応じた間隙構造（亀裂、多孔質）、充てん鉱物・変質鉱物の有無などは移行特性データ取得の前提条件となる。また、母岩の化学特性は収着データを取得する際の前提条件であり、化学特性に影響を及ぼす地下水化学（地下水組成）、微生物・有機物の影響、コロイド形成等の項目、ならびに化学反応を左右する温度を上流側 FEP に含めた。さらに、母岩の飽和および地下水流動、地下水の放射線分解による組成の変化、母岩の放射線損傷も移行特性データを取得する上で考慮すべき項目であり、上流側 FEP 項目として提示した。下流側の FEP 項目は母岩中の核種の移行である。

人工バリア中核種移行評価

人工バリア中の核種移行評価に係わる FEP リストを表 3.3-13 に示す。評価対象項目は、人工バリアの各構成要素中での核種の移行である。上流側の FEP 項目としては、各構成要素中の核種の崩壊、幾何形状／間隙構造、および人工バリア中の移行プロセス（移流／分散、拡散、収着、沈殿／溶解等）が挙げられる。移行プロセスに影響を及ぼす項目については、移行特性データ取得において既に考慮されており、ここでは含めていない。また、人工バリア外側での境界条件を与えるとの観点から、母岩の地下水流動を上流側 FEP 項目に含めた。下流側 FEP 項目としては、母岩中での核種の移行が挙げられ、人工バリアからの核種移行率を直接的な入力情報として使用する。

天然バリア中核種移行評価

天然バリア中の核種移行評価に係わる FEP リストを表 3.3-14 に示す。評価対象項目は、母岩中での核種の移行である。上流側の FEP 項目としては、人工バリア中の核種の移行、母岩中の核種の崩壊、幾何形状／間隙構造、および母岩中の移行プロセス（移流／分散、拡散、収着、沈殿／溶解、コロイド移行等）が挙げられる。移行プロセスに影響を及ぼす項目については、移行特性データ取得において既に考慮されており、ここでは含めていない。また、母岩中の移行パス設定の観点から、母岩の水理特性（地下水流動）が重要な FEP 項目となる。下流側 FEP 項目としては、生物圏評価等が挙げられるが、包括的 FEP リストの範囲外であり表中には示していない。

表3.3-1 再冠水挙動(熱・水連成)評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域、断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の水埋特性 D.2.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水埋特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ、支保、埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状、間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字:評価項目(対象FEP)

緑色項目:上流側FEP

黄色項目:下流側FEP

イタリック表示項目:第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3-2 構造力学安定性評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域、断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ、支保、埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状、間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字:評価項目(対象FEP)

緑色項目:上流側FEP

黄色項目:下流側FEP

イタリック表示項目:第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 3 オーバーバック腐食生成ガス評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水埋特性 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水埋特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水埋特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 4 人工バリア耐震安定性評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック (腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩 (掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生 / 影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生 / 影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生 / 影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生 / 影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生 / 影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質 (核種) 移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿 / 溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状 / 間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流 / 分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿 / 溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状 / 間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流 / 分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿 / 溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状 / 間隙構造 D.6.3 プラグ / グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流 / 分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿 / 溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙 / 亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流 / 分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿 / 溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目 (対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3-5 インベントリ評価・放射線場評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 6 亀裂ネットワークモデル・パイプネットワークモデル・連続体モデル構築に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック (腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩 (掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.2 緩衝材の飽和	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目 (対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 7 地下水組成評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破損 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性	OP.4.1 オーバーバックの化学特性	B.4.1 緩衝材の化学特性	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性	H.4.1 母岩の化学特性
	G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学	OP.4.2 オーバーバックの地下水化学	B.4.2 緩衝材中の地下水化学	D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学	H.4.2 母岩中の地下水化学
	G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成	OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ	B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
	G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成			
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 8 間隙水組成評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域、断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ、支保、埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状、間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字:評価項目(対象FEP)

緑色項目:上流側FEP

黄色項目:下流側FEP

イタリック表示項目:第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 9 溶解度評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域、断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水埋特性 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の水埋特性 D.2.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水埋特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ、支保、埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状、間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字:評価項目(対象FEP)

緑色項目:上流側FEP

黄色項目:下流側FEP

イタリック表示項目:第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 10 人工バリア中の移行特性データ(ガラス溶解速度)取得に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3-11 人工バリア中の移行特性データ(拡散係数・分配係数)取得に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破損 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 12 天然バリア中の移行特性データ取得に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック (腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩 (掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生 / 影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生 / 影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生 / 影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生 / 影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生 / 影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿 / 溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状 / 間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流 / 分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿 / 溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状 / 間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流 / 分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿 / 溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状 / 間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流 / 分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿 / 溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙 / 亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流 / 分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿 / 溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目 (対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 13 人工バリア中核種移行評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

表3.3 - 14 天然バリア中核種移行評価に係わるFEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック(腐食生成物含む)	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材	H. 母岩(掘削影響領域, 断層破砕帯含む)
1. 熱的現象・特性	G.1.1 ガラス固化体の熱物性 G.1.2 ガラス固化体の温度 G.1.3 ガラス固化体の熱膨張 G.1.4 崩壊熱の発生	OP.1.1 オーバーバックの熱物性 OP.1.2 オーバーバックの温度 OP.1.3 オーバーバックの熱膨張	B.1.1 緩衝材の熱物性 B.1.2 緩衝材の温度 B.1.3 緩衝材の熱膨張	D.1.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱物性 D.1.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の温度 D.1.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の熱膨張	H.1.1 母岩の熱物性 H.1.2 母岩の温度 H.1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B.2.1 緩衝材の水理特性 B.2.2 緩衝材の飽和 B.2.3 緩衝材中での地下水流動	D.2.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の水理特性 D.2.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の飽和 D.2.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中での地下水流動	H.2.1 母岩の水理特性 H.2.2 母岩の飽和 H.2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G.3.1 ガラス固化体の力学特性 G.3.2 ガラス固化体の応力 G.3.3 ガラス固化体の割れ	OP.3.1 オーバーバックの力学特性 OP.3.2 オーバーバックの応力 OP.3.3 オーバーバックの破壊 OP.3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP.3.5 オーバーバックの沈下	B.3.1 緩衝材の力学特性 B.3.2 緩衝材の応力 B.3.3 緩衝材の膨潤 B.3.4 緩衝材の変形 B.3.5 緩衝材の流出	D.3.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の力学特性 D.3.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の応力 D.3.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の膨潤 D.3.4 プラグ, 支保, 埋め戻し材の変形 D.3.5 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の流出	H.3.1 母岩の力学特性 H.3.2 母岩の応力 H.3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G.4.1 ガラス固化体の化学特性 G.4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G.4.3 ガラス固化体の溶解 G.4.4 ガスの発生/影響 G.4.5 微生物の影響 G.4.6 有機物の影響 G.4.7 コロイドの形成 G.4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP.4.1 オーバーバックの化学特性 OP.4.2 オーバーバックの地下水化学 OP.4.3 オーバーバックと地下水の反応 OP.4.4 オーバーバックの腐食 OP.4.4.1 全面腐食 OP.4.4.2 孔食 OP.4.4.3 すきま腐食 OP.4.4.4 応力腐食割れ OP.4.5 腐食生成物の生成 OP.4.6 ガスの発生/影響 OP.4.7 微生物の影響 OP.4.8 有機物の影響 OP.4.9 コロイドの形成	B.4.1 緩衝材の化学特性 B.4.2 緩衝材中の地下水化学 B.4.3 緩衝材と地下水の反応 B.4.4 ガスの発生/影響 B.4.5 微生物の影響 B.4.6 有機物の影響 B.4.7 コロイドの形成 B.4.8 緩衝材の化学的変質 B.4.9 塩の蓄積	D.4.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学特性 D.4.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材中の地下水化学 D.4.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材と地下水の反応 D.4.4 ガスの発生/影響 D.4.5 微生物の影響 D.4.6 有機物の影響 D.4.7 コロイドの形成 D.4.8 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の化学的変質	H.4.1 母岩の化学特性 H.4.2 母岩中の地下水化学 H.4.3 母岩と地下水の反応 H.4.4 ガスの発生/影響 H.4.5 微生物の影響 H.4.6 有機物の影響 H.4.7 コロイドの形成 H.4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G.5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G.5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G.5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP.5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP.5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP.5.3 腐食生成物の放射線損傷	B.5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B.5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B.5.3 緩衝材の放射線損傷	D.5.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の放射性崩壊 D.5.2 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材地下水の放射線分解 D.5.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の放射線損傷	H.5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H.5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H.5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質(核種)移動現象・特性	G.6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G.6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G.6.2.1 核種の調和的な溶出 G.6.2.2 沈殿/溶解	OP.6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP.6.2 幾何形状/間隙構造 OP.6.3 腐食生成物中での核種の移行 OP.6.3.1 移流/分散 OP.6.3.2 拡散 OP.6.3.3 収着 OP.6.3.4 沈殿/溶解 OP.6.3.5 コロイドによる移行 OP.6.3.6 ガスによる移行	B.6.1 緩衝材の物質移動特性 B.6.2 幾何形状/間隙構造 B.6.3 緩衝材中での核種の移行 B.6.3.1 移流/分散 B.6.3.2 拡散 B.6.3.3 収着 B.6.3.4 沈殿/溶解 B.6.3.5 コロイドによる移行 B.6.3.6 ガスによる移行	D.6.1 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材の物質移動特性 D.6.2 幾何形状/間隙構造 D.6.3 プラグ/グラウト, 支保, 埋め戻し材での核種の移行 D.6.3.1 移流/分散 D.6.3.2 拡散 D.6.3.3 収着 D.6.3.4 沈殿/溶解 D.6.3.5 コロイドによる移行 D.6.3.6 ガスによる移行	H.6.1 母岩の物質移動特性 H.6.2 幾何形状, 間隙/亀裂の構造 H.6.3 母岩中での核種の移行 H.6.3.1 移流/分散 H.6.3.2 拡散 H.6.3.3 収着 H.6.3.4 沈殿/溶解 H.6.3.5 コロイドによる移行 H.6.3.6 ガスによる移行 H.6.4 臨界

【凡例】

赤字: 評価項目(対象FEP)

緑色項目: 上流側FEP

黄色項目: 下流側FEP

イタリック表示項目: 第2次取りまとめの対象外FEP

4. 追加評価モデルの検討

性能・安全評価の体系化に向けて、今後の地層処分研究における詳細モデル開発に関する課題を抽出し、将来、統合解析システムへの取込みを検討するための情報として整理する。

4.1 ニアフィールド現象

第2次取りまとめでは詳細に評価されていない人工バリアの幾何形状の変化、力学挙動、化学環境条件の変遷などに影響を与える要因の抽出と全体性能評価に対する課題の整理を行う。

人工バリア（特に緩衝材）の幾何学的な状態変化については、オーバーパックスの沈下や腐食膨張等に伴う圧密、また緩衝材の周辺亀裂への流出により生じる緩衝材の密度・空隙の不均一性や、ガスの発生に伴う移行パスの形成およびその閉塞等に関して、これらの影響因子を整理する。

人工バリアの力学挙動については、オーバーパックスの腐食膨張と座屈、それに伴うガラスの割れ等が全体性能に与える影響について整理する。

化学環境条件の変遷などについては、処分場閉鎖後のニアフィールドの挙動を詳細に評価するために実施されている熱・水・応力・化学連成モデル、マグネタイト腐食に関する試験研究、緩衝材の変質・劣化に関する試験研究などの成果を反映し、核種移行特性に与える影響因子について整理する。

4.1.1 課題の抽出と優先順位の設定

ニアフィールドにおける追加評価モデルの検討リストを表4.1-1に示す。

表4.1-1に示した追加評価モデルに対する検討の優先順位の設定については、課題の特徴や課題解決の見込みに加えて、将来的な課題の統合解析システムへの組み込みにおける課題とシステムとの親和性等を考慮することが重要である。

また、サイクル機構の各種研究設備の活用についても検討の際に配慮することも考慮する必要がある。

そこで、ここでは以下の考え方に基づき、今後の研究開発計画策定における優先順位を設定した。

課題としての重要度；

HLW 地層処分の研究開発における課題解決の要請が高いものを抽出する。

課題解決の見通し；

統合解析システムへ成果を組み込む観点から，ここ数年を目処に解決の方向性
が示せるものを抽出する。

統合解析システムとの親和性；

統合解析システムの目的や機能に照らし合わせ，課題解決後にシステムに成果
を反映させる観点から優先順位の高いものを抽出する。具体的には，統合解析
システムにおける解析情報の一元管理の有用性や，システムにおける解析条件
や解析結果の可視化の有用性を考慮することとする。

サイクル機構の研究設備活用の観点；

課題の解決においてサイクル機構保有の研究設備(特に ENTRY, Quality 等の
試験設備) の活用が見込まれる課題を抽出する。

上記の観点から課題の追加評価モデルのリストを整理した結果を表 4.1-2 に示す。

これらの表には，整理の際の参考として，付録 1 に例示した統合解析システムの適用
案に対する課題リスト整理(対応関係の明確化) の結果もあわせて示した。また今後の
研究開発の観点からは，課題リストでは複数の項目に分割されているものの幾つかを一
括して取り扱うことが適切な項目が存在する。

そこで，表 4.1-2 ではこの様な課題の結合についても記述した。表 4.1-2 の整理に従
い，ニアフィールド現象に関する技術開発計画を策定する項目として，以下が挙げられ
る。

ニアフィールド熱解析技術の高度化

ニアフィールド連成現象評価技術の高度化

緩衝材の健全性評価技術の高度化

地下水の放射線分解評価技術の高度化

表4.1-1 追加評価モデルの検討リスト(ニアフィールド現象) (1/4)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
熱解析	開放坑道への熱放散	・ 操業期間中の開放坑道への熱の散逸による人工バリア最高温度の低下。	・ 緩衝材の最高到達温度が100 以下となるように占有面積が決められており、緩衝材のバリア性能への影響は小さい。 ・ 処分場の設計の観点からは、占有面積を低減できる可能性がある。	・ 開放坑道内の対流熱伝達、空気の輻射のモデル化が必要。 ・ 境界条件の設定が困難(定置作業の進展に伴う発熱密度の時間変化)。 ・ 定置後の地下水浸潤による冷却効果の確認が必要。	・ 対流熱伝達モデル、輻射モデルの導入。 ・ 熱 - 水連成解析コードによる地下水浸潤挙動の評価。	・ 付録3 参照
	操業時のギャップを考慮した熱解析	・ 操業(定置)時のギャップを考慮した地下水浸潤、緩衝材膨潤、および熱評価。	・ キャップを考慮した熱解析から、緩衝材の最高温度が若干高くなる。 ・ ギャップへの地下水浸潤および閉塞により、緩衝材の最高温度は低下する可能性がある。	・ 操業時の排水による地下水浸透現象への影響確認(地下水位回復挙動)。 ・ 緩衝材膨潤の詳細なモデル化が困難(弾粘塑性モデル)。	・ 熱 - 水 - 応力連成解析コード(千々松・谷口, 1999)を使用した評価。 ・ 坑道周辺岩盤の地下水流動評価(排水停止による地下水面の回復)。	・ 熱 - 水連成解析
化学解析	OP の腐食挙動評価(マグネタイト腐食)	・ 炭素鋼の腐食生成物(マグネタイト)による腐食の加速(OPの早期破損)。	・ 緩衝材が完全に飽和し拡散場が形成されていれば、OP 破損時間の影響はほとんどない。 ・ 緩衝材が不飽和状態で破損した場合の核種の浸出、移行を評価する必要がある。	・ ガラスの溶解速度(核種の浸出速度)は、これまで飽和条件でしか取得されていない。高温・不飽和状態を模擬した浸出試験を実施する必要がある。	・ 高温・不飽和条件での腐食挙動およびガラス溶解挙動(試験)。 ・ 不飽和条件での緩衝材中核種移行のモデル化(瞬時平衡に基づいた沈殿/溶解、収着モデルの改良)。	・ 不飽和物質移行解析
	コンクリート製支保の影響評価	・ 高アルカリ浸出液によるOP の腐食評価(アルカリ腐食)。 ・ 高アルカリ浸出液による緩衝材の変質評価。	・ OP の腐食加速の可能性はあるが、OP 破損時間の影響は小さい。 ・ 緩衝材の変質は長期のバリア性能に直接影響を及ぼす。	・ アルカリ成分によるOP の腐食挙動の解明。 ・ アルカリ成分による緩衝材の変質挙動および変質後の特性把握(収着性等)。	・ 緩衝材変質を考慮した核種移行モデルの開発(例えば、化学 - 物質移行連成モデルの開発)。	・ 化学(変質)解析 ・ 物質移行解析

表4.1-1 追加評価モデルの検討リスト(ニアフィールド現象) (2 / 4)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
化学解析 (続き)	熱 - 水 - (応力) - 化学 - 物質移行 連成現象	・再冠水時の塩の蓄積および温度低下後の塩の溶解 / 拡散散逸の評価。	・OP 破損前に塩の再溶解、拡散散逸が起これば、核種移行への影響はない。 ・OP と接触する地下水組成の変化 (OP 表面での塩の析出) により、腐食挙動に影響を及ぼす。 ・塩が蓄積した状態では、核種移行特性 (拡散、収着、沈殿 / 溶解等) に影響を及ぼす。	・高温 (100 前後) 環境であることから、気液二相物質移行モデルと化学反応モデルを連成させる必要がある。 ・高温・不飽和・高塩濃度環境での OP の腐食挙動、ガラスの溶解挙動を調べる必要がある。 ・緩衝材空隙の閉塞による物質移行特性の変化を調べる必要がある。	・熱 - 化学 - 物質移行 (気液二相) の強連成モデルの開発。 ・腐食挙動評価 (試験)。 ・ガラス溶解試験 (例えば液滴落下による評価)。	・熱 - 水 - 化学 連成解析
応力解析	OP の寿命評価	・OP の腐食膨張およびそれに伴う応力による OP の破損時間 (貫通時間) の評価。	・OP の強度代の破損を評価することにより、OP 破損時間が長くなる。 ・OP の長寿命化はインベントリの観点からは評価にほとんど影響はない。 ・OP 腐食膨張層の移行遅延により、移行率を低減できる可能性がある。	・OP の腐食膨張挙動の解明とそれに伴う緩衝材圧密現象の解明。 ・緩衝材の圧密反力の経時変化に伴う OP の変形挙動の解明 (弾塑性解析)。 ・OP の腐食膨張、変形に伴う破壊挙動の解明 (OP 健全性評価)。	・腐食膨張層の進展挙動のモデル化。 ・腐食膨張に伴う緩衝材圧密現象のモデル化 (弾粘塑性変形)。 ・腐食膨張層における核種移行特性の把握 (試験)。	
	OP の座屈 / せん断破壊 (断層直撃など)	・岩盤の大変形 (クリープや断層直撃) による OP の座屈・せん断破壊、ならびに緩衝材の大変形・大流出。	・OP の早期破損により、核種移行に影響を及ぼす (不飽和移行など)。 ・緩衝材の変形・流出により、核種移行バリアとしての機能が喪失する。	・岩盤の大変形 (クリープ) 現象の解明。 ・岩盤の破壊現象の解明。 ・緩衝材の変形破壊現象の解明。	・岩盤の大変形 (クリープ) と破壊挙動のモデル化。 ・緩衝材の粘塑性変形のモデル化 (降伏応力の設定)。 ・外部応力 (クリープ応力やせん断応力) による OP / 緩衝材 / 岩盤の複合変形挙動のモデル化。	・変動シナリオ

表4.1-1 追加評価モデルの検討リスト(ニアフィールド現象) (3/4)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
応力解析 (続き)	ガラス固化体の破損	・ OP の腐食膨張や機械的破損によるガラス固化体の破損。	・ 表面積の増大により、核種の浸出率が増加する。しかし、第2次取りまとめの評価では、インベントリ制限により表面積増加の影響は小さい。 ・ ガラスの割れにより地下水が固化体中心部まで浸透し、放射線分解により酸化性化学種が生成される場合は影響が大きい。	・ OP の腐食膨張・変形に伴って固化体へ作用する応力分布の把握。 ・ ガラス固化体(脆性体)の変形破壊挙動の把握。 ・ ガラス固化体の中心部における地下水の放射性分解挙動と分解生成物の移行挙動の把握。	・ OP の寿命評価モデルの開発にあわせたガラス固化体破壊モデルの開発。 ・ ガラス固化体中心部における放射線分解モデルの開発(α核種含む)。 ・ 破損ガラス固化体中の移行モデルの開発(放射線分解生成物)。	
	緩衝材の密度低下・不均一化	・ OP の腐食膨張や沈下、緩衝材の流出に伴う密度低下と不均一化。	・ 緩衝材の圧密や流出に伴う密度変化が均一の場合は、核種移行への影響はほとんどない。 ・ 密度の不均一変化による部分的な移流場形成などは影響が大きい。	・ OP の腐食膨張に伴う緩衝材の圧密現象の解明。 ・ 周辺岩盤(亀裂)中への緩衝材侵入挙動(粘性流体、粒子拡散、地下水浸食)の解明。 ・ 緩衝材密度低下による OP 沈下、不均一場の評価。	・ 緩衝材の圧密現象と連成させた緩衝材流出モデルの開発。 ・ 緩衝材流出に伴う掘削影響領域の空隙閉塞モデルの開発。 ・ 不均一緩衝材中での移行モデルの開発(不均一拡散係数、移流分散移行)。	
	緩衝材形状の変化	・ 緩衝材形状の変化に伴う OP と岩盤の接触(緩衝材のバリア機能喪失)。	・ 接触部分から岩盤に直接核種が浸出する可能性があり、沈殿による核種移行遅延が働かない。 ・ 地震等により緩衝材の液状化が発生した場合は、バリア機能を喪失する。	・ 緩衝材の大変形(クリープ、流出)現象の解明。 ・ 飽和緩衝材の液状化現象の発生評価。	・ OP と岩盤の接触を考慮した核種移行モデルの開発(緩衝材と岩盤への移行分配)。	・ 変動シナリオ

表4.1-1 追加評価モデルの検討リスト(ニアフィールド現象) (4/4)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
放射線解析	緩衝材の放射線損傷	・緩衝材の放射線損傷による変質と劣化。	・ γ 線照射による変質は小さく、影響は小さい。 ・中性子線損傷および核種浸出後の α 線による損傷はバリア機能(収着性、止水性)に影響を与える。	・緩衝材の中性子損傷および α 線損傷の把握。 ・変質挙動の時間変化の解明。	・緩衝材変質を考慮した核種移行モデルの開発(例えば、速度論的変質-物質移行連成モデルの開発)。	
	地下水の放射線分解	・地下水の放射性分解による酸化性化学種の生成。	・緩衝材内側が酸化状態になっても、酸化フロントが緩衝材を超えない限りは、核種移行への影響は小さい(還元領域での核種の沈殿生成)。	・放射線分解生成物(ラジカル)の種類とその結合反応の解明。 ・放射線分解生成物の移行挙動の解明(酸化フロントの進展現象)。	・速度論的化学反应-物質移行連成モデルの開発。	
核種移行解析	緩衝材中の移流移行	・緩衝材中の移流場形成にともなう核種の移流・分散移行。 ・沈殿物の移行(ろ過機能喪失)。	・緩衝材中の核種移行時間が短くなり、遅延効果が低下する。 ・沈殿物のろ過機能が喪失した場合は、性能評価への影響は非常に大きい。	・緩衝材中の移流場形成機構の解明。	・緩衝材中の地下水流動解析モデルの開発(物質移行は現状モデルで対応可能)。	
	微生物による核種移行評価	・微生物活動による核種移行特性の変化。	・移行特性に影響を及ぼすと考えられるが、定量的には明確でない。	・微生物影響の定量的把握(微生物の種類の特定)。	・文献調査、原位置調査に基づく微生物の種類および分布の把握。	
	有機物による核種移行評価	・有機物の影響による核種移行特性の変化。 ・コロイドの形成。	・移行特性に影響を及ぼすと考えられるが、定量的には明確でない。	・有機物影響の定量的把握(有機物の種類の特定)。 ・緩衝材中のコロイドの移行挙動(ろ過)。	・文献調査、原位置調査に基づく有機物の種類および分布の把握。 ・緩衝材中でのコロイド形成とろ過現象の把握。	
	ガス発生に伴う間隙水(核種)の押し出し	・OPの腐食生成ガスによる緩衝材間隙水(溶存核種)の押し出し。	・溶存核種のための押し出しの影響は小さいと考えられるが、定量的には把握されていない。	・緩衝材および岩盤中でのガス移行挙動。 ・緩衝材中のガス移行パス形成後の再閉塞の確認。	・溶存核種の押し出しモデルの開発(物質移行との連成モデル)。 ・再閉塞のモデル化。	

表4.1-2 追加評価モデルの検討リストの整理(ニアフィールド)

[illegible]

凡例

- 課題としての重要度；
- 課題解決の見通し；
- 統合解析システムとの親和性；
- JNC研究設備の観点；
- 統合解析システムによる評価項目；

○：重要度が高い、○：重要度が相対的に高い、-：重要度が相対的に低い
○：数年内に相当程度の技術開発の進捗が見込める、○：数年内にある程度の技術開発の進捗が見込める、-：長期的な課題
○：親和性が高い、-：親和性が相対的に低い
A：室内試験装置の活用、B：地下研究施設の活用、空欄：該当施設無し、あるいは不明
○：直接対応する機能、-：評価対象外

4.1.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定

前節で抽出された4つの課題に対する研究開発計画を策定するため、以下の項目を含む計画を作成する。

課題としての重要度

課題解決の見通し

統合解析システムとの親和性

サイクル機構の研究設備活用の観点

研究開発（モデル開発）方策

年度展開

（1）ニアフィールド熱解析技術の高度化

1）課題としての重要度

第2次取りまとめにおけるニアフィールドの熱解析は、処分場パネルのレイアウト検討の一環として、緩衝材の最高到達温度が100℃以下となる廃棄体の埋設ピッチおよび坑道離間距離の組合せの検討に用いられていた。この評価では、40,000本の廃棄体が同時に定置され、かつ埋め戻しされた状態を想定した保守的な評価が行われていた（核燃料サイクル開発機構、1999c）。

しかしながら、廃棄体が順次定置されていく実際の操業を考えた場合、定置後の廃棄体から開放坑道へ熱が散逸することにより、緩衝材の最高到達温度が低下する可能性がある。特に、縦置き定置方式の場合は、処分孔上部の処分坑道は、閉鎖（埋め戻し）開始の判断までの比較的長期にわたって開放された状態にあると想定され、熱の散逸効果はかなり大きいと考えられる。横置き定置方式の場合は、廃棄体の定置と同時に処分坑道の埋め戻し（緩衝材の定置）が行われるため、熱の散逸効果は比較的小さいと考えられるが、隣接する定置前の坑道や主要・連絡坑道等は開放状態にあるため、ある程度の温度低下は期待できるものと考えられる（付録3参照）。

一般に化学プロセスは温度の影響を大きく受けるため、ニアフィールドの温度分布は、オーバーパックの腐食や緩衝材の変質など人工バリアの健全性評価に影響を与える。このため、人工バリアの健全性を精緻に評価するためには、現実的な温度分布評価が必要となる。また、現実的な熱解析を行うことにより、緩衝材の最高到達温度の基準値（100℃）を満たす廃棄体占有面積（埋設ピッチと坑道離間距離の組合せ）を低減できる可能性があり、地層処分の経済性に対する影響も大きいと考えられる。

また、第2次取りまとめ分冊2において、施工時の隙間を考慮した温度解析が行われているが、空気の輻射、対流の熱伝達に与える影響が考慮されていないことが

述べられている（核燃料サイクル開発機構，1999c）。

2）課題解決の見通し

第2次取りまとめにおいては，廃棄体定置後のニアフィールドにおける廃棄体からの放熱，周辺岩盤からの人工バリアへの地下水の浸入，地下水の浸入による緩衝材の膨潤圧の発生などを評価するため，熱 - 水 - 応力連成解析コード（THAMES）を用いて再冠水時間が評価されている（核燃料サイクル開発機構，1999c）。本連成コードを用いて，施工（定置）時の隙間を考慮をした解析，ならびに操業中の開放坑道を考慮した解析を行うことで，より精緻な熱解析が実施できると考えられる。

このような評価を行うためには，隙間充てん物（粉末ベントナイト等）の膨潤特性，熱特性（含水率依存）などの物性データの取得，ならびに開放坑道中の排気による対流熱伝達および輻射効果を既存モデルに組み込む必要がある。

3）統合解析システムとの親和性

ニアフィールドの熱解析は処分パネル（廃棄体埋設ピッチ，坑道離間距離）を決定する上で重要な役割を果たし，特に処分坑道横置き方式の坑道レイアウトは，力学制限よりも熱的制限によって決定されている。したがって，熱解析は，安全評価で対象とする地層処分システムを決定（設計）するための判断因子の一つになっており，安全評価の前提条件を管理する観点から統合解析システムへ組み込むメリットは大きいと考えられる。

このような設計情報を適切に管理し，処分システムの安全評価を行うための初期条件を明示していくことで，それに基づく安全評価を統合的に実施することが可能になると考えられる。

4）サイクル機構の研究設備活用の観点

隙間充てん物（例えば粉末ベントナイト）等の基本物性（含水比依存の熱特性など）のデータ取得は，通常の実験室レベルの試験で取得可能と考えられるが，モデル検証等には ENTRY の熱 - 水 - 応力連成試験設備（COUPLE）を利用した試験が不可欠と考えられる。

5）研究開発（モデル開発）方策

第2次取りまとめで触れられている輻射について考える。輻射製媒体の微小体積要素に対し，輻射伝熱を考慮に入れた場合のエネルギー保存式は，一般に次式で表される（甲藤ほか，1984）。

$$\rho \frac{De_m}{Dt} = \nabla \cdot \left[(p + \underline{p_R}) \cdot \vec{u} \right] + \nabla \cdot (\vec{u} \cdot \underline{\tau_S}) + \nabla \cdot (\vec{u} \cdot \underline{\tau_R}) + \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot \underline{\vec{q_R}} + Q$$

ここで、 $\vec{u}$ ：流速ベクトル、 τ_S ：粘性による応力テンソル、 τ_R ：輻射応力テンソル、 p ：流体圧力、 p_R ：輻射圧力、 e_m ：単位質量内の全エネルギーである。また、下線を付した項は輻射を考慮することにより生じた項である。これらの項の中で、輻射圧力、輻射応力、輻射エネルギー密度に関連した項は、工学上省略可能な小さい値の項となるので省略し、簡単化すると次式が得られる。

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot \underline{\vec{q_R}} + \frac{Dp}{Dt} + \Phi + Q$$

ただし、 Φ ：粘性散逸項、 Q ：発熱、また $D/Dt = \partial/\partial t + u\partial/\partial x + v\partial/\partial y + w\partial/\partial z$ である。この式が輻射の項 $\nabla \cdot \underline{\vec{q_R}}$ を含むエネルギー方程式となる。

ここで、輻射の項が処分環境のいかなる条件で考慮する必要があるかを検討しておくことが重要と考えられる。条件によって、単純熱伝導問題、対流伝熱の場合から、熱伝導あるいは対流と輻射の共存する複合伝熱問題となるため、処分環境における定置条件や排気条件等を考慮した上で、輻射モデルの組み込みを検討する必要がある。

また、操業期間中の開放坑道への対流熱伝達に関しては、特に坑道横置き定置方式の場合、境界条件の設定が重要になる。坑道横置き方式は、熱的制限によって坑道配置（埋設ピッチおよび坑道離間距離）が決まるため発熱の影響が大きい、隣接する坑道が未定置の場合の境界条件が一意には設定できない。このため、定置速度や排気量などの操業計画と整合的な条件設定が必要と考えられる。

6) 年度展開

ニアフィールド熱解析技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
前提条件（操業条件）の整理			
モデルの高度化			
物性値取得			
システムへの統合方法の検討			

(2) ニアフィールド連成現象評価技術の高度化

1) 課題としての重要度

第2次取りまとめまでの地層処分研究開発では、わが国で想定されるジェネリックなサイト条件に対して、データやモデルの不確実性を勘案しつつ、保守性を積極的に採り込んだロバストな評価結果を提示している。そこでは、天然の場に構築された人工バリアシステムが物理的・化学的に平衡となる定常状態が一意に定まり、その条件の下でシステム性能を論じるアプローチが採られている。

しかしながら、上記の平衡状態（定常状態）に至る背後には様々な個別現象やそれらの相互作用による複雑なメカニズムが非常に長い時間スケールで関与しており、系のゆらぎや不平衡さが含まれる中で初期条件を一意に定めることは困難である。

そのような場の条件を解明する一つのアプローチが熱 - 水 - 応力 - 化学の連成を考慮したモデルによる複合現象の評価であると考えられる。長期にわたる時間スケールの中で、様々な個別現象やそれらの相互作用を記述し、人工バリアシステムの状態を逐次追跡していくことで、システム性能（核種移行評価に代表される安全評価）を評価するための初期条件を解明するものである。

人工バリアシステムを定置した後の初期（閉鎖後から数百年程度）の過渡状態におけるプロセスの例を図 4.1-1 に示す（片岡ほか、2001）。ガラス固化体からの発熱とともに周辺母岩への熱伝導が生じるとともに、母岩から坑道内の緩衝材領域への地下水の浸潤が始まる。緩衝材は熱伝導により温度が上昇し、熱応力を発生する。

また、母岩からの地下水浸潤が進行するに従い、緩衝材の膨潤が始まり緩衝材と母岩（支保）の隙間を充填する。このとき、緩衝材の密度が低下する。

一方、空洞の力学的安定性を確保するために設けられた支保材（コンクリート製を仮定）から Ca^{2+} が溶解し、緩衝材外側では方解石として沈殿する。また、緩衝材に含まれる種々のケイ酸塩鉱物の溶解 / 沈殿と拡散が生じるとともに、温度勾配の影響により緩衝材間隙水中の溶存成分の凝集・沈殿ならびに溶解が生じる可能性がある（オーバーパック周辺での塩の蓄積、ならびにその後の溶解・拡散散逸など）。

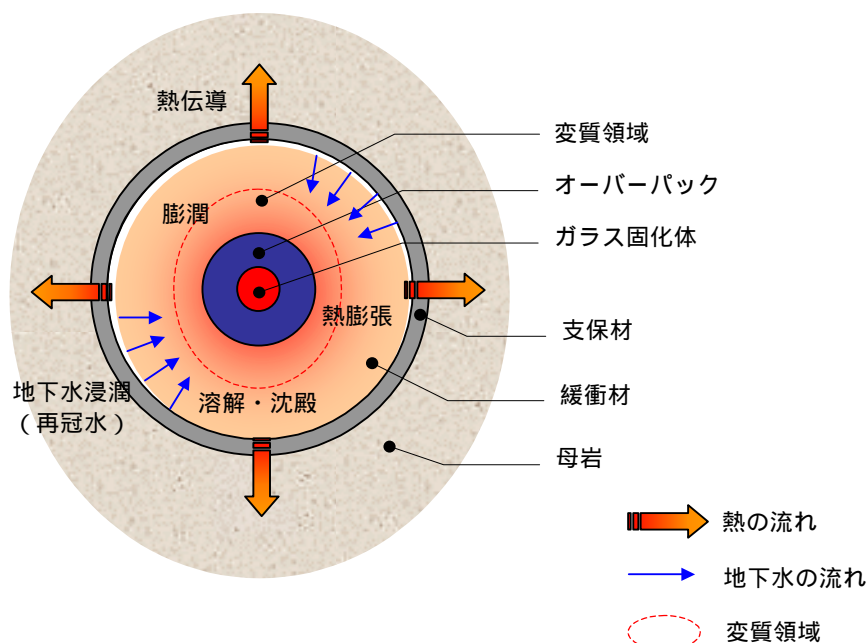


図4.1-1 ニアフィールド連成現象の概念図

このような閉鎖後初期のニアフィールドの過渡変化を解明することにより、システム性能を論じるための初期条件を一意に定めていた第2次取りまとめに対して、詳細な初期条件の設定が可能となる。さらに、人工バリアの過渡条件を反映した信頼性の高い人工バリアの設計、例えば現実的な地下水条件に基づくオーバーパックの耐食評価等が可能となる。これはサイクル機構が進める処分技術の信頼性向上ならびに安全評価手法の高度化に必要不可欠と考えられる。

2) 課題解決の見通し

第2次取りまとめにおいては、廃棄体定置後のニアフィールドにおける廃棄体からの放熱、周辺岩盤からの人工バリアへの地下水の浸入、地下水の浸入による緩衝材の膨潤圧の発生などを評価するため、熱 - 水 - 応力連成解析コード (THAMES) を用いて再冠水時間を評価している (核燃料サイクル開発機構, 1999c)。ここでは、不飽和粘土中の水分移動、温度勾配による水分移動、浸潤に伴う膨潤圧を考慮した連成モデルである。これらの評価に必要な不飽和ベントナイトの伝熱特性、浸潤特性、膨潤特性などに関する要素試験や国際共同研究などで工学規模、あるいは実規模スケールの試験が行われている。

一方、米国ユッカマウンテンにおけるプロジェクトでは、熱 - 水 - 化学連成解析コードが既に関係されており、坑道周辺の不飽和浸透解析を基礎として、廃棄体からの発熱による地下水の蒸散・凝集のサイクル、およびそのサイクルに伴う地下水中の溶存成分の溶解・沈殿を詳細に評価している (片岡ほか, 2001)。また、これ

以外にも、地球化学プロセスを含む熱・水理プロセスとの連成解析コードは近年比較的多くの研究がなされており、反応プロセスに速度論モデルを採用したモデルの開発も行われている。

このような背景を踏まえて、サイクル機構では熱・水・応力・化学連成解析コードの開発に着手しており（千々松ほか、2002）、数年内に技術開発（解析コードの開発）が相当程度進むものと考えられる。

3) 統合解析システムとの親和性

地層処分システムの長期の安全性は、シナリオで表現される長期間の複合的な現象を考慮して処分システム全体の性能を定量化することによって示される。特に、安全評価の基本となる地下水移行シナリオに関しては、シナリオの成立性（例えば、ニアフィールドに関連するものとして、緩衝材の幾何形状、温度変化、完全飽和の達成、還元条件の回復、拡散場の形成、変質・劣化など）を確認し、これを安全評価に適切に反映していくことが重要である。すなわち、処分システムの性能（安全性）を評価するための初期条件の適切な設定とこれに基づく安全評価（核種移行評価）を実施する上で、ニアフィールド連成現象評価モデルを統合解析システムへ導入する必要性は非常に高いと考えられる。

ニアフィールド連成現象評価モデル自身は、熱・水・応力連成解析コードに地球化学および物質移行モデルを連成させた設計ツールの一部と考えることができる。これにより、塩の蓄積・再溶解・拡散散逸が評価できるとともに、それに伴う空隙率の変化による地下水の浸透挙動、緩衝材の膨潤挙動等が評価可能となる。したがって、オーバーパック近傍の地球化学条件（オーバーパックと接触する地下水の組成、沈殿有無等）が特定できるため、オーバーパックの腐食試験に反映し、設計評価（腐食代の設定）に活用できる。

また、支保材の影響による緩衝材間隙水組成の変化（例えばコンクリート製支保材からの高アルカリ浸出液の浸潤によるオーバーパック接触地下水組成の変化）等を評価することが可能となり、塩の蓄積と同様に、オーバーパック設計上の情報を得ることができる。これらの評価結果とそれに基づく腐食試験データ等を統合解析システムで管理することにより、試験条件の明確化と、それと整合の取れた入力データセットの作成が可能となる。

また、第2次取りまとめにおいても既に触れられているように、熱・水連成モデルにより、緩衝材の再冠水時間の評価と最高到達温度が詳細に評価されており、緩衝材の制限温度を満たす処分施設の設計情報が得られている。（ただし、第2次取りまとめにおいては、熱的制約に基づく処分施設設計では連成モデルを使用しておらず、設計された処分施設の健全性評価に連成モデルを使用している。安全評価の

初期条件となる系の状態を示すことを考えれば、計算時間のかかる連成コードで熱解析を行う必要はない。）

このような設計情報に基づき、処分システムの安全評価を行うための初期条件が設定されていることを明示していく必要があり、統合解析システムに導入することにより、初期条件設定に係わる設計情報（健全性評価で示される過渡変化を含む）を提示するとともに、それに基づく安全評価を整合的に実施することが可能となる。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

第2次取りまとめにおいて、温度勾配水分移動試験装置や熱・水・応力連成試験設備（COUPLE）を用いて、発熱条件・不飽和条件での水分移動および緩衝材膨潤挙動等の試験を実施しており、これらの成果を活用することにより、モデル開発に必要なデータ取得が可能と考えられる。

化学現象の連成については、温度制御が可能な比較的小さいカラム試験装置やニアフィールド化学環境変化試験設備（GEO-FRONT）の活用により、温度勾配下での溶解沈殿、物質移行現象の連成試験が可能と考えられる。これにより、塩の蓄積や温度低下後の溶解現象に関するデータ取得が期待できる。

また、開発した連成解析コードによる評価の結果から、オーバーパックと接触する地下水組成および塩の蓄積の有無が明らかとなれば、それらの組成に基づく腐食評価が必要となる。不飽和・高温状態で、かつ地下水組成（沈殿濃度）が制御できる腐食試験設備の有無は不明であるが、これらは実験室レベルの比較的小さな装置で実験可能と考えられ、ENTRYにおいてオーバーパックの腐食評価に必要な詳細データを取得し、信頼性の高い耐食代設定に反映させることができる。

5) 研究開発（モデル開発）方策

地球化学モデルを含めた熱・水・応力・化学連成系の複合現象に対する個別現象モデルの相関関係を図4.1-2に例示的に示す。ここで、マトリクスに対角要素にある個別現象モデル（熱、水理、力学、化学）の支配方程式は表4.1-3に示すように記述することが可能である。

Thermal 熱伝導	温度→粘性		温度→溶解度 温度→反応速度 温度→拡散係数
熱伝導率←飽和度 比熱←飽和度	Hydrological 不飽和流れ	膨潤圧←飽和度	飽和度→拡散係数
熱伝導率, 密度←隙間の閉塞	透水係数←圧密(空隙率)	Mechanical 膨潤・熱膨張	圧密(空隙率)→拡散係数
	空隙率←鉱物体積分率 透水係数←空隙率		Chemistry 随伴鉱物の溶解・沈殿 イオン交換

図4.1-2 ニアフィールド連成現象の相関マトリクス(例)

マトリクスの非対角要素にある個別現象間の相関関係については、例えば以下に示すとおり考えることができる(片岡ほか, 2001)。

- 粘性係数の温度依存性; T→H

緩衝材中の空隙水の粘性はガラス固化体からの熱伝導による温度上昇の影響を受け、不飽和流体の粘性は低下する。

例えば、浸透流・熱・塩水の連成を考慮可能な SWIFT コードでは、粘性が温度と塩分濃度に依存する経験式で表現できるものと仮定している。

$$\mu = \mu_R(C) \exp \left[B(C) (T^{-1} - T_R^{-1}) \right]$$

ここに、下付の R は基準値、B は実測データより得られた経験的関数である。

- 化学定数の温度依存性; T→C

拡散係数、反応速度、平衡定数などの化学定数についても温度上昇の影響を受ける。米国ユッカマウンテンのドリフトスケールの THC 連成解析では、TOUGHREACT コードにより反応速度定数の温度依存性を次式で考慮している。

$$k = k_0 \exp \left[\frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298.15} \right) \right]$$

ここに、 E_a は反応の活性化エネルギー [kJ/mol], R は気体定数を示す。

- 地下水の浸潤に伴う膨潤圧の発生；H→M

緩衝材では周辺母岩から地下水が進入してくるため、外側から膨潤圧が発生する。緩衝材内側では、オーバパックからの反力を受け、応力状態は圧縮場となる。発生する膨潤圧と密度、飽和度との関係は実験的に求められる。

- 溶解・沈殿に伴う透水性の変化；C→H

鉱物の溶解・沈殿に伴う空隙構造とそれに関連する透水性の変化は、媒体の体積変化により推定できるものと仮定すると、次式で表される。

$$\phi = 1 - \sum_{m=1}^{NM} fr_m - fr_u$$

ここに、 ϕ は空隙率 [-]、 NM は鉱物の数、 fr_m は空隙を含めた鉱物の体積分率、 fr_u は反応しない媒体の体積分率である。透水性の変化は、Kozeny-Carman の式を用いることができる。

$$k = C_k \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2} \frac{1}{S^2}$$

ここに、 S は単位体積当たりの固相に含まれる全表面積、 C_k は形状係数である。形状係数には、例えば 0.2 などが用いられる。

この他、地下水の浸潤に伴う熱物性の変化や隙間の閉塞による熱物性の密度依存性（M→T）等については、実験的アプローチに頼ることが多く、対象とする系に応じた基礎データの取得・整備を行う必要がある。

表4.1-3 個別現象モデルの支配方程式の例
(緩衝材を一次元円筒座標系で近似した場合)

個別現象	支配方程式	初期条件 / 境界条件
熱	■ エネルギー保存 $\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rv \rho c_p T) - \frac{\partial}{\partial r} \left(r \kappa \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right\} = 0$	$-2\pi r_0 \kappa \frac{\partial T}{\partial r} \Big _{r=r_0} = E(t)$ $T(r, 0) = T_0$ $T(r_\infty, t) = T_\infty$
水理	■ 飽和度の非定常変化 (収支則) $\frac{\partial}{\partial t}(s\theta) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(rv) = 0$ ■ ダルシー則 $v = -\frac{k}{\mu_w} \nabla P(s)$	$\frac{\partial s}{\partial r} \Big _{r=r_0} = 0, \quad t \geq 0$ $s(r, 0) = s_0$ $s(r_\infty, t) = 1, \quad t \geq 0$
応力	■ 運動量保存則 $(\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) - (\lambda + \mu) \frac{u}{r^2} = \nabla P_s + \beta \delta_{ij} (T - T_0)$ ■ 質量保存則 $s \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho u)$	$\frac{\partial u}{\partial r} \Big _{r=r_0} = \frac{\partial u}{\partial r} \Big _{r=r_b} = 0, \quad t \geq 0$ $u(r, 0) = 0, \quad t \geq 0$ $\rho(r, 0) = \rho_0, \quad t \geq 0$
物質移動	■ 溶液濃度に関する質量保存則 $\frac{\partial}{\partial t}(s \theta c_i) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(rv c_i) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r D_{mol}(T, s) s \theta \frac{\partial c_i}{\partial r} \right\} - R_i s \theta$ ■ 鉱物濃度に関する質量保存則 $\frac{\partial m_j}{\partial t} = s R_j$	$\frac{\partial c_i}{\partial r} \Big _{r=r_0} = 0, \quad t \geq 0$ $c_i(r, 0) = c_{i0}, \quad m_i(r, 0) = m_{i0}$ $c_i(r_\infty, t) = c_{i\infty}, \quad t \geq 0$
化学	■ 溶解・沈殿反応 $d[\text{CaCO}_3]/dt = k_1(T)[\text{H}^+] + k_2(T)K_{\text{CO}_2}P_{\text{CO}_2} + k_3(T) - k_4(T)[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]$ $\text{O}_2(\text{gas}) \rightarrow \text{O}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{gas}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ■ 酸化還元平衡 $\text{FeS}_2 + 15/4 \text{O}_2(\text{aq}) + 1/2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$ ■ イオン交換 $2\text{ZNa} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Z}_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$	

6) 年度展開

ニアフィールド連成現象評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
連成モデル開発 ・地球化学モデル導入 ・個別現象モデルの相互作用の高度化			
連成現象の把握 ・複合現象の解明（入力データ等の取得） ・検証用試験			
統合解析システムへの導入 ・解析結果 ・解析コード制御			
モデル活用 ・腐食試験 / ガラス溶解試験等（試験条件の設定） ・安全評価への反映			

(3) 緩衝材の健全性評価技術の高度化

1) 課題としての重要度

第2次取りまとめにおいては、人工バリアの長期健全性評価の中で、オーバーパック腐食膨張解析、オーバーパック沈下解析、ならびに緩衝材の流出解析を行い、人工バリア性能を損なうような有意な変化はないとしている。これを受けて、安全評価においては、核種移行経路として同心円状の緩衝材を想定し、1次元円筒座標系の解析コードを用いた解析が行われている。

第2次取りまとめにおける人工バリア（緩衝材）は、非常にロバストなバリアとして機能している。システム性能の総合的解析の中で、天然バリアを考慮しない場合（ケース37）でも総線量は $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回る結果となっており、強力な人工バリアシステムとして機能している（核燃料サイクル開発機構，1999d）。

人工バリアが所期の安全機能を全て発揮する場合は、上述のようなバリア効果を示すが、期待される安全機能（例えば緩衝材の低透水性、膨潤性と可塑性、拡散、コロイドろ過など）を発揮し得ることを確認していくため、埋設後の長期にわたる人工バリアの変形（あるいは破壊）挙動の評価を高度化していくことは重要と考えられる。

2) 課題解決の見通し

埋設後の長期にわたる人工バリアの変形挙動として、以下の現象が考えられる。

- ・ オーバーパックの腐食膨張

炭素鋼の腐食生成物は、炭素鋼自体に比べて密度が小さいため、腐食の進展に伴い、3 倍程度の体積膨張が生じる可能性がある（核燃料サイクル開発機構、1999d）。

- ・ 応力再配分

腐食膨張の結果として、緩衝材は圧縮され圧力が増大する。このため、緩衝材は上部埋戻し材へはらみ出す（膨出）とともに、坑道周辺母岩の応力分布も影響を受ける。

- ・ 緩衝材の亀裂中への侵入

埋設後の緩衝材は地下水で飽和するのに伴い、膨潤することから、処分孔（処分坑道）の壁面に開口した亀裂が存在すると、ここから緩衝材が処分孔外部に侵入する可能性がある。

- ・ オーバーパックの沈下

緩衝材にはオーバーパック自重が作用し、緩衝材は非排水変形し、以降、緩衝材の排水（クリープを含む）によるオーバーパックの沈下が起こる。また、沈下と並行して、圧密されたオーバーパック下部の緩衝材が上部へと流動する可能性がある。

これらの現象については、第2次取りまとめの長期健全性評価の中で、個別に評価が行われてきた。埋設後の経時変化を考えると、これらの現象は同時並行的に進行するため連成解析モデルによる評価が望ましい。しかしながら、これらの複雑な現象を一度に全て取り扱う連成モデルを構築することは困難と考えられるため、加藤ら（2000）が行った腐食膨張に伴う応力場変化（応力分布の経時変化）をオーバーパック変形（破壊）の弾塑性解析の境界条件として与える方法など、境界条件（データ）の受渡しに基づく緩やかな連成を図ることにより、複合現象の進展を評価する方法が望ましいと考えられる。

3) 統合解析システムとの親和性

人工バリアの健全性評価は、安全評価の前提条件となる人工バリアの状態に関する情報を与えるものであり、人工バリア中の核種移行特性に少なからず影響を及ぼすため、安全評価との連携が非常に重要と考えられる。また、緩衝材の3次元空間

的な状態は、現状では 1 次元同心円モデルで評価している人工バリア中移行評価の妥当性を保証するとともに、新たな解析コード開発の必要性を判断する情報となる。このように設計と安全評価の連携を図る上で重要な技術情報であり、統合解析システムに適切に組み込む必要があると考えられる。

4) サイクル機構の研究設備活用の観点

緩衝材の亀裂への侵入現象に関しては、ENTRY の緩衝材流出挙動試験装置の活用が考えられる。オーバーパックの腐食膨張挙動に関しては、超長期試験あるいは加速試験が必要となり、これを実験的に直接観察するのは困難と思われるが、腐食膨張に伴う緩衝材の圧密やオーバーパックの沈下による緩衝材の圧密・流動（密度不均一化）等の力学的現象は、ENTRY 試験棟における工学レベルでの試験・観測が必要と考えられる。

5) 研究開発（モデル開発）方策

オーバーパック腐食膨張による緩衝材の圧密、オーバーパック沈下による緩衝材の変形挙動、ならびにそれに伴う応力再配分は、緩衝材（粘土）の力学挙動としてのモデル化に帰結すると考えられる。これは、粘土の力学挙動を応力 - ひずみ - 時間関係（構成式）として定式化することであり、この現実的な設定が重要と考えられる。粘土の構成式は、弾塑性体理論に基づくものや弾粘塑性体理論に基づくものなど、数々のアプローチにより構成式が提案されている。これらの構成式の中から、ENTRY 等で行われている試験（三軸圧縮試験やクリープ試験等）の結果を再現し得る構成式の選択とパラメータの設定が重要と考えられる。

6) 年度展開

緩衝材の健全性評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
緩衝材力学挙動試験			
構成式の調査・検討			
連成手法の調査・検討			
システムへの統合方法の検討			

(4) 地下水の放射線分解評価技術の高度化

1) 課題としての重要度

第 2 次取りまとめにおいては、放射線分解により発生する酸化剤と人工バリア中

の還元物質（オーバーパック腐食生成物）の量の比較から，酸化剤が生じたとしても十分な量の還元剤が存在するため，酸化剤はガラス固化体近傍に留まるとしていた。このため，緩衝材中においては還元条件での溶解度が期待でき，核種移行に有意な影響を与えることはないとしている（核燃料サイクル開発機構，1999d）。

人工バリア中の酸化還元条件は溶解度など核種移行特性に影響を及ぼし，感度解析の結果（付録2 参照）からも，緩衝材全域にわたって酸化条件となる場合には評価結果に大きな影響を与えることが分かる。また，オーバーパックの設計においては，放射線分解生成物による腐食の促進を防止する観点から遮へい厚さを設定しており，これがオーバーパックの板厚を決定する要因の一つとなっている。このため，放射線による酸化剤の生成挙動や生成後の移行挙動は，オーバーパックの減肉化にも影響し，経済的なインパクトも大きい。したがって，地下水の放射線分解に関する評価技術を高度化し，人工バリア中の酸化還元状態の評価を精緻に行う必要があると考えられる。

2）課題解決の見通し

地下水の放射線分解による酸化剤の生成量を評価するためには，分解生成物（ラジカル）の種類とその再結合反応を試験的に解明していくことが必要である。分解生成物による人工バリア中の化学環境の変化を把握するためには，分解生成物の速度論的な挙動の把握が重要になると考えられ，生成速度とその後の反応速度，および緩衝材中の移行速度との比較による化学環境の変遷を調べて行く必要がある。また，地下水に含まれる化学種（元素）が多いことから，全てのラジカル反応の特定と速度論的定数の取得には時間を要することから，酸化還元に寄与する化学種に重点を置いた検討が現実的と考えられる。

3）統合解析システムとの親和性

人工バリアの酸化還元状態は，オーバーパック設計や安全評価の前提条件となる人工バリアの状態に関する情報を与えるものであり，人工バリア中の核種移行特性データ（溶解度，分配係数）の設定に影響を及ぼすため，設計・安全評価との連携が非常に重要と考えられる。放射線分解による酸化還元状態の変遷は，設計・安全評価の前提条件となり，かつデータセットの設定根拠を示す上で重要な技術情報となるため，統合解析システムに適切に組み込む必要があると考えられる。

4）サイクル機構の研究設備活用の観点

地下水の放射線分解はホット試験が前提であり，Quality の雰囲気グローブボックスや CPF のホットセルなどを利用した分解生成物（酸化剤）の生成挙動，生成

した酸化剤の移行挙動に関する試験の実施が必要と考えられる。

5) 研究開発 (モデル開発) 方策

化学反応の反応速度式は、多くの場合、一次あるいは二次の反応式で近似することが可能である。化学種の濃度を c 、速度定数を k とすると、これらの反応の速度式は、一次反応は $-dc/dt = kc$ 、二次反応は $-dc/dt = kc^2$ で表すことができる。一方、人工バリア (緩衝材) 中の化学種の移行は拡散方程式で定式化することができ、収着や沈殿を無視した場合、一般式として $\partial c / \partial t = De \cdot \partial^2 c / \partial x^2$ で表される。分解生成物の生成と再反応、および緩衝材中の拡散散逸は、反応速度式と拡散方程式を連立させた連成モデルを開発することにより、評価できると考えられる。

6) 年度展開

地下水の放射線分解評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
放射線分解反応試験			
速度論的評価モデルの検討			
システムへの統合方法の検討			

4.2 ファーフィールド現象

天然バリアの評価では地下処分施設から生物圏に至るまでの核種移行経路のモデル化が重要であり、このためには、広域水理解析に基づくモデル化が必要となる。特に、概要調査地区の選定段階では、坑道からの詳細調査データが入手できないことを考えると処分場から地表（表層帯水層）へのマクロな核種移行経路のモデル化が重要な課題となる。

さらに、生物圏への核種の放出点は生物圏のモデル構築にとって重要な条件となり、生物圏における核種移行・線量評価に大きな影響を与える。このような全体性能評価の観点から、処分場から生物圏への核種移行モデルの構築に係わる課題の抽出と影響度が大きいと考えられる要因の抽出を行う。

4.2.1 課題の抽出と優先順位の設定

ファーフィールドにおける追加評価モデルの検討リストを表 4.2-1 に示す。

4.1.1 項に示したように、追加評価モデルに対する検討の優先順位の設定については、課題の特徴や課題解決の見込みに加えて、将来的な課題の統合解析システムへの組み込みにおける課題とシステムとの親和性等を考慮することが重要である。また、サイクル機構の各種研究設備の活用についても検討の際に配慮することも考慮する必要がある。ここでは 4.1.1 項と同様に、今後の研究開発計画策定における優先順位を設定した。

課題としての重要度；
課題解決の見通し；
統合解析システムとの親和性；
サイクル機構の研究設備活用の観点；

上記の観点から課題の追加評価モデルのリストを整理した結果を表 4.2-2 に示す。これらの表には、整理の際の参考として、付録 1 に例示した統合解析システムの適用案に対する課題リスト整理（対応関係の明確化）の結果もあわせて示した。また、今後の研究開発の観点からは、課題リストでは複数の項目に分割されているものの幾つかを一括して取り扱うことが適切な項目については、結合して記述した。

表 4.2-2 の整理に従い、ファーフィールド現象に関する技術開発計画を策定する項目として、以下が挙げられる。

多孔質媒体における不均質性を考慮した地下水流動解析技術の高度化
亀裂性媒体における地下水流動解析技術の高度化
広域を対象とした地下水流動解析技術の高度化

密度流評価技術の高度化

生物圏への核種移行経路の評価技術の開発

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフィールド) (1/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
地下水流動解析	岩(岩マトリクス)の不均質性の取り扱い	・ 多孔質性岩体の透水係数の不均質性を考慮した地下水流動解析。	・ 卓越流路の影響を考慮することにより、天然バリアからの核種の破過時間の減少、ピークフラックスの増大が生じる恐れがある。 ・ 分散希釈効果により、天然バリアからのピークフラックスの低減が期待される。 ・ 上記影響を適切に評価することにより評価のロバスト性が向上する。	・ 現状では領域毎に均質なモデルによる解析や、クリギングやフラクタル則によって限られた原位置情報から必要な不均質性を補完により推定するモデルにより評価が行われている(井尻ほか, 1999)が、これら手法の核種移行評価上の妥当性は、十分に確認されているとは言えない。	・ 不均質場推定法の核種移行評価上の相互比較(総合的なベンチマークテストの実施)により手法の特徴を明らかにする。 ・ 原位置情報の活用により各評価手法の妥当性を確認する。	・ 解析スケールに応じた不均質性の取り扱い
	岩(亀裂の性状と分布)の不均質性の取り扱い	・ 亀裂性媒体を等価な多孔質媒体へ置換した評価手法の開発。	・ 地下水流動解析の結果が亀裂の連結性に極端に依存することを回避することにより、極端に早い核種の破過や高いピークフラックスをより現実的に評価する。 ・ 亀裂性媒体における地下水流動をより現実的に評価し、核種移行解析のロバスト性を向上させる。	・ 現在のところ、亀裂性媒体に対する地下水流動解析手法としては、単板亀裂による単純化か、フラクチャーネットワークモデルとチャンネルネットワークモデルによる取り扱いが主流である(Ijiri et al., 1998; 澤田ほか, 1999)。単板亀裂については行き過ぎた単純化の危険性が指摘される一方で、その他のモデルについては解析に必要な情報と原位置で取得可能な情報の整合性に問題がある。	・ 亀裂性媒体を等価な多孔質媒体に置換する方法を開発し、総合的なベンチマークテストにより、他の亀裂性媒体に対する評価モデルとの相互比較を行う。 ・ 原位置情報の活用により各評価手法の妥当性を確認する。	・ 解析スケールに応じた不均質性の取り扱い

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフールド) (2/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
地下水流動解析(続き)	岩(亀裂の性状と分布)の不均質性の取り扱い	亀裂性岩体における亀裂部とマトリクス部の両者における地下水の移動を考慮した地下水流動解析。	- 地下水流動解析の結果が亀裂の連結性に極端に依存することを回避することにより、極端に早い核種の破過や高いピークフラックスをより現実的に評価する。 - 亀裂性媒体における地下水流動をより現実的に評価し、核種移行解析のロバスト性を向上させる。	現状のフラクチャーネットワークモデルでは、地下水は解析上設定された亀裂部を流動することから、岩体の透水性は亀裂の連続性のみに依存するが、この場合、全く地下水が流れないか、非常に短時間に岩体を破過するかの極端な結果となる。	- 亀裂部と岩マトリクス部の双方を地下水の移動経路とするモデルを開発し、総合的なベンチマークテストにより、他の亀裂性媒体の評価モデルとの相互比較を行う。 - 原位置情報の活用により各評価手法の妥当性を確認する。	解析スケールに応じた不均質性の取り扱い
		亀裂の水理学的な分類と適切なモデル化。	亀裂を不透水性の亀裂、透水性の亀裂、内部充填物が存在する亀裂等に適切に分類し、これを反映した核種移行解析を行うことにより、極端に早い核種の破過や高いピークフラックスをより現実的に評価する。	- 現状では、亀裂の水理学的な性状を適切に区分し、地下水流動解析に反映しているとは言い難い。 - 例えば亀裂の大きさや透水性と内部充填物との関係を明らかにすることで、現実的な地下水流動解析が実施できる可能性がある。	- 原位置ならびに実験室内において、亀裂構造とその水理学的な特徴を把握し、地下水流動の立場から適切な分類を行う。 - 上記分類を反映できる評価手法を開発し、総合的なベンチマークテストにより、他の亀裂性媒体に対する評価モデルとの相互比較を行う。 - 原位置情報の活用により各評価手法の妥当性を確認する。	

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフィールド) (3/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
地下水流動解析(続き)	広域を対象とした地下水流動の評価	・天然バリアから生物圏に至る全経路を対象とした地下水流動解析。	・天然バリアから生物圏に至る全経路を対象とした地下水流動解析を行うことで、天然バリアのバリア機能(破過時間、ピークフラックス)を現実的に評価する。 ・処分場スケールの地下水流動/核種移行解析の境界条件を現実的に設定することが可能となる。 ・生物圏評価における GBI を適切に設定することにより、GBI やその周囲において期待される希釈効果が現実的に評価される。	・現状では、広域スケールにおける不均質性の表現に関する問題やデータハンドリング上の制約、さらには処分研究の開発段階との関連もあり、地質構造モデルを適切に取り込んだ地下水流動解析が実施されているとは言い難い。	・地質構造モデルを適切かつ簡便に地下水流動解析に反映させるツールを構築するとともに、各スケールにおいて不均質性を適切に表現する手法を検討する。 ・総合的なベンチマークテストにより、ツールの妥当性を確認する。 ・原位置情報の活用により評価手法の妥当性を確認する。 ・地下水年代や水質形成機構に基づいて地下水流動解析の妥当性を確認する。	・ EarthVision
	詳細スケールの地下水流動の評価	・坑道スケールの不均質性を考慮した地下水流動解析。	・廃棄体周囲の地下水流動条件を個別に評価することにより、廃棄体個々のバリア機能を個別具体的に評価することができる ・上記により、例えば特定廃棄体(亀裂の存在するビットに定置された廃棄体)の緩衝材流出の可能性や、緩衝材再冠水挙動、さらには緩衝材周囲の地下水交換量(ミキシングセル流量)を具体的に評価することが可能となる	・詳細スケールの解析に必要なデータの取得については、トモグラフィー等により可能性が示されており、今後の研究においてこれらのデータを評価モデルに適切に取り入れることが重要である。	・原位置及び実験室内において、詳細スケールにおける岩体の水理学的挙動を明らかにする。 ・トモグラフィー等の取得データを反映した多次元の地下水流動解析を行うツールを整備する。 ・総合的なベンチマークテストにより、ツールの妥当性を確認する ・原位置情報の活用により評価手法の妥当性を確認する。	・ EarthVision

表4.2-1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフールド) (4/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
地下水流動解析(続き)	密度流解析	・ 塩水と淡水が共存する系における地下水流動解析(海水準変動等の影響に関する非定常解析を含む)。	・ 塩淡水境界が処分場を通過する際に地下水流速が上昇する可能性があり、パルス的な核種放出が生じる恐れがある。	・ 地質構造に基づく水理学的な不均質性(層序構造や層序内の不均質性)の影響によって塩淡水境界は複雑な挙動を示すことが示されているが、現状ではこれらが適切に評価されているとは言い難い。 ・ 塩淡水境界の移動は隆起や海退に対して時間遅れを持つことが知られており、解析の初期条件の設定によって解析結果が変化する。	・ 実験室において不均質な透水係数場を設定し、密度流試験を行い対応した解析(ベンチマーク試験)により、現象の理解を増進するとともに実験と解析の相互検証を行う。 ・ 文献調査等にもとづき現実の塩淡水境界に対してモデルの適用性を検討する。	・ MACRO / MACRO II
	サイセミックポンピングの評価	・ 地震・断層活動に伴う突発的な地下水流動の解析。	・ 突発的な地下水流速の上昇によりパルス的な核種放出が生じる恐れがある。	・ 現状では、核種移行解析において単純な仮定をおいた解析が行われているが、現象を十分に反映したものとは言い難い。 ・ 現実的な評価には多次元の解析が不可欠である。	・ 文献調査にもとづきモデルを開発する。	
	熱対流(熱水対流)の評価	・ 天然の温度勾配や廃棄体の発熱の影響を考慮した地下水流動解析。	・ 動水勾配が非常に小さい場においては、廃棄体の発熱による熱対流が天然バリアにおける核種移行の主要なダイナミズムとなり得る。 ・ 火山・火成活動の考慮した条件下では、熱水対流の影響により核種が天然バリアから速やかに放出される恐れがある。	・ 単純な系(例えば均質な場)における地下水流動解析の事例は多数存在するが、地層の不均質性を考慮し、かつ核種移行を想定した評価は行われていない。	・ 実験室において不均質な透水係数場を設定して熱対流試験を行い対応した解析(ベンチマーク試験)により、実験と解析の相互検証を行う。 ・ 文献調査等にもとづき現実の熱水対流に対してモデルの適用性を検討する。	

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフールド) (5/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
天然バリア中の核種移行解析	複数の亀裂を考慮した核種移行解析	・ 複数の亀裂を組合せて(並列・直列)考慮する核種移行解析。	・ 単板亀裂を想定する場合と比較して、早期の破過や高いピークフラックスが生じる恐れがあるが、一方で分散・希釈効果が期待される。	・ 第2次取りまとめにおいて複数亀裂を並列に結合した評価が行われているが、並列化の方法(重ね合わせ)や、より複雑な配置(例えば直列との組合せ)と言った条件に対する亀裂系のバリア機能は十分に理解されているとは言いがたい。	・ 複数亀裂を簡便に結合し核種移行解析を行うツールを開発し、この様なモデルにおける亀裂系のバリア機能の特徴を把握する。 ・ 原位置情報に基づき開発されたツールの妥当性を確認する	
	亀裂の分類を考慮した核種移行解析	・ 亀裂を現実的に分類し、これを反映した核種移行解析の実施。	・ 例えば、大きな亀裂には亀裂充填物が存在し、小さな亀裂は数が多いものの大半は不透水性である等の分類が可能であれば、亀裂性媒体のバリア機能を現実的に見積もることが可能となる。	・ 左記分類の可能性は十分に立証されているとは言いがたい。 ・ 複数亀裂を取り扱う核種移行解析コードにおいて、簡便に内部充填物を考慮できるものは少ない。	・ 室内試験や原位置試験により、核種移行の見地から亀裂を分類する。 ・ 上記分類を簡便に核種移行に反映させるための解析ツールを開発する。 ・ 原位置情報に基づき開発されたツールの妥当性を確認する。	
	濃度を保存する核種移行解析	・ 地下水中の核種濃度を物理現象に則って評価する核種移行解析。	・ 天然バリア中における沈殿の効果や、分配係数が濃度に依存する核種に対して、天然バリアのバリア機能をより現実的に見積もることが可能となる。 ・ 核種濃度を算出することにより代替的指標として例えば河川における核種濃度との直接比較が可能となる。	・ 核種濃度を保存した評価のためには地下水の流量、希釈混合等を適切に見積もる必要があることから、現実の水理地質構造に立脚した3次元の地下水流動解析と核種移行解析が必須である。	・ 現実の水理地質構造に立脚し、3次元で簡便に地下水流動解析と核種移行解析を行うツールを開発する。 ・ 原位置情報に基づき開発されたツールの妥当性を確認する。	・ EarthVision

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーフールド) (6/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
天然バリア中の核種移行解析 (続き)	生物圏への核種放出域の設定	・ 生物圏への核種の放出を物理現象に則って評価するための核種移行解析。	・ 生物圏評価における GBI を適切に設定することにより, GBI やその周囲に期待される希釈効果が現実的に評価される。	・ 現状では, 広域スケールにおける不均質性の表現に関する問題やデータハンドリング上の制約, さらには処分研究の開発段階との関連もあり, 現実的な GBI の設定に必要な地質構造モデルを適切に取り込んだ地下水流動解析が実施されているとは言い難い。	・ 地質構造モデルを適切かつ簡便に地下水流動解析に反映させるツールを構築するとともに, 各スケールにおいて不均質性を適切に表現する手法を検討する。 ・ 総合的なベンチマークテストにより, ツールの妥当性を確認する。 ・ 原位置情報の活用により評価手法の妥当性を確認する。 ・ 地下水年代や水質形成機構に基づく地下水流動解析の妥当性を確認する。	・ EarthVision
生物圏評価	GBI の設定	・ 実際の浅部地下の地下水流動を考慮して GBI を設定した生物圏。	・ GBI を現実的に設定することにより, 複数 GBI への核種の分散, 例えば帯水層での核種の移行遅延や希釈と言った効果を適切に評価することが可能となり, 生物圏における線量への換算係数を現実的に設定できる可能性がある。	・ 現状では, 地表近傍への核種の移行を評価するために必要な広域スケールの地下水流動解析について, 不均質性の表現に関する問題やデータハンドリング上の制約, さらには処分研究の開発段階との関連もあり, GBI の設定に必要な解析が実施されているとは言い難い。 ・ さらに GBI の現実的な設定に必要な地表近傍の地下水流動系(例えば帯水層等)を核種移行の立場から評価した事例は少ない。	・ 地質構造モデルを適切かつ簡便に地下水流動解析に反映させるツールを構築するとともに, 各スケールにおいて不均質性を適切に表現する手法を検討する。 ・ 地表近傍の地下水流動解析 / 核種移行解析のためのツールを整備する。 ・ 総合的なベンチマークテストにより, ツールの妥当性を確認する。 ・ 原位置情報の活用により評価手法の妥当性を確認する。 ・ 地下水年代や水質形成機構に基づいて地下水流動解析の妥当性を確認する。	

表4.2 - 1 評価追加モデルの検討リスト(ファーフィールド) (7/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
生物圏評価 (続き)	帯水層のモデル化	・ 帯水層における希釈量の評価。	・ 帯水層の希釈効果を適切に評価することにより、生物圏における希釈水量が増大し、生物圏換算係数が現実的に設定される可能性がある。	・ 地質環境が多様性に富んでいることから、一般的な条件での帯水層のモデル化は困難である。	・ 主として文献調査にもとづいて帯水層をパターン化する。また代表的な事例について、浅部の地下水流動解析により、期待される希釈水量や分散の効果を明らかにする。 ・ 地下水年代や水質形成機構に基づき地下水流動解析の妥当性を確認する。 ・ 解析結果に基づき対応するコンパートメントモデルを開発する。	
	海洋のモデル化	・ 海洋における希釈量の評価。	・ 希釈水量の変化により、生物圏換算係数が変化する可能性がある。	・ 様々な海洋流動のパターンを一括してモデル化すると、評価結果に過度の保守性をもたらす恐れがある。	・ 主として文献調査にもとづき海洋流動を海岸 / 海底地形とともにパターン分類し、各パターンに対応した海洋水の希釈水量を明らかにする。 ・ 解析結果に基づき対応するコンパートメントモデルを開発する。	
	気候変動を考慮した生物圏評価	・ 気候変動の影響を動的に評価する生物圏評価。	・ 生物圏換算係数の変化。	・ 現状では気候変動後の定常的な生物圏条件に対して評価が行われているが、さらに動的な変動をモデル化する。	・ 国内外の動向にも注意を払いつつ気候変動パターンの様式化し、コンパートメントモデルを開発する。	・ Bioclim (国際共同プロジェクト)

表4.2 - 1 追加評価モデルの検討リスト(ファーストフィールド) (8/8)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
生物圏評価 (続き)	接近シナリオのための生物圏評価	・ 天然事象や人的行為による接近シナリオに対応した生物圏評価。	・ 生物圏換算係数の変化。	・ 接近シナリオにおける地表近傍の核種移行挙動を理解し適切な GBI を設定する。	・ 浅部地下環境における核種移行挙動を調査する。 ・ 国内外の動向にも注意を払いつつ、接近シナリオを幾つかのパターンに様式化し、必要なものについては対応するコンパートメントモデルを開発する。	

表4.2 - 2 追加評価モデルの検討リストの整理(ファーフールド)

分類	項目	概要	優先順位設定上の考慮の観点				統合解析システムによる評価項目										課題番号
			課題としての重要度	課題解決の見通し	統合解析システムとの親和性	JNC研究設備活用 の観点	地質環境データ	取得条件	データ分布確認	広域特性把握	設計解析	処分施設設定	処分坑道設定	人工バリア健全性評価	核種移行評価	天然バリア評価	
地下水流動解析	岩(岩マトリクス)の不均質性の取り扱い	多孔質性岩体の透水係数の不均質性を考慮した地下水流動解析	○		○	B	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
	岩(亀裂の性状と分布)の不均質性の取り扱い	亀裂性媒体を等価な多孔質媒体へ置換した評価手法の開発	○		○	B	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
	岩(亀裂の性状と分布)の不均質性の取り扱い	亀裂性岩体における亀裂部とマトリクス部の両者における地下水の移動を考慮した地下水流動解析	○		○	B	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
		亀裂の水理学的な分類と適切なモデル化	○		○	B	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
	広域を対象とした地下水流動の評価	天然バリアから生物圏に至る全経路を対象とした地下水流動解析	○		○	B	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
	詳細スケールの地下水流動の評価	坑道スケールの不均質性を考慮した地下水流動解析			○	B	○	○	○	○	-	-	○	-	-	-	
	密度流解析	塩水と淡水が共存する系における地下水流動解析(海水準変動等の影響に関する非定常解析を含む)	○		○	A、B	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	
	サイセミックポンピングの評価	地震・断層活動に伴う突発的な地下水流動の解析	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
天然バリア中の核種移行解析	熱対流(熱水対流)の評価	天然の温度勾配や廃棄体の発熱の影響を考慮した地下水流動解析		○	○		○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	
	複数の亀裂を考慮した核種移行解析	複数の亀裂を組合せて(並列・直列)考慮する核種移行解析		○	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	亀裂の分類を考慮した核種移行解析	亀裂を現実的に分類し、これを反映した核種移行解析の実施		-	○		○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	
	濃度を保存する核種移行解析	地下水中の核種濃度を物理現象に則って評価する核種移行解析		-	○		○	○	○	○	-	○	-	-	○	○	
	生物圏への核種放出域の設定	生物圏への核種の放出を物理現象に則って評価するための核種移行解析	○		○	(B)	○	○	○	○	-	○	-	-	-	○	
生物圏評価	GBIの設定	実際の浅部地下の地下水流動を考慮してGBIを設定した生物圏	○		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	帯水層のモデル化	帯水層における希釈量の評価	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	海洋のモデル化	海洋における希釈量の評価	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	気候変動を考慮した生物圏評価	気候変動の影響を動的に評価する生物圏評価		-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	接近シナリオのための生物圏評価	天然事象や人的行為による接近シナリオに対応した生物圏評価		-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

凡例

課題としての重要度；
課題解決の見通し；
統合解析システムとの親和性；
JNC研究設備の観点；
統合解析システムによる評価項目；

○：重要度が高い、
○：数年内に相当程度の技術開発の進捗が見込める、
○：親和性が高い、
A：室内試験装置の活用、
○：直接対応する機能、

：重要度が相対的に高い、
：数年内にある程度の技術開発の進捗が見込める、
-：親和性が相対的に低い
B：地下研究施設の活用、
-：評価対象外

空欄：該当施設無し、あるいは不明

4.2.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定

前節で抽出された5つの課題に対する研究開発計画を策定するため、以下の項目を含む計画を作成する。

課題としての重要度

課題解決の見通し

統合解析システムとの親和性

サイクル機構の研究設備活用の観点

研究開発（モデル開発）方策

年度展開

（1）多孔質媒体における不均質性を考慮した地下水流動解析技術の高度化

1）課題としての重要度

第2次取りまとめでは、わが国の岩盤は、一部の新第三紀堆積岩を除いて、亀裂が主要な地下水および核種移行経路である亀裂性岩盤として取り扱うことが妥当であること、また、一部の新第三紀堆積岩に対しては、亀裂だけでなく岩石基質中の流れも有意な亀裂性岩盤と多孔質岩盤の特徴を併せ持つ岩盤として取り扱うことが妥当と考えられるが、この場合でも3次元連続体モデルを用いた核種移行解析を実施した結果、亀裂性岩盤として1次元平行平板モデルの重ね合わせにより評価した方が保守的に評価されることが確認されているとして、天然バリアにおける核種移行モデルとして1次元平行平板モデルの重ね合わせを採用している（核燃料サイクル開発機構、1999d）。

一方、今後の処分事業の進展によって、地下水流動解析や核種移行評価において亀裂の影響が限定的であるような地域が処分候補地に挙手することも十分想定されるが、この場合、上記のような保守性の概念のみに基づいて天然バリアの性能を評価することは、処分システムの性能を極端に過小評価する可能性があることに加えて、処分の安全性を公衆に対して分かり易く説明する観点からも望ましい選択とはいえない。

一般に、多孔質媒体における地下水流動解析および核種移行解析は、亀裂性媒体におけるこれらの解析と比較して亀裂の連続性といった場の不均質性への依存度が小さいことが知られているが、天然バリアからの核種の破過時間やピークフラックスを必要な精度で評価するためには、透水係数をはじめとする場の不均質性の影響を考慮することが重要である。また堆積岩に特徴的な透水係数の異方性についても適切に評価することが必要となる。

ただし、透水係数をはじめとする地下水流動解析に必要な場の設定に活用可能な

原位置情報は、トモグラフィー等の２次元的な情報を取得する技術の適用が試みられているものの、基本的には試錐孔で取得される「ある点」における水理学的特性に基づくことが避けられないことから、離散的な情報に基づき地下水流動解析の対象となる場全体を推定することが必要となる。

これについて現状では、クリギングやフラクタル則によって限られた原位置情報から必要な不均質性を推定するモデルを作成して評価を行っている（核燃料サイクル開発機構，1999b）が、地質環境条件は多様であり、これらのモデルの適用性を様々な場で確認することにより、多孔質媒体における不均質性を考慮した地下水流動解析技術の高度化することは重要な課題であると考えられる。

2) 課題解決の見通し

限られた原位置情報から解析に必要な不均質な場を推定する手法については、クリギング法、フラクタル法等の手法が提案されており、今後はこれらの適用性を実際の場で、かつ、できるだけ多くの場で確認することが重要である。

これまでに、東濃地科学センターにおいてフラクタル則を用いた不均質性を考慮した地下水流動解析が行われ、ウランの濃集部と地下水の集水部との関係の影響の説明に一定の成果を上げており（核燃料サイクル開発機構，1999b）、同様のアプローチをその他の場へも展開することにより、多孔質媒体の不均質性を考慮した地下水流動解析技術を高度化することが可能であると考えられる。

3) 統合解析システムとの親和性

核種移行解析上重要となる解析対象の水理学的な特徴、特に卓越流路の連続性を適切に評価するためには３次元解析を行うことが重要であり、解析結果や解析で利用した透水係数場や境界条件、さらには透水係数場の推定に使用した試錐孔データの取得位置等を３次元的に一元管理するとともに、これを的確に可視化することが重要である。

具体的には、まず解析を行う際の入力情報を設定する段階において、解析で使用する透水係数場は原位置で取得された離散的な情報に基づき、不均質性を考慮した地球統計的な補完（例えばクリギングやフラクタル法）によって解析対象の全体にわたり透水係数場が作成される。

しかし、取得された原位置情報には一般に誤差が含まれており、場合によってはデータに解釈を加えた上で使用することが必要となることが想定される。また補完によって推定される透水係数場は一意には定まらないことから、複数の存在の可能性を否定されない透水係数場（リアライゼーション）を発生させて、それら複数の解析結果から全体としての解析結果を導き出す必要がある（井尻ほか，1999）。

このような総合的な判断には、推定された透水係数場と推定に使用した原位置データをひとつの画像に重ね合わせて表示することが効果的であり、この機能を統合解析システムで実現することが重要であると思われる。

また、解析結果の解釈にあたっては、解析結果を3次元的に可視化するのみならず、解析で使用した透水係数場や、透水係数を推定する際に使用した各種の原位置データをひとつの画像に重ね合わせるにより、解析の入力情報（原位置データ）を透水係数場として解釈し、さらに地下水流動解析に至る一連の作業を全体として判断することが可能となる。

このような解析に関係するデータの一元管理と可視化については、単に解析の品質保証や効率の向上に加えて、解析結果の解釈をより正確に行うとともに、公衆を含む第三者に評価内容を正確に伝達する側面からも重要であり、さらに地下水流動解析が地層処分施設の設計、性能評価業務の上流側の作業であることを考え合わせると、地下水流動解析を統合化システムに適切に組み込むことが重要であると考えられる。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

多孔質媒体を対象とした地下水流動解析を行う場としては、瑞浪市に計画中の超深地層研究施設ならびに幌延町に計画中の深地層研究施設がある（瑞浪市の研究施設については基盤岩上部の堆積層を対象とする）。

今後、これらの場を対象とした地下水流動解析を行うにあたり、場の不均質性や異方性を考慮した解析を実施し、また解析結果と試験結果との比較を行うことにより、解析の信頼性を向上することが可能であると考えられる。

5) 研究開発（モデル開発）方策

多孔質媒体における地下水流動解析を行う要素技術、すなわち透水係数場を推定する技術と与えられた透水係数場において地下水流動解析を行う技術については、いくつかのオプションがあるものの活用可能な技術が存在しており、これを適切に一つのシステムに統合することが重要である。

東濃地科学センターにおいては、地質構造のモデル化や地下水流動解析に関連する入出力情報の可視化の機能を持つ EarthVision と地下水流動解析を行う Frac-Affinity の連携により、3次元的な地下水流動解析を行うとともにその結果や入力条件を統合的に可視化している（小出・前田，2001）。

統合解析システムでは、地下水流動解析をさらに下流側の作業、すなわち処分施設の設計や核種移行解析への情報の伝達に十分留意してシステムを構築する必要があるが、統合解析システム機能の統合においては、このような既存システムの活

用も視野に入れてシステム開発を行うことが適切であると考えられる。

また地下水流動解析技術の検証としては、上記の地下研究施設の活用による総合的なベンチマークテスト（解析コードの相互の比較）や、地下研究施設で取得された原位置情報との比較が考えられる。

6）年度展開

多孔質媒体における不均質性を考慮した地下水流動解析技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
不均質場の推定方法の調査・検討			
地下水流動解析方法の調査・検討			
可視化方法の検討			
システムへの統合方法の検討			

（２）亀裂性媒体における地下水流動解析技術の高度化

１）課題としての重要度

第２次取りまとめにおいては、天然バリアにおける核種移行を１次元平行平板モデルの重ね合わせにより評価するとともに、その妥当性について３次元の亀裂ネットワークモデル(地下水流動解析)/チャンネルネットワークモデル（核種移行解析）による解析によって確認されている（図 4.2-1~3 参照）。

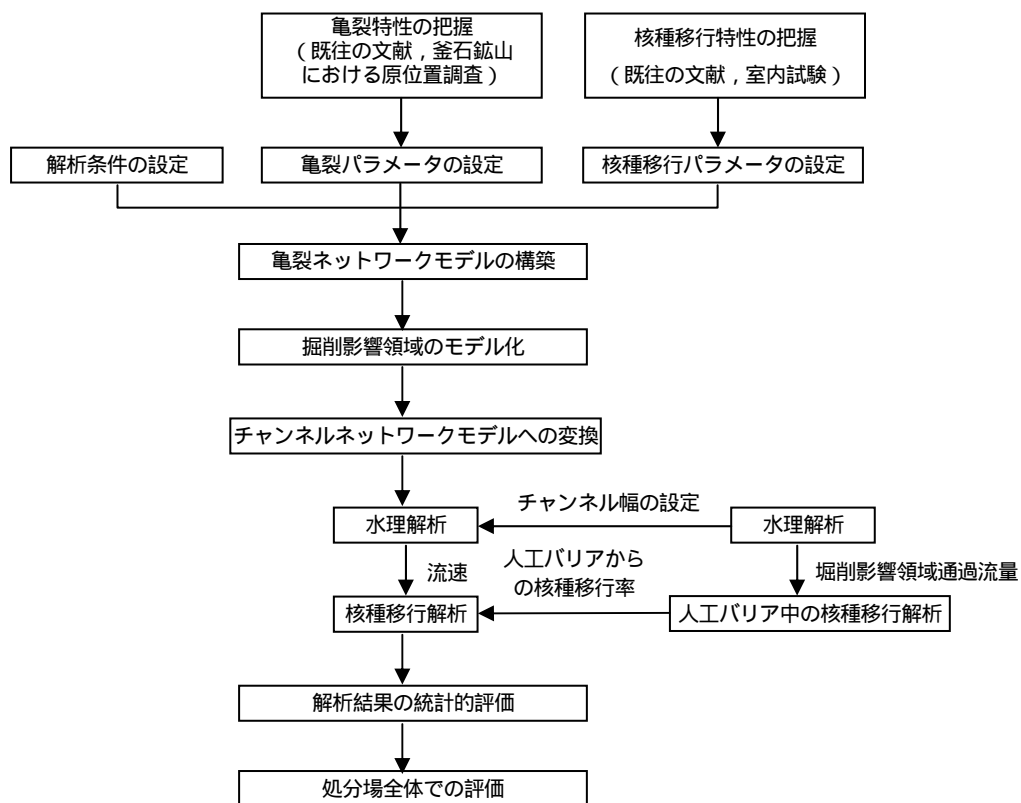


図4.2-1 3次元モデルを用いた核種移行解析評価フロー(第2次取りまとめ分冊3より引用)

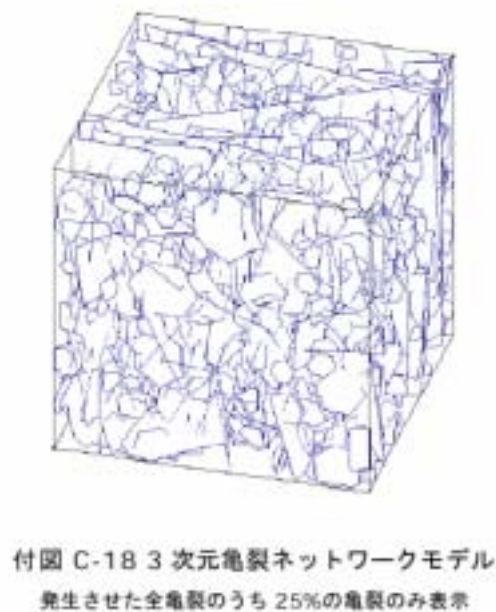
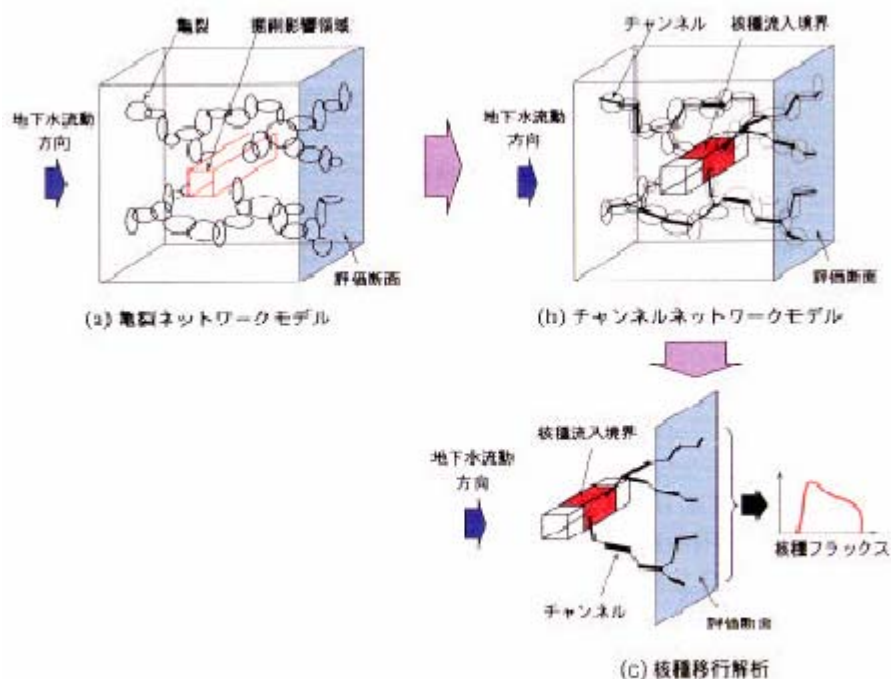


図4.2-2 第2次取りまとめで作成された亀裂ネットワークモデル(分冊3より引用)



付図 C-5 3次元モデルのフロー概念図

図4.2-3 第2次取りまとめにおける3次元モデルフローの概念図(分冊3より引用)

しかし、これらの亀裂ネットワークモデルやチャンネルネットワークモデルを実際の場に適用するためには非常に多くのデータが必要であり、特に処分場の立地を進める際、例えば処分候補地の選定といった段階においては、このようなアプローチにより場の特性を考慮した評価を行うことは困難であると考えられる。

一方、単板亀裂による単純化のアプローチを採用する場合においても、主要な核種移行経路や核種移行距離の設定が必要であり、亀裂による地下水流動を考慮した3次元的な地下水流動解析が必要となる。

これに加えて岩マトリクスの透水性が比較的高く、亀裂内の地下水の移動に対して岩マトリクス内の地下水の移動が有意な岩においては、亀裂とマトリクスの両者を考慮した地下水流動解析および核種移行解析を行う必要がある。

さらに、亀裂の水理学的な特性や核種移行に対する遅延メカニズムは亀裂の種類によって大きく異なる(透水性の亀裂から非透水性の亀裂まで、あるいは内部重点物の存在の有無等)ので、亀裂をその特性に応じて適切に分類し、これを評価に反映させる必要がある。

これらの課題は、亀裂性媒体において限られた情報から現実的な評価を行う上での問題点であり、処分プログラムの進展をにらみ、早急に解決の目処を示しておく

べき課題であると考えられる。

2) 課題解決の見通し

亀裂性媒体に対する評価手法の高度化の方向性としては、大きく分けて次の3つが考えられる。

より多くの場に対して既存の亀裂ネットワークモデルやチャンネルネットワークモデルを適用し、その妥当性を確認するとともに、我が国において一般的に使用できるデータセットを構築する。

岩盤内の亀裂と岩マトリクスの両者を媒体とする地下水流動解析および核種移行解析コードを整備し、その適用性を検討する。

水理学的な観点ならびに核種移行の遅延機能に関する観点から亀裂を分類 / モデル化し、これを評価に反映させる。

このうち，[1](#)については既に多くの解析コードが存在している（例えば FracMan/MAFIC コード，Don-Chan モデル，チャンネルネットワーク中の核種移行解析コード LTG 等；核燃料サイクル開発機構，1999b，1999d）ことから，近い将来においてより多くの場にコードを適用することにより，その信頼性を向上させるとともに，一般的なデータセットの構築についても一定の寄与を果たせるものと期待される。

また については,亀裂と岩マトリクスの両者をハイブリッド媒体として評価する解析コード (Frac-Affinity) が存在しており (小出・前田, 2001), 核種移行解析についてもその延長線上で取り組むことが可能であると考える。

また については，原位置における観察から，例えば図 4.2-4～6 に示すような 3 つの分類案（動燃事業団，1996）が示されており，これを発展させる形で評価に組み込むことが可能であると考えられる。

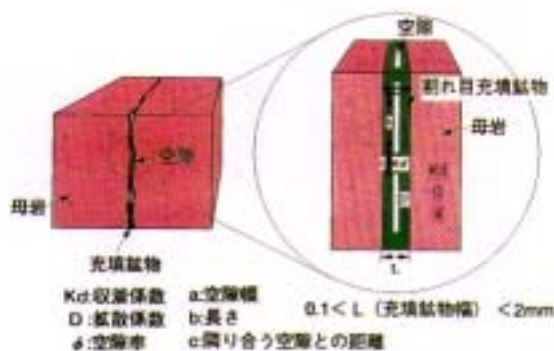


図4.2-4 亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル(Type-A) (動燃事業団, 1996)

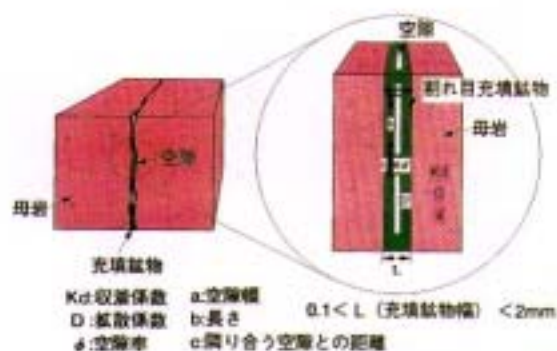


図4.2-5 亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル(Type-B) (動燃事業団, 1996)

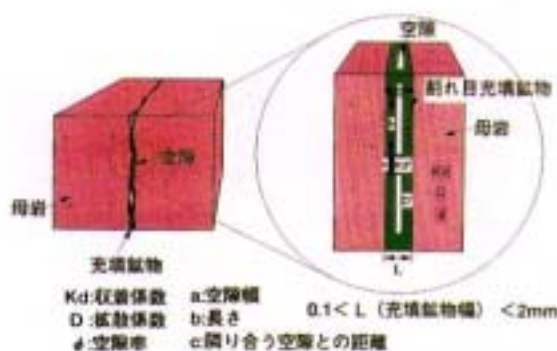


図4.2-6 亀裂性岩盤中の移行経路概念モデル(Type-C) (動燃事業団, 1996)

さらに、亀裂性媒体の水理特性を等価な多孔質媒体に置換し、2次元あるいは3次元で解析を行う手法も提案されており、一定の成果を収めている。亀裂ネットワークモデルやチャンネルネットワークモデルを補完する観点からも、このアプローチによる評価についても検討を進めることが可能であると考えられる。

3) 統合解析システムとの親和性

亀裂性媒体における地下水流動解析においても多孔質媒体の場合と同様に、核種移行解析上重要となる解析対象の水理学的な特徴、特に卓越流路の連続性を適切に評価するためには3次元解析を行うことが重要であり、解析結果や解析で使用した透水係数場や境界条件、さらには透水係数場の推定に使用した試錐孔データの取得位置等を3次元的に一元管理するとともに、これを的確に可視化することが重要である。

具体的には、統合解析システムにおける地下水流動解析の位置付け(地下水流動解析が設計や性能評価の上流側に位置付けられることから、これらの作業において

地下水流動解析の結果が参照されること)や、原位置データ、解析を行った場(亀裂性媒体の場合には亀裂ネットワークやチャンネルネットワークの構築状況を含む)、ならびに解析結果をひとつの座標上で一元管理し可視化する観点から、地下水流動解析を可視化システムで取り扱うことが重要であり、特に亀裂性媒体の場合には、亀裂部(地下水が流れている部分)とマトリクス部(流れに関与しない部分)で地下水流動解析上の取り扱いの差が顕著であることから、地下水の移行経路を必要な付帯情報とともに的確に可視化することが重要である。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

原位置情報に基づき亀裂性媒体の地下水流動解析を行い、実測値との比較を行う場としては、瑞浪市に計画中の超深地層研究施設がある。今後、超深地層研究施設に関連するサイト調査等で取得させる原位置情報を活用して、亀裂性媒体における地下水流動解析技術を開発・検証していくことが重要である。

また、岩盤内の亀裂における地下水流動特性を室内で測定する試験装置として、室内において地下深部の地圧状態を再現して亀裂内の地下水流動を試験する亀裂性媒体水理試験装置(LABROCK)及び亀裂ネットワーク岩体水理物質移行試験設備(NETBLOCK)がある。

これらの試験装置の活用により、亀裂を水理特性、物質移行特性の観点から分類し、その成果を地下水流動解析に反映させることが可能である。

5) 研究開発(モデル開発)方策

亀裂性媒体における地下水流動解析を行う要素技術、すなわち亀裂場を推定し透水係数場において地下水流動解析を行う技術については、前述のように活用可能な技術が存在しており、これを適切に一つのシステムに統合することが重要である。

地下水流動解析技術の検証としては、上記の地下研究施設の活用による総合的なベンチマークテスト(解析コードの相互の比較)や、地下研究施設で取得された原位置情報との比較が考えられる。その際、亀裂ネットワークを等価な多孔質媒体に置き換えるアプローチ(例えば Ahn(1999)らが提案している FFDF (Finite-element Flow code for Discrete-Feature Rock)コード、図 4.2-7~9 参照)についても、その可能性を十分検討すべきである。

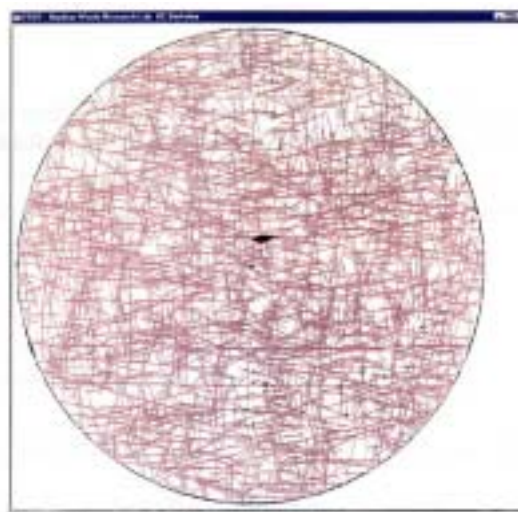


Figure 3.1 Fracture network generation

図4.2 - 7 FFDF コードにおける亀裂ネットワークの作成例

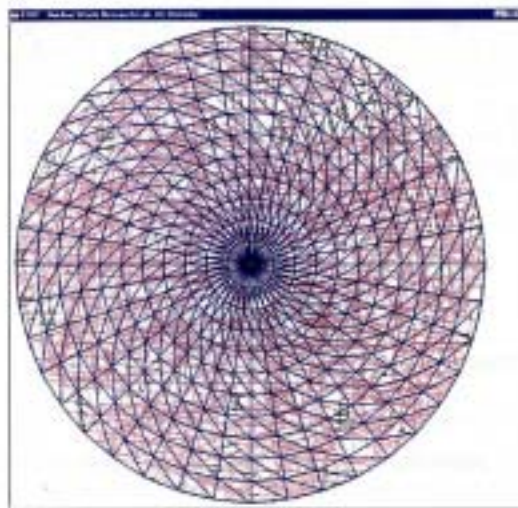


Figure 3.2 Finite element mesh generation

図4.2 - 8 FFDF コードにおける有限要素法メッシュの作成例

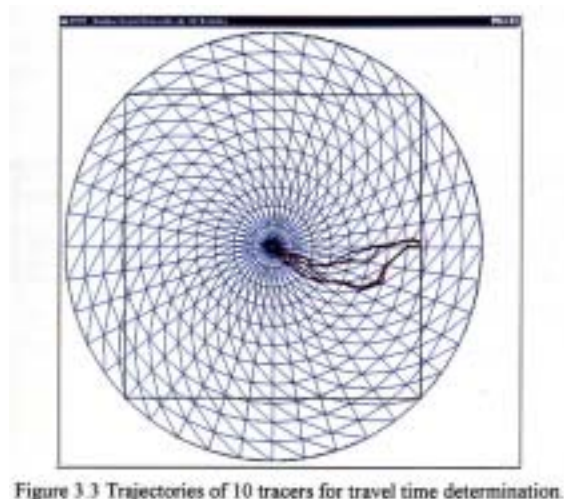


図4.2 - 9 FFDF コードによる解析例

なお、統合解析システムが目指しているシステムと同種の既存のシステムとして、多孔質媒体の項でも述べたように、東濃地科学センターで地質構造のモデル化や地下水流動解析に関連する入出力情報の可視化の機能を持つ EarthVision と地下水流動解析を行う Frac-Affinity の連携により、3次元的な地下水流動解析を行うとともにその結果や入力条件を統合的に可視化しているものがある（小出・前田，2001）。

統合解析システムでは、地下水流動解析をさらに下流側の作業、すなわち処分施設の設計や核種移行解析への情報の伝達に十分留意してシステムを構築する必要があるが、統合解析システム機能の統合においては、このような既存システムの活用も視野に入れてシステム開発を行うことが適切であると考ええる。

さらに、東濃地科学センターのシステムを構成する Frac-Affinity は、亀裂部と岩マトリクス部をともに透水部として評価する（ハイブリッド媒体）機能を有しており、これをひとつのひな形として、亀裂部と岩マトリクス部の両者を考慮する地下水流動解析技術を構築することが考えられる。

また地下水流動解析技術の検証としては、上記の地下研究施設の活用による総合的なベンチマークテスト（解析コードの相互の比較）や、地下研究施設で取得された原位置情報との比較が考えられる。

6) 年度展開

ニアフィールド連成現象評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
亀裂特性の分類			
地下水流動解析方法の調査・検討			
可視化方法の検討			
システムへの統合方法の検討			

(3) 広域を対象とした地下水流動解析技術の高度化

1) 課題としての重要度

広域を対象とした地下水流動解析技術は、天然バリアから生物圏に至る全経路を対象とした地下水流動解析を行い天然バリアのバリア機能(破過時間、ピークフラックス)を現実的に評価するとともに、処分場周囲の比較的小さなスケールの地下水流動を評価する際の境界条件を定義する観点から重要である。また生物圏評価における核種の放出部位(GBI)を特定する観点からも広域地下水流動解析の情報が必要となる。

第2次取りまとめに代表されるこれまでの処分研究においては、処分技術の一般的な成立性の提示が目的とされており、地下水流動をはじめとする地質環境条件はむしろ一般化した形で提示されることが必要であった。

一方、今後の処分事業の展開を考慮すると、処分候補地の選定作業に向けて実際の処分環境を具体的に評価することが重要であり、例えば天然バリア中の核種移行距離についても、従来は仮想的な設定値であったものを、今後は実際のサイト条件に見合った数値に置き換えることが重要となる。

既往の研究では、第2次取りまとめにおいて、東濃地域における広域地下水流動の研究事例が提示されているが、今後は広域地下水流動の評価結果の反映先となる天然バリアでの核種移行評価、生物圏における GBI の設定、処分施設の設計等で必要な情報を考慮しつつ、広域地下水流動解析を高度化することが重要である。

2) 課題解決の見通し

わが国における広域地下水流動解析としては、東濃地域を対象とした研究例(小出・前田, 2001)が存在する。同研究は、広域における地表から地下深部までの

地質・地質構造，地下水の流動特性及び地球化学特性などを明らかにするために必要な調査・解析，並びに調査・解析結果の妥当性を評価するための技術の開発を目的に，地下深部を流れる地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する数 km 四方以上の領域(本研究では約 10km 四方の範囲。この解析領域の妥当性はより大きな 30km 四方の地下水流動解析により確認している)を広域地下水流動の研究実施領域として設定している(図 4.2-10 参照)。

なお，この研究では地下水流動解析の前段階の作業に位置付けられる地質構造モデルの構築や，地下水の地球化学特性(水質形成機構)の検討までを一貫した作業として実施しており，その検討フローは図 4.2-11 のようにまとめられる。



図4.2-10 東濃地域における広域地下水流動解析の対象範囲 (小出・前田, 2001)



図4.2-11 東濃地域における広域地下水流動解析の研究フロー（小出・前田，2001）

図 4.2-11 に示した検討フローのうち，地下水流動解析に係る部分は次のような手順で進められた。

地下水流動解析のモデル化領域の設定

解析用データの選定

地質構造モデルの構築

- 地質構造要素の選定
- 地質構造のモデル化

水理地質構造モデルの構築

- 地質構造要素の物性値の設定
- 自由水面の設定
- 境界条件の設定
- 水理地質構造のモデル化

地下水流動解析の実施

- 解析ケースの設定
- 解析結果の整理
- 試錐孔の各深度における全水頭との比較
- 境界条件及び地質区分の違いによる解析結果への影響

解析対象領域は基盤岩である土岐花崗岩と、これを不整合に覆う新第三紀の堆積岩類から構成される。解析では、これを表 4.2-3 の構造要素に分割して物性値を割り当てるとともに、解析コード Frac-Affinity を用いて連続体モデルとして表現した。解析で使用した水理地質構造モデルを図 4.2-12 に示す。また設定された解析ケースを表 4.2-4 に示す。

表 4.2 - 3 東濃地域の広域地下水流動解析における構成要素の区分と物性値の設定
(小出・前田, 2001)

地質構造要素	透水係数 k(m/sec)
瀬戸層群（鮮新統：未固結砂礫層）	1×10^{-7}
瑞浪層群（中新統：一つの層に統合した場合）	5×10^{-8}
瑞浪層群（生俵果層：シルト岩・泥岩が主体）	1×10^{-8}
瑞浪層群（明世果層：砂岩・泥岩・凝灰岩互層）	1×10^{-8}
瑞浪層群（土岐夾炭果層：礫岩・砂岩・泥岩互層）	5×10^{-8}
土岐花崗岩（風化部）	1×10^{-7}
土岐花崗岩（健岩部）	1×10^{-8}
月吉断層	1×10^{-10}

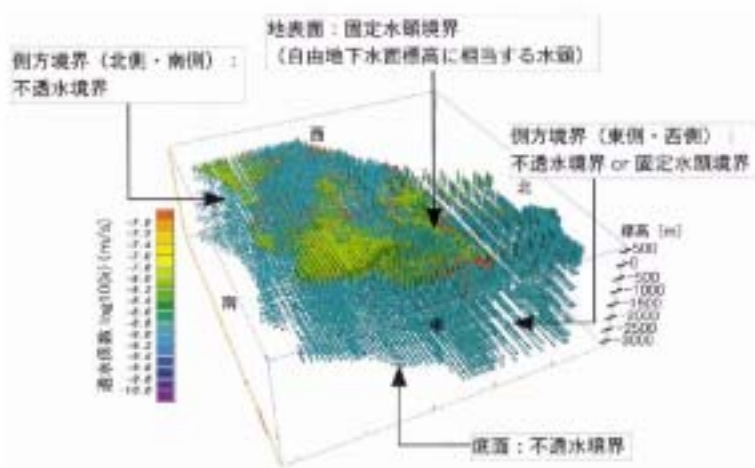


図 4.2 - 12 東濃地域の広域地下水流動解析のための水理地質構造モデル
(小出・前田, 2001)

表4.2-4 各解析ケースにおける境界条件と地層区分の設定 (小出・前田, 2001)

解析ケース	側方境界条件	瑞浪層群の分割
ケース1	不透水境界	累層毎に分割
ケース2	不透水境界	一つの層に統合
ケース3	併用 (南北側面:不透水境界, 東西側面:透水境界)	累層毎に分割
ケース4	併用 (南北側面:不透水境界, 東西側面:透水境界)	一つの層に統合

解析結果を図4.2-13と図4.2-14に示す。このうち図4.2-14は実際の測定データとの比較であり、本解析の妥当性を検討する観点から活用することができる。図から、試錐孔及び深度によって解析結果と実測値とが概ね一致している部分が存在する一方、不一致を見せている部分も存在する。

いずれにしてもこのような形(ブライントテスト)により、地下水流動解析の妥当性が検討できることが本研究から示されている。

この様に、広域の地下水流動解析については、基本的なスキームが東濃地域を対象として構築されつつあり、これを設計や性能評価との整合性の観点からさらに高度化し、また他地域へ展開することにより、東濃地域で妥当性を確認したスキームをより一般的なものと発展させることが可能であると考えられる。

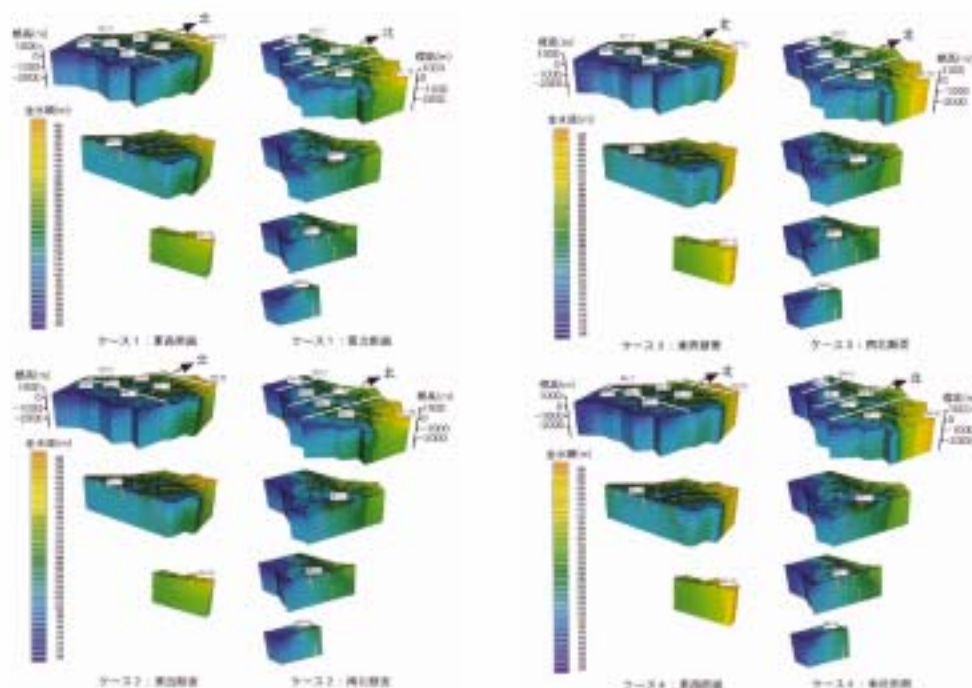


図4.2-13 地下水流動解析の結果(全水頭) (小出・前田, 2001)

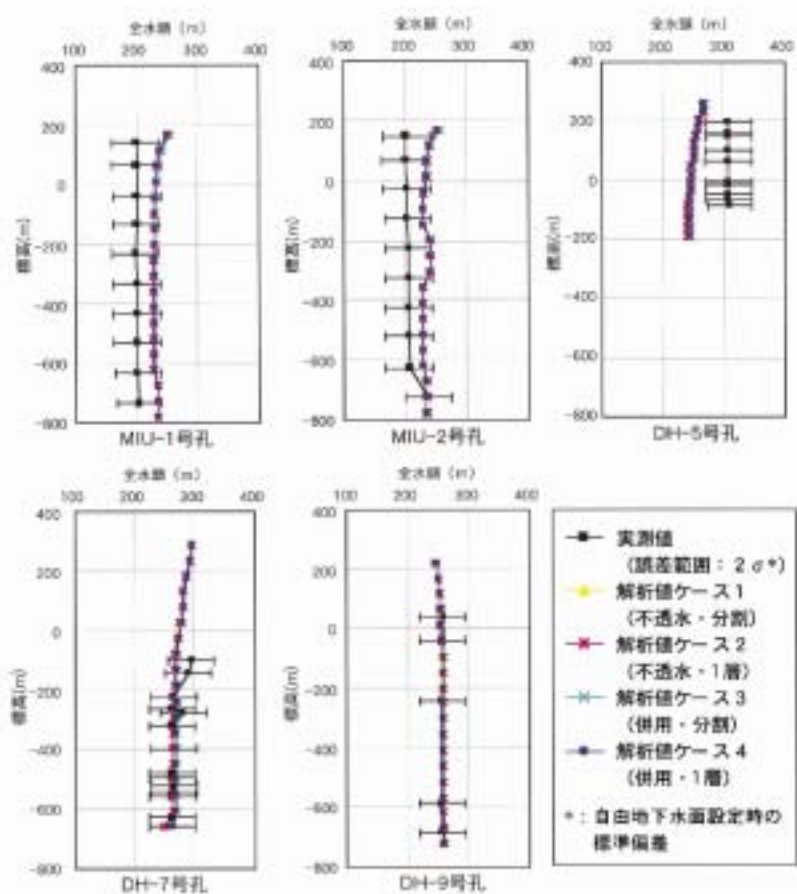


図4.2-14 試錐孔における全水頭分布(実測値と解析結果の比較) (小出・前田, 2001)

3) 統合解析システムとの親和性

広域地下水流動解析は、解析の対象となる場の地質構造との関連性が高く、また様々な原位置情報にもとづいて3次元で解析を行い、かつその解析結果も3次元的に理解する必要があることから、解析条件や解析結果を可視化するとともに、他の情報(入出力値)との整合性や情報の流れの一貫性を確保する観点から、統合解析システムで取り扱うべき問題と考える。

前述の東濃地科学センターでの広域地下水流動解析は、地質構造モデルの構築と全ての可視化の作業に EarthVision を、地下水流動解析に EarthVision とのインタフェースを有する Frac-Affinity を使用している。今後は、このシステムでの情報の受け渡しをひとつのひな形として、統合解析システムの全体的な情報のフローやシステムの目的に合わせてシステム化を図ることが有効であると思われる。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

広域地下水流動を実サイトで検証する場としては、東濃地域に計画されている超深地層研究所と幌延町に計画中の深地層研究施設がある。今後、これらの場を対象とした地下水流動解析を行うにあたり、統合解析システムの活用を通じて効率的な研究・開発に寄与できる可能性がある。

5) 研究開発（モデル開発）方策

広域地下水流動解析技術の高度化に関する研究開発のうち、地下水流動解析に関する要素技術については多孔質媒体の解析技術の高度化と、亀裂性媒体の解析技術の高度化の項にて既に述べた。ここでは、広域解析に特有な事項ならびに情報の統合と可視化の側面から検討を進める。

まず、広域解析に特有な事項としては、地下水流動解析と地質構造解析とのリンクがより強くなり、両者を区分して進めることが実質的には不可能である点が上げられる。

すなわち、地質構造の理解に基づき地下水流動解析を実施する一方で、地下水流動解析の結果から、逆に地質構造の理解を見直すことも考えられる。この様に地質構造と地下水流動解析が実質的に不可分となることに留意して、統合解析システムでのモデルフローを検討することが重要である。

また、広域地下水流動解析では亀裂の発生方法や地球統計的不均質場の推定方法に柔軟に対応できるシステムとすることが重要である。広域地下水流動の結果は、生物圏評価（GBI の設定）や詳細スケールの地下水流動解析の境界条件の設定、核種移行解析、処分場設計と様々な領域の入力情報を与える解析であることから、情報の利用方法を念頭においてモデル化を進めることが重要である。

東濃地科学センターにおいては、地質構造のモデル化や地下水流動解析に関連する入出力情報の可視化の機能を持つ EarthVision と地下水流動解析を行う Frac-Affinity の連携により、3次元的な地下水流動解析を行うとともにその結果や入力条件を統合的に可視化している。統合解析システムでは、地下水流動解析をさらに下流側の作業、すなわち処分施設の設計や核種移行解析への情報の伝達に十分留意してシステムを構築する必要があるが、統合解析システム機能の統合においては、このような既存システムの活用も視野に入れてシステム開発を行うことが適切であると考えられる。

また地下水流動解析技術の検証としては、上記の地下研究施設の活用による総合的なベンチマークテスト（解析コードの相互の比較）や、地下研究施設で取得された原位置情報との比較が考えられる。

6) 年度展開

広域を対象とした地下水流動解析技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
地下水流動解析方法の調査・検討			
可視化方法の検討			
システムへの統合方法の検討			

(4) 密度流評価技術の高度化

1) 課題としての重要度

沿岸付近あるいは海底下の深地層に処分場を設置した場合、動水勾配が小さく放射性核種の移行が拡散支配になることから、安全性の向上並びに処分場の合理化が期待されている。

しかしながら、地下水が海水起源となり、淡水と比べて処分場の設計、及び安全評価のパラメータ値が変わる可能性がある。例えば、ベントナイトの膨潤性は淡水と海水で異なり、オーバーパックの腐食特性も異なる可能性がある。また、安全評価の重要なパラメータである分配係数や溶解度も淡水と異なる可能性がある。

このような状況から、塩水と淡水の境界の把握を含めた現状の地下水流動解析を行うこと、さらには、将来の海水準の変動に追従した地下水流動場の変化の評価が求められる。海水起源の地下水は淡水に比べて密度が大きいことから、この問題を密度流評価技術と称する。

具体的な問題として、廃棄物定置時には淡水域に存在した処分場が海水準の変動により海水域に環境が移行し、逆に、海水域に在った処分場が淡水域となる可能性もある。その様な変化に伴い、溶解度及び分配係数の変化、核種移行経路及び流速の変化に伴う核種遅延性能の変化が想定される。

さらに、地圏と生物圏との境界（GBI）の変化並びに生物圏条件の変化が想定される。

このうち、生物圏条件の変化は、人類の生活あるいは産業構造の変化によるものが多く、気候や海水準の変動だけから予測することは困難なため、課題としては緊急とは言えない。しかしながら、塩水と淡水の境界面の評価、並びに気候変動等に伴う海水準の変動による地下水流動の変化を評価するための技術、つまり海水に

起因する密度流評価技術の高度化は今すぐにでも必要な技術である。

図 4.2-15 に海底下の地下水流動の概念図を，図 4.2-16 に海水準の変動に伴う地下水の変動状況を示す（核燃料サイクル開発機構，1999b，1999d）。

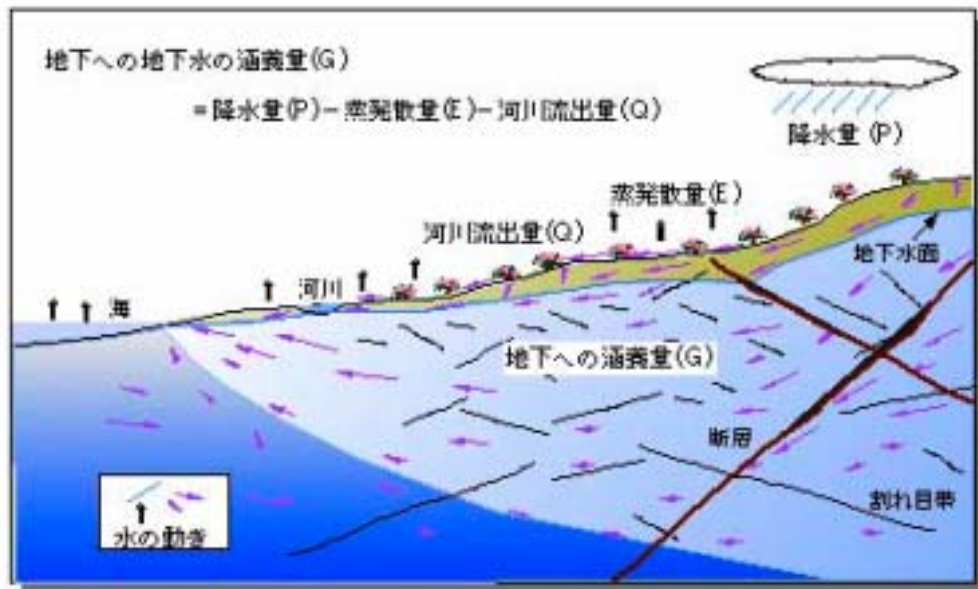


図 3.3-1 地下水流動の概念

地下水の動きは，一般に動水勾配と透水性に依存し，深度が深くなるほど地下水の動きが緩慢になることが想定される。地下深部の地下水は，浅層の地下水に比べて，一般に涵養域から流出域までの移行経路が長く，その分地下での滞留時間も長くなる。

図4.2 - 15 海底下の地下水流動の概念図（第2次取りまとめ分冊1より引用）

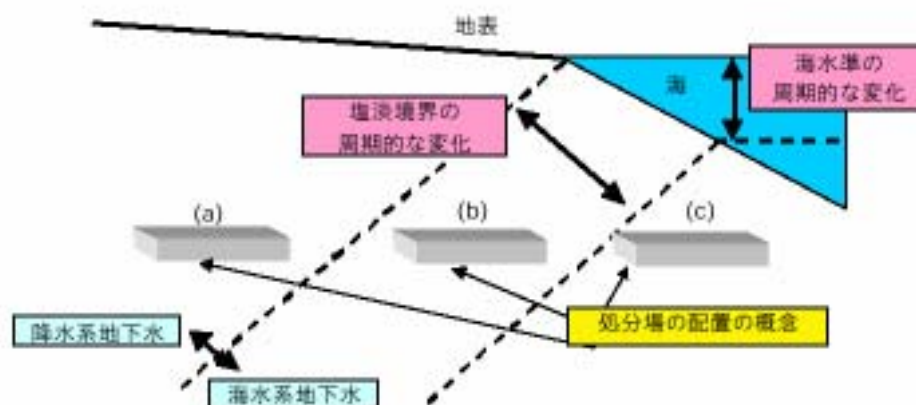


図 6.2-3 気候・海水準変動についての解析で考慮した概念モデル

- (a)：塩淡水境界が処分場を横切らない場合（現在の地下水組成が降水系）
- (b)：塩淡水境界が処分場を横切る場合（現在の地下水組成が海水系）
- (c)：塩淡水境界が処分場を横切らない場合（現在の地下水組成が海水系）

図 4.2 - 16 海水準の変動に伴う地下水の変動状況（第 2 次取りまとめ分冊 3 より引用）

2) 課題解決の見通し

第 2 次取りまとめでは、塩水/淡水境界（塩淡水境界）については主として文献調査を行っているので、関係する部分を以下に示す（核燃料サイクル開発機構, 1999b）。

「一般に海岸付近の塩淡水境界の形状や分布は、その地域の地質に大きく左右されるが、均質な岩盤を想定した場合の塩淡水境界の形状はガイベン - ヘルツベルグ（Ghyben-Herzberg）の関係式に代表される。本関係式では、海面から塩淡水境界面までの深さを定義している。Freeze and Cherry (1979) や Bouwer (1978) は、塩淡水境界が地表付近の地下水面形状に左右されること、また塩淡水境界の地表の先端部は、地下水が後背地の高い水理ポテンシャルを受けて流動しているために、塩淡水境界を海側へと押し込むことを述べている。そのため塩淡水境界面上では上向きの地下水流動が発生し、地下水の海底湧出を形成し、地下水が海中に湧き出すことが報告されている。

また、Reilly and Goodman (1985) は、地下水のポテンシャルが高いために淡水地下水が海中に湧き出すことや、層状に堆積した沿岸部ではより下層の塩淡水境界の方が海側にせり出していることなどの事例が報告されている。中でもニューヨーク・ロングアイランドにおける Lusczynski and Swarzenski (1966) の研究は、

水平の堆積岩からなる沿岸部で塩分濃度の高い地下水がくさび状に何層にも入り込んでいる様子が報告されており、塩水くさびの侵入が地層による透水性の違いを反映して複雑に入り組んでいることが示されている。

塩淡境界による地下水流動の影響については、Cooper et al. (1964) は、塩淡境界に沿って深部の地下水が地表に運び上げられることを概念的に示している。また、Stringfield and LeGrand (1969) も塩淡境界に沿って、地下水の上昇流の発生するモデルを示している。いずれの研究においても、塩淡境界に沿った深部地下水の流動速度は小さいと考えられるがそれを直接測定した事例は報告されていない。

現在のところ、塩淡境界の長期的形成過程、現在の形態、海水準変動にともなう変化などを予測するため、数値解析コードの開発を行うとともに、陸域の地形、地質の構成、水文状況などのデータが比較的揃った地域を対象として解析・検討がなされている。」

このように、従来より塩淡境界に関する実地調査及び計算ツールの開発が進められている状況にあり、課題解決の条件は整備されつつある。

3) 統合解析システムとの親和性

地下水移行シナリオは安全評価の基本であり、地下水流動は地下水移行シナリオの評価に必要不可欠のものである。我が国における地層処分場サイトの選定作業は緒についたばかりであるが、ガラス固化体の輸送の容易さ、あるいは地下水速度が小さいことから沿岸付近の地下深部に処分場を設置する可能性がある。

前述の通り、地下水の特性把握は処分場の設計及び安全評価の基礎となる。また、海水準の変動に起因する処分場環境の変化は、変動シナリオの重要な要因である。密度流解析を統合解析システムに導入することは、以上の観点から意義があるものと考えられる。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

地下深部の塩水と淡水の流動状況を現地調査により把握することは、様々な情報を提供することから、密度流の解析を実施するにあたり必須の要件であるが、経済的負担が大きく多大な時間と技術者が必要であり、数多く実施することは困難である。そのため、サイクル機構の研究施設で、模擬的に密度流を発生させて観察することが有効である。

例えば ENTRY 施設の MACRO 設備は塩水と海水との関係、及び海水準の変動に伴う流動状況の変化を不均質な体系で観察可能であるから、現象の把握及び解析コードの検証に最適である。

5) 研究開発 (モデル開発) 方策

密度流評価技術の高度化は,モデル開発及び ENTRY での模擬試験を並行して行うことが望ましい。

a. モデル開発

密度依存を考慮した飽和・不飽和浸透流解析は,質量保存則とダルシーの方程式から表すことができる(青木ほか,1995)。また,移流分散の基礎方程式も確立しており,それぞれを表 4.2-5 に示す。

また,上式の解法としても,例えばオイラリアン・ラグアジアン法(EL法)により Sorek あるいは西垣らが解析しており,それらを活用することが可能である。また,地下水流動の体系の不均質性についても,多孔質媒体並びに亀裂性媒体ともに研究開発が進展しており,密度流評価において不均質性を考慮する必要がある。

表 4.2 - 5 密度流解析の基礎方程式

密度依存を考慮した飽和・不飽和浸透流方程式

$$\rho_f \theta \gamma \frac{\partial c}{\partial t} + \rho \{ \beta S_s + C_s(\theta) \} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \rho K_{ij}^s K_r(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + \rho K_{i3}^s K_r(\theta) \rho_r \right\} \quad (1)$$

ここで, ϕ : 圧力水頭, θ : 体積含水率, S_s : 比貯留係数, $C_s(\theta)$: 比水分容量, K_{ij}^s : 飽和透水テンソル, $K_r(\theta)$: 比透水係数, c : 濃度 ($0 \leq c \leq 1$, 飽和濃度を 1 として正規化),

t : 時間, ρ_f : 溶媒の密度, ρ : 流体の密度, ρ_r : 溶媒の密度に対する流体の密度比 (ρ/ρ_f), $\beta = 1$: 飽和領域, 0 : 不飽和領域, γ : 溶質の密度比 (一般に海水で $\gamma = 0.025$)

移流分散の基礎方程式

$$R \theta \rho \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta \rho D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta \rho V_i c) - \theta \rho \lambda R c - Q_c \quad (2)$$

ここで, R : 遅延係数, D_{ij} : 分散テンソル, V_i : 実流速, Q_c : 源泉項, λ : 減衰定数

b．現象の把握

前述の通り ENTRY 施設の MACRO 設備を活用することにより，模擬的に密度流を発生させて種々の試験を実施可能であり，現象の把握及び解析コードの検証を行うことができる。

6) 年度展開

密度流評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H 1 4 年度	H 1 5 年度	H 1 6 年度以降
1．モデルの開発			
・モデルの開発			
・解析ツールの作成			
2．現象の把握			
・ENTRY での試験			
・モデルの検証			
3．統合解析システムへの導入			

(5) 生物圏への核種移行経路の評価技術の開発

1) 課題としての重要度

第2次取りまとめでは，生物圏への核種の流入経路である GBI について，わが国の地形（山地，丘陵，平野）と処分環境の地下水（陸水系と海水型）のバリエーションとその組合せに対応して，表層水系（河川，湖沼など），井戸，海を設定して網羅的な評価を行っている（核燃料サイクル開発機構，1999d）。

一方，今後の処分事業の進展を考えると，具体的な地質環境条件や地表環境に対して生物圏評価を行うことが必要となる。特に，生物圏評価において評価の出発点となる GBI の設定（BIOMOVs II，1996）については，第2次取りまとめにおいて想定している様な抽象的，概念的な想定（第2次取りまとめでは処分場から 100m 離れた位置に断層などの水みちが存在し，この水みちを地下水が核種を速やかに地表近傍まで移動させる。さらに，地表近傍では現実には帯水層を経由して河川や井戸に核種が流入すると考えられるが，評価上はこれらの影響を保守性の観点から考慮せずに，断層出口から直接井戸，河川あるいは海洋に核種が放出されることを想

定している)から,具体的な核種移行経路を現実的に評価して GBI を設定することが重要である。

このためには,前述の広域の地下水流動解析により,処分場が建設される地下深部から地表近傍の比較的浅い部分に至る核種移行経路を明らかにするとともに,帯水層を含む地下浅部における核種の移行挙動を明らかにすることが重要である。

地表近傍の地下水流動は地下深部と比較して一般に速度が速く,地形の影響も大きいことから一般化された評価を行うことは困難であると考えられるが,生物圏評価を含む性能評価全体の現実性を高めるためには,適切に分類された地表近傍の地下水の移動パターンに対応できる評価手法を構築することが重要であると考えられる。

2) 課題解決の見通し

表層地下水に関する研究としては,東濃地域における表層水理調査(図 4.2-17 参照;核燃料サイクル開発機構,1999b)の結果として,地質構造に対応する形で8つの水理地質構造にパターン分類できる可能性が示されている(図 4.2-18 参照;動燃事業団,1994)。また,同地域の自由水面の位置は次式で近似できること,本式を用いた地下水流動解析の結果(全水頭)を実測値と比較した場合に整合的な結果が得られていることが確認されている。

また,沿岸付近の塩淡水境界の形状や分布は,一般的にはガイベン - ヘルツベルグの関係で代表される(実際には地域の地質に大きく影響される)ことが知られている(図 4.2-19 参照;核燃料サイクル開発機構,1999b)。

$$\begin{aligned} \text{自由地下水面標高 (m)} &= 0.804 \times H (\text{地形標高 (m)}) \\ &+ 1.22 \times 10^{-9} \times X (\text{東西方向の座標}) + 22.2 \end{aligned}$$

今後はこれらの知見に基づき,生物圏評価を行う観点から浅部地下における地下水流動解析を実施し,生物圏への核種の流入経路 (GBI) の設定や,場合によっては複数 GBI への核種の案分の方策を検討することが可能であると考えられる。

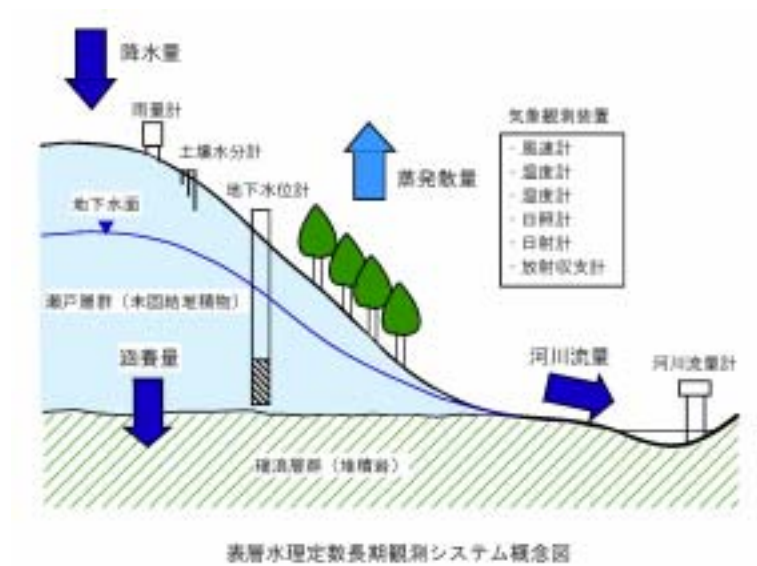


図4.2 - 17 東濃地域における表層水理観測の概要
(第2次取りまとめ分冊1より引用)

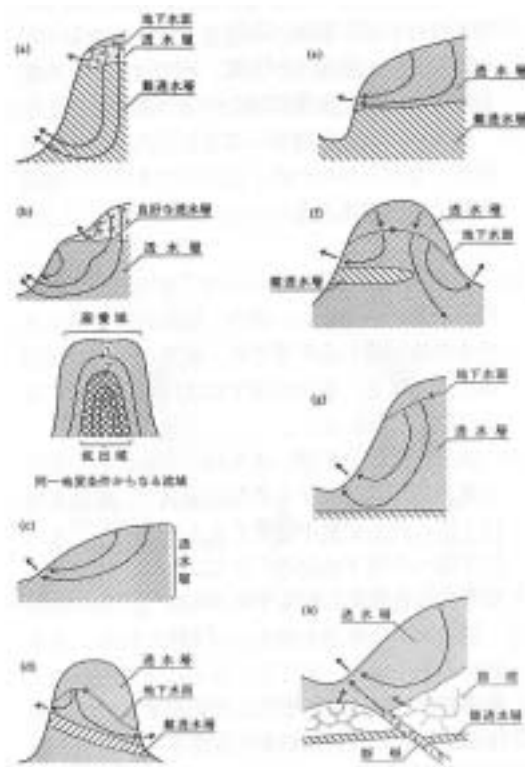
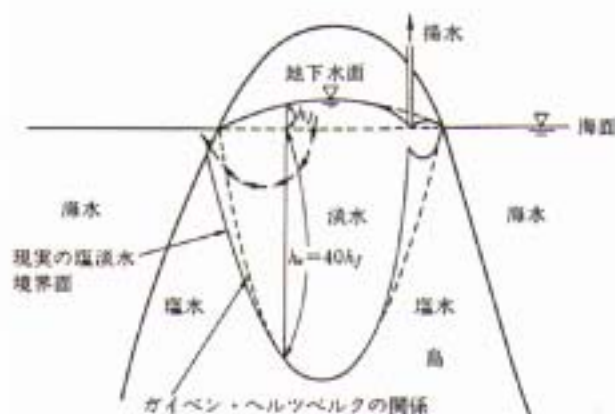


図4.2 - 18 表層水理調査による推定される東濃地域の水理地質構造
(動燃事業団, 1994)



$$h_s = \rho_f / (\rho_s - \rho_f) h_f$$

h_s : 海水面から淡水部と塩水部との境界面までの深さ

h_f : 海水面から地下水面までの高さ

ρ_f : 淡水の密度

ρ_s : 塩水の密度

(仮に $\rho_f=1.0$, $\rho_s=1.025$ とすると, $h_s = 40 h_f$)

図4.2-19 海水と淡水におけるガイベン-ヘルツベルグの関係
(第2次取りまとめ分冊1より引用)

3) 統合解析システムとの親和性

生物圏への核種移行経路を特定するためには、基本的に広域の地下水流動解析を行う必要があり、その解析結果に地表近傍の核種移行解析を考慮して GBI が設定されることとなる。前述のように広域地下水流動解析を統合解析システムに組み込むことのメリットは大きく、これに付随する形で生物圏への核種移行経路の同定のために同システムを活用する意義は大きいものと判断される。

4) サイクル機構の研究施設活用の観点

生物圏評価に関連する形でフィールドでの測定を行うことには社会的な制約も多く、研究施設の活用という観点から本項目で見通しを得ることは難しいが、純技術的には瑞浪市の超深地層研究所計画や幌延町の深地層研究所計画に付随して実施される浅部地下の水理学的観測を効果的に活用することが考えられる。

特に幌延町は沿岸部に立地しており、塩水境界の影響を評価する上で適切なフィールドを提供できる可能性がある。

5) 研究開発（モデル開発）方策

研究開発の方策としては、わが国の浅部地下の地下水流動に関する文献調査を行うとともに、図 4.2-18 に示したようなパターン分類を検討する。

また浅部地下の地下水流動と深部化の地下水流動の関連性を評価して、生物圏への核種移行経路の観点から整理する。その際、解析対象ならびに解析結果の可視化の重要性十分に考慮し、広域地下水流動解析と一体となった評価を検討する。

6) 年度展開

生物圏への核種移行経路の評価技術の開発に関する研究工程を以下に示す。

	H14 年度	H15 年度	H16 年度以降
浅部地下における地下水流動の整理			
深部地下の地下水流動との関連の検討			
可視化方法の検討			
システムへの統合方法の検討			

4.3 処分場スケール評価手法

処分場スケールの評価においては、複数の廃棄体を考慮した現象の取扱い・評価に対する詳細モデル、および人工バリアと周辺岩盤の連続性を考慮した評価モデルに対する検討と課題の抽出を行う。

また、処分場を構成する支保工、埋め戻し材、プラグ、グラウト等は現状の核種移行評価には含まれておらず、これらの地球化学特性の変化、水理特性の変化とこれらを核種移行評価へ反映するために必要なモデルの検討と課題の抽出を行う。

4.3.1 課題の抽出と優先順位の設定

処分場スケールにおける追加評価モデルの検討リストを表 4.3-1 に示す。

4.1.1 項に示したように、追加評価モデルに対する検討の優先順位の設定については、課題の特徴や課題解決の見込みに加えて、将来的な課題の統合解析システムへの組み込みにおける課題とシステムとの親和性等を考慮することが重要である。また、サイクル機構の各種研究設備の活用についても検討の際に配慮することも考慮する必要がある。ここでは 4.1.1 項と同様に、今後の研究開発計画策定における優先順位を設定した。

課題としての重要度；

課題解決の見通し；

統合解析システムとの親和性；

サイクル機構の研究設備活用の観点；

上記の観点から課題の追加評価モデルのリストを整理した結果を表 4.3-2 に示す。これらの表には、整理の際の参考として、付録 1 に例示した統合解析システムの適用案に対する課題リスト整理（対応関係の明確化）の結果もあわせて示した。また、今後の研究開発の観点からは、課題リストでは複数の項目に分割されているものの幾つかを一括して取り扱うことが適切な項目については、結合して記述した。表 4.3-2 の整理に従い、ファーフールド現象に関する技術開発計画を策定する項目として、以下が挙げられる。

コンクリート影響評価技術の高度化

表4.3-1 追加評価モデルの検討リスト(処分場スケール) (1/5)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
化学(劣化)解析	坑道開放に伴う母岩の劣化解析	・ 酸素等との反応による母岩の化学的劣化(変質)解析。	・ 鉱物の酸化により体積変化が起こり透水係数の変化, 核種吸着能力の低下, 岩盤強度の低下が想定されるが, その影響の度合いについては不明である。	・ 岩盤の変質機構の解明が必要である。 ・ 化学反応は速度論と平衡論を併用したモデルによるため, 各種平衡定数, 反応速度定数の取得が必要。	・ 室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに, 評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 原位置試験, 既往建築物, あるいは室内試験によりモデルの妥当性を確認する。	・ 化学(劣化)解析
	コンクリート部材の変質評価	・ コンクリート部材の水及び空気(炭酸)との反応, 並びに透過水(高アルカリ)の組成, pHの解析。	・ 支保, プラグ, グラウトにコンクリート部材を使用した場合, 透過水が高アルカリのため, 緩衝材及び周辺岩盤が劣化・変質し, オーバーパックの腐食挙動が想定外(不動態化)となる。	・ すでに Atkinson et al. (1987), あるいは Berner (1988)のモデルがあり, これら既往モデルの妥当性の確認, 及び解析に必要なデータを取得する。	・ 室内試験により既往モデルの妥当性の確認を行うとともに, 各種平衡定数, 反応速度定数を取得する。 ・ 処分体系における水理と化学反応の連成解析, 及び緩衝材等の変質との連成解析を可能とする。	
	コンクリート影響による緩衝材の変質評価	・ コンクリート起源の高アルカリ水と緩衝材中のベントナイトの劣化反応の解析。	・ ベントナイトは最初Ca化し, さらには溶解して二次鉱物を沈殿する。そのため止水性, 自己シール性, 吸着性が変化(多くの場合劣化)する。	・ イオン交換(平衡論), 及び溶解沈殿(速度論)を併用したモデルの開発を行う。 ・ 水理と化学反応の連成モデルを開発する。 ・ 解析に必要な各種平衡定数, 反応速度定数の取得が必要。	・ 室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに, 評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 原位置試験あるいは室内試験によりモデルの妥当性を確認する。 ・ ナチュラルアナログによりモデルの妥当性を確認する。 ・ 処分体系における水理と化学反応の連成解析, 及びコンクリートの変質との連成解析を可能とする。	

表4.3-2 追加評価モデルの検討リスト(処分場スケール) (2/5)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
化学(劣化)解析 (続き)	コンクリート影響による母岩の変質評価	・コンクリート起源の高アルカリ水と母岩との反応の解析。	・母岩中の鉱物が溶解して二次鉱物を沈殿する。そのため、透水係数の変化、核種吸着能力の低下、岩盤強度の低下が想定されるが、その影響の度合いについては不明である。	・解明が必要である。 ・化学反応は速度論と平衡論を併用したモデルによるため、各種平衡定数、反応速度定数の取得が必要。	・室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・原位置試験、既往建築物、あるいは室内試験によりモデルの妥当性を確認する。	
応力解析	施工性を考慮した埋め戻し材の充填状態の評価	・再冠水に伴う施工時空隙の閉塞状況の解析。	・埋め戻し材の密度が不均質の場合、透水係数に分布が形成され、地下水の卓越流路が形成されるおそれがあるが、工学的に解決すべき問題である。	・岩盤からの浸水挙動の把握。 ・支保の浸水挙動、劣化挙動の把握。	・原位置試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・室内試験によるモデルの妥当性確認。	・応力解析
	坑道埋め戻し時の力学的プラグの効果に関する評価	・再冠水時における力学的プラグの力学的挙動の解析。	・力学的プラグが機能しない埋め戻し材が流出あるいは変形して密度の分布(透水係数分布)が形成され、地下水の卓越流路が形成される恐れがある。	・埋め戻し材の再冠水挙動並びに過渡的応力発生 の解明。	・原位置試験あるいは室内試験により、モデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。	・応力解析 ・物質移行解析
	緩衝材の埋め戻し材側への押し出しの評価	・緩衝材の膨潤、オーバーバックの腐食膨張を考慮した埋め戻し材の変形解析(緩衝材の変形解析)。	・緩衝材及び埋め戻し材の変形並びに透水係数変化により、核種移行体系、パラメータ値が変化する。 ・周辺母岩に荷重がかかり母岩が変形・劣化して、透水係数に変化を生じる。	・オーバーバック腐食膨張挙動の解明。 ・腐食生成物の特性の把握。 ・緩衝材の力学挙動の解明(弾塑性、粘弾塑性モデル等)。 ・埋め戻し材の力学挙動の解明。 ・周辺母岩の力学挙動の解明。	・室内試験により、モデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・室内あるいは原位置試験により、モデルの妥当性を確認する。	・応力解析 ・物質移行解析

表4.3-1 追加評価モデルの検討リスト(処分場スケール) (3 / 5)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
応力解析 (続き)	クリープのモデル化	・ 軟岩系における坑道上部岩盤の長期的変形挙動の解析。	・ 長期的に坑道が変形して核種移行解析の体系が変化する。 ・ 横置きの場合、緩衝材が変形して、核種移行解析の体系が変化する。	・ 軟岩系における長期的変形挙動の解明。	・ 原位置試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。	・ 応力解析
	緩衝材の亀裂への侵入のモデル化	・ ペントナイトの亀裂への浸入挙動の解明。	・ 緩衝材の透水係数が変化(上昇)する。 ・ 岩盤の透水係数が変化(低下)する。	・ ペントナイトの亀裂浸入挙動の解明。	・ 室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 室内試験によりモデルの妥当性を確認する。	・ 人工バリア / 天然バリア境界問題 ・ 物質移動解析
水理解析	掘削影響領域のモデル化	・ 掘削影響領域での水理挙動の解明。	・ ミキシングセルモデルにおけるセルの大きさ及び地下水通過流量が変化する。 ・ ミキシングセルモデルを使用しない場合、人工バリア核種移行の境界条件及び天然バリア条件を与える。	・ 掘削方法、初期岩盤特性に応じた掘削影響領域の透水係数分布の設定。 ・ 掘削影響領域の3次元透水係数分布の設定(地質調査により設定可能か)。	・ 原位置あるいは地下研究施設での試験により、掘削影響領域の透水係数分布を測定、整理して法則性を見出す。 ・ 3次元透水係数分布測定技術の開発、実証。 ・ 原位置あるいは地下研究室でトレーサ試験を実施してモデルの妥当性を確認する。	・ 人工バリア / 天然バリア境界問題 ・ 水理解析
	坑道埋め戻し後の再冠水の評価	・ 埋め戻し領域の再冠水挙動の解明。	・ 緩衝材の再冠水挙動に影響を与える。	・ 岩盤からの浸水挙動の把握。 ・ 支保の浸水挙動、劣化挙動の把握。	・ 原位置試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。	・ 水理解析
	緩衝材の亀裂への進入を考慮した水理解析	・ 周辺岩盤の水理挙動の解明。	・ 亀裂に緩衝材が進入することにより、周辺岩盤の透水係数の低下(止水性の向上)が期待される。	・ ペントナイトの浸入挙動の解明。 ・ ペントナイトの長期挙動(劣化、移動)の解明。	・ 室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 室内試験によりモデルの妥当性を確認する。	・ 人工バリア / 天然バリア境界問題 ・ 水理解析

表4.3-1 追加評価モデルの検討リスト(処分場スケール) (4 / 5)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
水理解析 (続き)	埋め戻し材, プラグ 及びグラウトを考慮 した水理解析	・ 人工バリア近傍の水理 挙動の解明。	・ プラグあるいはグラウト の設置により, 周辺岩盤 の透水係数の低下(止水 性の向上)が期待され る。 ・ 破碎帯あるいは高透水 領域等における地下水 流量の低減(核種移行遅 延効果)が期待される。	・ 人工バリア近傍の3次元 的透水係数分布の設定(地 質調査により把握可能か 否か)。 ・ プラグ, グラウトの長期耐 久性あるいは劣化特性の設 定。	・ 処分場構成要素のモデ ル化。 ・ 3次元の透水係数分布測 定技術の開発, 実証。 ・ 原位置あるいは地下研 究施設でのトレーサ試 験。	・ 水理解析 ・ 化学(劣化) 解析
核種移行解析	複数廃棄体の相互 影響評価	・ 3次元的な廃棄体の配置 を考慮した核種移行解 析。	・ 上流側廃棄体から放出さ れた核種の影響を評価 に組み入れることで, 評 価上, 下流側廃棄体で核 種の沈殿が促進され, 廃 棄体からの核種フラック スが低減される可能性が ある。 ・ 同じく上流廃棄体からの 核種の影響により, 非線 形吸着核種で分配係数 が低下して核種フラック スが増加する恐れがあ る。	・ 現状では, 複数廃棄体の相 互影響評価に必要な精度で 地下水流動解析が実施され ているとはいえない。核種移 行解析の前提となる地下水 流動解析, 特に掘削影響領 域近傍の現実的なモデル化 が必要である。 ・ 上記を受けて3次元の核種 移行解析を行う手法開発が 必要である。	・ 掘削影響領域を対象とす る止水工の効果を考慮し た現実的な地下水流動 解析の実施を前提とし て, ツールとして3次元の 核種移行解析コードを整 備する。その際, 複数ソ ースの取り扱いに加え, 緩衝材や母岩領域にお いて非線形吸着を考慮 する必要がある。	・ 多重ソース 問題
	廃棄体毎のバリア 機能の不均一性を 考慮した核種移行 解析	・ 人工バリアや天然バリア のバリア機能の個体差を 考慮した核種移行解析。	・ 複数の廃棄体のバリア 機能(例えばオーバーバ ックの開口時間)の個体 差を考慮することにより, 時空間に対して核種フラ ックスの分散効果が期待 されることから, ピークフ ラックスを低減できる可 能性がある。	・ 施工管理や品質管理の効 果を現実的に考慮した人工 バリアや天然バリアのバリア 機能の個体差を定量化する 必要がある。 ・ 上記を受けて3次元の核種 移行解析を行う手法開発が 必要である。	・ 掘削影響領域を対象とす る止水工の効果を考慮し た現実的な地下水流動 解析の実施を前提とし て, ツールとして3次元の 核種移行解析コードを整 備する。その際, 廃棄体 の個体差を統計的に取り 扱うための手法を考慮す る必要がある。	・ 多重ソース 問題

表4.3-1 追加評価モデルの検討リスト(処分場スケール) (5 / 5)

分類	項目	内容	性能評価への影響	モデル開発上の課題	モデルの開発方針	備考
核種移行解析 (続き)	ミキシングセルの妥当性の評価	・ 人工バリア核種移行評価における適切な外側境界条件の設定。	・ 人工バリア(緩衝材)外側の核種濃度を適切に見積もることにより、緩衝材内の核種濃度勾配を現実的に評価し、人工バリアからのフラックスを低減できる可能性がある。 ・ 母岩におけるより現実的な核種移行の上流側境界条件に対して、必要な情報を提供できる可能性がある。	・ 人工バリアの詳細レベルの不均質性(特に水理学的不均質性)を適切に評価する必要がある。	・ 掘削影響領域を対象とする止水工の効果を考慮した現実的な地下水流動解析の実施を前提として、ツールとして3次元の核種移行解析コードを整備する。 ・ 様々な条件におけるミキシングセルの影響を3次元での詳細解析との比較により明らかにする。	・ 人工バリア / 天然バリア境界問題
	コロイドによる核種移行の評価	・ 真性コロイドならびに疑似コロイドによる核種放出促進機構の解明とモデル化。	・ コロイドの生成により岩盤中の核種吸着の効果が低下して、バリア機能が著しく劣化する恐れがある。	・ モデル化に当たっては、コロイドの生成量、安定性ならびにコロイドへの核種の吸着性を把握する必要がある。現状ではコロイドの種類が多様なこともあり、現象の理解を含めて十分なデータが取得されているとはいえない。 ・ 岩盤、コロイド、核種の相互作用を取り扱うモデルは提唱されており(Hwang et al., 1990)、これらの活用が望まれる。	・ 室内試験により現象の理解を進め、評価上重要なコロイドを特定する。 ・ 同じく評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 原位置でのトレーサ試験により評価モデル・パラメータの妥当性を確認する。	
その他	母岩中ガス移行評価	・ オーバーバック腐食ガス及び埋め戻し時残存ガスの挙動解明。	・ ガスによる核種移行の突発が懸念される。 ・ ガス溜まり発生により地下水流動の変化が想定される。	・ ガス発生量の設定。 ・ 緩衝材及び母岩中ガス移動挙動の解明(棚井ほか, 1999)。 ・ 再冠水時残存ガス挙動の解明。	・ 室内試験によりモデル化に必要な現象理解を進めるとともに、評価に必要なパラメータを取得する。 ・ 室内試験によりモデルの妥当性を確認する。	・ 2層流解析

表4.3 - 2 追加評価モデルの検討リストの整理 (処分場スケール)

分類	項目	概要	優先順位設定上の考慮の観点				統合解析システムによる評価項目										課題番号
			課題としての重要度	課題解決の見通し	統合解析システムとの親和性	JNC研究設備活用 の観点	地質環境データ	取得条件	データ分布確認	広域特性把握	設計解析	処分施設設定	処分坑道設定	人工バリア健全性評価	核種移行評価	天然バリア評価	
化学(劣化)解析	坑道開放に伴う母岩の劣化解析	酸素等との反応による母岩の化学的劣化(変質)解析	-	-	-		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	コンクリート部材の変質評価	コンクリート部材の水及び空気(炭酸)との反応、並びに透過水(高アルカリ)の組成、pHの解析	○		○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	コンクリート影響による緩衝材の変質評価	コンクリート起源の高アルカリ水と緩衝材中のベントナイトの劣化反応の解析	○		○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	コンクリート影響による母岩の変質評価	コンクリート起源の高アルカリ水と母岩との反応の解析	○		○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
応力解析	施工性を考慮した埋め戻し材の充填状態の評価	再冠水に伴う施工時空隙の閉塞状況の解析	-	-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	坑道埋め戻し時の力学的プラグの効果に関する評価	再冠水時における力学的プラグの力学的挙動の解析	-	-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	緩衝材の埋め戻し材側への押し出しの評価	緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食膨張を考慮した埋め戻し材の変形解析(緩衝材の変形解析)	-	-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	クリープのモデル化	軟岩系における坑道上部岩盤の長期的変形挙動の解析	-	-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	緩衝材の亀裂への侵入のモデル化	ベントナイトの亀裂への浸入挙動の解明	-	-	○		-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	
水理解析	掘削影響領域のモデル化	掘削影響領域での水理挙動の解明	-	-	○	B	-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	坑道埋め戻し後の再冠水の評価	埋め戻し領域の再冠水挙動の解明	-	-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
	緩衝材の亀裂への進入を考慮した水理解析	周辺岩盤の水理挙動の解明	-	-	○	A	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	
	埋め戻し材、プラグ及びグラウトを考慮した水理解析	人工バリア近傍の水理挙動の解明		-	○		-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	
核種移行解析	複数廃棄体の相互影響評価	3次元的な廃棄体の配置を考慮した核種移行解析		-	○		-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	
	廃棄体毎のバリア機能の不均一性を考慮した核種移行解析	人工バリアや天然バリアのバリア機能の個体差を考慮した核種移行解析	-	-	○		-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	
	ミキシングセルの妥当性の評価	人工バリア核種移行評価における適切な外側境界条件の設定	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	コロイドによる核種移行の評価	真性コロイドならびに疑似コロイドによる核種放出促進機構の解明とモデル化			-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	母岩中ガス移行評価	オーバーバック腐食ガス及び埋め戻し時残存ガスの挙動解明	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

凡例

課題としての重要度;
課題解決の見通し;
統合解析システムとの親和性;
JNC研究設備の観点;
統合解析システムによる評価項目;

○:重要度が高い、
○:数年内に相当程度の技術開発の進捗が見込める、
○:親和性が高い、
A:室内試験装置の活用、
○:直接対応する評価項目、

-:重要度が相対的に高い、
○:数年内にある程度の技術開発の進捗が見込める、
-:親和性が相対的に低い
B:地下研究施設の活用、
-:評価対象外

-:重要度が相対的に低い
-:長期的な課題
空欄:該当施設無し、あるいは不明

4.3.2 抽出された課題に対する研究開発計画の策定

前節で抽出された課題に対する研究開発計画を策定するため、以下の項目を含む計画を作成する。

課題としての重要度

課題解決の見通し

統合解析システムとの親和性

サイクル機構の研究設備活用の観点

研究開発（モデル開発）方策

年度展開

（１）コンクリート影響評価技術の高度化

１）課題としての重要度

第２次取りまとめでは、コンクリート影響について以下の記述がある（核燃料サイクル開発機構，1999d）。

「処分坑道等の支保にセメント系材料を用いた場合には、ベントナイトが高 pH 環境に曝される可能性もある。高 pH においては、スメクタイトが溶解し、二次鉱物として C-S-H ゲル、ゼオライトなどが生成することが室内試験において認められており、ナチュラルアナログ研究においても支持されている。

しかしながら、スメクタイトの変質には pH および温度依存性が認められており、pH11 で温度が 100 以下の条件では、スメクタイト溶解速度も遅く、２年までの変質試験において二次鉱物の生成が認められていない。このことは、粘土鉱物の安定限界を pH11 として取り扱うこととした Brandbury and Baeyens（1997）の見解を支持するものである。

したがって、浸出初期に、pH が 13.5 程度にまで上昇する普通ポルトランドセメントの利用は、緩衝材が変質を起こす可能性があるものの、浸出液の pH が最大でも 11 程度に抑えることができるセメント系材料（低アルカリ性コンクリート）を用いる場合には、顕著な変質は避けられると考えられる。しかし、より長期にわたるスメクタイトの安定性や C-S-H ゲルの発生などについては、今後、さらにデータの蓄積や速度論的評価を行っていく必要がある。」

同様に第２次取りまとめでは、オーバーパックの腐食についても、緩衝材の仕様として乾燥密度 1.6 Mg m^{-3} とすると、その間隙水の pH が、炭素鋼の不動態化が起こる 9.5 以上になるためには、地下水の pH は約 11.5 以上でなければならないと、

記述されている（核燃料サイクル開発機構，1999c）。

支保等にセメント系材料が使用された場合，地下水の pH が 11.5 以上になる可能性は大きく，低アルカリ性のセメント系材料を使用することにより炭素鋼の不動体化を回避することが可能と考えられる。

また，セメント系材料に起因する高 pH の存在は，周辺岩盤の構成鉱物の変質をもたらす可能性もある。

このように処分施設においては普通ポルトランドセメント（OPC）の使用には様々な懸念が示されているが，処分場の仕様を満たす低アルカリ性のセメント系材料の開発は端緒についたばかりであり，実用化には時間がかかると考えられ，経済的な観点を考慮すると，OPC 使用の可能性を追求することは重要である。

また，仮に低アルカリ性のセメント系材料が使用されたとしても，pH は周辺の地下水より高いため，高 pH の影響は評価されなければならない。

以上のように，コンクリート影響の評価は喫緊の課題である。

2）課題解決の見通し

第2次取りまとめでは高 pH の影響は実験結果と定性的な観点から考察しているが，内外における様々な機関において定量的な評価並びに評価に必要なデータの取得が進められている（例えば，Cama et al., 2000；Huertas et al., 2001；Karland，1997；塚本・藤田，1999）。

例えば EU にて進められている ECOCLAY プロジェクトは，第1フェーズ（ECOCLAY プロジェクト）の継続として 2000 年から開始されているが，その目的はセメント間隙水のベントナイト，母岩への影響データの取得，影響（劣化・変質）のモデル化，並びに性能評価上の取り扱いの検討である。

また，原子力環境整備・資金管理センターにおいてもベントナイトの Ca 化及び溶解の試験が実施されており，簡易モデルによる地球化学解析も実施している（徳山，2001）。

このような背景からサイクル機構においてもコンクリート影響については精力的に試験を実施し，解析手法の開発に着手されているところである。

3）統合解析システムとの親和性

現時点で懸念されるコンクリート影響としては，以下の現象が想定される。

a．ベントナイト

- ・ Na ベントナイトの Ca 化，それに伴う止水性の変化，膨潤性能の変化，放射性核種の収着性の変化

- ・ベントナイトの溶解・二次鉱物の生成，それに伴う止水性の変化，膨潤性能の変化，放射性核種の収着性の変化

b．岩盤

- ・構成鉱物の溶解・二次鉱物の生成，それに伴う透水係数の変化，放射性核種収着性の変化，岩盤強度の変化

c．オーバーバック

- ・高アルカリ地下水の接触による不動態化

このような観点からコンクリート影響評価の位置づけを考察すると，ベントナイトの長期的変質量の算定，あるいは，オーバーバック表面の pH の算定は，それぞれ緩衝材及びオーバーバックの設計に寄与する。

一方，ベントナイト及び岩盤の変質量の算定，並びに間隙水の pH の算定は，透水性及び収着性に重要な情報を提供することから，放射性核種移行の環境条件を与え，性能評価への寄与が期待できる。

すなわち，人工バリアの設計並びに性能評価の観点から，コンクリート影響評価を統合解析システムへ導入する意義は非常に高いと考えられる。

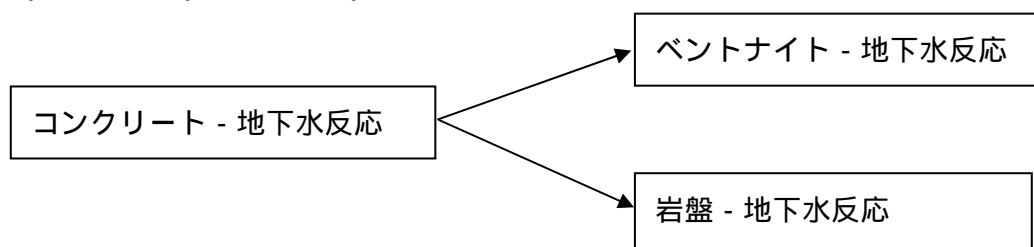
4) サイクル機構の研究施設活用の観点

コンクリート影響については現象解明が進んでいるものの，ベントナイトの溶解・二次鉱物の沈殿のように変質速度が遅く長期的な試験で確認すべきものがある。

また，高アルカリ溶液を使用することから，二酸化炭素の影響を排除するため雰囲気制御下での試験が求められることもある。モデルの実証の観点からは，実規模の試験が必要である。

このような観点から，サイクル機構の研究施設における雰囲気制御グローブボックス，実規模で長期の試験が可能な ENTRY の IMAGE-GEOCHEM あるいは GEO-FRONT の活用が必須である。

5) 研究開発（モデル開発）方策



コンクリート影響は、上に示すフローによりモデル化するものとする。現実的にはコンクリート影響は地下水流動を介して進展し、劣化・沈殿により透水係数が増加することから、これは地下水 - 化学反応の連成問題と位置付けられる。すなわち本来は連成を意識したモデル開発を目指すべきであるが、連成現象評価技術の高度化はニアフィールド現象における課題に含まれていることから、ここでは連成を意識しないモデル化を目指すものとする。

a . コンクリート - 地下水反応

セメントの化学的振る舞い、特に浸出液の pH を支配するのは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と C-S-H ゲルである。特にキーとなる C-S-H については、Glasser et al. (1988)、Atkinson et al. (1987)、Berner (1988)、Reardon (1992) らの熱力学的モデルがある。

Glasser と Reardon のモデルは非常によく似ており、C-S-H ゲルを $x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ (x, y は定数) とおき、実験結果から溶解の平衡定数を C-S-H ゲルの C/S 比の関数として表したものである。

Atkinson のモデルは、C-S-H ゲルを C/S 比が 0.833 以上では、Tobernorite と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の固溶体として、それ以下では Tobernorite と SiO_2 との固溶体として表現し、自ら行った C-S-H ゲルの溶解度試験結果からギブスの生成自由エネルギーを算出している。

Berner のモデルは、C-S-H ゲルを C/S 比が 1 以上では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と CaH_2SiO_4 の二つの固相で C-S-H ゲルを表現しており、それぞれの固相の、溶解の平衡定数を C/S 比の関数として表現している。モデル化にあたっては、これらのモデルあるいは新たなモデルから C-S-H ゲルモデルを選択することになる。

b . ベントナイト - 地下水反応

ベントナイトと高 pH 地下水の反応としてはイオン交換による Na ベントナイトの Ca 化、ベントナイトの溶解並びに二次鉱物の沈殿があげられる。Ca 化の反応は比較的速やかに進展することが知られており、反応に伴い止水性、膨潤性の変化が予想される。

また、ベントナイトの溶解は実験室レベルでの高温・高 pH 下では容易に観察されるものの、処分環境では遅い反応と考えられる。反応に伴い二次鉱物の沈殿が生成するが、その種類は様々である。初期のコンクリート反応水は Na や K といったアルカリ金属に富んでおり、シリカとアルミナの溶解により analcite、phillipsite 等のゼオライトが発生する。

また、高 pH での Ca の反応性が高いため、ゼオライトに加えて C-S-H、C-A-H

(カルシウムアルミネート水和物), C-A-S-H (カルシウムアルミネートシリケート水和物)といった, Ca と Si 等から構成されるセメントの水和生成物が生成される。

これらの反応のモデル化にあたっては, 以下のプロセスに着目する必要がある。

地下水を介した物質 (化学種) の物質移動

液相中の化学種の分種化

反応生成物の溶解沈殿

さらに, これらのプロセスにより, ベントナイトの空隙率が変化し, 変質の効果と併せて体系の透水係数が変化して物質移動, つまり の反応に影響を及ぼすことが想定される。

すなわちベントナイト - 地下水反応は基本的に連成反応であるが, 前述の通りここでのモデル化にあたっては連成は考慮しないものとする。また, ベントナイトと高 pH の反応の結果として, 放射性核種の収着性能に変化が生じると考えられる。

例えばゼオライトのようにイオン交換能力の大きい鉱物の生成は収着能力の向上につながることから, 正味の核種移行遅延効果の変化は, 鉱物の溶解と沈殿の反応速度のバランスにより決まるものと考えられる。

以上をまとめると, ベントナイトと地下水の反応のモデル化においては上記 ~ の観点から開発が必要である。特に, 分種化の種類の同定, 溶解・沈殿速度を実験により確認することが求められる。

c . 岩盤 - 地下水反応

セメント系材料からの高 pH 地下水により周辺岩盤の表面が比較的短期間で変質する可能性がある。種々の試験結果によれば C-S-H 系の沈殿が確認され, 処分場の建設・操業時に大気中の炭酸ガスが地下水に混入した場合は, 高 pH 中の Ca との反応により Calcite の沈殿を生じる可能性がある。

したがって岩盤と地下水の反応についても, 上記 ~ の観点からのモデル化, 並びに分種化の種類, 溶解・沈殿速度の実験による確認が必要である。

以上, a ~ c 項に示した各反応に関し, 支配的なものを表 4.3-3 に整理して示す。

表4.3 - 3 関係する反応

反応	支配的な反応	備考
コンクリート - 地下水	■ $\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaH}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{SiO}_{2(\text{aq})} + 2\text{H}_2\text{O}$	
ベントナイト - 地下水	■ イオン交換 $2\text{ZNa} + \text{Ca}^{2+} = \text{Z}_2\text{Ca} + 2\text{Na}^+$ ■ 溶解 $\text{Na}_{0.33}\text{Mg}_{0.33}\text{Al}_{1.67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 10.68\text{H}_2\text{O} =$ $0.33\text{Na}^+ + 0.33\text{Mg}^{2+} + 1.67\text{Al}(\text{OH})_4 + 4\text{H}_2\text{SiO}_4^{2+} + 8.68\text{H}^+$ ■ 二次鉱物 $\text{Na}_{0.96}\text{Al}_{0.96}\text{Si}_{2.04}\text{O}_6\text{H}_2\text{O} + 3.84\text{H}^+ =$ $0.96\text{Na}^+ + 0.96\text{Al}^{3+} + 2.04\text{SiO}_{2(\text{aq})} + 2.92\text{H}_2\text{O}$	Na ベントナイト Analcite
岩盤 - 地下水	■ 溶解 $\text{SiO}_2 + \text{OH}^- = \text{HSiO}_3^-$	石英の溶解

6) 年度展開

コンクリート影響評価技術の高度化に関する研究工程を以下に示す。

	H 1 4 年度	H 1 5 年度	H 1 6 年度以降
1 . 現象の解明			
・ 実験による現象の解明			
・ 既往の研究・ナチュラル アナログの調査			
・ 反応速度等のデータ取得			
・ 検証用試験			
2 . モデルの開発			
・ セメント - ベントナイト 反応			
・ セメント - 岩反応			
3 . 統合解析システムへの 導入			

5. おわりに

地層処分システムの長期の安全性は、シナリオで表現される長期間の複合的な現象を考慮して処分システム全体の性能を定量化することによって示される。特に、安全評価の基本となる地下水移行シナリオに関しては、今後進められる個別詳細研究の成果を取り込みつつ、シナリオの成立性を確認し、これを安全評価に適切に反映していくことが重要である。このためには、地層処分システムの設計（長期健全性評価含む）で得られる知見を組み合わせた適切なシナリオの構築と、シナリオに応じた一連の安全評価を実施するための作業基盤として、地層処分システム（地質環境条件を含む）を計算機上に展開した統合解析システムの開発が必要である。

本研究では、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた設計・安全評価の体系を整理し、今後の研究開発で得られる成果も考慮した上で、これらを計算機上に展開し、システム化するための設計検討を行った。

(1) 統合解析システムの詳細機能の検討

地層処分システムの設計・性能評価を実施するための共通の作業基盤となる統合解析システムの開発に向けて、地質環境を含む地層処分システムを計算機上に構築（統一環境場の構築方針の策定）するための検討を実施した。

(2) 技術基盤情報の体系化

第2次取りまとめにおける「処分技術（設計）」および「性能評価」のワーク（評価）項目に対して、その基盤となる技術情報（入出力情報）の対応付けを行い、地層処分システムの設計・安全評価に関する一連の作業をまとめた評価フローを作成した。

(3) 追加評価モデルの検討

性能・安全評価の体系化に向けて、今後の地層処分研究における詳細モデル開発に関する課題を抽出し、これらの課題を統合解析システムに取り込むための情報として整理した。

参考文献

Ahn, J : “ Long-Term Behavior of Bentonite Buffer in a Geologic Repository for High-Level Wastes ” , UCB-NE-4222 (1999)

青木武, 井内美郎, 井口博夫, 加藤義久, 末永和幸, 高安克己, 長坂信夫, 根本謙次, 安田訓啓, 柳哲雄, 若濱五郎: 新版地学教育講座 10 地球の水圏 - 海洋と陸水 - , 東海大学出版会 (1995)

Atkinson, A., Hearne, J. A., Knights, C.F : “ Aqueous Chemistry and Thermodynamic modelling of CaO-SiO₂-H₂O gels ” , AERE R12548 (1987)

Berner, U. : “ Modelling the Incongruent Dissolution of Hydrated Cement Minerals ” , Radiochimica Acta, 44/45, 387 (1988)

BIOMASS II : “ Development of a Reference Biospheres Methodology for Radioactive Waste Disposal. ” , BIOMOVs II Technical Report No.6, published on behalf of the BIOMOVs II Steering Committee by the Swedish Radiation Protection Institute, Sweden (1996)

千々松正和, 谷口航 : 熱 - 水 - 応力練成モデルを用いたニアフィールド解析評価, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-014 (1999)

千々松正和, 根山敦史, 石原義尚, 雨宮清, 塩崎功, 岩田浩, 佐川寛, 中川浩一 : 熱 - 水 - 応力 - 化学連成挙動に関する研究, サイクル機構技術資料 (業務委託報告書, 三菱重工業株式会社, 株式会社間組), JNC TJ8400 2002-003 (2002)

動力炉・核燃料開発事業団 : 地層処分研究開発の現状 (平成 5 年度), 動燃事業団技術資料, PNC TN1410 94-094 (1994)

動力炉・核燃料開発事業団 : 地層処分研究開発の現状 (平成 8 年度), 動燃事業団技術資料, PNC TN1410 96-071 (1996)

Glasser, F. P. et al. : “ Solubility modelling of cements, Implications for radioactive immobilization ” , Mat. Res. Soc. Symp., 84, 331 (1988)

Huertas, F.J., Caballero, E., Jiménez de Cisneros, C., Huertas, F. and Linares, J. :
“Kinetics of montmorillonite dissolution in granitic solutions.”, Applied
Geochemistry, 16:397-407 (2001)

Hwang, Y., Chambre, P.L., Lee, W.W. and Pigford, T.H. : “ Analytic studies of colloid
transport in fractured porous media ”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol.176,
pp.599-605 (1990)

Ijiri, Y., Sawada, A., Webb, E.K., Watari, S., Hatanaka, K., Uchida, M., Ishiguro, K.,
Umeki, H. and Dershowitz, W.S. : “ Radionuclide migration analysis using a
discrete fracture network model ”, Proc. of the MRS 1998 Fall Meeting (1998)

井尻裕二，澤田淳，坂本和彦，亘真吾，Erik Webb，中島研吾，長坂和佳，野邊潤：多
孔質岩盤を対象とした天然バリア中の核種移行解析，サイクル機構技術資料，JNC
TN8400 99-092 (1999) .

核燃料サイクル開発機構：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 - 総論レポート，JNC TN1400 99-020
(1999a)

核燃料サイクル開発機構：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)

核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼
性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 2 地層処分の工学技術，JNC
TN1400 99-022 (1999c)

核燃料サイクル開発機構：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 (1999d)

加藤和広，天野浩，池田孝夫，吉田秀爾，高瀬博康：“ 地層処分人工バリアシステムの
長期挙動に関する応力解析 ”，日本原子力学会「 2000 年春の年会 」，p.956 (2000)

片岡伸一，河原憲一，松永健一，石原義尚，根山敦史，中川浩一，岩田浩，森康二：連成解析に係わる基盤情報調査研究，サイクル機構技術資料（委託内容調査報告書，三菱重工業株式会社），JNC TJ8400 2001-036（2001）

甲藤好郎，佐藤俊，西川兼康，水科篤郎，森康夫（編著）：伝熱学特論，養賢堂発行（1984）

小出馨，前田勝彦：“東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状（その2）”，サイクル機構技報，No.12（2001.9），pp.107-122（2001）

Reardon, E. J.：“Problems and Approaches to the Prediction of the Chemical Composition in Cement/Water Systems”，Waste Management, 12, 221（1992）

澤田淳，井尻裕二，坂本和彦，亘真吾：亀裂性岩盤を対象とした天然バリア中の核種移行解析，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-093（1999）

塚本政樹，藤田智成：セメント系材料との相互作用による岩石および緩衝材の変質シミュレーション，電中研報告（2000）

徳山清治：“人工バリアの性能評価にかかわる現状と課題”，RWMC 研究発表会資料集（2001）

棚井憲治，佐藤治夫，村上文啓，井上雅弘：地層処分場におけるガスの拡散・移行に関する検討，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-045（1999）

付録1 統合解析システムの適用事例

統合解析システムでは、地層処分システムの設計・性能評価を実施するための共通の作業基盤となる統一環境場を計算機上に構築し、地質環境を含む仮想的な地層処分システムを対象とした設計・性能評価を実現することにより、研究3分野間の連携と整合性の向上を図ることが重要であると考えられる。このような設計・性能評価の実務を支援するため、統合解析システムでは、

- データベースを用いた各種データや知見の管理
- ユーザフレンドリな GUI を用いたデータの登録・検索
- 3次元処分場モデルを用いたデータの可視化
- データ処理（解析コード用入出力データの登録・抽出など）

が実現できるようにする。

統合解析システムでは、以下に示すように、処分場の3次元表示等を行う6種類の機能を備えたシステムとする。

- 処分場表示機能
本機能は、データベースに格納されたデータに基づき、処分場モデルを3次元表示する。本機能は、以下に示す操作を可能とする。
- 処分場モデルに基づく情報検索機能
3次元表示された処分場モデルからオーバーパック等のオブジェクト（以下、処分場オブジェクト）を選択することにより、選択されたオブジェクトに関する情報を検索する。
- データ表示機能
選択されたオブジェクトに関する情報を、データの種類（3次元データなど）に応じて、様々な形態（表形式、グラフ形式、アニメーション、処分場と解析結果の重ね合せ表示等）で表示する。
- データ管理機能
処分場データ（処分場オブジェクトの構成情報）や解析結果などをデータベースを用いて管理する。また、解析結果などを記載したドキュメントデータも合わせて管理する。

- データ処理機能

本機能は、解析コードの入出力ファイルやあらかじめ指定されたフォーマットでファイルに保存されたデータを、データベース構造に従って変換し、データベースに登録する。また、データベースに格納されたデータを用いて、解析コードの入力ファイルを作成する。

このような機能を具現化することにより、計算機上に地質環境を含む仮想的な地層処分システムを構築することが可能となり、設計・性能評価のための共通作業基盤が提供できると考えている。

地層処分システムの設計・性能評価に関する簡単な評価シーケンスを、付図 1-1 に示す。本文に示したワークフローの構成を簡略化したもので、地質環境条件、設計、性能評価における特徴的な評価項目を簡単な流れ図にして示している。上部に囲んだ地質環境データおよび取得条件に関する情報は、「地質環境条件の調査」で得られる情報である。統合解析システムはこれらの情報（地質構造モデルを含む）が提供されることを前提として、計算機上に地質構造モデルを表示するところから、本システムの適用が始まると考えている。計算機上に表示された地質構造モデルに対して、データの空間分布の表示・確認、これに基づく広域特性（水理、地球化学等）の評価と把握、熱解析や力学安定性解析等の設計解析の実施、ならびに処分坑道および処分施設の設計を行い、地層処分システムを計算機上に構築する。計算機上に構築された地層処分システムに対して、人工バリア健全性評価、核種移行評価、天然バリア評価を行うことで、共通の作業基盤を用いた評価が可能となる。

付図 1-2 に示すように、「地質環境条件の調査」から提供される地質環境データはデータベースに登録し、作業基盤用の地質環境モデルとして 3 次元表示される。また、モデル構築に用いた観測データの取得条件を合わせて管理することにより、付図 1-3 に示すように、地質構造モデル内に測定点と実測データを表示することが可能となる。これらの機能は地質環境調査の分野では一般的で特に新規性があるとは考えられないが、処分システムの設計・性能評価を共通基盤情報に基づいて実施するためには、必要不可欠な機能と考えている。

計算機上に構築された地質環境モデルに対して、設計・性能評価を進めるためには、データの空間分布の把握が非常に重要となる。付図 1-4 に示すように、分冊 1 に示されている水理地質構造モデルは“層”毎に水理パラメータを設定しており、同一層内でのデータの不均質性は考慮されていないと推察される。一方、多孔質媒体に対する核種移

行評価（JNC TN8400 99-092）においては、地質統計学法に基づいて不透水係数場を発生させており、こちらは逆に“層”の概念がない設定と考えられる。このように、離散化されたデータから空間分布を把握する（外挿する）方法は多種多様であり、これらの情報を以降の設計・性能評価の担当者に伝えることが、評価全体の整合性を向上させるポイントと考えている。統合解析システムでは様々な手法で処理されたデータの空間分布をデータベースで管理することにより、共通の環境条件における評価・検討作業が可能になる。

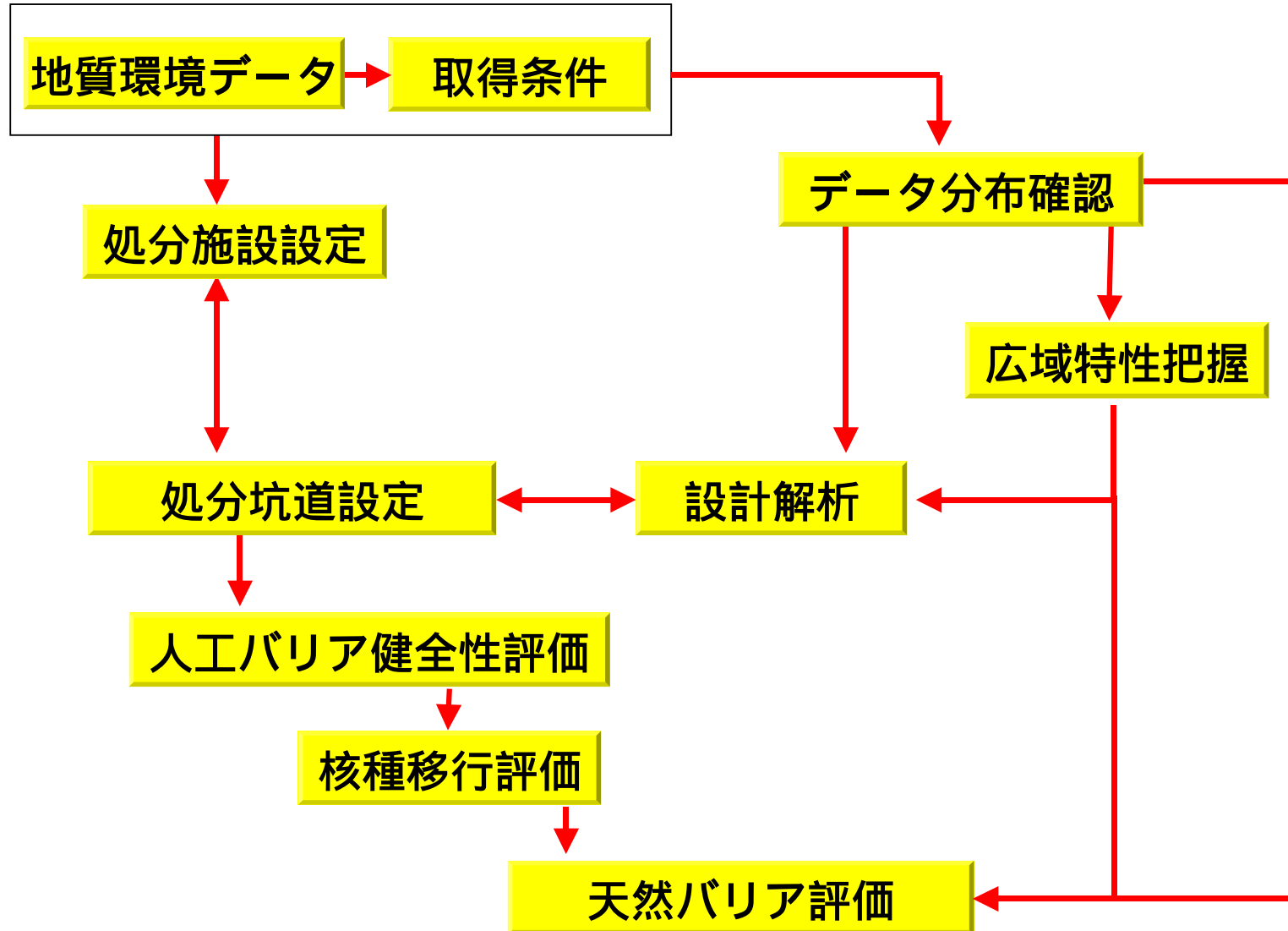
データの空間分布が得られたところで、付図 1-5 に示すように、広域特性について把握するための解析が行われる。空間の不均質性が比較的大きく現れるパラメータは、水理特性と地球化学特性と考えられる。これらの特性パラメータは沈殿・収着等の遅延機能や天然バリア中の移行経路の特定など核種移行への影響が大きく、設計・性能評価の担当者への情報伝達が不可欠である。上述したデータの空間分布と同様に、広域特性に関する解析結果をデータベースで管理することにより、環境条件（系の状態）の共有化を図ることが可能となる。

付図 1-6～付図 1-8 は処分システムの設計に関する項目で、処分システムの仕様（人工バリア仕様、坑道仕様、地下施設仕様など）を管理することにより、長期健全性や安全評価（核種移行評価）の評価対象となる処分システムの情報を共有することが可能となる。また、地下処分場の温度は腐食量や溶解度の算出など化学反応が関与するプロセスへの影響が大きく、設計解析の一つである熱解析の結果を評価担当者と共有することが重要と考えられる。

付図 1-9 に示す健全性評価は、設計評価の一環として実施されているもので、第 2 次取りまとめにおいては、健全性を損なうような著しい変化が生じなかったため、性能評価（安全評価）では大きく取り上げられなかった。しかし、これらの解析から得られる人工バリアの状態に関する情報は、性能評価（特に、人工バリア中核種移行評価）の前提条件であり、移行特性に少なからず影響を及ぼすため、性能評価との連携が非常に重要と考えられる。統合解析システムによる設計担当者と性能評価担当者の連携は、処分システムの全体評価の整合性向上や信頼性向上に役立つと考えられる。

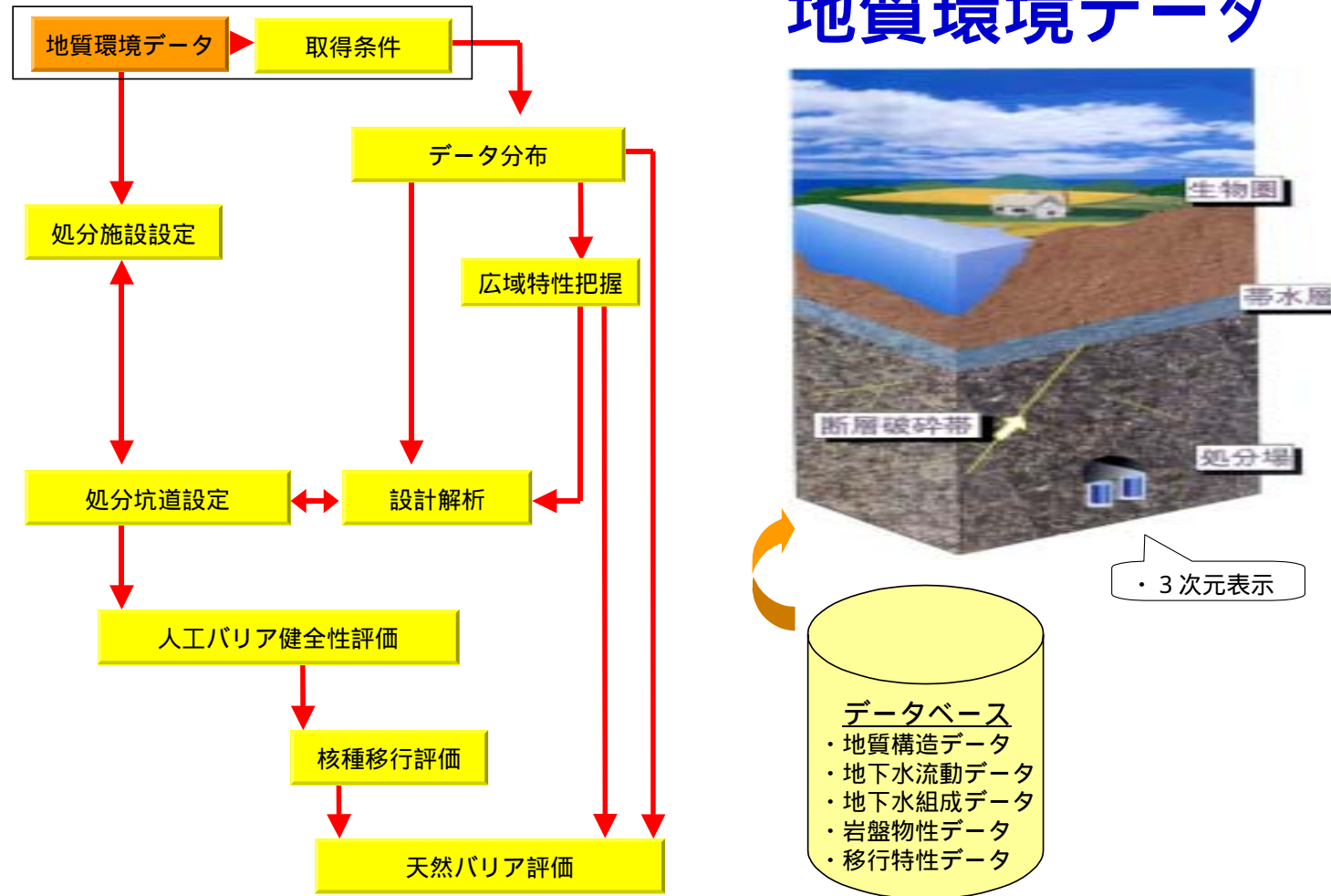
付図 1-10～付図 1-11 は、人工バリア中および天然バリア中の核種移行評価であり、これまで述べてきたように、設計に基づく処分システムの仕様、長期健全性評価に基づくニアフィールドの状態、広域特性把握に基づくファーフールドの状態に係わる全ての情報を反映させた評価が重要となる。統合解析システムにおいては、3 次元処分場モ

デルの表示とデータベースによるパラメータ管理により、系の状態を確認しながら評価・解析の実施が可能と考えられる。また、付図 1-10 と付図 1-11 に示したように、化学種による移行変化や酸化還元状態に依存した遅延機能の変化など、多重バリアシステムによるバリア機能を視覚的に表示する機能も、設計・性能評価を進める上で有益な情報提供手段になると考えている。



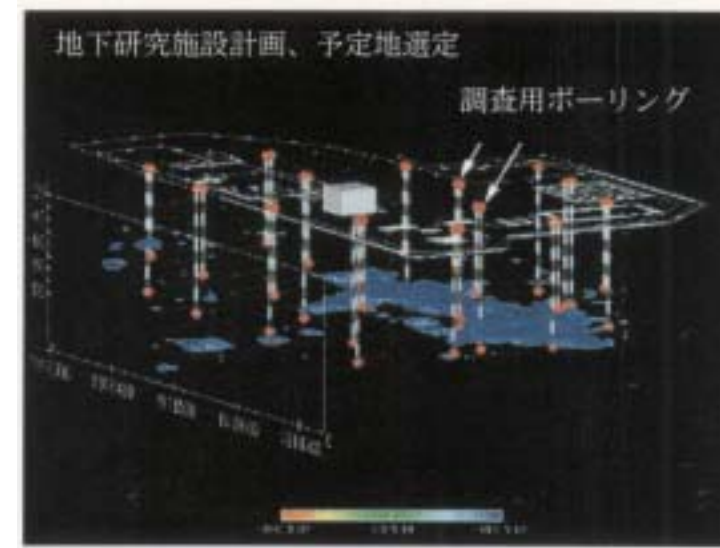
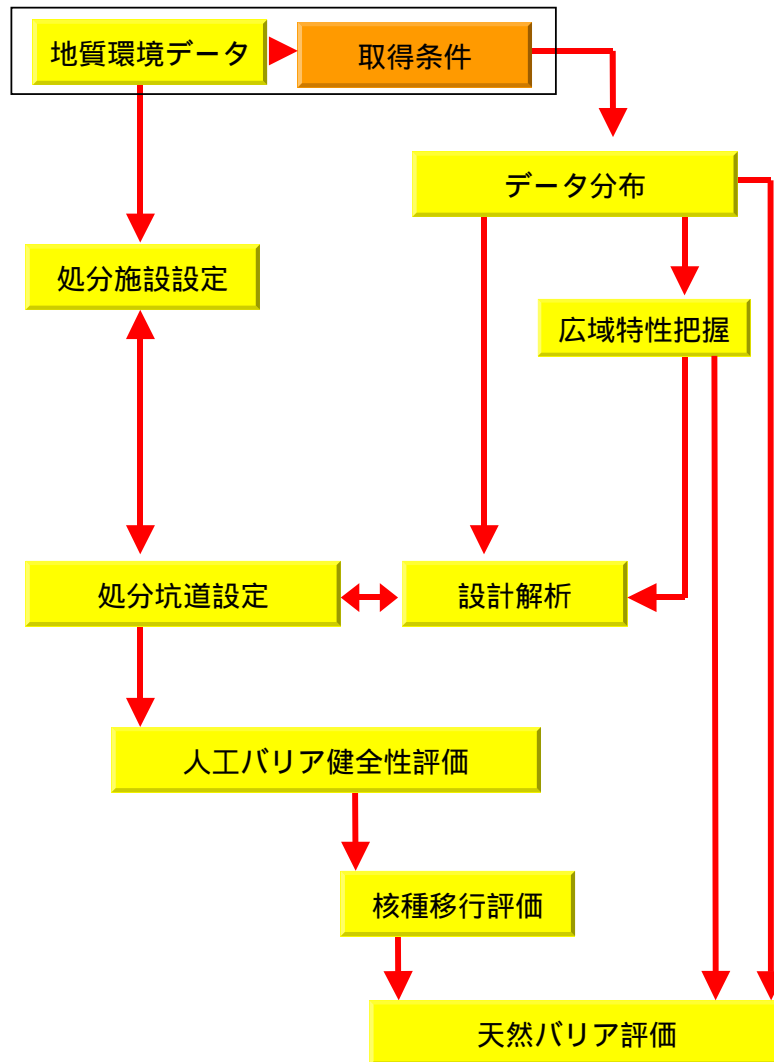
付図1 - 1 設計・性能評価のシーケンス

地質環境データ



付図1 - 2 地質環境データ表示

取得条件確認



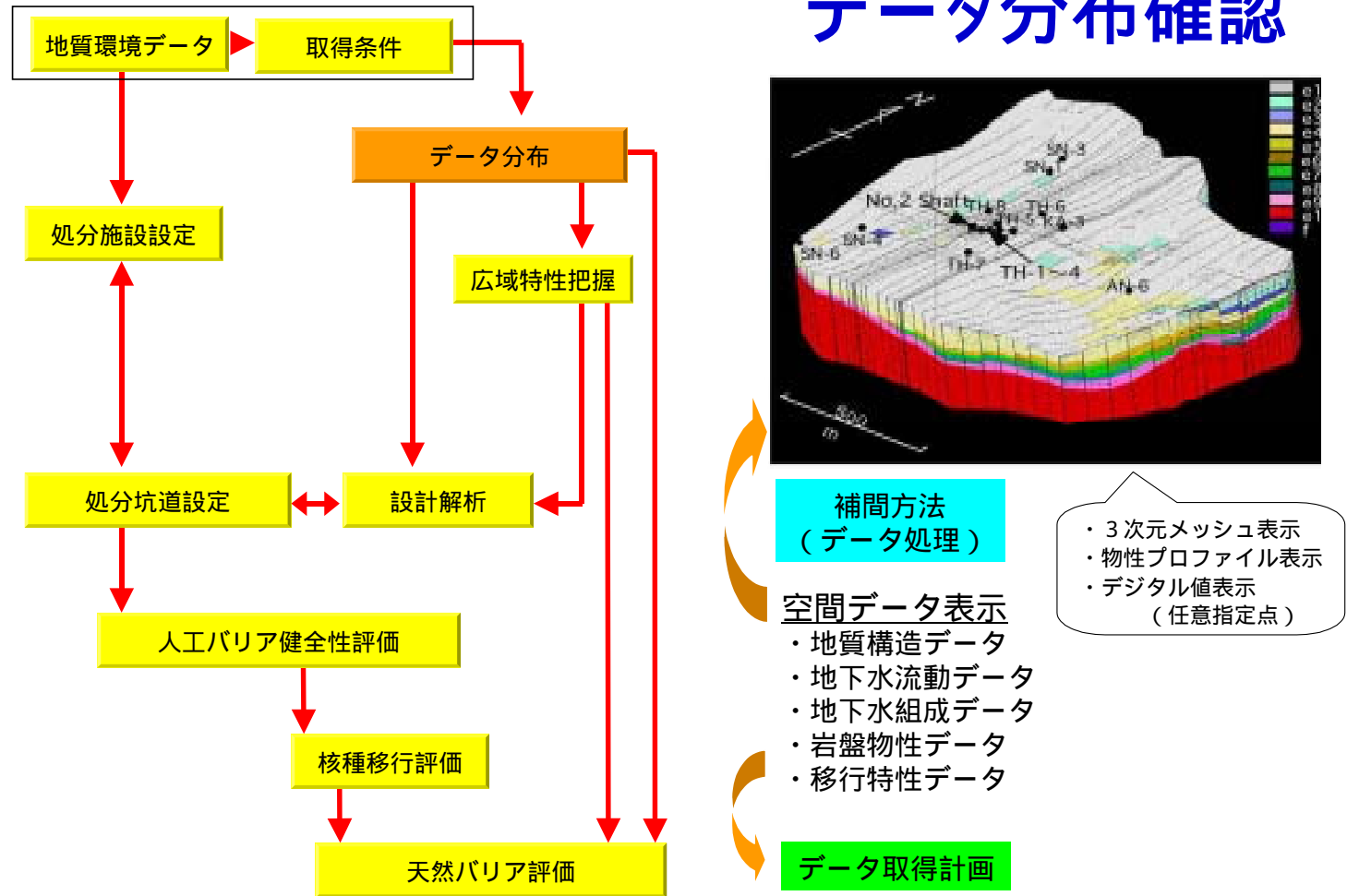
離散データ表示

- ・ボーリング位置
- ・地下水流動データ
- ・地下水組成データ
- ・岩盤物性データ
- ・移行特性データ

- ・3次元デジタル表示
- ・デジタル値表示(測定点)

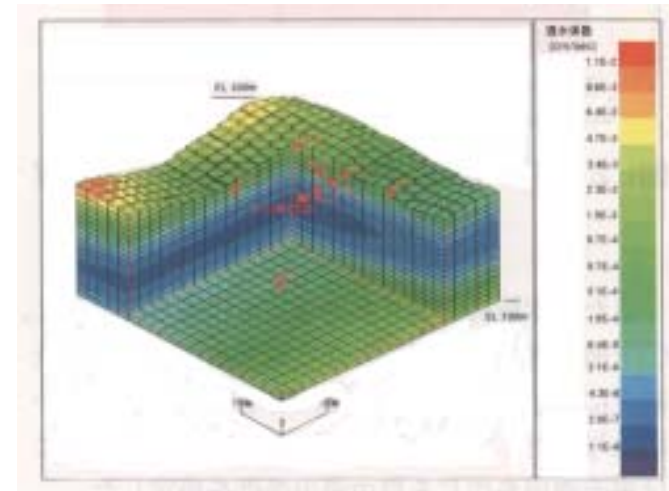
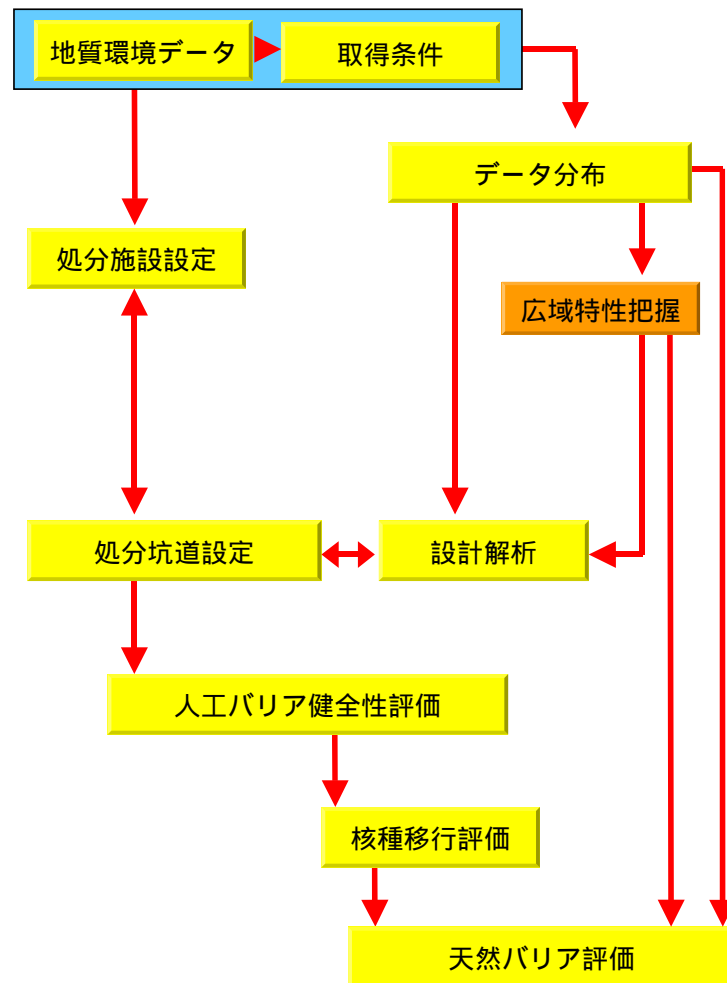
付図1 - 3 データ取得条件確認

データ分布確認



付図1 - 4 データ分布確認

地下水流動解析



広域地下特性把握

- ・ 広域水理解析
- ・ 地球化学解析

- ・ 2次元 / 3次元
- ・ コンター / ベクトル図
- ・ 粒子軌跡図 (流線図)

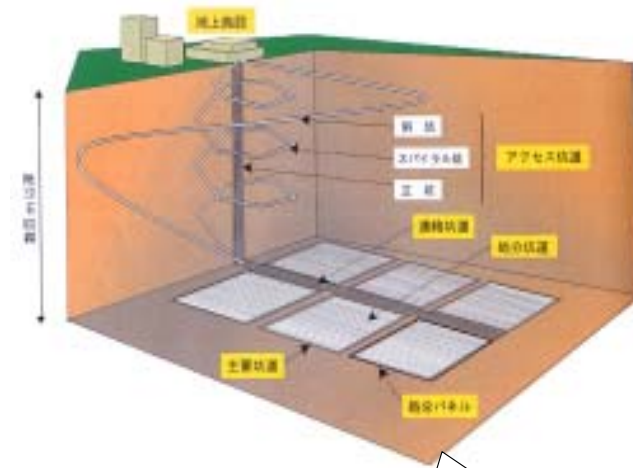
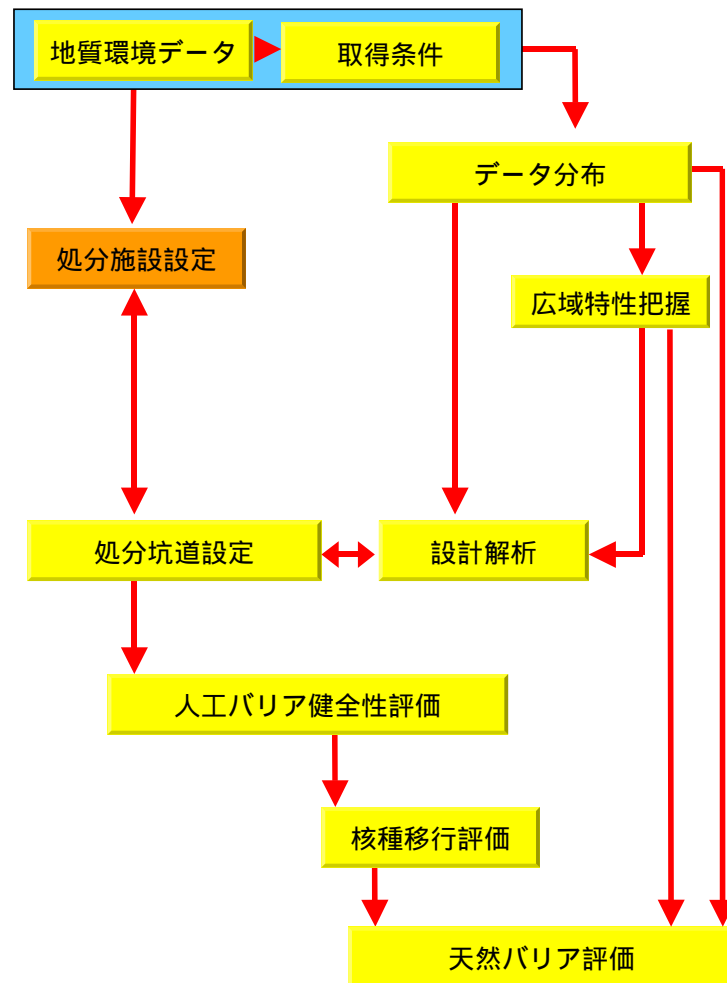
データ取得計画

評価解析

(設計解析, 人工バリア評価, 天然バリア評価)

付図1 - 5 広域特性把握

処分施設設定



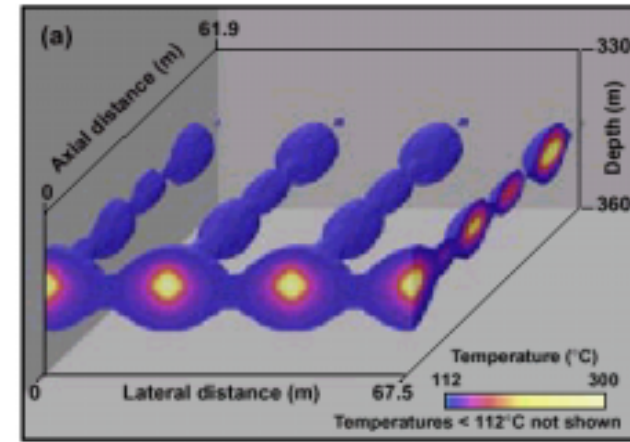
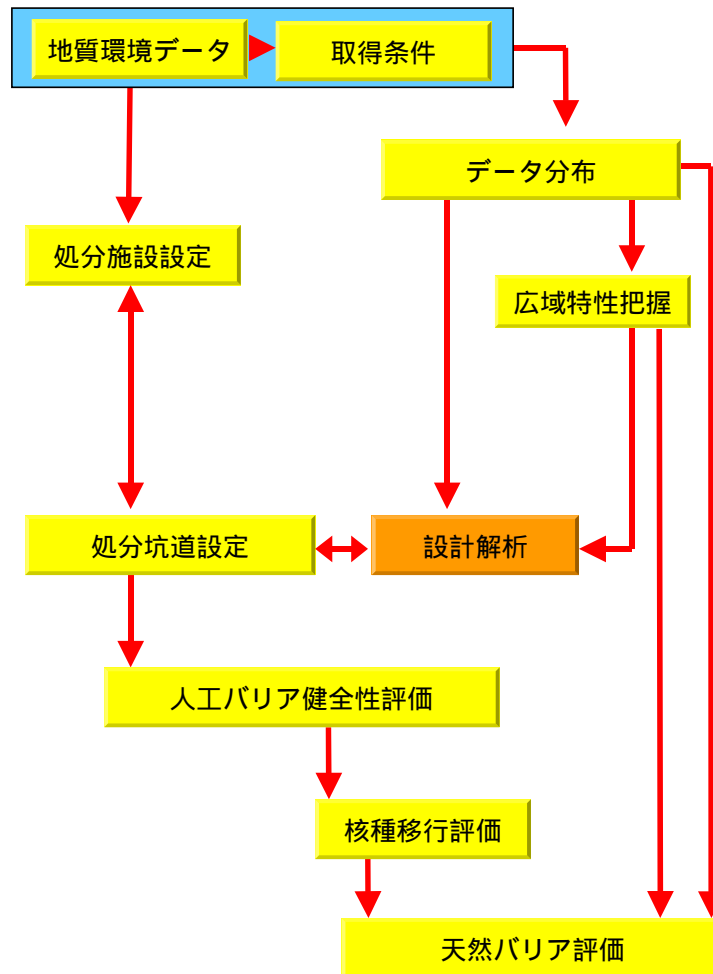
処分施設設計データ

- ・アクセス坑道
- ・連絡 / 主要坑道
- ・処分坑道
- ・パネル (配置)

・3Dカット表示
(イメージ)

付図1 - 6 処分施設表示

設計解析



- ・ 2次元 / 3次元
- ・ コンター図

設計解析

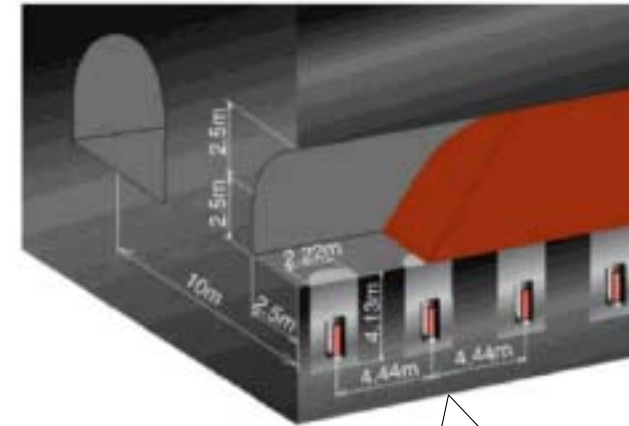
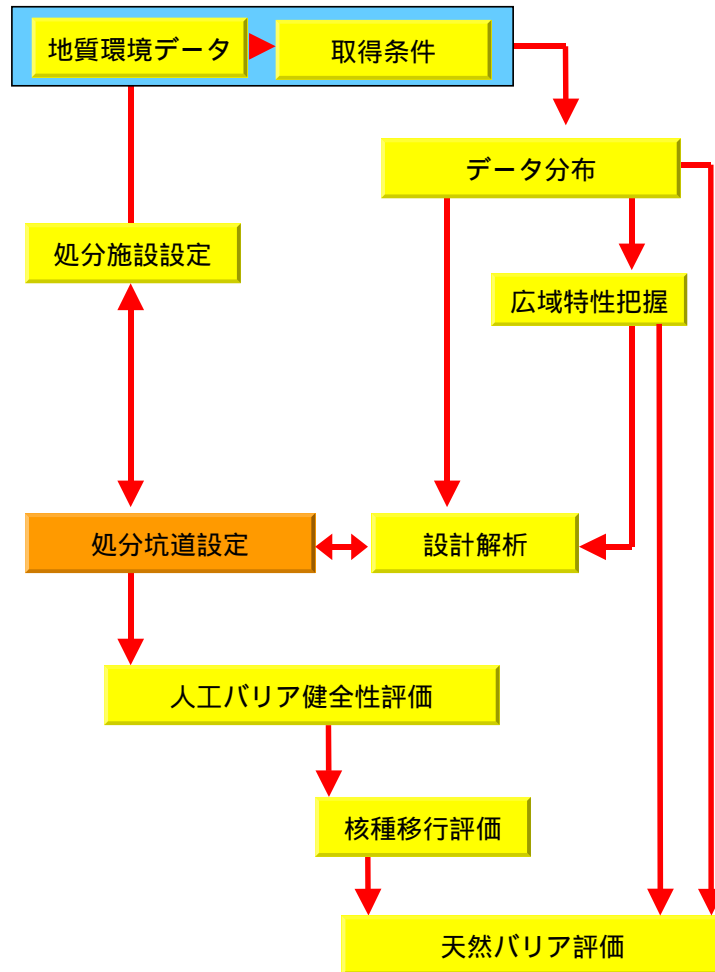
- ・ 熱解析
- ・ 空洞安定性解析
- ・ 耐震安定性

処分坑道設定

データ取得計画

付図1 - 7 処分施設設計評価

処分坑道設定



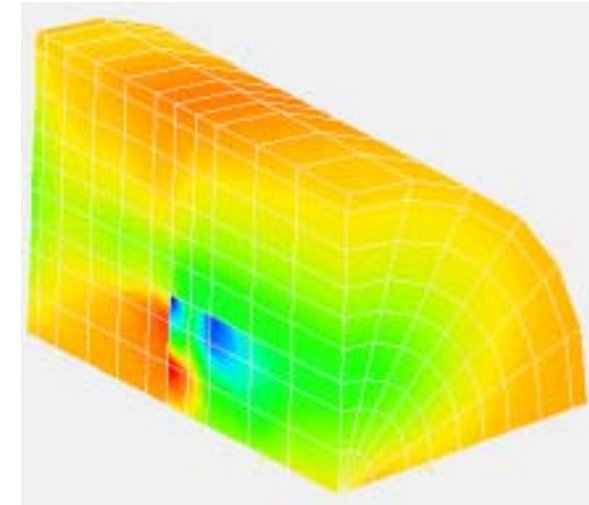
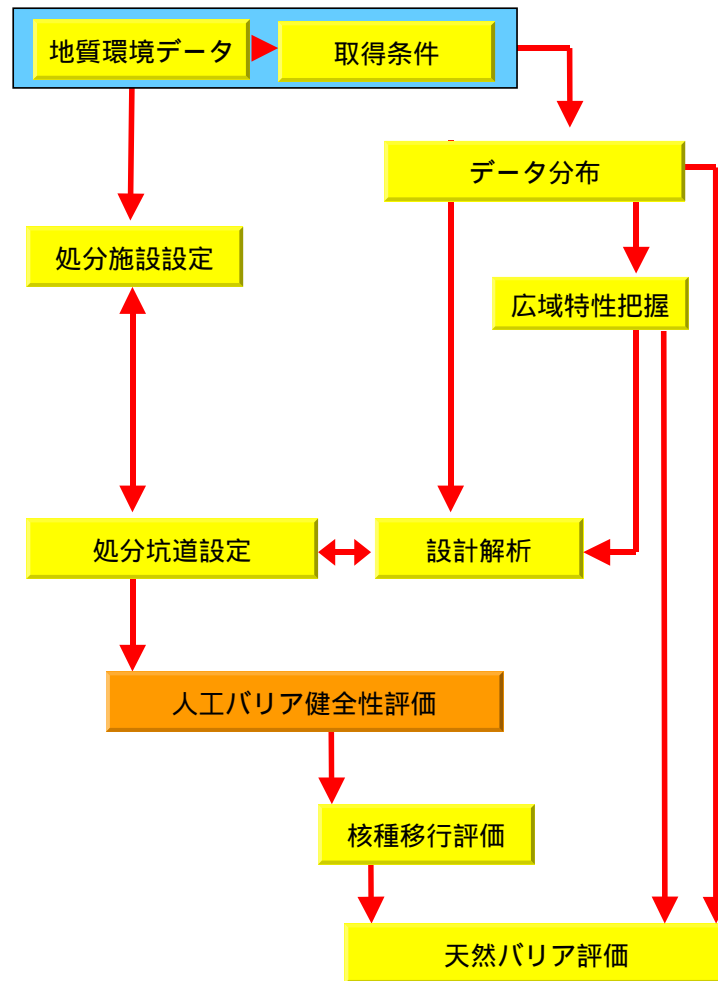
処分坑道設計データ

- ・坑道離間距離
- ・廃棄体ピッチ
- ・OP仕様
- ・緩衝材仕様
- ・埋め戻し材仕様

- ・カット表示
- ・メッシュ表示

付図1 - 8 処分坑道設定

人工バリア健全性評価



バリア健全性

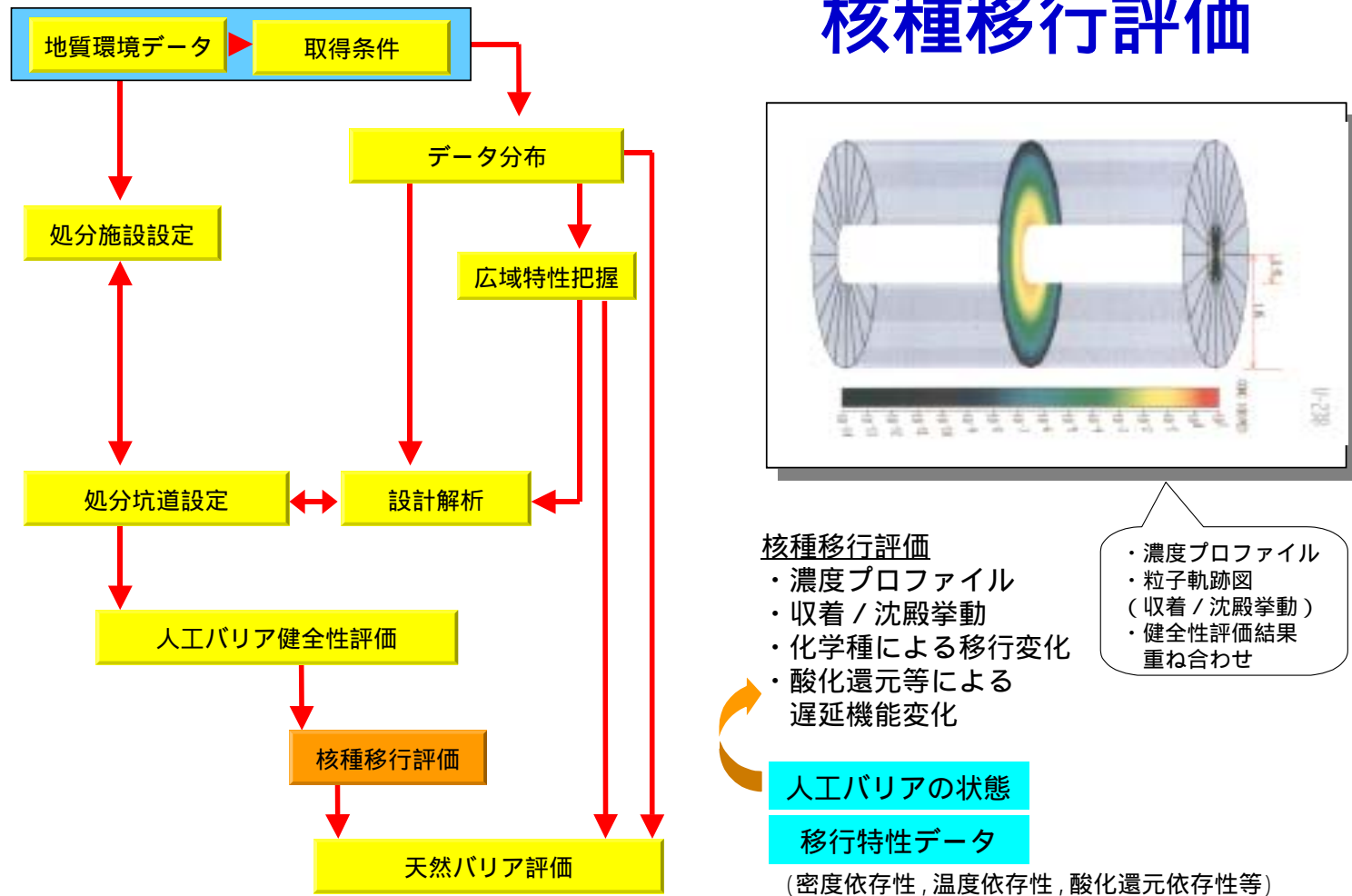
- ・岩盤クリープ変形
- ・地下水浸潤（再冠水）
- ・緩衝材密度変化（膨潤，圧密，流出等）
- ・OP腐食挙動（座屈）
- ・OPの沈下
- ・ガス発生／蓄積／移行
- ・耐震安定性 等

- ・2次元 / 3次元
- ・コンター図
- ・ベクトル図
- ・流線図
- ・粒子軌跡図

人工バリアの状態（核種移行評価）

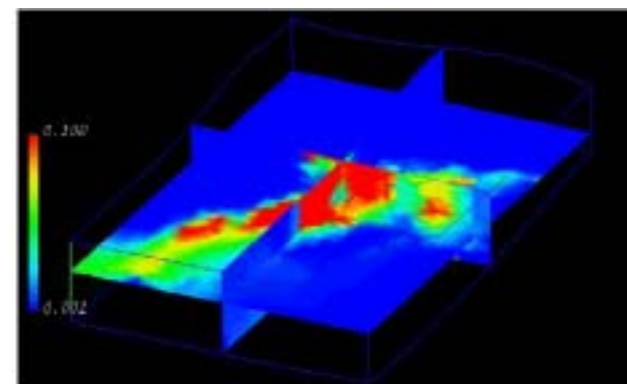
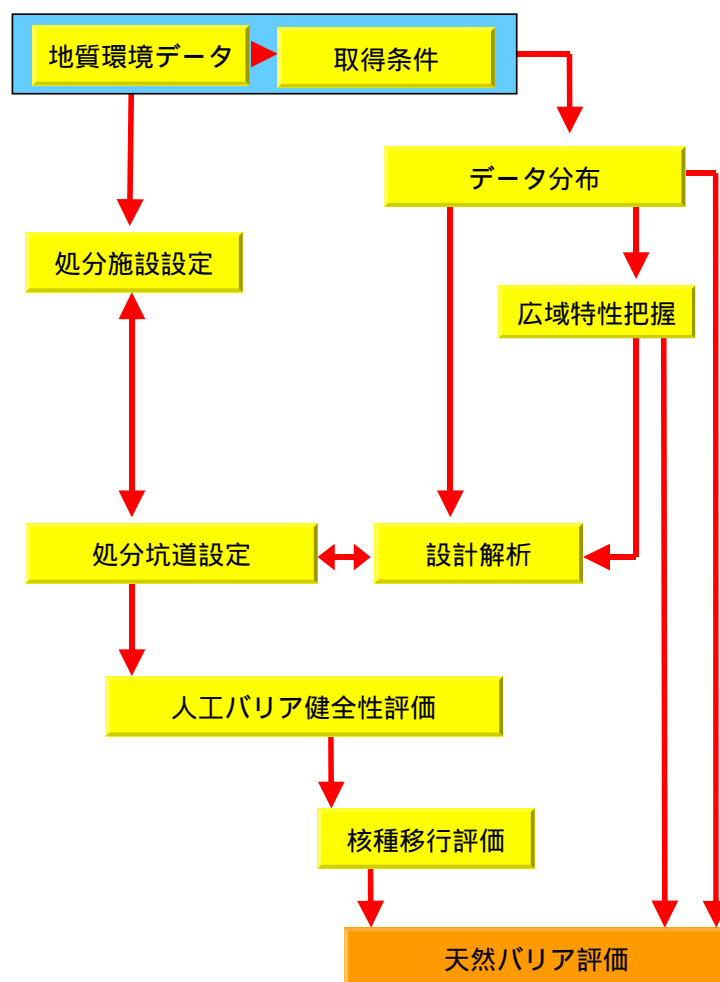
付図1 - 9 人工バリア健全性評価

核種移行評価



付図1 - 10 人工バリア中核種移行評価

天然バリア中移行評価



核種移行評価

- ・濃度プロファイル
- ・移流 / 分散挙動
- ・収着 / 沈殿挙動
- ・マトリクス拡散
- ・地質構造による遅延機能の変化

- ・2次元 / 3次元
- ・流線図
- ・粒子軌跡図
- ・地質構造図重ね合わせ

地質環境データ

付図1 - 11 天然バリア中核種移行評価

付録2 感度解析に基づく研究開発項目の整理

第2次取りまとめの安全評価に関する感度解析の結果から、地層処分システムの安全性（線量）に対して影響が大きいと考えられる項目・因子を抽出し、今後の研究開発における課題を整理する。ここでは、第2次取りまとめの人工バリア中核種移行評価で対象とされた解析ケースを中心に、サイクル機構で実施された下記の感度解析結果（天然バリアを含む全体性能評価の結果）についてまとめる。

レファレンスケース

ガラス溶解速度（データ不確実性）

酸化フロントの進展（データ不確実性）

インベントリ（データ不確実性）

掘削影響領域通過流量（データ不確実性）

地下水組成の変化（地質環境の多様性）

コンクリート製支保の影響（地質環境の多様性）

緩衝材内側半径（設計変更）

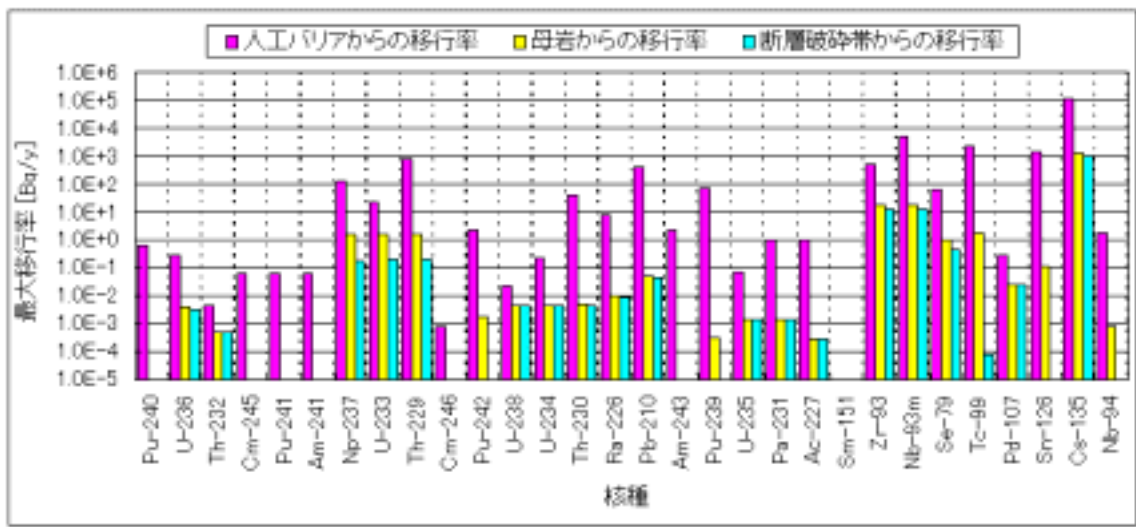
緩衝材外側半径（設計変更）

腐食生成物層中の移行（モデル変更）

掘削影響領域中の収着（モデル変更）

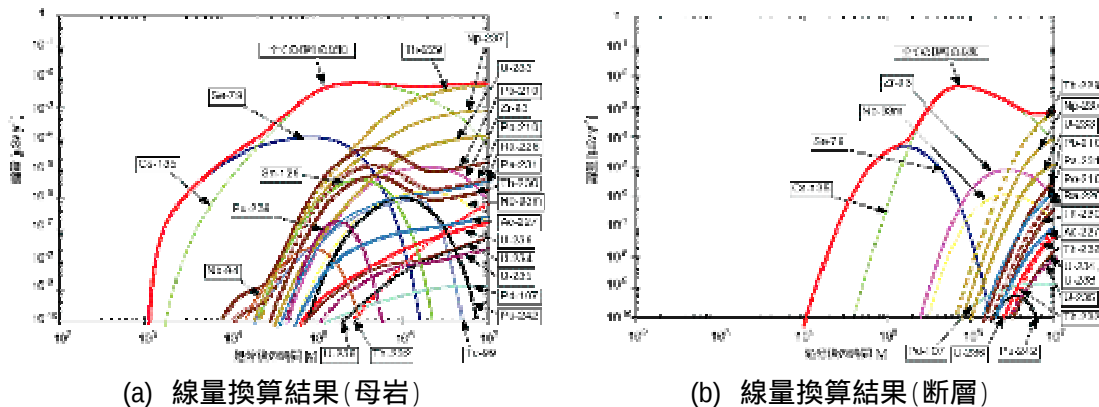
レファレンスケース

第2次取りまとめレファレンスケースにおける人工バリアおよび天然バリア（母岩、断層破碎帯）からの核種の最大移行率を付図 2-1 に示す。U-238、Th-232 等の半減期が非常に長い核種を除くと、母岩からの移行率は人工バリアからの移行率に比べて2桁以上低下しており、母岩中での核種の移行遅延とそれに伴う崩壊・減衰の効果が大きいことが分かる。また、天然バリア中の母岩と断層破碎帯（以下、断層と略す）の移行遅延効果については、多くの核種で母岩からの移行率と断層からの移行率がほぼ同じであり、断層自体の移行遅延効果（バリア性能）はそれほど大きくはない。ただし、4N+1 系列の核種（特に Np-237 とその娘核種）の移行率が1桁程度低下しており、これが最終的なシステム性能に大きく寄与している（付図 2-2 参照）。



付図2 - 1 第2次取りまとめのレファレンスケースにおける核種の最大移行率

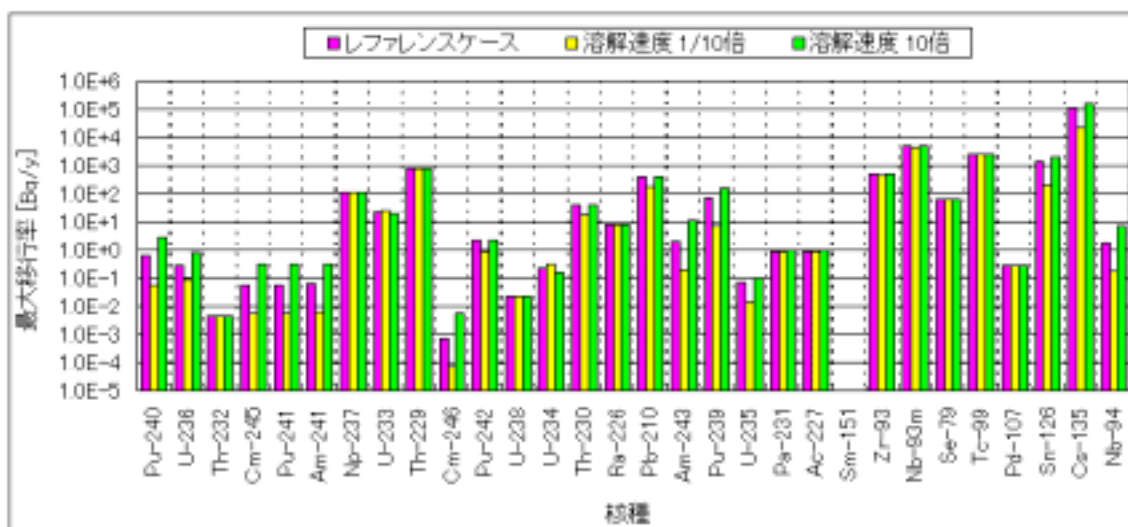
実際、天然バリア（母岩、断層）中の移行率に基づいて線量を評価した結果を付図2-2に示す。線量の支配核種は母岩・断層ともにCs-135であるが、母岩の結果では4N+1系列の線量（Np-237の娘核種Th-229の線量）がCs-135の線量とほぼ同じである。一方、断層の結果では4N+1系列の線量が小さくなり、Cs-135の線量のみが支配的な結果となっている。このことは、断層がアクチニド核種（特にNp-237）に対してバリアとして機能したと考えることができ、支配核種であるCs-135に対して断層の移行遅延効果が小さいことが、必ずしも断層をバリアとして考慮しなくてもよいことにはならない。したがって、地層処分システムの全体性能を把握していく上で、ニアフィールドアプローチに代表される人工バリアおよび周辺母岩中の核種移行を精度よく評価していくことに加え、広域スケールでの核種移行評価手法（モデル）の構築が今後必要と考えられる。

付図2 - 2 第2次取りまとめのレファレンスケースにおける核種の最大移行率
(第2次取りまとめより引用)

ガラス溶解速度

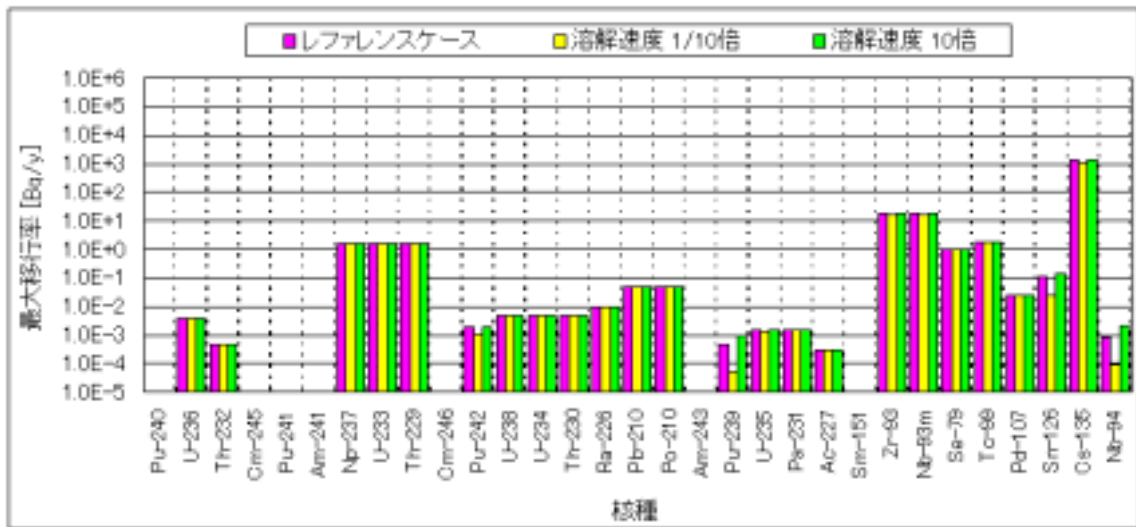
ガラスの溶解に対しては、ガラス固化体表面に生成する変質層の保護効果による溶解抑制の可能性や、二次鉱物の析出に起因する溶性ケイ酸の消費による溶解促進の可能性が示唆されている。第2次取りまとめにおいては、これらの影響をガラス溶解速度の不確実性として取り扱い、感度解析が実施されている。

ガラス溶解速度をレファレンスケースの1/10倍および10倍に変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図2-3に示す。Csに代表される可溶性元素および緩衝材中で沈殿が生じなかった元素(Cm, Pu, Am等)の移行率はガラス溶解速度に応じて変動している。ただし、ガラス溶解速度の減少に対しては比例的に小さくなるものの、溶解速度の増加に対しては比例的な変化をしない。これは、第2次取りまとめ分冊3に述べられているように、インベントリにより最大移行率が規定されるためである。



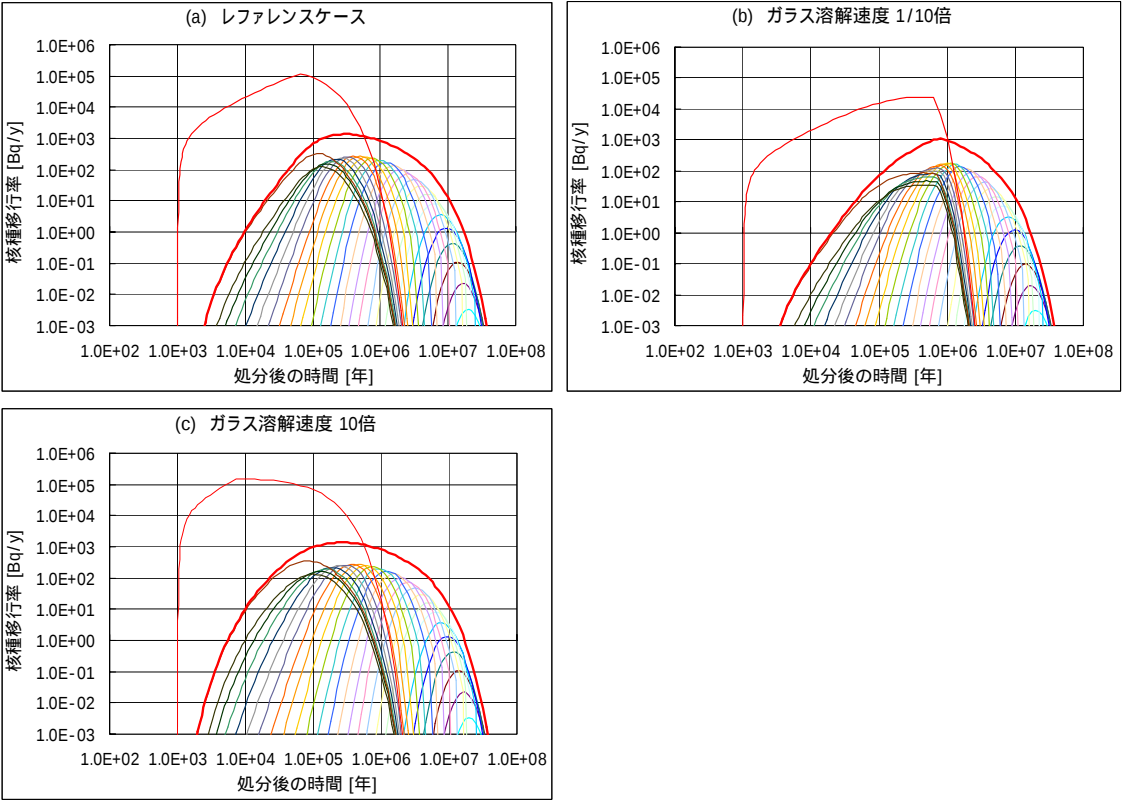
付図2-3 ガラス溶解速度に対する感度解析(人工バリアからの移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図2-4に示す。なお、人工バリア中の核種移行解析では評価していないPo-210は、Pb-210と放射平衡を仮定して移行率を求め図中に追加している。



付図2 - 4 ガラス溶解速度に対する感度解析(母岩からの移行率)

ガラス溶解速度に応じて人工バリアからの核種移行率が変動しているにもかかわらず、母岩からの移行率は、ほとんど全ての核種でレファレンスケースの最大移行率と同じ結果となった。第2次取りまとめにおける母岩中の核種移行解析は48本の亀裂(流路)からの移行率を重ね合わせることによって評価しており、母岩からの最大移行率がレファレンスケースと同じとなったのは、この重ね合わせの効果によると考えられる。ここで、Cs-135を対象として、母岩中の各流路の移行率とそれらを重ね合わせて得られる母岩からの移行率を付図2-5に示す。図から、人工バリアからの移行率(赤細線で表示)に応じて各流路の移行率は変化しているが、重ね合わせで得られる母岩からの移行率(赤太線で表示)の最大値はほぼ同じとなっており、重ね合わせの効果によって人工バリアからの移行率の変動が緩和されている。第2次取りまとめにおける重ね合わせ評価は、不均質性を考慮した3次元ネットワークモデルの結果を再現する手法として採用されたものであり、母岩中の不均質性を考慮した評価手法の精度向上と人工バリアからの移行率の変動を緩和する効果については今後の研究開発課題と考えられる。



付図2 - 5 母岩から断層への核種移行率の比較(Cs-135)

最後に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-6 に示す。母岩から断層への移行率がレファレンスケースとほぼ同じになったことから、最大線量もレファレンスケースとほとんど同じとなっている。



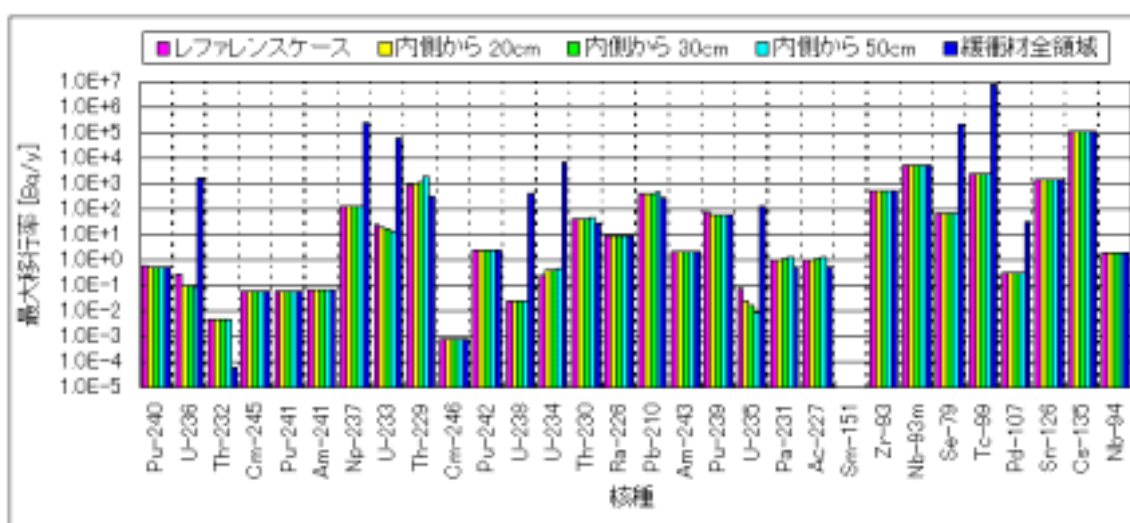
付図2 - 6 ガラス溶解速度に対する感度解析(線量)

酸化フロントの進展

ガラス固化体からの放射線によって緩衝材間隙水が放射性分解され、酸化フロントが緩衝材中を進展することにより、緩衝材中での溶解度あるいは分配係数などに影響を及ぼす。第2次取りまとめにおいては、人工バリア内に十分な量の還元剤（オーバーパックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱など）が存在することにより、放射性分解で発生した酸化剤はガラス固化体近傍に留まり、緩衝材中は還元条件が維持されと考えられることから、解析ケースから除外している。ここでは、酸化フロントが緩衝材中を進展した場合の感度解析結果をまとめる。

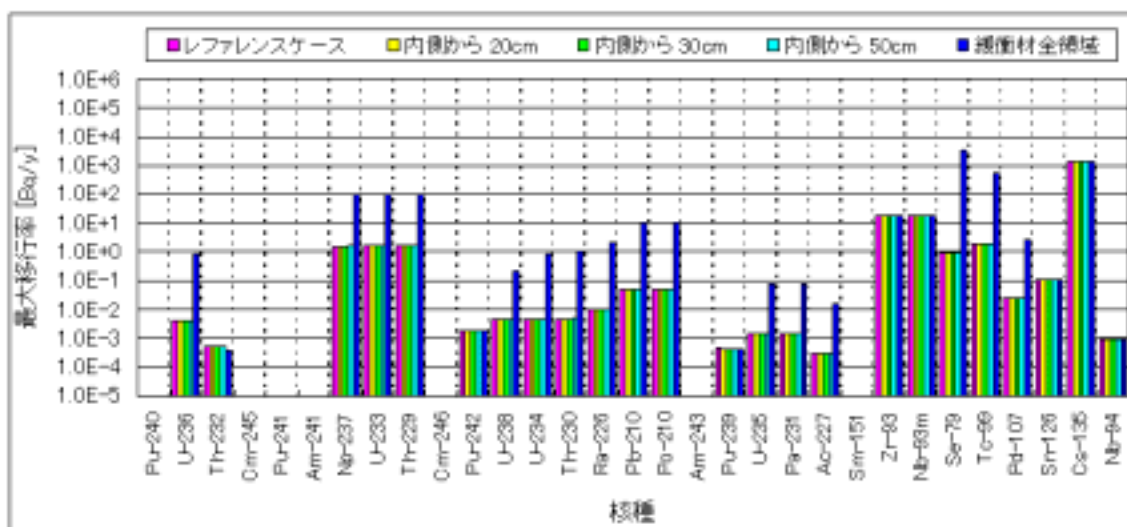
感度解析は緩衝材領域を2つに分割し、内側の領域には酸化条件のデータを設定し、外側の領域には還元条件のデータ（レファレンスケースのデータ）を設定し、酸化状態となる領域（緩衝材内側からの距離）を変化させて実施されている。なお、酸化条件のデータは第2次取りまとめ分冊3の表6.2-2～表6.2-4のデータを使用した。また、天然バリア中の評価は還元条件のデータ（レファレンスケースのデータ）を使用した。

人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図2-7に示す。酸化フロントの進展が緩衝材の途中で留まる場合、すなわち酸化状態の領域の外側に還元状態の領域が残存する場合は、人工バリアからの移行率はレファレンスケースの移行率とほとんど変わらない。ただし、複数同位体による溶解度分割を考慮しているウランについては、同位体ごとに移行率が増減している。一方、酸化フロントが掘削影響領域に到達する場合は、還元条件に比べて酸化条件で溶解度が上昇する元素（Se、Tc、Pd、UおよびNp）の最大移行率が大きく上昇する結果となった。



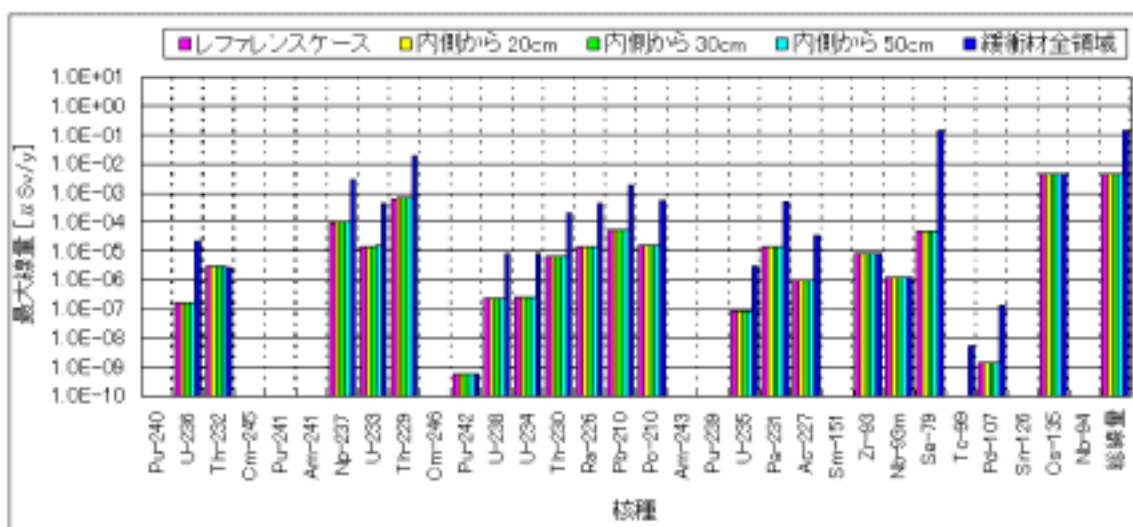
付図2 - 7 酸化フロント進展に対する感度解析(人工バリアからの核種移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-8 に示す。緩衝材全体が酸化状態になることを想定したケースのみ影響が現れ、人工バリアからの移行率が上昇した核種の移行率が大きく上昇する結果となった。また、U-234 や U-235 の娘核種は人工バリアからの移行率は変化していないが、母岩中で親核種と放射平衡となるため、親核種の移行率の上昇に伴って移行率が上昇している。なお、ガラス溶解速度の場合とは異なり、重ね合わせによる変動緩和の効果が小さく、人工バリアからの移行率の上昇が母岩からの移行率上昇の原因となっている。



付図2 - 8 酸化フロント進展に対する感度解析(母岩からの核種移行率)

最後に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-9 に示す。緩衝材全体が酸化状態になることを想定したケースの最大線量が増加し、特に Se-79 の最大線量はレファレンスケースに比べて 3 桁以上増加している。この結果、総線量に対する支配核種が Se-79 となり、総線量の最大値も増加する結果となった。



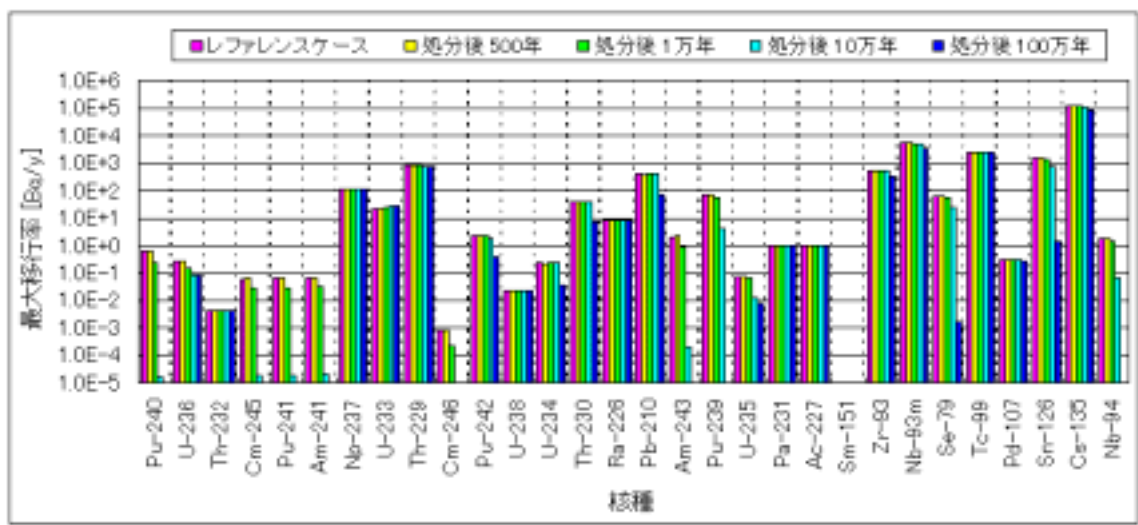
付図2 - 9 酸化フロント進展に対する感度解析(線量)

以上のように、人工バリアにおける還元条件（溶解度制限）によるバリア機能はシステム性能に大きく寄与していることが分かる。還元条件を変化させる要因として、ここでは地下水の放射線分解を想定したが、それ以外にも操業期間中に持ち込まれた酸素が確実に消費される必要があり、特に長期間坑道を開放しておいた場合の還元環境への回復時間の評価等が今後の課題と考えられる。また、緩衝材のコロイドろ過機能が喪失するような緩衝材の間隙構造の変化（大規模な流出や変形）は、溶解度制限によるバリア機能喪失と等価であり（生成した沈殿物が緩衝材中を移行する場合、評価上は溶解度制限が無い場合と同じである）、間隙構造の変化をもたらす現象の解明も今後の課題と考えられる。

インベントリ

第2次取りまとめにおいては、オーバーパックスの腐食速度の不確実性や複合オーバーパックスの使用など、オーバーパックスの破損時間の不確実性を考慮して、初期インベントリを変化させた感度解析が実施されている。

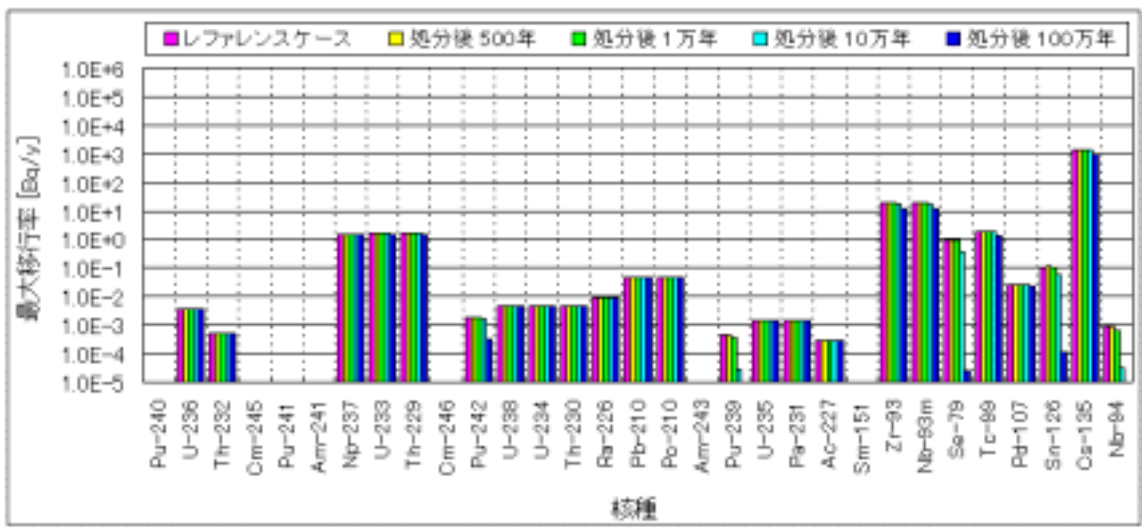
インベントリを変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図2-10に示す。半減期が比較的短い核種（Cm、Pu、Am等）を除いて、インベントリの変動は人工バリアからの移行率にほとんど影響を及ぼさない。



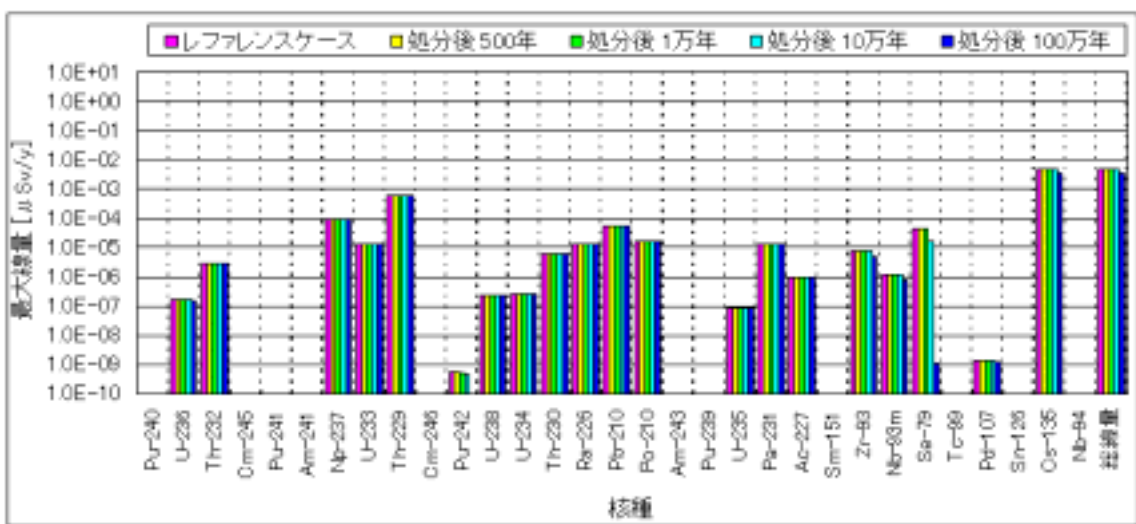
付図2 - 10 インベントリに対する感度解析(人工バリアからの移行率)

母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-11 に、断層からの移行率に基づく線量の評価結果を付図 2-12 に、それぞれ示す。人工バリアからの移行率がほとんど変化しないことから、母岩からの移行率および線量の結果もレファレンスケースとほとんど同じ結果となった。

ただし、これらの評価はレファレンスケースで想定している安全機能（低透水性、還元条件、溶解度制限、拡散、収着など）が全て働くことを前提としており、安全機能そのものが変化した場合は、インベントリ変動の影響が現れる可能性がある。特に、破損時間が短くなる場合は、高温、不飽和、強放射線場など、レファレンスケースで想定している条件とは異なる状態で核種の溶出が始まる可能性があり、レファレンスケースの成立性を確認していくことが今後の課題の一つとして挙げられる。



付図2 - 11 インベントリに対する感度解析(母岩からの移行率)



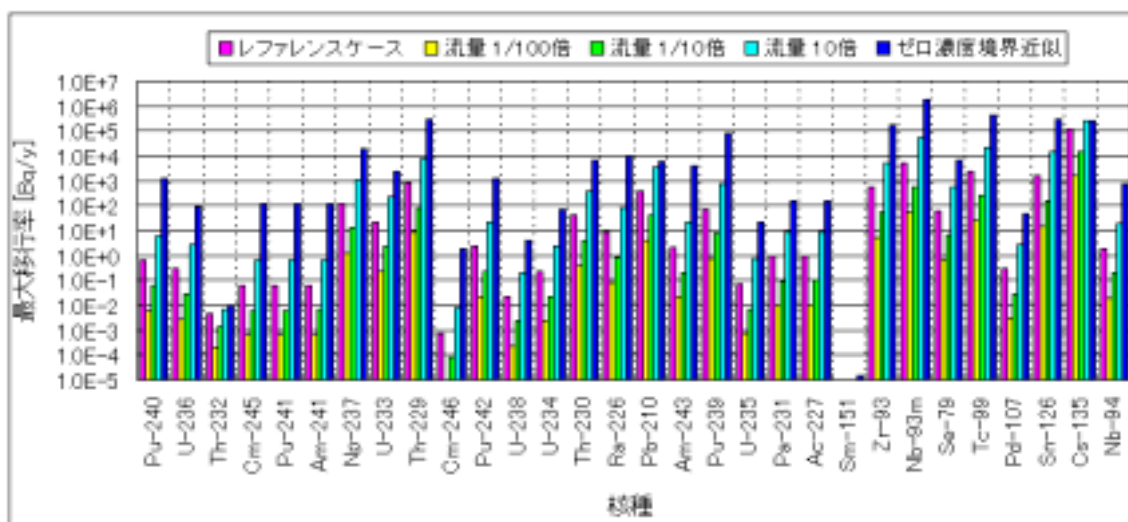
付図2 - 12 インベントリに対する感度解析(線量)

掘削影響領域通過流量

第2次取りまとめにおいては、人工バリア（緩衝材）外側での地下水流量に関して、母岩の透水性や動水勾配の不確実性、ならびに掘削影響領域の大きさやそこでの透水性の不確実性などを考慮し、掘削影響領域を通過する流量を変化させた感度解析が実施されている。

掘削影響領域の通過流量をレファレンスケースの 1/100 倍～10 倍まで変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-13 に示す。また、外側境界条件として最も保守的となるゼロ濃度境界条件を近似した結果(非常に大きな通過流量

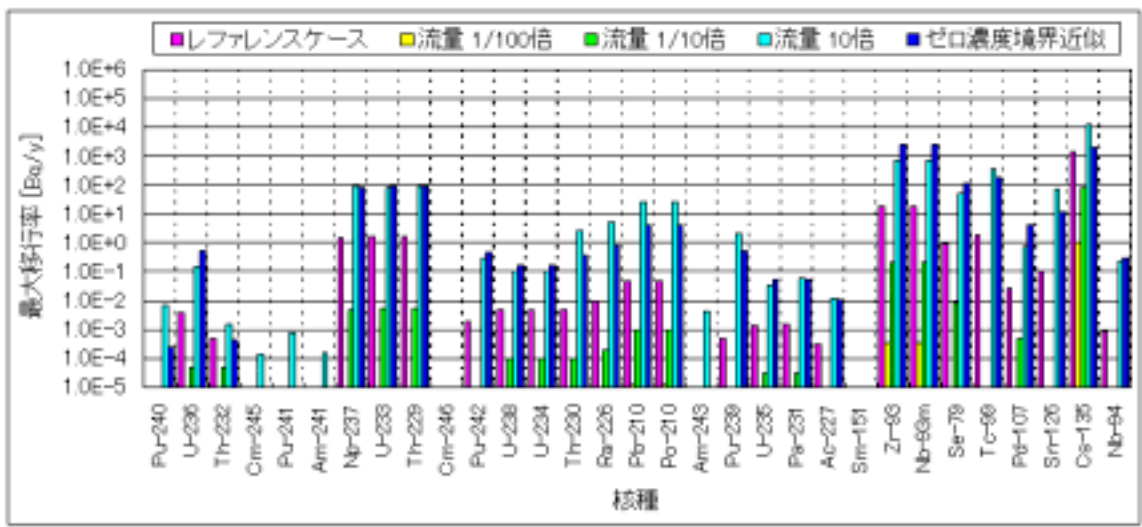
を設定した解析結果)も合わせて示す。



付図2 - 13 掘削影響領域通過流量に対する感度解析(人工バリアからの移行率)

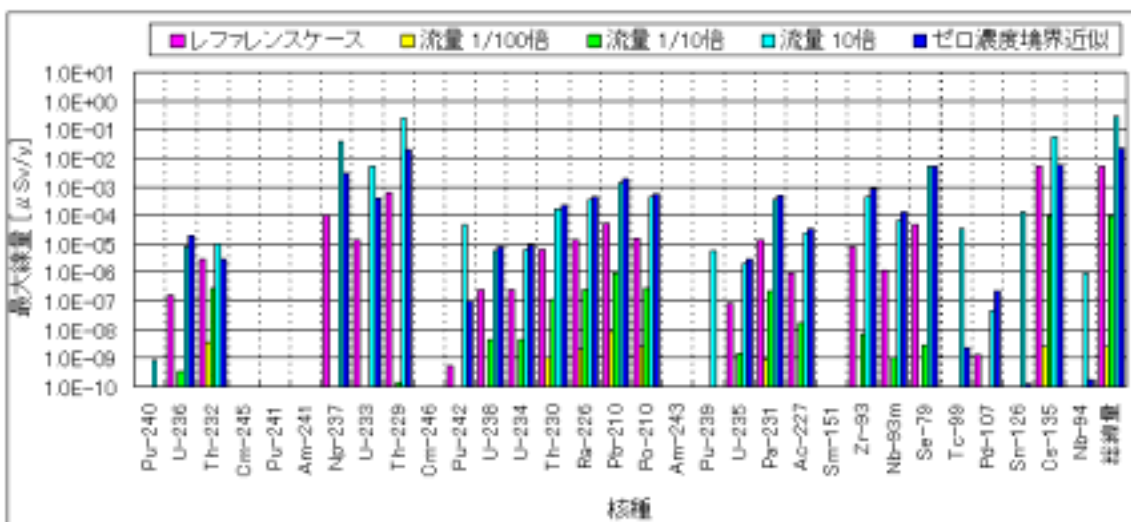
掘削影響領域の通過流量は人工バリア(緩衝材)外側における濃度を規定することから、これに応じて人工バリア中の核種の濃度勾配が変化する。このため、掘削影響領域の通過流量が変化すると全核種の移行率が変化することになる。ただし、通過流量が大きくなると最終的にある移行率に収束するようになり、この移行率は外側境界条件がゼロ濃度境界条件の場合の移行率に相当する(第2次取りまとめ分冊3の図6.1.2.1-3参照)。図に示したように、掘削影響領域の通過流量は全ての核種の移行率に比例的な影響を及ぼしていることから、人工バリア中の核種移行評価において最も影響が大きいパラメータの一つである。したがって、掘削影響領域の精緻なモデル化とそれに基づく流量評価は今後の研究開発課題と考えられる。

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図2-14に示す。ここでは、掘削影響領域の通過流量に応じて、母岩中の地下水流速も1/100倍～10倍まで変化させている。ただし、ゼロ濃度境界近似の場合はレファレンスケースと同じ流速を使用した。母岩中の地下水流速を変化させたことから、全ての核種において、最大移行率はレファレンスケースの結果に比べて2桁以上変化しており、人工バリアからの移行率の変動幅よりも大きくなった。



付図2 - 14 掘削影響領域通過流量に対する感度解析(母岩からの移行率)

最後に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-15 に示す。母岩の場合と同様に、通過流量に応じて、断層中の地下水流速を 1/100 倍から 10 倍まで変化させた。このため、全ての核種において、レファレンスケースに比べて線量が大きく変化している。また、掘削影響領域の通過流量と天然バリア中の地下水流束が小さいケースでは総線量の支配核種は Cs-135 であり、流量および流速が大きくなると 4N+1 系列が支配核種となる。



付図2 - 15 掘削影響領域通過流量に対する感度解析(線量)

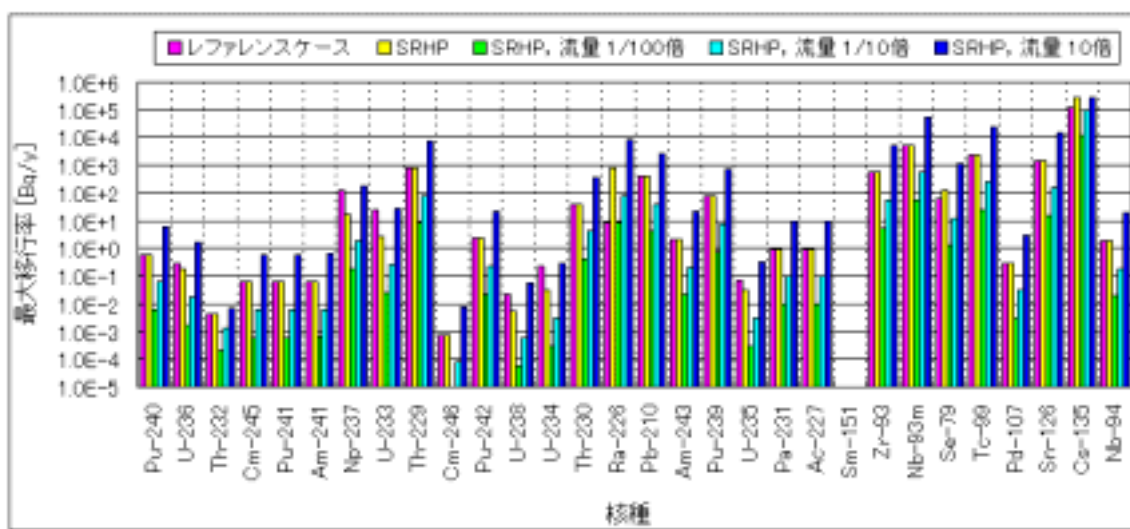
以上のように、岩盤の透水性は掘削影響領域の通過流量と天然バリア（母岩，断層）の地下水流束を同時に変化させる要因であり，人工バリアと天然バリアからなるマルチ

バリア全体の性能を左右する共通要因である。

地下水組成

地質環境の多様性を考慮し、地下水組成として海水系地下水（SRHP）を想定し、さらに岩盤の透水性や動水勾配の不確実性を考慮して、掘削影響領域の通過流量および岩盤中の地下水流速を変化させた感度解析が実施されている。

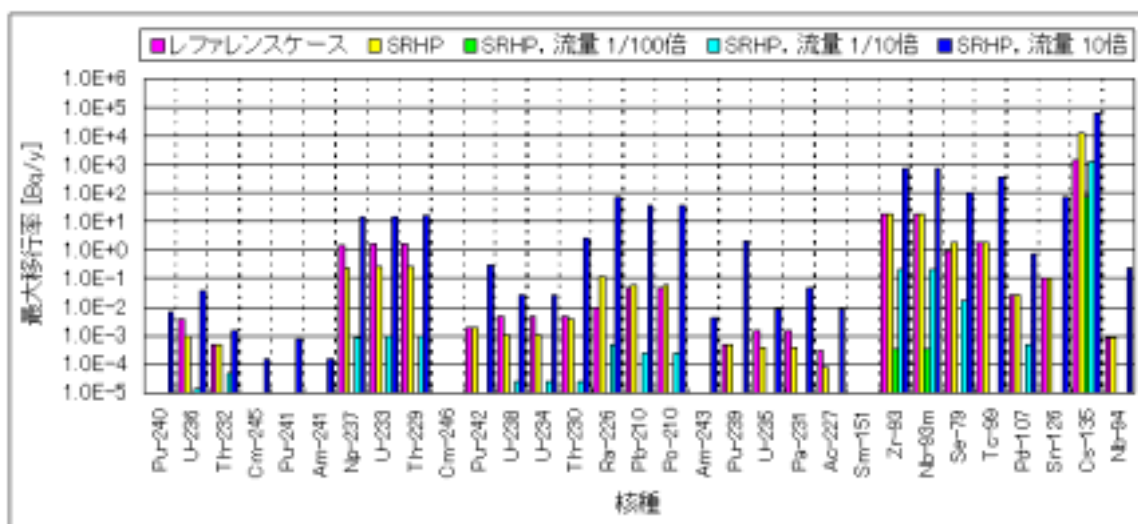
地下水組成および掘削影響領域の通過流量を変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-16 に示す。地下水組成が海水系に変化したことにより、レファレンスケースに比べて溶解度が低下した Np や U の移行率は小さくなり、逆に溶解度が上昇した Se の移行率は大きくなっている。また、Cs は分配係数が小さくなったことから、移行率がレファレンスケースよりも大きくなっている。掘削影響領域の通過流量の変化に対しては、前記と同様に、流量の変動に比例して移行率が変化している。



付図2 - 16 地下水組成と掘削影響領域通過流量に対する感度解析
(人工バリアからの移行率)

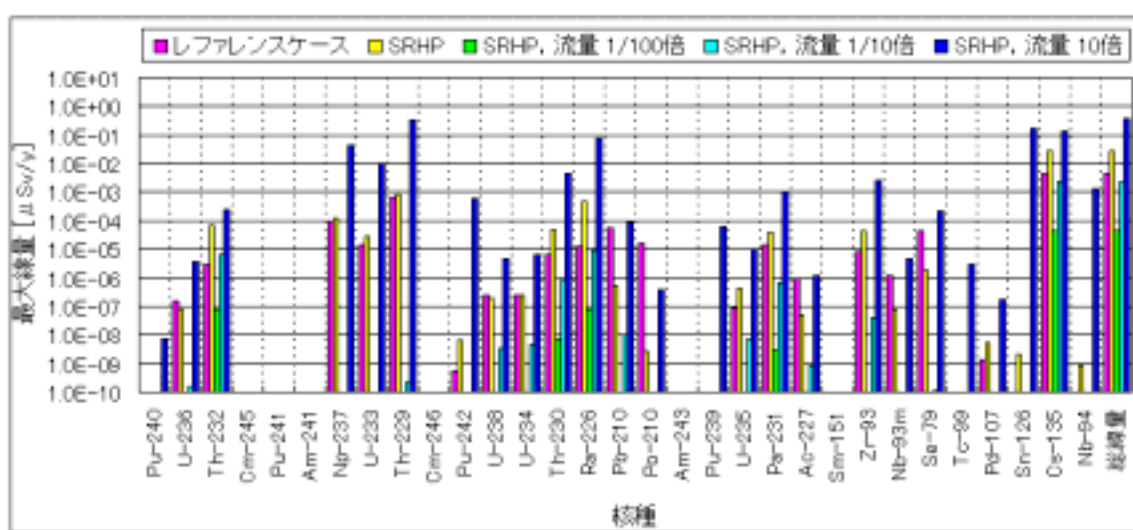
次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-17 に示す。ここでは、掘削影響領域の通過流量に応じて、母岩中の地下水流速も合わせて変化させている。地下水組成の変化に関しては、人工バリアの移行率と同様に、Np や U の最大移行率がレファレンスケースよりも小さくなり、Se や Cs の最大移行率はレファレンスケースよりも大きくなった。また、Cs-135 に関しては、通過流量が 1/10 倍のケースの最大移行率がレファレンスケースとほぼ等しくなった。これは、海水系の分配係数が低下したことによる遅延

効果の低下と、母岩中の地下水流速の低下による遅延効果の増大が相殺されたためである。



付図2 - 17 地下水組成と掘削影響領域通過流量に対する感度解析(母岩からの移行率)

最後に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-18 に示す。ここでは、掘削影響領域の通過流量に応じて、断層中の地下水流速を変化させている。また、海水系地下水を対象としていることから、GUI を沿岸海域堆積層とし、線量への換算係数は沿岸海域堆積層 / 平野モデルの海洋漁業グループに対する値を使用している。このため、断層からの移行率が変動するだけでなく、線量への換算係数によっても線量が変化する。海水系の結果とレファレンスケースの結果を比較すると、総線量の支配核種である Cs-135 に関しては、断層からの移行率はレファレンスケースに比べて 1 桁上昇するが、線量への換算係数が小さくなるため、最大線量は数倍程度の増加にとどまる。



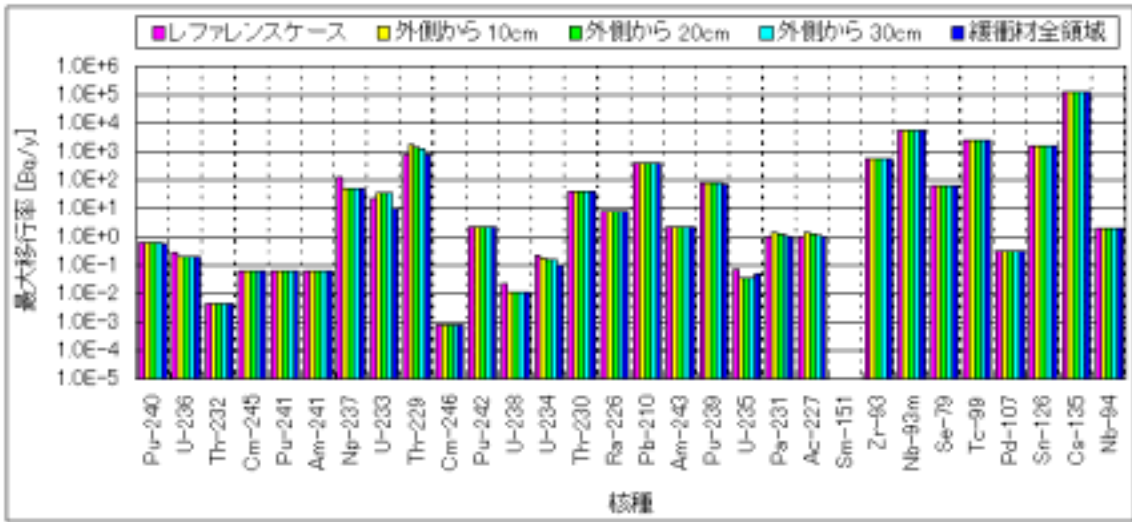
付図2 - 18 地下水組成と掘削影響領域通過流量に対する感度解析(線量)

コンクリート製支保の影響

軟岩系の堆積岩の場合、空洞の力学的安定性を確保するために支保工を必要とする。支保工としてコンクリートを用いた場合、コンクリートと反応した地下水が緩衝材に浸透し、緩衝材間隙水の組成を変化させる。第2次取りまとめにおいては、低アルカリ性コンクリートとの反応を考慮した間隙水組成と、その組成に対する溶解度、分配係数、拡散係数を用いた評価が行われている。

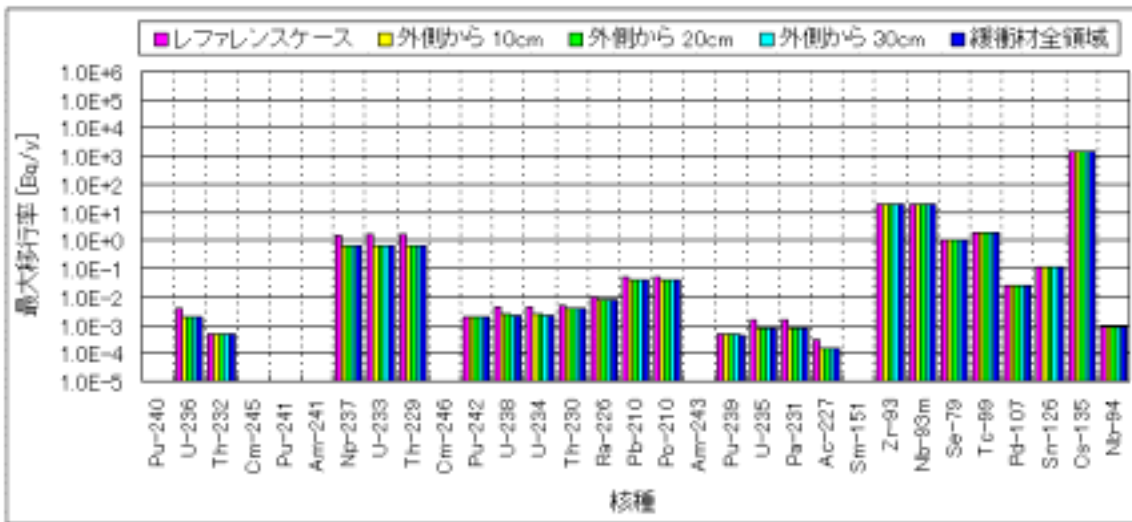
感度解析は緩衝材領域を2つに分割し、内側の領域には降水系間隙水(レファレンスケース)に対する移行データを設定し、外側の領域にはコンクリートと地下水の反応を考慮した間隙水(以下、コンクリート反応間隙水)に対する移行データを設定し、コンクリート反応間隙水の設定領域(緩衝材外側からの距離)を変化させて実施されている。なお、天然バリア中の評価はレファレンスケースのデータを使用している。

人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図2-19に示す。コンクリート反応間隙水に対する溶解度がレファレンスケースよりも低下したNpおよびUについては、溶解度の低下に応じて移行率が小さくなっている。また、緩衝材への浸潤距離(コンクリート反応間隙水の設定領域)の違いによる移行率の差は、ほとんどない。これは、掘削影響領域の通過流量が小さいため、緩衝材中の濃度勾配が非常に緩やかとなり、浸潤距離による濃度勾配の差がほとんどないためである。なお、掘削影響領域の通過流量が大きくなると、浸潤範囲に応じて濃度勾配に差が現れるため、移行率が変化することが想定される。

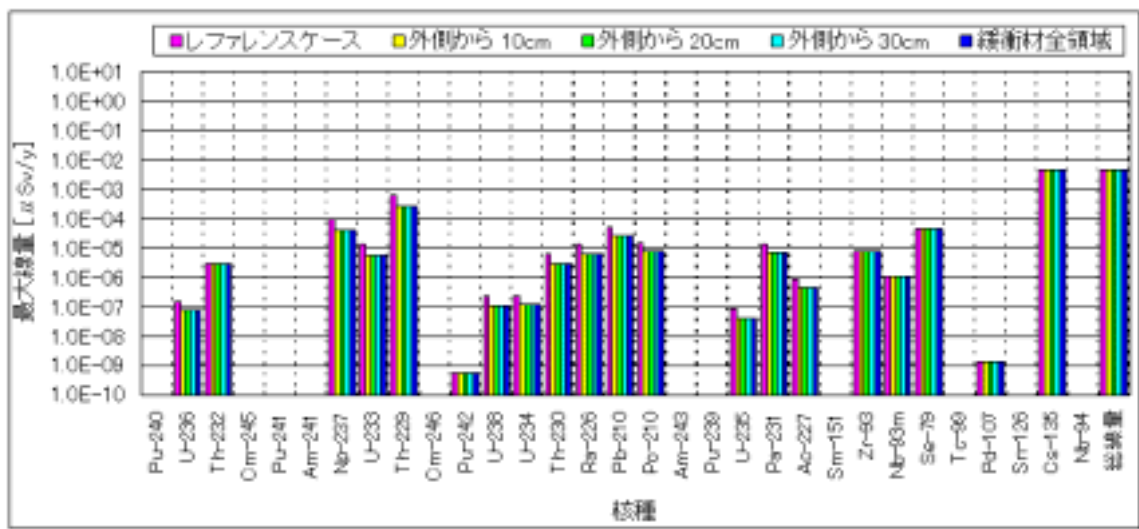


付図2 - 19 コンクリート支保に対する感度解析(人工バリアからの移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-20 に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-21 に、それぞれ示す。レファレンスケースに対して、人工バリアからの移行率が変化した Np および U とその娘核種の移行率と線量が変動している。総線量の支配核種は Cs-135 であり、コンクリート反応間隙水に対する Cs-135 の移行パラメータはレファレンスケースと同じため、総線量は全く変化しない。



付図2 - 20 コンクリート支保に対する感度解析(母岩からの移行率)

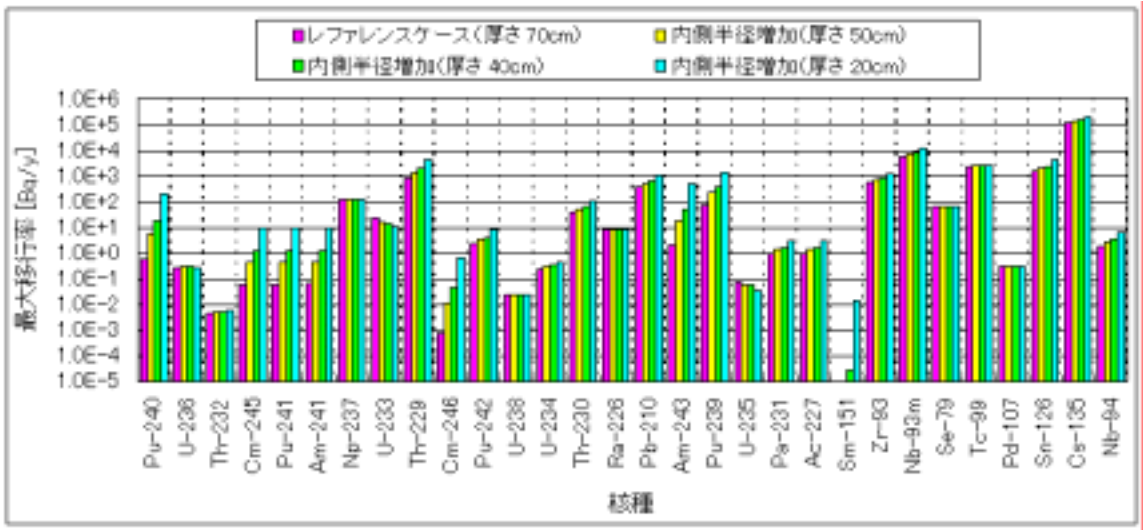


付図2 - 21 コンクリート支保に対する感度解析(線量)

緩衝材内側半径

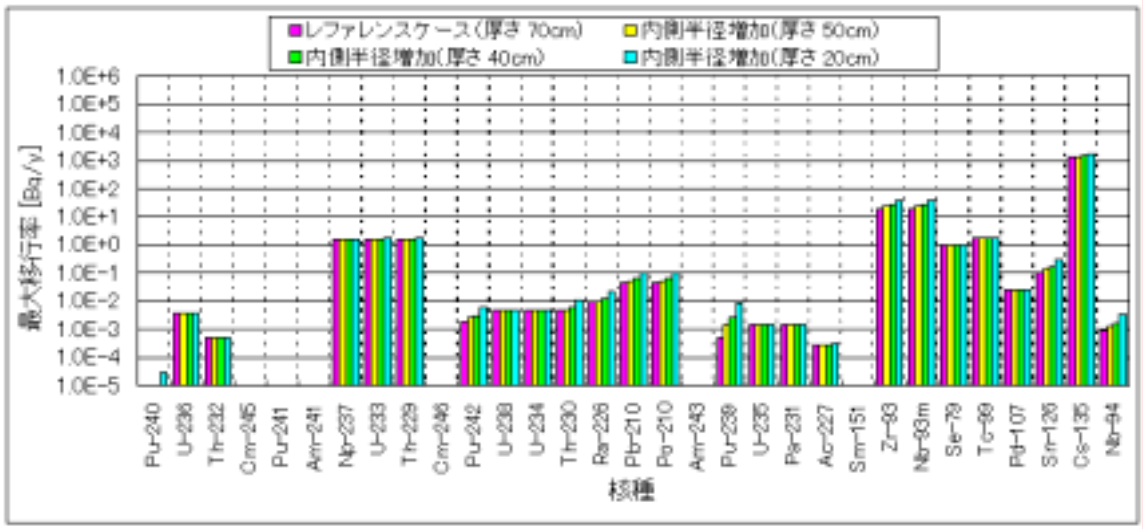
オーバーパックの設計厚さが変更されたり、処分後のオーバーパックの腐食膨張などによって緩衝材の内側半径が増加することを想定し、緩衝材内側半径を変化させた感度解析が実施されている。なお、ここでは、緩衝材の乾燥密度やケイ砂混合率などの物性値はレファレンスケースと同じであるとし、厚さ（拡散距離）のみを変化させている。

緩衝材内側半径を変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-22 に示す。緩衝材厚さの減少は半減期が 1 万年未満の核種（例えば、Pu-240、Cm-245、Am-241 等）の移行率に対して大きな影響を及ぼす。これらの核種は、緩衝材への収着による移行遅延によって緩衝材中で崩壊・減衰するため、緩衝材厚さの減少による移行率への影響が顕著に現れる。

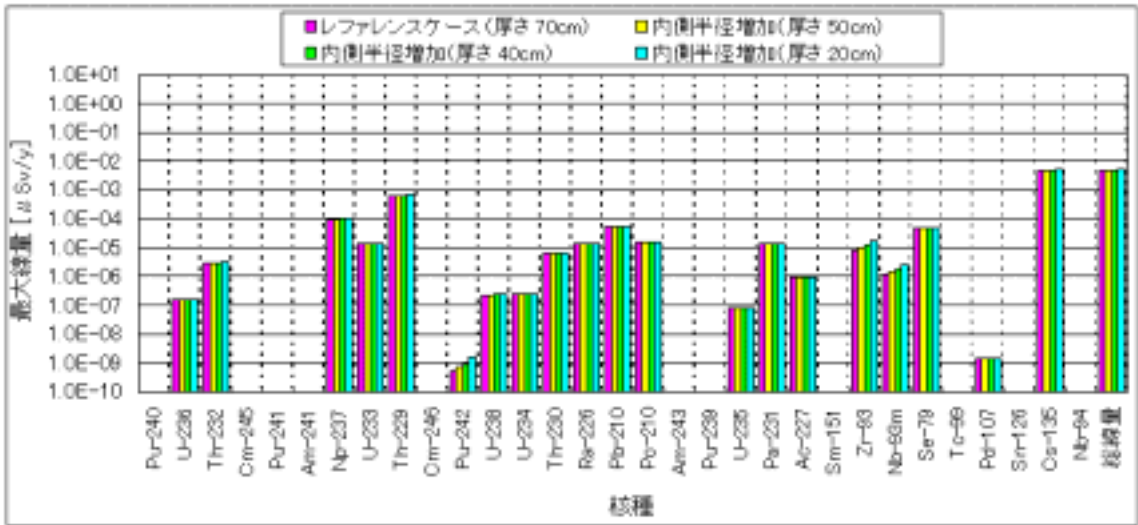


付図2 - 22 緩衝材内側半径に対する感度解析(人工バリアからの核種移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-23 に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-24 に、それぞれ示す。人工バリアからの移行率が顕著に変化した半減期の短い核種については、天然バリア(母岩)中で大きく減衰するため、移行率や線量には現れていない。それ以外の半減期の長い核種については、緩衝材厚さの変動に応じて移行率が僅かに変化するだけであり、線量への影響も小さい。



付図2 - 23 緩衝材内側半径に対する感度解析(母岩からの核種移行率)

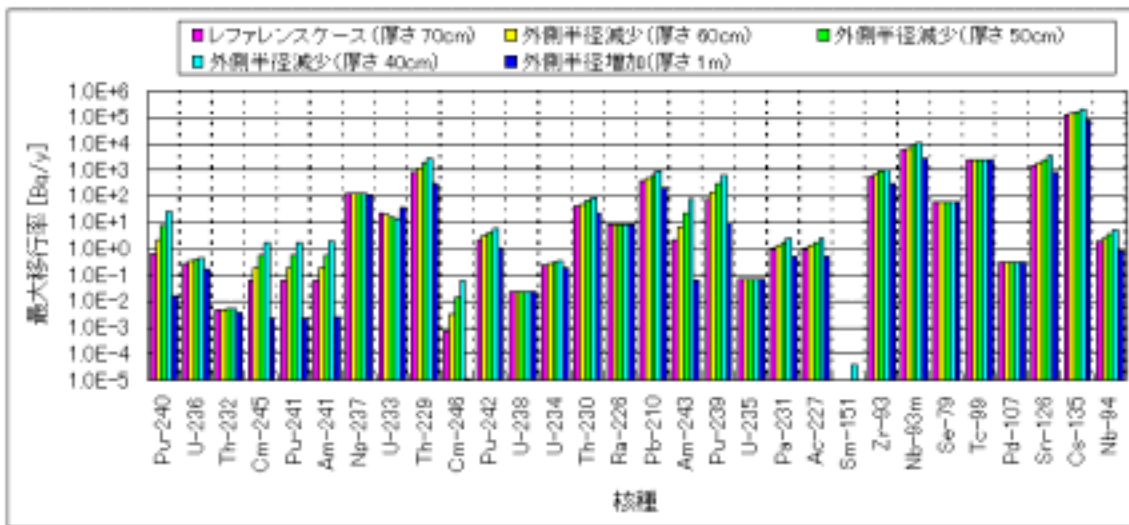


付図2 - 24 緩衝材内側半径に対する感度解析(線量)

緩衝材外側半径

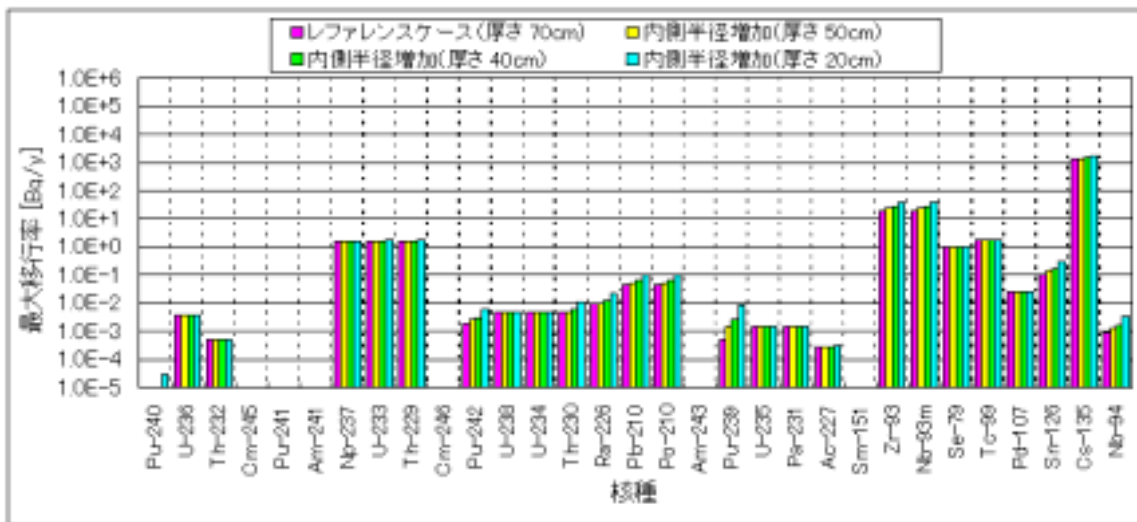
緩衝材の設計厚さが変更された場合を想定し、緩衝材外側半径を変化させた感度解析が実施されている。なお、緩衝材の乾燥密度やケイ砂混合率などの物性値はレファレンスケースと同じであり、厚さ（拡散距離）のみを変化させている。

緩衝材外側半径を変化させた場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-25 に示す。前記 緩衝材内側半径の場合と同様に、緩衝材厚さの変化は半減期が 1 万年未満の核種（例えば、Pu-240、Cm-245、Am-241 等）の移行率に対して大きな影響を及ぼす。なお、緩衝材厚さが増加した場合は、半減期が 1 万年を超える核種（例えば、Th-230、Sn-126、Cs-135 等）の移行率も小さくなっている。

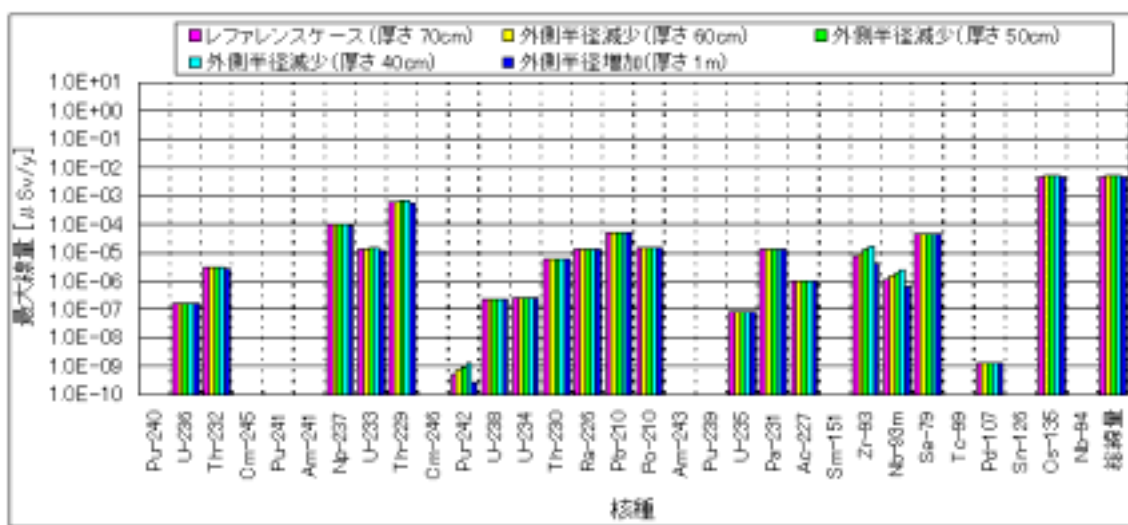


付図2 - 25 緩衝材外側半径に対する感度解析(人工バリアからの核種移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-26 に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-27 に、それぞれ示す。人工バリアからの移行率が顕著に変化した半減期の短い核種については、天然バリア(母岩)中で大きく減衰するため、移行率や線量にはその影響が現れない。それ以外の半減期の長い核種については、緩衝材厚さの変動に応じて移行率が僅かに変化するだけであり、線量への影響も小さい。



付図2 - 26 緩衝材外側半径に対する感度解析(母岩からの核種移行率)



付図2 - 27 緩衝材外側半径に対する感度解析(線量)

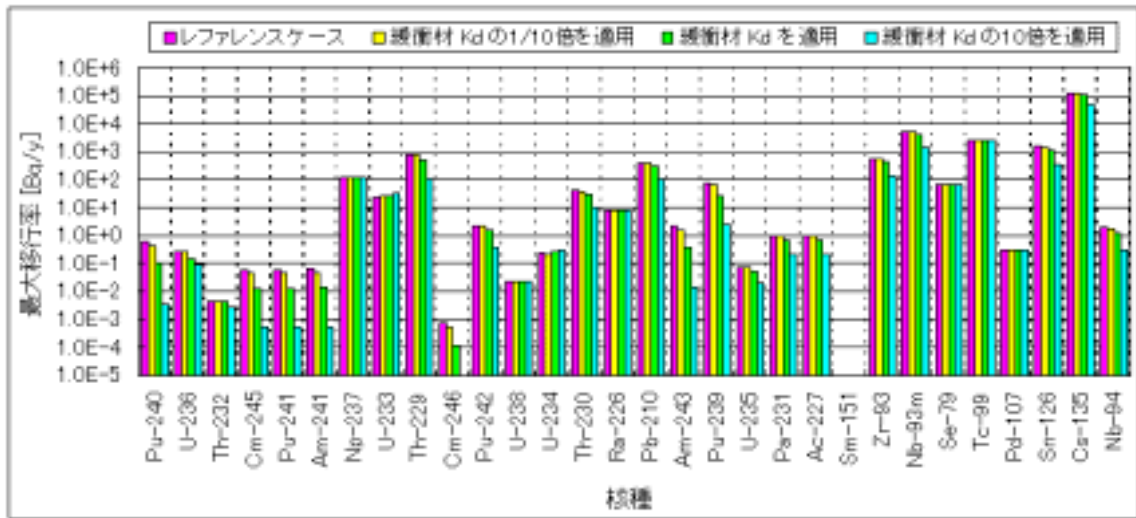
前記 項の結果と合わせて、緩衝材厚さの変動は線量に対してほとんど影響を及ぼさない結果となっている。これは、項でも述べたが、掘削影響領域の通過流量が小さいため、緩衝材中の濃度勾配が非常に緩やかとなり、緩衝材厚さによる濃度勾配の差がほとんどないためである。なお、掘削影響領域の通過流量が大きくなると、緩衝材厚さに応じて濃度勾配に差が現れるため、移行率が変化することが想定される。したがって、ここでの結果をもって、緩衝材厚さを任意に設定することはできない。

腐食生成物層中の移行

レファレンスケースにおいては、オーバーパックスの腐食によって形成された腐食生成物層は、移行評価上モデル化していない。一方、モデル変更ケースにおいて、腐食生成物層での核種の移行と収着による遅延効果を考慮した解析が実施されている。

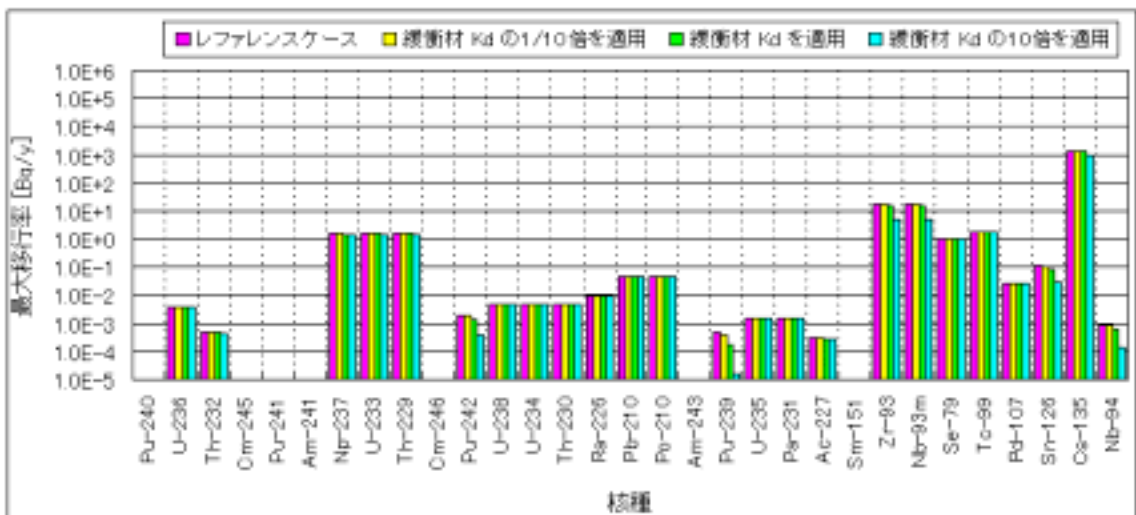
感度解析は、緩衝材領域の内側にオーバーパックス腐食生成物層（均質多孔質媒体）を設定し、腐食生成物層中の核種移行については、緩衝材中の移行プロセスと同様に、拡散、収着、および沈殿／溶解を考慮した。なお、腐食生成物への分配係数は緩衝材への分配係数を±1桁の範囲で設定した。

オーバーパックス腐食生成物中の移行を考慮した場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-28 に示す。半減期が比較的短い核種の移行率がレファレンスケースに比べて低下する結果となった。

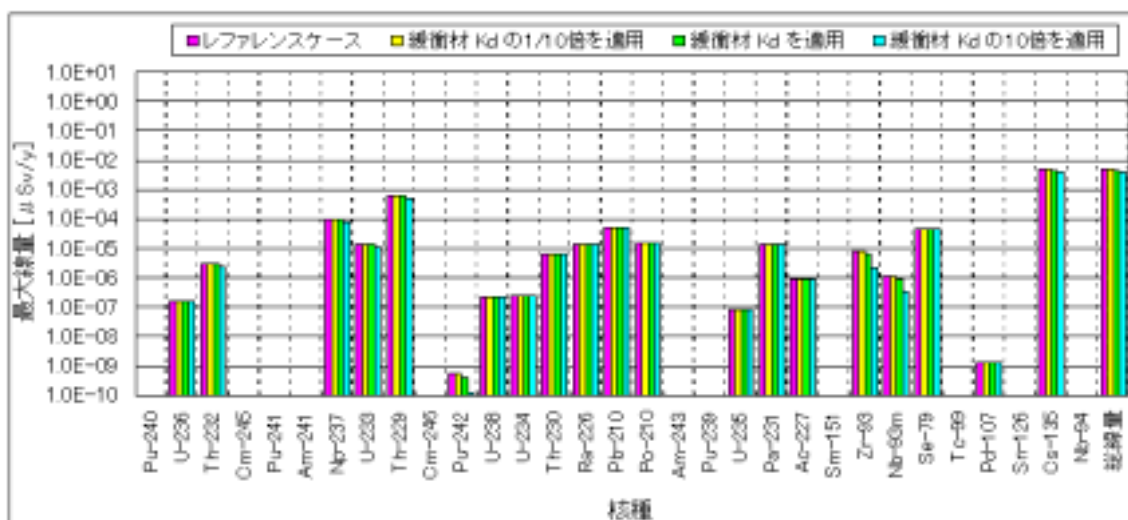


付図2 - 28 腐食生成物層中の核種移行に関する感度解析(人工バリアからの移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-29 に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-30 に、それぞれ示す。人工バリアからの移行率が顕著に変化した半減期の短い核種については、天然バリア(母岩)中で大きく減衰するため、移行率や線量にはその影響が現れない。それ以外の半減期の長い核種については、腐食生成物への分配係数に応じて移行率が僅かに変化するだけであり、線量への影響も小さい。



付図2 - 29 腐食生成物層中の核種移行に関する感度解析(母岩からの移行率)



付図2 - 30 腐食生成物層中の核種移行に関する感度解析(線量)

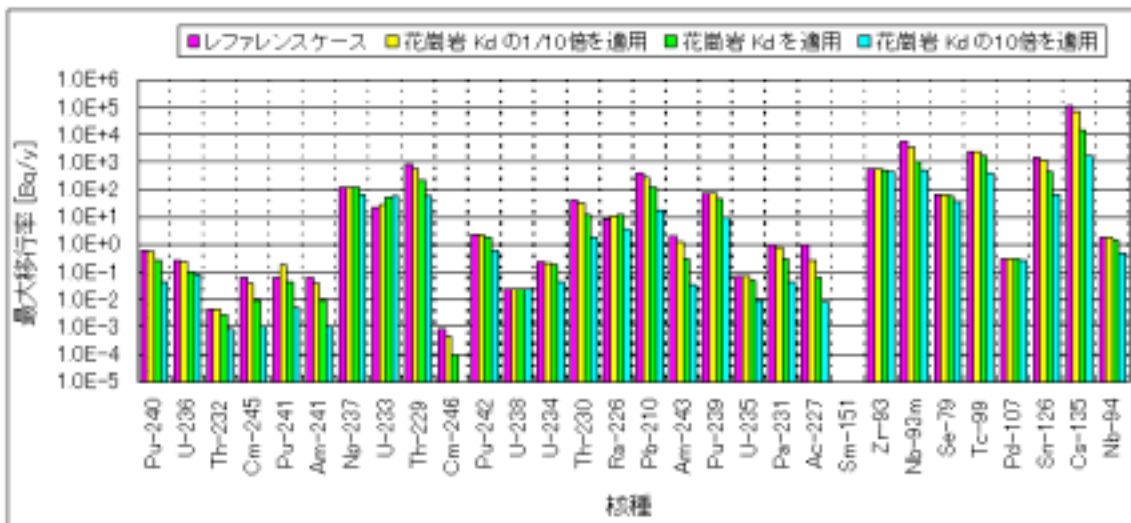
腐食生成物層中の移行を考慮することは人工バリア中の拡散距離を長くすることと等価であり、緩衝材厚さの増加と同様の効果をもたらす。前記 項で述べたように、掘削影響領域の通過流量など、他の移行パラメータが変化することにより、ここで示した感度解析の結果も変化することに注意が必要である。

掘削影響領域中の収着

レファレンスケースにおいては、掘削影響領域は瞬時混合領域として扱われており、核種の収着については考慮していない。一方、モデル変更ケースにおいて、掘削影響領域内の岩盤への収着を考慮した解析が実施されている。

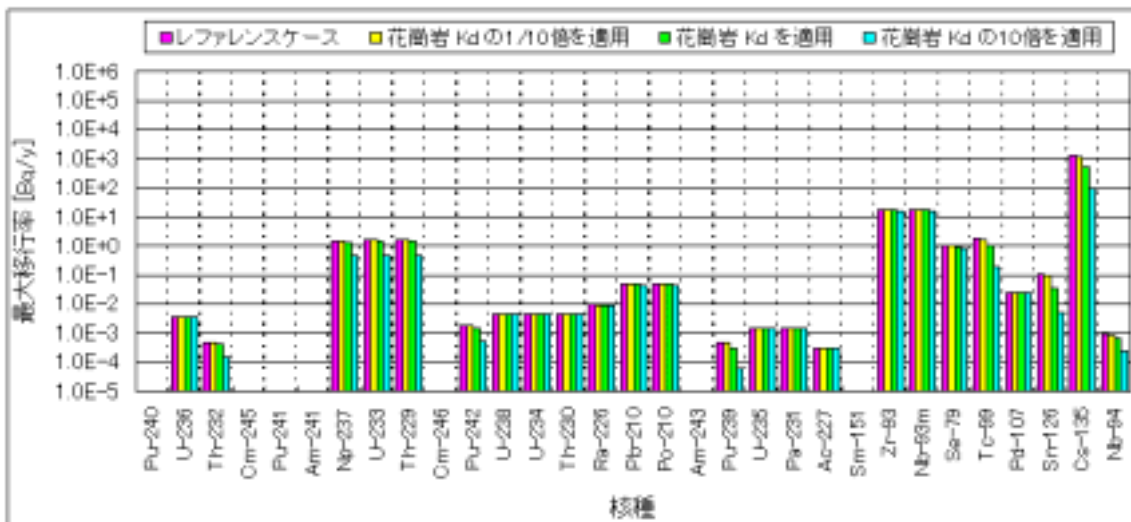
感度解析は、掘削影響領域を多孔質媒体として取り扱い、空隙率および分配係数（花崗岩に対する分配係数の ± 1 桁）を設定して収着をモデル化して実施した。ただし、掘削影響領域内の濃度勾配（拡散）は考えていない。

掘削影響領域での収着を考慮した場合の、人工バリアから母岩への核種の最大移行率を付図 2-31 に示す。レファレンスケースに比べて、ほとんど全ての核種で、移行率が小さくなった。これは、収着により掘削影響領域中の液相濃度が低下し、母岩へ持ち去られる核種量が減少したことが主な原因と考えられる。

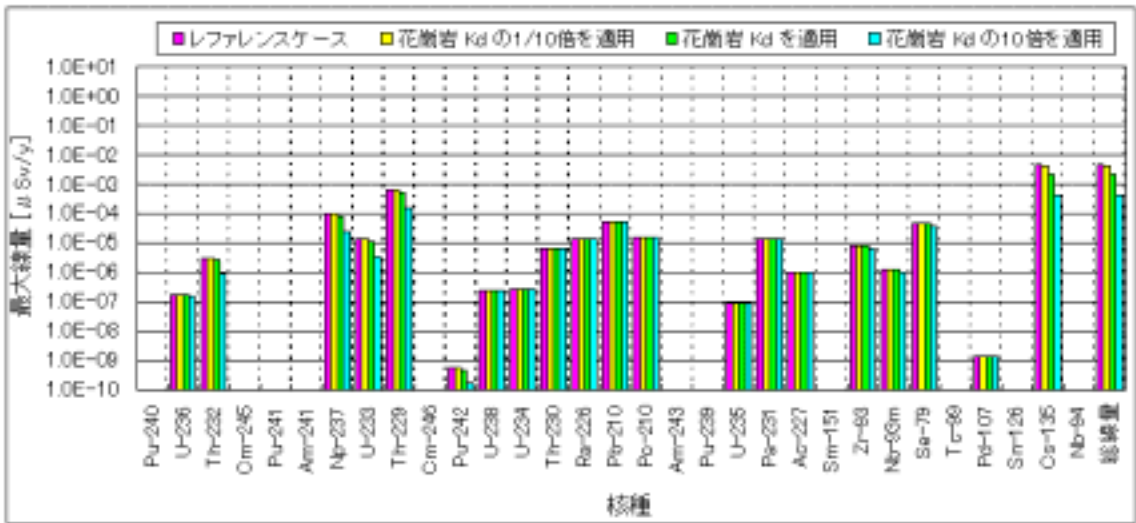


付図2 - 31 掘削影響領域の収着に関する感度解析(人工バリアからの移行率)

次に、母岩から断層への核種の最大移行率を付図 2-32 に、断層からの移行率を線量に換算した結果を付図 2-33 に、それぞれ示す。人工バリアからの移行率の変動に応じて、母岩からの移行率および線量が同様に変化している。総線量の支配核種はいずれの場合も Cs-135 であり、人工バリアからの Cs-135 の移行率の低下に応じて、総線量の最大値も減少する結果となった。



付図2 - 32 掘削影響領域の収着に関する感度解析(母岩からの移行率)



付図2 - 33 掘削影響領域の収着に関する感度解析(線量)

掘削影響領域中の核種移行評価に関しては， 項で述べた通過流量の影響だけでなく， 収着特性についても線量に影響を及ぼす。したがって，掘削影響領域の地下水流動特性や収着特性に関しては，現象理解に基づく精緻なモデル化とそれに基づく移行評価が今後の課題と考えられる。

付録3 操業時の開放坑道を考慮した予備的熱解析

1. 概要

第2次取りまとめにおける処分場の温度評価は、40,000本のガラス固化体が同時に埋設され、かつ埋め戻しされるという保守的な解析を行い、オーバーパック外表面（緩衝材内側）の最高到達温度が100℃以下になるように、占有面積（廃棄体埋設ピッチと坑道離間距離）を決定している。

一方、処分場の操業期間（40年～50年程度）を考慮すると、全ての坑道が一度に定置・埋め戻しされることはなく、オーバーパックを定置した坑道に隣接する坑道が開放されている状況が考えられる。このため、隣接する開放坑道にガラス固化体からの熱が放散され、緩衝材の最高到達温度が低くなる。ここでは、開放坑道による冷却の効果を確認するため予備解析（2次元）を行い、緩衝材最高温度を概略的に評価した。

2. 解析条件

(1) 定置条件

初期条件（地温）が厳しくなる処分深度1000m（結晶質岩）を対象とし、廃棄体の埋設ピッチおよび坑道離間距離は、第2次取りまとめのレファレンスケースに基づいて評価した。定置方式としては、縦置きの場合、処分孔上部の処分坑道を開放しておくことが可能なため、熱放散の効果が大きい。横置きの場合は、定置と処分坑道の埋め戻しが同時に行われることを考えると厳しい条件となるため、ここでは横置き定置を対象とした。

付表3-1 廃棄体の定置条件

岩種	深度	定置方式	廃棄体埋設ピッチ	坑道離間距離
結晶質岩	1,000 m	横置き	3.13 m	13.32 m

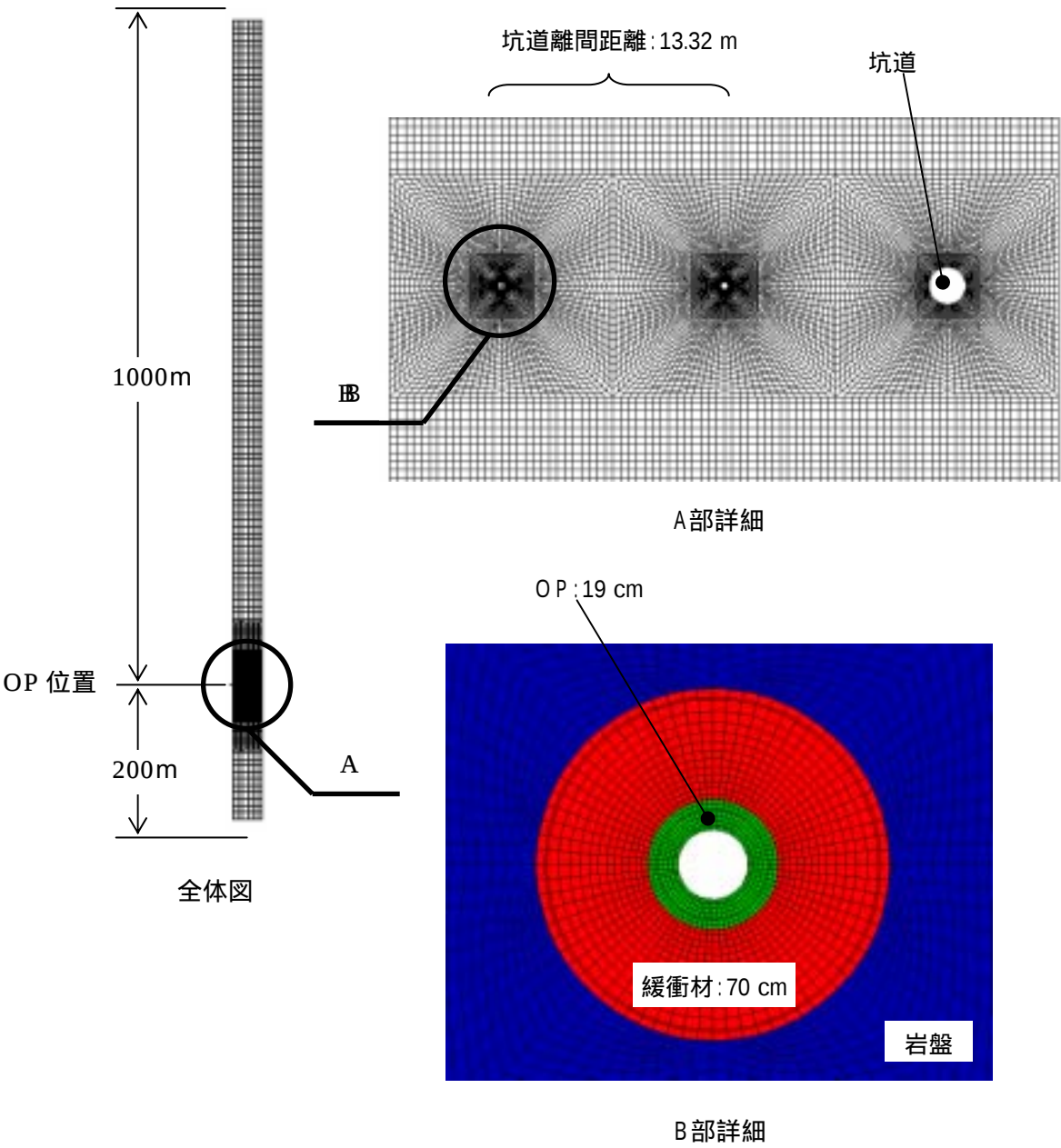
(2) 解析コード

ABAQUS Ver6.2

(3) 解析モデル

解析モデル（2次元）を付図3-1に示す。廃棄体が埋設された坑道2本と、埋設前の開放坑道1本を対象として、2Dソリッド要素にて作成した。X方向は39.96m（坑道離間距離13.2m×3）、Z方向は1.35m（オーバーパックの内側高さ）、Y方向は1,200mの短冊形状にモデル化した。

また，解析に使用した材料物性値を付表 3-2 に示す。



付図3 - 1 解析モデル図

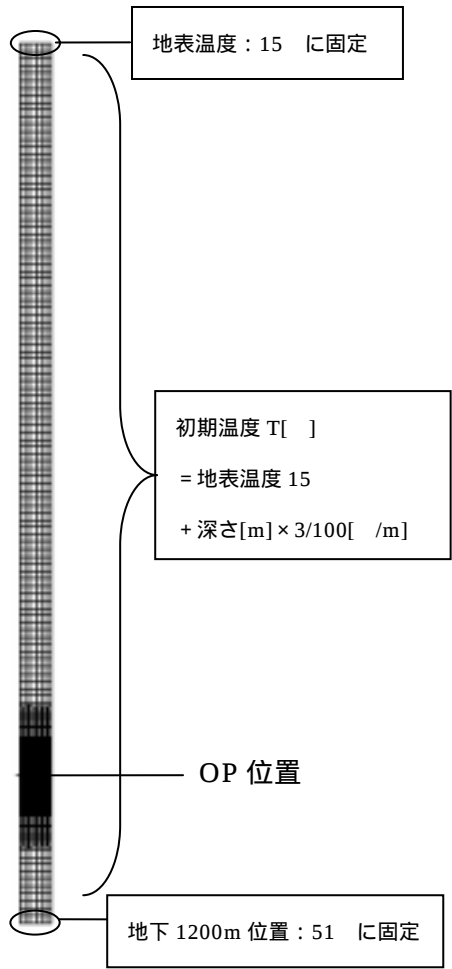
付表3 - 2 材料物性値(温度 300 K の値)

材料名	熱伝導率 [W/(m・K)]	比熱 [kJ/(kg・K)]	密度 [kg/m ³]
炭素鋼	51.6	0.47	7860
緩衝材	0.78	0.59	1712
埋め戻し材	0.78	0.59	1712
岩盤 (1000 m)	2.8	1.0	2670

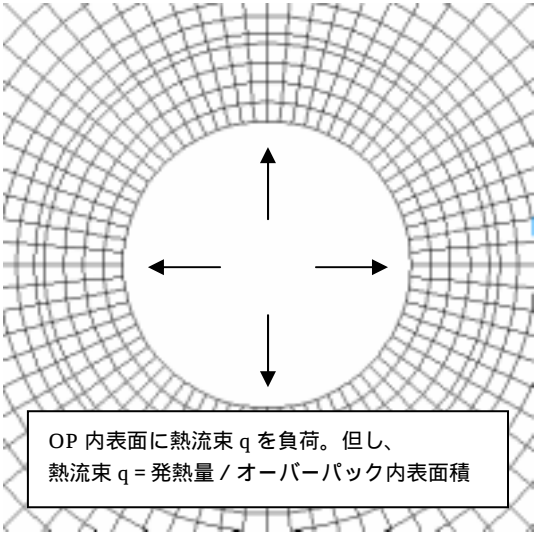
(4) 初期条件および境界条件

解析条件をまとめて付図 3-2 に示す。地温勾配 (3 /100 m) に基づいて、初期温度を設定した。(オーバーパックおよび緩衝材の初期温度も岩盤の初期温度と同じとした。)

境界条件は、地表および地下 1,200 m 地点の温度を固定し、それ以外は断熱境界とし、オーバーパック内表面にガラス固化体の発熱量に応じた熱流束を与えた。ここで、熱流束はガラス固化体の発熱量をオーバーパックの内側表面積で除して求めた。ガラス固化体の発熱量を付図 3-3 に示す。また、開放坑道に関しては、地下施設に換気・排気設備が設置されることを考慮し、30 の空気が流速 0.5 m/s で流れているものとした(熱伝達率は、伝熱工学資料第 3 版 円管内乱流の式により計算して与えた)。



全体図

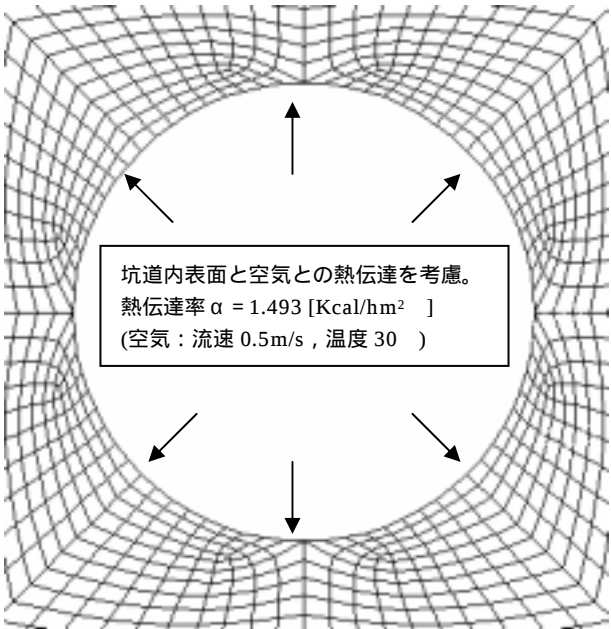


OP 内表面詳細図

坑道内熱伝達率算出用物性値

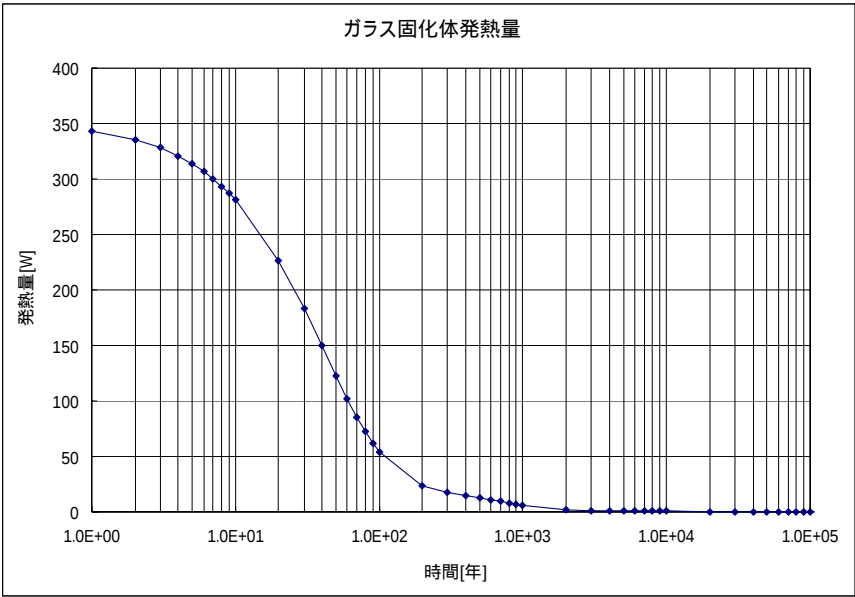
坑道の直径 $d [\text{m}]$	2.22
空気の温度 $[^{\circ}\text{C}]$	30
空気の流速 $\omega [\text{m/s}]$	0.5
空気の動粘性係数 $\nu [\text{m}^2/\text{s}]$	0.1655×10^{-4}
空気の熱伝導率 $\lambda [\text{kcal}/\text{mh } ^{\circ}\text{C}]$	0.02275
空気のプラントル数 Pr	0.71
$Re = \omega d / \nu$ 、 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ $\alpha = \lambda Nu / d$	

空気の物性値は伝熱工学資料 第3版による



坑道内表面詳細図

付図3 - 2 解析条件

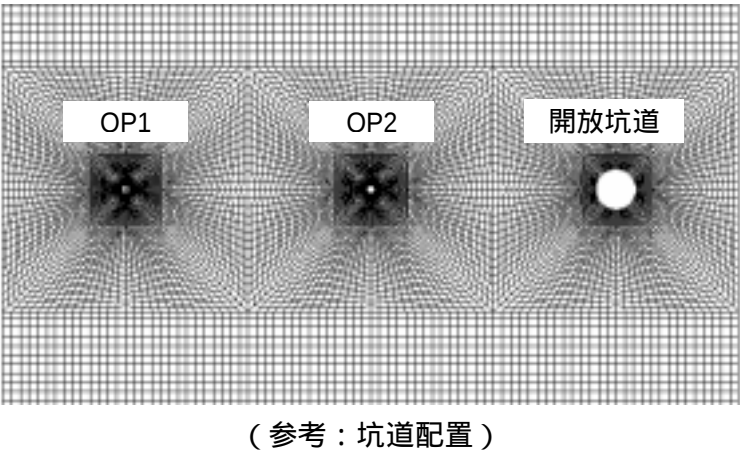
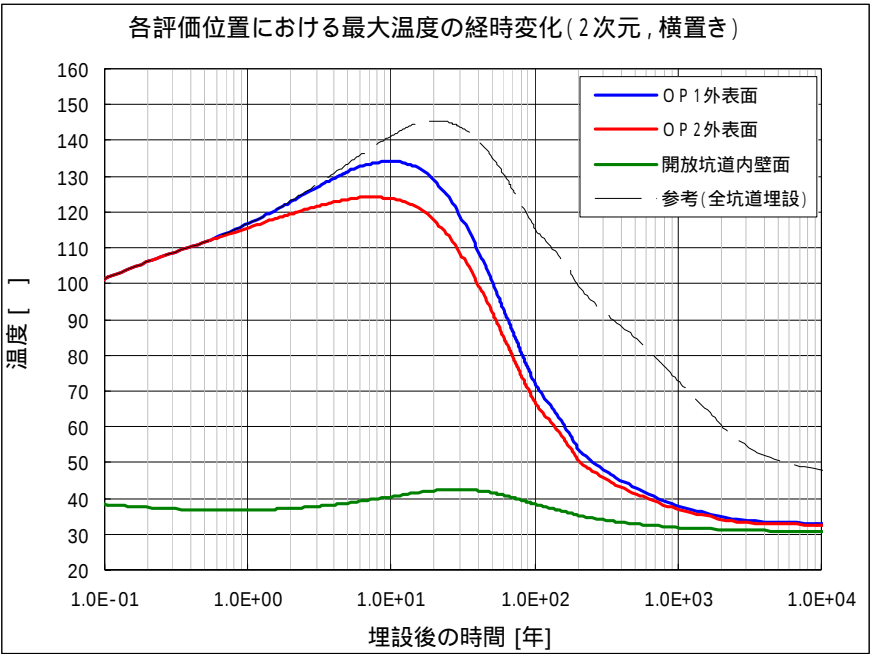


付図3 - 3 ガラス固化体の発熱量 (JNFL 固化体, 貯蔵期間 50 年)

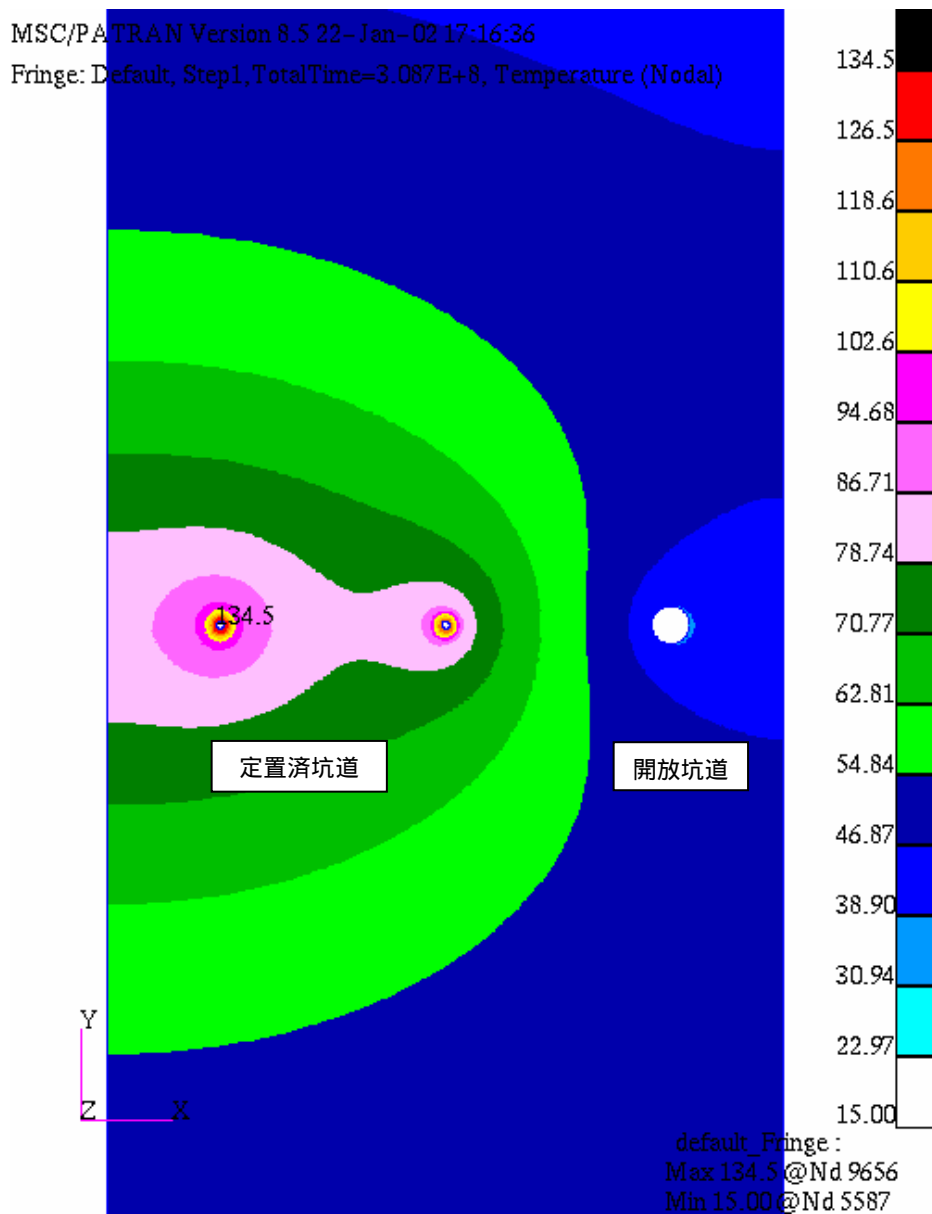
3. 解析結果

緩衝材内側（オーバパック外表面）の温度の経時変化を付図 3-4 に示す。また，最高温度到達時点（埋設後約 10 年後）の温度分布を付図 3-5 に示す。

付図 3-4 には，第 2 次取りまとめと同様に全坑道が埋設された条件での解析結果を合わせて示している。レファレンスケースと同じ条件ではあるが，2 次元解析のため最高到達温度は 100 を超える結果となっている。全埋設条件の最高到達温度に比べて，開放坑道を考慮することにより，すぐ隣の坑道（OP2）で約 20 ，その隣の坑道（OP1）で約 10 程度低下することが分かる。



付図3 - 4 オーバーパック外表面(緩衝材内側)の温度変化



付図3 - 5 温度分布図(最高温度到達時:9.8 年時点)

4. まとめ

処分場の操業期間を考慮して、隣接する坑道が開放されている条件での概略的な評価を行い、緩衝材の最高温度の低下を確認した。今回の解析では、開放坑道の伝熱特性や空気の輻射などを考慮しておらず、また、境界条件の設定も詳細を検討していないが、人工バリア周辺の温度が低下することにより、処分場の設計(占有面積)が合理化できるとともに、オーバーパックの腐食や緩衝材の変質に対する熱影響が緩和されるため、安全評価上も効果が大いと考えられる。