

JNC TJ8400 2001-011(1)

# 地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究

## 成果報告書

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

2001 年 3 月

三菱重工業株式会社

三菱マテリアル株式会社

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 )

2001

## 地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究

石原義尚<sup>\*1</sup>，松岡不識<sup>\*1</sup>，佐川 寛<sup>\*1</sup>，河原憲一<sup>\*1</sup>，  
片岡伸一<sup>\*1</sup>，篠原芳紀<sup>\*2</sup>，室井正行<sup>\*2</sup>，土屋 真<sup>\*2</sup>，  
辻本恵一<sup>\*2</sup>，大橋東洋<sup>\*2</sup>

### 要 旨

本研究では、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合し知識ベースとして体系化していく統合解析システムの基本設計に関する検討を実施した。

- (1) 第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目と情報の流れを整理し、処分場設計と性能評価の統合を重点とした相関マトリクスおよびワークフローを作成し、統合解析システムの構成要素を明らかにした。また、評価解析に使用するコードの体系とデータの階層構造をまとめた。
- (2) 第2次取りまとめ報告書に基づき3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・検討した。次に、特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。地質環境条件の検討対象として亀裂性媒体/多孔質媒体、立地場所(陸地/海底下)、地殻の長期安定性(隆起/沈降)を考慮して検討した。さらに、設計と性能評価、地質環境間の情報交換内容を第2次取りまとめに基づいて整理した。整理結果を基に地質環境、設計、安全評価の3分野間の連関をとった作業の理想的形態を検討した。システム因子、及び、情報処理の整理結果に対して、知識ベースの技術基盤となる基礎的研究を検討し知識ベースの階層構造を検討した。
- (3) 上記(1)項でまとめた相関マトリクスおよびワークフローに基づいて、統合解析システムの概念構成を検討し、システムの機能についてまとめた。
- (4) 上記(2)項での知識ベースの検討結果に基づいて、地層処分統合解析システムの複雑で膨大な知識ベースを手順書に取りまとめるための方針を検討した。さらに、数値地層処分統合解析システムの構成要素に対して、開発の優先度、及び、技術的難易度を検討してシステムの全体像を検討し、ソフトウェア構成図を作成した。さらにH15年までのシステムの開発計画を検討した。

---

本報告書は、三菱重工業株式会社および三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託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

\* 2 三菱マテリアル株式会社

## Study on Development of a Geological Disposal Technology Integration System

Yoshinao Ishihara<sup>\* 1</sup>, Fushiki Matsuoka<sup>\* 1</sup>, Hiroshi Sagawa<sup>\* 1</sup>,  
Kenichi Kawahara<sup>\* 1</sup>, Shinich Kataoka<sup>\* 1</sup>, Yoshinori Shinohara<sup>\* 2</sup>,  
Masayuki Muroi<sup>\* 2</sup>, Makoto Tsuchiya<sup>\* 2</sup>, Keiichi Tsujimoto<sup>\* 2</sup>,  
Toyo Ohasi<sup>\* 2</sup>

### ABSTRACT

In this study, the basic design study on integrated computer system has been carried out in order to develop the integrated methodologies for future research and development activities of geological disposal system. The key conclusions are summarized as follows:

- (1) As the result of the investigation of work items and associated flow of information (data) between items in the second progress report by JNC, the interaction matrix and work flow chart have been identified in order to specify the basic configuration of the integrated computer system. In addition, the model chain and the structure of data relation between the repository design study and safety assessment study have been summarized.
- (2) We organized and examined the system factor and the information process flow in the design, safety analysis, and geological environment study based on the 2000 Report by JNC. Then we analyzed the workflow of geological disposal business when a specific site for a repository is fixed to obtain the system factor and the information process flow. We consider the fracture/porous media, site location (land/under the sea), and long-term stability of the crust (upheaval/sink) as the key factors in examining the workflow of geological disposal business. Then we organized the information change between the design and other study in geological disposal based on the 2000 Report by JNC. We examined the ideal workflow in which the design, safety analysis, and geologic environment study of geological disposal are closely coupled. We examined the scientific and technical base of the knowledge base (the system factor and the information process flow) which is derived from the above to construct the hierarchical structure of the knowledge base for geological disposal.
- (3) As the result of the interaction matrix and work flow chart for the R&D activities, the conceptual design and the function diagram on the integrated computer system has been proposed.
- (4) We examined the plan to make the system specification, which contains the large amount and complex knowledge base for virtual engineering system for geological disposal. Then, we made the software structure of the system by examining the priority and the technical difficulty for the system development for the components of the system. The developments plan of the system till 2003 is also examined.

---

This work was performed by Mitsubishi Heavy Industries, LTD. and Mitsubishi Material Corporation 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.

\*2 Mitsubishi Materials Corporation

## 目 次

1 . はじめに	1
2 . 地層処分統合解析システムの構成要素の検討	3
2 . 1   処分技術・性能評価を重点とした検討	3
2.1.1   研究3分野の連携・統合に関する検討	3
2.1.2   評価体系の検討	41
2.1.3   評価データの階層構造の検討	51
2 . 2   地質環境・性能評価を重点とした検討	57
2.2.1   第2次取りまとめの検討	57
2.2.2   特定の地質環境が与えられた場合の構成要素の検討	81
2.2.3   設計との情報交換の検討	96
2.2.4   知識ベースの階層化の検討	130
3 . 地層処分統合解析システムの実用化の検討	140
3 . 1   処分技術・性能評価を重点とした検討	140
3 . 2   地質環境・性能評価を重点とした検討	150
3.2.1   知識ベースの検討	150
3.2.2   システムの基本設計	156
4 . まとめ	176
参考文献	178

## 図表リスト

図 2.1.1-1	相関マトリクスの作成 -----	4
図 2.1.1-2	ワークフロー作成における凡例 -----	5
図 2.1.1-3	「処分技術」分野におけるワークフローの構成 -----	15
図 2.1.1-4	「性能評価」分野におけるワークフローの構成 -----	16
図 2.1.1-5	「処分技術」設計条件検討に関するワークフロー -----	17
図 2.1.1-6	「処分技術」オーバーパック設計に関するワークフロー -----	18
図 2.1.1-7	「処分技術」緩衝材設計に関するワークフロー -----	19
図 2.1.1-8	「処分技術」坑道設計に関するワークフロー -----	20
図 2.1.1-9	「処分技術」坑道交差部検討に関するワークフロー -----	21
図 2.1.1-10	「処分技術」耐震安定性評価（坑道設計）に関するワークフロー -----	22
図 2.1.1-11	「処分技術」レイアウト（パネル）設計に関するワークフロー -----	23
図 2.1.1-12	「処分技術」レイアウト（アクセス坑道，主要連絡坑道）設計に 関するワークフロー -----	24
図 2.1.1-13	「処分技術」プラグ・グラウド・埋め戻し材設計に関するワークフロー -	25
図 2.1.1-14	「処分技術」再冠水挙動評価に関するワークフロー -----	26
図 2.1.1-15	「処分技術」構造力学安定性評価に関するワークフロー -----	27
図 2.1.1-16	「処分技術」NF耐震安定性評価に関するワークフロー -----	28
図 2.1.1-17	「処分技術」オーバーパック腐食挙動評価に関するワークフロー -----	29
図 2.1.1-18	「処分技術」建設・操業・閉鎖検討に関するワークフロー -----	30
図 2.1.1-19	「性能評価」シナリオ分析に関するワークフロー -----	31
図 2.1.1-20	「性能評価」ソースターム評価に関するワークフロー -----	32
図 2.1.1-21	「性能評価」亀裂性媒体評価に関するワークフロー -----	33
図 2.1.1-22	「性能評価」多孔質媒体評価に関するワークフロー -----	34
図 2.1.1-23	「性能評価」岩盤中地球化学評価に関するワークフロー -----	35
図 2.1.1-24	「性能評価」緩衝材中地球化学評価に関するワークフロー -----	36
図 2.1.1-25	「性能評価」溶解度評価に関するワークフロー -----	37
図 2.1.1-26	「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 -----	38
図 2.1.1-27	「性能評価」生物圏評価に関するワークフロー -----	39
図 2.1.1-28	「性能評価」変動シナリオに関するワークフロー -----	40
図 2.1.3-1	処分システムの構成要素とデータ分類と関係（人工バリアの一例） -----	51
図 2.1.3-2	地層処分システムの概略構成要素 -----	53
図 2.1.3-3	物性値データの概略構成 -----	54
図 2.1.3-4	状態量データの概略構成 -----	55
図 2.1.3-5	評価データの階層構造イメージ -----	56
図 2.2.1-1	第 2 次取りまとめでの安全評価と地質環境調査間のやりとり -----	57
図 2.2.1-2	地質環境及び性能評価のシステム因子情報処理の流れ（レベル 0） -----	60

図 2.2.1-3	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル1)	-----	61
図 2.2.1-4	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	不確実性の考え方の検討	-----	61
図 2.2.1-5	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	地層処分システム	-----	62
図 2.2.1-6	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	安全評価シナリオの検討(1)	-----	63
図 2.2.1-7	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	安全評価シナリオの検討(2)	-----	64
図 2.2.1-8	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	安全評価シナリオの検討(3)	-----	65
図 2.2.1-9	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	安全評価シナリオの検討(4)	-----	66
図 2.2.1-10	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	安全評価シナリオの検討(5)	-----	67
図 2.2.1-11	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	レファレンスケースの解析(1)	-----	68
図 2.2.1-12	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	レファレンスケースの解析(2)	-----	69
図 2.2.1-13	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	レファレンスケースの解析(3)	-----	70
図 2.2.1-14	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	レファレンスケースの解析(4)	-----	71
図 2.2.1-15	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	レファレンスケースの解析(5)	-----	72
図 2.2.1-16	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	バリア性能の応答の解析(1)	-----	73
図 2.2.1-17	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	バリア性能の応答の解析(2)	-----	74
図 2.2.1-18	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	バリア性能の応答の解析(3)	-----	75
図 2.2.1-19	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	バリア性能の応答の解析(4)	-----	76
図 2.2.1-20	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	バリア性能の応答の解析(5)	-----	77
図 2.2.1-21	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)		
	システム性能の解析、安全評価の信頼性の検討	-----	78
図 2.2.1-22	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)要約(1)	-----	79
図 2.2.1-23	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)要約(2)	-----	80

図 2.2.3-1	地層処分場の設計の基本的な流れ	98
図 2.2.3-2	設計と他分野との情報交換	99
図 2.2.3-3	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (1)	103
図 2.2.3-4	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (2)	104
図 2.2.3-5	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (3)	105
図 2.2.3-6	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (4)	106
図 2.2.3-7	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (5)	107
図 2.2.3-8	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (6)	108
図 2.2.3-9	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (7)	109
図 2.2.3-10	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (8)	110
図 2.2.3-11	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (9)	111
図 2.2.3-12	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (10)	112
図 2.2.3-13	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (11)	113
図 2.2.3-14	処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (12)	114
図 2.2.3-15	地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れ	118
図 2.2.3-16	地質環境データに対する不確実解析・感度解析の流れ	119
図 2.2.3-17	地質環境データに対する不確実解析の詳細	120
図 2.2.3-18	地質環境データに対する感度解析の詳細	121
図 2.2.3-19	地質環境 性能評価 処分技術 経済性 解析の流れ	126
図 2.2.3-20	不確実解析の流れ	127
図 2.2.3-21	コスト最適化解析の流れ	128
図 2.2.4-1	階層化された知識ベース	131
図 2.2.4-2	階層化知識ベースの詳細 (人工バリア)	132
図 2.2.4-3	階層化知識ベースの詳細 (天然バリア)	133
図 2.2.4-4	階層化知識ベースの詳細 (生物圏)	133
図 3.1-1	知識ベースの計算機展開イメージ	145
図 3.1-2	知識ベースに基づく統合解析システムの活用イメージ	146
図 3.1-3	システムの機能概念図	147
図 3.2.1-1	データフローダイアグラムとシステム仕様との関係	154
図 3.2.1-2	手順書のサンプル	155
図 3.2.2-1	システム全体のデータフロー図	165
図 3.2.2-2	システムの全体像	174
図 3.2.2-3	システムの開発計画	175



表 2.1.1-1	「地質環境条件の調査」分野の概略ワークフロー-----	7
表 2.1.1-2	「処分技術」分野の概略ワークフロー-----	9
表 2.1.1-3	「性能評価」分野の概略ワークフロー-----	11
表 2.1.1-4	「地質環境条件の調査」分野に関する相関マトリクス-----	12
表 2.1.1-5	「処分技術」分野に関する相関マトリクス-----	13
表 2.1.1-6	「性能評価」分野に関する相関マトリクス-----	14
表 2.1.2-1	2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要-----	42
表 2.1.2-2	処分技術 / 性能評価におけるモデルチェイン-----	49
表 2.1.2-3	処分システムにおける諸現象と時間変化の関係-----	50
表 2.2.2-1	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（1）-----	82
表 2.2.2-2	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（2）-----	83
表 2.2.2-3	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（3）-----	84
表 2.2.2-4	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（4）-----	85
表 2.2.2-5	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（5）-----	86
表 2.2.2-6	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（6）-----	87
表 2.2.2-7	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（7）-----	88
表 2.2.2-8	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（8）-----	89
表 2.2.2-9	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（9）-----	90
表 2.2.2-10	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（10）-----	91
表 2.2.2-11	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（11）-----	92
表 2.2.2-12	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（12）-----	93
表 2.2.2-13	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（13）-----	94
表 2.2.2-14	システム因子に関連する地質環境データと調査方法（14）-----	95
表 2.2.3-1	オーバーパックの設計項目-----	100
表 2.2.3-2	緩衝材の設計項目-----	100
表 2.2.3-3	施設の設計項目-----	101
表 2.2.3-4	地質環境評価から処分技術に渡されるデータ-----	102
表 2.2.3-5	処分技術から性能評価に渡されるデータ-----	102
表 2.2.3-6	地質環境評価から性能評価に渡されるデータ-----	122
表 2.2.4-1	階層化知識ベースのモデル(1)-----	134
表 2.2.4-2	階層化知識ベースのモデル(2)-----	135
表 2.2.4-3	階層化された知識ベースとシステム因子の対応(1)-----	136
表 2.2.4-4	階層化された知識ベースとシステム因子の対応(2)-----	137
表 2.2.4-5	階層化された知識ベースとモデル・データの対応(1)-----	138
表 2.2.4-6	階層化された知識ベースとモデル・データの対応(2)-----	139

表 3.1-1	解析コードの制御機能による統合システムの比較	148
表 3.1-2	統合解析システムの開発計画	149
表 3.2.2-1	各サブシステムの必要性と機能	162
表 3.2.2-2	各サブシステムの開発優先度と技術的課題	163
表 3.2.2-3	サブシステム間のデータ交換内容	164
表 3.2.2-4	岩盤物性・地質環境データ（性能評価）	166
表 3.2.2-5	岩盤物性・地質環境データ（処分技術用）	166
表 3.2.2-6	人工バリア仕様・処分施設仕様	167
表 3.2.2-7	設計の前提条件	167
表 3.2.2-8	地質調査結果	168
表 3.2.2-9	調査計画	169
表 3.2.2-10	品質管理データ	169
表 3.2.2-11	機能要件毎のシステムの効果	171
表 3.2.2-12	サブシステムの開発項目	172
表 3.2.2-13	平成 13 年度の開発計画	173

## 1.はじめに

今後、処分事業および安全規制の検討の各段階では、その段階が進むにつれて地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野を統合した詳細な評価が行われることが予想され、核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）殿に対しては、3分野の解析評価体系の提供とその技術的妥当性の保証が求められるものと考えられる。各段階における研究の詳細度は今後確定されるため、サイクル機構殿としては、第2次取りまとめまでの成果および今後 ENTRY, Quality および地下研究施設で得られる新たな研究成果を活用して、各時点におけるニーズに応じたフレキシブルな解析評価体系を提供するとともに、その解析評価体系の技術的妥当性を、十分性（基盤的研究の網羅性/緻密さ/詳細度など）と信頼性（不確実性の定量化/低減化、安全裕度など）の観点から保証するための技術基盤を整備することが必要である。

本研究は、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合することにより地層処分の解析評価のための知識ベースとして体系化していく「地層処分統合解析システム」について、その基本設計のための研究を実施するものである。

今年度は、当面平成15年度末に向けて安全審査基本指針の検討等および概要調査地区における調査の初期段階での活用を対象にした解析評価体系の提供とその技術的妥当性の保証のための技術基盤の整備を目指し、以下の研究を実施する。

### 地層処分統合解析システムの構成要素の検討

地層処分における、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる研究3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究について、それらに含まれるイベント、特性およびプロセスやそれらを定量的に評価するモデル/コードなどの「システム因子」と、3研究分野間あるいは「システム因子」間を結合するための情報の処理とそこでの情報の流れなどの「情報処理の流れ」を抽出することにより、地層処分統合解析システムの構成要素を明らかにする。

このとき、ジェネリックな研究段階である第2次取りまとめの研究開発成果を上記観点で整理することにより、それを核として、特定の地質環境条件が与えられた場合に、地質環境条件から性能評価あるいは設計へのそれら情報処理の流れがどのように変わる可能性があるかについて検討する。また、将来的には地質環境条件を得るための調査に対して性能評価や設計の結果をフィードバックすることにより、性能評価や設計の信頼性を向上さ

せたり，合理化や最適化を進めるという情報の流れの重要度が増すと考えられる。そのため，性能評価や設計から地質環境条件を得るための調査に対するフィードバックなどの情報の流れについても検討する。

#### 地層処分統合解析システムの基本設計

上記 項の検討結果に基づき，知識ベースの構成要素となる「システム因子」と「情報処理の流れ」の組合せを，必要に応じて階層的な構造を取り入れながら整理する。あわせて，優先的に取り込むべき「システム因子」と「情報処理の流れ」，およびその組合せを抽出し，さらに実用化のために必要な技術課題を整理する。

## 2. 地層処分統合解析システムの構成要素の検討

### 2.1 処分技術・性能評価を重点とした検討

#### 2.1.1 研究3分野の連携・統合に関する検討

##### (1) 各研究分野における検討項目と主要アウトプット情報の整理

「地質環境条件の調査」、「処分技術」および「性能評価」の研究3分野の有機的な連携・統合を図るため、最初に第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目を概略的に調査した。ここでの調査は第2次取りまとめ報告書の目次構成に準じる形で行い、各ワーク項目（研究項目）で得られる主要なアウトプットと共に整理した。結果を研究分野毎に表 2.1.1-1～表 2.1.1-3 に示す。ここで、表 2.1.1-1 の「地質環境条件の調査」において、ナチュラルアナログに関しては地質環境に関する踏査だけでなく、他の分野で触れられている火山ガラスや金属埋設物の調査についても含めることとした。また、第2次取りまとめ分冊1では地質環境の調査技術について述べられており、調査手法や調査機器について詳細に論じられているが、本検討では他分野（処分技術・性能評価）への情報の流れに重点を置いていることから、本表には含めていない。また、表 2.1.1-2 および表 2.1.1-3 の評価解析項目については、設計された処分システムの評価を行うという観点から、FEP リストに示された特性（熱、水理、力学、地球化学、放射線、物質移行）にしたがって整理した。（特に、第2次取りまとめ分冊2では、「人工バリア埋設後の健全性評価」として述べられている評価内容を、FEP の項目に合わせて分類している。）

第2次取りまとめ報告書は「わが国における地層処分の技術信頼性を示す」という包括的な目標に対してまとめられた報告書であり、地層処分に係わる検討が総合的になされている。このため、表 2.1.1-1～表 2.1.1-3 にまとめたワーク項目は、基本的に地層処分の研究開発に対する総ての検討項目を包含していると考えることができる。したがって、地層処分統合解析システムの構成要素を考える場合に、表 2.1.1-1～表 2.1.1-3 に示したワーク項目を「システム因子」と捉えることができる。

##### (2) 研究3分野間の情報の流れの整理

研究3分野間の情報の流れに関して、前述した概略のワーク項目に基づいて、各項目間における情報（データ）の流れの相互関係について整理した。整理にあたっては、第2次取りまとめの生物圏評価で FEP 間の相関関係の特定に用いられていた相互作用マトリクスを参考にした。相互作用マトリクスでは、図 2.1.1-1 に示すように、構成要素を対角要素に設定し、構成要素を関連づける情報を非対角要素として特定していく。このとき、情報の流れは時計回りで記述される。

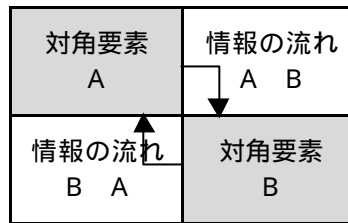


図 2.1.1-1 相関マトリクスの作成

表 2.1.1-1～2.1.1-3 に示したワーク項目のうち、大項目で示した項目をマトリクスの対角要素として設定し、主要なアウトプット情報を参考にしながら、各要素間（ワーク項目間）における情報の流れを非対角要素に当てはめることによって、相関マトリクスとしてまとめた。作成した相関マトリクスを研究分野毎に表 2.1.1-4～表 2.1.1-6 に示す。表 2.1.1-4 の「地質環境条件の調査」に関する相関マトリクスに関しては、「処分技術」および「性能評価」への情報の流れを中心として検討したため、「地質環境条件の調査」における相互の情報の流れについては空欄としている（一部関係があると思われる部分についてのみ記載した）。

この相関マトリクスでは、研究 3 分野間の「システム因子（対角要素）」とシステム因子間の情報の流れが表現されており、研究分野間の連携・統合を図る際の基盤となるものであり、相関マトリクスを構成する一つ一つの要素が統合解析システムの構成要素に成ると考えられる。また、今後の研究開発の進展に応じて相関マトリクスを充実させていくことで、技術基盤情報の取り込み・反映が可能となり、体系化された知識ベースの構築に役立つものと考えられる。

### (3) ワークフローの検討

相関マトリクスの検討結果を踏まえて、マトリクスの対角要素（システム因子）で示した各項目について、より具体的な検討内容とそこでの情報の流れを整理するため、詳細な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 2.1.1-2 に示す規約を考えて各項目と情報の流れを整理した。なお、ここでは処分技術と性能評価を重点として検討しているため、この 2 つの分野のワークフローを作成した。

まず、「処分技術」分野のワーク項目の全体構成を図 2.1.1-3 に、「性能評価」分野のワーク項目の全体構成を図 2.1.1-4 に示す。図の左側に示した項目が相関マトリクスの対角要素に該当し、その中に含まれる下位のワーク項目は表 2.1.1-2 および表 2.1.1-3 に示した概略フローを参考にしている。なお、第 2 次取りまとめ報告書の分類とは若干異なる点もあり、特に解析評価については、FEP リストに示された特性毎にまとめている。また、処分技術に

において，人工バリアの熱評価はレイアウト／パネル設計の中に含めている。これは，坑道離間距離と埋設ピッチによって処分坑道長が決まることから，パネル設計の一部と考えたためである。

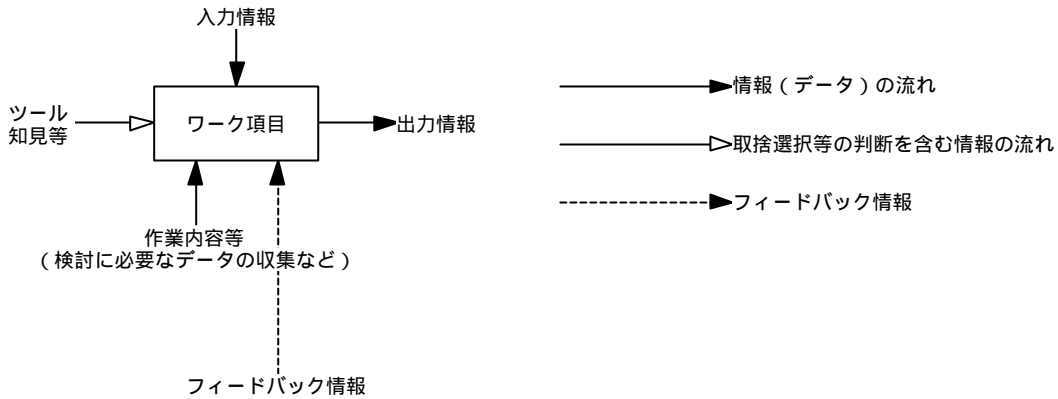


図 2.1.1.1-2 ワークフロー作成における凡例

各ワーク項目毎にまとめた詳細なワークフローを図 2.1.1-5～図 2.1.1-28 に示す。なお，上記の凡例で示した各ワーク項目に対して上部から入る入力情報と下部から入る情報（フィードバック等）は厳密に区別することができない結果となっている。また，情報の流れについても，取捨選択等の判断や処理が含まれる情報とその他の情報を区別することを考えたが，情報提示側が判断しているか，情報の受けて側が判断をしているかの違いはあるが，原則的にはすべての情報の流れに判断が含まれていることに留意する必要がある。

図 2.1.1-5～図 2.1.1-28 に示したワークフローは相関マトリクスの対角要素（システム因子）を下位の階層に展開したものであり，ワークフローを構成するワーク項目の一つ一つも統合解析システムのシステム因子になると考えられる。このため，図に示したワークフローの代わりに，相関マトリクスの形式で整理する事は可能である。ただし，ワークフロー自身は，今後の研究開発の進展や具体的なサイト条件の取得に伴って，詳細度や検討内容が変更（細分化）される可能性が大きい。一方，相関マトリクス自身は第 2 次取りまとめの全体的な流れに基づいて作成したのもであり，サイトが特定されても対角要素の項目自体はあまり変更にならないと考えられる（非対角要素に示した情報の内容や詳細度は当然変更される）。このような観点で考えれば，検討の全体的な流れを示した相関マトリクスを上位のシステム因子，詳細な検討内容を示したワークフローを下位のシステム因子と捉えた階層構造を用意しておくことにより，将来の研究開発や処分事業の進展に合わせた知識ベースの構築に対して柔軟に対応できると考えられる。

#### (4) 特定の地質環境条件に対する構成要素の検討

今後処分事業が進展し、サイトの条件がある程度具体的になった場合の統合解析システムの構成要素について検討する。先にも述べたが、相関マトリクスの対角要素は全体的な流れを示したものであり、サイトが特定されても、調査 設計 評価という流れはあまり変化しない。しかし、対角要素に含まれる個別の検討項目（ワークフロー）はサイト条件に応じて変化（細分化）する可能性がある。

地層処分システムに係わる検討項目の中でサイト条件に依存しないのはソースターム評価（インベントリ評価）だけであり、それ以外の項目は当然ながらサイト条件の影響を受ける。処分施設の設計、水理評価、地球化学評価などはサイト条件を反映して再設計・再評価が必要となるが、ここで重要なことはサイトで得られた情報を設計や評価に反映するための情報処理の方法であると考えられる。例えば、多孔質岩盤を対象とした天然バリア中の核種移行解析では、特定のサイトを対象としていないため、地質統計学的手法を用いて不均質透水係数場を構築して水理解析を行っている（図 2.1.1-22 参照）。一方、第 2 次取りまとめ分冊 1 に述べられている東濃鉾山周辺における地下水流動解析では、地質構造および水理的な調査結果に基づいて 10 層からなる水理地質構造モデルを構築して、水理評価を行っている。このように、場の条件が特定されれば、それに応じた情報処理の考え方・手法が構築され、ワーク項目が細分化されていくと考えられる。また、微生物や有機物の影響についても、それらの分布状況がサイトから得られれば、それに応じた検討（腐食評価、核種移行評価）が必要となる。このため、ワークフローに示した個々のワーク項目については、サイト条件の取得やそれに応じた研究開発の進展によって‘進化’していくものであり、一方、相関マトリクスでまとめた情報の流れは、その内容や詳細度がワークフローに応じて‘深化’していくものであると考えられる。したがって、構成要素であるシステム因子を現時点で特定するとは困難であるが、上述した時間的進展に対応できるシステムの枠組みを用意しておくことが必要であり、相関マトリクスはその候補として活用できると考えられる。



表 2.1.1-1 「地質環境条件の調査」分野の概略ワークフロー

分類	ワーク項目（大項目）	中項目	小項目	主要アウトプット	
長期安定性	地震・断層活動	断層活動の調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>活動履歴</li> <li>活断層分布</li> <li>活動範囲</li> </ul>	
		影響評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>力学的影響</li> <li>熱的影響</li> <li>水理学的影響</li> <li>地球化学的影響</li> </ul>	
	火山・火成活動	火山活動の調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>火山分布（火山帯）</li> <li>火山活動履歴</li> <li>活動の将来予測</li> </ul>	
		影響評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>地温勾配分布</li> <li>地下温度構造</li> <li>熱水対流</li> <li>貫入岩影響</li> </ul>	
	隆起・沈降・侵食	活動履歴の調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>隆起速度</li> <li>沈降速度（沈下量）</li> <li>侵食速度分布</li> </ul>	
		影響評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>直接的影響（露出）</li> <li>間接的影響                             <ul style="list-style-type: none"> <li>水理学的影響</li> <li>地球化学的影響</li> </ul> </li> </ul>	
	気候・海水準変動	活動履歴の調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>氷期／間氷期サイクル</li> </ul>	
		影響評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>永久凍土                             <ul style="list-style-type: none"> <li>形成深度</li> <li>水理条件変化</li> <li>岩盤劣化</li> </ul> </li> <li>侵食作用</li> <li>水理水質変化                             <ul style="list-style-type: none"> <li>動水勾配</li> <li>海陸境界</li> <li>流露</li> </ul> </li> </ul>	
	地質環境特性把握	地質構造			<ul style="list-style-type: none"> <li>物質移行経路</li> <li>割れ目データ</li> </ul>
		地下水流動特性	流動特性把握		<ul style="list-style-type: none"> <li>動水勾配分布</li> <li>透水係数分布</li> <li>深度依存性</li> </ul>
			地下水流動解析		<ul style="list-style-type: none"> <li>水理地質構造モデル</li> <li>広域地下水流動</li> </ul>
		地球化学特性	地下水特性把握		<ul style="list-style-type: none"> <li>降水起源地下水</li> <li>海水起源地下水</li> </ul>
地下水解析				<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水形成反応</li> </ul>	
岩盤特性		コロイド・有機物・微生物調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>コロイド粒子</li> <li>有機物分布</li> <li>微生物分布</li> </ul>	
			熱特性		<ul style="list-style-type: none"> <li>地温勾配</li> <li>物性値                             <ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導率</li> <li>比熱</li> <li>線膨張率</li> </ul> </li> <li>深度依存性</li> </ul>

分類	ワーク項目（大項目）	中項目	小項目	主要アウトプット
地質環境特性把握	岩盤物性	力学特性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・物性値 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 有効間隙率</li> <li>- 一軸圧縮強度</li> <li>- 弾性係数</li> <li>- ポアソン比</li> <li>- 引張強度</li> <li>- せん断強度</li> <li>- 内部摩擦角</li> </ul> </li> <li>・相関関係</li> <li>・深度依存性</li> <li>・岩盤初期応力</li> </ul>
		掘削影響領域把握		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削損傷範囲</li> <li>・岩盤物性変化</li> </ul>
ナチュラルアナログ	ナチュラルアナログ			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウラン鉱床調査</li> <li>・マトリクス拡散</li> <li>・火山ガラス溶解</li> <li>・金属腐食</li> <li>・粘土鉱物変質</li> </ul>

表 2.1.1-2 「処分技術」分野の概略ワークフロー

分類	ワーク項目(大項目)	中項目	小項目	主要アウトプット	
設計条件	設計条件	ガラス固化体		<ul style="list-style-type: none"> <li>対象固化体</li> <li>本数(施設規模)</li> </ul>	
		処分深度		<ul style="list-style-type: none"> <li>硬岩: 1000 m</li> <li>軟岩: 500 m</li> </ul>	
		定置方式		<ul style="list-style-type: none"> <li>豎置方式</li> <li>横置方式</li> </ul>	
人工バリア設計	オーバーパック設計	材質・形状		<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼/複合</li> <li>円筒形状</li> </ul>	
		耐食評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食代</li> </ul>	
		耐圧評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧厚さ</li> </ul>	
		放射線遮へい性		<ul style="list-style-type: none"> <li>遮へい厚さ</li> </ul>	
	緩衝材設計	基本特性	製作・施工性		<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接検査方法</li> <li>ハンドリング方法</li> </ul>
			組成		<ul style="list-style-type: none"> <li>組成                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 鉱物組成</li> <li>- ケイ砂混合率</li> </ul> </li> <li>特性値                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 熱特性</li> <li>- 水理特性</li> <li>- 力学特性</li> <li>- 化学的特性</li> <li>- 物質移動特性</li> <li>- 膨潤性</li> <li>- 締固め特性</li> <li>- ブロック継目特性</li> <li>- ガス透気性</li> </ul> </li> </ul>
			厚さ/密度設定	基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 厚さ/密度</li> </ul> </li> </ul>
				放射線遮へい性	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分孔深さ(縦置)</li> </ul>
			製作/施工性		<ul style="list-style-type: none"> <li>製作施工法                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 現場締め固め</li> <li>- ブロック型</li> </ul> </li> <li>施工手順</li> <li>すき間処理</li> </ul>
処分施設設計	坑道設計	処分孔	断面形状設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> </ul>	
			支保工材選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート支保</li> </ul>	
			空洞安定性評価(支保工設計)	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工厚さ</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	
			主要/連絡坑道	(同上)	
			アクセス坑道	(同上)	
			坑道交差部		<ul style="list-style-type: none"> <li>補強範囲</li> </ul>
			耐震安定性		<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道耐震安定性                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 局所安全率</li> <li>- 最大せん断ひずみ</li> </ul> </li> </ul>
	レイアウト設計	パネル	熱評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体占有面積                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 坑道離間距離</li> <li>- 埋設ピッチ</li> </ul> </li> </ul>	
			レイアウト検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル形状</li> <li>パネル配置/方向</li> <li>パネル規模/数</li> </ul>	
			主要・連絡坑道		<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道配置</li> </ul>
			アクセス坑道		<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道本数</li> <li>坑道配置</li> </ul>
		プラグ・グラウト・埋戻し材設計	プラグ設計	(緩衝材膨潤対策)	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ材質</li> <li>プラグ長さ(厚さ)</li> <li>施工方法</li> </ul>

分類	ワーク項目(大項目)	中項目	小項目	主要アウトプット
		グラウト設計		(施工法の一部)
		埋め戻し材設計	基本特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物性 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 透水性</li> <li>- 締め固め特性</li> <li>- 膨潤特性</li> <li>- 強度特性</li> </ul> </li> </ul>
			(緩衝材膨潤対策)	・緩衝材密度低下量
熱・水理特性評価	再冠水挙動	再冠水評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧力水頭</li> <li>・含水比</li> <li>・温度</li> <li>・飽和時間</li> </ul>
力学特性評価	構造力学安定性	岩盤クリープ		<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤クリープ変形量</li> <li>・掘削影響領域範囲</li> </ul>
		オーバーパック沈下		<ul style="list-style-type: none"> <li>・OP沈下量</li> <li>・緩衝材圧密状態</li> <li>・過剰間隙水圧</li> <li>・緩衝材すべり</li> </ul>
		緩衝材流出		<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材流出量</li> <li>・緩衝材密度低下量</li> </ul>
		耐震安定性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断応力</li> <li>・せん断ひずみ</li> <li>・過剰間隙水圧</li> <li>・緩衝材すべり</li> </ul>
化学特性評価	オーバーパック腐食挙動	オーバーパック腐食膨張		<ul style="list-style-type: none"> <li>・平均有効応力</li> <li>・応力比分布</li> <li>・過剰間隙水圧</li> </ul>
		ガス発生・移行		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス蓄積量</li> <li>・間隙圧力</li> <li>・ガス飽和度</li> <li>・ガス累積排出量</li> <li>・間隙水累積排出量</li> </ul>
建設・操業・閉鎖	建設・操業・閉鎖	建設	建設手順	
			対策工法	
		操業	地上施設	
			搬送定置	
			換気・排水設備	
			埋め戻し	
			対策工	
		閉鎖	連絡坑道	
			アクセス坑道	
			ボーリング孔	
			地上施設解体	
			モニタリング	

表 2.1.1-3 「性能評価」分野の概略ワークフロー

分類	ワーク項目(大項目)	中項目	小項目	主要アウトプット
シナリオ	シナリオ分析	FEP リスト作成		・ 包括的 FEP リスト
		FEP 取捨選択		・ 現象理解 ・ 除外 FEP リスト
		PID 作成		・ FEP 相関図
		シナリオ作成		・ 地下水シナリオ ・ 変動シナリオ ・ 接近シナリオ
放射線学的特性評価	ソースターム評価	インベントリ評価		・ 固化体特性 - 放射能 - 発熱量 - 毒性指数 - 核種量 ・ 評価対象核種 ・ 半減期 <sup>1</sup> -セット
	放射線場評価	放射線場評価		・ 線量当量率 ・ 吸収線量率
水理学的特性評価	水理評価	亀裂性媒体評価		・ 掘削影響領域流量 ・ 核種移行経路 ・ 流速
		多孔質媒体評価		(同上)
化学特性評価	地球化学評価	岩盤地球化学評価		・ 熱力学データ ・ 地下水組成
		緩衝材地球化学評価		・ 間隙水組成 ・ 主要溶存化学種 ・ 緩衝材変質 / 劣化 ・ 支保工変質
		溶解度評価		・ 熱力学データ ・ 溶解度
物質移行特性評価	人工バリア中核種移行評価			・ 核種移行率 ・ 濃度分布
	天然バリア中核種移行評価	亀裂性媒体評価		・ 核種移行率 ・ 濃度分布 ・ 線量
		多孔質媒体評価		・ 核種移行率 ・ 線量
	生物圏評価	移行プロセス設定		・ 核種移行プロセス
		被ばく経路設定		・ 被ばくプロセス
線量評価			・ 線量への換算係数 ・ 線量	
変動シナリオ	変動シナリオ評価	隆起 / 侵食		・ 核種移行率 ・ 線量
		気候海水準変動		・ 核種移行率 ・ 線量
		火山 / 火成活動		・ 線量
		地震 / 断層活動		・ 線量
		工学的対策 / 人間活動		・ 線量

表 2.1.1-4 「地質環境条件の調査」分野に関する相関マトリクス

		地質環境条件の調査							処分技術	性能評価	
		長期安定性		地質環境条件把握			ナチュラルアナログ				
地質環境	地震・断層活動					・水理学的影響	・地球化学的影響	・熱的影響 ・力学的影響		・力学的変化 ・熱的变化 ・水理学的変化 ・地球化学的变化	・活動予測 ・力学的変化 ・熱的变化 ・水理学的変化 ・地球化学的变化
		火山・火成活動			・貫入岩影響	・熱水対流 ・貫入岩影響	・貫入岩影響	・地温勾配分布 ・地下温度構造 ・貫入岩影響		・地温勾配分布 ・地下温度構造	・活動予測 ・地温勾配分布 ・熱水対流 ・貫入岩影響
			隆起・沈降・侵食			・水理学的影響	・地球化学的影響			・隆起速度 ・沈下速度 ・侵食速度	・隆起速度 ・沈下速度 ・侵食速度 ・水理学的変化 ・地球化学的变化
				気候海水準変動		・動水勾配 ・海陸境界 ・流露	・海陸境界			・海陸境界	・氷期/間氷期サイクル ・永久凍土 ・侵食作用 ・水理水質変化
					地質構造					・地質構造	・物質移行経路 ・割れ目データ
						地下水流動特性				・広域地下水流動	・動水勾配分布 ・透水係数分布 (深度依存性) ・水理地質構造モデル ・広域地下水流動
							地球化学特性			・地球化学特性 (地下水起源, 組成) ・コロイド/有機物/ 微生物	・地球化学特性 (地下水起源, 組成) ・地下水形成反応 ・コロイド/有機物/ 微生物
								岩盤物性		・地温勾配 ・岩盤熱物性値 ・岩盤力学物性値 (深度依存性) ・岩盤初期応力 ・EDZ 特性	・地温勾配 ・岩盤力学物性値 (深度依存性) ・岩盤初期応力 ・EDZ 範囲 ・EDZ 物性値変化
								ナチュラルアナログ	・埋設金属腐食 ・粘土鉱物変質	・ウラン系核種遅延 ・マトリクス拡散 ・火山ガラス溶解 ・粘土鉱物変質	
処分技術	・長期変動予測(精度)	・長期変動予測(精度)	・長期変動予測(精度)	・長期変動予測(精度)	・地質構造の把握精度 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・地下水組成影響 ・有機物/微生物影響 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・岩盤熱物性 ・岩盤力学物性 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・OP 腐食影響 ・緩衝材変質影響	処分技術	・人工バリア仕様 ・処分施設仕様 ・人工バリアの状態 (詳細別表参照)
性能評価	・断層影響 ・長期変動予測(精度)	・火山影響 ・長期変動予測(精度)	・隆起/侵食影響 ・長期変動予測(精度)	・気候海水準変動影響 ・長期変動予測(精度)	・地質構造の把握精度 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・移行経路の把握精度 ・涵養点(GBI 設定) ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・地下水組成影響 ・コロイド影響 ・有機物/微生物影響 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・EDZ 影響 ・地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)	・マトリクス拡散効果 ・ガラス溶解影響 ・緩衝材変質影響	・安全機能 ・バリア性能 (詳細別表参照)	性能評価

表 2.1.1-5 「処分技術」分野に関する関連マトリクス

地質環境	地質環境条件の調査	処分技術										性能評価	
		設計条件	人工バリア設計		処分施設設計			人工バリア健全性評価			建設・操業・閉鎖		
地質環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地質構造</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> <li>地球化学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤力学特性</li> <li>有機物分布</li> <li>微生物分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> <li>地球化学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震断層（地震波）</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造</li> <li>地質力学特性</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造</li> <li>地下水流動特性</li> <li>地球化学特性</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震断層（地震波）</li> <li>岩盤力学特性</li> <li>EDZ 特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球化学特性</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造</li> <li>地下水流動特性</li> <li>岩盤熱特性</li> <li>岩盤力学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地質環境条件（詳細別紙参照）</li> </ul>		
処分技術	設計条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>対象固化体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>対象固化体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>対象固化体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>対象固化体</li> </ul>		
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> </ul>	オーバーバック設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> <li>腐食生成物特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食膨張率</li> <li>腐食生成物特性</li> <li>ガス発生速度（OP 腐食速度）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 仕様</li> <li>腐食生成物物性</li> <li>OP 寿命</li> </ul>		
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>処分孔深さ（設置）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>緩衝材膨潤圧</li> <li>緩衝材圧密反力</li> </ul>	緩衝材設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>熱特性</li> <li>力学特性</li> <li>膨潤特性</li> <li>締固め特性</li> <li>処分孔深さ（設置）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>熱特性</li> <li>力学特性</li> <li>膨潤特性</li> <li>処分孔深さ（設置）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>力学特性</li> <li>膨潤特性</li> <li>締固め特性</li> <li>緩衝材膨潤圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>熱特性</li> <li>力学特性</li> <li>膨潤特性</li> <li>化学的特性</li> <li>物質移動特性</li> <li>緩衝材膨潤圧</li> <li>膨潤特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>力学特性</li> <li>化学的特性</li> <li>物質移動特性</li> <li>膨潤特性</li> <li>ガス透気性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>力学特性</li> <li>締固め特性</li> <li>処分孔深さ（設置）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材仕様</li> <li>物質移動特性</li> </ul>		
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工厚さ</li> <li>廃棄体占有面積（空洞安定性）</li> <li>坑道交差部補強</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工仕様</li> </ul>	坑道設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> <li>支保工仕様</li> <li>坑道交差部仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> <li>支保工仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> <li>支保工仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> <li>支保工仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> <li>地震時応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道断面仕様</li> <li>支保工仕様（材質）</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>		
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体占有面積（熱的制約）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 最高温度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材最高温度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様</li> <li>坑道配置 / 本数</li> </ul>	レイアウト設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様</li> <li>坑道配置 / 本数</li> <li>NF 温度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> <li>NF 温度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NF 温度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様</li> <li>坑道配置 / 本数</li> <li>NF 温度</li> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パネル仕様 / 配置（地下水流動方向）</li> <li>坑道配置 / 本数</li> <li>NF 温度</li> </ul>	
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>プラグ厚さ</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> <li>緩衝材密度低下量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>プラグ長さ（厚さ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>プラグ長さ（厚さ）</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	プラグ・グラウト・埋戻し材	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>グラウト仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> </ul>	
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 最高温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 最高温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧力水頭</li> <li>含水比</li> <li>緩衝材温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>含水比</li> <li>緩衝材温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧力水頭</li> <li>含水比</li> <li>NF 温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	再冠水挙動評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>NF 温度</li> <li>圧力水頭</li> <li>含水比</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NF 温度</li> <li>地下水浸潤挙動</li> <li>緩衝材膨潤圧</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>NF 温度</li> <li>含水比</li> <li>飽和時間</li> </ul>	
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>過剰間隙水圧</li> <li>地震時応力</li> <li>緩衝材すべり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>OP 沈下量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>地震時応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>過剰間隙水圧</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>地震時応力</li> <li>緩衝材すべり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>過剰間隙水圧</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>地震時応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>過剰間隙水圧</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>地震時応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>緩衝材すべり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>OP 沈下量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤クレーン変形量</li> <li>EDZ 範囲</li> <li>OP 沈下量</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>緩衝材すべり</li> </ul>		
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>平均有効応力</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>平均有効応力</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>平均有効応力</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>ガス蓄積圧</li> <li>間隙圧力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OP 腐食膨張圧</li> <li>ガス蓄積圧</li> </ul>	オーバーバック腐食挙動評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均有効応力</li> <li>ガス蓄積量</li> <li>ガス飽和度</li> <li>間隙水排出量</li> </ul>
	地下深部評価手法（取得データ項目等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性</li> <li>操業性</li> <li>経済性</li> <li>安全性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製作性（遠隔）</li> <li>検査性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性</li> <li>操業性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> <li>操業性</li> <li>安全性</li> <li>（退避経路等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> <li>操業性</li> <li>安全性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> <li>定置精度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> <li>定置精度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> <li>定置精度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工性（キヤップ等）</li> </ul>	建設・操業・閉鎖	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDZ 領域（工法）</li> </ul>
性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期変動予測</li> <li>地下深部評価週報（詳細別紙参照）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体特性</li> <li>化学条件（還元性）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>核種閉じ込め性</li> <li>化学環境維持性</li> <li>間隙水組成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROD フィルトレーション</li> <li>吸着性</li> <li>低透水性</li> <li>緩衝材劣化 / 変質</li> <li>バリア性能（線量）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工材質（低アルカリコンクリート）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体発熱特性</li> <li>地下水流動特性</li> <li>緩衝材許容温度</li> <li>バリア性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材膨潤対策</li> <li>止水性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体発熱特性</li> <li>地下水組成</li> <li>地下水流動特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材劣化 / 変質</li> <li>亀裂分布（開口幅）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>間隙水組成</li> <li>緩衝材劣化 / 変質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> </ul>	性能評価	

表 2.1.1-6 「性能評価」分野に関する関連マトリクス

	地質環境	処分技術	性能評価							
			シナリオ	放射線学的特性	水理特性	地球化学特性	物質移行特性		変動シナリオ	
地質環境	地質環境条件の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地質環境条件 (詳細別紙参照)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震/断層活動</li> <li>火山/火成活動</li> <li>隆起/侵食</li> <li>気候海水準変動</li> <li>地質構造</li> <li>地下水流動特性</li> <li>地球化学特性</li> <li>岩盤特性</li> <li>ナチュラルアナログ</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (移行経路)</li> <li>流動特性 (動水勾配, 透水係数)</li> <li>水理地質構造モデル</li> <li>広域地下水流動特性</li> <li>EDZ 範囲</li> <li>EDZ 物性変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (鉱物分布)</li> <li>地下水特性</li> <li>地下水形成反応 (鉱物)</li> <li>コロイド</li> <li>有機物分布</li> <li>微生物分布</li> <li>岩盤熱特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナチュラルアナログ - ウラン系核種遅延</li> <li>ガラス溶解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (移行経路)</li> <li>岩盤力学特性</li> <li>ナチュラルアナログ (マトリクス拡散)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>隆起/侵食速度</li> <li>気候海水準変動</li> <li>地表環境特性 (地理的条件)</li> <li>広域地下水流動特性 (涵養点)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震/断層活動</li> <li>火山/火成活動</li> <li>隆起/侵食</li> <li>気候海水準変動</li> </ul>
処分技術	地下深部評価手法 (詳細別紙参照)	処分技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>人工バリア仕様</li> <li>処分施設仕様</li> <li>人工バリア健全性評価 (人工バリアの状態)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象固化体</li> <li>OP仕様 (組成)</li> <li>OP寿命</li> <li>緩衝材仕様 (組成)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>坑道断面仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>パネル仕様/配置 (地下水流動方向)</li> <li>坑道配置/本数</li> <li>プラグ仕様</li> <li>EDZ 範囲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>OP仕様</li> <li>腐食生成物物性</li> <li>緩衝材仕様</li> <li>支保工仕様 (材質)</li> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> <li>NF温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食生成物物性</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>OP沈下量</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>緩衝材すべり</li> <li>EDZ 範囲</li> <li>ガス飽和度</li> <li>間隙水排出量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> <li>パネル仕様/配置 (地下水流動方向)</li> </ul>	-	製作/施工不良
性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地下水条件 (還元性)</li> <li>低地下水流速</li> <li>力学的安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コールドフィルトレーション</li> <li>収着性</li> <li>低透水性</li> </ul>	シナリオ分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>変動シナリオ</li> <li>接近シナリオ</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体発熱特性</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体特性</li> <li>評価対象核種</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	ソースターム評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス固化体組成</li> <li>評価対象核種 (元素)</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス固化体組成</li> <li>核種インベントリ</li> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>核種インベントリ</li> <li>半減期</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>亀裂分布 (開口幅)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> </ul>	-	水理評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDZ流量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> <li>流速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性 (涵養点)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> <li>流速</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水中組成</li> <li>緩衝材劣化/変質 - 緩衝材許容温度</li> <li>支保工材質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> </ul>	-	-	地球化学評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> <li>緩衝材劣化/変質</li> <li>放射線分解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>放射線分解</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> </ul>
	-	バリア性能 (線量)	バリア性能 (線量)	-	パラメータの影響度	パラメータの影響度	人工バリア中核種移行評価	核種移行率	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	バリア性能 (線量)	バリア性能 (線量)	-	パラメータの影響度	パラメータの影響度	-	天然バリア中核種移行評価	核種移行率	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表環境データ調査項目</li> </ul>	システム性能 (線量)	システム性能 (線量)	-	-	-	線量への換算係数	線量への換算係数	生物圏評価	線量への換算係数
<ul style="list-style-type: none"> <li>断層影響</li> <li>火山影響</li> <li>隆起/侵食影響</li> <li>気候海水準影響</li> <li>長期変動予測 (精度)</li> </ul>	システム性能 (線量)	システム性能 (線量)	-	パラメータの影響度	パラメータの影響度	-	-	核種移行率	変動シナリオ評価	



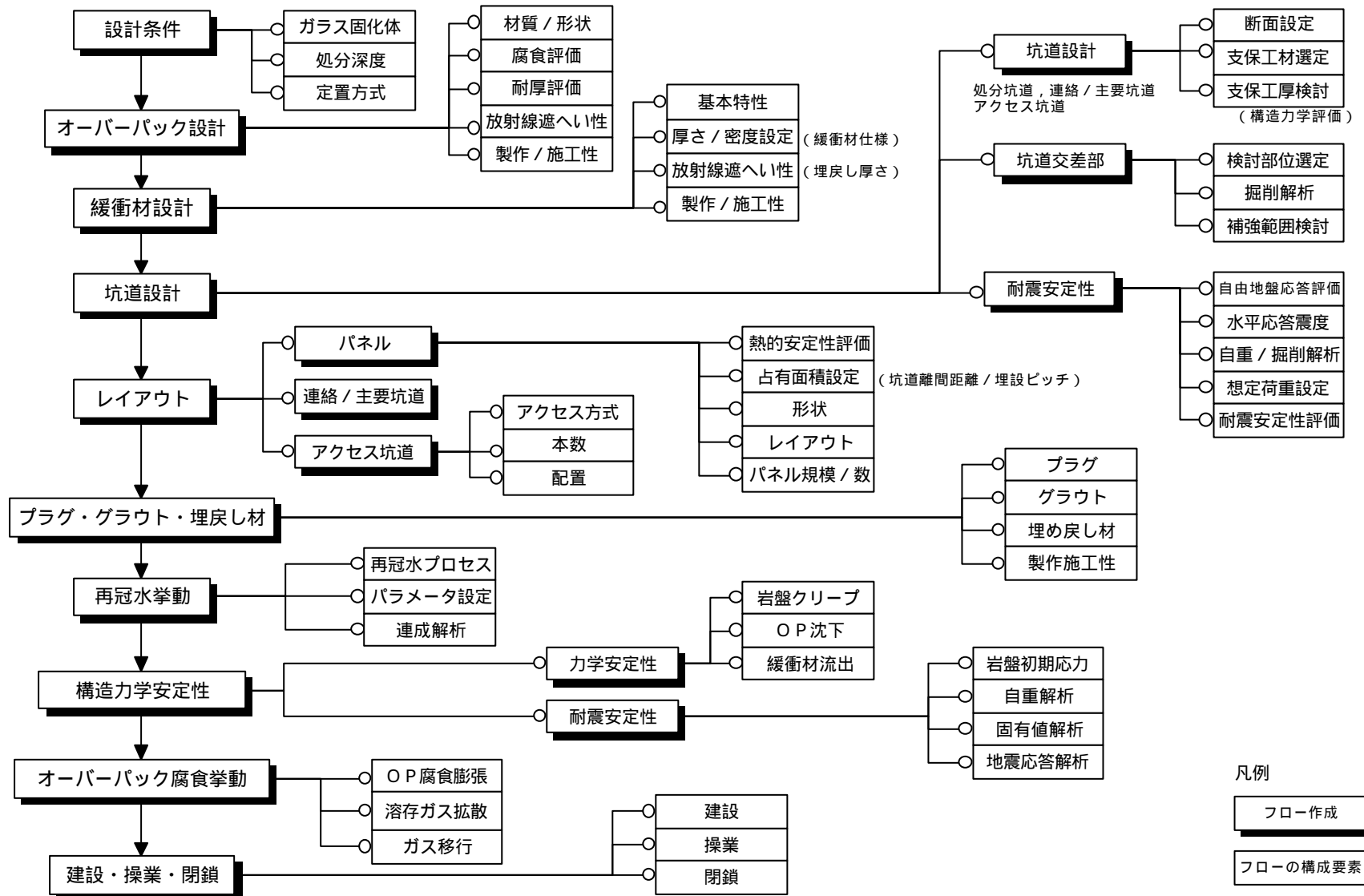


図 2.1.1-3 「処分技術」分野におけるワークフローの構成

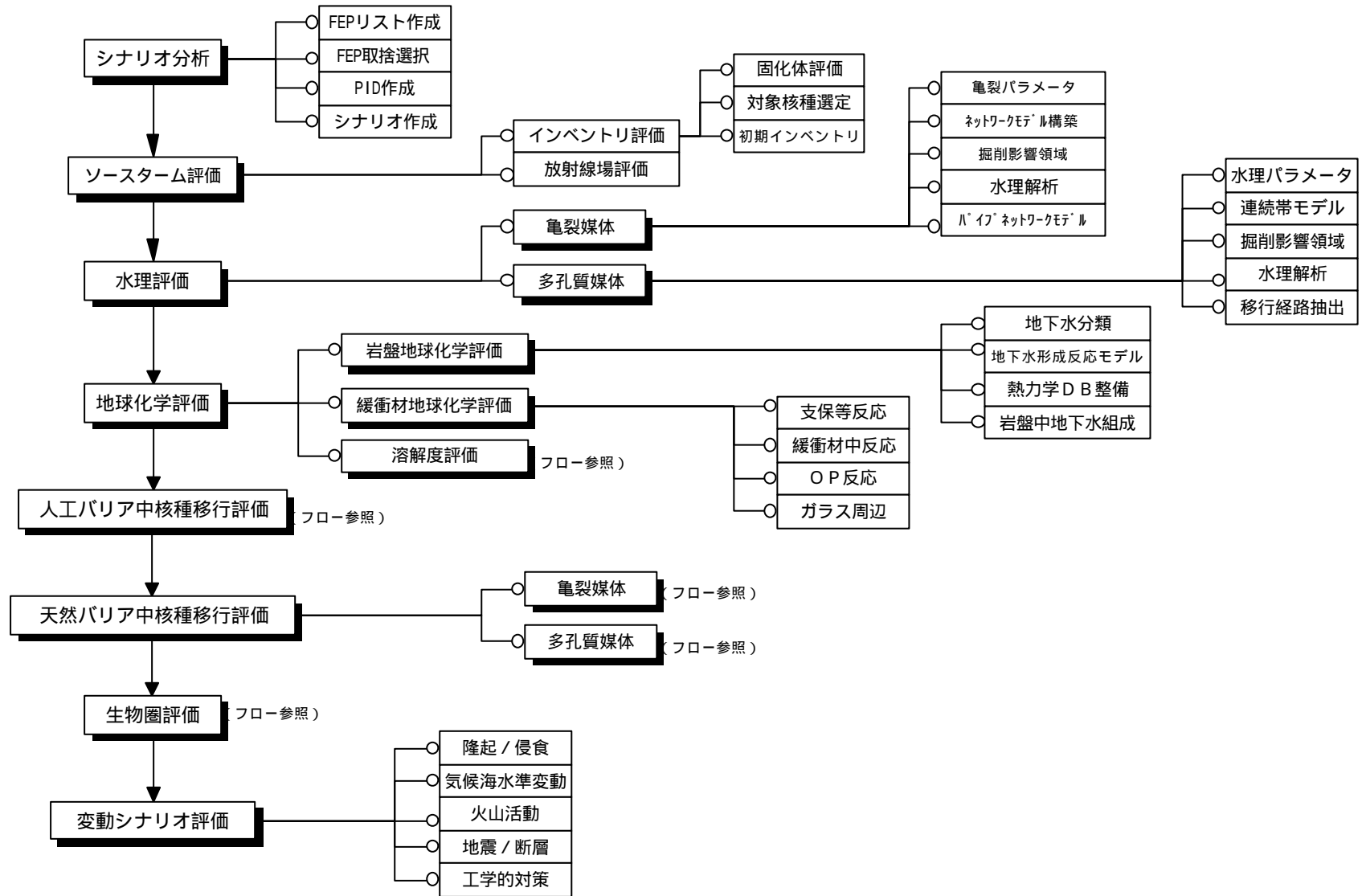


図 2.1.1-4 「性能評価」分野におけるワークフローの構成

設計条件

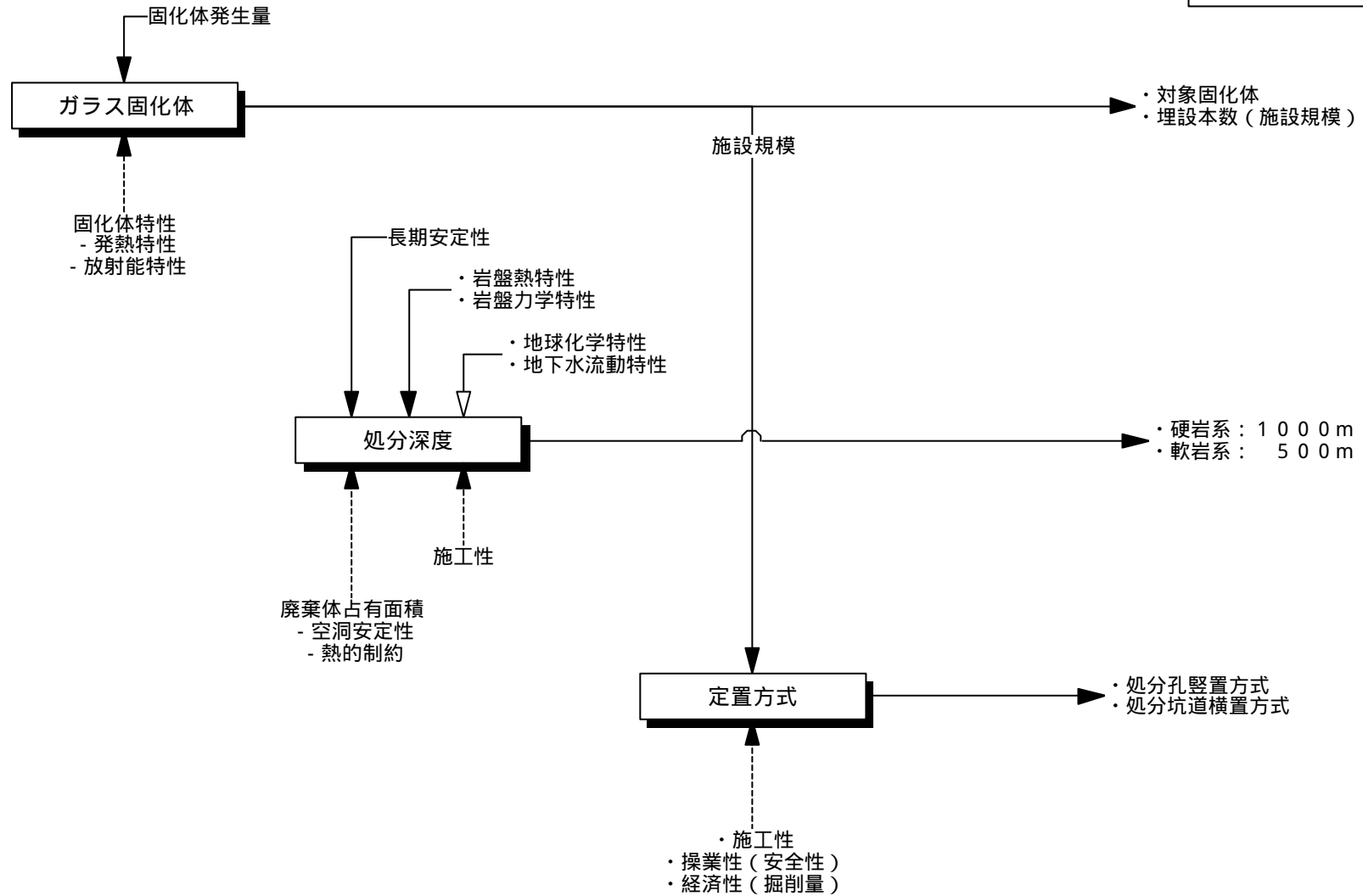


図 2.1.1-5 「処分技術」設計条件検討に関するワークフロー

オーバーパック設計

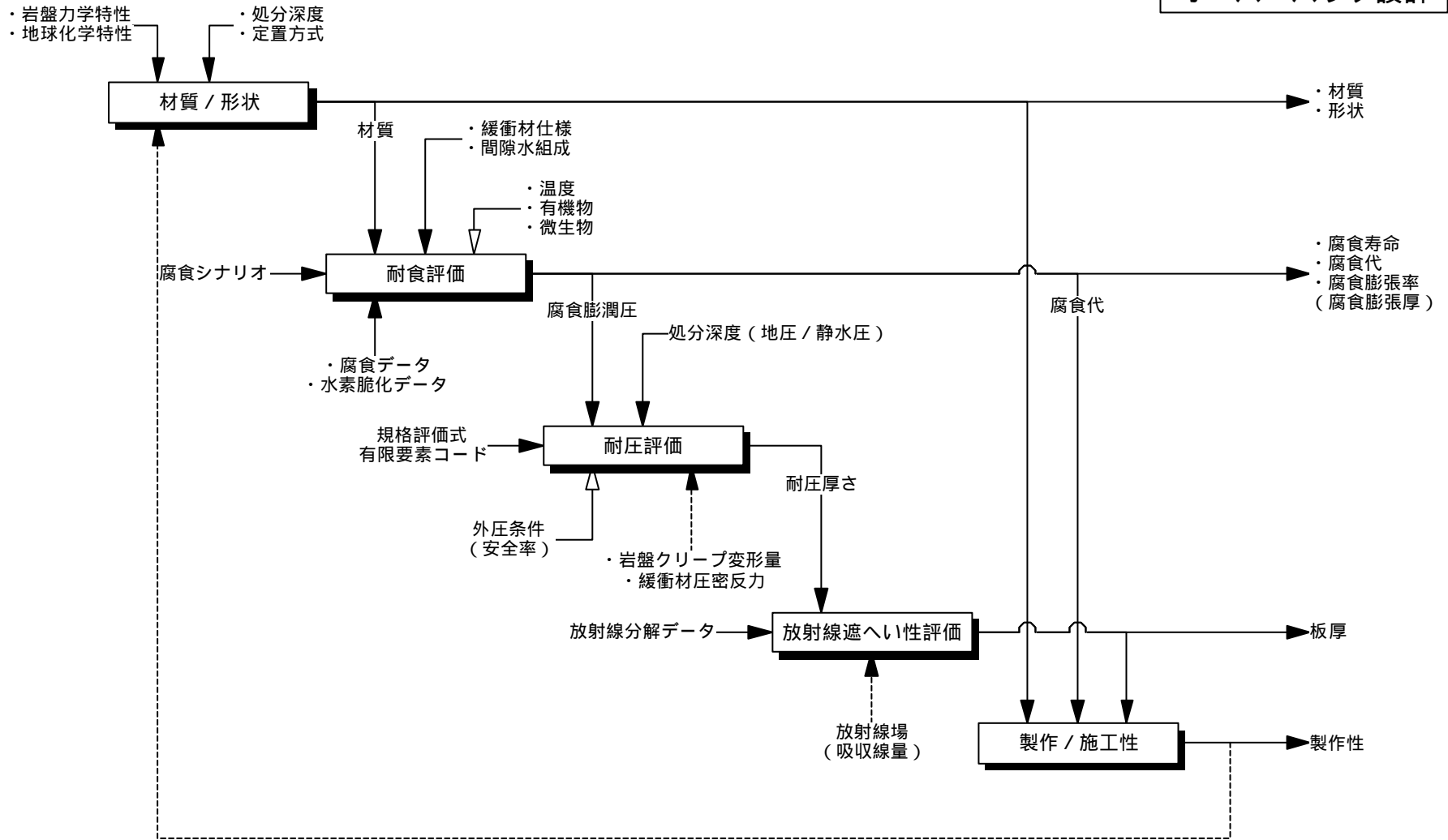


図 2.1.1-6 「処分技術」オーバーパック設計に関するワークフロー

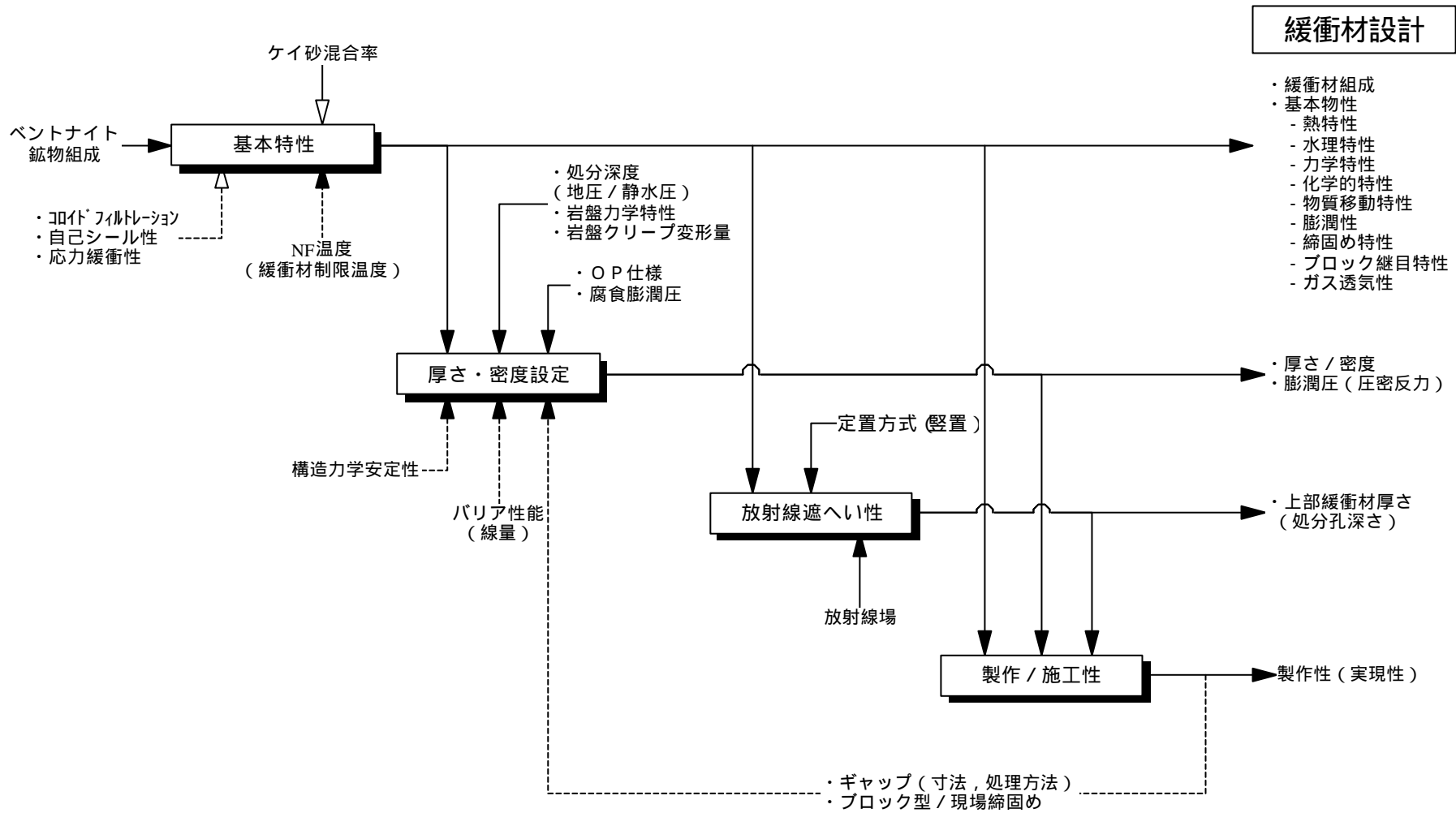


図 2.1.1-7 「処分技術」緩衝材設計に関するワークフロー

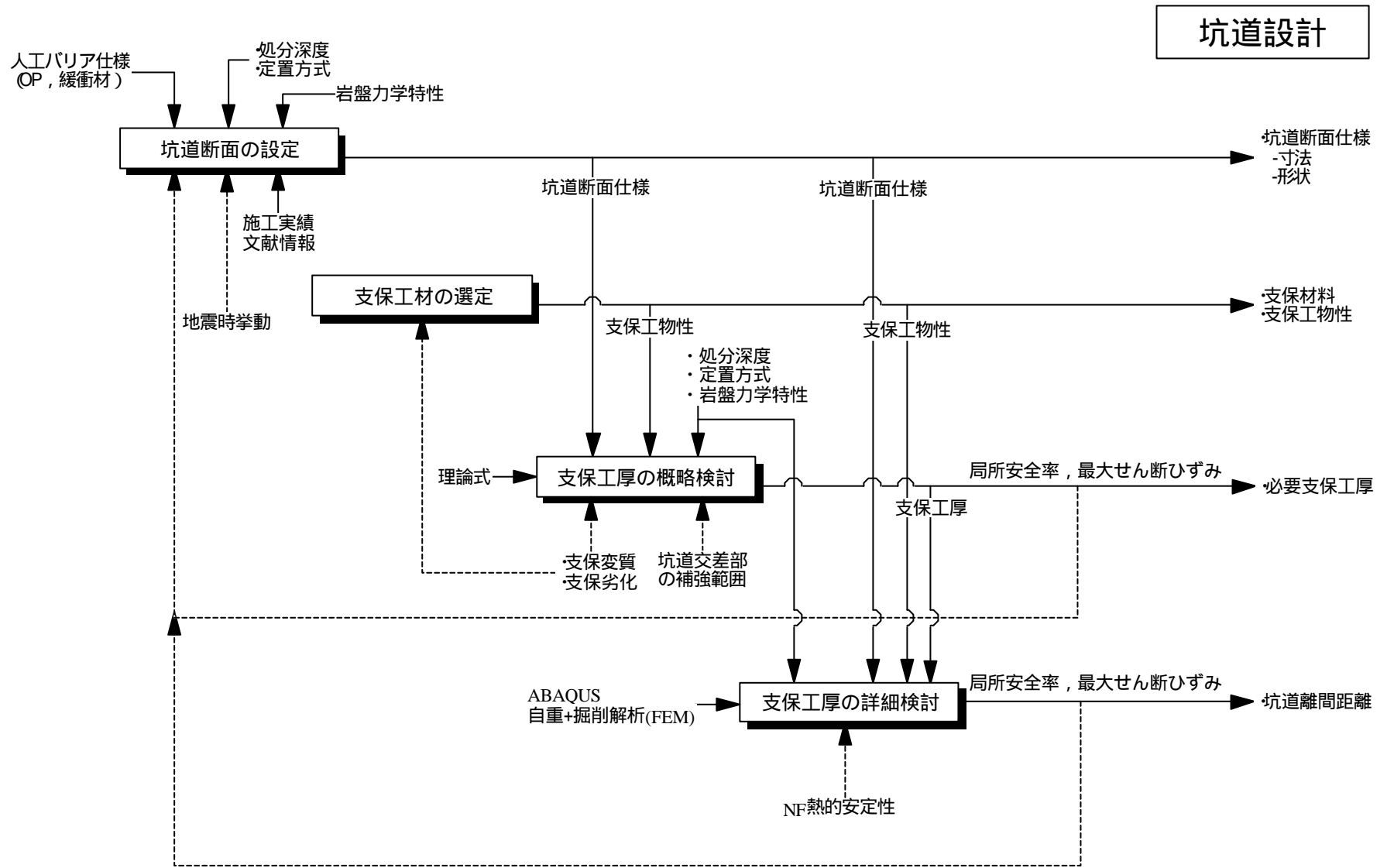


図 2.1.1-8 「処分技術」坑道設計に関するワークフロー

坑道交差部

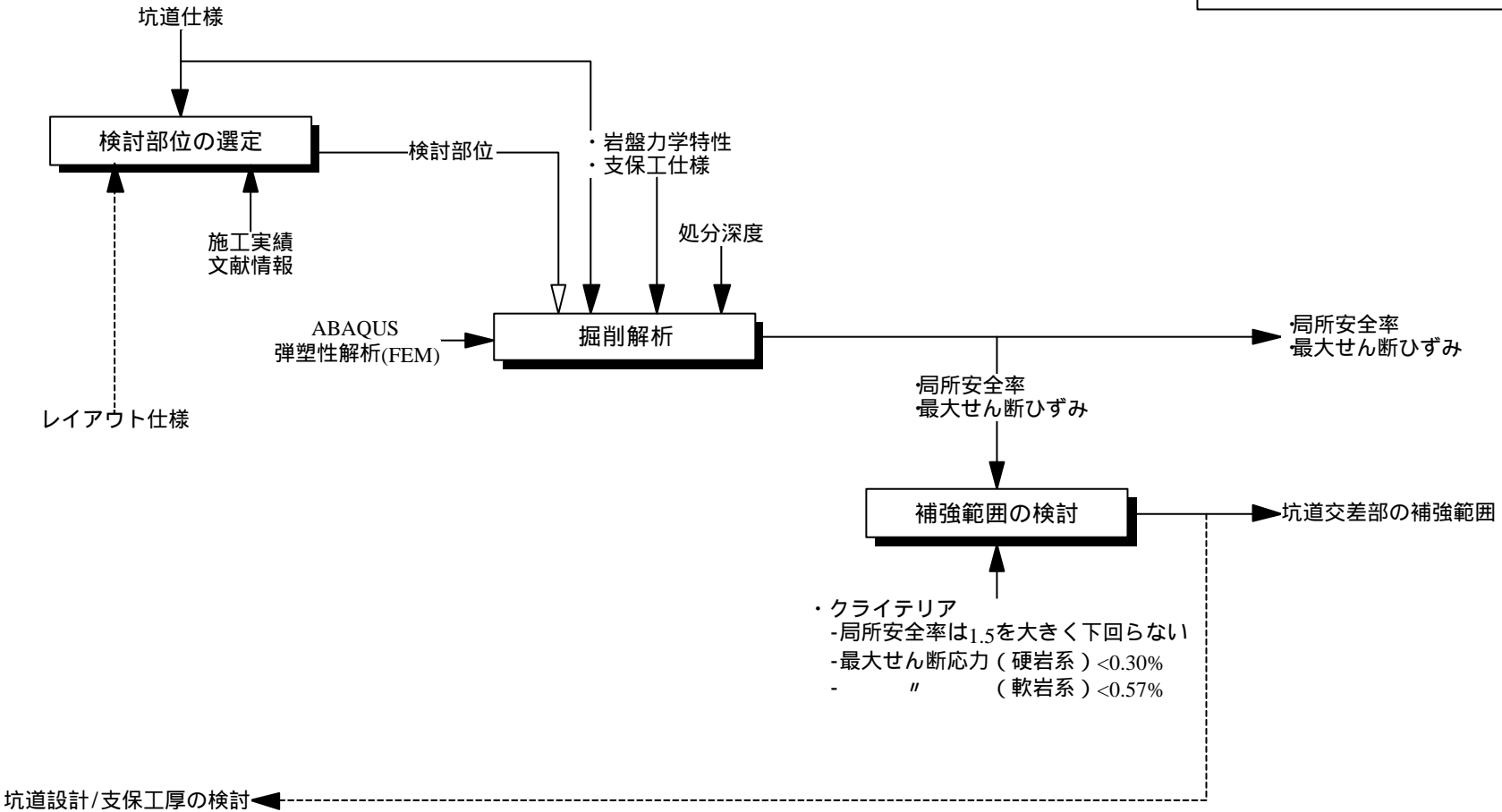


図 2.1.1-9 「処分技術」坑道交差部検討に関するワークフロー

耐震安定性

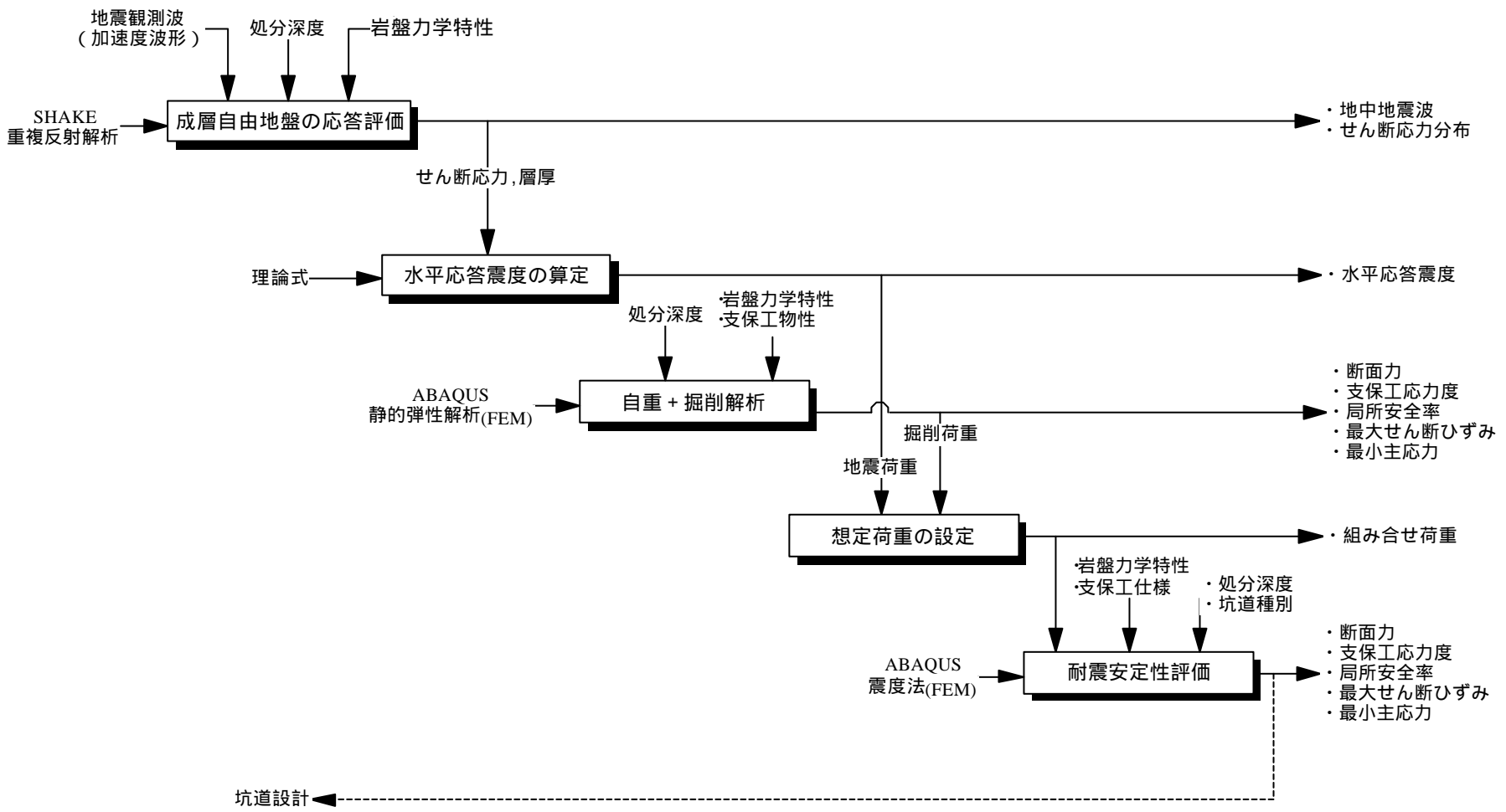


図 2.1.1-10 「処分技術」耐震安定性評価（坑道設計）に関するワークフロー



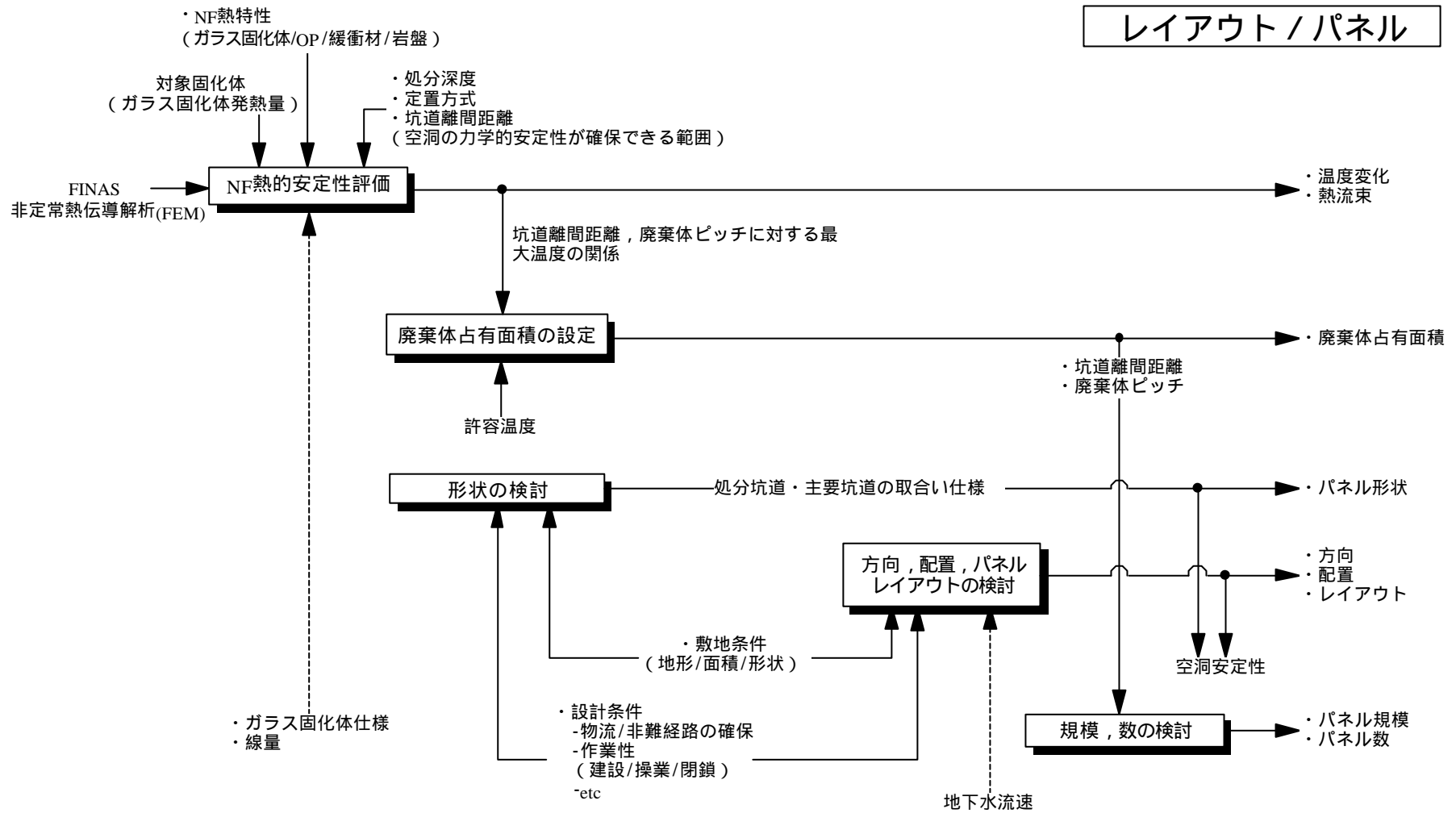


図 2.1.1-11 「処分技術」レイアウト (パネル) 設計に関するワークフロー

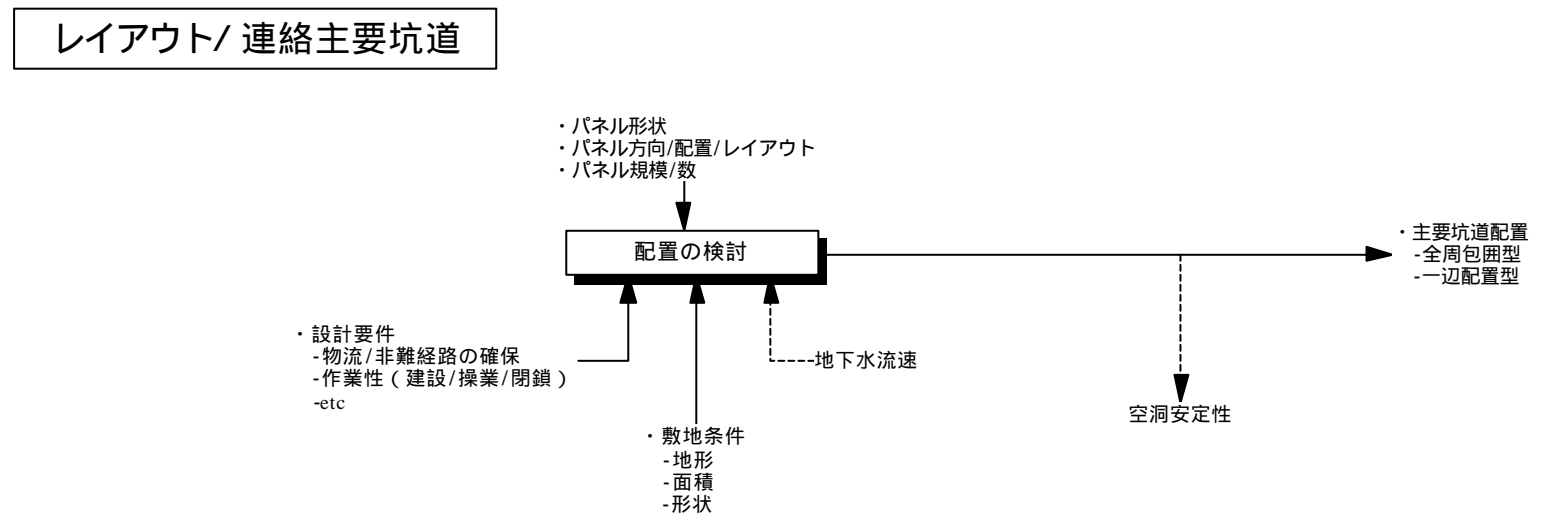
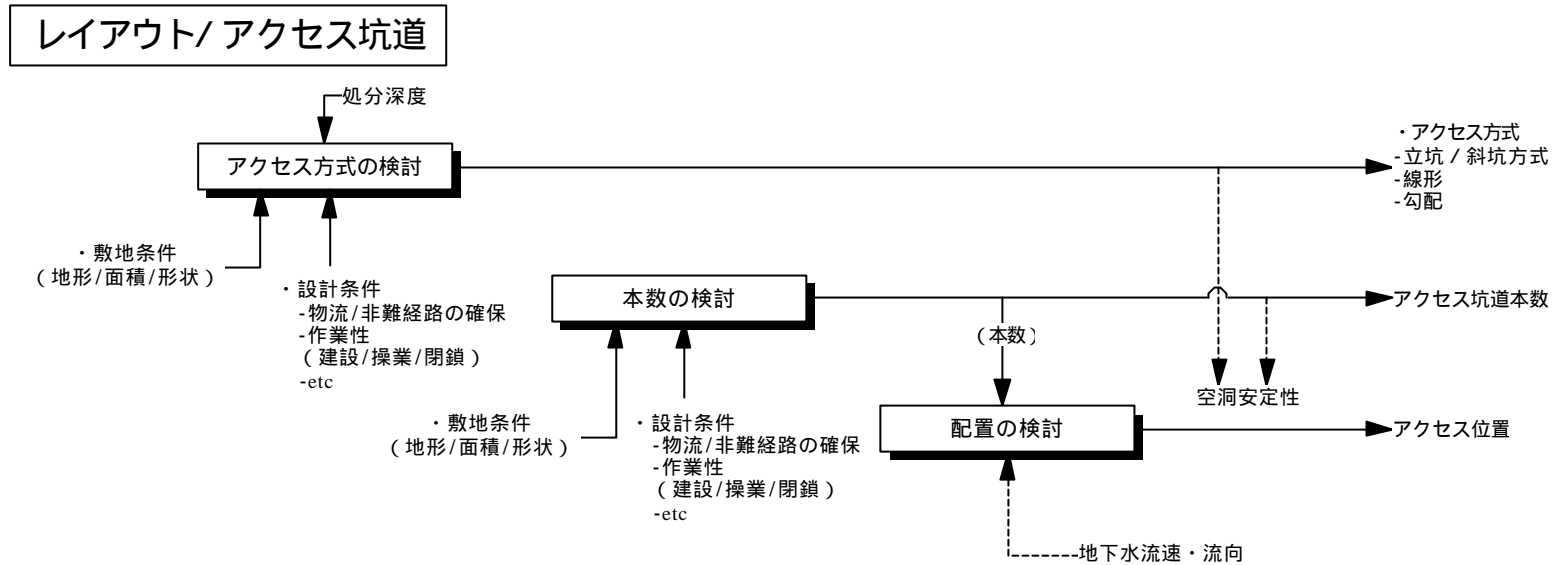


図 2.1.1-12 「処分技術」レイアウト（アクセス坑道，主要連絡坑道）設計に関するワークフロー

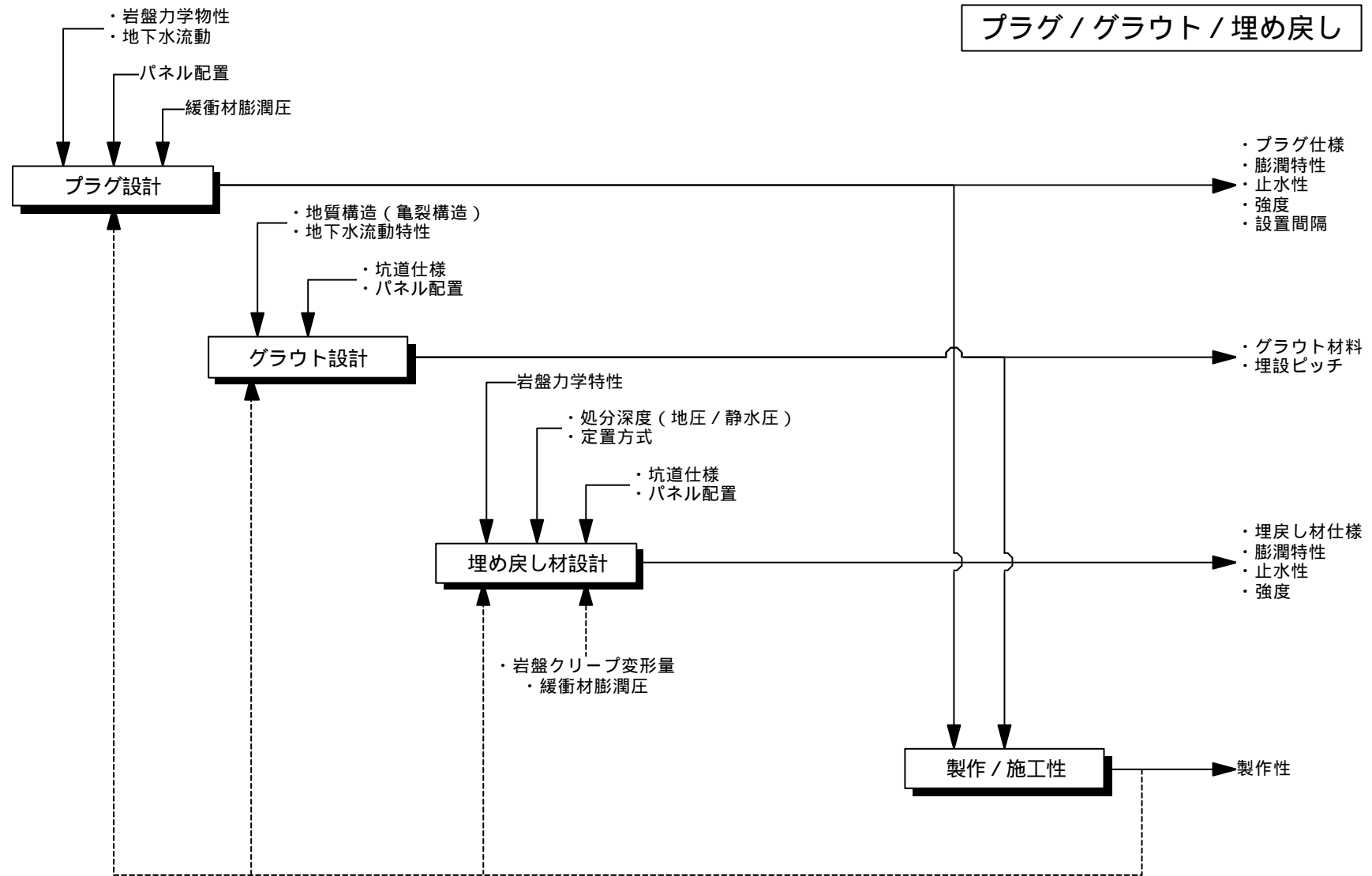


図 2.1.1-13 「処分技術」プラグ・グラウト・埋め戻し材設計に関するワークフロー

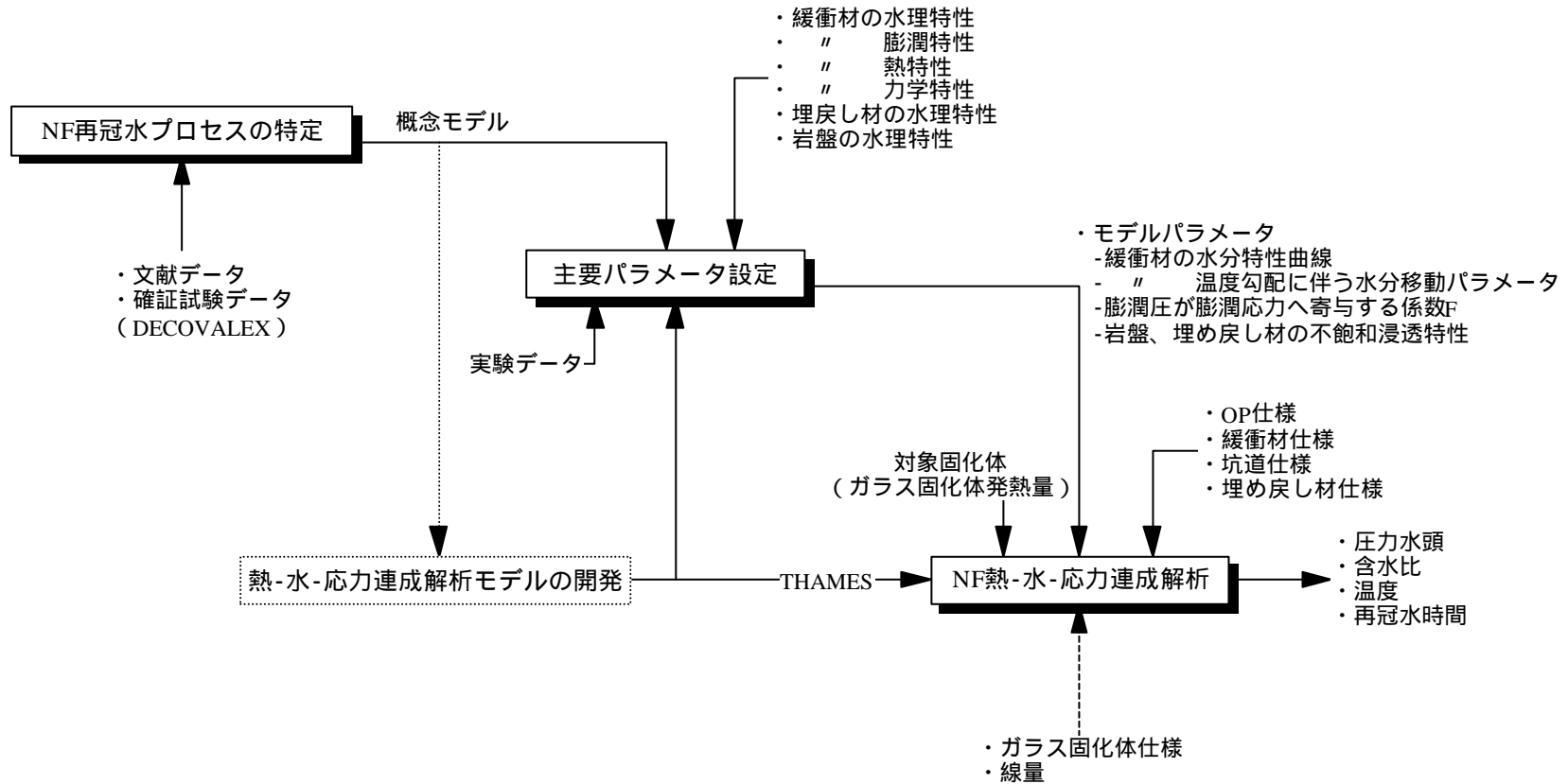


図 2.1.1-14 「処分技術」再冠水挙動評価に関するワークフロー

# 構造力学安定性評価

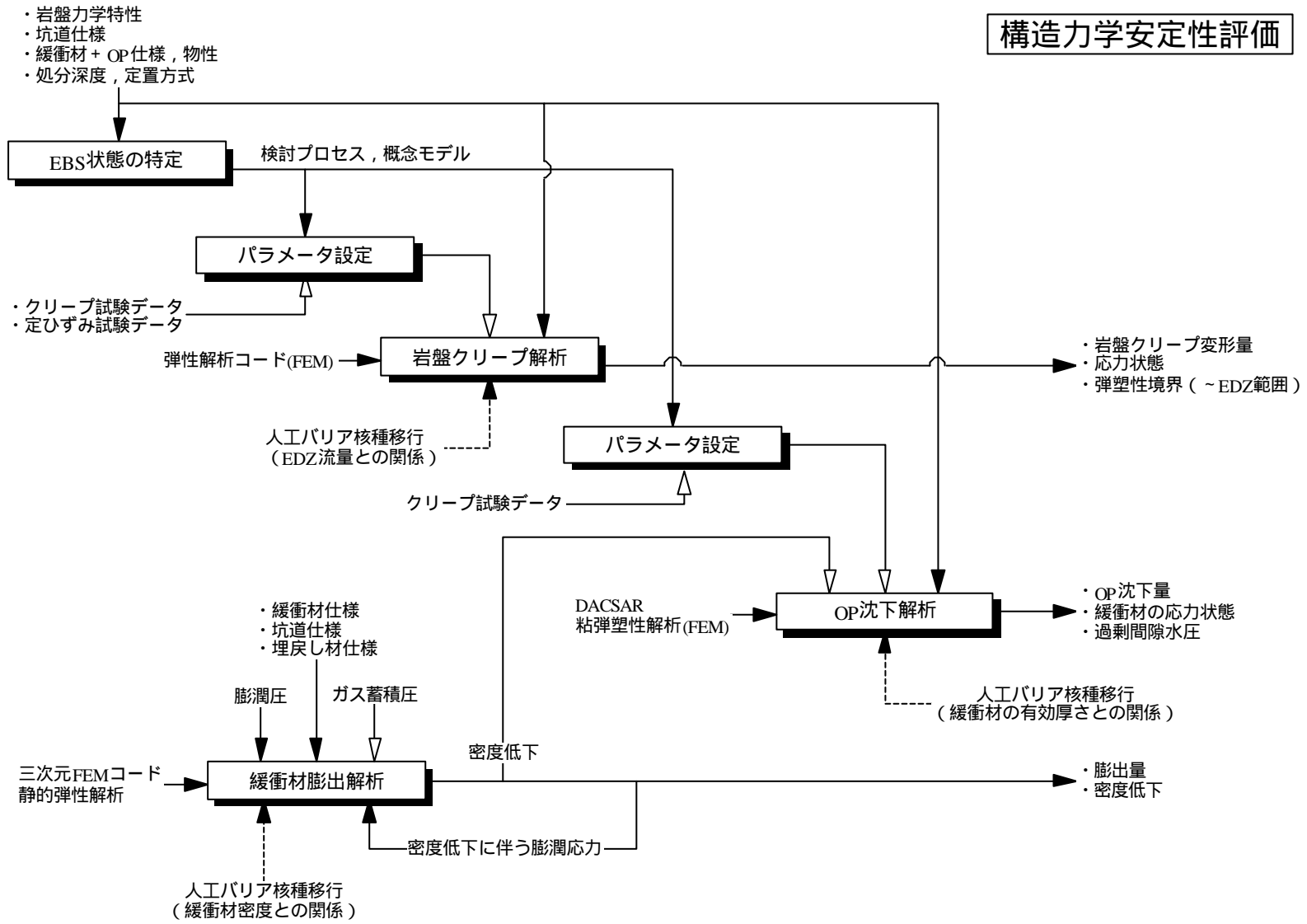


図 2.1.1-15 「処分技術」構造力学安定性評価に関するワークフロー

NF耐震安定性

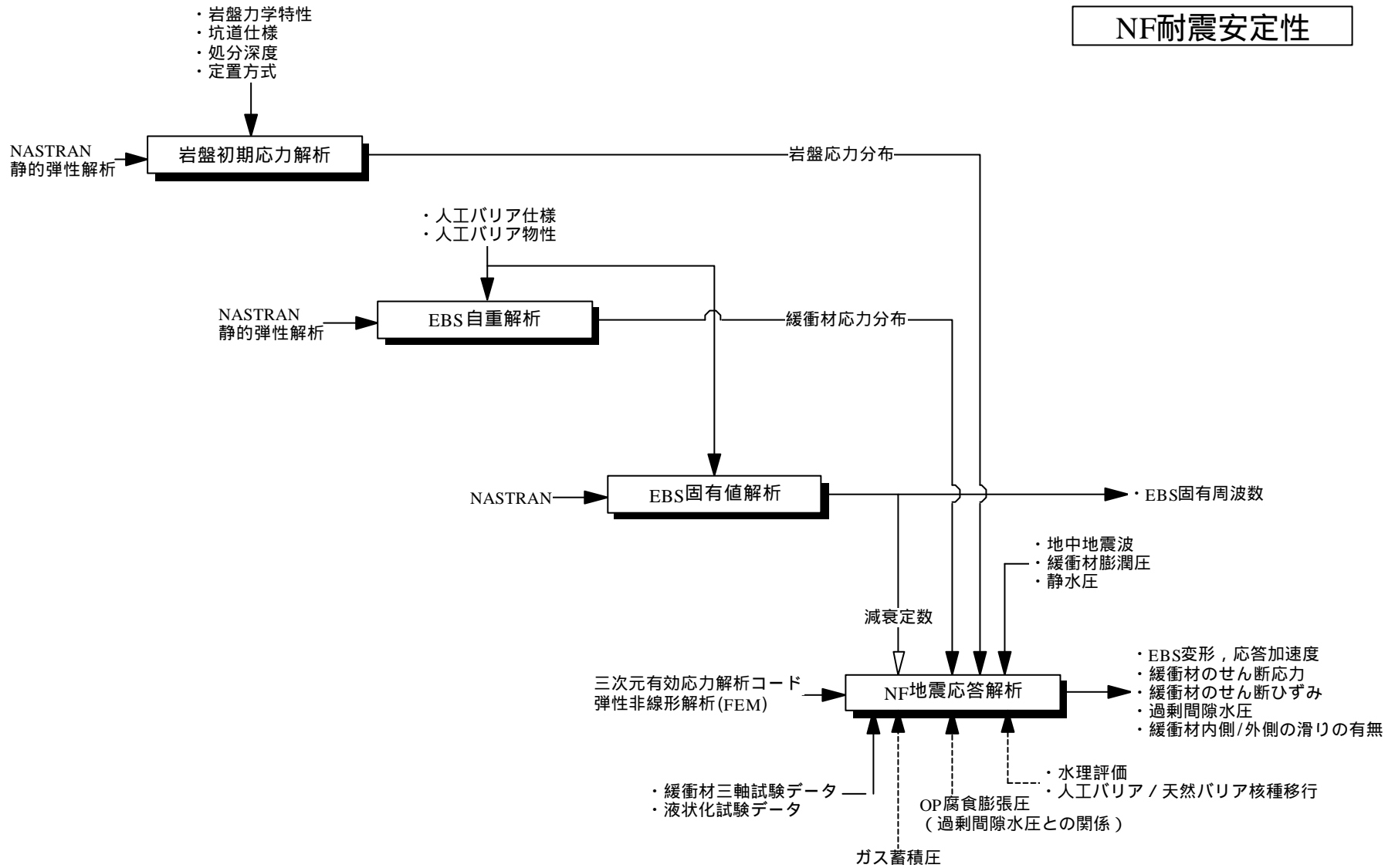


図 2.1.1-16 「処分技術」NF耐震安定性評価に関するワークフロー

# オーバーパック腐食挙動

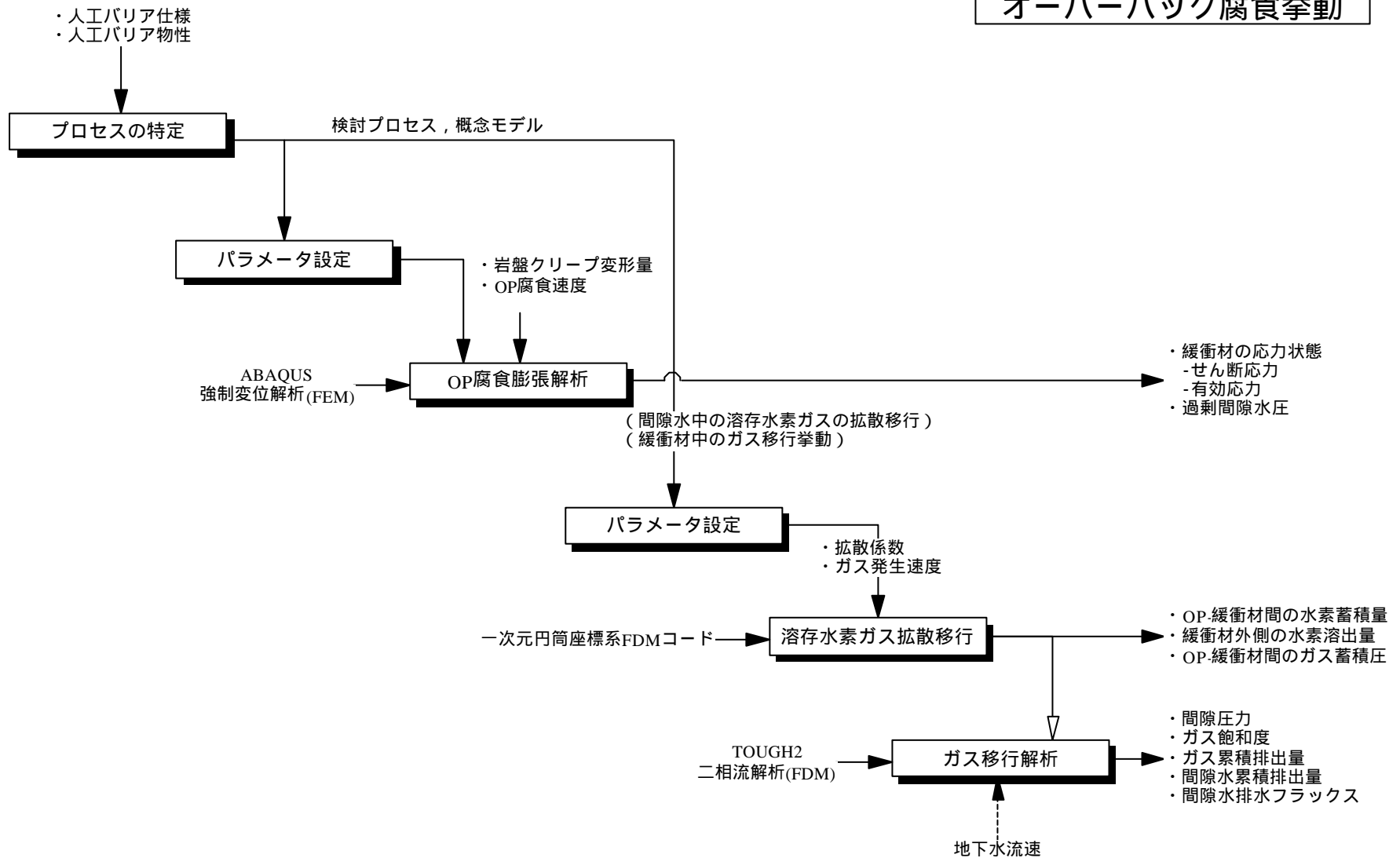


図 2.1.1-17 「処分技術」オーバーパック腐食挙動評価に関するワークフロー

建設・操業・閉鎖

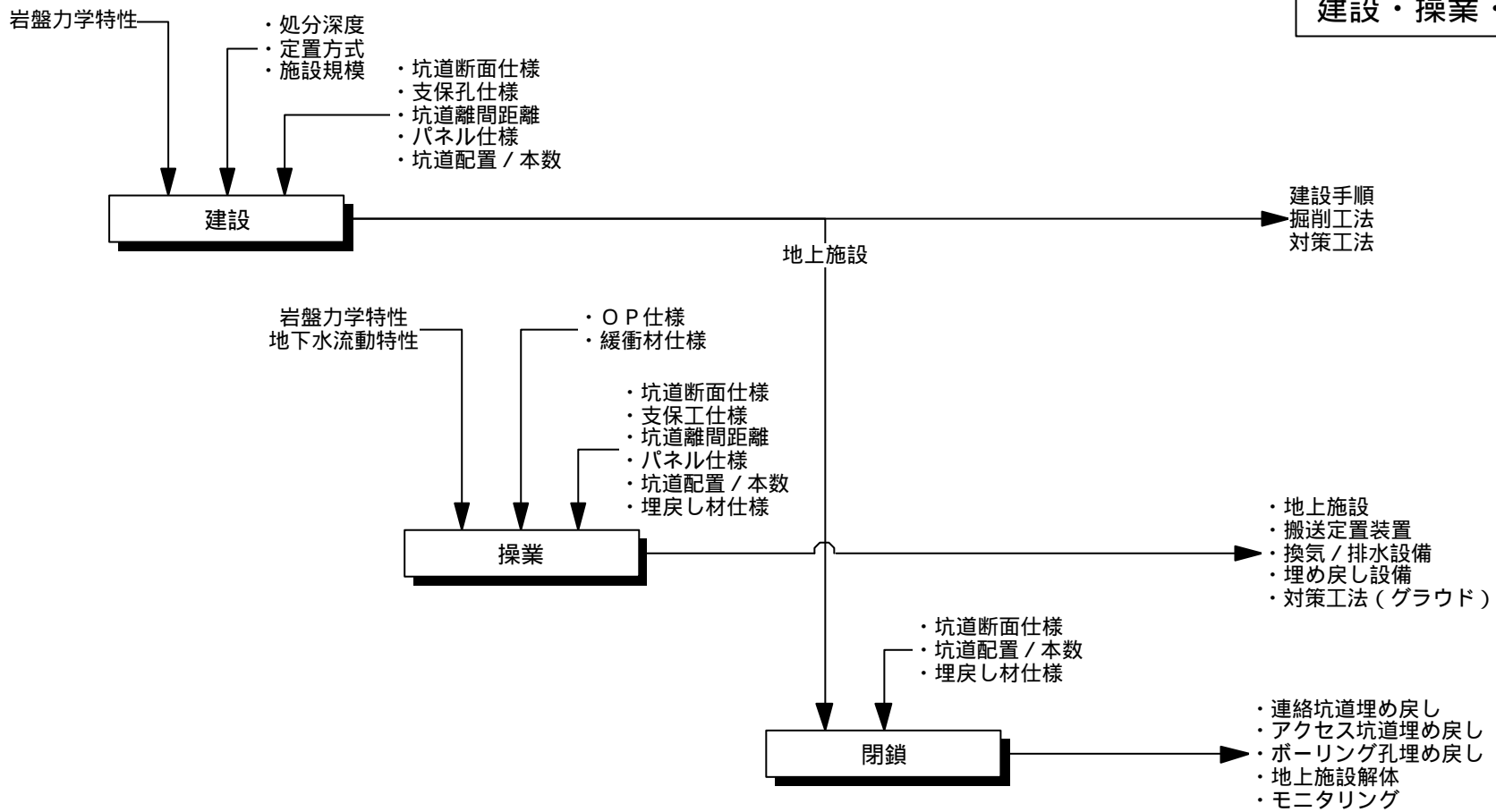


図 2.1.1-18 「処分技術」建設・操業・閉鎖検討に関するワークフロー



シナリオ分析

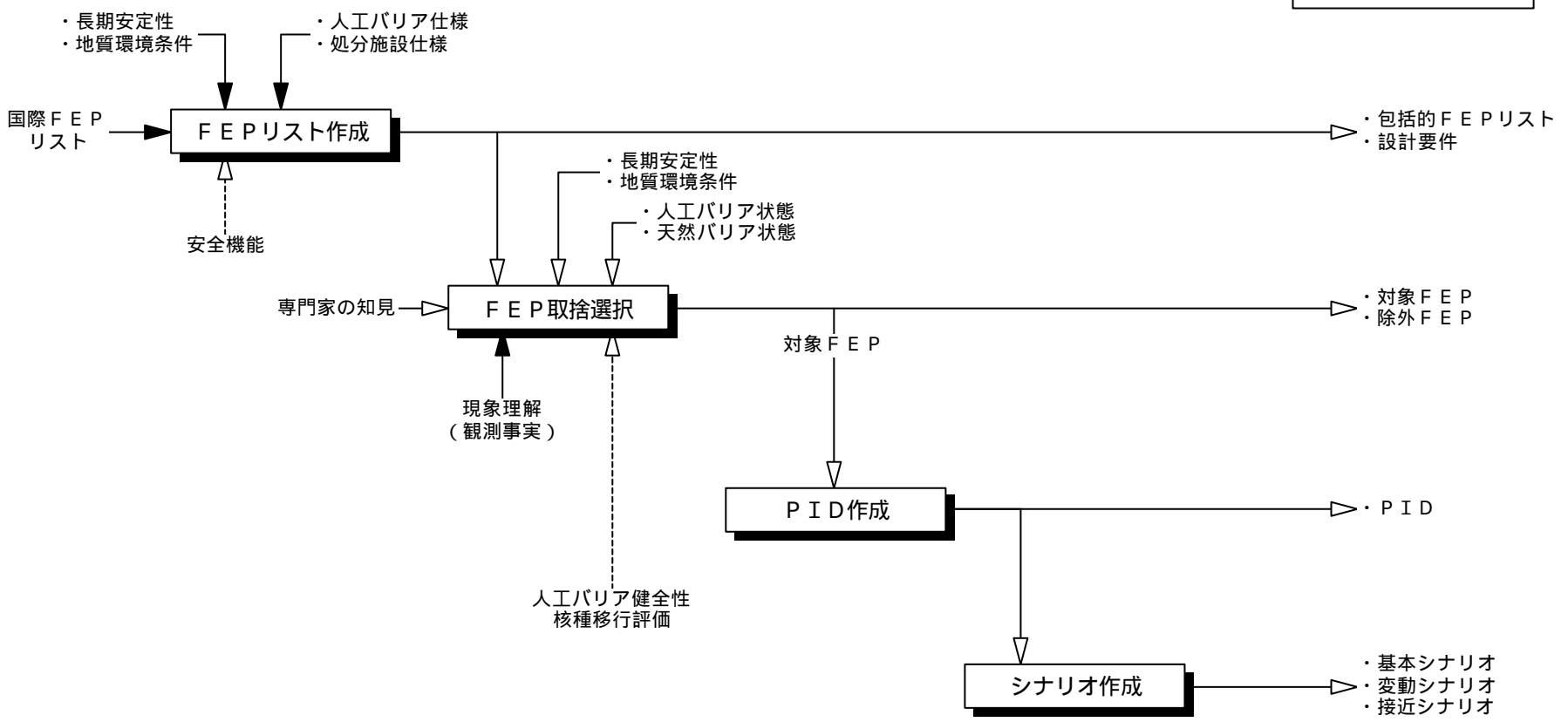


図 2.1.1-19 「性能評価」シナリオ分析に関するワークフロー

ソースターム評価

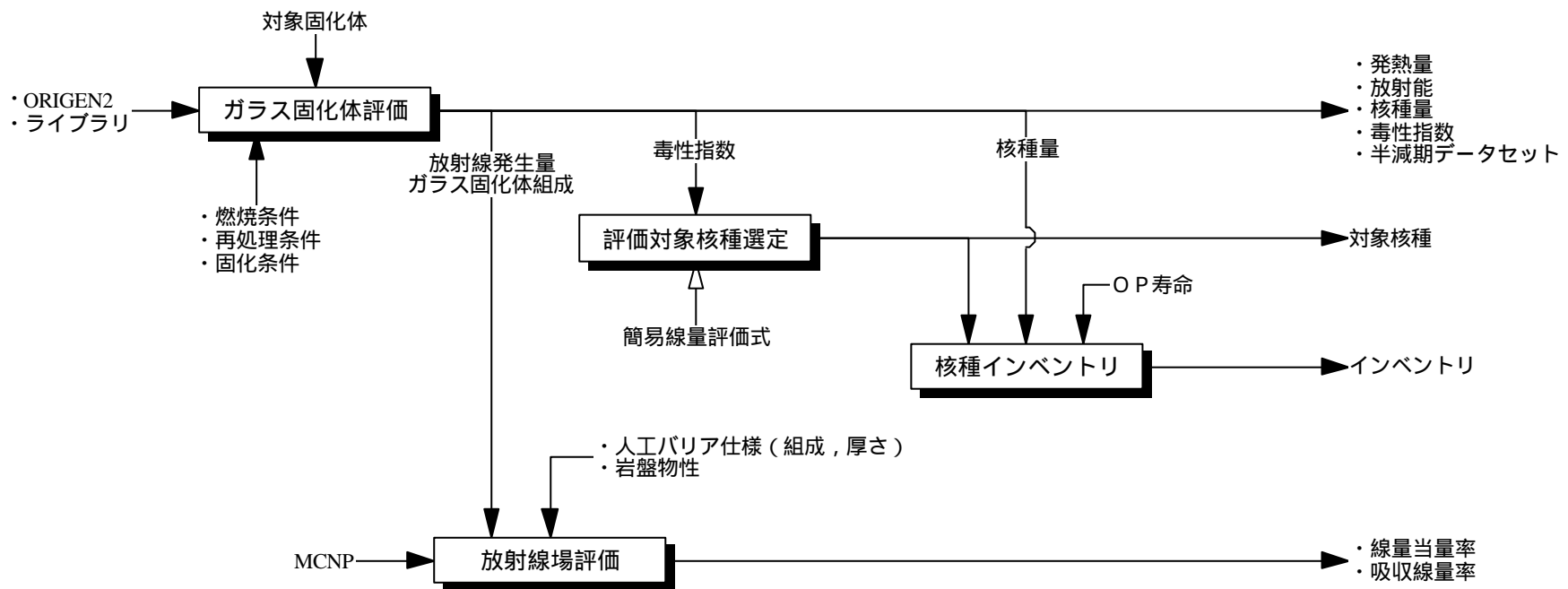


図 2.1.1-20 「性能評価」ソースターム評価に関するワークフロー

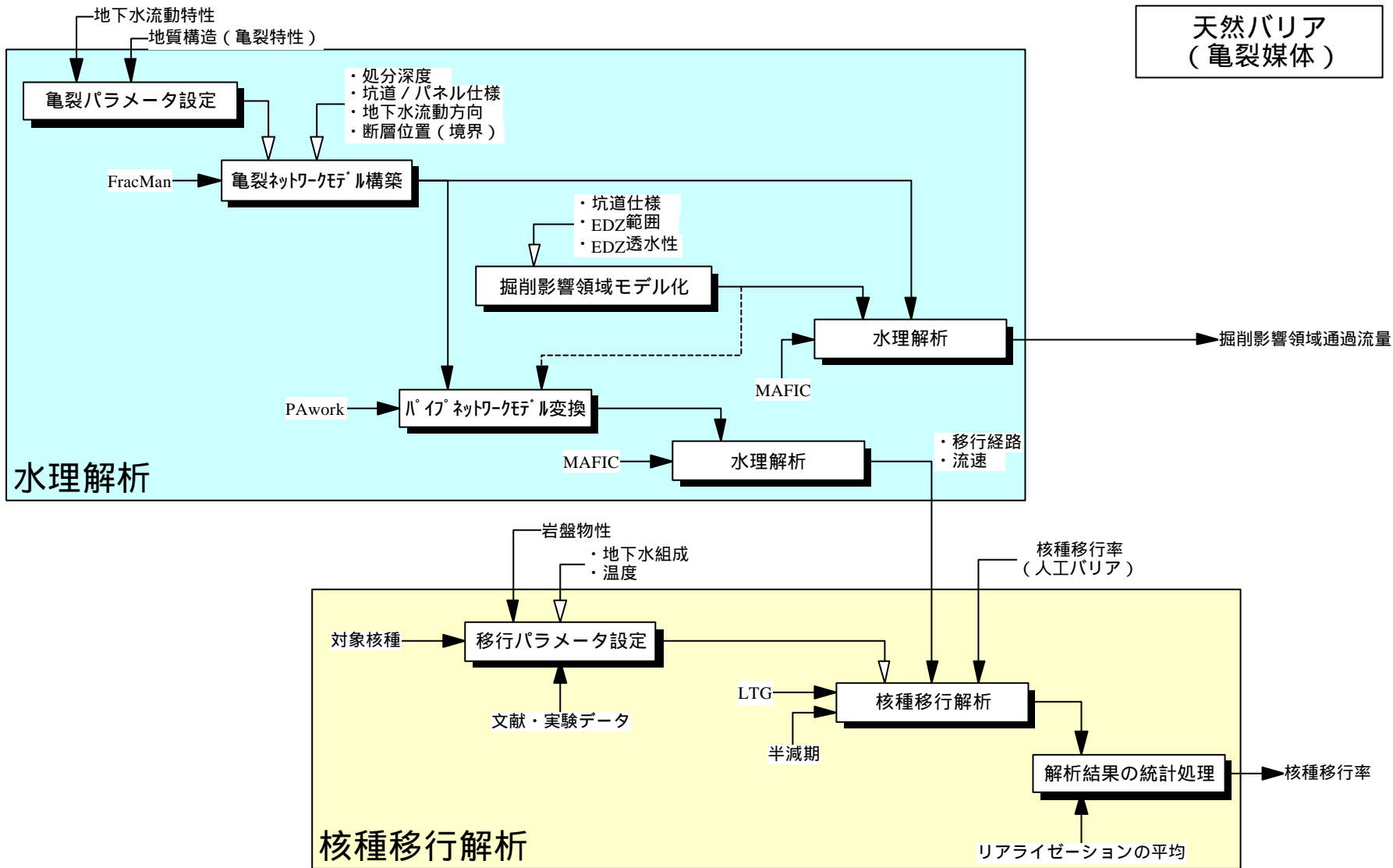


図 2.1.1-21 「性能評価」亀裂性媒体評価に関するワークフロー

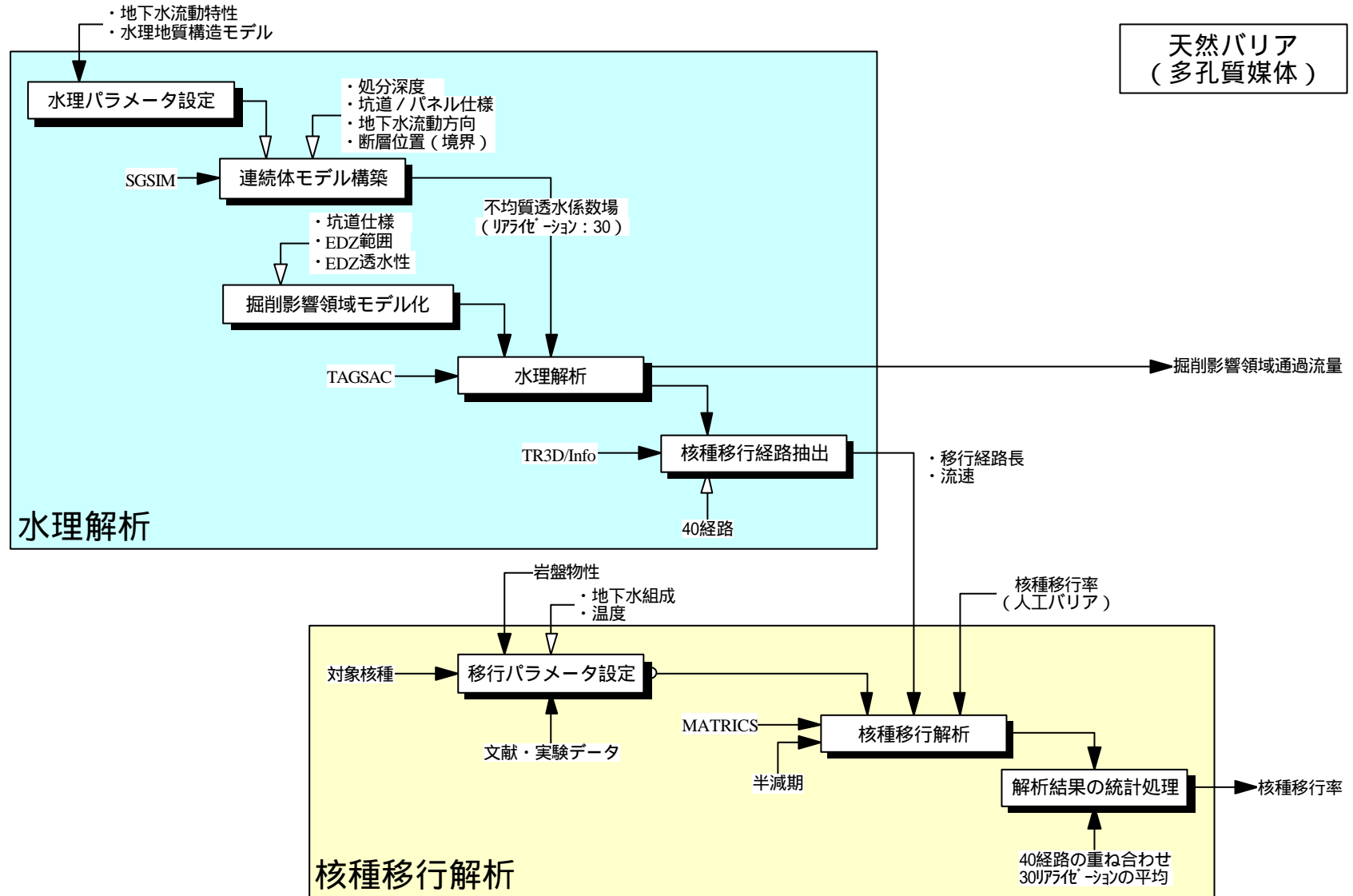


図 2.1.1-22 「性能評価」多孔質媒体評価に関するワークフロー

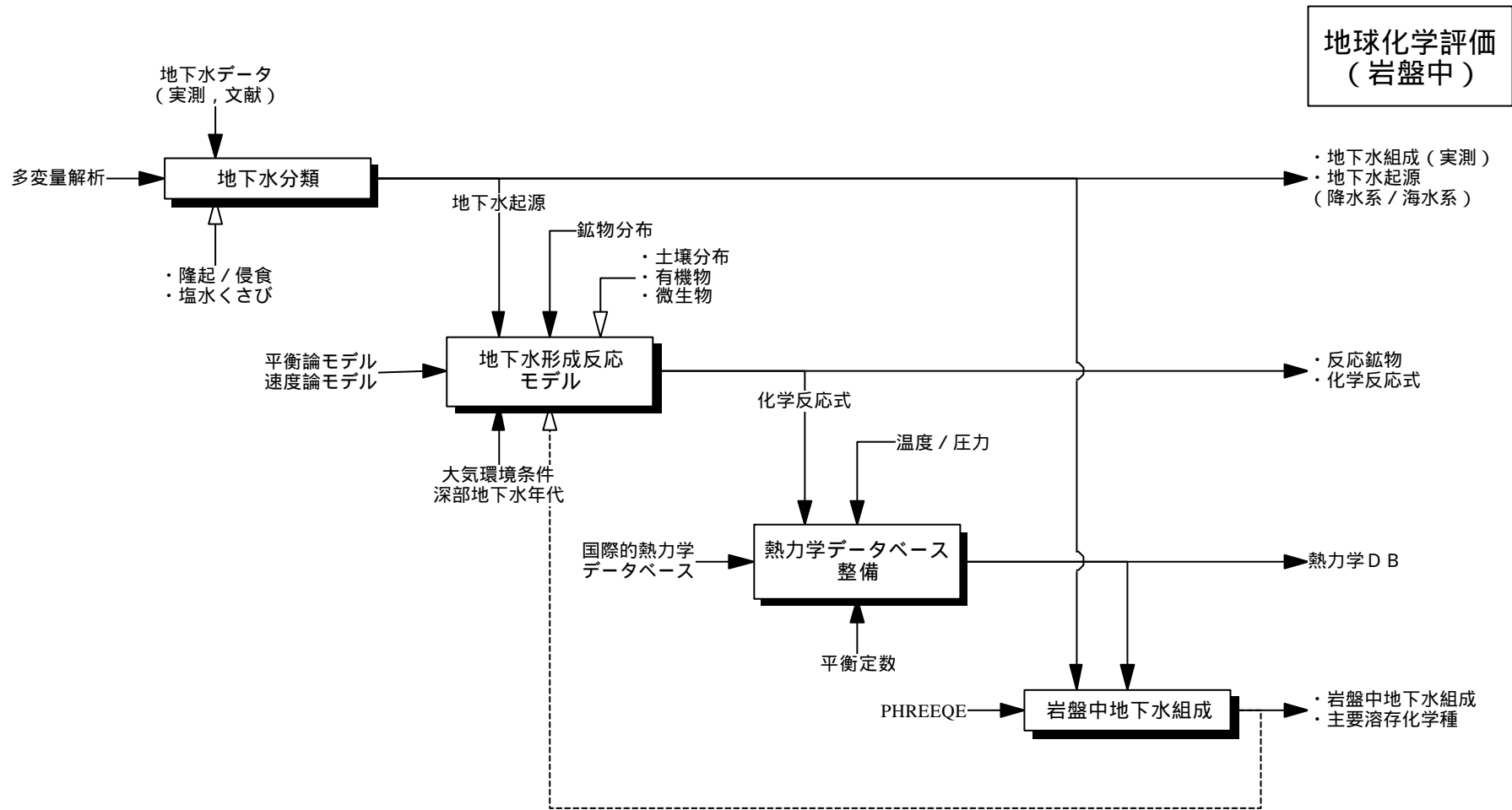


図 2.1.1-23 「性能評価」岩盤中地球化学評価に関するワークフロー

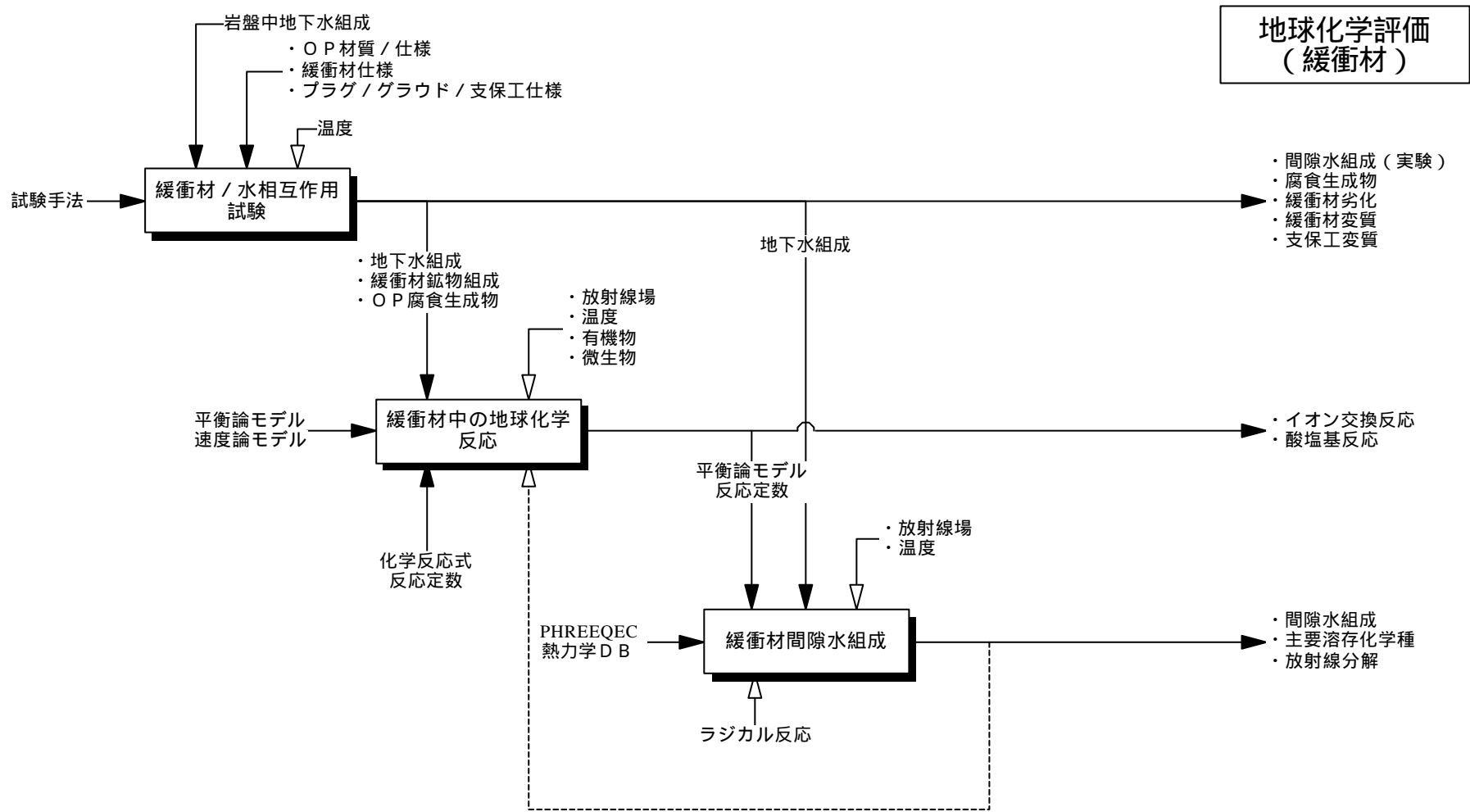


図 2.1.1-24 「性能評価」緩衝材中地球化学評価に関するワークフロー

溶解度評価

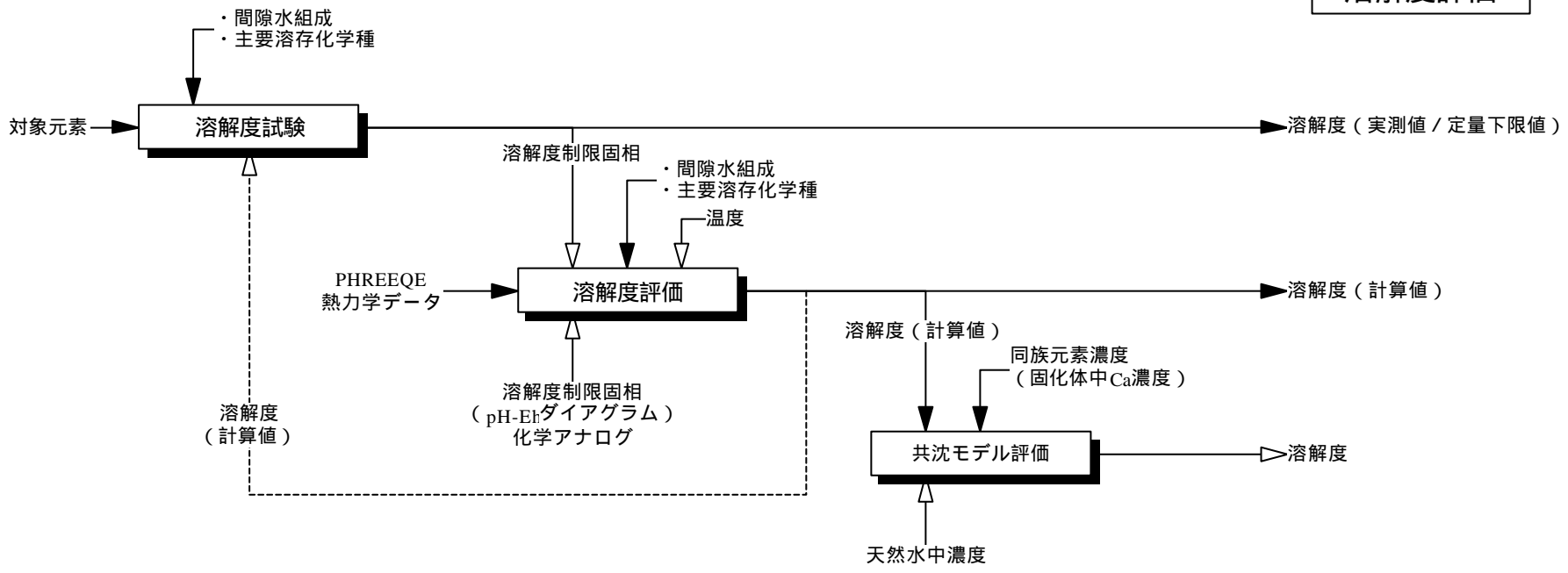


図 2.1.1-25 「性能評価」溶解度評価に関するワークフロー

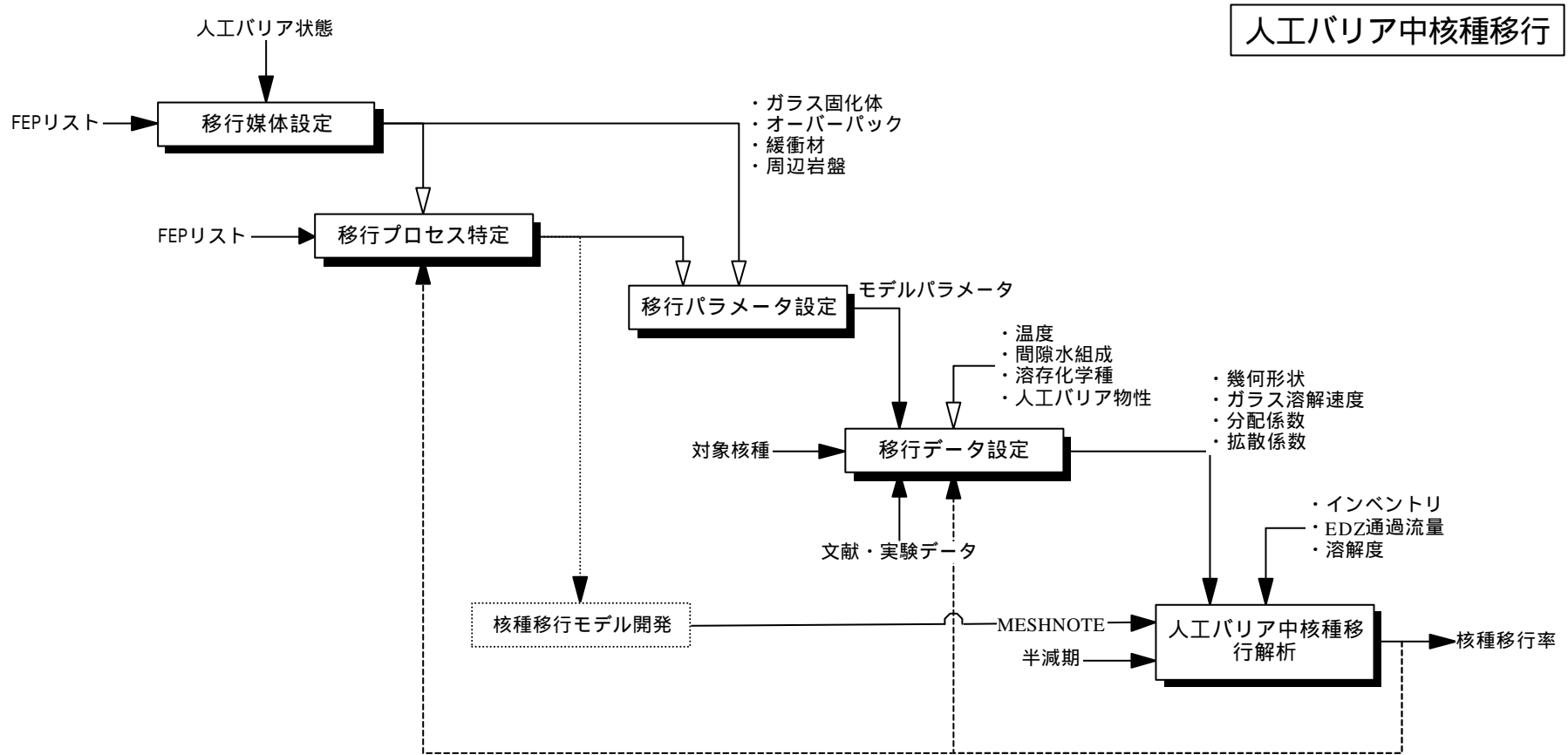


図 2.1.1-26 「性能評価」人工バリア中核種移行評価に関するワークフロー



生物圏評価

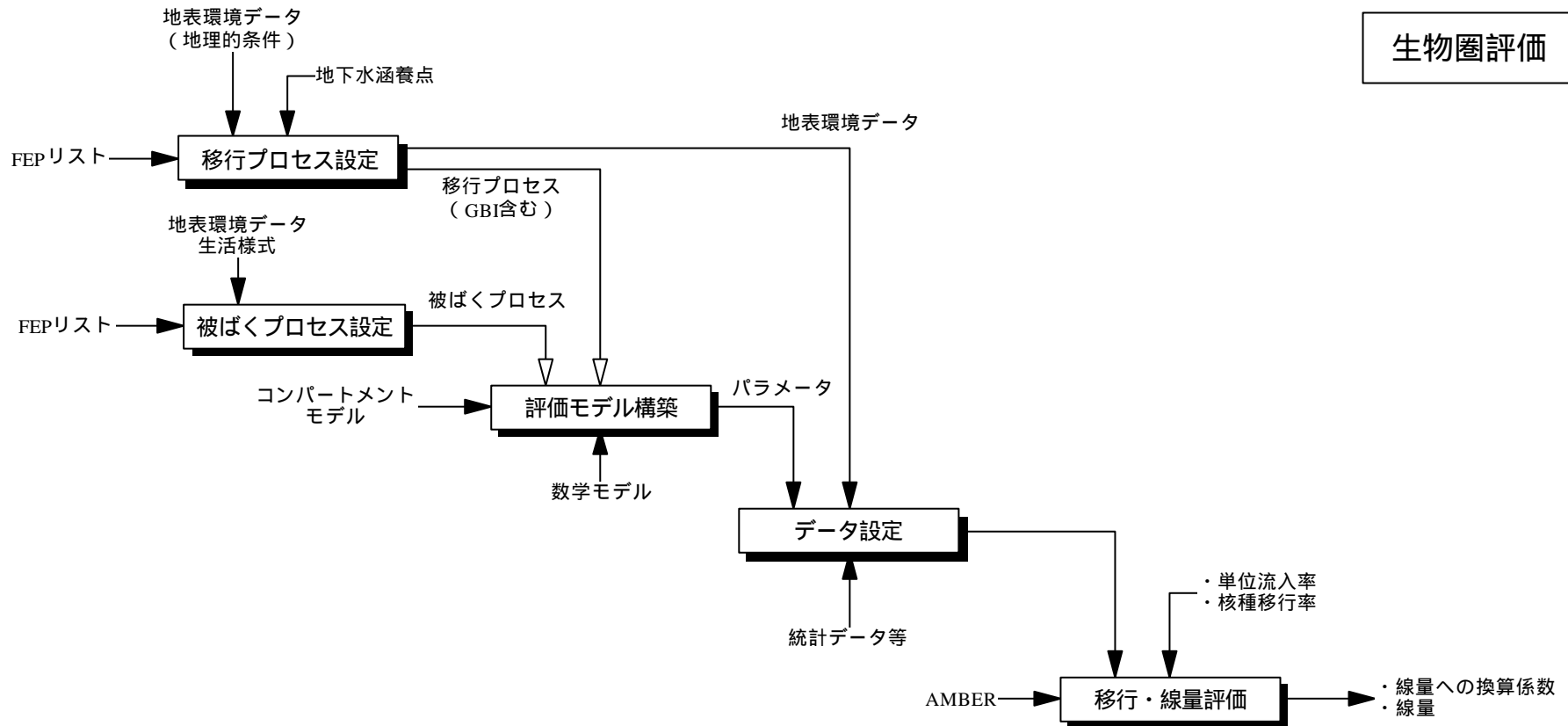


図 2.1.1-27 「性能評価」生物圏評価に関するワークフロー

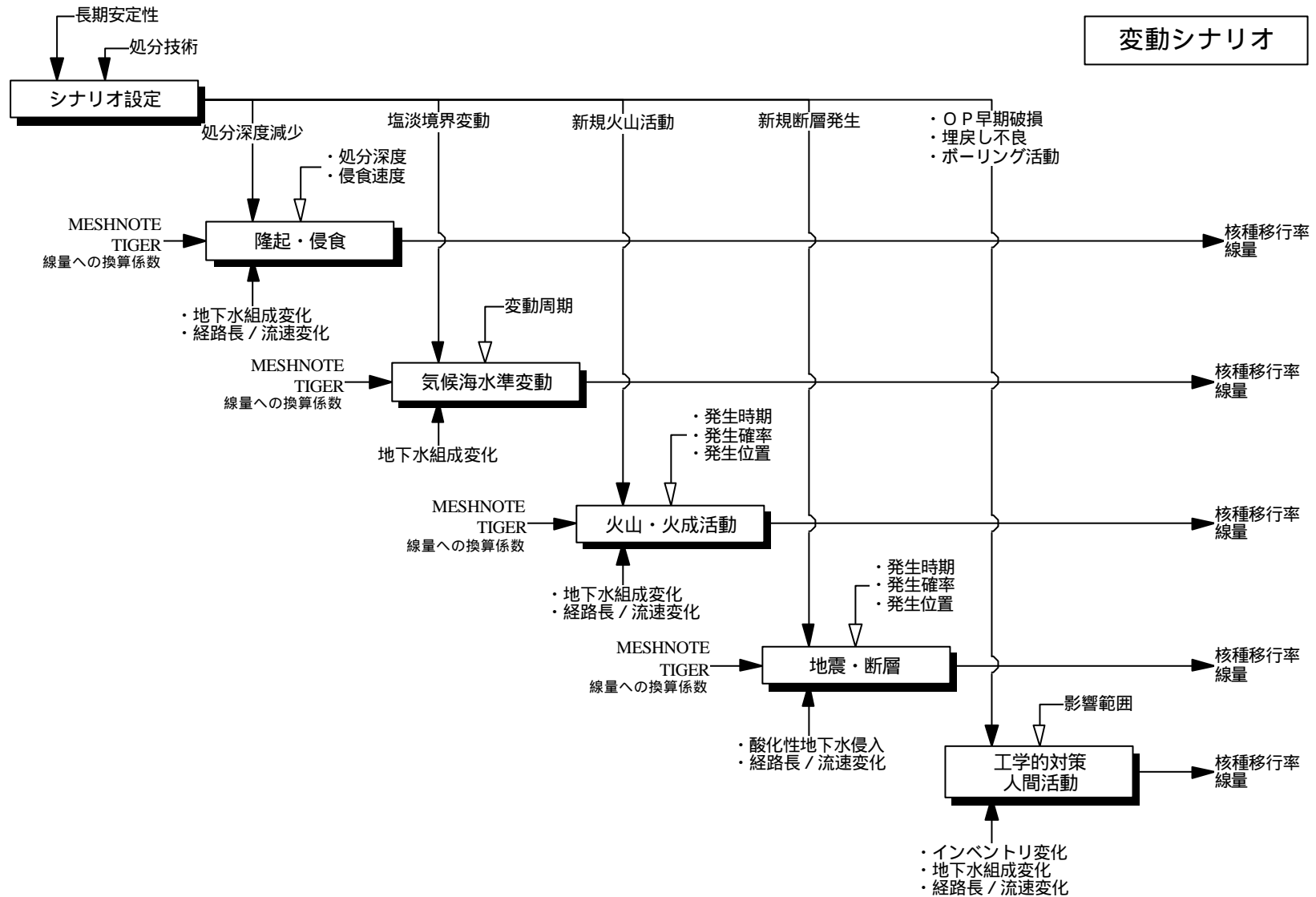


図 2.1.1-28 「性能評価」変動シナリオに関するワークフロー

### 2.1.2 評価体系の検討

本節では、第2次取りまとめの安全評価の前提条件と解析条件を整理することにより、今後の評価で留意すべき項目（現象）を抽出することを目的として、評価に使用されたシナリオおよび解析コードを整理して、第2次取りまとめにおける評価体系をまとめた。

第2次取りまとめ分冊3に述べられている地下水移行シナリオ（基本シナリオ）について、FEPリストと同様に場（固化体，オーバパック，緩衝材，処分施設，母岩）と特性（熱，水理，力学，化学，放射線，物質移行）とに分類して整理し，性能評価（安全評価）を実施するにあたって考慮すべき現象等をまとめた結果を表2.1.2-1に示す。また，処分技術（特に，人工バリア埋設後の健全性評価）および性能評価で使用された解析コードの一覧を表2.1.2-2に示すとともに，解析評価において対象となっている諸現象とその時間的な関係を表2.1.2-3に示す。

第2次取りまとめの安全評価においては，初めに包括的FEPリストを作成し，各FEP項目について主要な要因ごとに整理（現象理解）し，安全評価の対象とするFEPと除外するFEPを選択した後に，評価シナリオを作成している。ここで，安全評価から除外するFEPは実験や解析（人工バリア埋設後の健全性評価など）から地層処分システムへの影響が小さいと判断できるものを選定している。表2.1.2-1にまとめた地下水移行シナリオは，このようなFEPの取捨選択（判断）に基づいて作成されたシナリオであり，今後の研究開発の進展に伴ってこれらのFEPの取扱いが変化する可能性がある。このため，表2.1.2-1の右欄に示した「考慮すべき現象等」を念頭において，第2次取りまとめの前提条件が成立するか否か，シナリオがどの様に変化するか，を常に判断しながら安全評価を実施していく必要がある。特に，人工バリア中の核種移行評価においては，人工バリアの設計（仕様）や健全性評価に対する最新の結果に基づいて，移行評価の初期条件となる人工バリアの状態を把握した上で，評価に取り込んでいくことが重要である。また，評価結果（バリア性能）を設計側に確実にフィードバックし，設計担当者に安全評価上何が問題か，どのパラメータがバリア性能に影響を及ぼすか，などの情報を伝える必要がある。これは，「処分技術」分野と「性能/安全評価」分野の連携・統合に他ならず，このような情報のやり取りを密接に行うことが重要と考えられる。。

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーバック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
建設 操業	熱	冷却のため，固化後 30～50 年間中間貯蔵される。		固化体は緩衝材の最高温度が 100 を越えないように，適切な間隔をもって定置される。			<ul style="list-style-type: none"> <li>・固化体の発熱特性</li> <li>・緩衝材の熱的変質</li> </ul>
	水理		処分後 1,000 年間は地下水とガラス固化体が接触するのを防ぐ。				<ul style="list-style-type: none"> <li>・OP の水密性</li> <li>・OP の腐食挙動</li> <li>・OP の破損挙動</li> <li>・OP の寿命</li> </ul>
	力学				軟岩を想定する場合，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。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道の力学的安定性（形状 / 断面）</li> <li>・支保工の厚さ / 材質</li> </ul>
	化学				プラグ / グラウト，支保工としてセメント系材料を考える場合，低アルカリ性コンクリートを考える。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水組成の変化</li> <li>・間隙水組成の変化</li> <li>・緩衝材の化学的変質</li> <li>・施工性</li> </ul>
閉鎖	熱			人工バリアと周辺岩盤の温度は定置後 10～50 年後に最大となる。	人工バリアと周辺岩盤の温度は定置後 10～50 年後に最大となる。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材の熱的変質</li> <li>・岩盤の熱的変質</li> </ul>
	水理			緩衝材は埋め戻し後 50 年までに飽和する。	地下水が浸潤することにより，処分場閉鎖後数年で処分場周辺の岩盤が再飽和する。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の流動特性</li> <li>・地下水の浸潤挙動</li> </ul>
	力学			緩衝材の膨潤により，施工上生じたすき間が埋められ，均質な微細間隙構造を有するようになる。	緩衝材と埋戻し材の膨潤圧と岩盤の地圧により，処分場内の応力の再配分が生じる。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材の膨潤挙動</li> <li>・埋戻し材の膨潤挙動</li> <li>・岩盤のクリープ挙動</li> <li>・EDZ の拡大 / 閉塞</li> </ul>
				オーバーバックは緩衝材中で定置された位置に保持される。			

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等	
閉鎖	力学				支保工に期待する性能が長期的には発揮されなくなる場合、オーバーパックの腐食膨張による応力や岩盤のクリープが、人工バリア周辺岩盤（掘削影響領域）に力学的影響を及ぼす可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工の変形 / 変質</li> <li>緩衝材の膨潤挙動</li> <li>埋戻し材の膨潤挙動</li> <li>緩衝材の流出挙動</li> <li>岩盤のクリープ挙動</li> <li>EDZ の拡大 / 閉塞</li> </ul>	
	化学			埋戻し後初期の不飽和で温度勾配が大きい期間には、塩の蓄積が生じ、局所的な化学的環境変化が生じる可能性がある。 温度勾配が小さくなり、緩衝材が地下水で飽和された後には、蓄積された塩は溶解し、拡散により散逸する。			<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の浸潤挙動</li> <li>緩衝材の温度変化</li> <li>塩の沈殿 / 溶解</li> <li>緩衝材中の拡散散逸</li> </ul>	
				オーバーパックは緩衝材の間隙などに残る酸素を消費して腐食した後、還元条件下で水素発生型の腐食がゆっくりと進む。	緩衝材中や周辺岩盤中の溶存酸素は、ベントナイト中の黄鉄鉱、オーバーパックやその腐食生成物との反応により、オーバーパック破損時期までに消費される。			<ul style="list-style-type: none"> <li>溶存酸素の消費量</li> <li>酸化還元環境の変化（還元性の回復挙動）</li> <li>腐食の進展挙動</li> <li>水素ガスの発生挙動</li> <li>水素ガスの透気挙動</li> </ul>
				地下水はもともと還元性であり、緩衝材や腐食生成物との反応は還元性の維持に寄与する。	人工バリア中に浸透してきた地下水は、緩衝材やオーバーパックの腐食生成物との反応により化学的性質が変化する。	支保工と反応した地下水が緩衝材中に浸透し、緩衝材間隙水を変化させる。 支保工が化学的に変質する。		<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成の変化</li> <li>間隙水組成の変化</li> <li>支保工との反応</li> <li>腐食生成物との反応</li> <li>支保工の変質</li> <li>緩衝材の化学的変質</li> </ul>
	放射線	比較的短寿命の核種は固化体中で崩壊し減衰する。					<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性崩壊</li> <li>OP の寿命</li> </ul>	

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
閉鎖	物質移行			低透水性により、緩衝材中の物質の移動は拡散支配となる。			<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材の微細構造</li> <li>・緩衝材の水理特性</li> <li>・物質移行特性</li> </ul>
地下水接触後	熱	オーバーパックの破損までにガラス固化体から生じる熱の影響は無視できる程度までに小さくなる。		最高温度が 100 未満になるように定置されているため、長期間にわたって緩衝材の顕著な変質は生じない。	周辺岩盤の温度は、処分後 1,000 年後には地温程度まで低下する。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・固化体の発熱特性</li> <li>・OP の寿命</li> <li>・緩衝材の熱的変質</li> <li>・岩盤の熱的変質</li> </ul>
	水理				緩衝材外側周辺を通過する地下水の流れは一般的に遅く、緩衝材中の濃度勾配は緩やかなものとなる。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・EDZ の流動特性</li> <li>・緩衝材中の物質移行特性</li> </ul>
	力学	ガラス固化体は、製造時の冷却やオーバーパック破損後の応力による割れが生じる。	オーバーパックは腐食の進行に伴い、その強度が周囲からの応力にしたまわった段階で機械的に破損する。	オーバーパックの腐食膨張や沈下については、設計において考慮されており、人工バリアの機能を損なうことはない。			
				母岩亀裂への緩衝材の侵入は、亀裂の開口幅や周辺母岩中の流速が侵食を促進するほど大きくはないため制限され、緩衝材密度の顕著な低下を生じることはない。			<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の流動特性</li> <li>・母岩中の亀裂分布</li> <li>・緩衝材の膨潤挙動</li> <li>・緩衝材の流出挙動</li> <li>・緩衝材の圧密挙動（密度変化）</li> </ul>

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
地下水接触後	化学	オーバーパック破損後，地下水がガラス固化体に接触し，ガラスマトリクスの溶解に伴い，放射性核種がゆっくりと溶出する。ガラスの溶解が進むことにより体積が減少し，それに伴う表面積の減少が溶解量を低下させる。		<p>主要な放射性元素の多くは還元条件で難溶性であるため，溶解度を越えると沈殿を生じる。</p> <p>それぞれの核種の濃度は，同位体存在比に応じて元素の溶解度よりも小さくなる。</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガラスの溶解挙動</li> <li>・核種の浸出挙動</li> <li>・沈殿 / 溶解反応（同位体分割）</li> <li>・化学種による移行挙動の変化</li> </ul>
			<p>オーバーパックの腐食に伴い発生する水素ガスについては，腐食速度が時間的に減少することや溶存水素ガスの拡散により，透気が起こるほどのガスの蓄積はない。</p>				<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素ガスの発生挙動</li> <li>・ガスの蓄積量</li> <li>・ガスの透気挙動</li> <li>・緩衝材中の移行パスの形成</li> </ul>
				<p>プラグ / グラウト，支保工としてセメント系材料を考える場合は，低アルカリ性コンクリートを考えるため，緩衝材は長期にわたって顕著な変質を起こさず，所要の安全機能を発揮する。</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・間隙水組成の変化</li> <li>・緩衝材の化学的変質</li> </ul>
					<p>処分施設や母岩についても，人工バリア性能に影響を与えるような物理的 / 化学的な変化はない。</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤のクリープ挙動</li> <li>・岩盤の化学的変質</li> </ul>

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
地下水接触後	放射線	ガラス固化体からの放射線により緩衝材間隙水の放射線分解が起こり酸化剤が生成されるが、人工バリア内の還元剤との反応により、酸化剤が存在し続けるとしてもガラス固化体近傍にとどまる。					<ul style="list-style-type: none"> <li>酸化剤の生成反応</li> <li>酸化剤の消費(酸化還元反応)</li> <li>酸化剤の移行</li> </ul>
	物質移行		オーバーパックの腐食生成物層においても、収着などにより核種移行が遅延される可能性がある。				<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食生成物層の状態</li> <li>移行挙動</li> </ul>
				核種は溶解度により制限される濃度を上限とした濃度勾配に従って、緩衝材中を溶質として拡散移行する。その過程で、緩衝材の構成鉱物に終着することにより、移行が遅延される。 緩衝材外側周辺を通過する地下水の流れは一般的に遅く、緩衝材中の濃度勾配は緩やかなものとなる。			<ul style="list-style-type: none"> <li>拡散</li> <li>収着</li> <li>沈殿 / 溶解</li> <li>EDZ の流動特性</li> <li>化学種による移行挙動の変化</li> </ul>
					廃棄体が距離をおいて配置されることにより、処分場領域の母岩中においても核種移行遅延効果を受ける。		<ul style="list-style-type: none"> <li>処分場領域(母岩)の流動特性</li> <li>周辺岩盤中の移行挙動</li> </ul>



表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
地下水接触後	物質移行				地下水の流れの上流側に位置する廃棄体から溶出してきた核種が下流側の廃棄体周辺に至り、緩衝材外側での核種濃度が上昇することによって、緩衝材中での濃度勾配がさらに緩やかになり、この結果、下流側の緩衝材からの核種の放出率が小さくなる。		・濃度干渉効果
						母岩中の地下水および物質の移動は、亀裂が卓越する場合、透水性亀裂の不均質なネットワーク構造中で生じる。亀裂に移行した核種は、ネットワーク構造中を移流/分散により溶質として移行する。亀裂中の核種は拡散により岩石基質部に移行し（マトリクス拡散）、岩石基質部の鉱物表面への収着により遅延される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・亀裂媒体中の核種移行経路</li> <li>・亀裂表面収着</li> <li>・亀裂充てん鉱物への収着</li> <li>・マトリクス拡散</li> <li>・マトリクスへの収着</li> <li>・沈殿/溶解</li> </ul>
						粒子間隙中の流れが支配的な場合には、母岩に移行した核種は不均質な地質構造中を移流/分散により溶質として移行する。その際、粒子間隙中での鉱物表面への収着により遅延される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多孔質媒体中の核種移行経路</li> <li>・移流/分散</li> <li>・収着</li> <li>・沈殿/溶解</li> </ul>

表 2.1.2-1 2000 年レポートにおける地下水移行シナリオ（基本シナリオ）の概要

時期	特性	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	処分施設	母岩（生物圏）	考慮すべき現象等
地下水接触後	物質移行			緩衝材のフィルター効果により，コロイド，微生物，あるいは天然有機物の移行は抑制される。		地下水中的コロイドに核種が収着して疑似コロイドを形成した場合，マトリクス拡散による遅延効果が減少し，移行挙動に影響を与える可能性がある。一方，コロイドは鉱物表面への付着などの相互作用をもつことも確認されており，コロイドの岩石への付着による遅延も期待される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コロイドの形成反応</li> <li>・コロイドの移行挙動</li> <li>・有機物 / 微生物影響</li> </ul>
						地下水流れに対して処分場の下流側に位置する大規模な破碎帯を含む断層に到達した核種は，断層中を移流 / 分散により溶質として移行する。断層中の核種は拡散や収着により遅延される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層破碎帯の流動特性</li> <li>・充てん鉱物への収着</li> <li>・移流 / 分散</li> <li>・収着</li> <li>・沈殿 / 溶解</li> </ul>
						人工バリアから母岩と断層を移行してきた放射性核種は，最初に母岩上に位置する帯水層を経て地表環境に到達した後，地表の環境中を移行しながら，様々な被ばく経路を通じて最終的に人間に放射線の影響を与える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物圏への核種流入域（GBI）</li> <li>・生物圏構成要素</li> <li>・核種移行経路</li> <li>・被ばく経路</li> </ul>

表 2.1.2-2 処分技術 / 性能評価におけるモデルチェーン

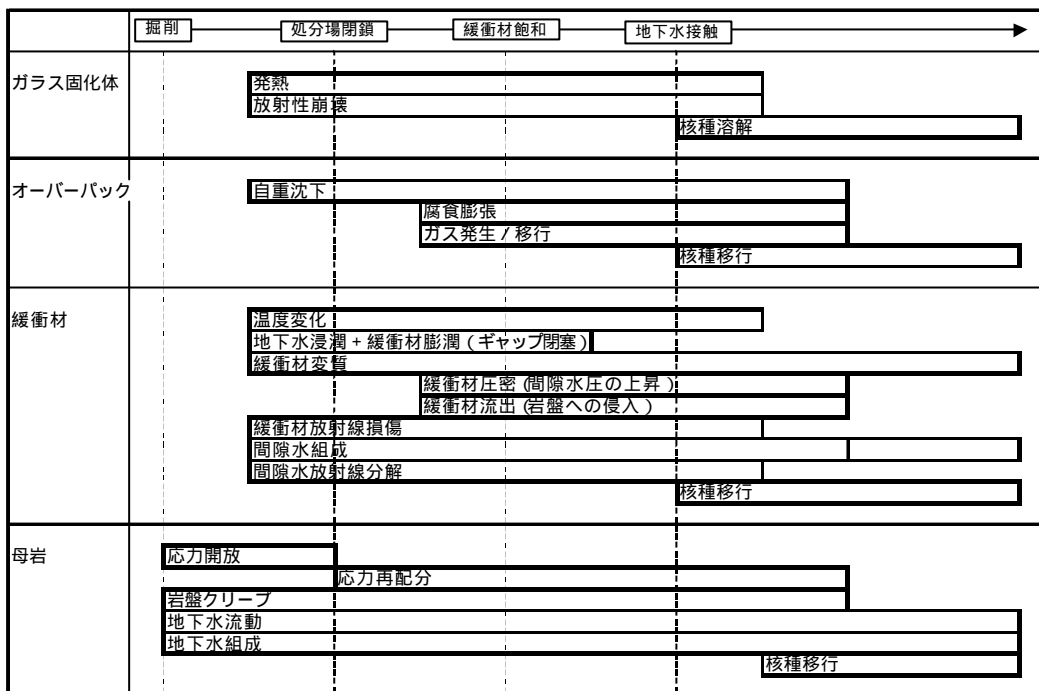
(a) 処分技術におけるモデルチェーン

設計	熱	水理特性 (緩衝材浸潤)	力学特性					化学特性	安全評価へ
			岩盤クリープ	OP沈下	緩衝材流出	耐震安定性	OP腐食膨張	ガス移行	
設計ツール									人工バリアの状態(OP破損時点)
	FINAS (THAMES)								
		THAMES							
			(FEM コード)				クリープ変形		
				DACSAR					
					(FEM コード)				
						(FEM コード)			
						応力, 間隙水圧	ABAQUS		
								TOUGH2	
	人工バリア仕様 熱特性	人工バリア仕様 水理特性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学特性 地震波	人工バリア仕様 力学特性	人工バリア仕様	

(b) 安全評価におけるモデルチェーン (2000年レポートより引用)

水理	母岩中 地下水化学	緩衝材中 地下水化学	溶解度	処分場 周辺温度	ガラス固化体	核種移行			
						人工バリア	母岩	断層	生物圏
FracMan						EDZ 通過流量			
	PHREEQE	地下水組成							
		PHREEQEC	間隙水組成						
			PHREEQE			溶解度			
				FINAS 熱発生		温度			
					ORIGNE2	インベントリ			
						MESHNOTE	核種移行率		
							MATRICES	核種移行率	
								MATRICES	核種移行率
									AMBER
亀裂特性	熱力学データ (鉱物など)	熱力学データ (鉱物など)	熱力学データ (放射性元素)			ガラス溶解速度 拡散係数 分配係数	透水量係数 亀裂特性 拡散係数 分配係数	透水量係数 亀裂特性 拡散係数 分配係数	

表 2.1.2-3 処分システムにおける諸現象と時間変化の関係



### 2.1.3 評価データの階層構造の検討

統合解析システムにおいて地層処分に係わる技術基盤情報を体系化していくためには、データの管理と活用を行うデータベースが不可欠となる。各研究分野におけるデータ項目やデータの相関図は、2.1.1 節に示した相関マトリクスやワークフローに記述されているため、ここではこれらのデータを管理するデータベース構造について概念検討を行った。

地層処分システムを構成する物理的な要素は、人工バリア等に代表される構造物と天然の地層から成り立っている。データベース構造の検討においては、まず、このような物理的な要素（実体）に着目し、これらの要素の持つ物性値、ならびにそこで生起すると想定される諸現象を解析することによって得られる状態量（主として解析結果）とに分類して整理した。例えば、図 2.1.3-1 に示すように、人工バリアを構成する実体の一つであるガラス固化体は、物理的な実体としてのデータ（形状や寸法などの物性値）と、ORIGEN 等による解析から得られるデータ（発熱量や放射能などの状態量）を持っている。

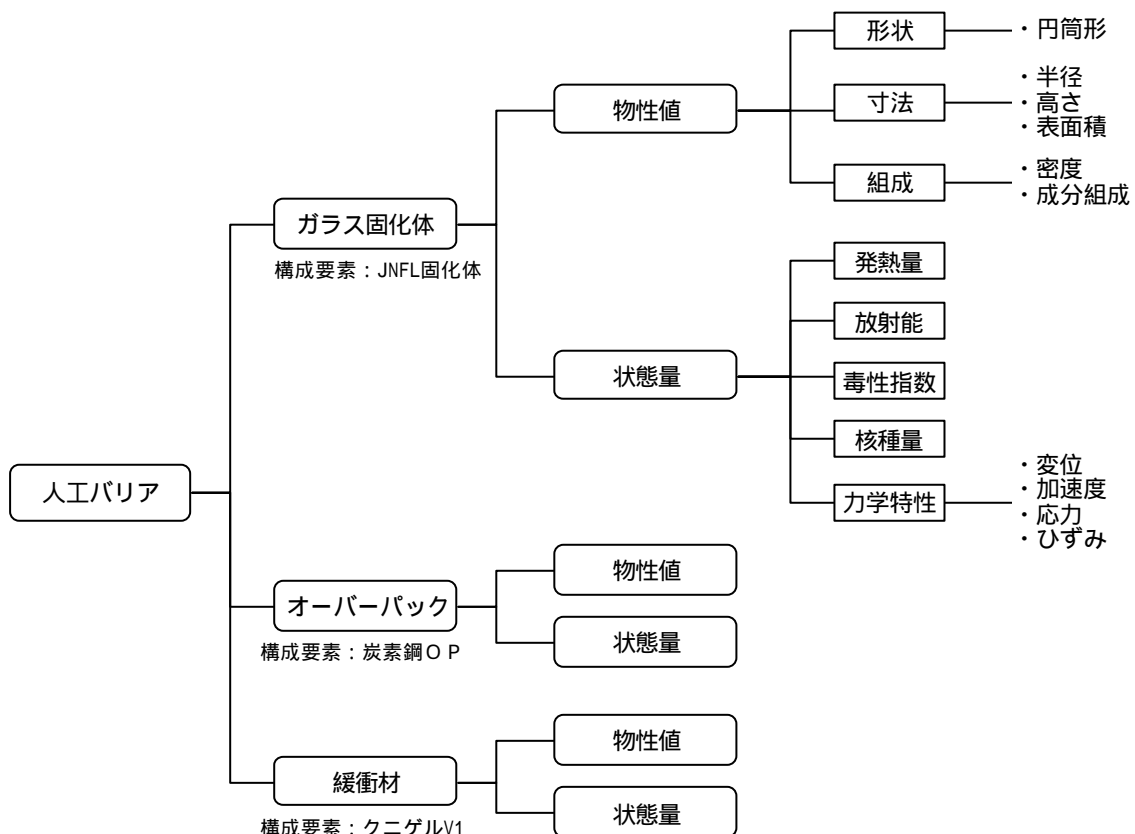


図 2.1.3-1 処分システムの構成要素とデータ分類と関係（人工バリアの一例）

このような観点から、地層処分システム全体を構成する構成要素（物理的な実体）と、物性値および状態量として分類したデータ項目を概略的に整理した結果を図 2.1.3-2～図

2.1.3-4 に示す。図 2.1.3-2 では地層処分システムの全体構成を大まかに分類したものを構成分類名称として示し、その中に種類のある物は構成要素名称として示している。また、物性値と状態量は、基本的に FEP の項目（熱、水理、力学、化学、放射線、物質移行）に分類して整理したが、物理特性や幾何形状（力学特性に含まれると思われる）の項目を追加している。

これらの分類を参考にしながら、データベースの階層構造について概略的な検討を行った結果を図 2.1.3-5 に示す。これは、リレーショナルデータベースにおけるリレーション構造を参考に考えたもので、各テーブルとその相互関係を表している。図 2.1.3-2 に示した構成要素は、構成分類テーブルと構成要素テーブルの 2 つで表される。構成分類テーブルはガラス固化体、緩衝材など分類名称を持つテーブルで、構成要素テーブルは JNFL 固化体、COGEMA 固化体などの構成要素の名称を持つテーブルである。この 2 つのテーブルのリレーションにより、ガラス固化体と JNFL 固化体が関連付けられる。また、図 2.1.3-3 および図 2.1.3-4 に示した物性値および状態量のデータは、物性値テーブル、状態量テーブル、パラメータテーブル、特性テーブルで表される。特性テーブルは熱特性、水理特性などの分類名を持つテーブルであり、パラメータテーブルは熱伝導率、比熱などの具体的なパラメータの名称を持つテーブルである。特性テーブルとパラメータテーブルのリレーションにより、特性とそれに属するパラメータを関連付ける。特性とパラメータを 2 つのテーブルに分けているのは、特性名称からパラメータを検索したりする場合に有利であると考えられるためである。物性値テーブルと状態量テーブルが、実際のデータ（値）を保存しているテーブルであり、時間とデータ値から成るテーブルである。この 2 つのテーブルは、前述した構成要素テーブルやパラメータテーブルとのリレーションを持たせ、また、位置情報が必要となるため、別途節点テーブルを用意し、これとリレーションを持たせている。このようなりレーションにより、ある構成要素のあるパラメータのある場所における状態量の経時変化データを取り出すことが可能となる。また、サイト情報に関するデータはサイトテーブルを用意し、これと構成分類テーブルを関連付けておけば、サイト条件に応じた処分システムの構成を取り出すことができる。これ以外に、例えば地表環境に関するテーブル、幾何形状に関するテーブル、材質テーブル、解析コードテーブルなどを個別に準備し、これらのテーブル間にリレーションを持たせることにより、地層処分システム全般にわたる複雑なデータを階層構造として管理していくことが可能と考えられる。なお、ここで示した構造は概略的なイメージであり、データベース製作の観点からは、プログラムの実装レベルに応じた、より詳細な検討が必要である。

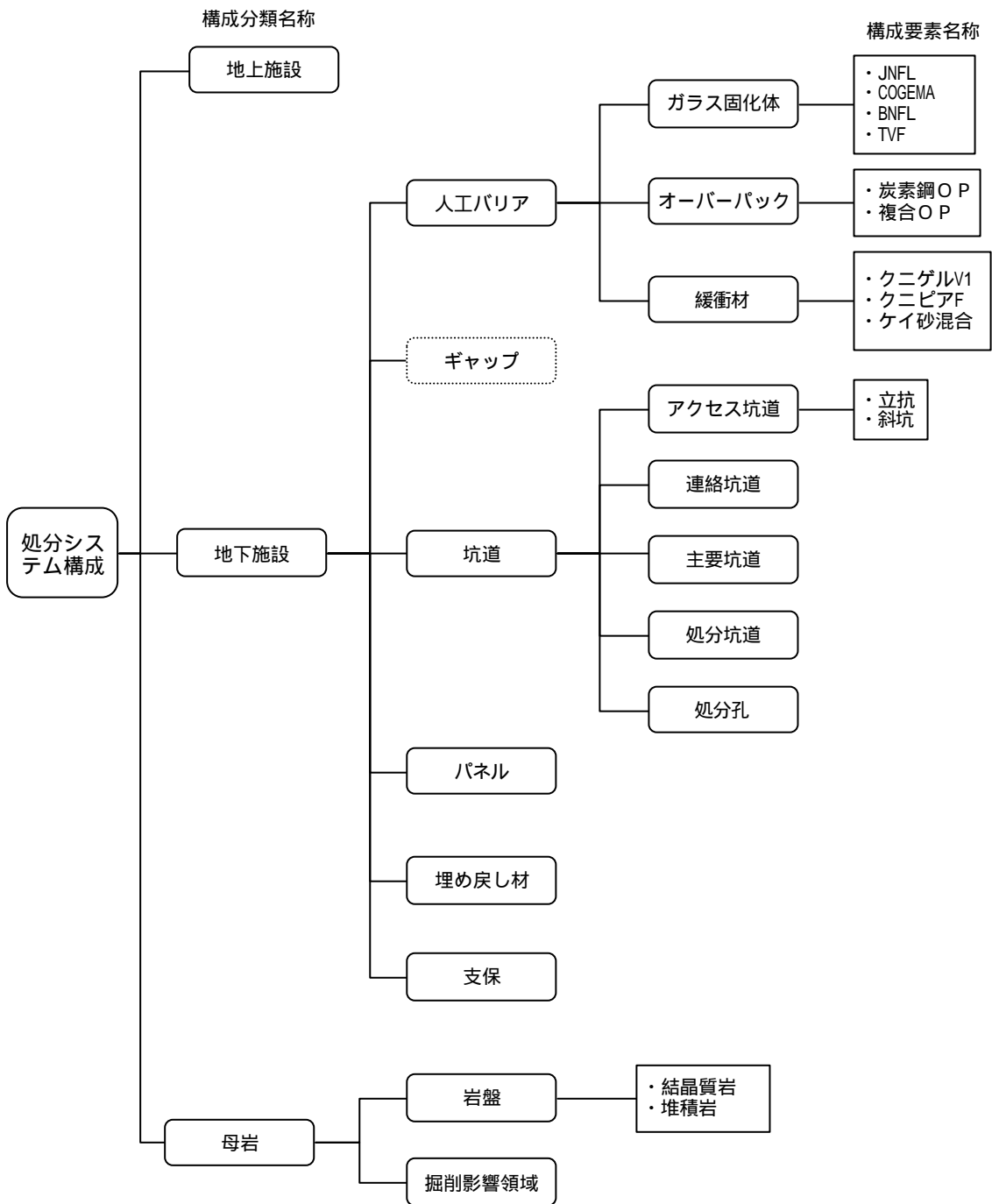


図 2.1.3-2 地層処分システムの概略構成要素

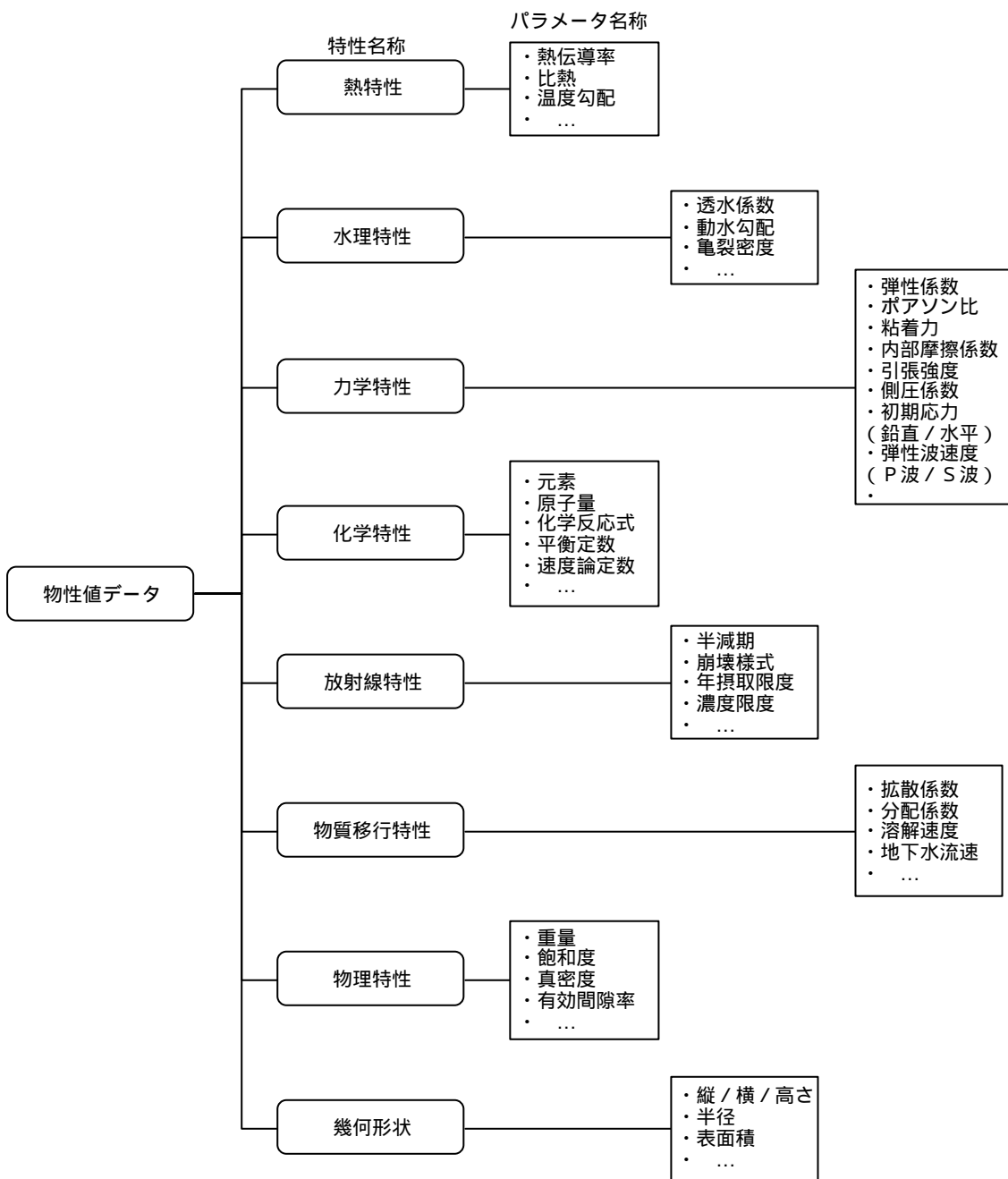


図 2.1.3-3 物性値データの概略構成



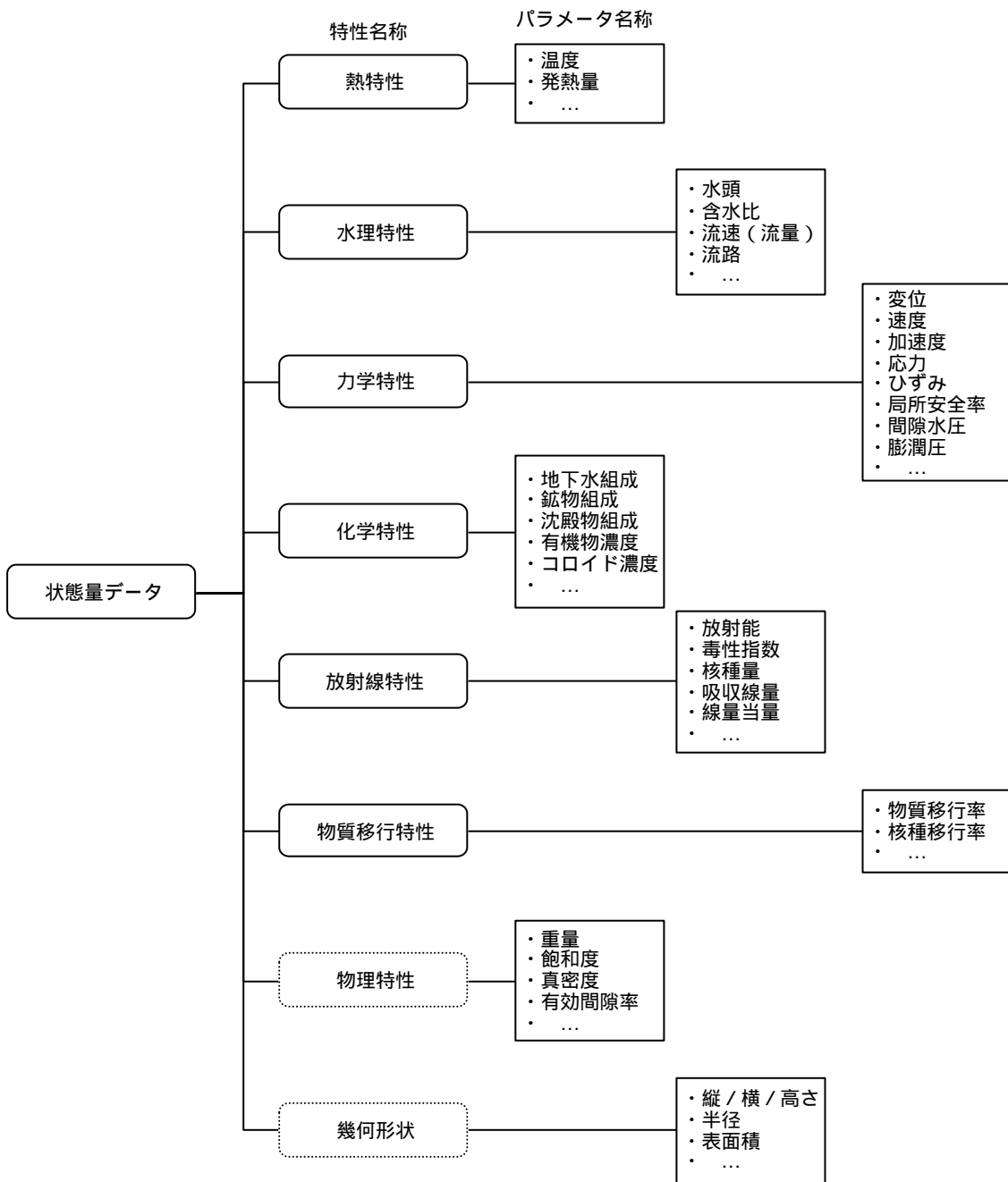


図 2.1.3-4 状態量データの概略構成

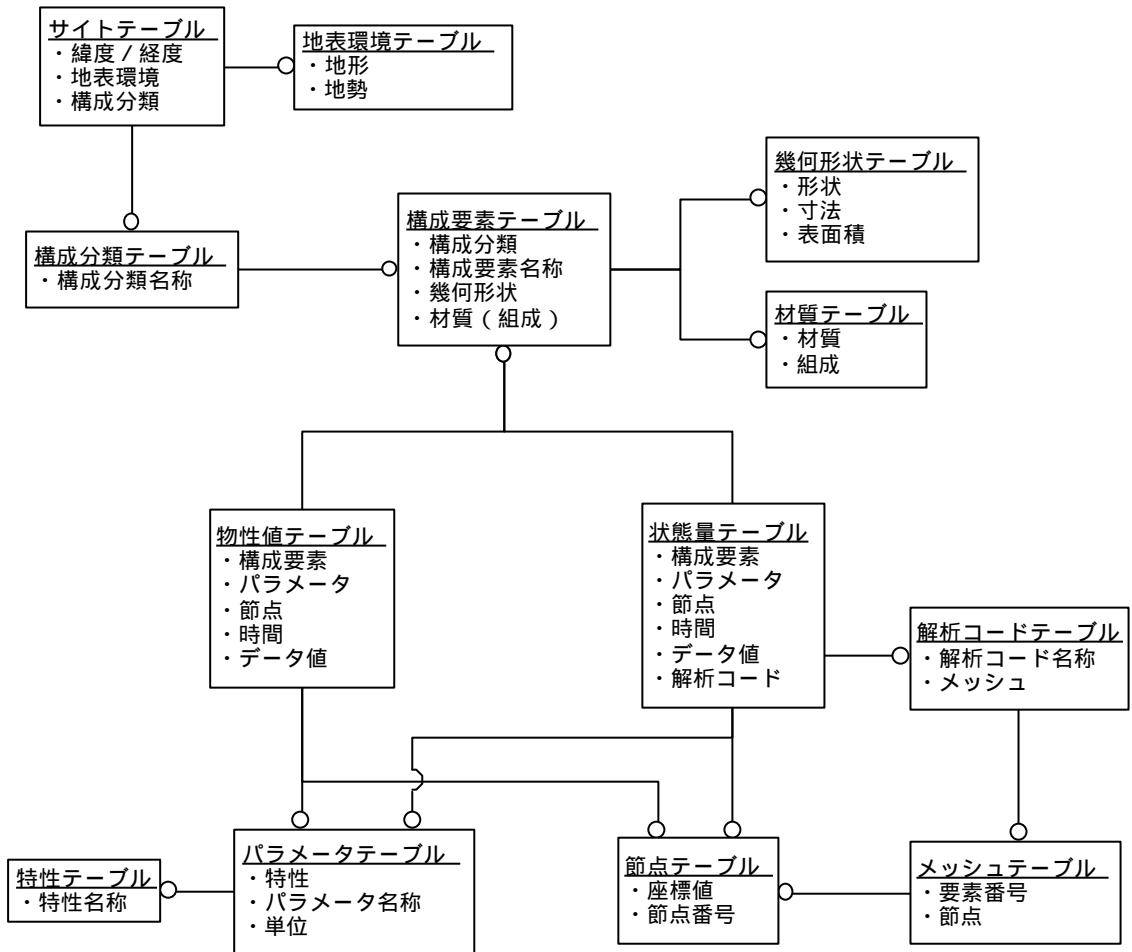


図 2.1.3-5 評価データの階層構造イメージ

## 2.2 地質環境・性能評価を重点とした検討

### 第2次取りまとめの検討

本節では、第2次取りまとめ報告書の記載に基づき3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・確認した。第2次取りまとめについて行われた作業を整理して、それを基に各作業で行われたシステム因子と情報処理の流れを整理した。

第2次取りまとめの包括的目的は、わが国における地層処分の技術的信頼性を示すことであり、「我が国の地質環境の調査」の目的は重要な地質環境条件を明確にすることとされており、合わせて、第2次取りまとめ作業のなかで「地層処分の工学技術の検討」、「地層処分システムの安全評価」への入力を定めることが行われている。「安全評価」の目的は地層処分システムの長期安全性を示すことであり、「地質環境の調査」との間では次のような情報のやりとりが行われている。

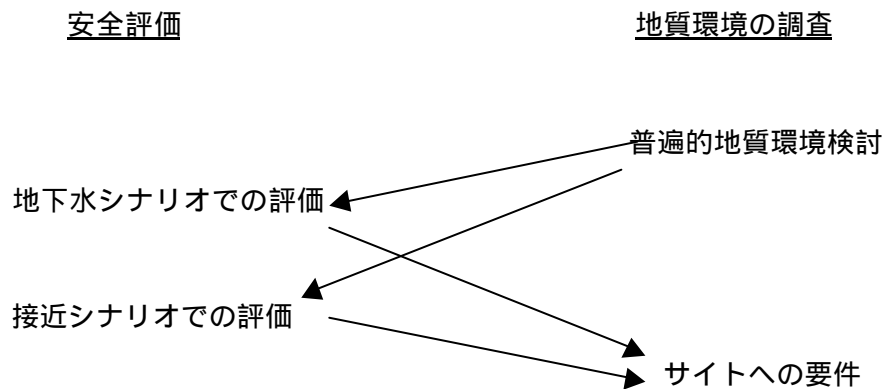


図 2.2.1-1 第2次取りまとめでの安全評価と地質環境調査間のやりとり

数値地層処分統合解析システムの使用目的の一つとして、第2次取りまとめで明らかにされたサイトへの要件をどのように満足させていくかの具体的条件づくり、すなわち、安全基準/評価シナリオ検討の基礎情報整備を挙げることができる。そのような状況においては、場所に依存したシナリオの起こりやすさ、場所が仮に決まってその長期安定性が予測できたときの線量がどうなるかが判断できるように、多量のケーススタディ、パラメータスタディが実施されることが予想され、数値地層処分統合解析システムはその作業の効率的実施を支援するものである。

本節では、地層処分統合解析システムの基本設計の出発点として、第2次取りまとめでのシステム因子と情報処理の流れを整理する。第2次取りまとめでは、地下水シナリオでの評価を主体に以下のような流れで検討が行われている。

地下水シナリオ：

処分システムの多様性とシナリオ・モデル・データの不確実性の扱い方を決める。

処分システムの設定

シナリオ解析（将来挙動を想定）

シナリオをもとにレファレンスケースを設定し、概念モデル、数学モデル、データを設定し、解析

シナリオ・モデル・データの不確実性、処分システムの多様性を基に、モデル、データの変更を行い、感度解析（システムの構成要素及びシステムについて）

感度解析結果を基に安全評価で扱う不確実性・多様性を設定し、線量解析

結果の評価

接近シナリオ：

参考事例として、人間侵入ボーリング、天然現象（隆起・侵食 露呈、気候・海水準変動、断層活動、火山・火成活動）を評価。

システム因子と情報処理の流れの整理は、第2次取りまとめ 分冊3「地層処分システムの安全評価」の目次に沿って行った。

システム因子と情報処理の流れを整理した結果を図 2.2.1-2～図 2.2.1-23 に示す。情報加工を行っているシステム因子、システム因子に入力される情報とそのソース、システム因子から出力される情報とその反映先を分冊3の構成に従ってまとめた。（図には階層化のレベルを表示した。レベル0が全体システムを表わす最上位の階層（性能評価と地質環境評価間のデータ交換を表わす）、レベル1が中間層を表わす階層（性能評価の構成要素間のデータ交換を表わす）、レベル2が最下位の階層（性能評価を構成する個々のシステム因子を表わす）である。）

第2次取りまとめに基づいたシステム因子・情報処理の流れの整理結果から、以下が示される。

- ・ 地質環境については generic な立場を採っているため、物質移動の場は1次元モデルから出発している（但し3次元との比較で妥当性確認はされている）。特定の地質環境を対象とする場合には、1次元モデルに落とし込むまでの作業に対応したシステム因子を充実させることが重要となる。
- ・ その他の現象については、現象の捉え方に応じてモデル変更は必要であるが、概要調査の段階ではレファレンスケースで用いたシステム因子でほぼカバーできると考えられる。

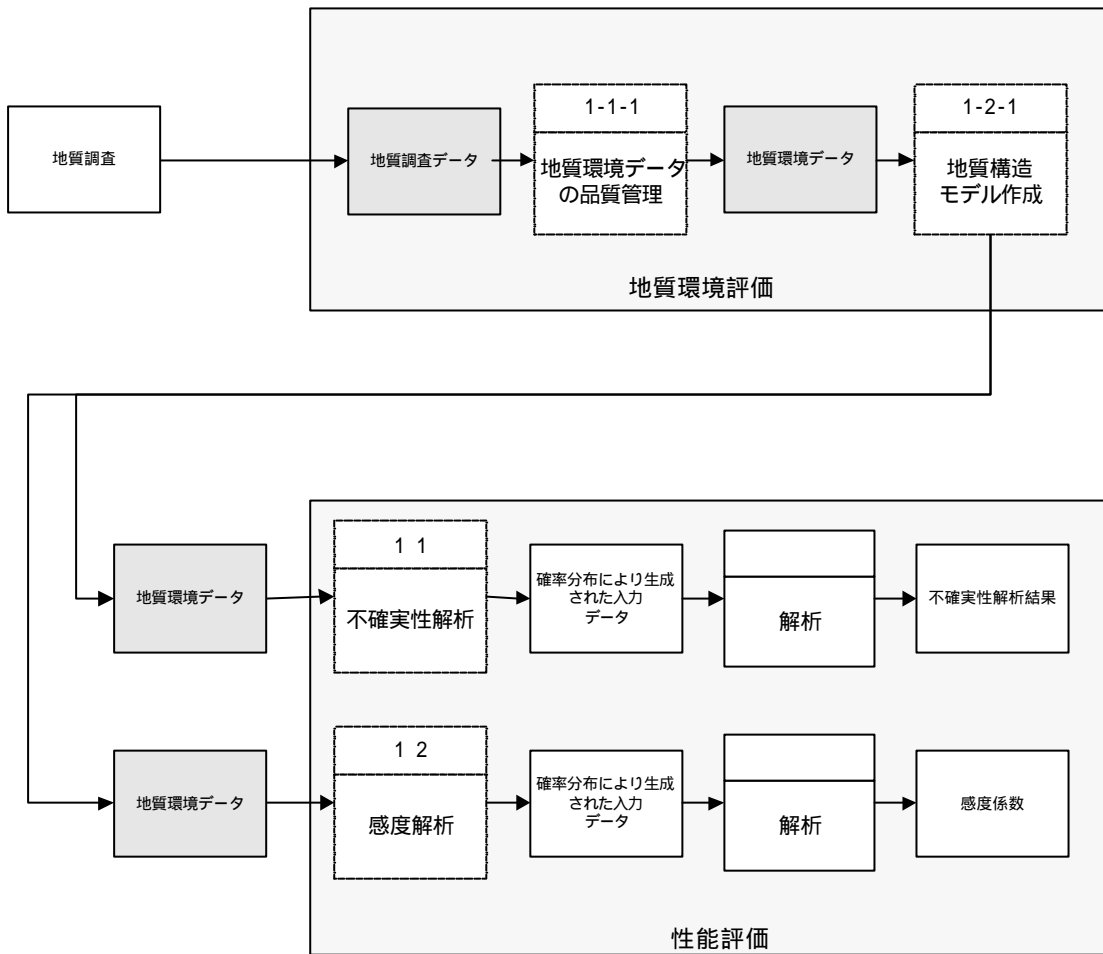


図 2.2.1-2 地質環境及び性能評価のシステム因子情報処理の流れ (レベル0)

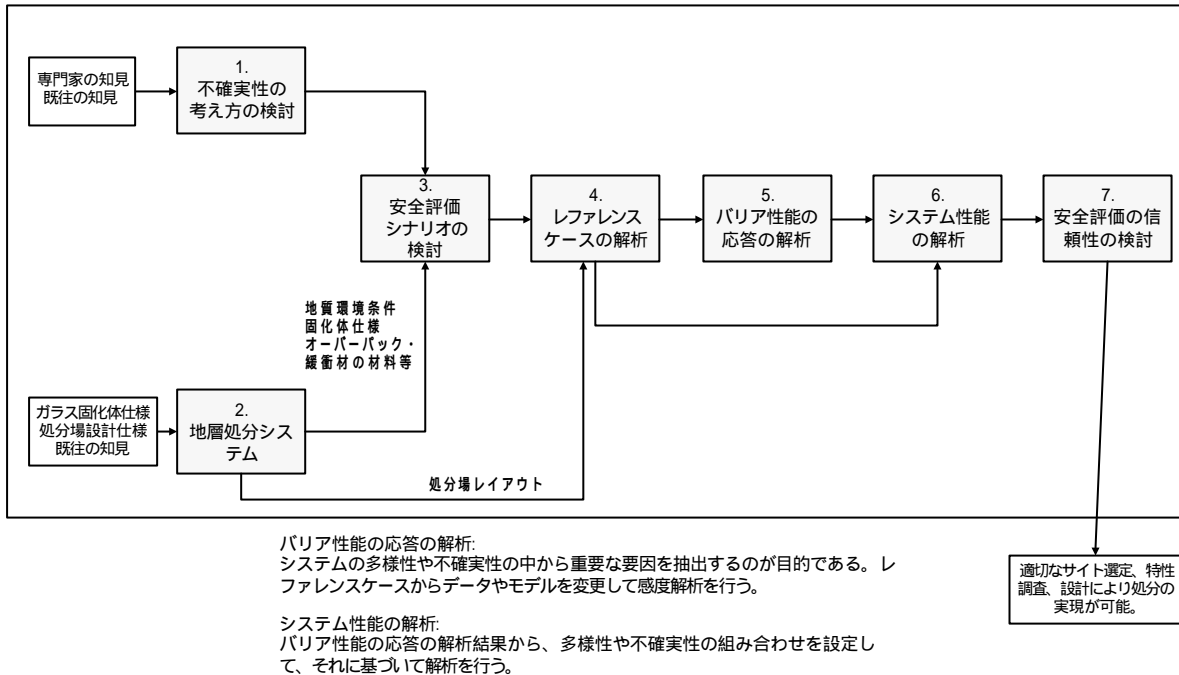


図 2.2.1-3 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ（レベル 1）

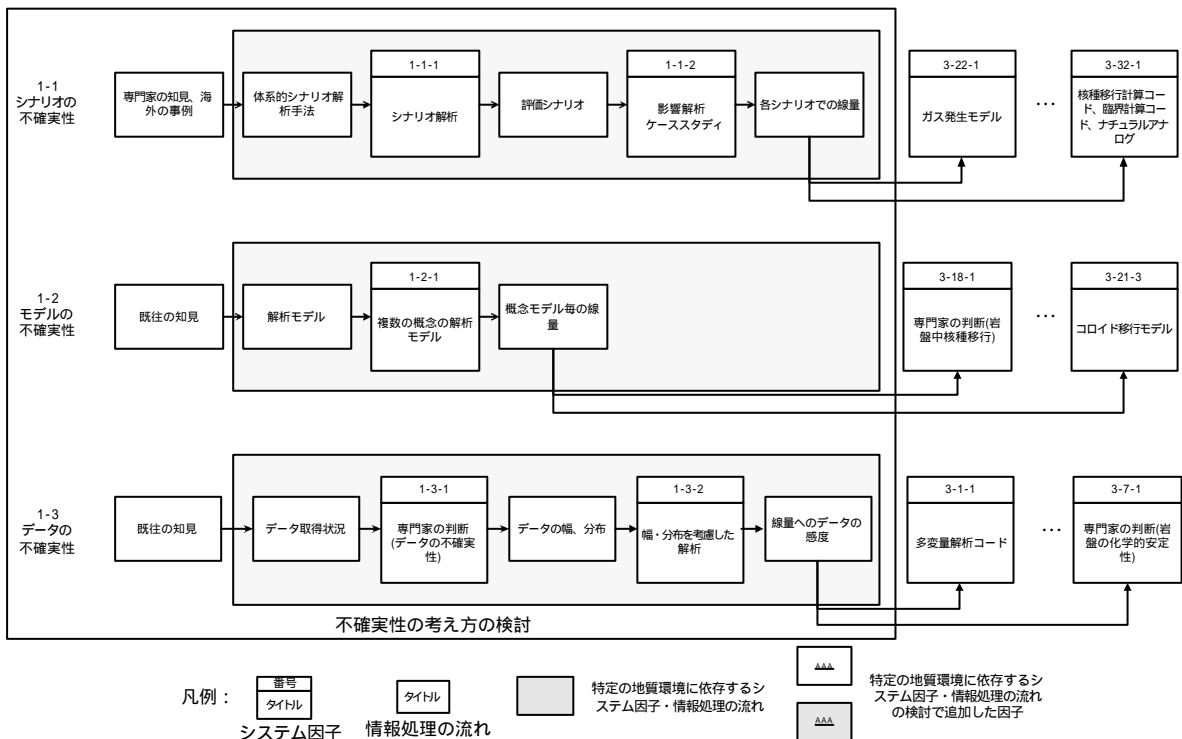


図 2.2.1-4 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ（レベル 2）不確実性の考え方の検討

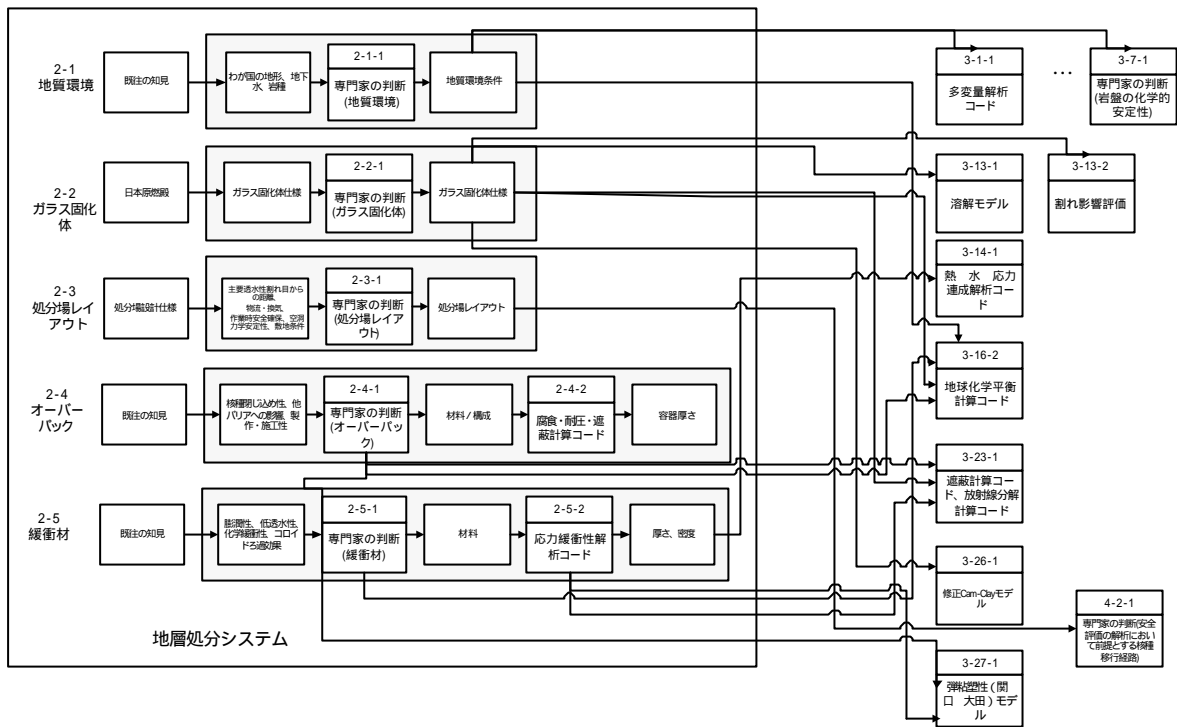


図 2.2.1-5 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)地層処分システム



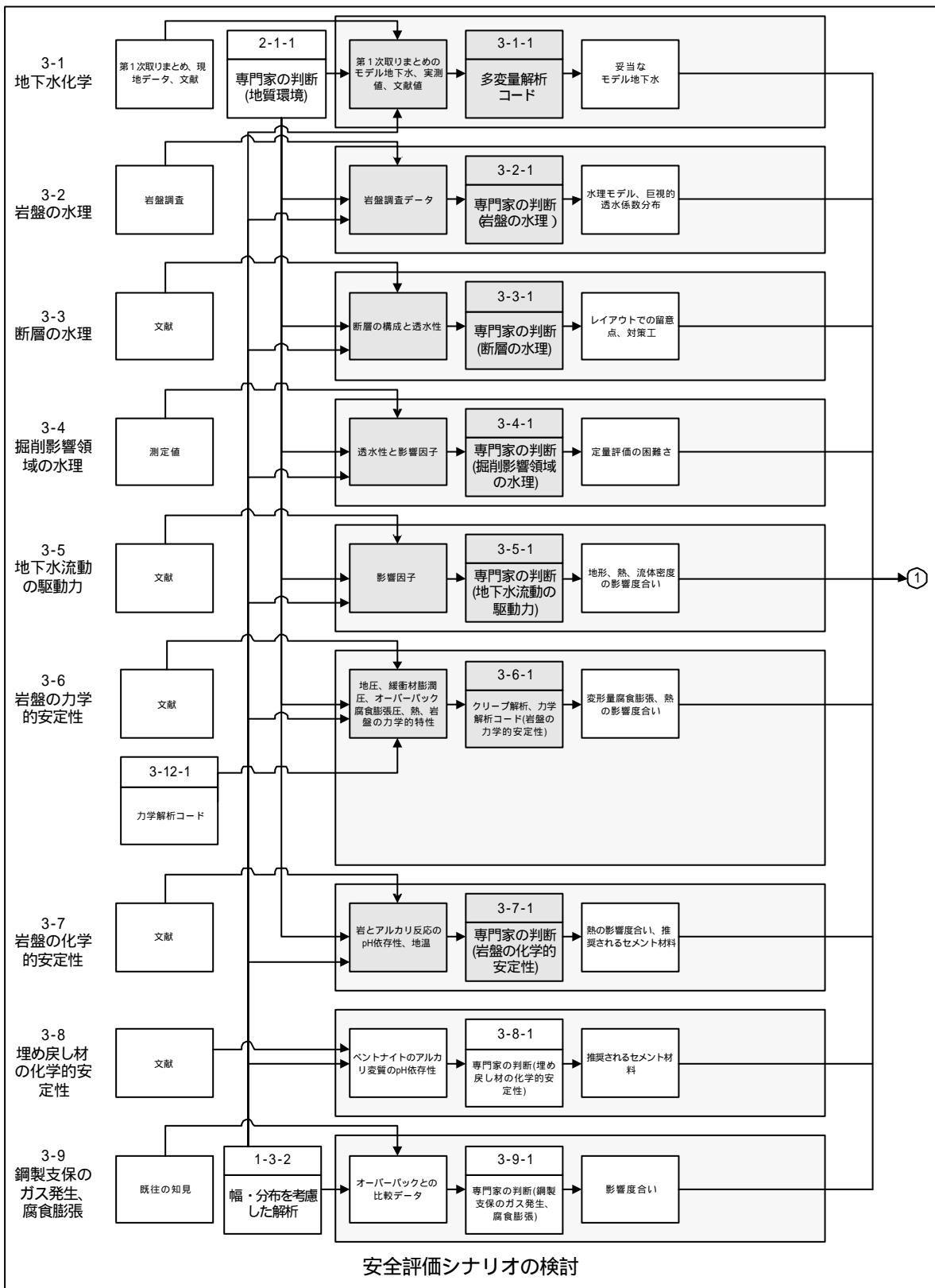


図 2.2.1-6 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)安全評価シナリオの検討(1)

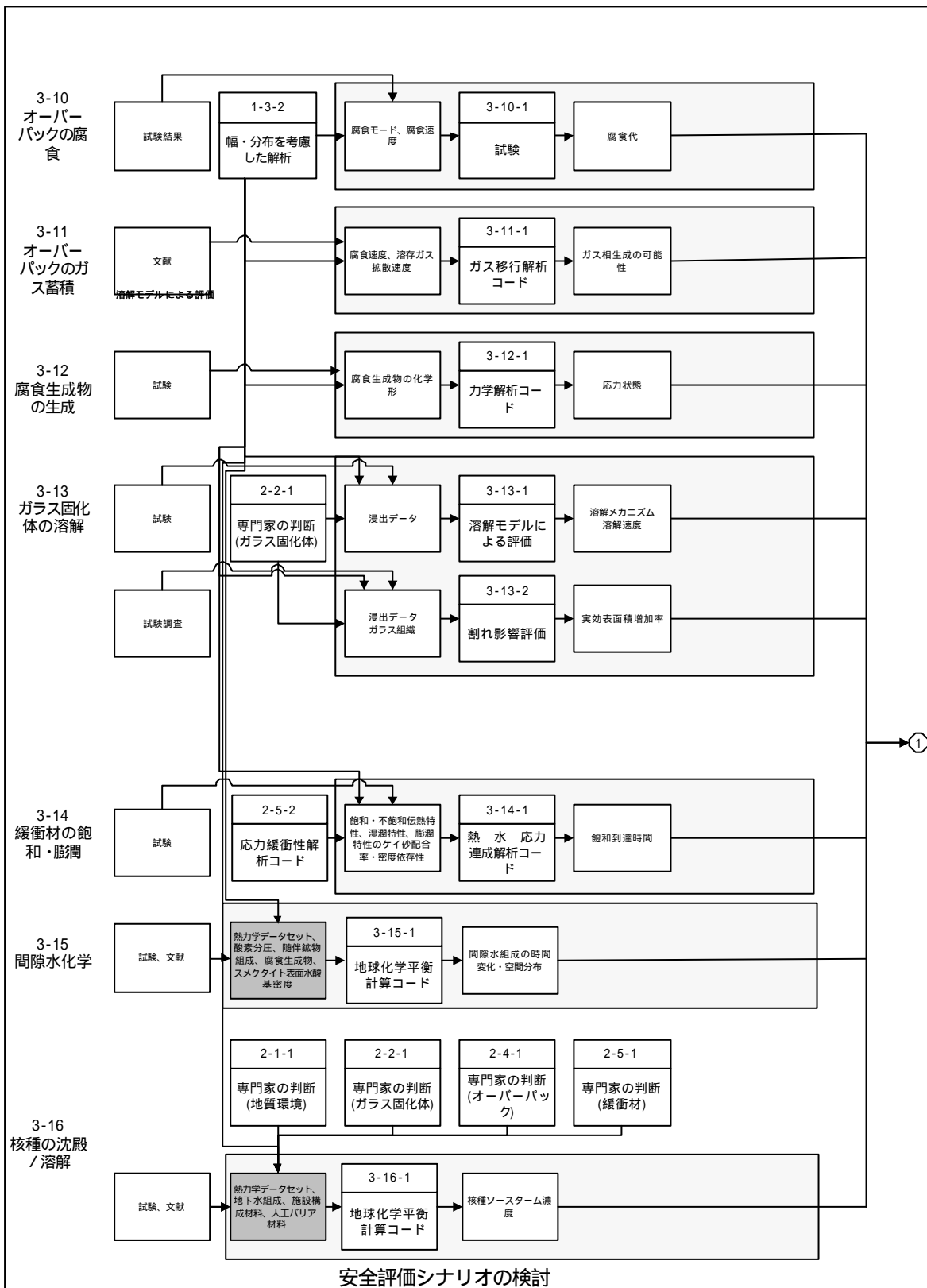


図 2.2.1-7 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) 安全評価シナリオの検討 (2)

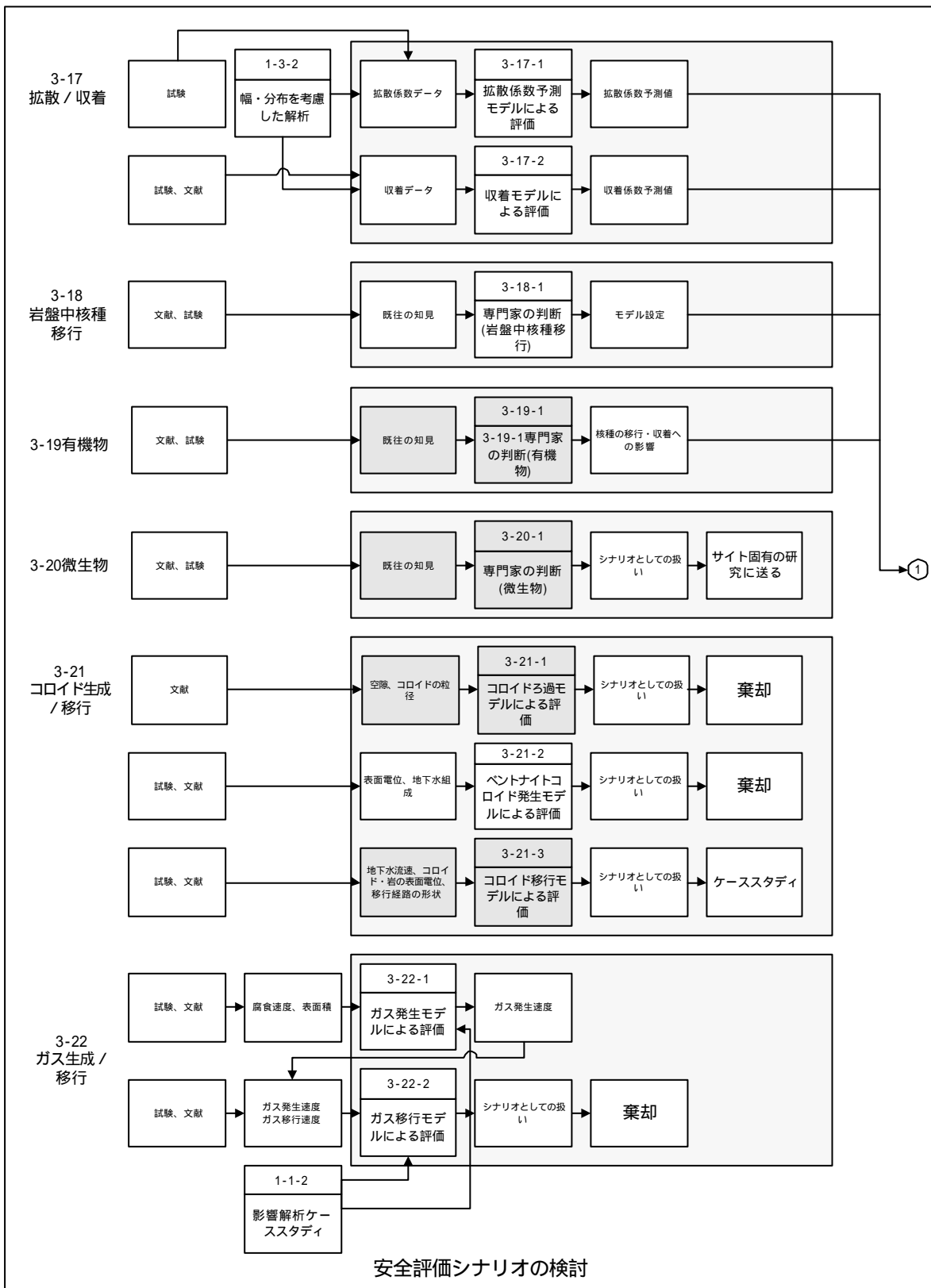


図 2.2.1-8 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)安全評価シナリオの検討(3)

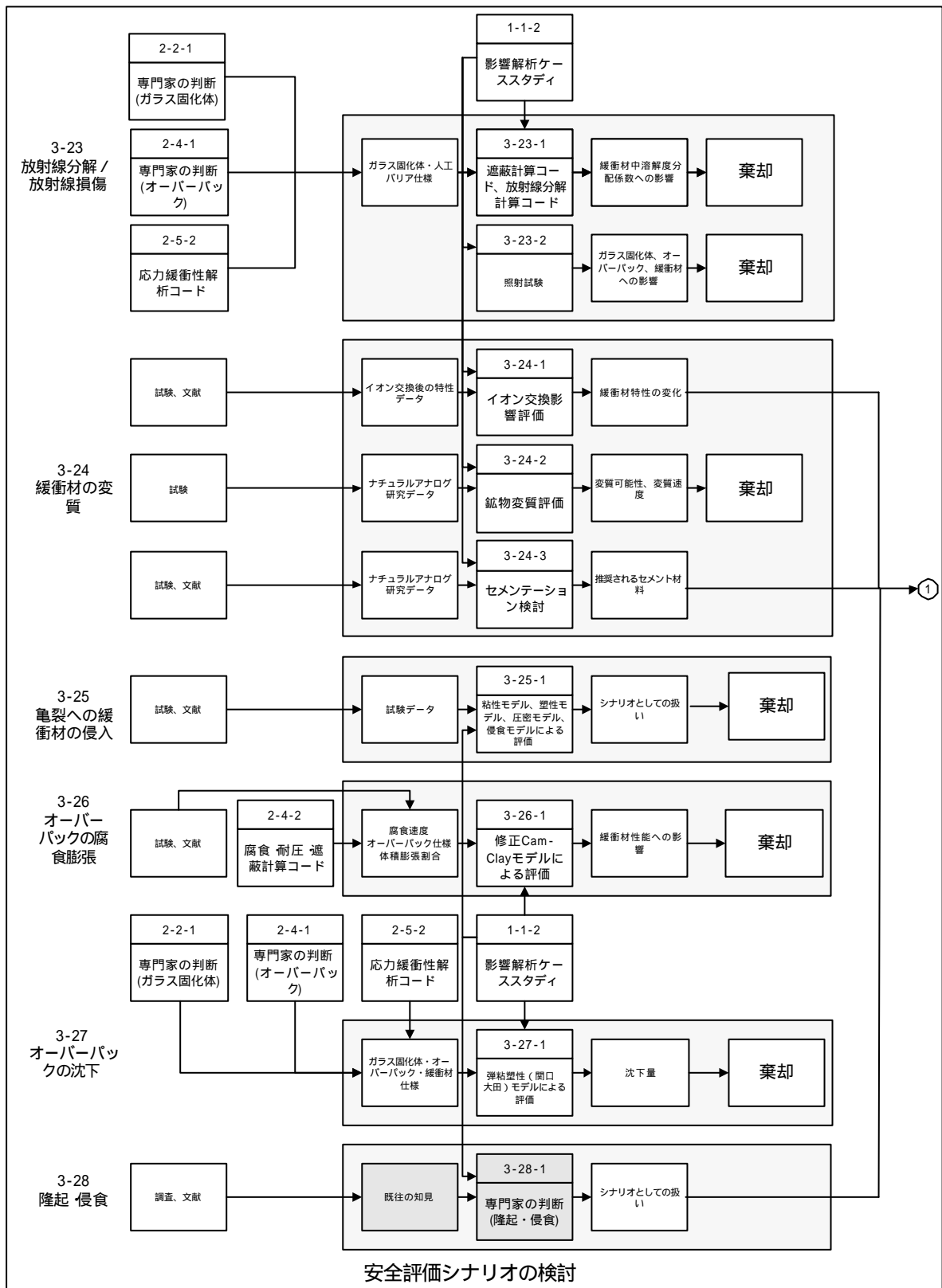


図 2.2.1-9 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) 安全評価シナリオの検討 (4)

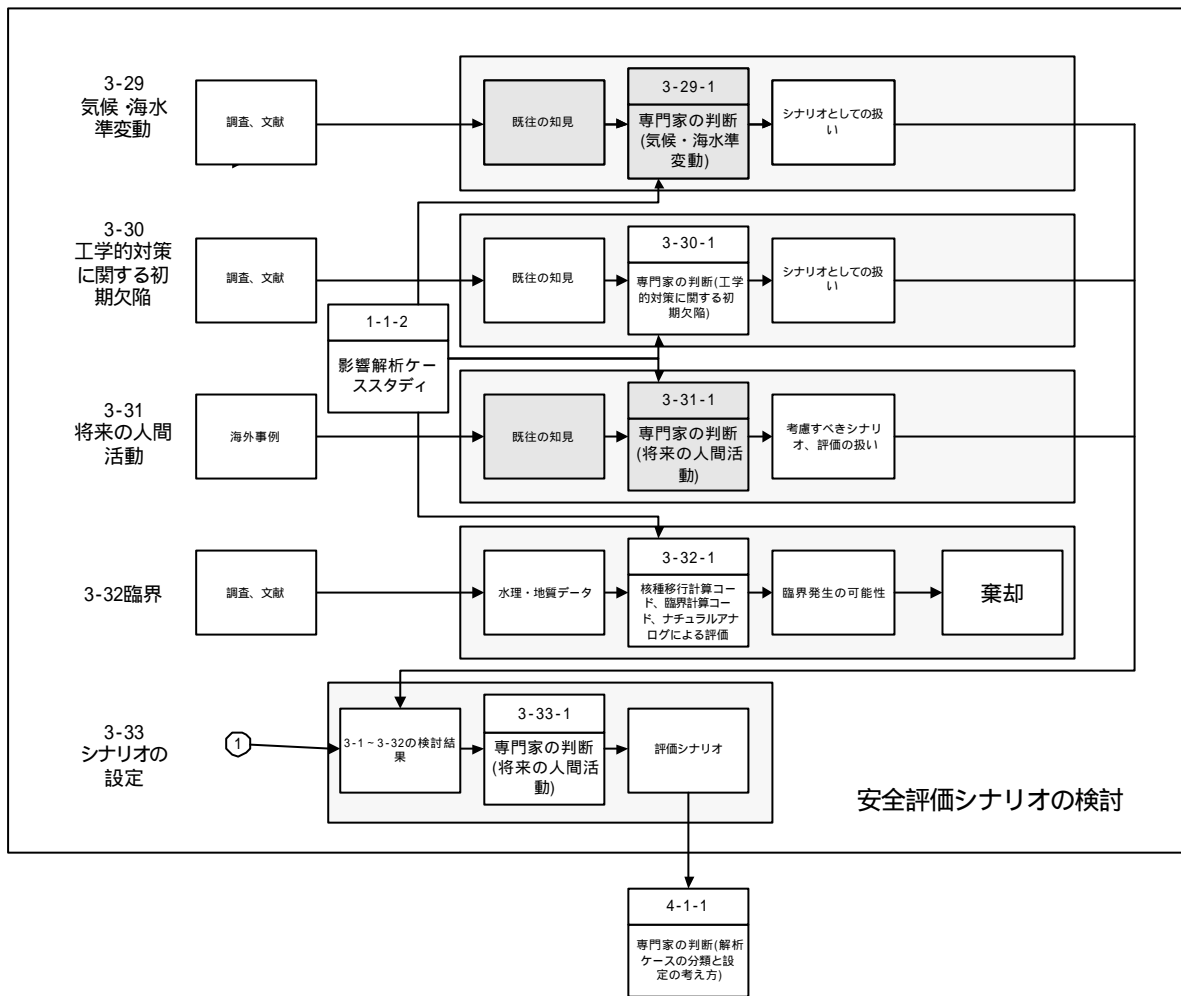


図 2.2.1-10 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) 安全評価シナリオの検討 (5)

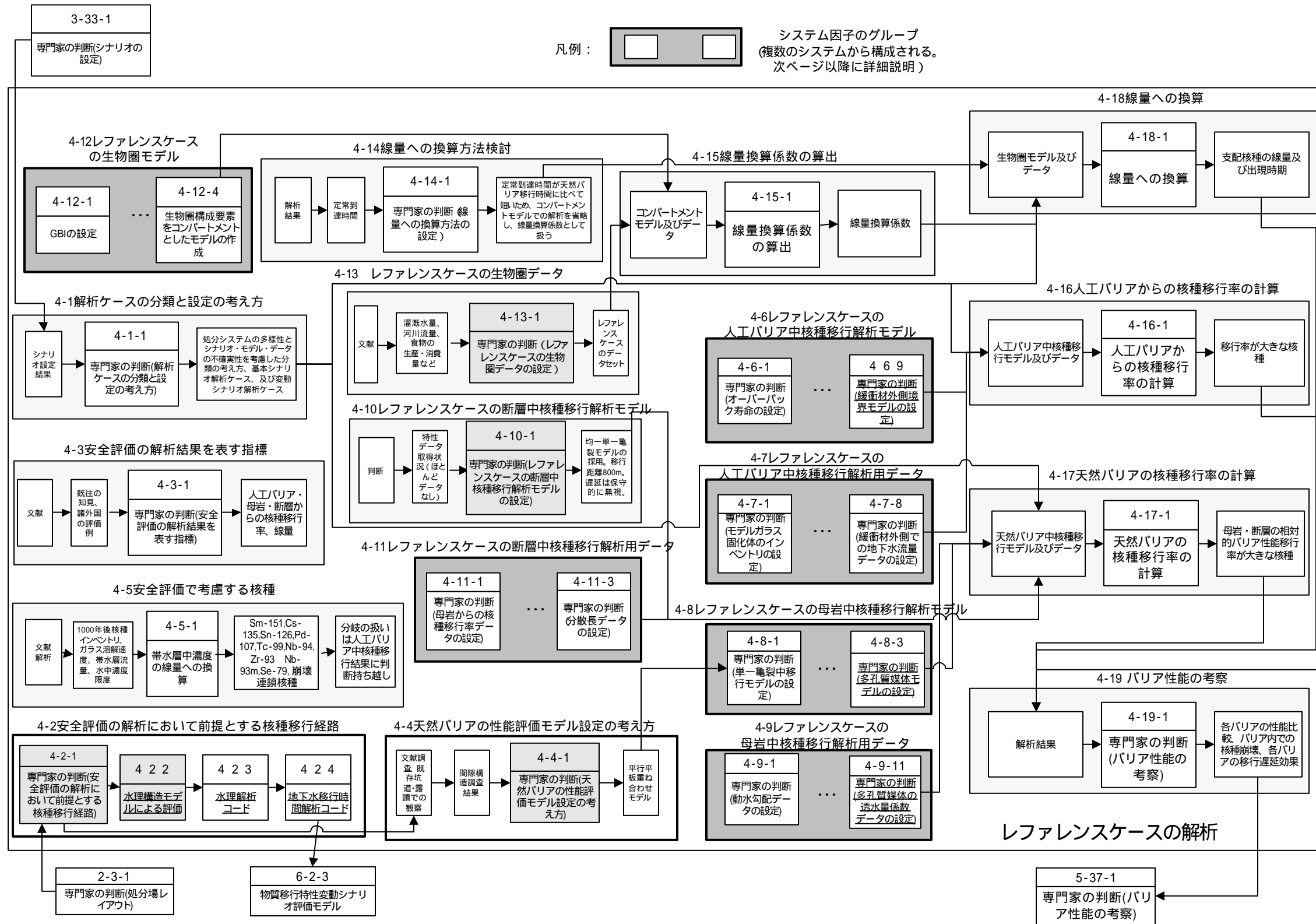


図 2.2.1-11 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)レファレンスケースの解析(1)

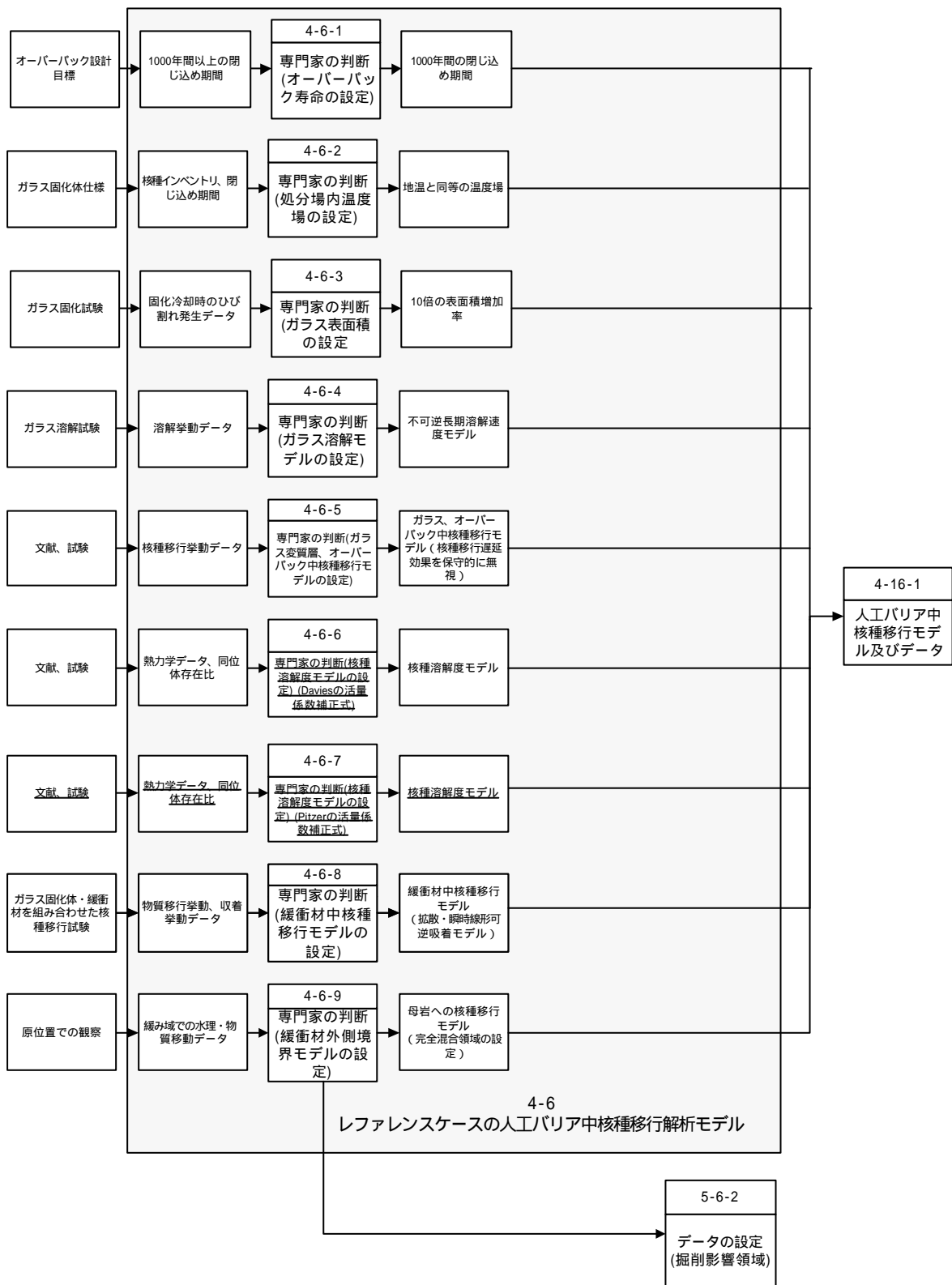


図 2.2.1-12 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) レファレンスケースの解析 (2)

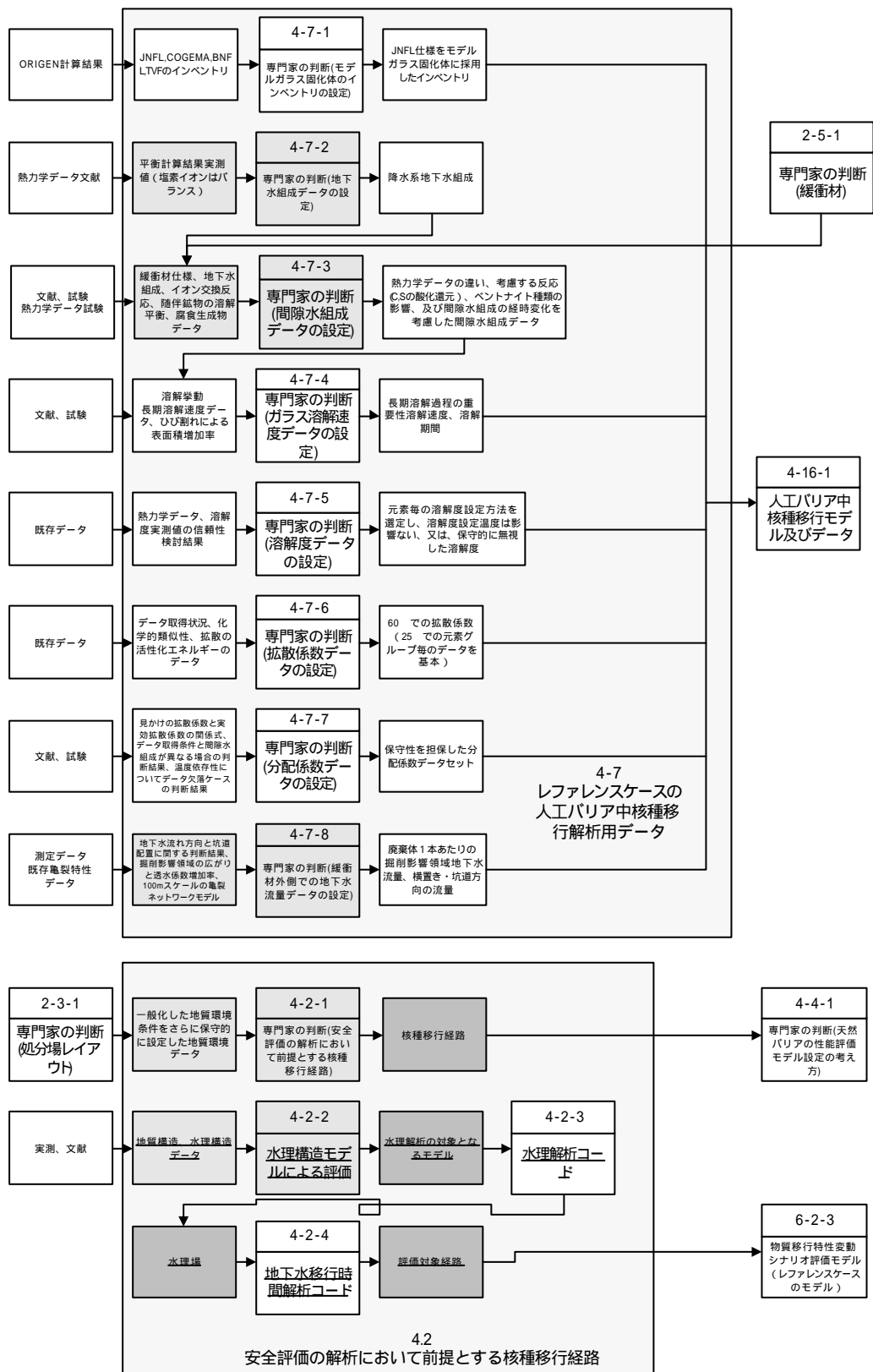


図 2.2.1-13 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) レファレンスケースの解析 (3)



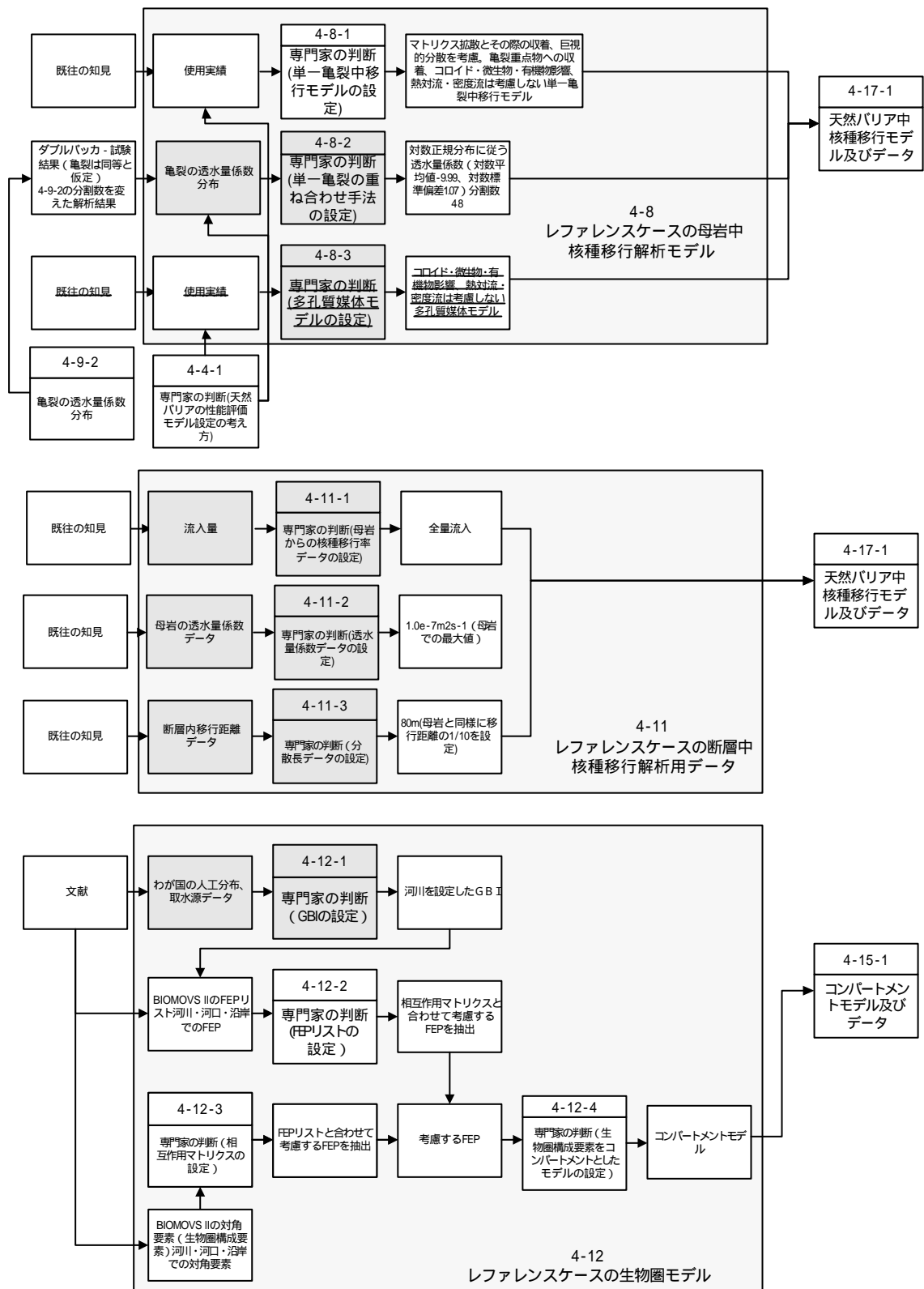


図 2.2.1-14 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) レファレンスケースの解析 (4)

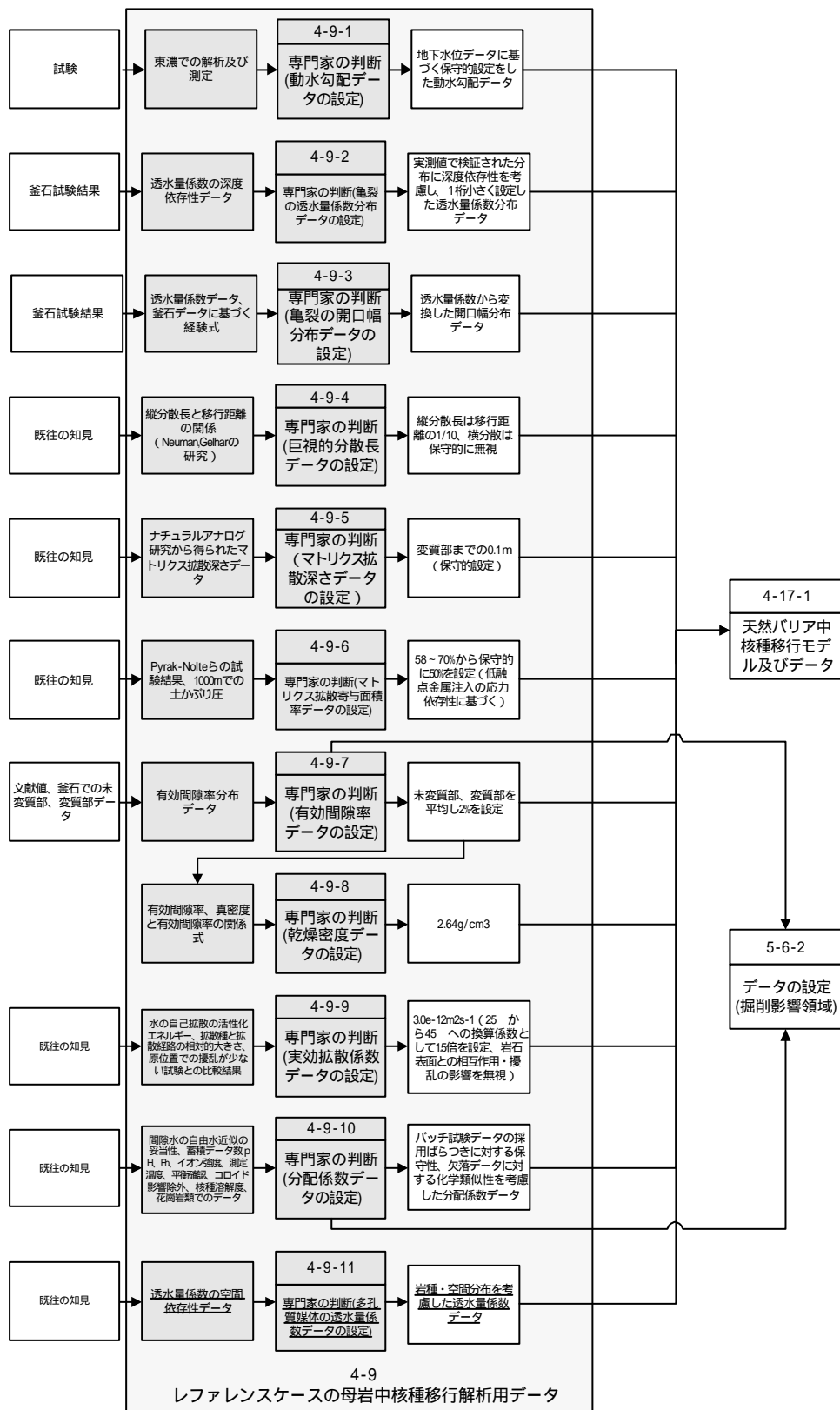


図 2.2.1-15 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) レファレンスケースの解析 (5)

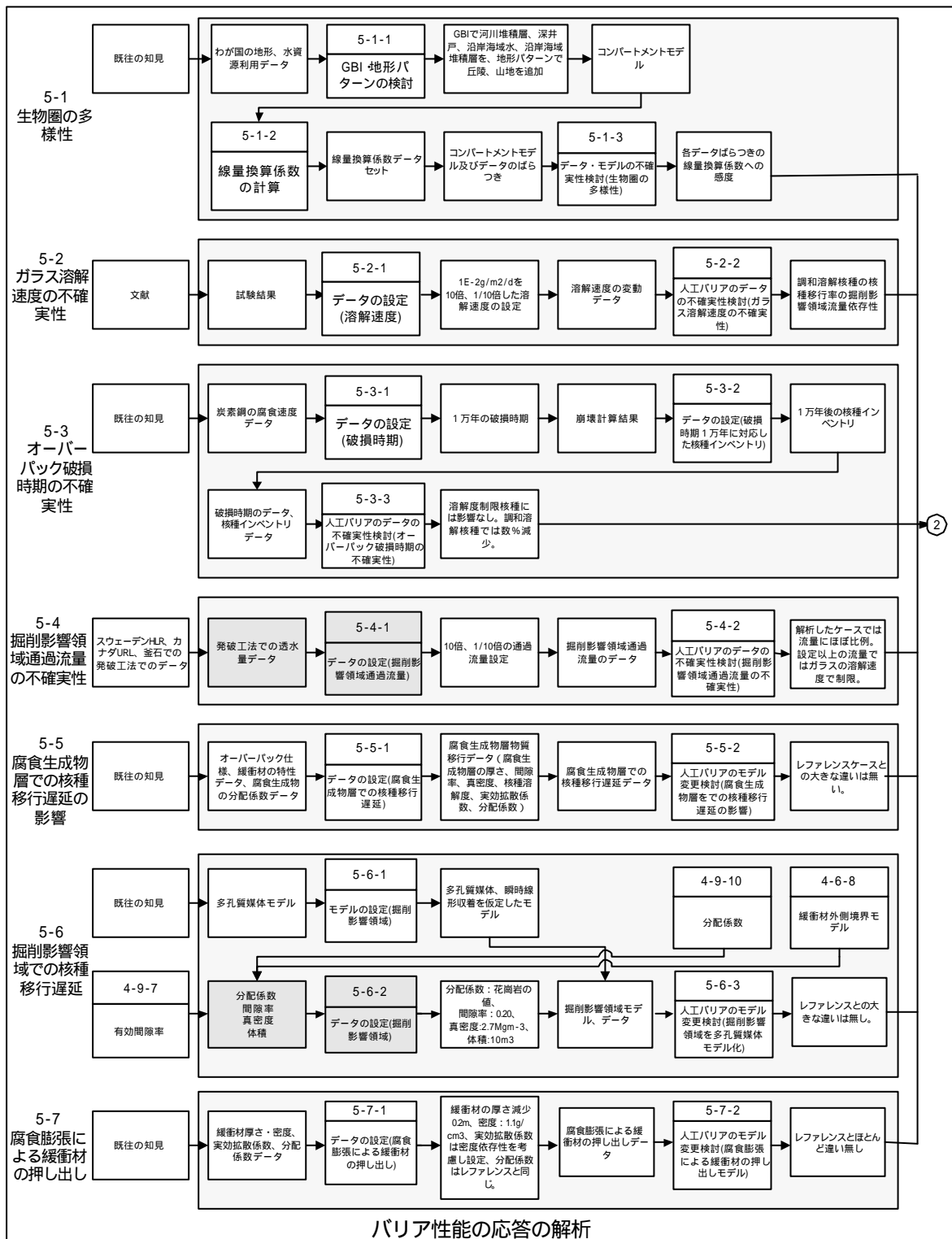


図 2.2.1-16 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) バリア性能の応答の解析(1)

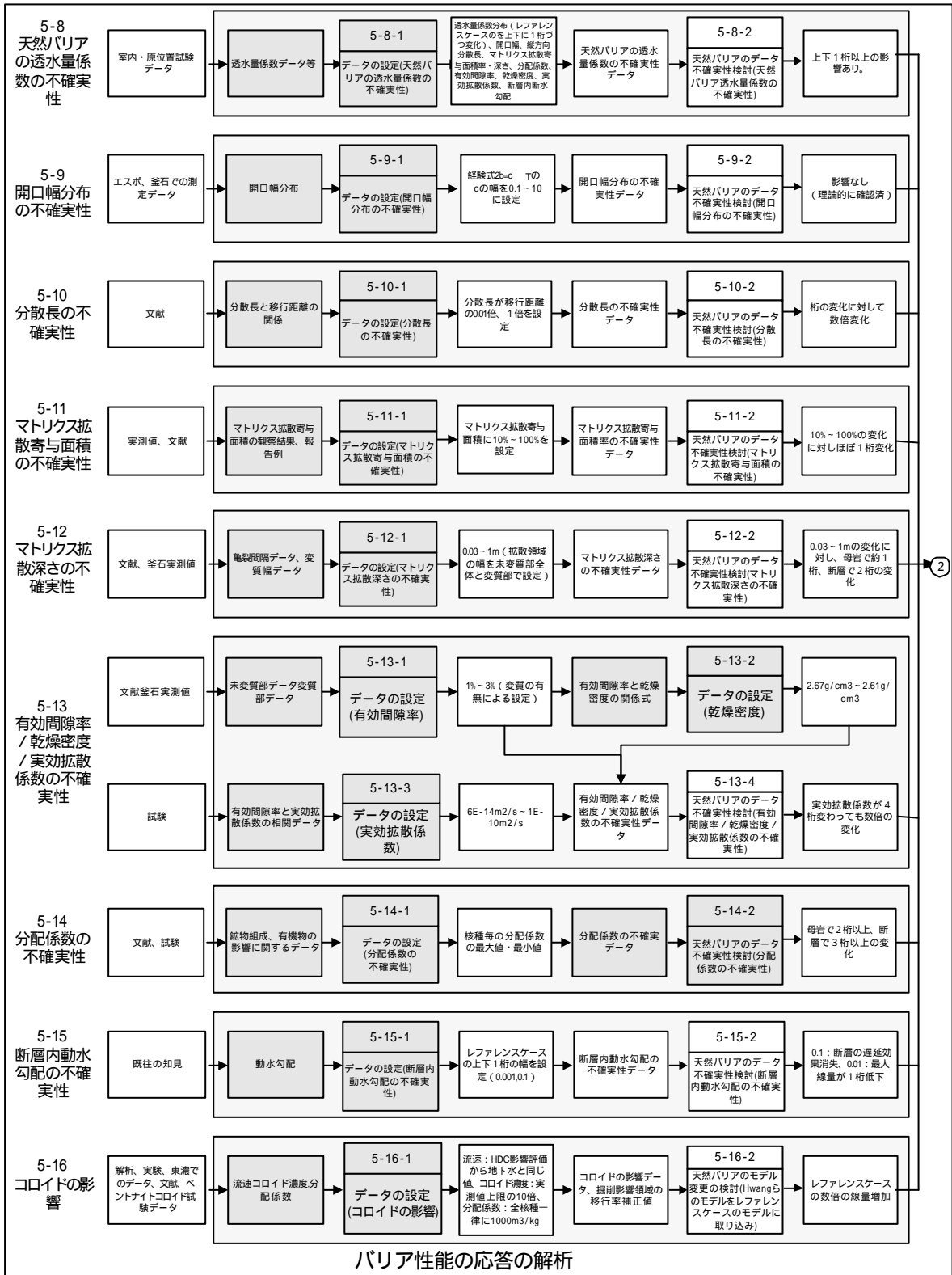


図 2.2.1-17 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) バリア性能の応答の解析(2)

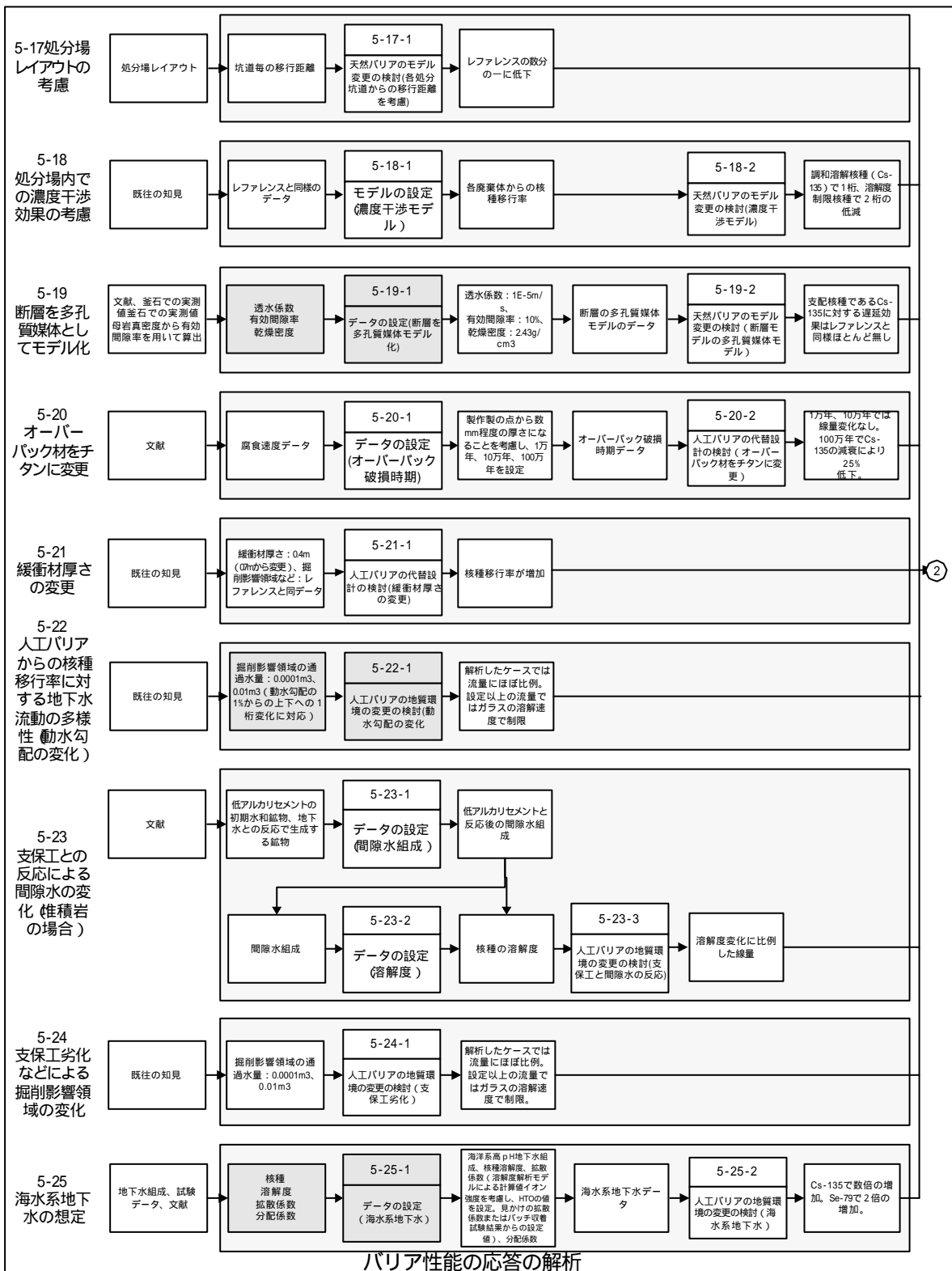


図 2.2.1-18 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ（レベル 2）バリア性能の応答の解析(3)

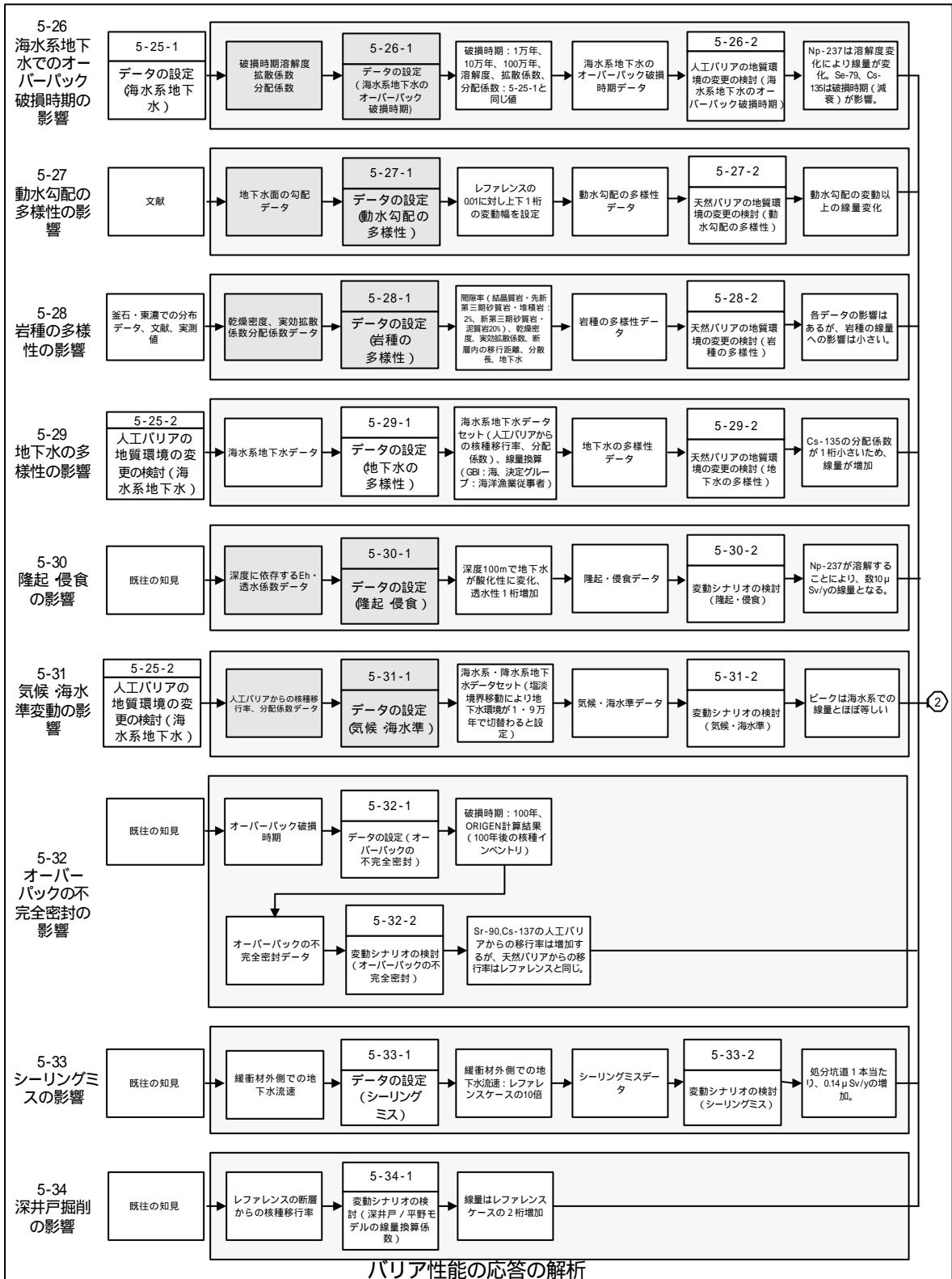


図 2.2.1-19 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) バリア性能の応答の解析(4)

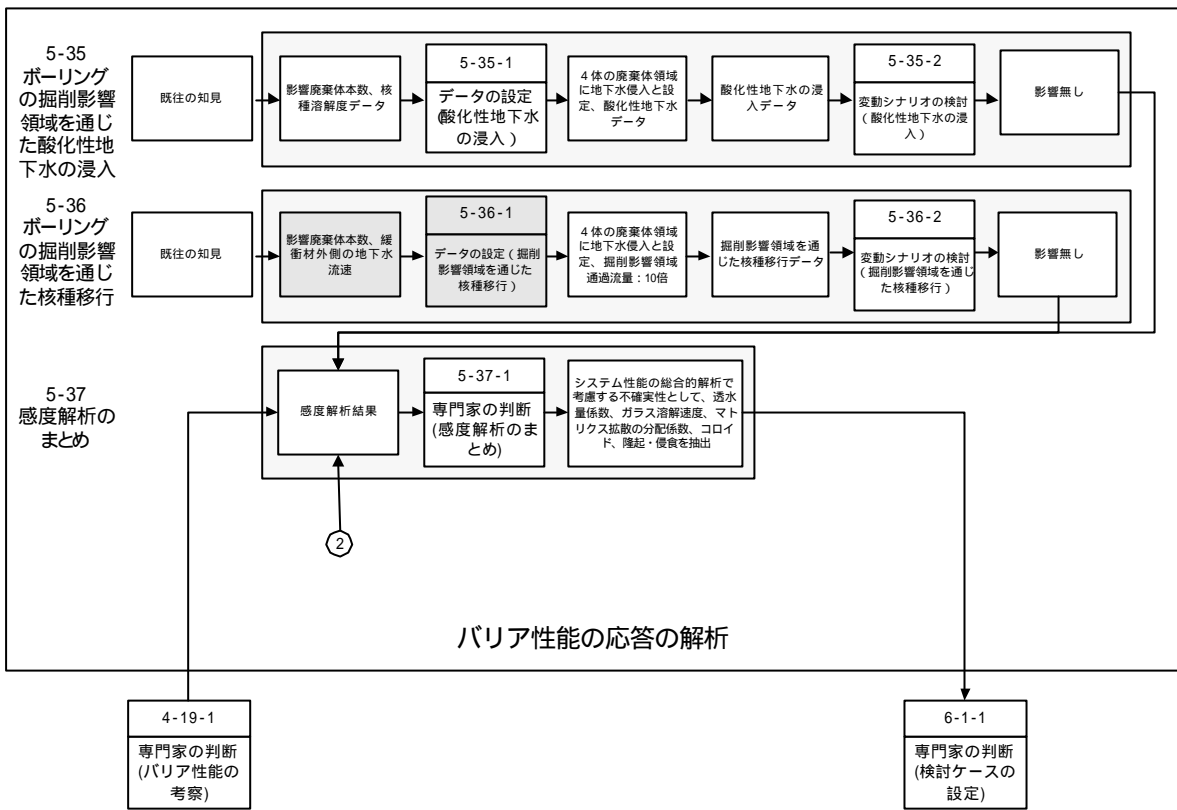


図 2.2.1-20 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) バリア性能の応答の解析(5)

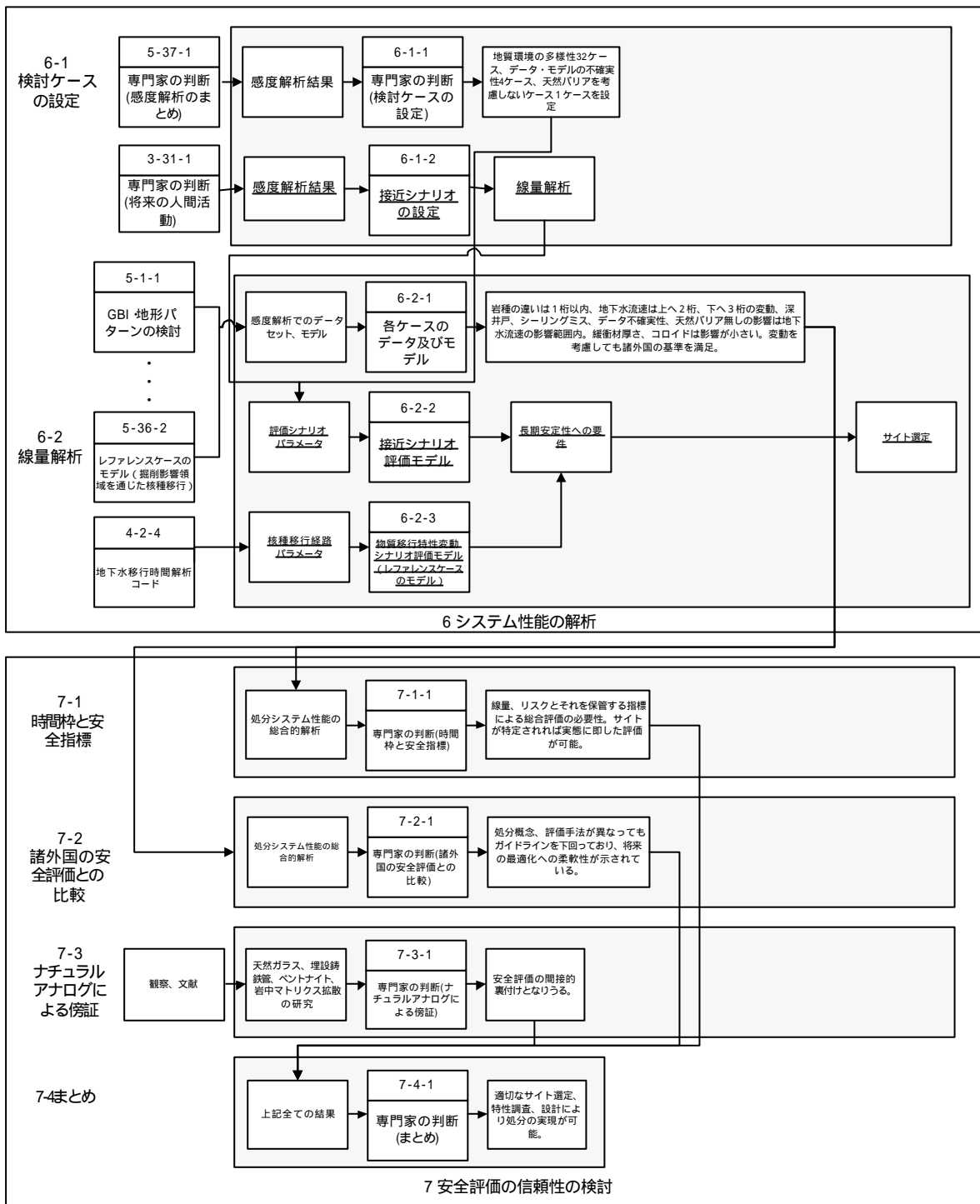


図 2.2.1-21 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル 2) システム性能の解析、安全評価の信頼性の検討



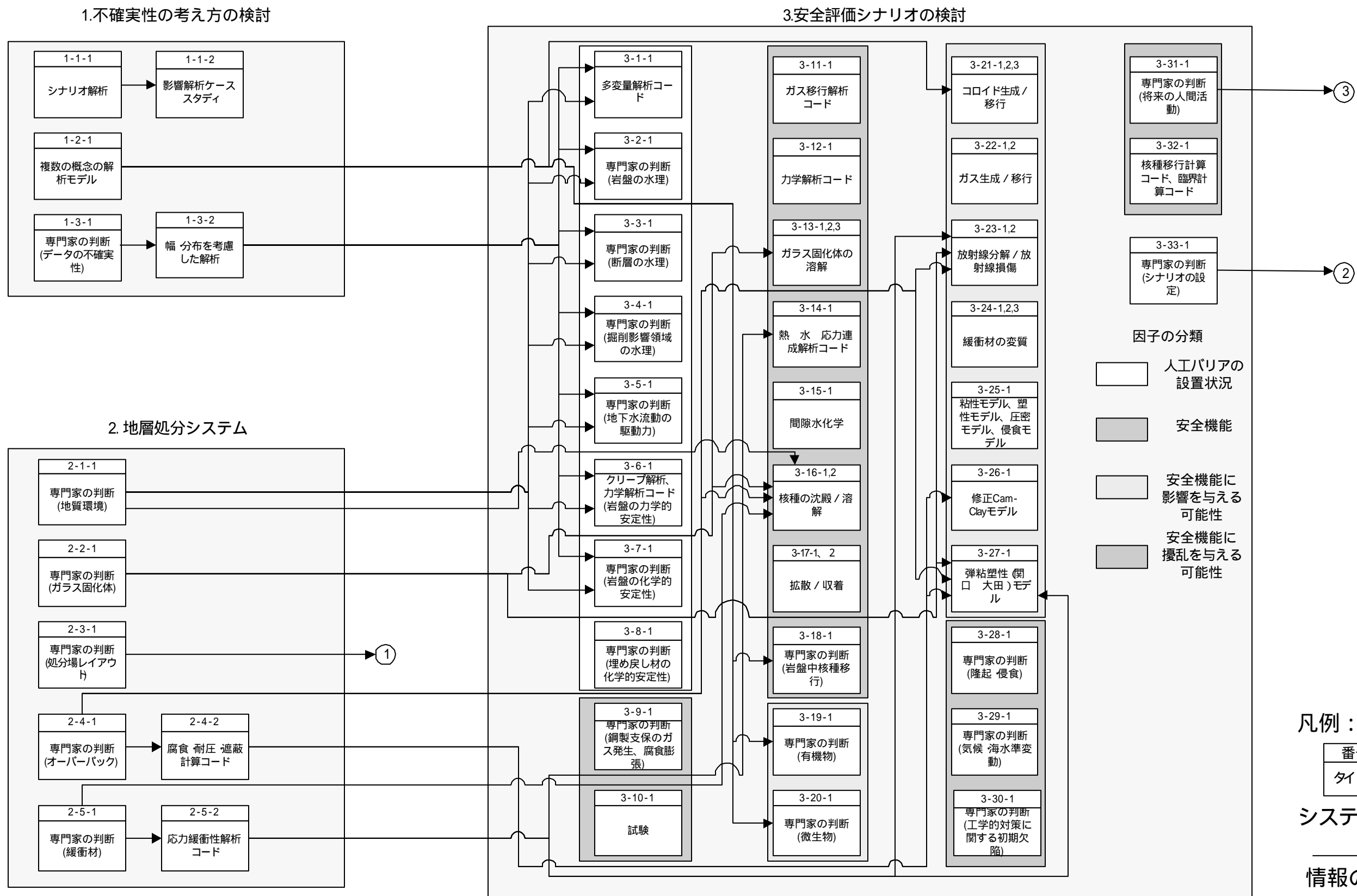


図 2.2.1-22 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ (レベル2) 要約(1)

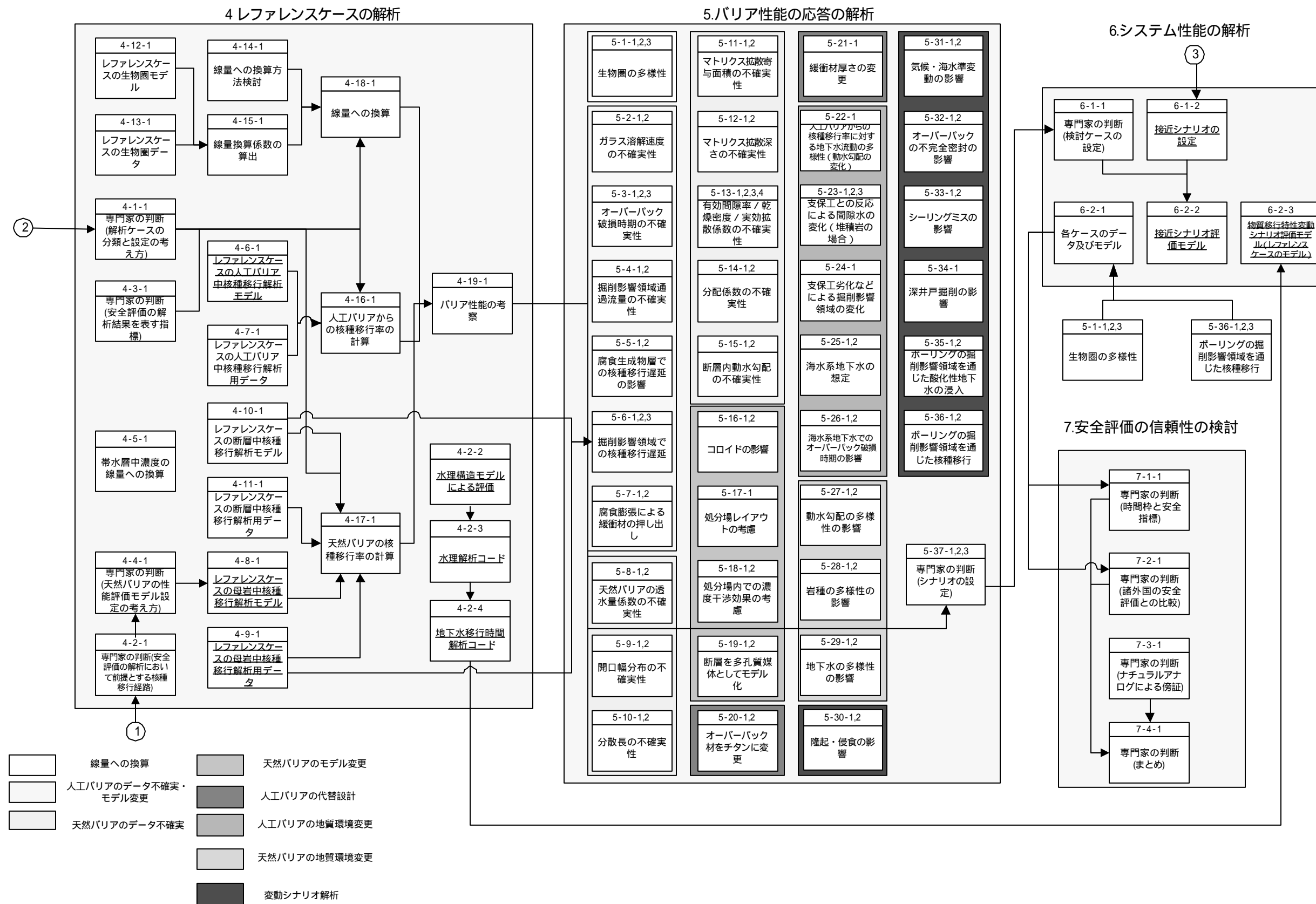


図 2.2.1-23 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル2)要約(2)

## 2.2.2 特定の地質環境が与えられた場合の構成要素の検討

本節では、特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。第2次取りまとめのシステム因子、及び、情報処理の流れと比較して、追加すべき事項を抽出した。

平成12年11月にまとめられた「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の考え方について（第一次中間報告）原子力安全委員会 放射性廃棄物安全規制専門部会」では、処分地に要求される環境条件で特に配慮すべきものとして隆起・侵食、断層、火山・火成活動を挙げている。また、安全評価は地下水移行シナリオと接近シナリオに分けて行うとしたうえで、地下水移行シナリオでの評価を安全評価の第一義的シナリオと位置付けている。自然現象については、原子力環境整備構により地震、活断層などに関する文献調査が進められており、第2次取りまとめによれば、調査地区の絞込みが進んだ段階で現地でもこれらに関する調査がより詳細に実施されるものと考えられる。地下水移行シナリオについては、その場所の水理・物質移行場の把握とその安定性が評価対象になると考えられる。これらの情報加工を行うためのシステム因子が、数値地層処分統合解析システムに追加されるべきものとして挙げることができる。

追加すべきシステム因子を具体的に検討するにあたり考慮すべき点として、システム因子の地質環境条件依存性がある。既往の検討の多くは陸地立地を想定し、必要とされる技術の検討を行ってきたが、例えば、沿岸海底下に立地する場合には調査技術や性能評価に使用する個別モデルなどが異なってくることが考えられる。現時点では、与えられる地質環境を予め予想することは困難であるため、幅広い地質環境条件に対応できるようにシステム因子を抽出するのが適当であると考えられる。

以上の考え方にに基づき、特定の地質環境に依存するシステム因子を検討して前節の図2.2.1-2～2.2.1-23に示した。また、システム因子にデータを供給する地質調査を検討して表2.2.2-1～2.2.2-14にまとめた。項目立ては第2次取りまとめに準拠し、必要に応じて取捨選択を行い、取得データの加工から物質移行場をモデル化するまでを対象としたため、データ取得の方法まで遡った整理を行った。事業（調査）の進展に伴い、同じデータ項目でも、取得方法、内容に変遷があるため、処分候補地選定調査、処分予定地調査、サイト特性調査（地上・地下特性調査）に分けて検討を行った。

表 2.2.2-1 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (1)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
1 不確実性の考え方の検討 (処分システムの多様性とシナリオ・モデル・データの不確実性の扱い方を決める)	1-1 シナリオの不確実性	1-1-1 シナリオ解析	体系的シナリオ解析手法	専門家の知見、海外の事例	評価シナリオ	1-1-2	該当無し						
		1-1-2 影響解析ケーススタディ	評価シナリオ	1-1-1	各シナリオでの線量	3-22-1~3-32-1	該当無し						
	1-2 モデルの不確実性	1-2-1 複数の概念の解析モデル	解析モデル	既往の知見	概念モデル毎の線量	3-18-1~3-21-3	該当無し						
		1-3 データの不確実性	1-3-1 専門家の判断(データの正確性)	データ取得状況	既往の知見	データの幅、分布	1-3-2	該当無し					
		1-3-2 幅・分布を考慮した解析	データの幅、分布	1-3-1	線量へのデータの感度	3-1-1~3-17-2	該当無し						
2 処分システム	2-1 地質環境	2-1-1 専門家の判断(地質環境)	わが国の地形、地下水、岩種	既往の知見	地質環境条件	3-1-1~3-7-1	該当無し						
	2-2 ガラス固化体	2-2-1 専門家の判断(ガラス固化体)	ガラス固化体仕様	日本原燃殿	ガラス固化体仕様	3-13-1,3-13-2,3-16-2,3-23-1,3-27-1	該当無し						
	2-3 処分場レイアウト	2-3-1 専門家の判断(処分場レイアウト)	主要透水性割れ目からの距離、物流・換気、作業時安全確保、空洞力学安定性、敷地条件	処分場設計仕様	処分場レイアウト	4-2-1	該当無し						
	2-4 オーバーバック	2-4-1 専門家の判断(オーバーバック)	核種閉じ込め性、他バリアへの影響、製作・施工性	既往の知見	材料 / 構成	2-4-2,3-16-2,3-23-1,3-27-1	該当無し						
		2-4-2 腐食・耐圧・遮蔽計算コード	材料 / 構成	2-4-1	容器厚さ	3-26-1,3-27-1	該当無し						
	2-5 緩衝材	2-5-1 専門家の判断(緩衝材)	膨潤性、低透水性、化学緩衝性、コロイドろ過効果	既往の知見	材料	2-5-2,3-16-2	該当無し						
2-5-2 応力緩衝性解析コード		材料	2-5-1	厚さ、密度	3-14-1,3-23-1,3-27-1	該当無し							
3 安全評価シナリオの検討 (将来挙動を想定)	3-1 地下水化学	3-1-1 多変量解析コード	第1次取りまとめのモデル地下水、実測値、文献値(溶存成分、pH)	第1次取りまとめ、現地データ、文献、2-1-1	妥当なモデル地下水	3-33-1	該当無し(特定の地質環境が決定された場合は、モデル地下水は利用せず、実測値を用いる)	・溶存成分、pH	・文献調査	・孔内水試料の測定	・孔内水試料の測定	・坑内水試料の測定	
	3-2 岩盤の水理	3-2-1 専門家の判断(岩盤の水理)	岩盤調査データ(亀裂性・多孔質媒体の区別、透水係数)	岩盤調査、2-1-1	水理モデル、巨視的透水係数分布	3-33-1	*地下岩盤構成要素の性状	・媒体の区別	・文献調査	・地表踏査( ) ・コア観察 ・孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察 海底下立地の場合不可 ・海底調査船による海底調査、ビデオカメラ等による観察、海底音響探査を実施	・地表踏査( ) ・トレンチ調査( ) ・コア観察 ・孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察 海底下立地の場合 ・海底調査船による海底調査、ビデオカメラ等による観察、海底音響探査を実施	・坑壁観察 ・坑内試錐のコア観察 ・坑内試錐の孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察	
													・透水係数
	3-3 断層の水理	3-3-1 専門家の判断(断層の水理)	断層の構成と透水性(粘土部と破砕帯部の透水係数)	文献、2-1-1	レイアウトでの留意点、対策工	3-33-1	*地下岩盤構成要素の性状	・粘土部と破砕帯部の透水係数	・文献調査	・原位置透水試験	・原位置透水試験	・原位置透水試験	
	3-4 掘削影響領域の水理	3-4-1 専門家の判断(掘削影響領域の水理)	透水性と影響因子(大きさ、亀裂特性など)	測定値、2-1-1	定量評価の困難さ	3-33-1		・透水係数	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ
	3-5 地下水流動の駆動力	3-5-1 専門家の判断(地下水流動の駆動力)	影響因子(動水勾配、熱、密度流)	文献、2-1-1	地形、熱、流体密度の影響度合い	3-33-1	*動水勾配	・間隙水圧分布	・文献調査	・間隙水圧測定	・間隙水圧測定(継続)	・坑内での間隙水圧測定	
・温度分布								・文献調査	・温度検層 ・磁気探査(キュリー面深度)	・温度検層	・岩盤温度測定		

表 2.2.2-2 システム因子に関連する地質環境データと調査方法(2)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
3 安全評価シナリオの検討 (将来挙動を想定)	3-6 岩盤の力学的安定性	3-6-1 クリープ解析、力学解析コード(岩盤の力学的安定性)	地圧、緩衝材膨張、オーバーバック腐食膨張圧、熱、岩盤の力学的特性	文献、3-12-1	変形量腐食膨張、熱の影響度合い		*強度特性	・圧縮強度 ・引張強度 ・せん断強度 ・内部摩擦角 ・上限降伏値	・文献調査	・一軸圧縮試験 ・圧裂引張試験 ・三軸圧縮試験 ・一面せん断試験 ・塑性試験	・一軸圧縮試験 ・圧裂引張試験 ・三軸圧縮試験 ・一面せん断試験 ・塑性試験	・一軸圧縮試験 ・圧裂引張試験 ・三軸圧縮試験 ・一面せん断試験 ・岩盤支持力試験 ・塑性試験
							*変形特性	・変形係数 ・弾性係数 ・ポアソン比 ・クリープ変形係数 ・限界ひずみ	・文献調査	・一軸圧縮試験 ・三軸圧縮試験 ・孔内載荷試験 ・三軸クリープ試験	・一軸圧縮試験 ・三軸圧縮試験 ・孔内載荷試験 ・三軸クリープ試験	・一軸圧縮試験 ・三軸圧縮試験 ・孔内載荷試験 ・三軸クリープ試験 ・岩盤変形試験 ・岩盤クリープ試験
							*岩盤の初期応力	・最大最小主応力及びその方向	・文献調査	・AE法調査	・AE法調査 ・水圧破砕法調査	・AE法調査 ・水圧破砕法調査 ・オーバーコアリング
							熱特性	・地温分布	・文献調査	・温度検層 ・磁気探査(キュリー面深度)	・温度検層	・岩盤温度測定
							*熱特性	・比熱 ・熱伝導率 ・熱膨張率	・文献調査	・岩石試料試験	・岩石試料試験	・岩石試料試験 ・岩盤加熱試験
	3-7 岩盤の化学的安定性	3-7-1 専門家の判断(岩盤の化学的安定性)	岩とアルカリ反応の pH 依存性、地温	文献、2-1-1	熱の影響度合い、推奨されるセメント材料	3-33-1	*熱特性	・地温	3-6-1と同じ	3-6-1と同じ	3-6-1と同じ	3-6-1と同じ
							*化学特性	・岩盤の化学的特性	・文献調査	・岩石試料の分析	・岩石試料の分析	・坑内・岩石試料の測定
	3-8 埋め戻し材の化学的安定性	3-8-1 専門家の判断(埋め戻し材の化学的安定性)	ベントナイトのアルカリ変質の pH 依存性	文献	推奨されるセメント材料	3-33-1						
	3-9 鋼製支保のガス発生、腐食膨張	3-9-1 専門家の判断(鋼製支保のガス発生、腐食膨張)	オーバーバックとの比較データ	既往の知見	影響度合い	3-33-1						
	3-10 オーバーバックの腐食	3-10-1 試験	腐食モード、腐食速度	試験結果	腐食代	3-33-1						
	3-11 オーバーバックのガス蓄積	3-11-1 ガス移行解析コード	腐食速度、溶存ガス拡散速度	文献	ガス相生成の可能性	3-33-1						
	3-12 腐食生成物の生成	3-12-1 力学解析コード	腐食生成物の化学形	試験	応力状態	3-33-1						
	3-13 ガラス固化体の溶解	3-13-1 溶解モデルによる評価	3-13-1 浸出データ	試験、2-2-1	溶解メカニズム、溶解速度	3-33-1						
							3-13-2 割れ影響評価	浸出データガラス組織	試験調査、2-2-1	実効表面積増加率	3-33-1	
	3-14 緩衝材の飽和・膨潤	3-14-1 熱水応力連成解析コード	飽和・不飽和伝熱特性、湿潤特性、膨潤特性のケイ砂配合率・密度依存性	試験、2-5-2	飽和到達時間	3-33-1						
	3-15 間隙水化学	3-15-1 地球化学平衡計算コード	熱力学データセット、酸素分圧、随伴鉱物組成、腐食生成物、スメクタイト表面水酸基密度	試験、文献	間隙水組成の時間変化・空間分布	3-33-1						
	3-16 核種の沈殿/溶解	3-16-1 地球化学平衡計算コード	熱力学データセット、地下水組成、施設構成材料、人工バリア材料	3-16-1.2-1-1,2-2-1,2-4-1,2-5-1	核種ソースターム濃度	3-33-1		・地下水組成	・文献調査	・孔内試料水の測定及び分析	・孔内試料水の測定及び分析	・坑内試料水の測定及び分析
	3-17 拡散/吸着	3-17-1 拡散係数予測モデルによる評価	3-17-1 拡散係数データ	試験	拡散係数予測値	3-33-1						
							3-17-2 吸着モデルによる評価	吸着データ	試験	吸着係数予測値	3-33-1	
3-18 岩盤中核種移行	3-18-1 専門家の判断(岩盤中核種移行)	既往の知見(核種移行プロセス)	文献、試験	モデル設定	3-33-1							
3-19 有機物	3-19-1 専門家の判断(有機物)	既往の知見(有機物と核種の相互作用)	文献、試験	核種の移行・吸着への影響	3-33-1	*溶存成分濃度	・フミン酸 ・フルボン酸 ・カルボン酸 ・その他	・文献調査	・孔内試料水の測定	・孔内試料水の測定	・坑内試料水の測定	
3-20 微生物	3-20-1 専門家の判断(微生物)	既往の知見(微生物の放射性元素への影響)	文献、試験	シナリオとしての扱い	サイト固有の研究に送る	*溶存成分濃度	・微生物の種類と量	・文献調査	・孔内試料水の測定	・孔内試料水の測定	・坑内試料水の測定	

表 2.2.2-3 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (3)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
3 安全評価シナリオの検討 (将来挙動を想定)	3-21 コロイド生成 / 移行	3-21-1コロイドろ過モデルによる評価	空隙、コロイドの粒径	文献	シナリオとしての扱い	棄却	*溶存成分濃度	・コロイドの種類と量 ・コロイド密度 ・コロイド吸着特性	・文献調査	・孔内水試料の測定	・孔内試料水の測定	・坑内試料水の測定	
		3-21-2ベントナイトコロイド発生モデルによる評価	表面電位、地下水組成	試験、文献	シナリオとしての扱い	棄却							
		3-21-3コロイド移行モデルによる評価	地下水流速、コロイド・岩の表面電位、移行経路の形状	試験、文献	シナリオとしての扱い	ケーススタディ		*溶存成分濃度	・地下水流向・流速	・文献調査	・地下水流向・流速測定( ) ・間隙水圧測定 ・トレーサ試験( ) 海底立地の場合困難	・地下水流向・流速測定( ) ・間隙水圧測定 ・孔内試料水の年代測定 ・孔内試料水の同位体比測定 ・トレーサ試験( ) 海底立地の場合困難	・坑内湧水の年代測定 ・坑内湧水の同位体比測定 ・坑内トレーサ試験
								・種類と量 ・コロイド密度 ・コロイド吸着特性	3-21-1と同じ	3-21-1と同じ	3-21-1と同じ	3-21-1と同じ	
	3-22 ガス生成 / 移行	3-22-1ガス発生モデルによる評価	腐食速度、表面積	試験、文献	ガス発生速度	3-22-2							
		3-22-2ガス移行モデルによる評価	ガス発生速度、ガス移行速度	3-22-1 文献、試験	シナリオとしての扱い	棄却							
	3-23 放射線分解 / 放射線損傷	3-23-1遮蔽計算コード、放射線分解計算コード	ガラス固化体・人工バリア仕様	2-2-1,2-4-1,2-5-2	緩衝材中溶解度分配係数への影響	棄却							
		3-23-2照射試験			ガラス固化体、オーバーバック、緩衝材への影響	棄却							
	3-24 緩衝材の変質	3-24-1イオン交換影響評価	イオン交換後の特性データ	試験、文献	緩衝材特性の変化	3-33-1							
		3-24-2鉱物変質評価	ナチュラルアナログ研究データ	試験	変質可能性、変質速度	棄却							
		3-24-3セメンテーション検討	ナチュラルアナログ研究データ	試験、文献	推奨されるセメント材料	3-33-1							
	3-25 亀裂への緩衝材の侵入	3-25-1粘性モデル、塑性モデル、圧密モデル、侵食モデルによる評価	試験データ	試験、文献	シナリオとしての扱い	棄却							
	3-26 オーバーバックの腐食膨張	3-26-1修正Cam-Clayモデルによる評価	腐食速度、オーバーバック仕様、積膨張割合	試験、文献,2-4-2	緩衝材性能への影響	棄却							
	3-27 オーバーバックの沈下	3-27-1弾粘塑性(関口大田)モデルによる評価	ガラス固化体・オーバーバック・緩衝材仕様	2-2-1,2-4-1,2-5-2	沈下量	棄却							
	3-28 隆起・侵食	3-28-1 専門家の判断(隆起・侵食)	既往の知見(隆起・侵食)	調査、文献	シナリオとしての扱い	3-33-1	*隆起	・隆起量	・文献調査	・測量 海底下立地の場合は、 海底測量	・測量(継続) ・段丘面調査( ) ・ボーリングによる地質調査 海底下立地の場合 ・測量は海底測量 ・段丘面調査は困難 ・海底音響調査 ・海底堆積物のサンプリングと分析	・測量(継続) ・段丘面調査 ・ボーリングによる地質調査 海底下立地の場合 ・地形図は海底測量 ・段丘面調査は困難 ・海底音響調査 ・海底堆積物のサンプリングと分析	
*侵食							・侵食量	・文献調査	・リモートセンシング(衛星写真解析、空中写真解析) ・地形図判読 海底下立地の場合 ・リモートセンシングによる効果は期待できない ・地形図は海底測量 ・海底音響調査 ・海底堆積物のサンプリングと分析	・リモートセンシング(衛星写真解析、空中写真解析) ・地形図判読 海底下立地の場合 ・リモートセンシングによる効果は期待できない ・地形図は海底測量 ・海底音響調査 ・海底堆積物のサンプリングと分析			
3-29 気候・海水準変動	3-29-1 専門家の判断(気候・海水準変動)	既往の知見(気候・海水準変動)	調査、文献	シナリオとしての扱い	3-33-1		・気候・海水準変動	・文献調査	・海岸段丘調査 ・汀線調査	・海岸段丘調査 ・汀線調査			
3-30 工学的対策に関する初期欠陥	3-30-1 専門家の判断(工学的対策に関する初期欠陥)	既往の知見(工学的対策に関する初期欠陥)	調査、文献	シナリオとしての扱い	3-33-1								
3-31 将来の人間活動	3-31-1 専門家の判断(将来の人間活動)	既往の知見(将来の人間活動)	海外事例	考慮すべきシナリオ、評価の扱い	3-33-1	*鉱床	・鉱床分布	・文献調査	・地表踏査	・IP法探査			
3-32 臨界	3-32-1核種移行計算コード、臨界計算コード、ナチュラルアナログによる評価	水理・地質データ	文献、調査	臨界発生の可能性	棄却	地質環境データ全て							
3-33 シナリオの設定	3-33-1 専門家の判断(シナリオの設定)	3-1~ 3-32の検討結果	3-1~ 3-32	評価シナリオ	4-1-1								

表 2.2.2-4 システム因子に関連する地質環境データと調査方法(4)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
4 レファレンスケースの 解析 (シナリオをもとにレ ファレンスケースを設定。 概念モデル、数学モデル、 データを設定して解析)	4-1 解析ケースの分類と 設定の考え方	4-1-1 専門家の判断(解析 ケースの分類と設定の考 え方)	シナリオ設定結果	3-33-1	処分システムの多様性と シナリオ・モデル・デ ータの不確実性を考慮した 分類の考え方、基本シナ リオ解析ケース、及び変 動シナリオ解析ケース	4-16-1, 4-17-1, 4-18-1							
	4-2 安全評価の解析にお いて前提とする核種移行 経路	4-2-1 専門家の判断(安全 評価の解析において前提 とする核種移行経路)	4-2-1 専門家の判断(安全 評価の解析において前提 とする核種移行経路)	一般化した地質環境条件 をさらに保守的に設定し た地質環境データ	2-3-1	核種移行経路	4-4-1	該当無し(特定の地質環 境が決定された場合は、 実測された地質環境モ デルを用いる)					
		4-2-2 水理構造モデルに よる評価	4-2-2 水理構造モデルに よる評価	地質構造、水理構造デ ータ	実測、文献	水理解析の対象となるモ デル	4-2-3	全ての地質環境測定結果					
		4-2-3 水理解析コード	4-2-3 水理解析コード	水理モデル	4-2-2	水理場	4-2-4						
		4-2-4 地下水移行時間解 析コード	4-2-4 地下水移行時間解 析コード	水理場	4-2-3	評価対象経路	6-2-3						
	4-3 安全評価の解析結果 を表す指標	4-3-1 専門家の判断(安全 評価の解析結果を表す指 標)	4-3-1 専門家の判断(安全 評価の解析結果を表す指 標)	既往の知見、諸外国の評 価例	文献	人工バリア・母岩・断層 からの核種移行率、線量	4-16-1, 4-17-1, 4-18-1						
	4-4 天然バリアの性能評 価モデル設定の考え方	4-4-1 専門家の判断(天然 バリアの性能評価モデル 設定の考え方)	4-4-1 専門家の判断(天然 バリアの性能評価モデル 設定の考え方)	間隙構造調査結果(亀裂 性・多孔質媒体の区別)	4-2-1, 文献調査、既存坑 道・露頭での観察	平行平板重ね合わせモデ ル	4-8-1, 4-8-2	*地下岩盤構成要素の性 状	・亀裂性媒体 / 多孔質媒 体の区別 ・密度、間隙率	・文献調査	・物理試験(岩石試料) ・密度換層	・物理試験(岩石試料) ・密度換層	・物理試験(岩石試料) ・密度換層
	4-5 安全評価で考慮する 核種	4-5-1 帯水層中濃度の線 量への換算	4-5-1 帯水層中濃度の線 量への換算	1000 年後核種インベン トリ、ガラス溶解速度、 帯水層流量、水中濃度限 度	文献、解析	Sm-151, Cs-135, Sn- 126, Pd-107, Tc-99, Nb- 94, Zr-93 Nb-93m, Se- 79, 崩壊連鎖核種	分岐の扱いは人工バリア 中核種移行結果に判断持 ち越し。						
	4-6 レファレンスケース の人工バリア中核種移行 解析モデルの設定	4-6-1 専門家の判断(オー バーバック寿命の設定)	4-6-1 専門家の判断(オー バーバック寿命の設定)	1000 年間以上の閉じ込 め期間	オーバーバック設計目標	1000 年間の閉じ込め期 間	4-16-1						
		4-6-2 専門家の判断(処分 場内温度場の設定)	4-6-2 専門家の判断(処分 場内温度場の設定)	核種インベントリ、閉じ 込め期間	ガラス固化体仕様、4-6- 1	地温と同等の温度場	4-16-1						
		4-6-3 専門家の判断(ガラ ス表面積の設定)	4-6-3 専門家の判断(ガラ ス表面積の設定)	固化冷却時のひび割れ発 生データ	ガラス固化試験	10 倍の表面積増加率	4-16-1						
		4-6-4 専門家の判断(ガラ ス溶解モデルの設定)	4-6-4 専門家の判断(ガラ ス溶解モデルの設定)	溶解挙動データ	ガラス溶解試験	不可逆長期溶解速度モデ ル	4-16-1						
		4-6-5 専門家の判断(ガラ ス変質層、オーバーバッ ク中核種移行モデルの設 定)	4-6-5 専門家の判断(ガラ ス変質層、オーバーバッ ク中核種移行モデルの設 定)	核種移行挙動データ	文献、試験	ガラス、オーバーバック 中核種移行モデル(核種 移行遅延効果を保守的に 無視)	4-16-1						
		4-6-6 専門家の判断(核種 溶解度モデルの設定) (Davies の活量係数補正 式)	4-6-6 専門家の判断(核種 溶解度モデルの設定) (Davies の活量係数補正 式)	熱力学データ、同位体存 在比	文献、試験	核種溶解度モデル	4-16-1						
4-6-7 専門家の判断(核種 溶解度モデルの設定) (Pitzer の活量係数補正 式)		4-6-7 専門家の判断(核種 溶解度モデルの設定) (Pitzer の活量係数補正 式)	熱力学データ、同位体存 在比	文献、試験	核種溶解度モデル	4-16-1							
4-6-8 専門家の判断(緩衝 材中核種移行モデルの設 定)		4-6-8 専門家の判断(緩衝 材中核種移行モデルの設 定)	物質移行挙動、吸着挙動 データ	ガラス固化体・緩衝材を 組み合わせた核種移行試 験	(緩衝材中核種移行モデ ル(拡散・瞬時線形可逆 吸着モデル))	4-16-1							
4-6-9 専門家の判断(緩衝 材外側境界モデルの設 定)		4-6-9 専門家の判断(緩衝 材外側境界モデルの設 定)	緩み域での水理・物質移 動データ	原位置での観察	母岩への核種移行モデル (完全混合領域の設定)	4-16-1							

表 2.2.2-5 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (5)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
4 レファレンスケースの 解析 (シナリオをもとにレファ レンスケースを設定。 概念モデル、数学モデル、 データを設定して解析)	4-7 レファレンスケース の人工バリア中核種移行 解析用データの設定	4-7-1 専門家の判断(モデル ガラス固化体のインベ ントリの設定)	JNFL,COGEMA,BNFL, TVFのインベントリ	ORIGEN 計算結果	JNFL 仕様をモデルガラ ス固化体に採用したイン ベントリ	4-16-1							
		4-7-2 専門家の判断(地下 水組成データの設定)	平衡計算結果実測値(塩 素イオンはバランス)	熱力学データ文献	降水系地下水組成	4-7-3		・地下水組成	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	
		4-7-3 専門家の判断(間隙 水組成データの設定)	緩衝材仕様、地下水組成、 イオン交換反応、随伴鉱 物の溶解平衡、腐食生成 物データ	2-5-1,4-7-2 文献、試験、 熱力学データ試験	熱力学データの違い、考 慮する反応(C,Sの酸化 還元)、ペントナイト種類 の影響、及び間隙水組成 の経時変化を考慮した間 隙水組成データ	4-7-4	*溶存成分濃度	・地下水組成 ・空隙水中の放射性核種 の濃度	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ	3-16-1と同じ
		4-7-4 専門家の判断(ガラ ス溶解速度データの設 定)	溶解挙動、長期溶解速度 データ、ひび割れによる 表面積増加率	試験、文献	長期溶解過程を考慮した 溶解速度、溶解期間	4-16-1							
		4-7-5 専門家の判断(溶解 度データの設定)	熱力学データ、溶解度実 測値の信頼性検討結果	既存データ	元素毎の溶解度設定方法 を選定し、溶解度設定温 度は影響ない、又は、保 守的に無視した溶解度	4-16-1							
		4-7-6 専門家の判断(拡散 係数データの設定)	データ取得状況、化学的 類似性、拡散の活性化エ ネルギーのデータ	既存データ	60 での拡散係数(25 での元素グループ毎のデ ータを基本)	4-16-1							
		4-7-7 専門家の判断(分配 係数データの設定)	見かけの拡散係数と実効 拡散係数の関係式、デー タ取得条件と間隙水組成 が異なる場合の判断結 果、温度依存性について データ欠落ケースの判断 結果	試験、文献	保守性を担保した分配係 数データセット	4-16-1							
		4-7-8 専門家の判断(緩衝 材外側での地下水流量デ ータの設定)	地下水流れ方向と坑道配 置に関する判断結果、掘 削影響領域の広がり透 水係数増加率、100m ス ケールの亀裂ネットワー クモデル	測定データ既存亀裂特性 データ	廃棄体 1本あたりの掘削 影響領域地下水流量、横 置き・坑道方向の流量	4-16-1	*地下水流向・流速	・地下水流向・流速	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	
	4-8 レファレンスケー スの母岩中核種移行解析 モデルの設定	4-8-1 専門家の判断(単一 亀裂中移行モデルの設 定)	使用実績	既往の知見	マトリクス拡散とその際 の吸着、巨視的分散を考 慮。亀裂重点物への吸着、 コロイド・微生物・有機 物影響、熱対流・密度流 は考慮しない単一亀裂中 移行モデル	4-17-1							
		4-8-2 専門家の判断(単一 亀裂の重ね合わせ手法の 設定)	亀裂の透水量係数分布	ダブルバック - 試験結果 (亀裂は同等と仮定) 4- 9-2 分割数を変えた解析 結果,4-8-2	対数正規分布に従う透水 量係数(対数平均値- 9.99、対数標準偏差 1.07) 分割数 48	4-17-1		・透水係数 ・透水層の分布(厚さ)	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ
4-8-3 専門家の判断(多孔 質媒体モデルの設定)		使用実績	既往の知見	コロイド・微生物・有機 物影響、熱対流・密度流 は考慮しない多孔質媒体 モデル。	4-17-1								



表 2.2.2-6 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (6)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
4 レファレンスケースの 解析 (シナリオをもとにレファ レンスケースを設定。 概念モデル、数学モデル、 データを設定して解析)	4-9 レファレンスケース の母岩中核種移行解析用 データの設定	4-9-1 専門家の判断(動水 勾配データの設定)	東濃での解析及び測定	試験	地下水位データに基づく 保守的設定をした動水勾 配データ	4-17-1	*地下水位分布	・動水勾配	・文献調査	・地下水測定 ( ) ・間隙水圧測定 海底下立地の場合不要	・地下水測定 ( ) ・間隙水圧測定 海底下立地の場合不要	・地下水測定 ( ) ・間隙水圧測定 海底下立地の場合不要
		4-9-2 専門家の判断(亀裂 の透水量係数分布データ の設定)	透水量係数の深度依存性 データ	釜石試験結果	実測値で検証された分布 に深度依存性を考慮し、 1桁小さく設定した透水 量係数分布データ	4-17-1		・透水係数 ・透水層の分布(厚さ)	3-2-1と同じ 4-8-2と同じ	3-2-1と同じ 4-8-2と同じ	3-2-1と同じ 4-8-2と同じ	3-2-1と同じ 4-8-2と同じ
		4-9-3 専門家の判断(亀裂 の開幅分布データの設 定)	透水量係数データ、釜石 データに基づく経験式	釜石試験結果	透水量係数から変換した 開幅分布データ	4-17-1		・チャンネル幅 ・亀裂開口幅 ・亀裂周辺変質域幅 ・透水域幅 ・亀裂充填物間隙率 ・透水係数	・文献調査 3-2-1と同じ	・X線回折 ・顕微鏡観察 3-2-1と同じ	・X線回折 ・顕微鏡観察 3-2-1と同じ	・X線回折 ・顕微鏡観察 3-2-1と同じ
		4-9-4 専門家の判断(巨視 的分散長データの設定)	縦分散長と移行距離の関 係 (Neuman, Gelhar の 研究)	既往の知見	縦分散長は移行距離の 1/10、横分散は保守的に 無視。	4-17-1	*空隙の性状	・分散距離 ・分散係数 ・亀裂の透水係数 ・亀裂媒体の亀裂開口幅 ・収束率 ・屈曲率	・文献調査	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・トレーサ試験 海底下立地の場合、ト レーサ試験は困難	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・トレーサ試験 海底下立地の場合、ト レーサ試験は困難	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・坑内トレーサ試験
		4-9-5 専門家の判断(マ トリクス拡散深さデー タの設定)	ナチュラルアナログ研究 から得られたマトリクス 拡散深さデータ	既往の知見	変質部までの 0.1m (保 守的設定)	4-17-1	*デッドエンドな 空隙へ の拡散 *分子ふるい *イオンによる排除 *物理吸着	・(岩石の)間隙率 ・(亀裂充填物の)間隙率 ・マトリクス空隙中拡散 係数 ・マトリクス距離 (亀裂 に垂直な方向の距離)	・文献調査	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・岩石試料試験	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・岩石試料試験	・X線回折 ・顕微鏡観察 ・岩石試料試験
		4-9-6 専門家の判断(マ トリクス拡散寄与面積率 データの設定)	Pyrak-Nolte らの試験結 果、1000mでの土かぶり 圧	既往の知見	58~70%から保守的に 50%を設定 (低融点金属 注入の応力依存性に基づ く)	4-17-1	*デッドエンドな 空隙へ の拡散 *分子ふるい *イオンによる排除 *物理吸着	・(岩石の)間隙率 ・(亀裂充填物の)間隙率 ・マトリクス空隙中拡散 係数 ・マトリクス距離 (亀裂 に垂直な方向の距離)	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ
		4-9-7 専門家の判断(有効 間隙率データの設定)	有効間隙率分布データ	文献値 釜石での未変質 部、変質部データ	未変質部、変質部を平均 し2%を設定	4-17-1,4-9-8	*空隙の性状	・有効間隙率	・文献調査	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)
		4-9-8 専門家の判断(乾燥 密度データの設定)	有効間隙率、真密度と有 効間隙率の関係式	4-9-7	2.64g/cm3	4-17-1	*物理的性質	・有効間隙率、真比重	・文献調査	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)
		4-9-9 専門家の判断(実効 拡散係数データの設定)	水の自己拡散の活性化エ ネルギー、拡散種と拡散 経路の相対的大きさ、原 位置での擾乱が少ない試 験との比較結果	既往の知見	3.0e-12m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> (25 から 45 への換算係数として 1.5 倍を設定、岩石表面 との相互作用・擾乱の影 響を無視)	4-17-1	*拡散	・多孔質媒質における 有効拡散係数 ・自由水中拡散係数(核 種毎) ・分子拡散係数	・文献調査	・拡散係数の測定	・拡散係数の測定	・拡散係数の測定
		4-9-10 専門家の判断(分 配係数データの設定)	間隙水の自由水近似の妥 当性、蓄積データ数 pH、 Eh、イオン強度、測定温 度、平衡確認、コロイド 影響除外、核種溶解度、 花崗岩類でのデータ	既往の知見	バッチ試験データの採用 ばらつきに対する保守 性、欠落データに対する 化学類似性を考慮した分 配係数データ	4-17-1	*鉱物化 *イオン交換 *沈殿 *吸着	・バルク岩石分配係数 ・鉱物分配係数 ・亀裂表面分配係数 ・マトリクス分配係数 ・亀裂充填物鉱物厚 ・同位体濃度	・文献調査	・岩石試料試験 ・分配係数測定	・岩石試料試験 ・分配係数測定	・岩石試料試験 ・分配係数測定
		4-9-11 専門家の判断(多 孔質媒体の透水量係数 データの設定)	透水量係数の空間依存性 データ	既往の知見	岩種・空間分布を考慮し た透水量係数データ	4-17-1						

表 2.2.2-7 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (7)

地下水シナリオ評価に関わる作業		使用されたシステム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
4 レファレンスケースの解析 (シナリオをもとにレファレンスケースを設定。概念モデル、数学モデル、データを設定して解析)	4-10 レファレンスケースの断層中核種移行解析モデルの設定	4-10-1 専門家の判断(レファレンスケースの断層中核種移行解析モデルの設定)	特性データ(ほとんどデータなし)	既往の知見	均一単一亀裂モデル(移行距離 800m。遅延は保守的に無視。)	4-17-1	*地下岩盤構成要素の性状	・断層・破砕帯を含む地質・水理構造全般	・文献調査 ・リモートセンシング(衛星画像解析、空中写真解析) ・リモートセンシングは効果が極めて小さい	・地表踏査 ・コア観察 ・孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察 ・重力探査 ・空中磁気探査 ・電磁探査(CSAMT法、TDEM法) ・反射法弾性波探査 ・PS検層 ・比抵抗検層 ・密度検層 ・中性子検層 ・キャリバ検層 ・VSP法調査 ・ラドン測定 ・微小地震観測 海底下立地の場合 ・地表踏査、電磁探査、ラドン測定は不可 ・海底調査船による海底調査、ビデオカメラ等による観察、海底音響探査を実施 ・重力探査は海上、又は空中から実施 ・微小地震観測は海底地震探査を実施。	・地表踏査 ・トレンチ調査 ・コア観察 ・孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察 ・重力探査 ・坑壁弾性波試験 ・電磁探査(CSAMT法、TDEM法) ・反射法弾性波探査 ・比抵抗トモグラフィ(坑道。試錐孔利用) ・弾性波トモグラフィ(坑道。試錐孔利用) ・PS検層(坑内試錐孔利用) ・比抵抗検層(坑内試錐孔利用) ・PS検層 ・比抵抗検層 ・密度検層 ・中性子検層 ・キャリバ検層 ・VSP法調査 ・ラドン測定 ・微小地震観測 海底下立地の場合 ・地表踏査、電磁探査、ラドン測定は不可 ・海底調査船による海底調査、ビデオカメラ等による観察、海底音響探査を実施 ・重力探査は海上、又は空中から実施 ・微小地震観測は海底地震探査を実施。	・坑壁観察 ・コア観察 ・孔壁観察(ボアホールTV、レーダ) ・X線回折 ・顕微鏡観察 ・重力探査 ・坑壁弾性波試験 ・比抵抗トモグラフィ(坑道。試錐孔利用) ・弾性波トモグラフィ(坑道。試錐孔利用) ・PS検層(坑内試錐孔利用) ・比抵抗検層(坑内試錐孔利用) ・密度検層(坑内試錐孔利用) ・中性子検層(坑内試錐孔利用) ・VSP法調査 ・微小地震観測(継続) ・湧水個所の観察
	4-11 レファレンスケースの断層中核種移行解析用データの設定	4-11-1 専門家の判断(母岩からの核種移行率データの設定)	流入量	既往の知見	全量流入	4-17-1	*地下水流向・流速	・地下水流向・流速	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ
		4-11-2 専門家の判断(透水量係数データの設定)	母岩の透水量係数データ	既往の知見	1.0e-7m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> (母岩での最大値)		*水理特性	・透水係数・有効透水係数	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ
		4-11-3 専門家の判断(分散長データの設定)	断層内移行距離データ	既往の知見	80m(母岩と同様に移行距離の1/10を設定)	4-17-1	*空隙の性状	・分散距離 ・分散係数 ・亀裂の透水係数 ・亀裂媒体の亀裂開口幅 ・収斂率 ・屈曲率	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ

表 2.2.2-8 システム因子に関連する地質環境データと調査方法（8）

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
4 レファレンスケースの 解析 (シナリオをもとにレ ファレンスケースを設定。 概念モデル、数学モデル、 データを設定して解析)	4-12 レファレンスケー スの生物圏モデルの設定	4-12-1 専門家の判断 (GBIの設定)	わが国の人工分布、取水 源データ	文献	河川を設定した GBI	4-12-2	*地表部水収支	・河川位置 ・湖沼の位置	・文献調査 ・地形図判読 海底下立地の場合不要	・測量		
		4-12-2 専門家の判断 (FEPリストの設定)	BIOMOVs II の FEP リ スト(河川・河口・沿岸で の FEP)	文献	相互作用マトリクスと合 わせて考慮する FEP を 抽出	4-12-4						
		4-12-3 専門家の判断(相 互作用マトリクスの設 定)	BIOMOVs II の対角要 素(生物圏構成要素)河 川・河口・沿岸での対角 要素	文献	FEP リストと合わせて 考慮する FEP を抽出	4-12-4						
		4-12-4 専門家の判断(生 物圏構成要素をコンバ ートメントとしたモデルの 設定)	考慮する FEP	4-12-2 4-12-3	コンパートメントモデル	4-15-1						
4-13 レファレンスケー スの生物圏データの設定	4-13-1 専門家の判断(レ ファレンスケースの生物 圏データの設定)	灌漑水量、河川流量、食 物の生産・消費量など	文献	生物圏データセット(わ が国固有の値と考へ、国 内データを収集、欠落デ ータは海外データを使用)	4-15-1	*地表部水収支	・降水(降雨/降雪)量 ・河川流量 ・積雪量 ・地表面蒸発散量 ・湿点/湧点分布 ・湧水量 ・その他気象データ ・土壌涵養量 ・植物蒸発性	・文献調査 海底下立地の場合、湧 水量を除き不要	・降水量測定 ・河川流量測定 ・積雪量測定 ・地表面蒸発測定 ・湿点/湧点分布調査 ・湧水量測定 ・気象観測(継続調査・ 観測)	・降水量測定(継続) ・河川流量測定 ・積雪量測定 ・地表面蒸発測定 ・湧水量測定 ・気象観測(継続調査・ 観測)	・降水量測定(継続) ・河川流量測定 ・積雪量測定 ・地表面蒸発測定 ・湧水量測定 ・気象観測(継続調査・ 観測)	・降水量測定(継続) ・河川流量測定 ・積雪量測定 ・地表面蒸発測定 ・湧水量測定 ・気象観測(継続調査・ 観測)
4-14 線量への換算方法 検討	4-14-1 専門家の判断(線 量への換算方法の設定)	定常到達時間	解析結果	定常到達時間が天然バ リア移行時間に比べて短い ため、コンパートメント モデルでの解析を省略 し、線量換算係数として 扱う。	4-18-1							
4-15 線量換算係数の算 出	4-15-1 線量換算係数の算 出	コンパートメントモデル 及びデータ	4-12-4 4-13-1	線量換算係数	4-18-1							
4-16 人工バリアからの 核種移行率の計算	4-16-1 人工バリアからの 核種移行率の計算	人工バリア中核種移行モ デル及びデータ	4-6, 4-7	移行率が大きな核種	4-19-1							
4-17 天然バリアの核種 移行率の計算	4-17-1 天然バリアの核種 移行率の計算	天然バリア中核種移行モ デル及びデータ	4-8-1~2、4-9-1~10、 4-10-1、4-11-3	母岩・断層の相対的バ リア性能移行率が大きな核 種	4-19-1							
4-18 線量への換算	4-18-1 線量への換算	生物圏モデル及びデータ	4-15-1	支配核種の線量及び出現 時期	4-19-1							
4-19 バリア性能の考察	4-19-1 専門家の判断(バ リア性能の考察)	解析結果	4-16-1,4-17-1,4-18-1	各バリアの性能比較、バ リア内での核種崩壊、各 バリアの移行遅延効果	5-37-1							

表 2.2.2-9 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (9)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
5 バリア性能の応答の解析 (シナリオ・モデル・データの不確実性、処分システムの多様性を基に、モデル、データの変更を行い、感度解析を実施(システムの構成要素及びシステムについて))	5-1 生物圏の多様性	5-1-1 GBI・地形パターンの検討	わが国の地形、水資源利用データ		GBIで河川堆積層、深井戸、沿岸海域水、沿岸海域堆積層を、地形パターンで丘陵、山地を追加	5-1-2						
		5-1-2 線量換算係数の計算	コンパートメントモデル及び5-1-1に基づくデータ	5-1-1	線量換算係数データセット	5-1-3						
		5-1-3 データ・モデルの不確実性検討(生物圏の多様性)	コンパートメントモデル及びデータのばらつき	5-1-2	各データばらつきの線量換算係数への感度	5-37-1						
	5-2 人工バリアのデータの 不確実性検討・ガラス 溶解速度の不確実性	5-2-1 データの設定(溶解速度)	試験結果	文献	1E-2g/m <sup>2</sup> /dを10倍、1/10倍した溶解速度の設定	5-2-2						
		5-2-2 人工バリアのデータの 不確実性検討(ガラス 溶解速度の不確実性)	溶解速度の変動データ	5-2-1	調和溶解核種の核種移行率の掘削影響領域流量依存性	5-37-1						
	5-3 人工バリアのデータの 不確実性検討・オーバ ーバック破損時期の不確 実性	5-3-1 データの設定(破損時期)	炭素鋼の腐食速度データ	既往の知見	1万年の破損時期	5-3-2						
		5-3-2 データの設定(破損時期1万年に対応した核種インベントリ)	崩壊計算結果	5-3-1	1万年後の核種インベントリ	5-3-3						
		5-3-3 人工バリアのデータの 不確実性検討(オー ーバック破損時期の不 確実性)	破損時期のデータ、核種インベントリデータ	5-3-2	溶解度制限核種には影響なし。調和溶解核種では数%減少。	5-37-1						
	5-4 人工バリアのデータの 不確実性検討・掘削影 響領域通過流量の不確実 性	5-4-1 データの設定(掘削影響領域通過流量)	発破工法での透水量データ	スウェーデンHLR、カナダURL、釜石での発破工法でのデータ	10倍、1/10倍の通過流量設定	5-4-2	*地下水流向・流速	・地下水流向・流速	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ	3-21-3と同じ
		5-4-2 人工バリアのデータの 不確実性検討(掘削 影響領域通過流量の不 確実性)	掘削影響領域通過流量のデータ	5-4-1	解析したケースでは流量にほぼ比例。設定以上の流量ではガラスの溶解速度で制限。	5-37-1						
	5-5 人工バリアのモデル 変更検討・腐食生成物層 での核種移行遅延の影響	5-5-1 データの設定(腐食生成物層での核種移行遅延)	オーバーバック仕様、緩衝材の特性データ、腐食生成物の分配係数データ	既往の知見	腐食生成物層物質移行データ(腐食生成物層の厚さ、間隙率、真密度、核種溶解度、実効拡散係数、分配係数)	5-5-2						
		5-5-2 人工バリアのモデル 変更検討(腐食生成物 層をでの核種移行遅延の 影響)	腐食生成物層での核種移行遅延データ	5-5-1	レファレンスケースとの大きな違いは無い。	5-37-1						
	5-6 人工バリアのモデル 変更検討・掘削影響領域 での核種移行遅延の影響	5-6-1 モデルの設定(掘削影響領域)	多孔質媒体モデル	既往の知見	多孔質媒体、瞬時線形吸着を仮定したモデル	5-6-3						
		5-6-2 データの設定(掘削影響領域)	分配係数、間隙率、真密度、体積データ	4-9-10,4-9-7,4-6-8	分配係数:花崗岩の値、間隙率:0.20、真密度:2.7Mgm <sup>-3</sup> 、体積:10m <sup>3</sup>	5-6-3	*物理的性質	・分配係数、間隙率、真密度	・文献調査	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)
							*鉱物化 *イオン交換 *沈殿 *吸着	・バルク岩石分配係数 ・鉱物分配係数 ・亀裂表面分配係数 ・マトリクス分配係数 ・亀裂充填物鉱物厚 ・亀裂充填物分配係数 ・同位体濃度	4-9-10と同じ	4-9-10と同じ	4-9-10と同じ	4-9-10と同じ
	5-6-3 人工バリアのモデル 変更検討(掘削影響領域 を多孔質媒体モデル化)	掘削影響領域モデル、データ	5-6-1,5-6-2	レファレンスとの大きな違いは無し。	5-37-1							

表 2.2.2-10 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (10)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
5 バリア性能の応答の解析 (シナリオ・モデル・データの不確実性、処分システムの多様性を基に、モデル、データの変更を行い、感度解析を実施(システムの構成要素及びシステムについて))	5-7 人工バリアのモデル変更検討・腐食膨張による緩衝材の押し出し	5-7-1 データの設定(腐食膨張による緩衝材の押し出し)	緩衝材厚さ・密度、実効拡散係数、分配係数データ	既往の知見	緩衝材の厚さ減少 0.2m、密度: 1.1g/cm <sup>3</sup> 、実効拡散係数は密度依存性を考慮し設定、分配係数はレファレンスと同じ。	5-7-2						
		5-7-2 人工バリアのモデル変更検討(腐食膨張による緩衝材の押し出しモデル)	腐食膨張による緩衝材の押し出しデータ	5-7-1	レファレンスとほとんど違い無し。	5-37-1						
	5-8 天然バリアのデータ不確実性検討・天然バリアの透水量係数の不確実性	5-8-1 データの設定(天然バリアの透水量係数の不確実性)	透水量係数データ等	室内・原位置試験データ	透水量係数分布(レファレンスケースの上下に1桁づつ変化)、開口幅、縦方向分散長、マトリクス拡散寄与面積率・深さ、分配係数、有効間隙率、乾燥密度、実効拡散係数、断層内断水勾配	5-8-2		・透水系数	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ
			・透水層の分布(厚さ)	4-8-2と同じ	4-8-2と同じ	4-8-2と同じ	4-8-2と同じ					
		5-8-2 天然バリアのデータ不確実性検討(天然バリア透水量係数の不確実性)	天然バリアの透水量係数の不確実性データ	5-8-1	上下1桁以上の影響あり。	5-37-1						
	5-9 天然バリアのデータ不確実性検討・開口幅分布の不確実性	5-9-1 データの設定(開口幅分布の不確実性)	開口幅分布データ	エスボ、釜石での測定データ	経験式 $2b=c \cdot T$ の $c$ のを 0.1 ~ 10 に設定したデータ	5-9-2	*空隙の性状	・チャンネル幅 ・亀裂開口幅 ・亀裂周辺変質域幅 ・透水域幅 ・亀裂充填物間隙率	4-9-3と同じ	4-9-3と同じ	4-9-3と同じ	4-9-3と同じ
		5-9-2 天然バリアのデータ不確実性検討(開口幅分布の不確実性)	開口幅分布の不確実性データ	5-9-1	影響なし(理論的に確認済)	5-37-1						
	5-10 天然バリアのデータ不確実性検討・分散長の不確実性	5-10-1 データの設定(分散長の不確実性)	分散長と移行距離の関係	文献	分散長が移行距離の0.01倍、1倍を設定	5-10-2	*空隙の性状	・分散距離 ・分散係数 ・亀裂の透水系数 ・亀裂媒体の亀裂開口幅 ・収斂率 ・屈曲率	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ	4-9-4と同じ
		5-10-2 天然バリアのデータ不確実性検討(分散長の不確実性)	分散長の不確実性データ	5-10-1	桁の変化に対して数倍変化	5-37-1						
	5-11 天然バリアのデータ不確実性検討・マトリクス拡散寄与面積の不確実性	5-11-1 データの設定(マトリクス拡散寄与面積の不確実性)	マトリクス拡散寄与面積の観察結果、報告例	実測値、文献	マトリクス拡散寄与面積に10% ~ 100%を設定	5-11-2	*デッドエンドな空隙への拡散 *分子ふるい *イオンによる排除 *物理吸着	・(岩石の)間隙率 ・(亀裂充填物の)間隙率 ・マトリクス空隙中拡散係数 ・マトリクス距離(亀裂に垂直な方向の距離)	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ
		5-11-2 天然バリアのデータ不確実性検討(マトリクス拡散寄与面積の不確実性)	マトリクス拡散寄与面積率の不確実性データ	5-11-1	10% ~ 100%の変化に対しほぼ1桁変化	5-37-1						
	5-12 天然バリアのデータ不確実性検討・マトリクス拡散深さの不確実性	5-12-1 データの設定(マトリクス拡散深さの不確実性)	亀裂間隔データ、変質幅データ	文献、釜石実測値データ	0.03 ~ 1m(拡散領域の幅を未変質部全体と変質部で設定)	5-12-2	*デッドエンドな空隙への拡散 *分子ふるい *イオンによる排除 *物理吸着	・(岩石の)間隙率 ・(亀裂充填物の)間隙率 ・マトリクス空隙中拡散係数 ・マトリクス距離(亀裂に垂直な方向の距離)	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ	4-9-5と同じ
		5-12-2 天然バリアのデータ不確実性検討(マトリクス拡散深さの不確実性)	マトリクス拡散深さの不確実性データ	5-12-1	0.03 ~ 1mの変化に対し、母岩で約1桁、断層で2桁の変化	5-37-1						

表 2.2.2-11 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (11)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
5 バリア性能の応答の解 析 (シナリオ・モデル・デ ータの不確実性、処分シ ステムの多様性を基に、 モデル、データの変更を 行い、感度解析を実施(シ ステムの構成要素及びシ ステムについて))	5-13 天然バリアのデー タ不確実性検討・有効間 隙率/乾燥密度/実効拡 散係数の不確実性	5-13-1 データの設定(有 効間隙率)	未変質部データ、変質部 データ	文献、釜石実測値	1%~3% (変質の有無に よる設定)	5-13-2,5-13-4	*空隙の性状	・有効間隙率	・文献調査	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	
		5-13-2 データの設定(乾 燥密度)	有効間隙率と乾燥密度の 関係式	5-13-1	2.67g/cm <sup>3</sup> ~2.61g/cm <sup>3</sup>	5-13-4	*物理的性質	・有効間隙率、乾燥密度	・文献調査	・物理試験(岩石試料) ・密度検層 ・中性子検層	・物理試験(岩石試料) ・密度検層 ・中性子検層	・物理試験(岩石試料) ・密度検層 ・中性子検層	
		5-13-3 データの設定(実 効拡散係数)	有効間隙率と実効拡散係 数の相関データ	試験		6E-14m <sup>2</sup> /s ~ 1E-10m <sup>2</sup> /s	5-13-4		・有効間隙率	・文献調査	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)	・物理試験(岩石試料)
		5-13-4天然バリアのデー タ不確実性検討(有効間 隙率/乾燥密度/実効拡 散係数の不確実性)	有効間隙率/乾燥密度/ 実効拡散係数の不確実性 データ	5-13-1,5-13-2,5-13-3		実効拡散係数が4桁変わ っても数倍の変化	5-37-1						
	5-14 天然バリアのデー タ不確実性検討・分配係 数の不確実性	5-14-1 データの設定(分 配係数の不確実性)	鉱物組成、有機物の影響 に関するデータ	文献、試験		核種毎の分配係数の最大 値・最小値	5-14-2		・岩盤の化学特性 ・分配係数	・文献調査	・岩石試料の分析 ・分配係数測定	・岩石試料の分析 ・分配係数測定	・坑内・岩石試料の測定 ・分配係数測定
		5-14-2天然バリアのデー タ不確実性検討(分配係 数の不確実性)	分配係数の不確実デー タ	5-14-1		母岩で2桁以上、断層で 3桁以上の変化	5-37-1		・岩盤の化学特性 ・分配係数	5-14-1と同じ	5-14-1と同じ	5-14-1と同じ	5-14-1と同じ
	5-15 天然バリアのデー タ不確実性検討・断層内 動水勾配の不確実性	5-15-1 データの設定(断 層内動水勾配の不確実 性)	動水勾配	既往の知見		レファレンスケースの上 下1桁の幅を設定 (0.001,0.1)	5-15-2		・動水勾配	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ
		5-15-2天然バリアのデー タ不確実性検討(断層内 動水勾配の不確実性)	断層内動水勾配の不確実 性データ	5-15-1		0.1:断層の遅延効果消 失、0.01:最大線量が1 桁低下	5-37-1						
	5-16 天然バリアのモデ ル変更の検討・コロイド の影響	5-16-1 データの設定(コ ロイドの影響)	流速コロイド濃度分配係 数	解析、実験、東濃でのデ ータ、文献、ベントナイト コロイド試験データ		流速:HDC 影響評価か ら地下水と同じ値、コロ イド濃度:実測値上限の 10倍、分配係数:全核種 一律に1000m <sup>3</sup> /kg	5-16-2		・地下水流向・流速 ・コロイドの分配係数	3-21-2と同じ ・文献調査	3-21-2と同じ ・コロイドの分配係数測 定	3-21-2と同じ ・コロイドの分配係数測 定	3-21-2と同じ ・コロイドの分配係数測 定
		5-16-2天然バリアのモデ ル変更の検討(Hwang ら のモデルをレファレンス ケースのモデルに取り込 み)	コロイドの影響データ、 掘削影響領域の移行率補 正值	5-16-1		レファレンスケースの数 倍の線量増加	5-37-1						
	5-17 天然バリアのモデ ル変更の検討・処分場レ イアウトの考慮	5-17-1天然バリアのモデ ル変更の検討(各処分坑 道からの移行距離を考 慮)	坑道毎の移行距離	処分場レイアウト		レファレンスの数分の一 に低下	5-37-1						
	5-18 天然バリアのモデ ル変更の検討・処分場内 での濃度干渉効果の考慮	5-18-1モデルの設定(濃 度干渉モデル)	レファレンスと同様のデー タ	既往の知見		各廃棄体からの核種移行 率	5-18-2						
		5-18-2天然バリアのモデ ル変更の検討(濃度干渉 モデル)	濃度干渉モデル関連デー タ	5-18-1		調和溶解核種(Cs-135) で1桁、溶解度制限核種 で2桁の低減	5-37-1						
	5-19 天然バリアのモデ ル変更の検討・断層を多 孔質媒体としてモデル化	5-19-1 データの設定(断 層を多孔質媒体モデル 化)	透水係数、有効間隙率、 乾燥密度データ	文献、釜石での実測値、 母岩真密度から有効間隙 率を用いて算出		透水係数:1E-5m/s、有 効間隙率:10%を、乾燥 密度:2.43g/cm <sup>3</sup>	5-19-2		・透水係数 ・有効間隙率、乾燥密度	3-2-1と同じ ・文献調査	3-2-1と同じ ・物理試験(岩石試料) ・密度検層	3-2-1と同じ ・物理試験(岩石試料) ・密度検層	3-2-1と同じ ・物理試験(岩石試料)
		5-19-2天然バリアのモデ ル変更の検討(断層モデ ルの多孔質媒体モデル)	断層の多孔質媒体モデル のデータ	5-19-1		支配核種であるCs-135 に対する遅延効果はレフ アレンスと同様ほとんど 無し。	5-37-1						
	5-20 人工バリアの代替 設計の検討・オーバーパ ック材をチタンに変更	5-20-1 データの設定(オ ーバーバック破損時期)	腐食速度データ	文献		製作製の点から数mm程 度の厚さになることを考 慮し、1万年、10万年、 100万年を設定	5-20-2						
5-20-2人工バリアの代替 設計の検討(オーバーパ ック材をチタンに変更)		オーバーバック破損時期 データ	5-20-1		1万年、10万年では線量 変化なし。100万年で Cs-135の減衰により 25%低下。	5-37-1							
5-21 人工バリアの代替 設計の検討・緩衝材厚さ の変更	5-21-1人工バリアの代替 設計の検討(緩衝材厚さ の変更)	緩衝材厚さ:0.4m(0.7m から変更)掘削影響領域 など:レファレンスと同 データ	既往の知見		核種移行率が増加	5-37-1							
5-22 人工バリアの地質 環境の変更の検討・人工 バリアからの核種移行率 に対する地下水流動の多 様性(動水勾配の変化)	5-22-1人工バリアの地質 環境の変更の検討(動水 勾配の変化)	掘削影響領域の通過水 量:0.0001m <sup>3</sup> 、0.01m <sup>3</sup> (動水勾配の1%からの 上下への1桁変化に対 応)	判断		解析したケースでは流量 にほぼ比例。設定以上の 流量ではガラスの溶解速 度で制限。	5-37-1		・動水勾配	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	

表 2.2.2-12 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (12)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法										
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)							
5 バリア性能の応答の解 析 (シナリオ・モデル・デ ータの不確実性、処分シ ステムの多様性を基に、 モデル、データの変更を 行い、感度解析を実施(シ ステムの構成要素及びシ ステムについて))	5-23 人工バリアの地質 環境の変更の検討・支保 工との反応による間隙水 の変化(堆積岩の場合)	5-23-1データの設定(間 隙水組成)	低アルカリセメントの初 期水和鉱物、地下水との 反応で生成する鉱物	文献	低アルカリセメントと反 応後の間隙水組成	5-23-2													
		5-23-2データの設定(溶 解度)	間隙水組成	5-23-1	核種の溶解度	5-23-3													
		5-23-3人工バリアの地質 環境の変更の検討(支保 工と間隙水の反応)	間隙水組成・核種の溶解 度データ	5-23-2	溶解度変化に比例した線 量	5-37-1													
	5-24 人工バリアの地質 環境の変更の検討・支保 工劣化などによる掘削影 響領域の変化	5-24-1人工バリアの地質 環境の変更の検討(支保 工劣化)	掘削影響領域の通過水 量:0.0001m3、0.01m3	既往の知見	解析したケースでは流量 にほぼ比例。設定以上の 流量ではガラスの溶解速 度で制限。	5-37-1													
	5-25 人工バリアの地質 環境の変更の検討・海水 系地下水の想定	5-25-1データの設定(海 水系地下水)	核種溶解度、拡散係数、 分配係数	地下水組成、試験データ、 文献	海洋系高pH地下水組 成、核種溶解度、拡散係 数(溶解度解析モデルに よる計算値イオン強度を 考慮し、HTOの値を設 定。見かけの拡散係数ま たはバッチ吸着試験結果 からの設定値)、分配係数	5-25-2		・地下水の化学的特性 (溶解度、拡散係数、 分配係数) ・岩石の物理的特性	・文献調査	・孔内水試料の測定 ・拡散係数測定 ・分配係数測定	・孔内試料水の測定 ・拡散係数測定 ・分配係数測定	・坑内試料水の測定 ・拡散係数測定 ・分配係数測定	・坑内試料水の測定 ・拡散係数測定 ・分配係数測定						
														5-25-2人工バリアの地質 環境の変更の検討(海水 系地下水)	海水系地下水データ	5-25-1	Cs-135 で数倍の増加。 Se-79 で2倍の増加。	5-37-1	・地下水の化学的特性 (溶解度、拡散係数、 分配係数) ・岩石の物理的特性
	5-26 人工バリアの地質 環境の変更の検討・海水 系地下水でのオーバーバ ック破損時期の影響	5-26-1データの設定(海 水系地下水のオーバーバ ック破損時期)	破損時期、溶解度、拡散 係数、分配係数データ	既往の知見	5-25-1	破損時期:1万年、10万 年、100万年、溶解度、 拡散係数、分配係数:5- 25-1と同じ値	5-26-2		・地下水の化学的特性 (溶解度、拡散係数、 分配係数) ・岩石の物理的特性	5-25-1と同じ	5-25-1と同じ	5-25-1と同じ	5-25-1と同じ	5-25-1と同じ					
															5-26-2人工バリアの地質 環境の変更の検討(海水 系地下水のオーバーバ ック破損時期)	海水系地下水のオーバー バック破損時期データ	5-26-1	Np-237 は溶解度変化に より線量が増加。Se-79、 Cs-135 は破損時期(減 衰)が影響。	5-37-1
	5-27 天然バリアの地質 環境の変更の検討・動水 勾配の多様性	5-27-1データの設定(動 水勾配の多様性)	地下水面の勾配データ	文献	5-27-1	動水勾配:レファレンス の0.01に対し上下1桁の 変動幅を設定	5-27-2		・動水勾配	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ	4-9-1と同じ						
														5-27-2天然バリアの地質 環境の変更の検討(動水 勾配の多様性)	動水勾配の多様性データ	5-27-1	動水勾配の変動以上の線 量変化	5-37-1	・動水勾配
	5-28 天然バリアの地質 環境の変更の検討・岩種 の多様性	5-28-1データの設定(岩 種の多様性)	乾燥密度、実効拡散係数 分配係数データ	釜石・東瀨での分布デ ータ、文献、実測値	5-28-1	間隙率(結晶質岩・先新 第三期砂質岩・堆積岩: 2%、新第三期砂質岩・泥 質岩 20%)、乾燥密度、 実効拡散係数、断層内の 移行距離、分散長、地下 水	5-28-2		・岩石の物理的特性	5-26-1と同じ	5-26-1と同じ	5-26-1と同じ	5-26-1と同じ						
														5-28-2天然バリアの地質 環境の変更の検討(岩種 の多様性)	岩種の多様性データ	5-28-1	各データの影響はある が、岩種の線量への影響 は小さい。	5-37-1	
	5-29 天然バリアの地質 環境の変更の検討・地下 水の多様性	5-29-1データの設定(地 下水の多様性)	海水系地下水データ	5-25-2	5-29-1	海水系地下水データセ ット(人工バリアからの核 種移行率、分配係数)、線 量換算(GBI:海、決定 グループ:海洋漁業従事 者)	5-29-2												
														5-29-2天然バリアの地質 環境の変更の検討(地下 水の多様性)	地下水の多様性データ	5-29-1	Cs-135 の分配係数が1 桁小さいため、線量が増 加。	5-37-1	
	5-30 変動シナリオの検 討・隆起・侵食の影響	5-30-1データの設定(隆 起・侵食)	深度に依存する Eh・透 水係数データ	既往の知見	5-30-2	深度100mで地下水が酸 化性に変化、透水性1桁 増加	5-30-2		・透水係数の深度分布 ・地下水の化学特性の深 度分布	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ	3-2-1と同じ					
*隆起															・隆起量	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ
*侵食															・侵食量	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ
5-30-2変動シナリオの検 討(隆起・侵食)	隆起・侵食データ	5-30-1	Np-237 が溶解すること により、数10 Svyの線 量となる。	5-37-1	・隆起量 ・侵食量	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ	3-28-1と同じ								

表 2.2.2-13 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (13)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法				
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)	
5 バリア性能の応答の解 析 (シナリオ・モデル・デ ータの不確実性、処分シ ステムの多様性を基に、 モデル、データの変更を 行い、感度解析を実施(シ ステムの構成要素及びシ ステムについて))	5-31 変動シナリオの検 討・気候・海水準変動の 影響	5-31-1データの設定(気 候・海水準)	人工バリアからの核種移 行率、分配係数データ	5-25-2	海水系・降水系地下水デ ータセット(塩淡境界移 動により地下水環境が 1・9万年で切替わると設 定)	5-31-2		・気候・海水準変動	3-29-1と同じ	3-29-1と同じ	3-29-1と同じ	3-29-1と同じ	
		5-31-2変動シナリオの検 討(気候・海水準)	気候・海水準データ	5-31-1	ピークは海水系での線量 とほぼ等しい。	5-37-1							
	5-32 変動シナリオの検 討・オーバーバックの不 完全密封の影響	5-32-1データの設定(オ ーバーバックの不完全密 封)	オーバーバック破損時期	既往の知見		破損時期：100年、 ORIGEN計算結果(100 年後の核種インベント リ)	5-32-2						
		5-32-2変動シナリオの検 討(オーバーバックの不 完全密封)	オーバーバックの不完全 密封データ			Sr-90,Cs-137の人工バ リアかたの移行率は増加 するが、天然バリアから の移行率はレファレンス と同じ。	5-37-1						
	5-33 変動シナリオの検 討・シーリングミスの影 響	5-33-1データの設定(シ ーリングミス)	緩衝材外側での地下水流 速	既往の知見		緩衝材外側での地下水流 速：レファレンスケー スの10倍	5-33-2						
		5-33-2変動シナリオの検 討(シーリングミス)	シーリングミスデータ	5-33-1		処分坑道1本当たり、 0.14 Sv/yの増加。	5-37-1						
	5-34 変動シナリオの検 討・深井戸掘削の影響	5-34-1変動シナリオの検 討(深井戸/平野モデル の線量換算係数)	レファレンスの断層から の核種移行率	既往の知見		線量はレファレンスケー スの2桁増加	5-37-1						
	5-35 変動シナリオの検 討・ボーリングの掘削影 響領域を通じた酸性性地 下水の浸入	5-35-1データの設定(酸 化性地下水の浸入)	影響廃棄体本数、核種溶 解度データ	既往の知見		4体の廃棄体領域に地下 水侵入と設定、酸性性地 下水データ	5-35-2						
		5-35-2変動シナリオの検 討(酸性性地下水の浸入)	酸性性地下水の浸入デー タ	5-35-1		影響無し	5-37-1						
	5-36 変動シナリオの検 討・ボーリングの掘削影 響領域を通じた核種移行	5-36-1データの設定(掘 削影響領域を通じた核種 移行)	影響廃棄体本数、緩衝材 外側の地下水流速	既往の知見		4体の廃棄体領域に地下 水侵入と設定、掘削影響 領域通過流量：10倍	5-36-2		地下水流向・流速	5-16-1と同じ	5-16-1と同じ	5-16-1と同じ	5-16-1と同じ
		5-36-2変動シナリオの検 討(掘削影響領域を通じ た核種移行)	掘削影響領域を通じた核 種移行データ	5-36-2		影響無し	5-37-1						
	5-37 感度解析のまとめ	5-37-1 専門家の判断(感 度解析のまとめ)	感度解析結果	5-1-1～5-36-2		システム性能の総合的解 析で考慮する不確実性と して、透水量係数、ガラ ス溶解速度、マトリクス 拡散の分配係数、コロイ ド、隆起・侵食を抽出	6-1-1						



表 2.2.2-14 システム因子に関連する地質環境データと調査方法 (14)

地下水シナリオ評価に 関わる作業		使用された システム因子	IN		OUT		具体的な地質データ		調査方法			
大分類	小分類		情報	From	情報	To	構成要素	データ	処分候補地選定調査	処分予定地調査	サイト特性調査 (地上調査)	サイト特性調査 (地下特性調査)
6 システム性能の解析 (感度解析結果を基に安全評価で扱う不確実性・多様性を設定し、線量解析)	6-1 検討ケースの設定	6-1-1 専門家の判断(検討ケースの設定)	感度解析結果	5-37-1	地質環境の多様性 32 ケース、データ・モデルの不確実性 4 ケース、天然バリアを考慮しないケース 1 ケースを設定	6-2-2	該当無し					
		6-1-2 専門家の判断(接近シナリオの設定)	シナリオ検討結果	3-31-1	線量解析結果	6-2-2	該当無し					
	6-2 線量解析	6-2-1 専門家の判断(各ケースのデータ及びモデル)	感度解析でのデータセット、モデル	5-1-1- 5-36-2	岩種の違いは 1 桁以内、地下水流速は上へ 2 桁、下へ 3 桁の変動、深井戸、シーリングミス、データ不確実性、天然バリア無しの影響は地下水流速の影響範囲内。緩衝材厚さ、コロイドは影響が小さい。変動を考慮しても諸外国の基準を満足。	7-1-1,7-2-1	該当無し					
		6-2-2 接近シナリオ評価モデル	評価シナリオパラメータ	6-1-2 文献、実測	長期安定性への要件	サイト選定	該当無し					
		6-2-3 物質移行特性変動シナリオ評価モデル(レファレンスケースのモデル)	核種移行経路、パラメータ	4-2-4 文献、実測	長期安定性への要件	サイト選定	該当無し					
7 安全評価の信頼性の検討	7-1 時間枠と安全指標	7-1-1 専門家の判断(時間枠と安全指標)	処分システム性能の総合的解析結果	6-2-2	線量、リスクとそれを保管する指標による総合評価の必要性。サイトが特定されれば実態に即した評価が可能。	7-4-1	該当無し					
	7-2 諸外国の安全評価との比較	7-2-1 専門家の判断(諸外国の安全評価との比較)	処分システム性能の総合的解析結果	6-2-2	処分概念、評価手法が異なってもガイドラインを下回っており、将来の最適化への柔軟性が示されている。	7-4-1	該当無し					
	7-3 ナチュラルアナログによる傍証	7-3-1 専門家の判断(ナチュラルアナログによる傍証)	天然ガラス、埋設鉄管、ペントナイト、岩中マトリクス拡散の研究結果	観察、文献	安全評価の間接的裏付けとなりうる。	7-4-1	該当無し					
	7-4 まとめ	7-4-1 専門家の判断(まとめ)	上記全ての結果		適切なサイト選定、特性調査、設計により処分の実現が可能。	7-4-1	該当無し					

### 2.2.3 設計との情報交換の検討

本節では、地質環境評価と処分技術解析システム、及び、安全評価と処分技術解析システムの間で想定される情報交換の内容を検討・整理した。さらに地質環境評価、処分技術、及び、安全評価の3分野のシステムの連携を実現した場合の理想的な形態を検討した。

#### (1) 目的

前節までの検討では、特定の地質環境条件が与えられた場合について、地質環境条件から性能評価への情報処理の流れを主に検討したが、将来的には地質環境条件を得るための調査に対して性能評価や設計の結果をフィードバックすることにより、性能評価や設計の信頼性を向上させたり、合理化や最適化を進めるという情報処理の重要度が増すと考えられる。

そのため、地層処分の理想的な形態を検討する。検討に当たって、誤差巾を持つ地質環境データの取り扱いが不確実性解析により可能となり、3つの研究分野の解析の間に密接なリンクが実現する事を前提とする。

性能評価、処分技術の各々の解析が地質環境条件（データ）を取得する、または、地質環境条件を得るために解析側から地質環境調査に対してフィードバックを行う場合や、経済性を含めた最適化を行う場合、さらに、性能評価と地質環境評価間を連携した場合の解析や情報の流れについて検討する。

#### (2) 検討の前提

不確実性解析及び感度解析の計算手法にはモンテカルロ法、統計確率的手法、摂動法など多数あるが、放射性廃棄物の分野でそれらの適用事例は少ないと考えられる。モンテカルロ法の適用例はその中でも適用例が最も多いと考えられるが、この手法は計算負荷が大きい事が特徴であり、効率の良いサンプリング手法を検討することが現実的な計算を実行するために必要である。

よって本節では、不確実性解析及び感度解析機能が既に現実的な計算時間で実現されている、あるいは高い計算能力を持つ計算機を低コストで自由に利用できる事を前提として、不確実性解析及び感度解析の検討を行った。理想的な地層処分システムに、不確実性解析及び感度解析機能が現実的な計算時間で実現されているシステムという意味を持たせる事を検討の前提とした。

### (3) 設計との情報交換の検討

3 つの研究分野の間にリンクが実現した場合の、地質環境評価と処分技術システム、及び、安全評価と処分技術システムの間で想定されるデータの交換について検討する。本項の検討内容は第 2 次取りまとめに基づいたものである。

第 2 次取りまとめによると、地層処分場の設計の基本的な流れは図 2.2.3-1 となる。基本的な流れが示すように、処分場設計は、人工バリアと施設の設計から構成される。人工バリアの設計は、オーバーパック及び緩衝材の設計から構成される。施設設計は、坑道間隔・廃棄体間隔、レイアウト設計、及び、人工バリアの長期安定性評価から構成される。各設計項目について設計要件を検討し、それを満足する設計手法の検討が行われている。

オーバーパック及び緩衝材の主な設計項目と設計の入力データを表 2.2.3-1、表 2.2.3-2 にまとめた。また、処分施設の設計の主な設計項目と設計の入力データを表 2.2.3-3 にまとめた。

以上に基づいて、第 2 次取りまとめに示されている地層処分システムの地質環境評価と処分技術システム間のデータ交換の内容、及び、安全評価と処分技術システム間のデータ交換の内容についてまとめて図 2.2.3-2 に示した。この図から人工バリアと施設の設計に必要なデータが、地質環境、設計の前提条件、及び、人工バリアの設計に必要なデータの 3 種の情報源から処分技術システムに与えられ、人工バリア及び、施設仕様が性能評価システムに渡される様子が示される。

地質環境から処分技術に渡される地質環境データ、及び、処分技術から性能評価に渡されるデータの種類及び代表例を表 2.2.3-4、表 2.2.3-5 に示した。

また、地層処分場の設計の流れを把握するために、第 2 次取りまとめの処分技術の部分について、システム因子と情報処理の流れを整理・検討してグラフにまとめた。( 図 2.2.3-3 ~ 図 2.2.3-14 )

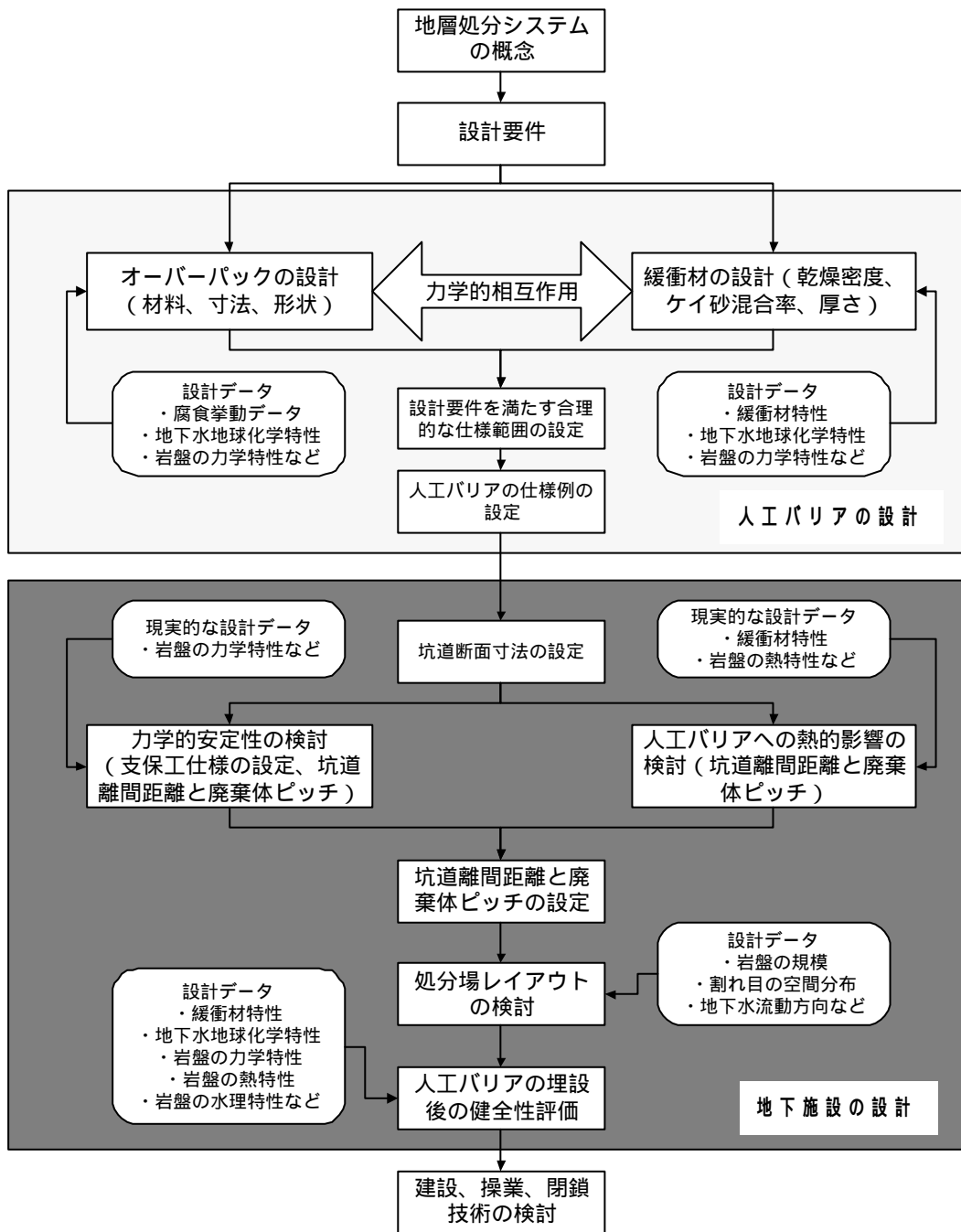


図 2.2.3-1 地層処分場の設計の基本的な流れ

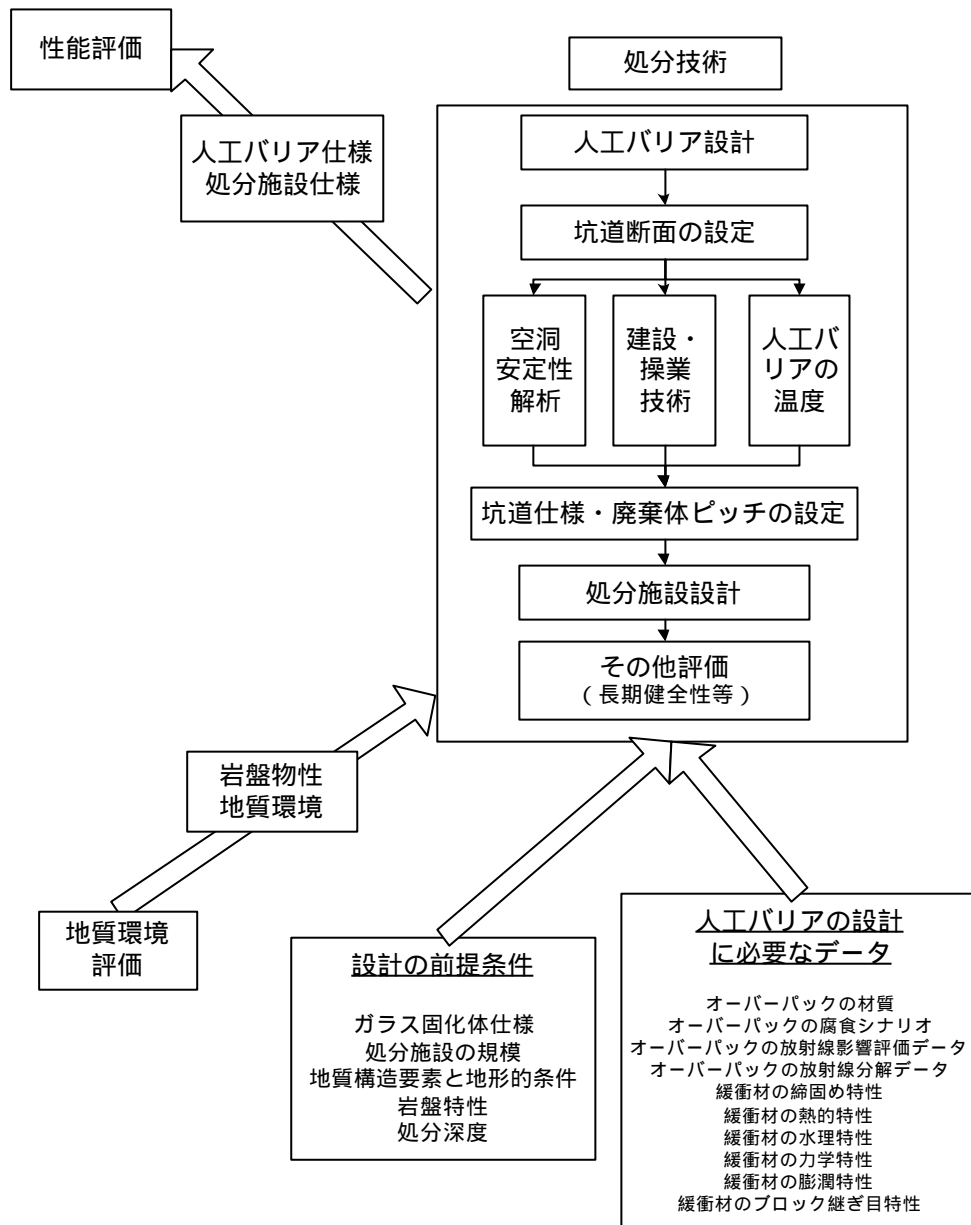


図 2.2.3-2 設計と他分野との情報交換

表 2.2.3-1 オーバーパックの設計項目

設計項目		設計内容	主な入力データ
基本形状		基本形状の評価	ガラス固化体の寸法
厚さ	耐食性	腐食シナリオとシナリオを構成するモデルによる腐食速度の評価	オーバーパックの材質 地下水組成 温度
	耐圧性	緩衝材の圧密反力の評価、耐圧評価	地圧 岩盤のクリープ変形量 オーバーパックの寸法、腐食量 緩衝材の厚さ、圧密特性
	放射線遮蔽性	人工バリアと岩の3次元モデルによる放射線遮蔽評価	人工バリアと岩の形状、材質 緩衝材の飽和度
	放射線の影響	DBTT 評価 緩衝材の表面のカソード電流密度評価	オーバーパックの材質 G 値 緩衝材の材質
	偏圧	変圧による過重評価	偏圧係数

表 2.2.3-2 緩衝材の設計項目

設計項目		設計内容	主な入力データ
材料		ケイ砂混合率、乾燥密度の評価	
厚さ	応力緩衝性	緩衝材の圧密反力の評価（オーバーパックの厚さと緩衝材の厚さの関係の評価）	地圧 岩盤のクリープ変形量 オーバーパックの寸法、腐食量 緩衝材の圧密特性
	自己シール性	自己シール性評価	緩衝材の各種特性
	熱伝導性	熱伝導性評価	緩衝材の各種特性
	コロイドフィルトレーション	コロイドフィルトレーション評価	緩衝材の各種特性
	施工性	施工性評価	緩衝材の各種特性

表 2.2.3-3 施設の設計項目

設計項目		設計内容	主な入力データ
処分坑道仕様・廃棄体ピッチ	人工バリアに必要な寸法	人工バリアに必要な最小寸法を確保する	人工バリア寸法
	建設、操業からの制限	処分孔掘削機械、廃棄体定置機械の大きさ、能力から制限される廃棄体ピッチを確保する	建設、操業技術の要件
	空洞安定性からの制限	隣接する処分坑道または処分孔同士が有意な力学的影響を受けない処分坑道離間距離・廃棄体ピッチを確保する	岩盤物性値（力学特性、間隙率、飽和密度）、坑道寸法、支保工寸法、支保工物性値（力学特性値）、初期地圧、深度
	ニアフィールドの温度からの制限	ガラス固化体、緩衝材、及び岩盤の温度がガラス固化体の発熱に対して制限温度以下になるように、処分坑道離間距離・廃棄体ピッチを確保する	人工バリア熱物性値、岩盤熱物性値、ガラス固化体発熱量、解析モデル（深度、人工バリア寸法）
処分場レイアウト	建設・操業・閉鎖が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全に建設・操業・閉鎖が実施できること</li> <li>・廃棄体を含む物流経路が確保できること</li> <li>・操業に必要な空間が確保できること</li> <li>・空洞の力学的安定性が確保されること</li> <li>・設計上の前提となる条件を満たすこと</li> </ul>	岩盤物性値、地質、地下水流動方向、主応力方向
	人工バリアの設計で前提としている条件を損なわないこと	核種移行遅延性能に有意な影響を与えないように配慮がなされること	岩盤物性値、地質、地下水流動方向、主応力方向

表 2.2.3-4 地質環境評価から処分技術に渡されるデータ

データの分類		データ例
岩盤物性	物理的特性	飽和密度、有効間隙率
	力学的特性	一軸圧縮強度、引張強度、弾性係数、粘着力、内部摩擦角、側圧係数、ポアソン比、動せん断剛性、減衰定数、動ポアソン比、弾性波速度
	熱特性	熱伝導率、比熱、地温勾配
地下水流動	水理特性	透水係数
	流動状況	動水勾配、地下水流速
地質環境	地形	
	地質	岩種、地質構造
	地下の応力場	主応力方向

表 2.2.3-5 処分技術から性能評価に渡されるデータ

データの分類		データ例
オーバーパック	寿命	
	厚さ（形状）	
緩衝材	厚さ（形状）	
	化学特性	収着係数、拡散係数
	力学的特性	圧縮強度、膨潤応力、圧密応力
	水理特性	透水係数
処分施設	坑道形状	断面寸法
	処分場レイアウト	坑道間隔、廃棄体間隔、パネル形状



## 1 人工バリア及び処分施設の基本概念

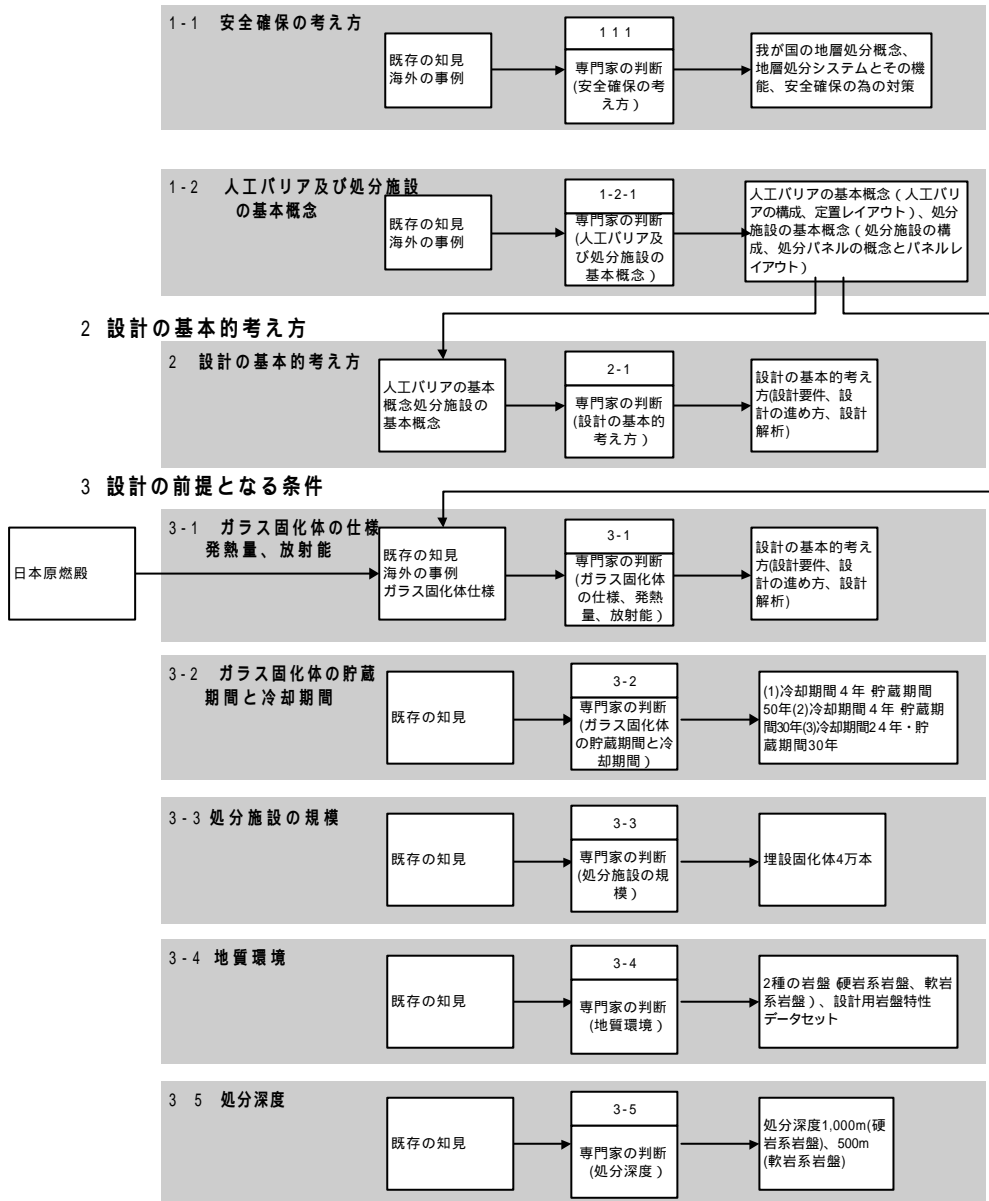


図 2.2.3-3 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ(1)

### 4-1 オーバーバック

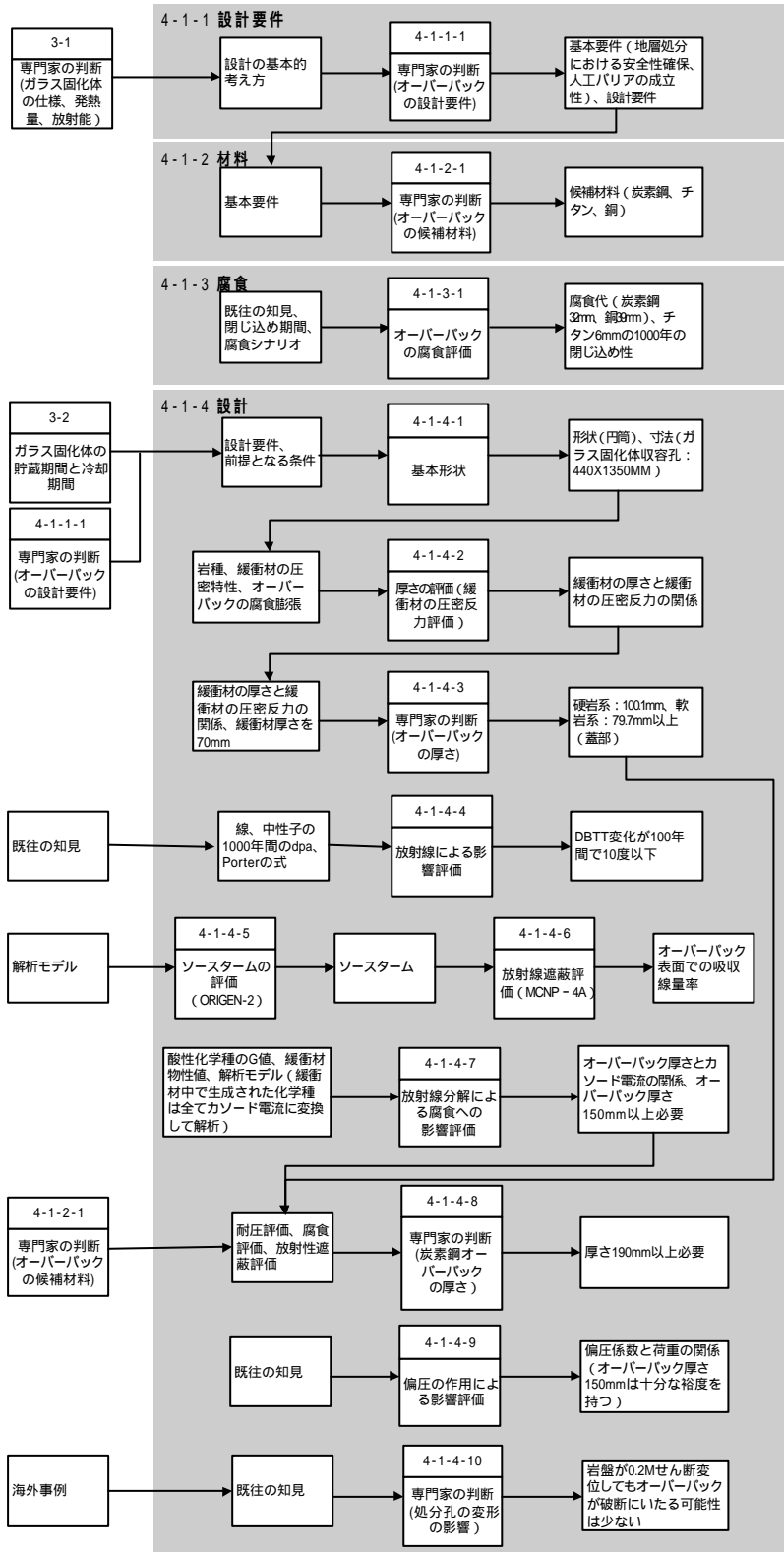
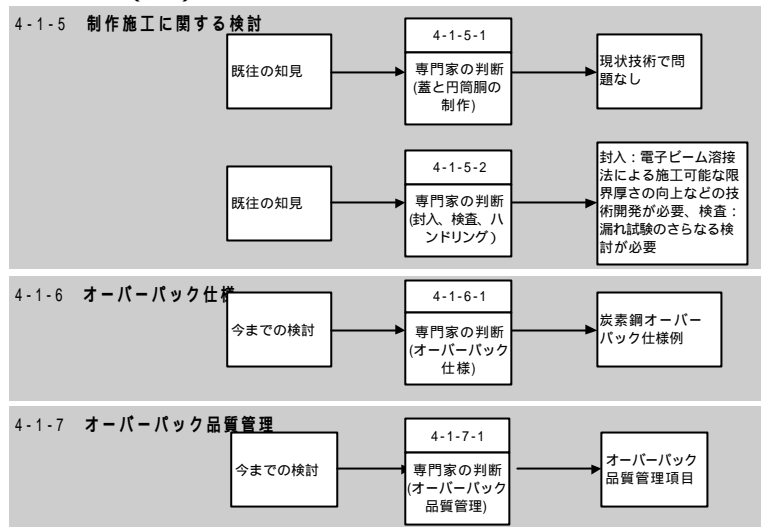


図 2.2.3-4 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (2)

#### 4-1 オーバーバック (続き)



#### 4-2 緩衝材

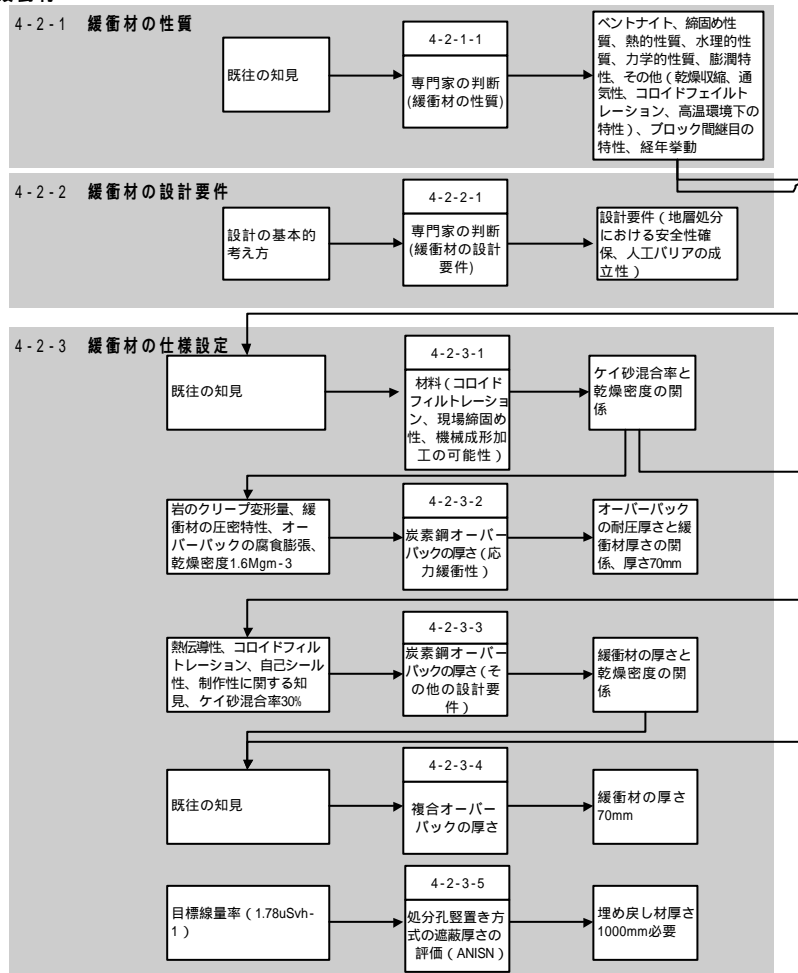
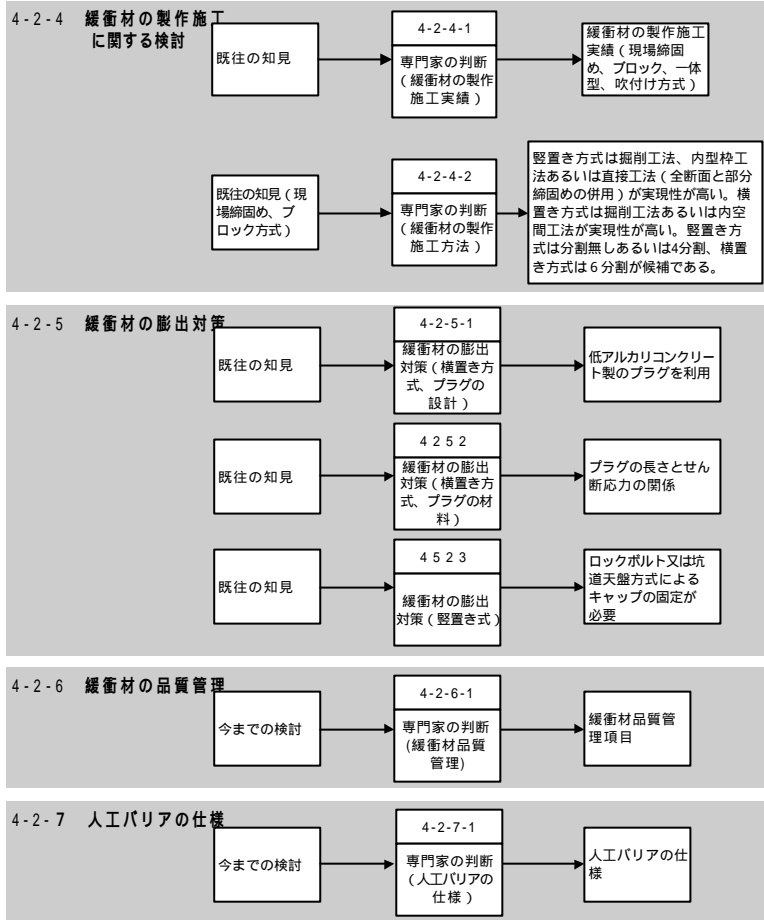


図 2.2.3-5 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ(3)

4-2 緩衝材 (続き)



4-3 処分施設の設計

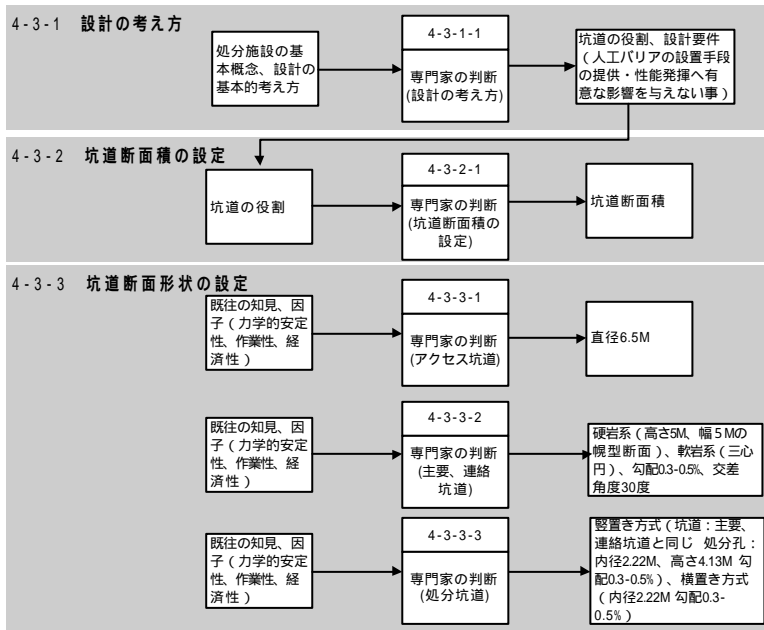


図 2.2.3-6 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (4)

4-3 処分施設の設計 (続き)

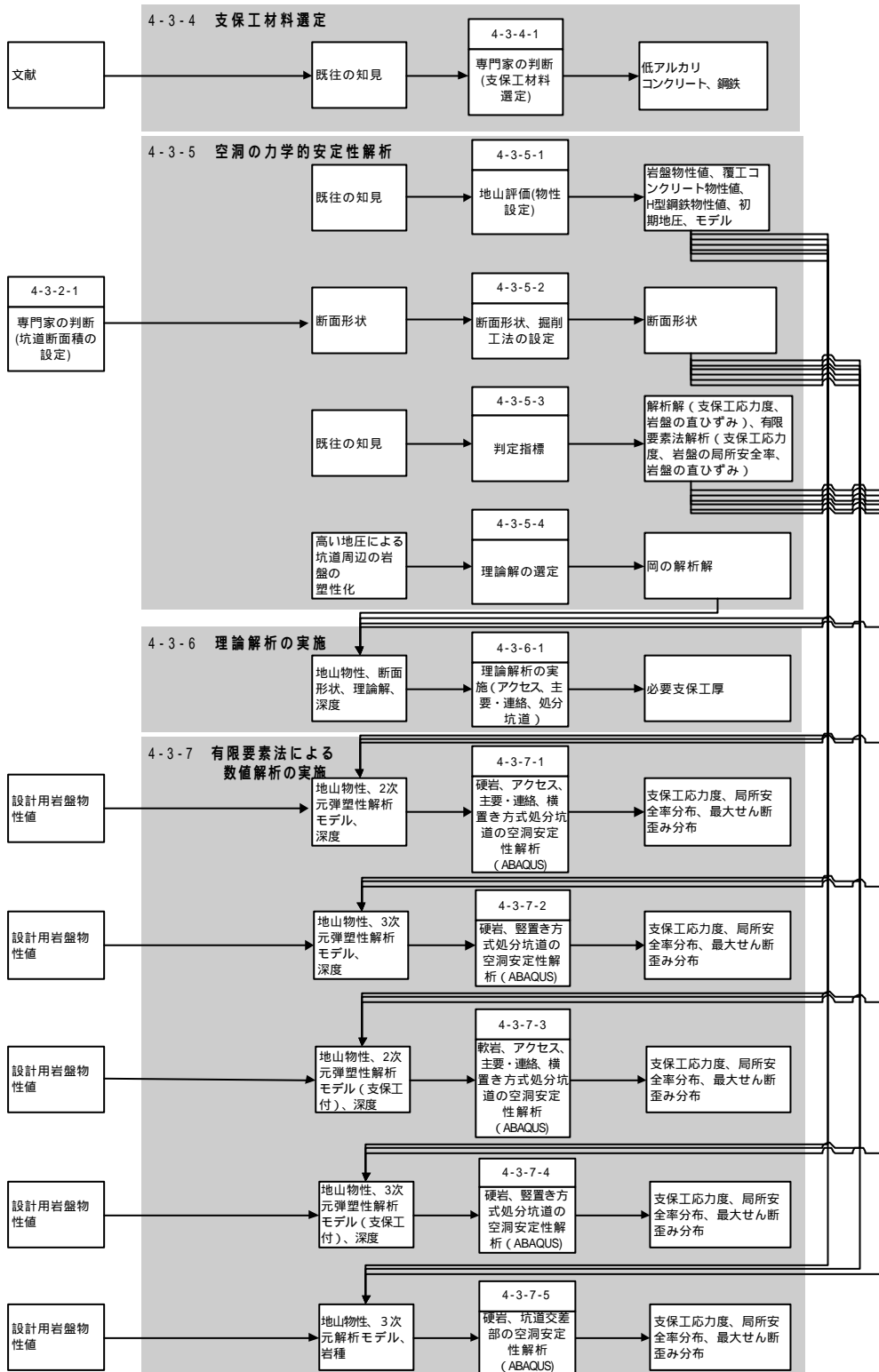


図 2.2.3-7 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (5)

4-3 処分施設の設計(続き)

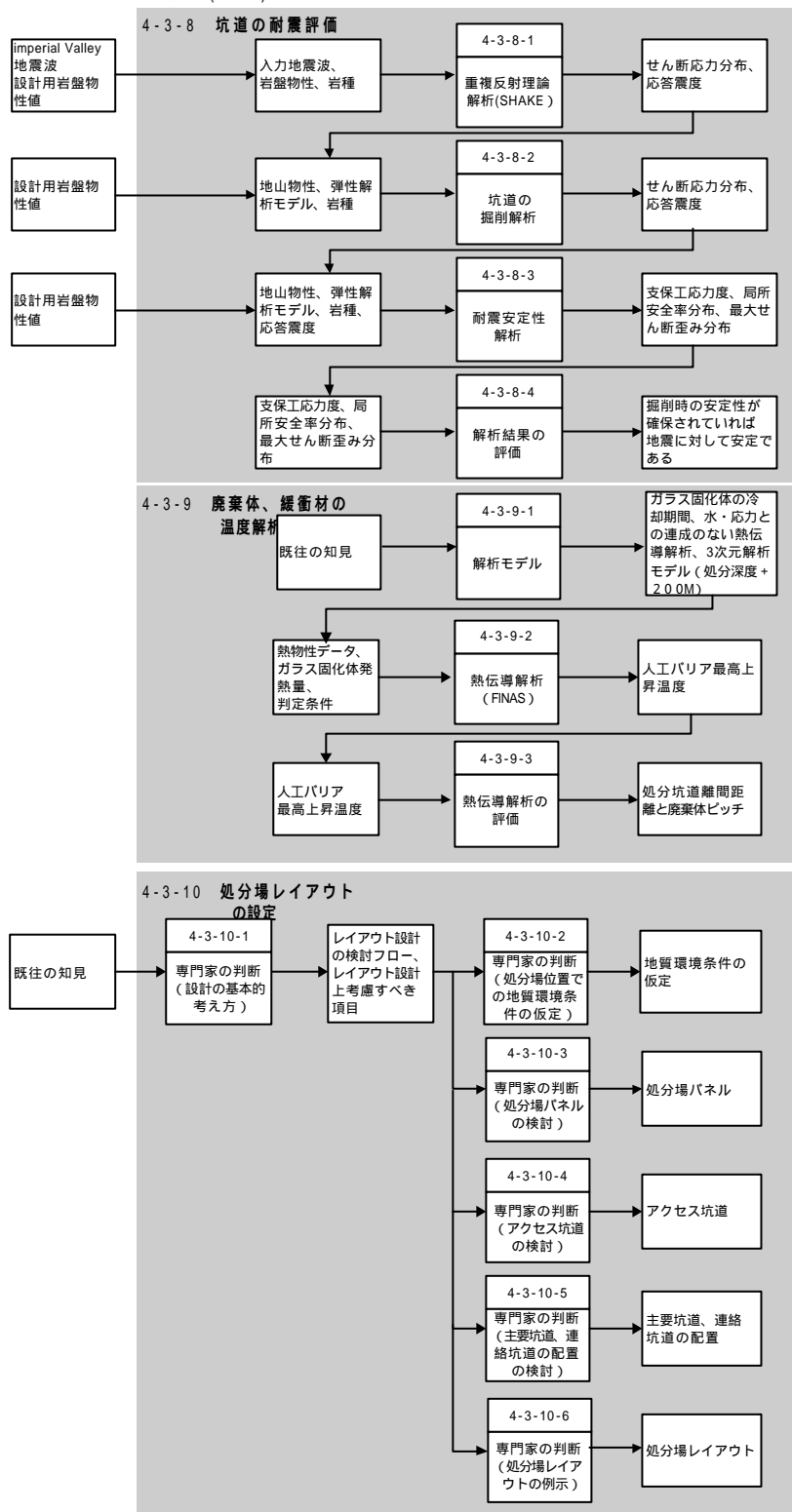
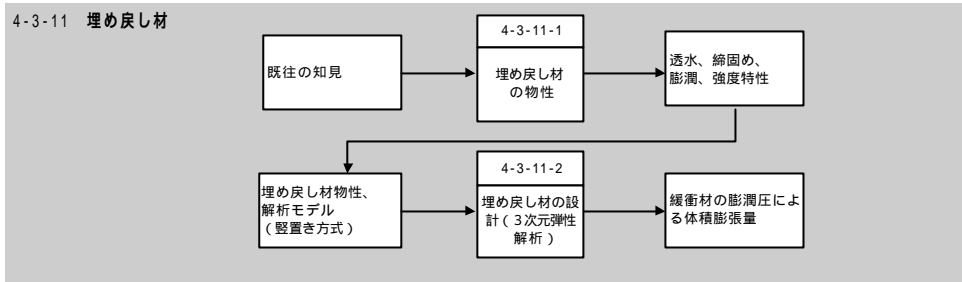


図 2.2.3-8 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ(6)

4-3 処分施設の設計 (続き)



4-4 人工バリアの長期健全性評価

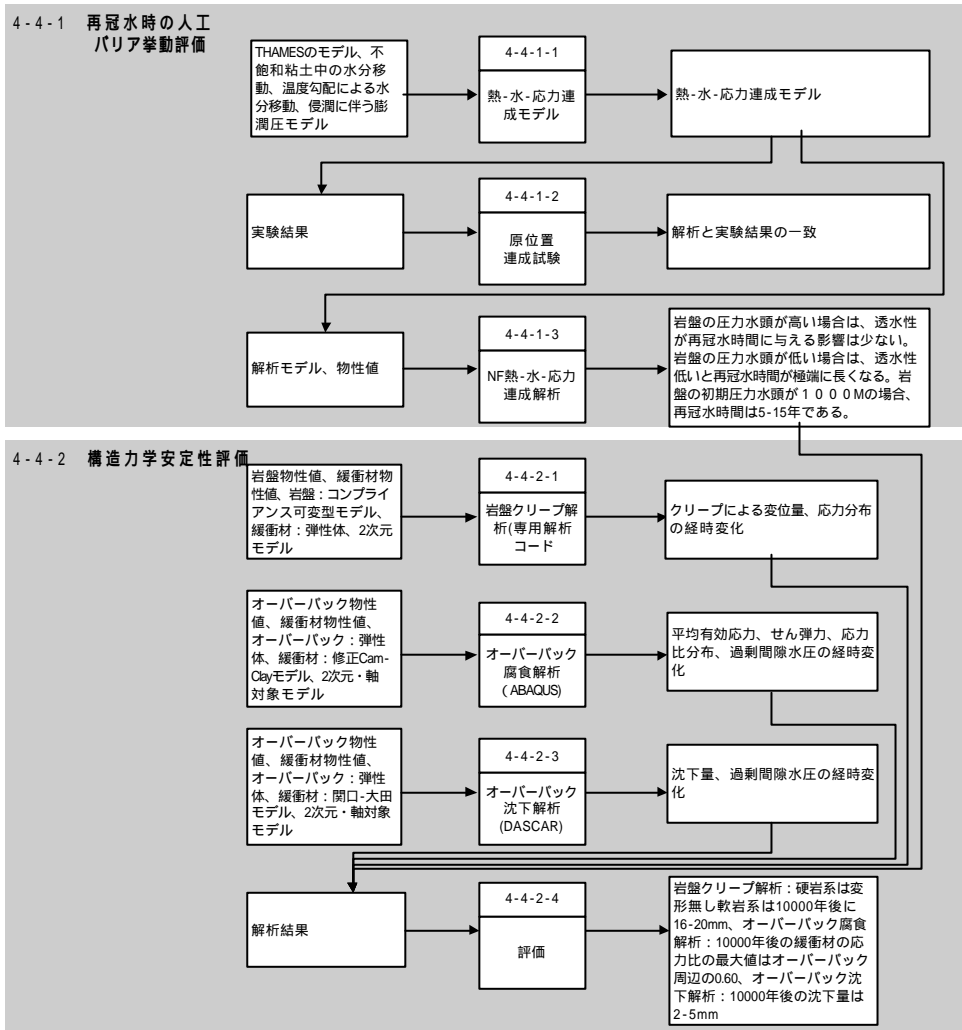


図 2.2.3-9 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (7)

4-4人工バリアの長期健全性評価(続き)

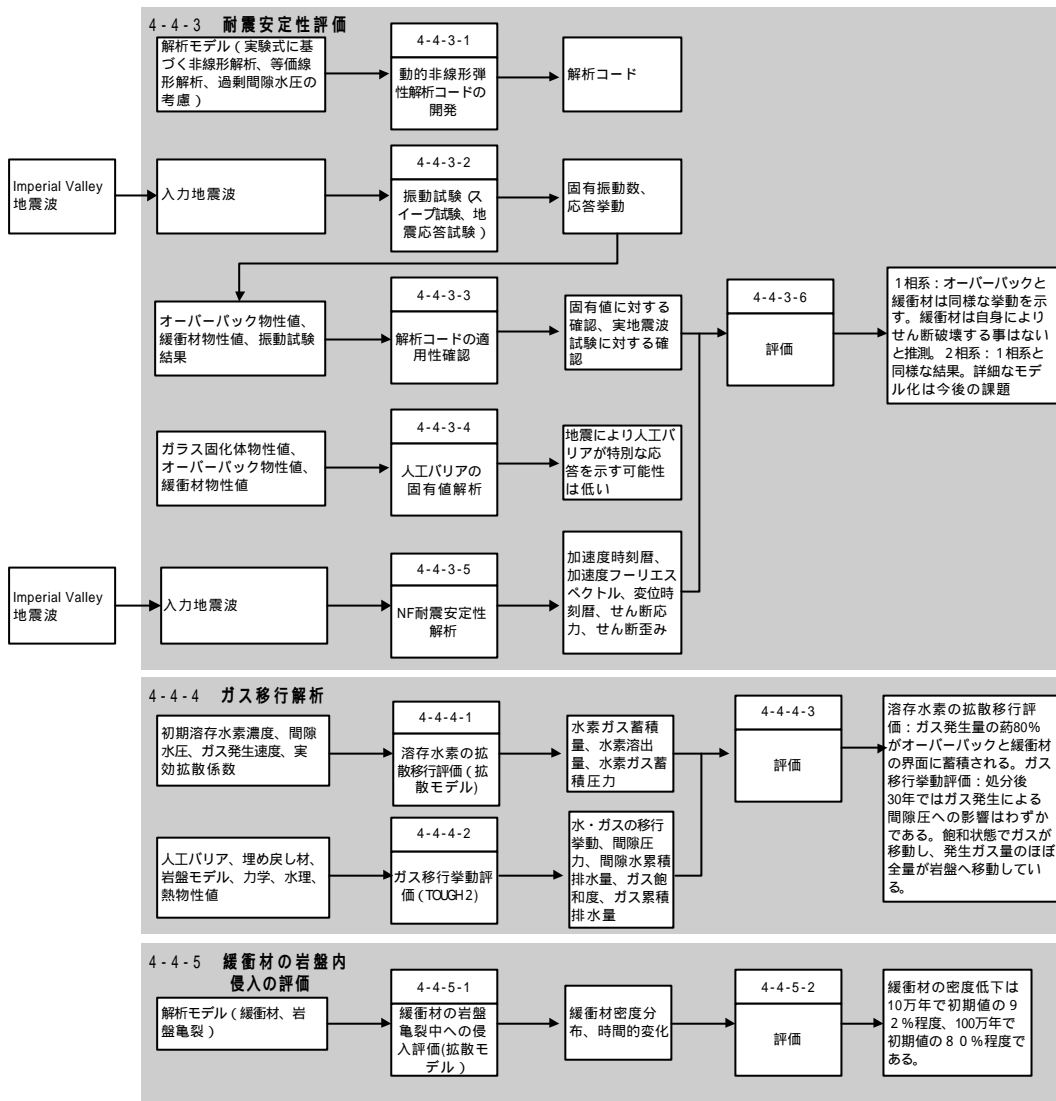


図 2.2.3-10 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ(8)



5 処分場の建設、操業、閉鎖

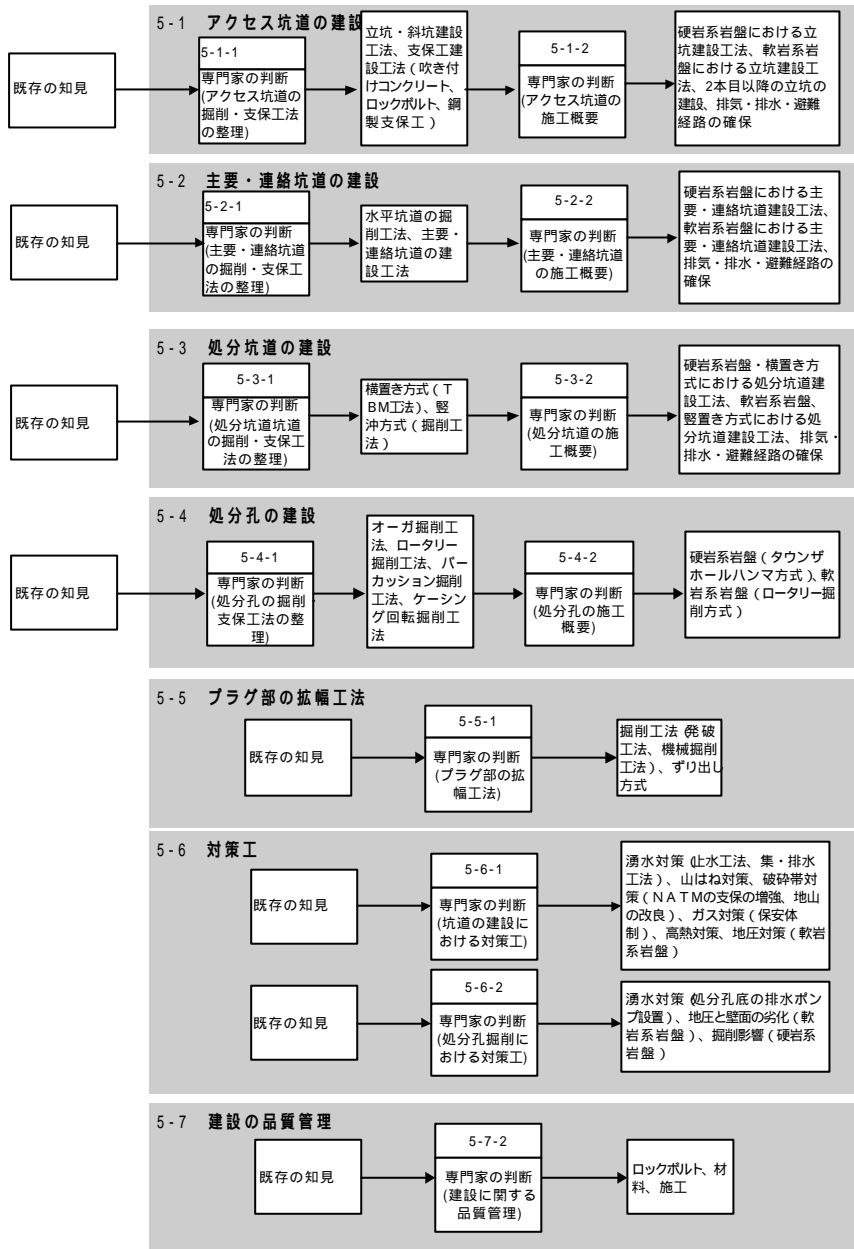


図 2.2.3-11 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (9)

5 処分場の建設、操業、閉鎖 (続き)

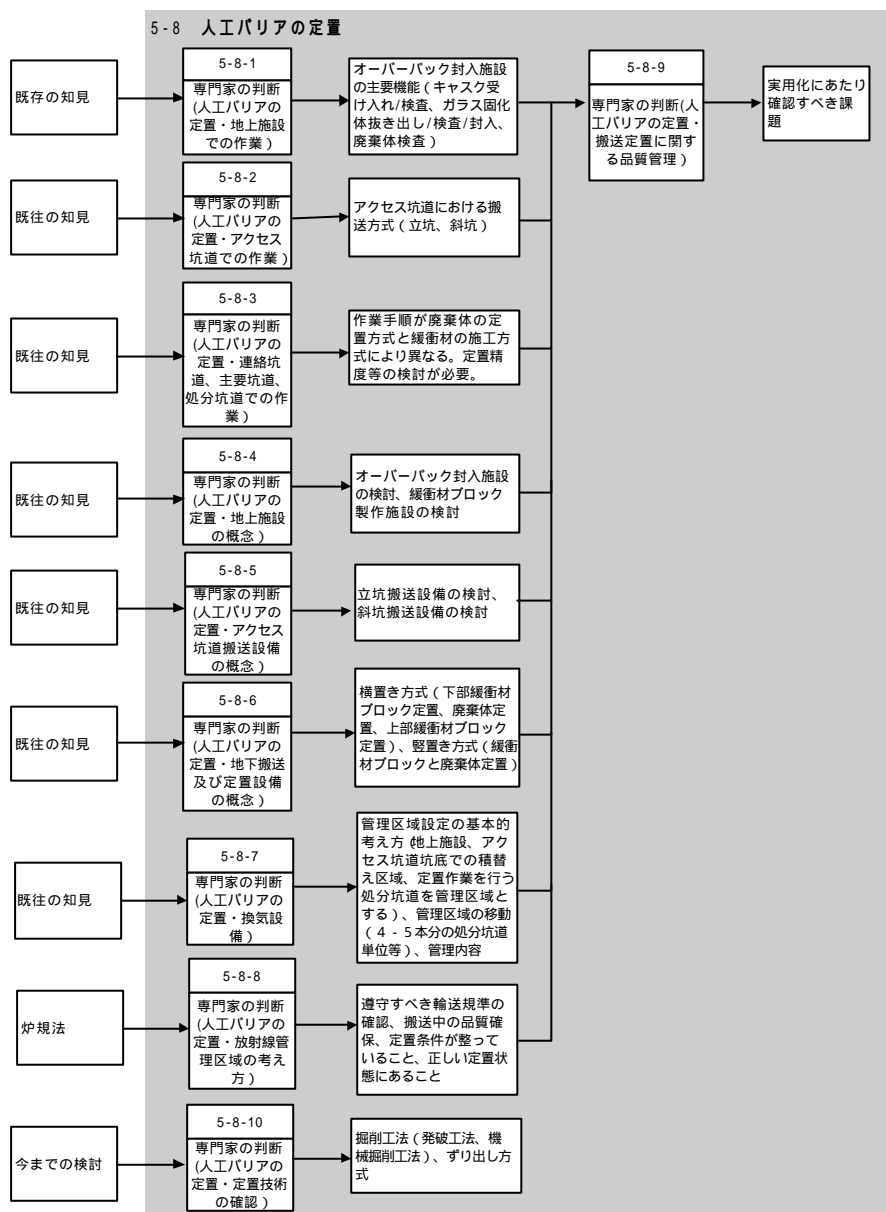


図 2.2.3-12 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (10)

5 処分場の建設、操業、閉鎖 (続き)

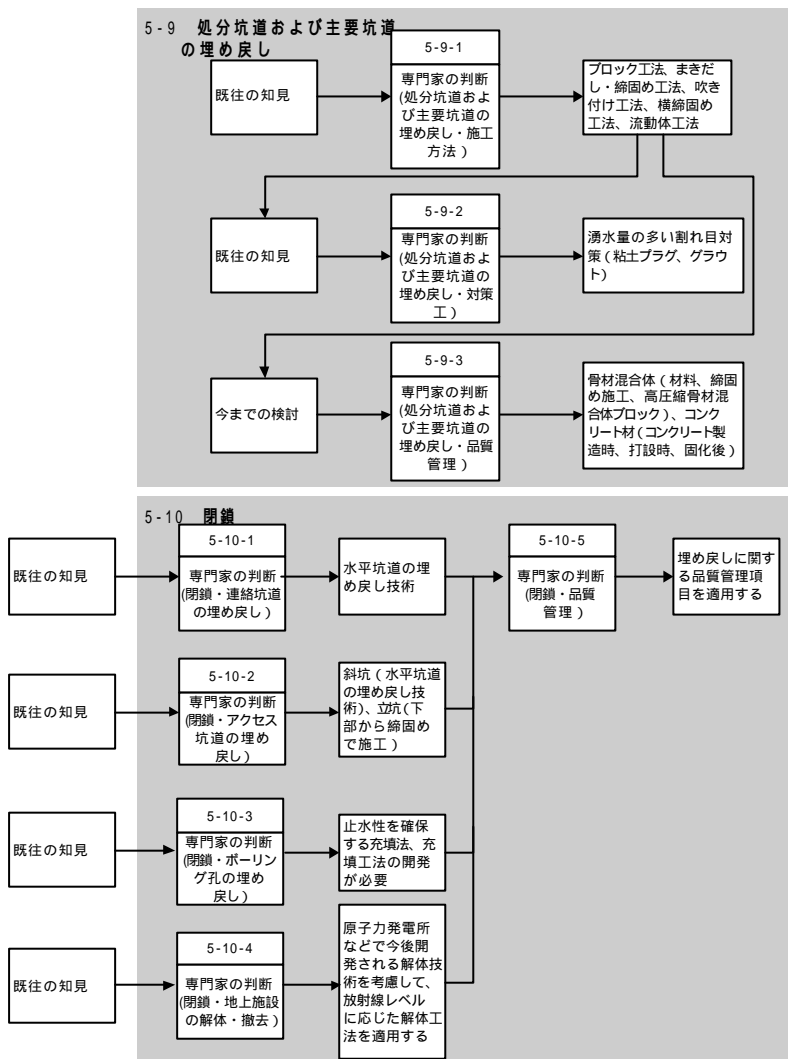
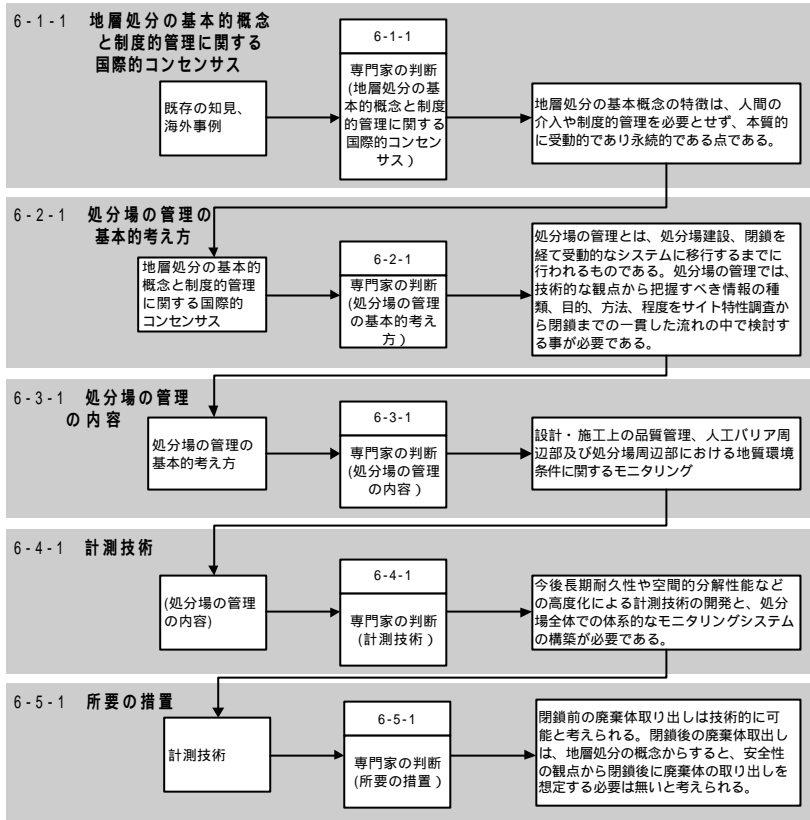


図 2.2.3-13 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (11)

## 6 処分場の管理



## 7 全体スケジュール

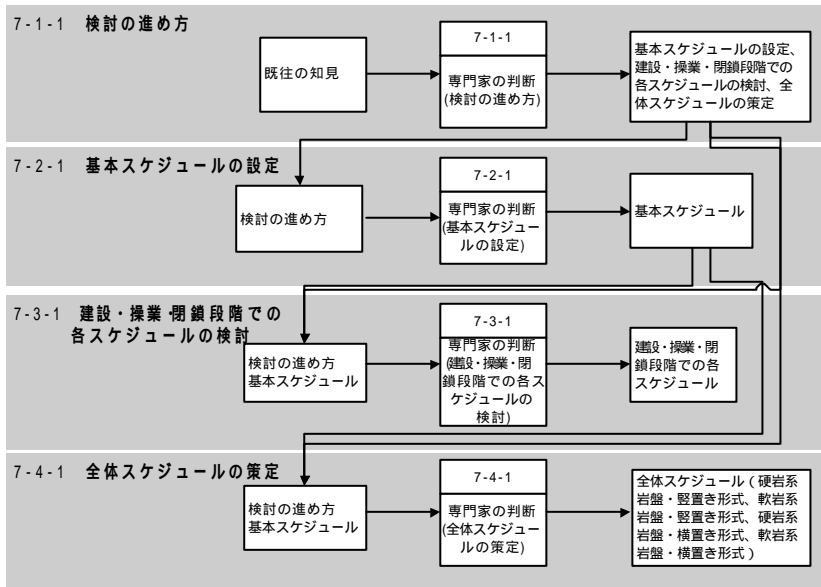


図 2.2.3-14 処分場設計におけるシステム因子と情報処理の流れ (12)

#### (4) 理想的な形態

##### (a) 地質環境評価と性能評価を連携した解析

###### 1) 目的

地質環境評価と性能評価を連携した解析は、地層処分事業のサイト選定における処分場の場所選定に利用される。概要調査では、候補地選定後に地質調査を行って地質モデルを作成し、ボーリング掘削位置の選定を行うと考えられる。地質モデルに基づいてボーリング掘削位置の選定を行う場合、ボーリング調査結果から安全評価を行う場合、及び、予定地の選定のために調査範囲の絞り込みを行う際には、地質モデルの作成機能や、生物圏の被曝線量を最小にするための処分場の場所選定機能が必要になるが、これらに本解析が利用されると考えられる。

###### 2) 解析の流れ

地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れをまとめて図 2.2.3-15 に示した。地質環境評価システムは、地質調査より得られたデータを基に 3 次元の地下構造モデルを作成する。地下構造モデルは性能評価システムに提供される。性能評価システムは地下構造モデルに基づいて、3 次元の地下水流動計算を行い（水理解析）、地下水流動場から複数の地下水流跡線を求め、その中から生物圏への移行時間が最小の移行経路を選択し（移行時間評価）、選択された移行経路を 1 次元モデル化して核種移行計算を行い、生物圏への核種放出率から被曝線量を求める。核種移行計算では、処分場及び人工バリアは第 2 次とりまとめに示された処分概念に従うことが適当であると思われる。（引用 1）

地質環境評価システムから性能評価システムに渡される具体的なデータを第 2 次取りまとめに基づいて検討した結果を表 2.2.3-6 に示す。

地質環境評価と性能評価を連携した解析では、システム間に以下のフィードバック作業が発生すると考えられる。（図 2.2.3-16 参照）

- ・ 性能評価から地質環境評価へのフィードバック作業

測定された地質環境データに基づいた性能評価の結果、線量が安全基準を満たさない場合には、処分場位置の見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。地質環境データの見直しを行う場合は、地質調査を再度実施して性能評価に利用する新しい地質環境データ（確率分布パラメータ、確率分布関数など）を生成する。

新しく得られた地質環境データを入力として再度解析が行われる。

- ・ 感度解析による要因の抽出

多種類の地質環境データの中で性能評価の結果に最も大きな影響を与えているデータを特定するために感度解析が利用される。その結果、特定された地質環境データについて地質調査を再度実施等の見直しを行う。

### 3) 不確実性解析と感度解析

地質環境評価と性能評価を連携した解析には不確実性解析と感度解析が不可欠である。地質環境データに対する不確実性解析と感度解析について具体的に検討した結果を以下に示す。

- ・ 不確実性解析

地質環境評価と性能評価を連携した解析では、誤差分布を持つ地質データ、及び、処分場位置を入力データとして、不確実性解析が実施される。与えられた入力条件下で地下水流動解析、移行時間評価、核種移行解析、線量評価に対して不確実性解析を行い、代表値と誤差分布を持つ生物圏の被曝線量が出力データとなる。（図 2.2.3-17 参照。）

モンテカルロ法で解析を行う場合は、複数の地質データの各々について、確率分布を考慮してデータを発生させる。生成された地質データセットについて、処分場位置に基づいて、3次元の地下水流動解析を行い、クリティカルパスを移行時間評価で求めて、1次元の核種移行解析をクリティカルパスについて実施し、核種の生物圏への移行量を線量に変換する。この試行を繰り返して、線量の確率分布を求める。

不確実性解析の中で最大の計算負荷をもつ解析は3次元の地下水流動解析である。3次元の地下水流速場に対して移流拡散方程式を厳密に解く必要があり計算量は膨大になる。よってモンテカルロ法を適用する場合は、サンプリングに十分注意し、効率の良いサンプリング手法を採用する必要がある。また、モンテカルロ法以外の手法の検討も必要である。（例えば、近似モデルを利用する方法、摂動法、統計確率的手法等）

本手法は地質データの誤差モデルや誤差パラメータが性能評価に与える影響をサーベイする目的、及び、生物圏の被曝が最小である処分場位置のサーベイに利用される。

- ・ 感度解析

計算手法の観点からは不確実性解析と同じであるが、誤差分布を持つ複数の地質データの中から一つのデータを選択し、そのデータ固有の誤差分布モデルやパラメータに従って不確実性解析を行う。ただし、該当するデータ以外は誤差分布を与えず、代表値を

利用する。この解析では、あるパラメータが単独で線量に与える影響を、例えば感度係数の形で解析するのが目的である。(図 2.2.3-18 参照。)感度係数の計算には入力データと出力データの標準偏差の比を利用する事等が考えられる。

本手法の特徴として、計算負荷が非常に高い事が挙げられる。よって不確実性解析と同じく、よってモンテカルロ法を適用する場合は、サンプリングに十分注意し、効率の良いサンプリング手法を採用する必要がある。

本手法は、例えば線量に大きな影響を与える透水係数の空間的な位置を特定するために用いられる。空間メッシュの各々について透水係数を変化させて感度解析を行うと、感度係数の空間分布が得られる。大きな感度係数を持つ部分の地質データの誤差を低減すると、線量を最も効果的に低減する事が可能である。

そこで感度係数の高い部分の地質データを検討して、再度地質調査を行ったり、透水係数の誤差分布パラメータの見直しを行い誤差幅を低減すると、線量の解析結果を低減する事が可能となる。地質環境データの見直しを効率良く行う事が感度解析の目的である。

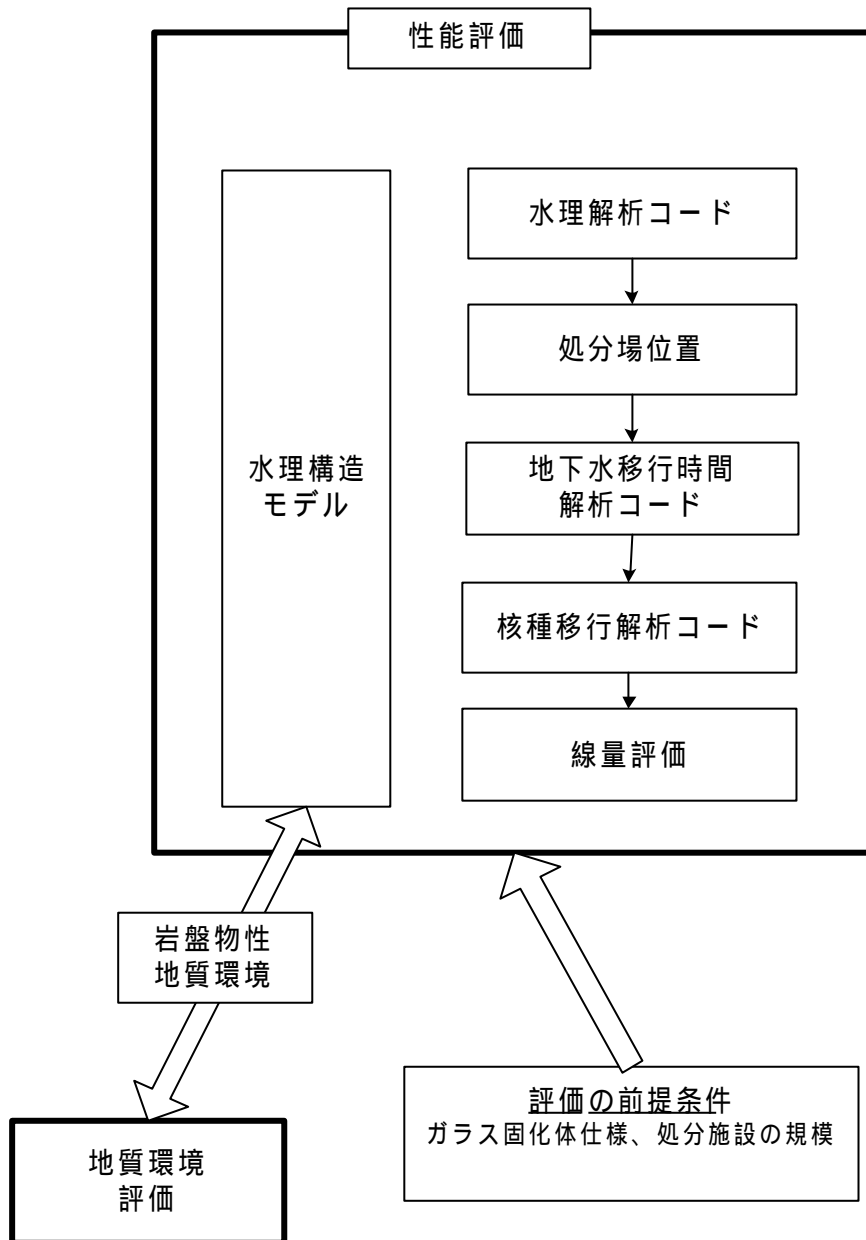


図 2.2.3-15 地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れ



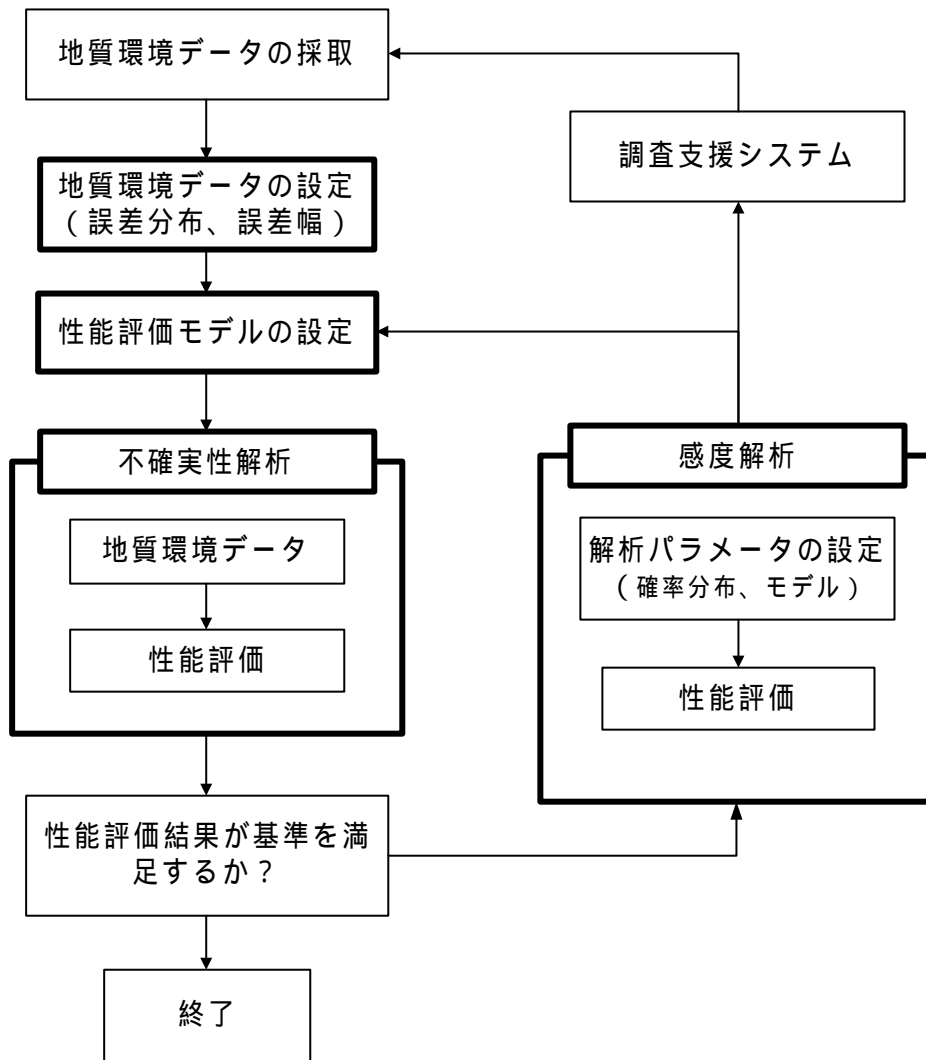


図 2.2.3-16 地質環境データに対する不確実性解析・感度解析の流れ

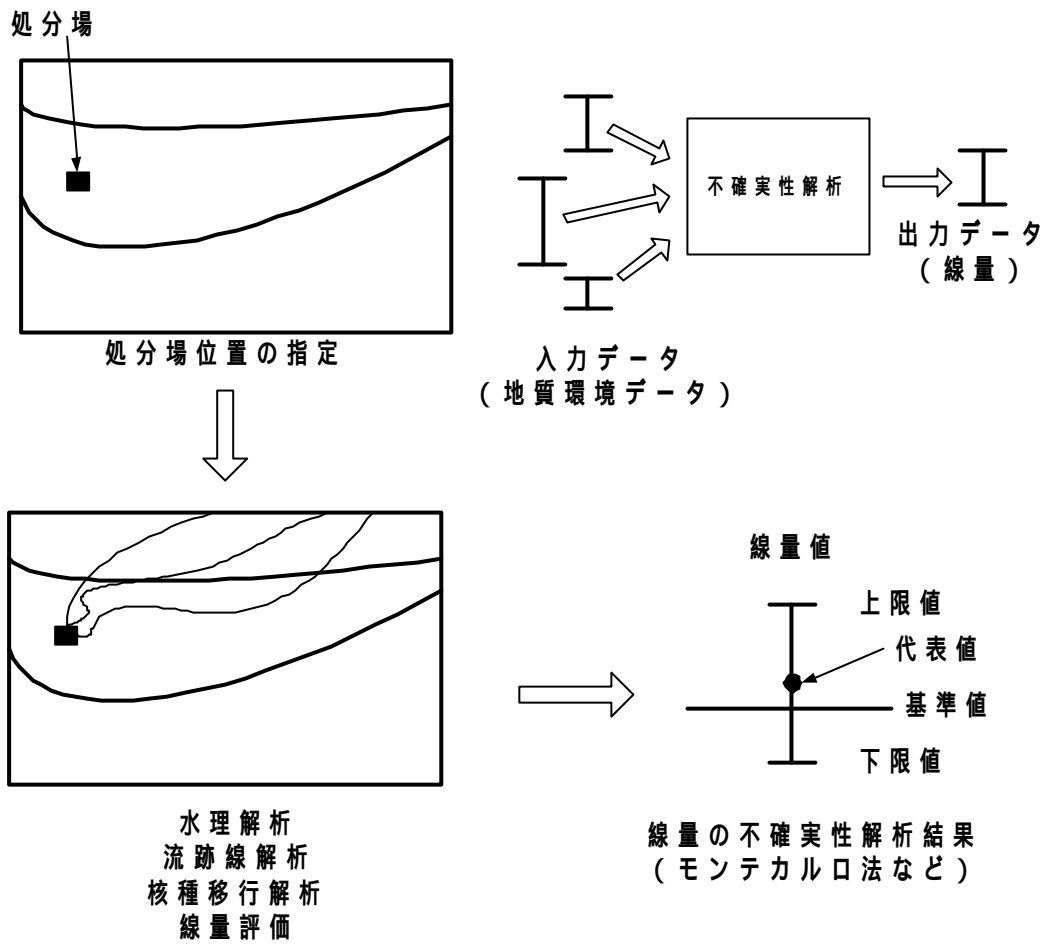
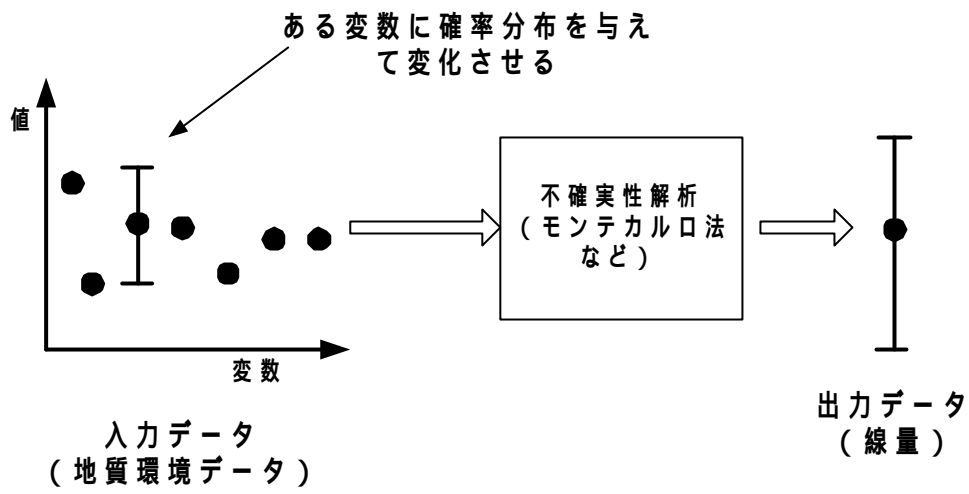
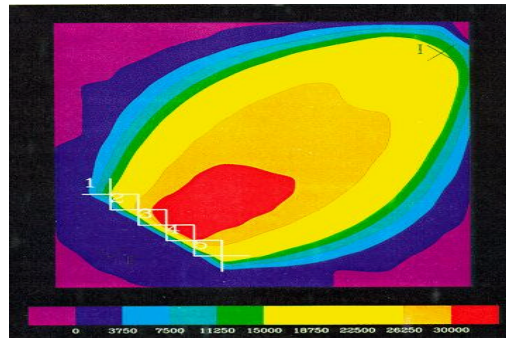


図 2.2.3-17 地質環境データに対する不確実性解析の詳細



$$S = \frac{dR}{d}$$

S : 感度係数  
 R : 出力変数 (線量)  
 d : 入力変数 (地質環境データ)



感度係数の分布例

図 2.2.3-18 地質環境データに対する感度解析の詳細

表 2.2.3-6 地質環境評価から性能評価に渡されるデータ

データの分類		データ例
岩盤物性	物理的特性	飽和密度、有効間隙率
	力学的特性	一軸圧縮強度、弾性係数、ポアソン比、弾性係数、弾性波速度
	熱特性	熱伝導率、地温勾配
	化学特性	分配係数
	保持性能	マトリクス拡散距離、マトリクス拡散係数
地下水流動	水理特性	透水係数、分散係数、亀裂パラメータ、拡散係数
	流動状況	動水勾配、地下水流速
	化学成分	成分濃度、Eh, pH、コロイド、微生物、分配係数
地質環境	地形	
	地質	岩種、地質構造
	地下の応力場	主応力方向
	天然事象	隆起侵食、気候変動等
生物圏		人口、涵養量等

## (b)地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析

### 1)目的

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析は、地層処分事業のサイト選定以後の段階に利用される。地質環境モデルに基づいて具体的な処分場施設設計を行い、得られた設計仕様が性能評価の基準を満足し、かつコストが最小となるように、設計仕様の見直しを行うために本解析が利用されると考えられる。

### 2)解析の流れ

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析の流れをまとめて図 2.2.3-19 に示した。

地質環境評価システムは、地質調査より得られたデータを基に 3 次元の地下構造モデルを作成する。地下構造モデルは性能評価及び処分技術システムに提供される。処分技術システムは地質データに基づいて、処分施設及び人工バリアの設計を行う。性能評価システムは地下構造モデル及び、処分施設及び人工バリアの設計仕様に基づいて処分場の性能評価を行い、例えば生物圏の被曝線量を求める。経済性評価システムは処分施設及び人工バリアの設計仕様に基づいて施設の建設コストを計算する。

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析では、以下のフィードバック作業や最適化作業が発生すると考えられる。(図 2.2.3-20 参照)

- ・ 処分技術から地質環境評価へのフィードバック作業

測定された地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たさない場合には、設計仕様の見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。地質環境データの見直しを行う場合は、地質調査を再度実施して、設計に利用する新しい地質環境データを準備する。

- ・ 性能評価から地質環境評価へのフィードバック作業

地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たすが、性能評価結果が安全基準を満たさない場合には、性能評価モデル、パラメータの見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。地質環境データの見直しを行う場合は、地質調査を再度実施して、設計及び性能評価に利用する新しい地質環境データを準備する。

- ・ 経済性評価から施設設計へのフィードバック作業

地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たすが、経済性評価の結果がコストの基準を満たさない場合には、経済性評価モデル・パラメータの見直し、処分場及び人工バリア仕様の見直し、又は、地質環境データの見直しが行われる。

- ・ 経済性に基づいた施設設計の最適化作業

第2次取りまとめによると、施設及び人工バリア設計では関連する幾つかのパラメータ（緩衝材の組成[ケイ砂混合率、乾燥密度]と緩衝材厚さ等）の仕様は一意に決める事は不可能であり、ある許容範囲しか決められない。また、互いに相関を持つパラメータもある。（緩衝材厚さとオーバーパック厚さ等）よって、施設設計結果が設計基準を満たし、性能評価結果が安全基準を満たしても、施設及び人工バリア仕様は一意には決まらない。そこで、施設及び人工バリア仕様をコストで最適化する事が必要となる。これが経済性による施設設計の最適化作業である。（図 2.2.3-21）

### 3) 不確実性解析、感度解析、及び、コスト最適化解析

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析には不確実性解析と感度解析及びコスト最適化解析が不可欠である。地質環境データに対する不確実性解析と感度解析については前節で検討したので、本節ではコスト最適化解析を具体的に検討した結果を以下に示す。

- ・ コスト最適化解析

誤差分布を持つ地質データを入力として不確実性解析を実施し、性能評価、処分技術、及び、経済性評価を行う。施設設計に関しては人工バリアや施設設計パラメータの幾つかが互いに相関関係を持ち、また、いくつかのパラメータは許容範囲しか決定できない。そこで許容範囲を持つ設計仕様の中でコストが最小かつ、性能評価及び処分技術の基準を満足する施設設計パラメータを探索する事がコスト最適化解析の目的である。

コスト最適化解析とは言い換えると、施設設計パラメータに許される位相空間の中をサーチして、パラメータセットに対して不確実性解析を繰り返し、コストが最小となるパラメータセットを探索する事である。そのため不確実性解析にモンテカルロ法を適用する場合は、サンプリング手法に十分注意し、効率の良いサンプリング手法を採用する必要がある。また、モンテカルロ法以外の手法の検討も必要である。また、効率の良い解空間中の探索手法の検討が必要となる。

コスト最適化解析の解空間の探索に当たって計算負荷を低減させる有力な方法の一

つとして、処分場因子データベースの導入による不確実性解析の計算負荷の低減がある。処分場因子データベースには設計仕様と性能評価結果の相関関係に関する知見が収納されているため、計算負荷をかける事なく、地質環境データに基づいて設計仕様と性能評価結果の相関関係を近似的に求める事ができる。この相関関係を利用すると解空間中の探索に要する計算負荷が低減できると考えられる。

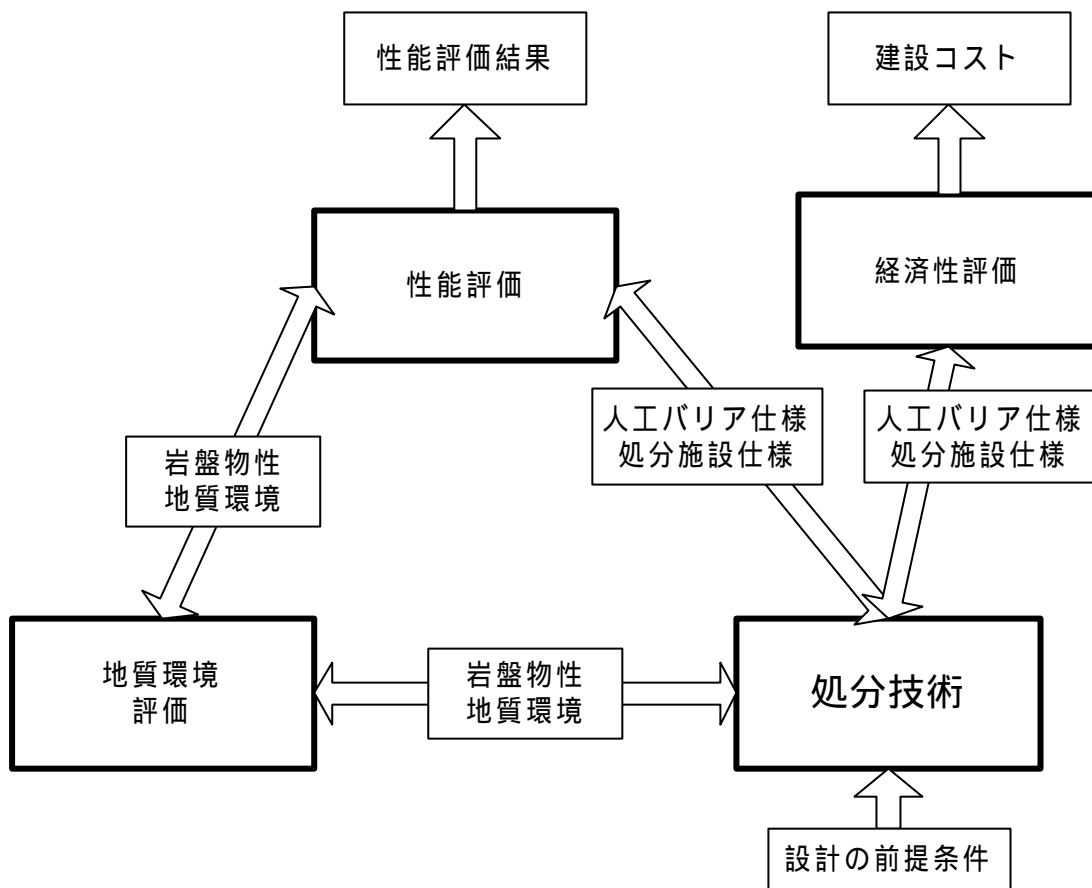


図 2.2.3-19 地質環境 性能評価 処分技術 経済性 解析の流れ



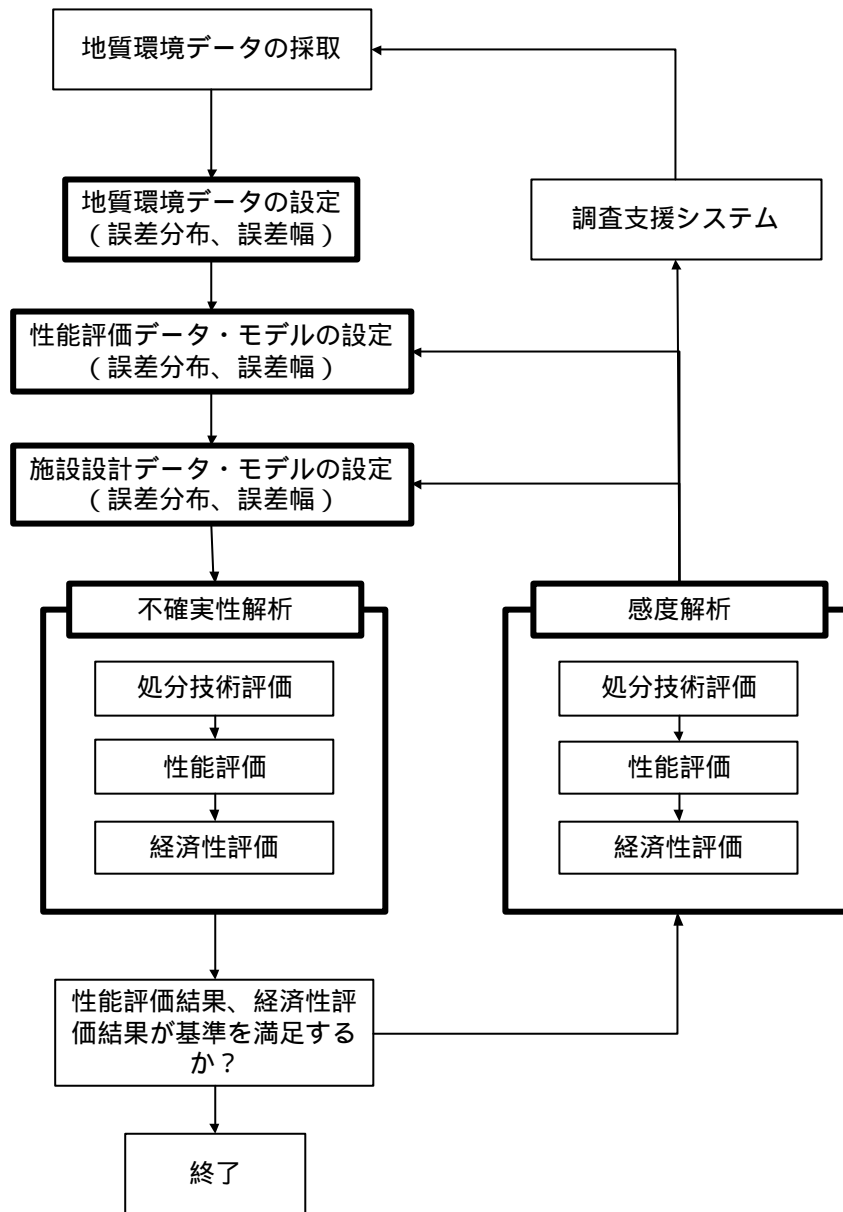


図 2.2.3-20 不確実性解析の流れ

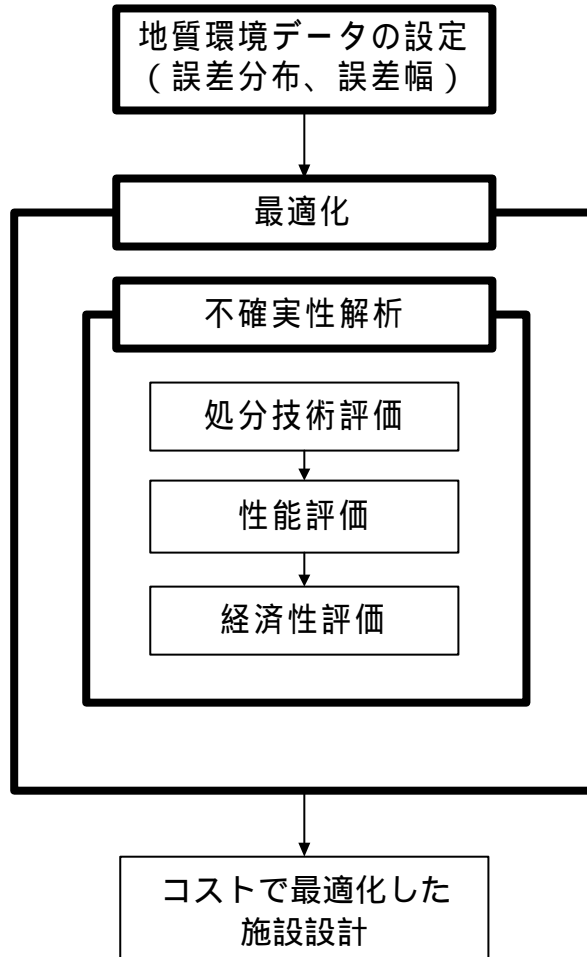


図 2.2.3-21 コスト最適化解析の流れ

### (c) 処分場因子データベース

#### 1) 処分場因子データベースの目的

処分場因子データベースは、処分システムの設計プロセス、及び、性能評価プロセスに関係する、知見、及び、データをデータベースに格納したものである。

この知見を利用する事により、性能評価や設計解析の支援が可能である。

#### 2) システムの機能

処分場因子データベースは、性能評価、及び、処分技術の解析において、解析に関して評価すべき事項の抽出・関連・優先順位づけを整理し、研究開発を体系的に管理することを目的とするので、以下の機能を持つ事が必要である。

設計の合理化のために、性能評価を含む施設設計因子、必要な解析、結果判断の体系化を行い、設計要件、設計ロジックを整理する機能

性能評価におけるシナリオ管理の機能なども含まれる。

一般のデータベースに格納されている各種データから適切なものを抽出して、性能評価及び処分技術検討に際して適正な入力データセットを作成する機能

一般の公開データベースなどを統合化し、処分場因子データベースには外部データベースのインデックスを与えておき、必要に応じて外部データベースをアクセスして、データを取得する機能を持つ。

各分野の専門家の知識を集積し、研究開発に参加する誰もがその知識を容易に検索、利用できる機能

処分場設計や性能評価計算パラメータ等の要因でどう変化するか判断を支援するための機能を持つ。例えば、解析のエキスパートが持っている、「施設設計及び性能評価パラメータが特定の値を取った場合に性能評価結果がどうなるか」という問いに対する知識をルールベースなどの形式でデータベースに収めたものである。地層処分統合解析システムにより解析を実施しなくても、処分場因子データベースにより解析結果の推定を支援する事ができる。

## 2.2.4 知識ベースの階層化の検討

システム因子，及び，情報処理の流れの技術基盤となる基礎的研究を検討した。さらに上位と下位の階層間および同じ階層での他分野の研究との関係を整理した。

### (1) 知識ベースの階層化

前節までに検討された知識ベースは第2次取りまとめの作業内容を基本としていた。そこで本項では、第2次取りまとめを基にして検討された知識ベースを同種のものについてまとめて、解析の基本的なモデルやデータ間の関係を示した階層化された知識ベースを検討した。

知識ベースを人工バリア、天然バリア、地質環境、生物圏の4種の分野に分類し、各分野は最下層に技術基盤層を持ち、その上位に解析のための知識ベースが存在する階層構造の検討を行った。

階層化された知識ベースを図 2.2.4-1 に示す。知識ベースの技術基盤層についての説明を表 2.2.4-1、表 2.2.4-2 にまとめた。

また、階層化された知識ベースと、第2次取りまとめを基にしたシステム因子の対応を表 2.2.4-3、表 2.2.4-4 に示した。

第2次取りまとめの作業内容を基本とする知識ベースには、モデルやデータが明示的に示されていない。例えば、「専門家の判断によるモデルの設定」「専門家の判断によるデータの設定」というシステム因子が頻出しているように、作業手順の流れの分析結果が知識ベースに表現されている。そこで、本項では、第2次取りまとめの作業内容を基本とする知識ベースから、性能評価・地質環境評価に関わるモデル・データを導出してまとめた。(表 2.2.4-5、表 2.2.4-6) さらにモデル・データの関係を図にまとめた。(図 2.2.4-2、図 2.2.4-3、図 2.2.4-4)

今後システムの手順書へは表 2.2.4-5、表 2.2.4-6 のモデルやデータも利用されることが考えられる。

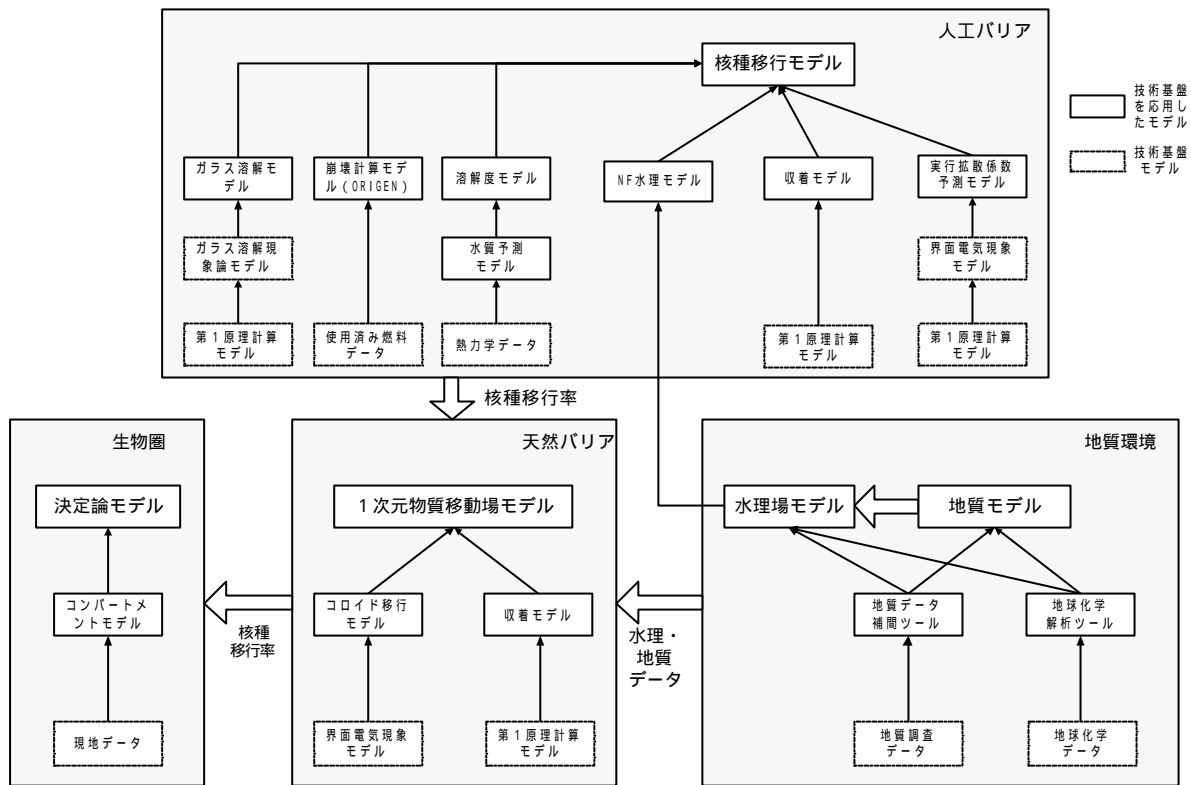


図 2.2.4-1 階層化された知識ベース

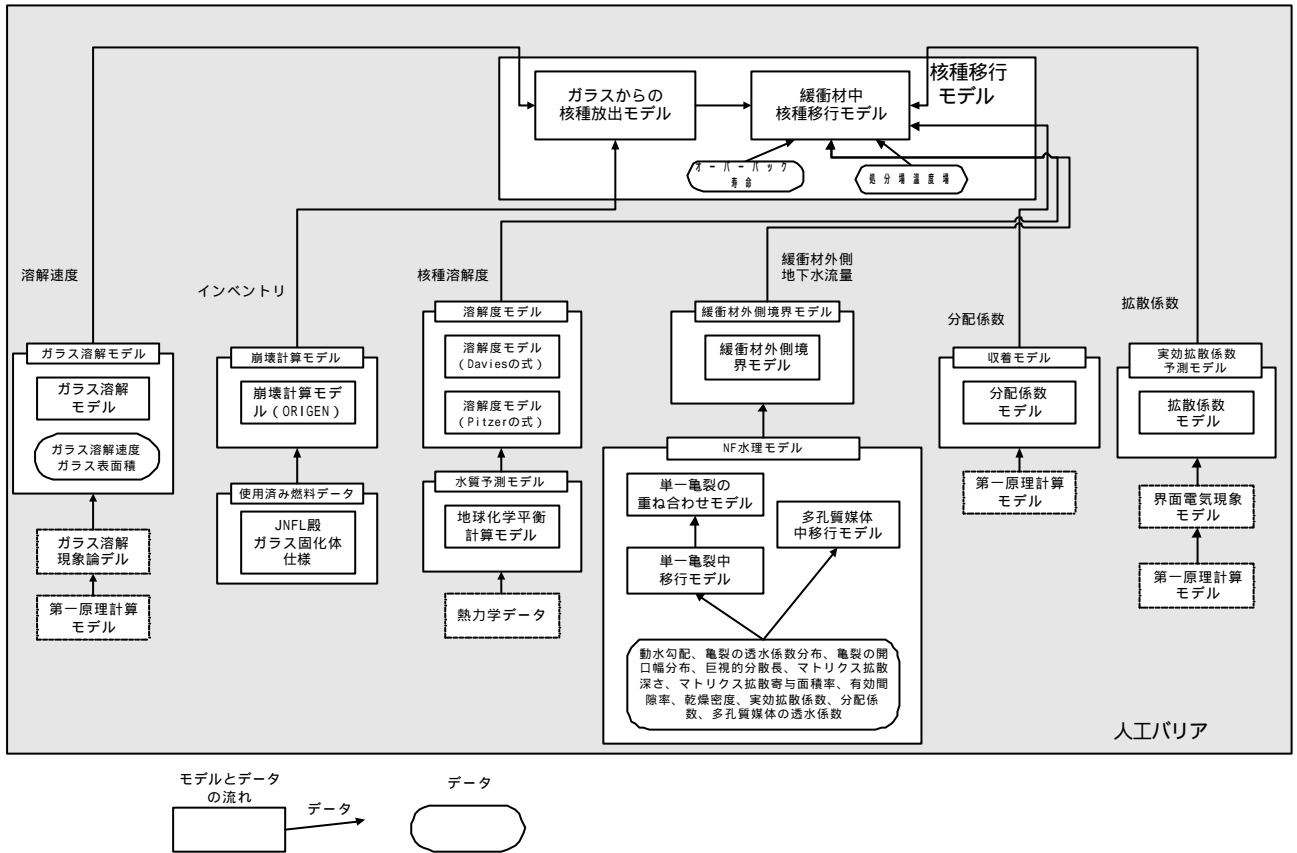


図 2.2.4-2 階層化知識ベースの詳細 (人工バリア)

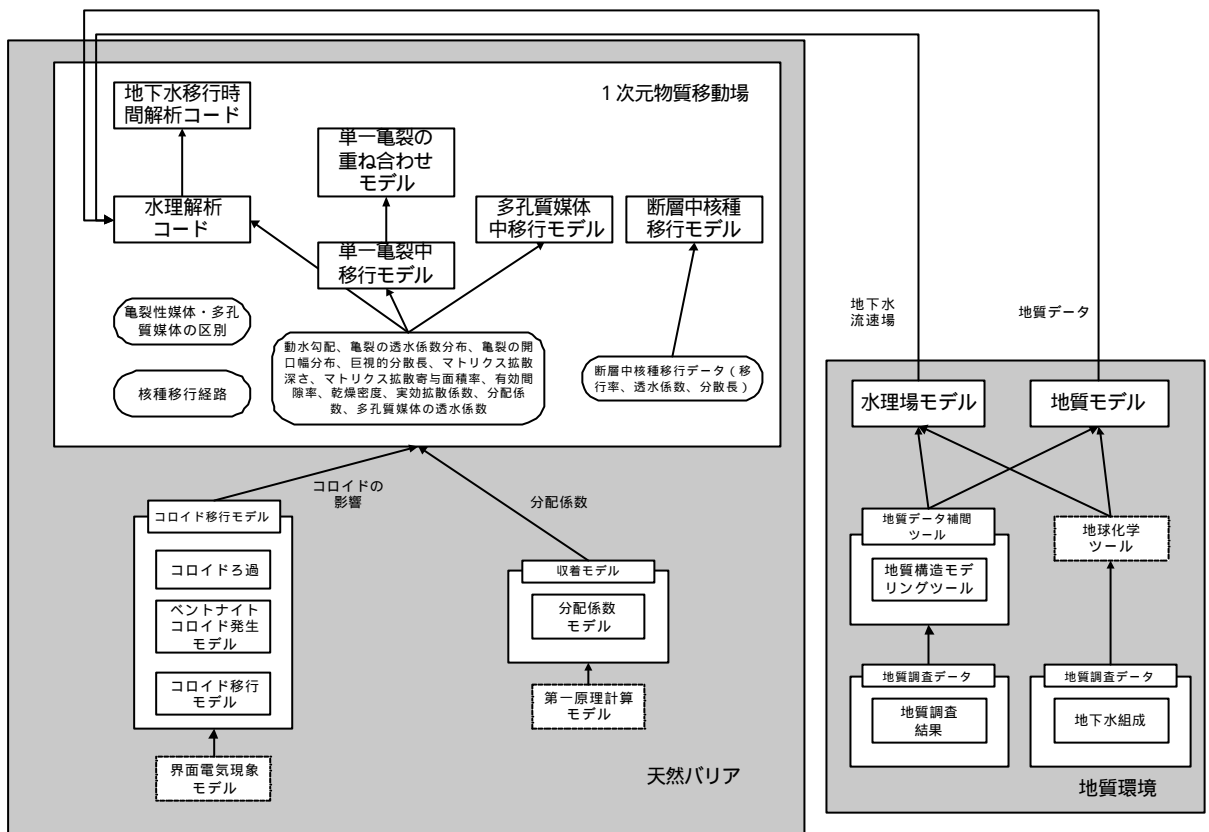


図 2.2.4-3 階層化知識ベースの詳細 (天然バリア)

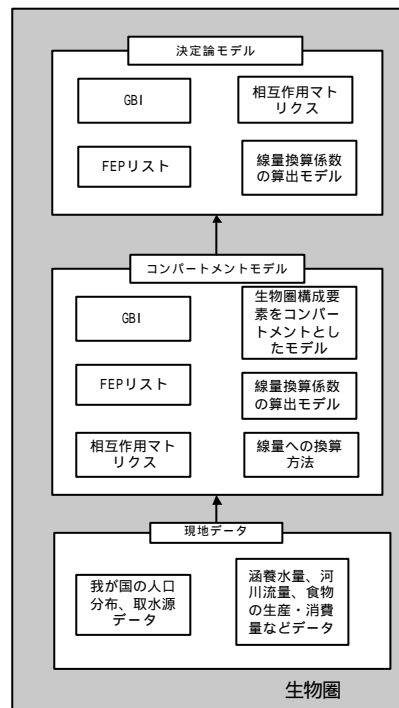


図 2.2.4-4 階層化知識ベースの詳細 (生物圏)

表 2.2.4-1 階層化知識ベースのモデル(1)

知識ベースの分類		内容	備考	
人工バリア	ガラス	ガラス溶解現象論モデル	第2次取りまとめでは、ガラス溶解の最終過程である、シリカ鉱物で飽和した状況での不可逆溶解速度をアセスメントモデルの入力データに設定している。この背後には、シリカ濃度～ゼロの状況での初期溶解、徐々にシリカが蓄積し溶解速度が低下する段階を記述するグランポーラのモデルなどが多数存在する。また、不可逆溶解過程においてもガラスが結晶化して溶解速度が増加するなどの可能性も指摘されている。	
		第一原理計算モデル	不可逆溶解速度は短期試験データから設定されたものであり、不可逆溶解過程そのもののモデル化には検討課題が残されている。溶解過程の検討には、第1原理計算（原子レベルの理論計算）によりガラス表面反応をモデル化することが有効と考えられる。	
	溶解度モデル	熱力学データ	サイクル機構殿により営々とデータベース化が続けられている。この方向での整備を継続するとともに、沿岸海底処分への対応として、高イオン強度でのイオン間相互作用モデルのパラメータ取得も合わせて実施することが必要である。	
	収着モデル	第一原理計算モデル	緩衝材や腐食生成物での核種捕捉には種々のプロセスが関与すると考えられているが、それら反応の第1ステップは表面反応である。これを扱うには、第1原理計算が有効である。	
	実効拡散係数予測	界面電気現象モデル	緩衝材中の実効拡散係数予測は、空隙構造を平均化し古典的な界面電気現象論で判定量的に予測が可能である。	
第一原理計算モデル		上記界面電気現象論モデルでは経験的に与えられるパラメータ（電気粘性効果係数）が含まれている。また、空隙に対する拡散種の物理的な大きさが無視できないなど、モデルの妥当性に関していくつかの問題点がある。これを解決するために、スメクタイト結晶、結晶表面の構造水、イオンの水和などを第1原理計算でモデル化することが考えられる。		



表 2.2.4-2 階層化知識ベースのモデル(2)

知識ベースの分類		内容	備考
地 質 環 境	地球化学 解析ツール	-	地質モデル、水理場モデルの作成はピンポイント・データを対象領域全体に展開するものであり、種々の調査結果を持ち寄っての総合判断となる。水理場はボーリングでの間隙水圧分布から現状が推定されるが、その妥当性を確認するためには、その場での化学的指標を用いた地球化学的検討を用いることを考慮しておくべきである。
	地球化学 データ	-	不可逆溶解速度は短期試験データから設定されたものであり、不可逆溶解過程そのもののモデル化には検討課題が残されている。溶解過程の検討には、第1原理計算（原子レベルの理論計算）によりガラス表面反応をモデル化することが有効と考えられる。
天 然 バ リ ア	収着	第一原理計算 モデル	(人工バリアと同じ)
	コロイド 移行モデル	界面電気 現象モデル	亀裂中内での流速分布、亀裂表面とコロイドの電氣的相互作用を連成してコロイドの実効的流速を算出する Hydrodynamic Chromatography モデルなどがある。また、コロイドの亀裂表面への付着は、移動の運動エネルギーと表面ポテンシャルの大小で可能性検討を行うことができる。

表 2.2.4-3 階層化された知識ベースとシステム因子の対応(1)

分類	階層化された知識ベース	第 2 次取りまとめを 基にしたシステム因子
人工  バリア	核種移行モデル	4-6-1 専門家の判断(オーバーバック寿命の設定)、 4-6-2 専門家の判断(処分場内温度場の設定)、 4-6-5 専門家の判断(ガラス変質層、オーバーバック中核種移行モデルの設定)、 4-6-8 専門家の判断(緩衝材中核種移行モデルの設定)、 4-6-9 専門家の判断(緩衝材外側境界モデルの設定)、 4-7-8 専門家の判断(緩衝材外側での地下水流量データの設定)
	実効拡散係数予測モデル	4-7-6 専門家の判断(拡散係数データの設定)
	界面電気現象モデル	(無し)
	第一原理計算モデル	(無し)
	収着モデル	4-7-7 専門家の判断(分配係数データの設定)
	第一原理計算モデル	(無し)
	NF 水理モデル	4-8-1 専門家の判断(単一亀裂中移行モデルの設定)、 4-8-2 専門家の判断(単一亀裂の重ね合わせ手法の設定)、4-8-3 専門家の判断(多孔質媒体モデルの設定)、 4-9-1 専門家の判断(動水勾配データの設定)、 4-9-2 専門家の判断(亀裂の透水量係数分布データの設定)、 4-9-3 専門家の判断(亀裂の開口幅分布データの設定)、 4-9-4 専門家の判断(巨視的分散長データの設定)、 4-9-5 専門家の判断(マトリクス拡散深さデータの設定)、4-9-6 専門家の判断(マトリクス拡散寄与面積率データの設定)、 4-9-7 専門家の判断(有効間隙率データの設定)、 4-9-8 専門家の判断(乾燥密度データの設定)、 4-9-9 専門家の判断(実効拡散係数データの設定)、 4-9-10 専門家の判断(分配係数データの設定)、 4-9-11 専門家の判断(多孔質媒体の透水量係数データの設定)
	溶解度モデル	4-6-6 専門家の判断(核種溶解度モデルの設定) (Davies の活量係数補正式)、 4-6-7 専門家の判断(核種溶解度モデルの設定) (Pitzer の活量係数補正式)、 4-7-5 専門家の判断(溶解度データの設定)
	水質予測モデル	4-7-3 専門家の判断(間隙水組成データの設定)
	熱力学データ	(熱力学データベース)
	崩壊計算モデル (ORIGEN)	4-7-1 専門家の判断(モデルガラス固化体のインベントリの設定)
	使用済み燃料データ	(設計の前提条件：JNFL 殿固化体仕様)
	ガラス溶解モデル	4-7-4 専門家の判断(ガラス溶解速度データの設定) 4-6-4 専門家の判断(ガラス溶解モデルの設定) 4-6-3 専門家の判断(ガラス表面積の設定)
	ガラス溶解現象論モデル	(無し)
	第一原理計算モデル	(無し)

表 2.2.4-4 階層化された知識ベースとシステム因子の対応(2)

分類	階層化された知識ベース	モデル		
天然	1次元物質移動場	4-2-1 専門家の判断(安全評価の解析において前提とする核種移行経路)、 4-2-3 水理解析コード、 4-2-4 地下水移行時間解析コード、 4-4-1 専門家の判断(天然バリアの性能評価モデル設定の考え方) 4-8-1 専門家の判断(単一亀裂中移行モデルの設定)、 4-8-2 専門家の判断(単一亀裂の重ね合わせ手法の設定)、 4-8-3 専門家の判断(多孔質媒体モデルの設定)、 4-9-1 専門家の判断(動水勾配データの設定)、 4-9-2 専門家の判断(亀裂の透水量係数分布データの設定)、 4-9-3 専門家の判断(亀裂の開口幅分布データの設定)、 4-9-4 専門家の判断(巨視的分散長データの設定)、 4-9-5 専門家の判断(マトリクス拡散深さデータの設定)、 4-9-6 専門家の判断(マトリクス拡散寄与面積率データの設定)、 4-9-7 専門家の判断(有効間隙率データの設定)、 4-9-8 専門家の判断(乾燥密度データの設定)、 4-9-9 専門家の判断(実効拡散係数データの設定)、 4-9-10 専門家の判断(分配係数データの設定)、 4-9-11 専門家の判断(多孔質媒体の透水量係数データの設定) 4-10-1 専門家の判断(レファレンスケースの断層中核種移行解析モデルの設定)、 4-11-1 専門家の判断(母岩からの核種移行率データの設定)、 4-11-2 専門家の判断(透水量係数データの設定)、 4-11-3 専門家の判断(分散長データの設定)		
		収着モデル	4-7-7 専門家の判断(分配係数データの設定)	
		第一原理計算モデル	(無し)	
		コロイド移行モデル	3-21-1 コロイドろ過モデルによる評価、 3-21-2 ベントナイトコロイド発生モデルによる評価、 3-21-3 コロイド移行モデルによる評価(3安全シナリオ評価)	
		界面電気現象モデル	(無し)	
		地質	地質モデル	水理解析の対象となるモデル(4-2-2「水理構造モデル...」出力)
			水理場モデル	水理解析の対象となるモデル(4-2-2「水理構造モデル...」出力)
			地球化学解析ツール	(無し)
		環境	地球化学データ	4-7-2 専門家の判断(地下水組成データの設定)
			地質データ補間ツール	4-2-2 水理構造モデルによる評価
地質調査データ	地質調査データ(4-2-2「水理構造モデル...」入力)			
生物圏	決定論モデル	4-12-1 専門家の判断(GBIの設定) 4-12-2 専門家の判断(FEPリストの設定) 4-12-3 専門家の判断(相互作用マトリクスの設定) 4-15-1 線量換算係数の算出		
	コンパートメント モデル	4-12-1 専門家の判断(GBIの設定) 4-12-2 専門家の判断(FEPリストの設定) 4-12-3 専門家の判断(相互作用マトリクスの設定) 4-12-4 専門家の判断(生物圏構成要素をコンパートメントとしたモデルの設定) 4-13-1 専門家の判断(レファレンスケースの生物圏データの設定) 4-14-1 専門家の判断(線量への換算方法の設定)		
	現地データ	4-12-1 入力(わが国の人工分布、取水源データ) 4-13-1 入力(灌漑水量、河川流量、食物の生産・消費量など)		

表 2.2.4-5 階層化された知識ベースとモデル・データの対応(1)

分類	階層化された知識ベース	モデル
人工バリア	核種移行モデル	ガラス・オーバーパック中核種移行モデル 緩衝材中核種移行モデル 緩衝材外側境界モデル データ：オーバーパック寿命、処分場内温度場、緩衝材外側の地下水流量
	実効拡散係数予測モデル	拡散係数モデル
	界面電気現象モデル	(無し)
	第一原理計算モデル	(無し)
	収着モデル	分配係数モデル
	第一原理計算モデル	(無し)
	NF 水理モデル	単一亀裂中移行モデル 単一亀裂の重ね合わせモデル 多孔質媒体モデル データ：動水勾配、亀裂の透水係数分布、亀裂の開口幅分布、巨視的分散長、マトリクス拡散深さ、マトリクス拡散寄与面積率、有効間隙率、乾燥密度、実効拡散係数、分配係数、多孔質媒体の透水係数
	FF 水理モデル	
	溶解度モデル	核種溶解度モデル (Davies の活量係数補正式) 核種溶解度モデル (Pitzer の活量係数補正式) データ：溶解度データ
	水質予測モデル	地球化学平衡計算モデル
	熱力学データ	(熱力学データベース)
	崩壊計算モデル (ORIGEN)	崩壊計算モデル
	使用済み燃料データ	JNFL 殿ガラス固化体仕様 (設計の前提条件)
	ガラス溶解モデル	ガラス溶解モデル データ：ガラス溶解速度、ガラス表面積
	ガラス溶解現象論モデル	(無し)
第一原理計算モデル	(無し)	

表 2.2.4-6 階層化された知識ベースとモデル・データの対応(2)

分類	階層化された知識ベース	モデル
天然バ リア	1次元物質移動場モデル	水理解析コード 地下水移行時間解析コード 亀裂媒体・多孔質媒体の区別 単一亀裂中移行モデル 単一亀裂の重ね合わせモデル 多孔質媒体モデル 断層中核種移行解析モデル データ：核種移行経路、 動水勾配、亀裂の透水係数分布、亀裂の開口幅分布、巨視的 分散長、マトリクス拡散深さ、マトリクス拡散寄与面積率、 有効間隙率、乾燥密度、実効拡散係数、分配係数、多孔質媒 体の透水係数、断層中核種移行データ（移行率、透水係数、 分散長）
	収着モデル	分配係数モデル
	第一原理計算モデル	（無し）
	コロイド移行モデル	コロイドろ過モデル ベントナイトコロイド発生モデル コロイド移行モデル
	界面電気現象モデル	（無し）
地質環 境	地質モデル	地質モデル
	水理場モデル	水理場モデル
	地球化学解析ツール	（無し）
	地球化学データ	データ：地下水組成
	地質データ補間ツール	地質構造モデリングツール
	地質調査データ	データ：地質調査結果
生物圏	決定論モデル	GBI、FEP リスト、相互作用マトリクス 線量換算係数の算出モデル
	コンパートメントモデル	GBI、FEP リスト、相互作用マトリクス 生物圏構成要素をコンパートメントとしたモデル 線量への換算方法 線量換算係数の算出モデル
	現地データ	データ：わが国の人工分布・取水源データ、 灌漑水量、河川流量、食物の生産・消費量など

### 3. 地層処分統合解析システムの実用化の検討

#### 3.1 処分技術・性能評価を重点とした検討

2.1.1 節の検討でまとめた統合解析システムの構成要素，すなわち相関マトリクスおよびワークフローを踏まえて，地層処分の研究開発の策定・推進と全体評価を支援する計算機システムの基本設計を行い，実用化のために必要な技術課題について整理する。

##### (1) 統合解析システム概念構成

平成 15 年までに開発を進める統合解析システム，すなわち体系化された知識ベースを計算機に展開した場合の最終的な概念構成について検討した。まず，統合解析システムに求められる機能については，研究 3 分野間の整合性の向上と研究成果（知識／知見）の共有化が最も重要であると考えられる。これは，解析コードを同一環境（プラットフォーム）で実行する機能，すなわち既に開発が終了し運用に供している解析管理システム(CAPASA)で実現している機能をすべての評価／解析コードに展開することを目標とするのではなく，あくまでも情報（データ）の流れに重点を置き，データを中心としたシミュレーションの実現と判断（意志決定）に資する情報提供を第一目標として開発を進めることを念頭においている。

今後，処分事業や安全規制の策定が進むにつれて，処分地が持つ条件（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，人工バリア・地質環境等に対する評価モデルおよびパラメータを設定し，性能評価（安全評価のみならず，人工バリアの健全性評価も含む）を実施していくことが重要となる。これは，地質環境条件や処分場の設計パラメータと整合の取れた評価モデル／データを使用したか，また，実際に取得されたデータをどのように判断し処理して評価に使用したか，がポイントとなる。すなわち，データ取得から設計・評価解析に至るまでの一連の手順と判断が技術基盤情報であり，かつ解析評価体系の構築に相当するものと考えられる。

第 2 次取りまとめにおける安全評価においては，仮想的な地質環境（処分場下流側に大規模な断層破砕帯が存在）に理想的な処分システム（所期の安全機能がすべて発揮）が構築されていることを前提として評価が実施されている。サイトを特定しないジェネリックな段階にあった第 2 次取りまとめにおいては，前提条件（地質環境条件）をこれ以上具体化することはできないため，あまり議論の余地はない。しかしながら，核種移行評価上の初期条件の一つである緩衝材の厚さと密度に関して，初期乾燥密度  $1,770 \text{ kg/m}^3$ ，厚さ 64 cm の緩衝材ブロックが膨潤後に乾燥密度  $1,600 \text{ kg/m}^3$ ，厚さ 70 cm になった状態を前提条件と

していることに対して、

- 埋設後 1,000 年の間にオーバーパックスの腐食膨張や沈下により緩衝材の状態はどうなっているのか、
- 岩盤のクリープ変形や緩衝材の膨潤により、周辺岩盤（特に掘削影響領域）の状態はどうなっているのか、

などの素朴な疑問を持つ人も少なくない。これらの現象については、人工バリアの埋設後健全性評価の結果を踏まえて、シナリオ分析の段階で影響が小さいと判断し除外しているが、このような現象をどのように判断し安全評価（核種移行評価）に反映したかを分かり易く提示していくことが知識ベースの体系化であると考えられる。

すなわち、どのような環境条件に処分システムがどのように設計・構築されており、安全評価の前提となる処分後 1,000 年時点（厳密にはオーバーパックスの破損時点で、これ自身も確定値ではない）の人工バリアおよび天然バリアの状態はどうなっているのか、これをどう判断して安全評価を行っているのか、を示していくことが肝要と考えられる。このように、研究 3 分野間で実施されている基盤的研究を体系化した知識ベースの構築とデータのリンク（情報の流れ）に重点を置いたシステム開発が必要と考えられる。

以上のような観点から、2.1.1 節で検討した相関マトリクスを計算機に展開し、各分野の研究項目からどのような情報（データ）が得られるのか、その研究項目における検討状況はどうなっているのか、現状の成果（知見）に基づいてどう評価データを設定するのか、もしくは設定したのか、が提示できるようなシステムの開発を目標とする。相関マトリクスに基づく知識ベースの計算機展開イメージ（概念）を図 3.1-1 に示す。システムから最初に起動される相関マトリクスは研究 3 分野を示すマトリクスであり、対角要素を選択すると下位の相関マトリクスが展開されていく構成とする。また、非対角要素を選択すると、そこでの情報の流れに従って、データが付帯情報（例えば、取得条件、取得方法、制約条件など）とともに提示される構成を考える。ここで、必要なデータは抽出プログラムによってデジタルデータとして取り出すことができる機能を備えることにより、評価解析に使用できるようにする。さらに、マトリクスを最下位まで展開した場合は、対角要素を選択することによりワークフローを表示させたり、より詳細な研究内容の情報が提示できるようにする。すなわち、試験であれば、試験の内容、条件、取得データなどの情報が提示され、評価解析であれば、コードの概要、評価に使用したデータ、および解析結果などの情報が提示される。ここで重要なことは、単なるデータの表示だけではなく、取得されたデータをどう判断し、どう処理して評価に使用したか、の情報を合わせて提示することであ

る。これはデータのための共有化ではなく、情報の判断の共有化であり、これが知識ベースの根幹になると考えられる。また、評価解析結果の提示では、そのパラメータがバリア性能（線量）にどの程度の影響を及ぼしているのか、不確実性による結果の変動範囲はどの程度になるのか、等の情報を提示することも重要であると考えられる。

さらに、これらの情報の流れをより視覚的に表現することも、情報の確実な伝達のために有効である。すなわち、図 3.1-2 に示すように、相関マトリクスに基づいて、情報（データ）を 3 次元的に表現することで、対象としている地質環境条件（サイト特性）はどのようなものであるか、データを取得したボーリング地点はどこか、サイトを構成する複数の地層（岩種）毎にどのようなデータが得られたのか、が視覚的に確認できる。このような情報に基づき、処分場をどう設計するか（どの岩盤にパネルを展開するのか）、天然バリアの安全評価の対象範囲はどこか、などを判断することが容易になると考えられる。これは、設計や評価の担当者だけでなく、担当者以外の研究者にとっても、どのような地質環境にどのような処分システム（人工バリア）が構築されているか、が容易に理解できるようになる。ここで、性能評価を進める上で重要なことは、ボーリングデータのように空間的に離散化されたデータを、対象とするサイト空間にどのように補間・展開し空間分布を作成するかである。多孔質岩盤を対象とした天然バリア評価では、地質統計学的手法を用いて不均質透水係数場を発生させているが、他のパラメータ（岩盤物性など）についても空間的な補間（展開）を行い、系全体に対するデータ空間を構築する必要性が生じるかもしれない。もしくは、岩種毎の相違は考えるものの、岩種内では同一データを採用する方法も選択肢の一つである。これは取得されたデータの処理・判断に依存するものであり、このような判断に係わる情報の管理と提示が今後の研究を進める上で肝要である。したがって、データ分布図を表示する場合には、どのような処理・判断を採用しているかを、データの種類毎に提示する。

次に、性能評価（人工バリアの健全性評価および核種移行評価）を実施する場合には、どの地層（岩盤／岩種）にどのように処分施設が構築されており、詳細な構成（処分孔や坑道の仕様、離間距離、埋設ピッチなど）はどうなっているかを視覚的に確認した上で、評価を実施することが可能となる。特に、設計された人工バリアシステムに対する健全性評価の結果の提示は、安全評価（核種移行評価）の担当者／解析者自身が、系の状態がどうなっているのか、この結果をどう判断して核種移行評価を行うべきか、を確認する上で不可欠である。例えば、オーバーパックの沈下解析の結果では、10,000 年間の沈下量は縦置きで約 5 mm 程度であるが、緩衝材の沈下とオーバーパック側方の緩衝材の隆起が発生するため、緩衝材の密度は不均一となる。第 2 次取りまとめにおいては人工バリアシステムに対して有意な影響はないとしているが、なぜ影響はないのか、なぜ均一条件で解析するの



か、の判断を示すとともに、オーバーパック沈下モデルの改良や人工バリアの設計仕様の改訂に伴う沈下状況の変化など、最新の研究成果を核種移行評価に反映していく必要がある。また、逆に、緩衝材密度の変化や不均一化はどの程度まで許容できるのかなど、核種移行評価の結果に基づいて、設計担当者へフィードバックしていくことが肝要である。このような評価解析の最新の結果を常に同一システム上で確認できるようにするとともに、情報処理の判断を併せて提示することが、研究成果の共有化に有効であると考えられる。

なお、解析に入力するデータについては、図 3.1-2 の左側に示しているように、抽出プログラムにより必要なデータをデジタル値（テキスト形式）でデータベースから取り出して、各解析者がそれぞれ評価に使用する。また、解析結果や試験データ等は登録プログラムによりデータベースに登録・保存する。このようなデータ抽出/登録プログラムを用意することにより、統合解析システムと様々な解析コードの間のリンクを図る方法が効果的であると考えられる。この方法では、基本的に評価に使用する解析コードの開発によって統合解析システム自身が影響を受けることは少ない。また、評価に使用している解析コードと類似のコードを統合解析システムのために新規に開発する必要もない。解析コード用に開発するプログラムはデータ抽出/登録プログラムだけであり、統合解析システムへの影響を最小限にすることができる。ただし、データベースの構造が変更になる場合も考えられるため、あらかじめ柔軟性を持たせたデータベースを構築しておくことが、システムの拡張性を高める上で重要となる。

以上に述べたような概念を実現するシステムの機能について、フローとして整理したものを図 3.1-3 に示す。基本的には、図 3.1-1 に示したように関連マトリクスを順次展開して技術基盤情報を検索・表示する機能と、図 3.1-2 に示したように情報を視覚的に検索・表示する機能に分けて考えることができる。

ここで、統合解析システムに対して、サイクル機構殿で現在運用中の解析管理システム（CAPASA）のような解析コードの実行・制御機能をシステムに持たせる場合と、上述したように実行・制御機能を直接的には持たせない場合のメリット・デメリットを比較した結果を表 3.1-1 に示す。解析コードの実行制御機能を持たせる場合は、CAPASAと同様に既存の解析コードを活用していく開発方法と、汎用的なプログラム開発環境ツール等を用いて新規にコードを開発していく方法に分けられる。いずれの方法を採用するかは、解析コードの接続・評価に重点を置くか、連成解析等のより複雑な評価の実施に重点を置くか、情報の処理・判断に対する共有に重点を置くかで変わり得る。解析コードの接続・評価に重点を置いた場合は、既に実用フェーズにある CAPASA システムの概念・手法を踏襲した方法が最も実現性が高いと考えられる。これまでの CAPASA は、表 2.1.2-2 に示した性能評価

(核種移行評価)に係わるモデルチェインを対象とした解析コードの接続・評価を実現するために開発されたものであるが、昨年度に実施した「処分場の設計評価等に関する統合化システムの開発」において、処分技術分野で使用されている解析コードに適用するための検討を行い、プロトタイプにより実現可能性を確認している。また、解析コードの実行制御機能を実現する方法の代案として、汎用的なプログラム開発環境ツールを用いて、統合化された環境の上に新規にモデルを構築していく方法も考えられる。この方法では同一の開発環境を用いるため、モデル間の接続や連成に対する適用性は向上するが、既存コードが活用できない可能性もある。一方で、これまで述べてきたように、解析コードに関しては直接的な実行制御は行わず、入出力データの接続に若干の人手を介することを前提とした上で、データの流れやデータ処理における判断に対する共有化・統合に重点を置いたシステムの構築もあり得る。最終的には、システムの使用対象者を含めた運用形態に合わせて、システムの開発方針を決定していく必要がある。

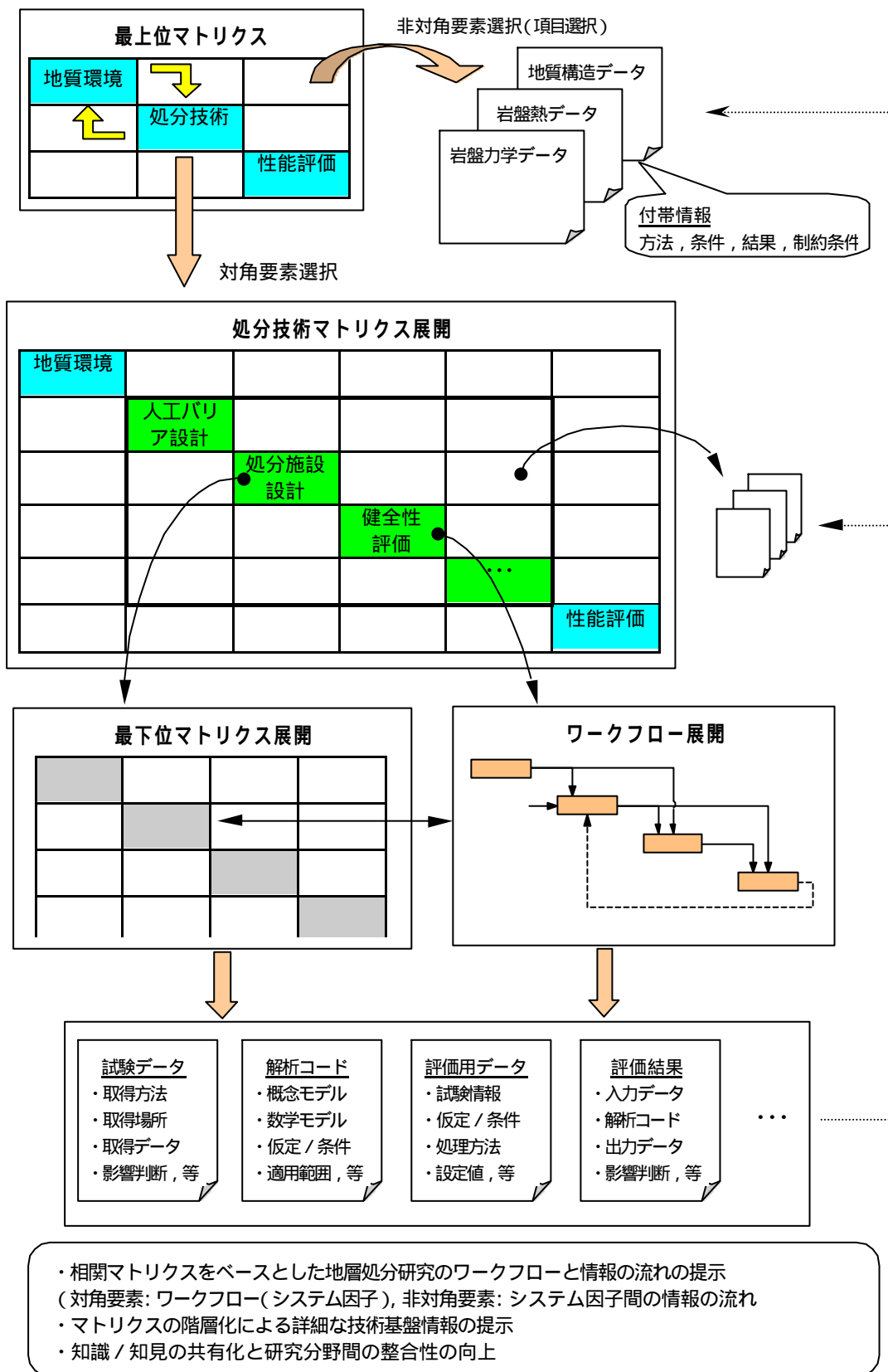


図 3.1-1 知識ベースの計算機展開イメージ

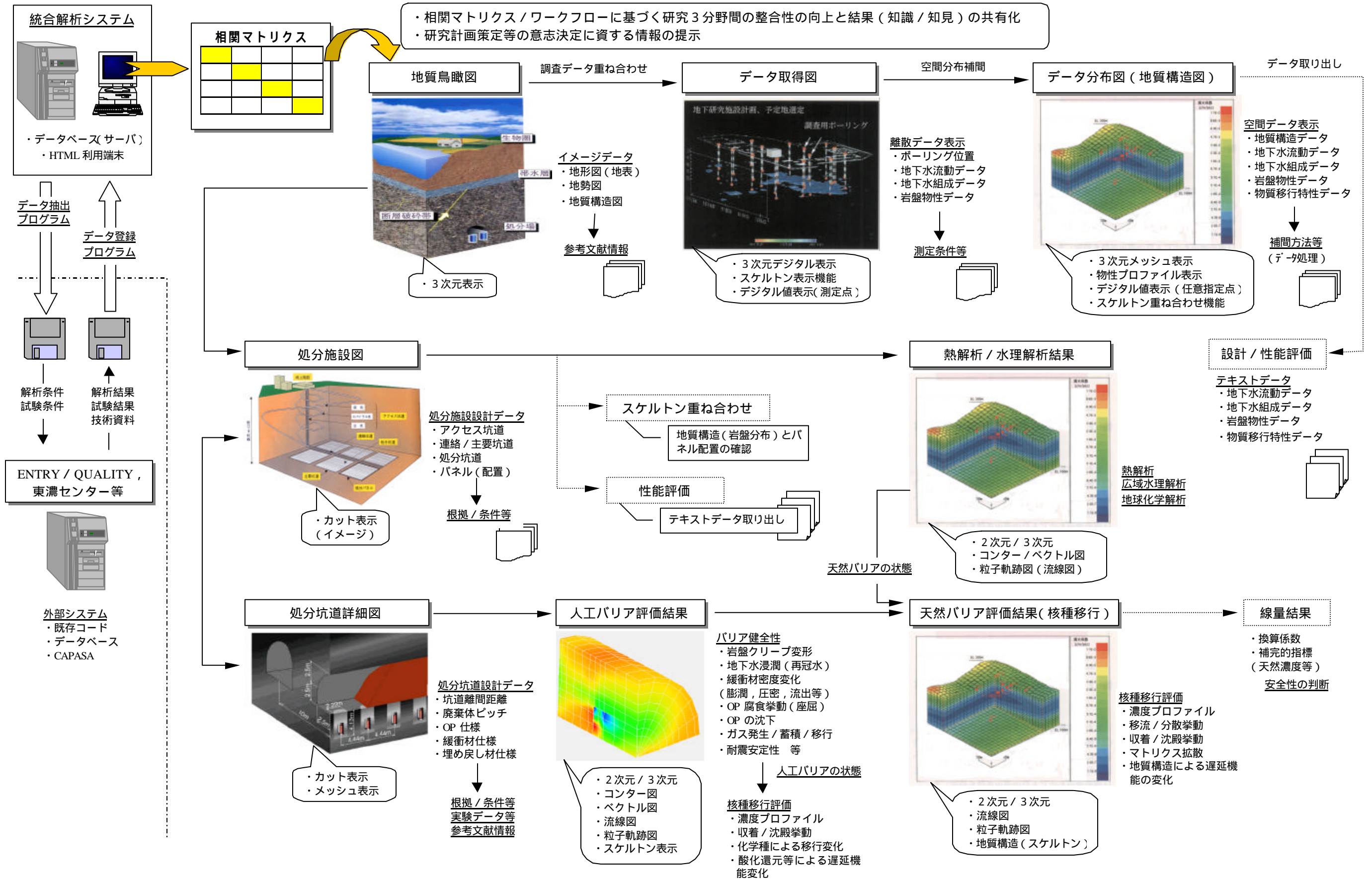


図 3.1-2 知識ベースに基づく統合解析システムの活用イメージ

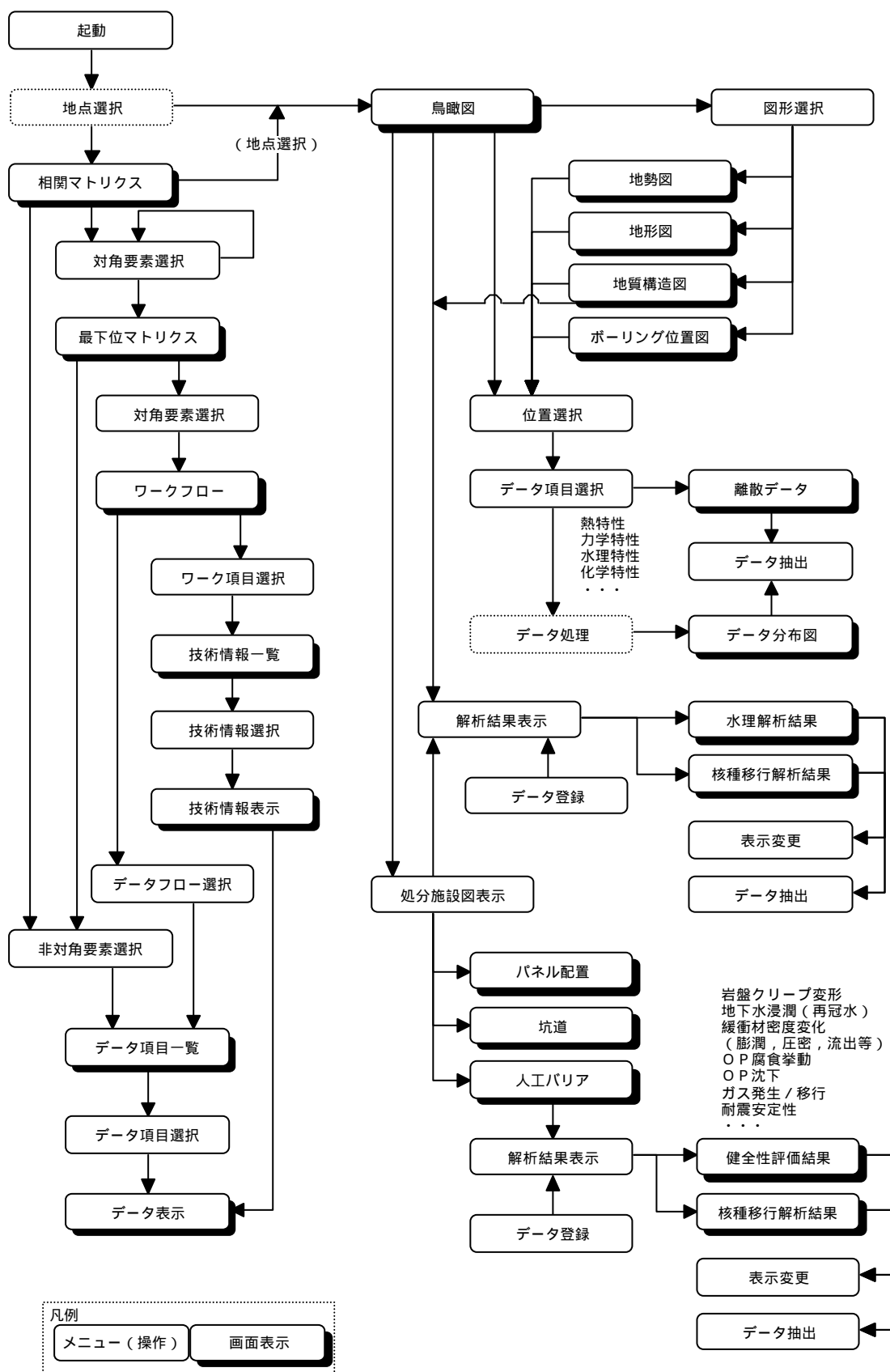


図 3.1-3 システムの機能概念図

表 3.1-1 解析コードの制御機能による統合システムの比較

解析コードの制御		長所	短所
あり	既存モデル活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>既に開発してきた解析コード（資産）が有効活用できる。</li> <li>解析に使用したデータおよび結果をデータベースに自動保存することができる（入出力データの対応付けが容易）。</li> <li>解析コード間のデータ接続プログラムにより、データの受け渡しが自動化できる（データの整合性向上）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統合システムへの解析コードの登録、および実行制御プログラムの開発作業が膨大である（解析コードの分析作業から始めるため時間を要する）。</li> <li>解析コードの改良に応じて、システム側の変更作業が生じる（特に、データベースの構造変更）。</li> <li>解析コード間のデータ接続プログラムの開発作業が膨大である。</li> <li>現象の強連成モデルの開発は非常に困難である（既に完成した解析コードのアルゴリズムの変更は困難）。</li> <li>解析コードの特性によっては、システムへの登録ができない可能性もある（OS、GUI等の制約に依存）。</li> </ul>
	新規開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発環境ツールを用いてモデルを新規に開発するため、モデルの組み替えが比較的容易である。また、モデル間の連成に柔軟に対応できる（現象の強連成モデルの開発にも対応可能）。</li> <li>データベースとのリンクを図ることにより、解析の入出力データの自動管理への対応が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムに固有の解析モデルを開発するため、資産が重複する（開発作業も重複）。</li> <li>新規コードの開発を行う場合、開発環境ツールの機能（制約）に合わせるため、モデルに制限が生じる可能性がある。</li> <li>分散並列処理に対する制御プログラムの開発が困難である（ただし、開発環境ツールの機能に依存）。</li> </ul>
なし		<ul style="list-style-type: none"> <li>解析コードの特性（特徴）にシステム自身が影響されない（コードに対する制限は基本的にない）。</li> <li>解析コードの改良や新規開発に伴うシステムへの影響（変更作業等）が比較的小さい。</li> <li>既に開発してきた解析コード（資産）が有効活用できる。</li> <li>解析評価の担当者は、今までの作業環境をそのまま使用できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コードとデータベース間のインターフェイスプログラムを自動で制御することができない。</li> <li>解析に使用したデータと解析結果の対応付けが自動化できない。</li> </ul>

(2) 統合解析システムの開発計画

前節で述べたシステムの概念および機能フロー（図 3.1.1-3 参照）の検討結果を踏まえ、平成 15 年度末までに開発する基本システムの開発計画を表 3.1-2 に示す。システムの開発は、図 3.1.1-3 に示したように、相関マトリクスを順次展開して技術基盤情報を検索・表示する機能を中心としてシステム全体を操作するための統合操作環境と、情報（データ）を視覚的に検索・表示する可視化機能、さらに各種データを管理するデータベースに分けて開発を進める。また、解析コードの入出力データを抽出/登録するためのインターフェイスプログラムも、データベースの開発とあわせて行う。これは、現在サイクル機構殿で使用されている解析コードを対象として、各コード毎にプログラムを準備することを考えて

いる。なお、解析コードの実行制御については、基本システムの開発によって、データとその流れを中心としたシステムの機能が実現されたことを確認した上で、システム上で解析コードを実行制御するための機能拡張を行うこととする。この際に、データ抽出/登録プログラムを有効に活用していくことができると考えられる。

表 3.1-2 統合解析システムの開発計画

開発フェーズ	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
	概念検討	基本システムの開発			運用 拡張
統合操作環境					
・基本設計					
・詳細設計					
・プロトタイプ(機能確認)					
・製作					
・解析コードの制御機能					
統合データベース					
・概念構成検討					
・既存DB調査					
・詳細設計(データベース構造)					
・製作					
・データ抽出/登録用インターフェイス					
可視化機能					
・概念検討					
・ツール調査					
・詳細設計					
・プロトタイプ(機能確認)					
・製作					

## 3.2 地層処分統合解析システムの実用化の検討

### 3.2.1 知識ベースの検討

本節では、前節までの地層処分統合解析システムを構成する知識ベースの検討結果に基づいて、地層処分統合解析システムの複雑かつ膨大な知識ベースを手順書に取りまとめるための方針を検討した。

#### (1) 知識ベースの意味

本報告書では、第2次取りまとめ報告書の記載に基づいて3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・確認した。さらに特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。作成されたシステム因子と情報処理の流れを第2次取りまとめのシステム因子、及び、情報処理の流れと比較して、追加すべき事項を抽出した。

本報告書では、「知識ベース」と「地層処分統合解析システム」を同等なものとして取り扱う。そこで知識ベースとは、システムの観点から見た地層処分統合解析システムの情報の流れを表したものであり、「システム因子」と「情報処理の流れ」から構成されるという事ができる。

一般的に知識ベースは、人工知能分野におけるエキスパートシステムのように、知識を使って問題解決を行う知識ベースシステムの主要な構成要素である知識ベースとして使われる。この知識ベースには問題解決に必要な知識が多種類の知識表現の方法、例えばif..then..形式のようなルールの形式などで収納されている。本報告書では、知識ベースに人工知能における知識の集積システムではなく、別の意味を与えている。

#### (2) 手順書の検討

第2次取りまとめ報告書の記載に基づいて整理検討された知識ベースはシステム開発に当たり、仕様を提供する手順書に記載される。本項では、システム仕様を規定する手順書について検討する。

一般的にコンピュータ・システムの設計は以下の段階に従って実施される。

##### 基本設計

システムの要件を抽出し、それを基にシステムのアウトラインを作成し開発計画として立案する。



具体的には、システムの目的、システム化の範囲、開発計画、全体像を規定する。処理の流れをデータフローダイアグラム等により規定する。

計算機のソフトやハードに依存しないマシン独立な設計を行うのが特徴である。

#### 外部設計

基本設計を基にシステムの持つべき機能や画面、帳票などのユーザとのインターフェースを規定する。

具体的には、システム開発対象を明確にし、同種のはサブシステムに分割する。入力・出力データのレイアウト作成、画面・帳票作成、ファイルやデータベースに蓄積するデータ項目・構造を決定する。基本設計で作成したダイアグラムを詳細化する。

計算機のソフトやハードに依存しないマシン独立な論理設計を行うのが特徴である。

#### 内部設計

外部設計を基に、計算機のハード、ファイル・入出力装置、データベースやコード等のアプリケーションを考慮した計算機内部の内側の設計を行う。

具体的には、プログラム単位の処理の順番と、個々のプログラムの処理内容、ファイル等の入出力を一連の流れとして規定して、ソフトウェア構成やプロセスのフローを検討する。また、データ設計を行い、データベースやファイルの構造を規定する。

計算機のソフトやハードに依存する設計を行うのが特徴である。

以上のようにシステム設計は基本設計、外部設計、内部設計という順番で実施されるが、本報告書の「地層処分統合解析システムの実用化の検討」は「基本設計」に相当すると考えられる。本報告書ではマシン独立の検討が行なわれており、また、システムの目的や開発計画、全体像の作成が目的であるからである。さらにシステム因子・情報処理の流れはデータフローダイアグラムによる処理の流れの検討に似通っているからである。

### (3) システム因子・情報処理の流れの特徴

前節までに検討されたシステム因子・情報処理の流れは以下の特徴を持つと考えられる。

システムをプロセス及びデータの観点から整理した情報である

「システム因子」はイベント、特性およびプロセスや、それらを定量的に評価するモデル/コードなど、地層処分統合解析システムの構成因子となるものを意味する。したがって、データを処理するプロセスに相当すると考えられる。

「情報処理の流れ」はデータのハンドリングなどの各担当者の思考・判断過程など、3 研究分野間あるいは「システム因子」間を結合するための情報処理とそこでの情報の流れを意味する。従って、プロセスに受け渡されるデータに相当するが、単なるデータではなく、それに担当者の判断などが入っている事がデータとの相違点と考えられる。

データの流れの視点でシステムの仕様をまとめている

システム因子・情報処理の流れは、担当者の判断が入っているが、基本的にデータとそれを入出力データに利用しているコード等のプロセスから構成されている。従って、データの流れの視点でシステムの仕様をまとめている点はデータフローダイアグラムと同じである。

シナリオによる表現が適当である

システム因子・情報処理の流れには、人間の判断が入っているため、様々な分岐が発生すると考えられる。従って、データ処理の流れがいくつも存在するため、シナリオによるデータ処理の流れが適当であると考えられる。

階層化構造を持つ

システム因子・情報処理の流れには、階層化構造を持ち、いくつものレベルに分類される。例えば、性能評価という分野がさらに、核種移行や水理解析に分類され、核種移行は人工バリア、天然バリアというようにさらに分類される。また、階層化分類の方法も一意には決まらない事が特徴である。階層化構造に対応している点はデータフローダイアグラムと同じである。

以上から、システム因子・情報処理の流れ(つまり知識ベース)は一般のコンピュータ・システムの基本設計書の中で重要な役割を果たすデータフローダイアグラムに相当すると考えられる。また、手順書は一般のシステムの基本設計書に相当し、地層処分統合解析システムの開発の仕様となる文書であると考えられる。

#### (4) 手順書へのシステム因子・情報処理の流れの取り入れの検討

##### (a) システム因子・情報処理の流れの取り入れの検討

前項までの検討から、システム因子・情報処理の流れは人間の判断により多種類のパターンを持つ、データフローダイアグラムに相当すると考えられる。そこで、一般的なシステム設計の手法に従い、手順書(システム設計書)に基本設計の成果である知識ベ

ース（システム因子・情報処理の流れ）を取り入れるのが適当であると思われる。

システム因子・情報処理の流れのグラフを見ると、それは既にデータフローダイアグラムに近い形でグラフ化されている。よって来年度システムのより詳細な設計が開始された時点では、手順書にグラフ化されたシステム因子・情報処理の流れをそのまま取り入れるのが有効であると思われる。設計が進み、より詳しいシステムの仕様が作成されたり、あるいは、システムの開発が進んでプログラムレベルの仕様書が作成される段階になると、段階に応じた新しい種類の仕様書を作成し、手順書に取り入れる事が重要である。

#### (b) 品質管理の観点からの検討

今後システムの開発が進むに従って、システム因子・情報処理の流れは見直され、複雑になっていくと考えられる。システム因子・情報処理の流れは手順書でも重要な位置を占めるため、変更履歴等を正確に残す事が必要であると思われる。そこで品質管理の観点からシステム因子・情報処理の流れと共に記録する事が必要なデータ項目を検討する。

品質管理の目的は以下である。

システム因子・情報処理の流れの作成、更新記録を管理する

システム因子・情報処理の流れの作成、及び、更新時に作成者、作成日、承認者などの記録を残し、作成更新の履歴を保存する。また、システム因子・情報処理の流れの作成・更新の理由を記録して、多くのユーザがシステム因子・情報処理の流れの作成・更新記録を見てその変更理由や背景知識を理解できるようにする。

システム因子・情報処理の流れの作成、更新記録へ透明性を与える

システム因子・情報処理の流れの作成・更新記録をデータベースに記録する事により、品質管理記録を多数のユーザがキーワードから検索する事を可能とする。これにより品質管理記録の公開性、透明性、追跡性を実現する。

#### (c) 計算機システムへの展開

システム因子・情報処理の流れは多数のデータフローダイアグラムから構成されるので、計算機への展開は容易である。データフローダイアグラムの処理の流れから、データベース、画面・帳票、解析コードの仕様を導出する事が可能なため、システムの開発

に効率良く結び付ける事ができる。図 3.2.1-1 にデータフローダイアグラムとより詳細なシステムの仕様との関係を示す。

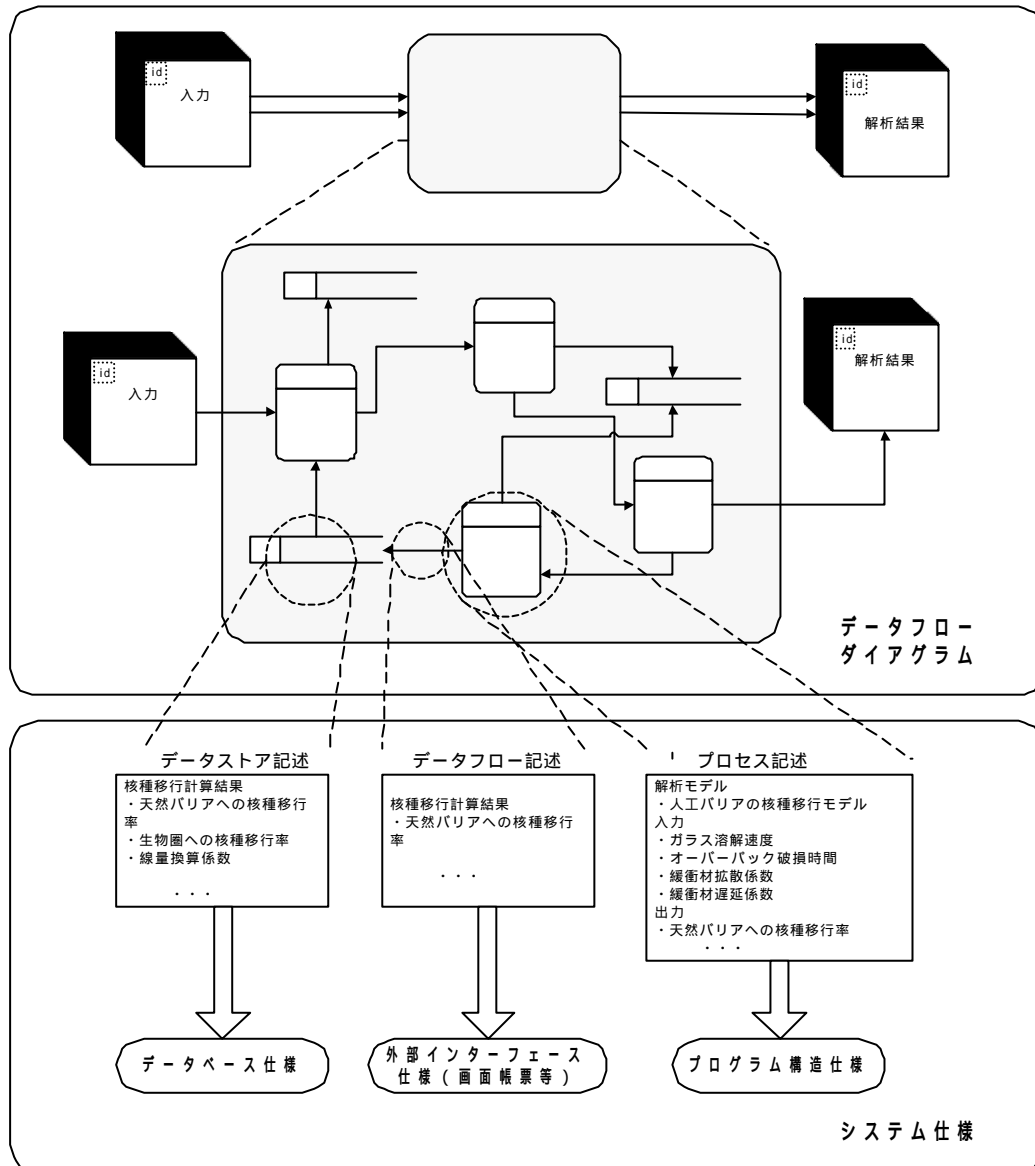


図 3.2.1-1 データフローダイアグラムとシステム仕様との関係

#### (5) 手順書のサンプル

前項までに検討した手順書のサンプルを作成した。(図 3.2.1-2) サンプルとしては、処分場の場所選定に利用する地質環境と性能評価をリンクした解析の流れを採用した。

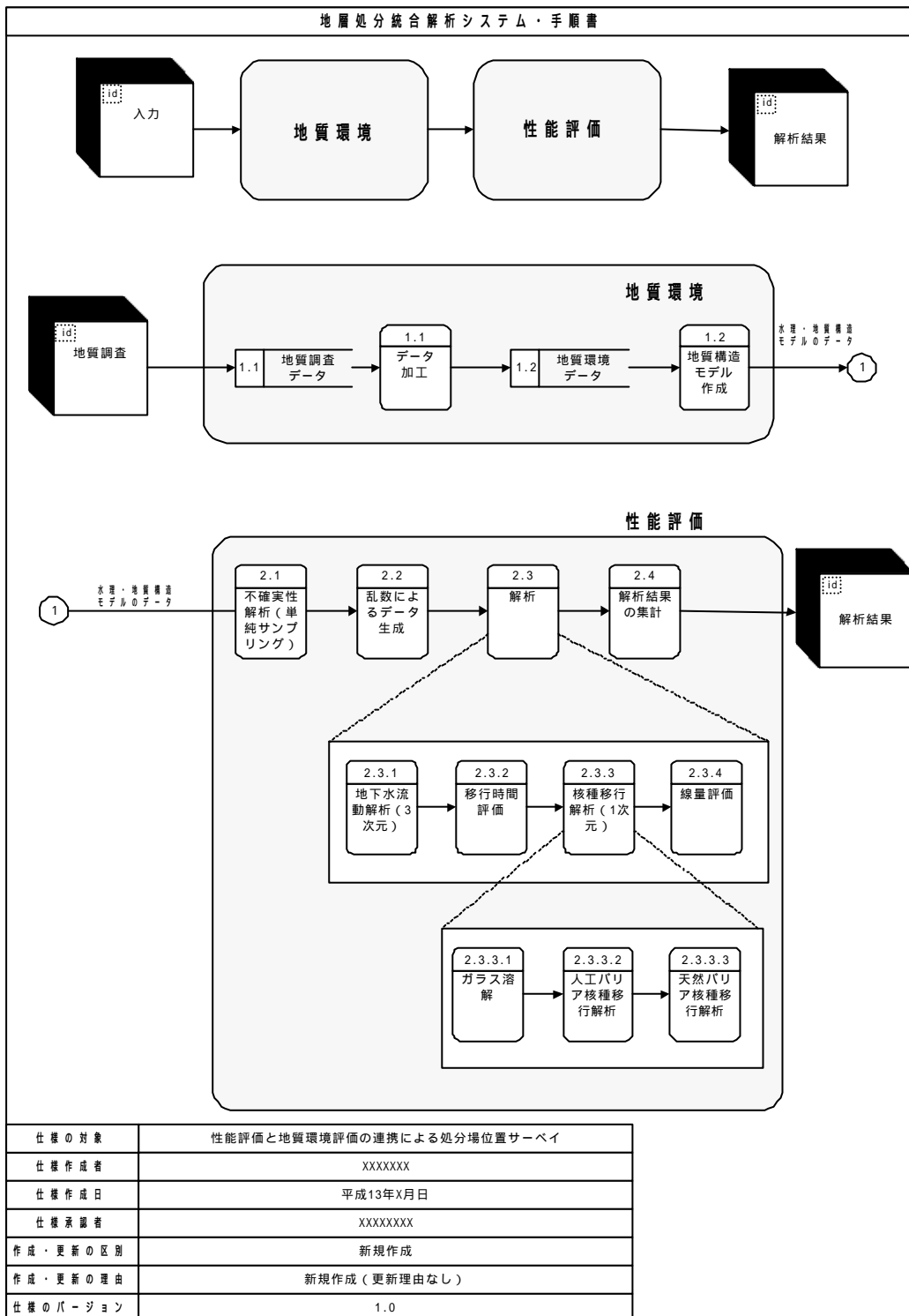


図 3.2.1-2 手順書のサンプル

### 3.2.2 システムの基本設計

本項では、数値地層処分統合解析システムのシステム因子・情報処理の流れに関する検討結果を基にして、システムの機能要件をまとめて、システムを構成するサブシステムを検討した。システムの構成要素に対して、開発の優先度、及び、技術的難易度（ツール構築の観点、データ・モデルの入手可能性の観点等）を検討してシステムの全体像を描いた。さらに今後の開発計画を策定した。

#### (1) システムの機能要件

##### (a) システムの構築目的

地層処分統合解析システムの構築目的は以下と考えられる。

原子力発電環境整備機構が、概要調査地区における調査の初期段階での活用が可能なシステム（安全審査基本指針の検討等への活用）を開発すること。

地層処分統合解析システムのプロトタイプの開発

この目的に基づいて開発される地層処分統合解析システムに要求される機能要件を検討する。機能要件の検討にあたっては、以下の3つの観点から機能要件を整理検討した。

- ・ 概要調査地区における調査段階に要求される解析機能を実現できる
- ・ 効率の良い解析が実行可能な解析ツールである
- ・ システムの運用、維持管理が可能である

#### 1) 概要調査地区における調査段階に要求される解析機能の観点からの検討

概要調査地区における調査段階に要求される解析機能は2.2.3章で検討した。サイト選定の機能が必ず必要な解析機能であるが、概要調査地区における調査段階でも設計のための地質環境データが取得されるため、設計の最適化機能をシステムに持たせて処分場設計の検討が可能な環境を作る事が望ましいと考えられる。

この観点からシステムに要求される機能は以下である。

- ・ システム因子・情報処理の流れに対応するコード、及び、データベースを持つこと
- ・ 知識ベースに対応する解析コード、データベースの中で、2次取りまとめ使用されたコードやデータベースに不足しているアプリケーションをシステムに追加する事が必要である。例えば、性能評価における水理（地下水流動解析）、移行時間評価、線量評

価コード、及び、地質環境評価における地下構造モデル作成ツール等が不足していると考えられる。また、コストによる処分場の最適化には経済性評価機能が必要である。

- ・高速計算機能

性能評価における水理解析コードについては、3次元の移流拡散計算が必要であり、計算負荷が高い。また、不確実性解析をモンテカルロ法で実行するためには、同様に計算負荷が大きくなるので、高速計算機能（並列分散）が必要である。

## 2) 効率の良い解析ツールの観点からの検討

効率の良い解析ツールの観点から機能要件を検討する。まず、概要調査地区における調査段階に要求される解析の作業内容や作業量などについて検討する。

概要調査地区における調査段階に要求される解析では、既に検討された処分場の位置決定のための解析は勿論のこと、データベースへのデータ入力、データの維持管理、性能評価計算などの安全評価の実務作業が実施されと考えられる。

安全評価の実務作業の特徴として以下が挙げられる。

- ・ 莫大な地質環境データを登録、維持管理する。
- ・ 多数回の安全評価計算を実施する。
- ・ 安全評価計算は多数の人員により並行して行われる。

安全評価計算では、ガラス、緩衝材、岩盤という様に複数のコードをデータを受け渡しながら一連の流れ形成して解析が行われると考えられる。よって解析コード単体で解析を実行する機能以外にも、シナリオに基づいて複数の解析コードによる一連の解析を行う機能が必要になる。処分事業の性能評価の作業量は莫大になると予想されるため、シナリオに基づく一連の解析を行う機能により、性能評価の作業時間を低減できると考えられる。

また、解析に必要な入力データをデータベース等から検索し、検索されたデータを利用して解析を実施し、解析結果を必要に応じてデータベースに登録し、解析結果をユーザに理解し易く可視化する機能も必要となる。入力データの取得から解析結果の可視化を同じシステムで実行できると、解析作業の効率化に多いに寄与すると考えられる。

さらに処分事業における解析実務を実行するにあたっては、複数のユーザが解析を分担して実行する事が考えられる。よって解析に必要な情報を共有して、効率よく業務を

遂行する環境が必要となる。

地層処分で扱う地質構造データの特徴として以下が挙げられる。

- ・ 基本的に 3 次元の空間分布データである。
- ・ データ量が多く、データの空間、時間分布の特徴を読み取るのが難しい。

地層処分では地質構造を扱うため、3 次元の複雑に分布したデータを取り扱うのが特徴である。例えば地質環境評価システムの地下構造モデル作成ツールが取り扱うデータは 3 次元の複雑に分布したデータになると考えられる。また、性能評価システムの地下水流動解析は 3 次元モデルで行なわれるので、処分場のおよその位置決めは、地下水流動場を基に人間が判断する。よって 3 次元空間の地下水の流れを把握するためには、数値データの羅列では不十分であり、3 次元データの可視化機能が必要となる。3 次元データの可視化機能については、多種類の可視化技法が存在するため、データに応じて技法を検討する事が必要である。

地層処分の解析の特徴として以下が挙げられる。

- ・ 解析がシナリオに対応しており、シナリオ変更に対応できる事が必要である。

地層処分の解析は、多数の計算コードの連続であるが、それらの組み合わせはシナリオで表現される。例えば、処分場の位置決定のための解析では、地質環境評価と性能評価が不確実性解析により連携されている。性能評価で利用する核種移行モデルの一部を変更する場合は、残りの解析モデルは変わらないため、解析シナリオの一部を変更して再度解析を行う事になる。効率の良い解析を行うためには、シナリオ管理の機能が解析ツールに必要となる。

また、シナリオに基づく、多数回の複雑な解析を行うため、シナリオ、データ、モデル、及び、解析に対する品質管理が必要となる。

以上の観点からシステムに要求される機能は以下である。

- ・ 情報共有機能  
複数ユーザによる協調作業を効率よく進めるために、解析に必要な入力データ、コード、出力データをユーザが共有する機能が必要である。



- ・ シナリオによる解析機能、及び、プラットフォームの必要性

複数の解析コードによる一連の解析を知識ベースに対応するシナリオとしてシステムが管理して、ユーザが必要最小限の作業を行うだけで一連の解析を行う機能が必要である。解析の部分的な修正には、シナリオの部分的な修正により対応できる。また、シナリオ管理による解析機能の実現には、コードやデータベース間に自由なリンクを張る機能や、コードのシステムへの自由な搭載、削除等の管理が必要となる。この実現のためには、システムにミドルウェアとしてのプラットフォーム機能を持たせる必要がある。ミドルウェアとは、OS とアプリケーションの間に存在するソフトウェア層の事である。アプリケーションを OS に直接搭載するのではなく、ミドルウェアを通して管理する事により、自由な搭載・削除や、シナリオに基づいたアプリケーション間の自由な通信などが実現できる。

- ・ 入力データ、解析、結果の管理、可視化の一貫した解析機能

解析作業の効率化のため、入力データの準備から可視化までをシステムで実行可能とする必要がある。

- ・ シナリオ、データ、モデル、解析に対する品質管理機能

シナリオ、データ、モデル、解析の変更履歴などの品質管理データを追跡可能とする機能が必要である。

### 3)システムの運用、維持管理の可能観点からの検討

システムの運用、維持管理の可能観点から機能要件を検討すると以下となる。

システムの運用・維持管理のためには、運用・維持管理機能が必要である。大規模科学技術計算を実行するためには、高速の計算機が必要である。可視化機能の実現のためには、グラフィック専用計算機が必要である。また、データベースを搭載するには、必要なディスク容量を持つ計算機が必要となる。システムを構成するアプリケーションの種類により最適な計算機の種類が異なっているため、システムは複数の計算機から構成される事が予想される。よって分散システムに対応するため、どの計算機上に搭載されているアプリケーションも、他の計算機上のアプリケーションに同じ計算機上のアプリケーションと同程度に容易に通信可能である事が必要である。（位置の透過性）

以上の観点からシステムに要求される機能は以下である。

- ・ 位置透過性  
複数の異なった種類の計算機から構成される分散システムに対応できるには、透過性が必要である。
- ・ 運用管理、維持管理  
分散システムの運用管理、維持管理機能が必要である。

(b)外部からの制約条件

システムの機能要件の検討にあたり、外部からの制約となる条件は以下と考えられる。

- ・ 平成 15 年度末までにプロトタイプ completion が必要である  
平成 15 年度末までに地層処分統合解析システムのプロトタイプ completion が必要である。平成 15 年度以降は、最新の研究成果の取り込みおよび国や原子力発電環境整備機構の核燃料サイクル開発機構殿への要求の適切な把握を行いながらシステムの更新や改良を図り、特に概要調査地区における調査段階へ適用可能なシステムを完成する。
- ・ アプリケーションの原子力発電環境整備機構への移管にかかる法的問題  
JNC 殿が所有している性能評価や処分技術関係の解析コードをシステムに組み込み、原子力発電環境整備機構へ移管するに当たっては、法的問題に関して検討すべき事項があると思われる。  
JNC 殿所有のコードを原子力発電環境整備機構へ移管する場合の法的問題  
JNC 殿が所有するコードを組み込んだシステムを原子力発電環境整備機構へ移管する場合には、組み込まれた全コードについて著作権を確認する必要がある。  
JNC 殿所有のコードをシステムに組み込むに当たって、コードを部分的に修正する場合の法的問題及びソース開示の問題  
コードの修正を行う場合は、ソースレベルでの公開が必要であり、ソース修正に法的な問題があると修正ができなくなる。  
これらについては、ソフトウェアが対象であり、前例も少ない事から、慎重な検討が必要であると思われる。

## (2) システムの構成

### (a) サブシステムの構成

システムの機能要件を実現するため、システムを解析の種類や機能毎にまとめたサブシステムに分解して、サブシステム全体によるシステムが機能要件を満たすように、個別のサブシステム構成及び機能を検討した。

サブシステム構成及び機能の検討結果をまとめて表 3.2.2-1、表 3.2.2-2 に示した。これらの表には、各サブシステムの必要性、機能と共に、開発優先度、技術課題を検討して挙げた。また、サブシステム間のデータ交換内容について検討した結果を表 3.2.2-3 に示した。また、プラットフォームについてもサブシステムと同様に検討した。

概要調査地区における調査段階に要求される解析機能を実現する観点から、調査支援システム、地質環境評価システム、性能評価システム、処分技術解析システム、及び、処分場因子データベースが必要となる。効率の良い解析ツールの観点から、処分場因子データベース、可視化システム、品質管理システムが必要となる。

サブシステムの検討結果に基づいてシステムの構成図を検討して図 3.2.2-1 に示した。ここでは、データフローダイアグラムを用いて、サブシステム間のデータの流れ、及び、機能を明示的に表わしている。サブシステム間で交換されるデータの種類及び代表例について検討した結果を表 3.2.2-4～表 3.2.2-10 にまとめた。

システムに外部から提供されるデータは、地質環境調査と設計の前提条件となる。地質環境評価システム、性能評価システム、処分技術解析システムの3つの解析システムと処分場因子データベースが本システムの中心的な役割を果たし、データがこれらのシステム間で通信される。性能評価、及び、経済性評価結果はデータベースに収納され、コストによる最適化解析などに利用される。

品質管理及び可視化システムは、全システムから共通に利用されるため、特に位置を指定しなかった。また、図には示されていないが、全サブシステムはプラットフォーム上に搭載される。

表 3.2.2-1 各サブシステムの必要性と機能

サブシステム	必要性	機能
調査支援	地質調査計画の立案、変更を効率良く進めるための支援を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	調査データの管理機能
地質環境評価	地質データから地質構造、水理構造等を評価する。調査支援システムと連携して、天然バリア性能の定量化を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	地下構造のモデリング機能 調査支援システムとデータ交換する機能
性能評価	様々なシナリオを想定した人工バリア及び天然バリアの性能評価を行い、人工バリア性能の定量化を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	地下水流動解析機能 流跡線解析機能 核種移行計算機能 線量評価機能 第2次取りまとめに使用された主要コードによる解析機能
処分場因子データベース	安全評価及び施設設計のロジックを処分場因子の形で明確化し、解析の方向付けやシナリオの整合性確認を行う。地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現・効率の良い解析ツールの実現に必要)	処分場因子データの管理機能 一般データベースのデータを取り込み、性能評価用のデータセットを作成する機能 エキスパートの判断を知識ベースの形で取り込む機能 地質環境評価システム、性能評価システム、処分技術解析システムとのデータのリンクを行う機能
経済性評価	処分技術解析システムから施設設計データを受け取り、処分に関する費用を積算する。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	費用積算機能 処分技術解析システムとデータのリンク機能
品質管理	シナリオ、コード、データ、解析の品質を管理する。(効率の良い解析ツールの実現に必要)	シナリオ、コード、データ、解析の品質管理データのトレーサビリティ機能 判断支援のための情報提示機能
可視化	ユーザに解析結果等のデータを視覚的に理解し易い形式で示す。(効率の良い解析ツールの実現に必要)	解析結果の可視化機能 CG作成機能、ビジュアライゼーション機能、アニメーション機能
プラットフォーム	アプリケーションの自由な搭載、削除やシナリオ管理に従う解析を行う。(効率の良い解析ツールの実現に必要、システムの運用、維持管理に必要)	アプリケーションの管理機能 シナリオ管理による解析機能 分散システムの統合的管理に必要

表 3.2.2-2 各サブシステムの開発優先度と技術的課題

サブシステム	開発優先度	技術的課題
調査支援		地下構造の非均質性の評価方法が、調査計画立案の上で重要な課題である
地質環境評価		地下構造モデルツールの選定が重要である
性能評価		地下水流動解析コードの選定（精度と計算負荷）、不確実性解析を現実時間で実現する計算手法（MC サンプルング、摂動、統計確率論的手法等）の選定が重要である
処分場因子 データベース		エキスパートの判断をどこまで入れるかにより性能が決まる。性能評価・設計における判断支援以外にも統合データベースとしての役割を持つので、統合化するデータベースの選定が重要である。
経済性評価		費用積算機能の対象範囲や積算方法、単価データにより積算の精度が影響を受けるので、積算機能や単価データの設計が重要である
品質管理		シナリオ、コード、データ、解析に対してどのような品質管理機能を持たせるかが問題である
可視化		ツールの選定と収納する可視化技法の多様性が課題である
プラットフォーム		コード、DB の連携方法、既存コードの取り扱いが課題である（商用コードのライセンス問題とプラットフォームに合わせた修正作業の実行の可能性、コードの品質管理・検証）

表 3.2.2-3 サブシステム間のデータ交換内容

サブシステム	インプット		情報加工	アウトプット	
	発信源	情報		送信先	情報
調査支援	サイト特性調査 地質環境評価システム	調査結果 解析結果	調査計画の作成 / 見直し	サイト特性調査	調査手順 調査仕様 費用 見積もり 調査工程
地質環境評価	サイト特性調査	調査結果	離散的データに基づく地質環境場全体の設定	性能評価システム 処分技術解析システム	天然バリアの水理・物質移行・化学特性 岩盤の熱、力学特性
性能評価	処分技術解析システム 地質環境評価システム	施設・人工バリア仕様 天然バリアの水理・物質移行・化学特性	バリア性能の評価	-	性能評価結果
処分場因子データベース	性能評価システム 処分技術解析システム	解析結果 解析結果	データベース化	性能評価システム 処分技術解析システム	解析の進め方 入力データ作成 解析の進め方 入力データ作成
経済性評価	処分技術解析システム	人工バリア仕様 施設設計仕様	経済性評価	-	合理化設計のポイント 施設建設コスト
処分技術解析	地質環境評価システム 性能評価システム	岩盤の熱、力学特性 施設概念	施設設計	性能評価システム 経済性評価システム	施設使用 施設仕様

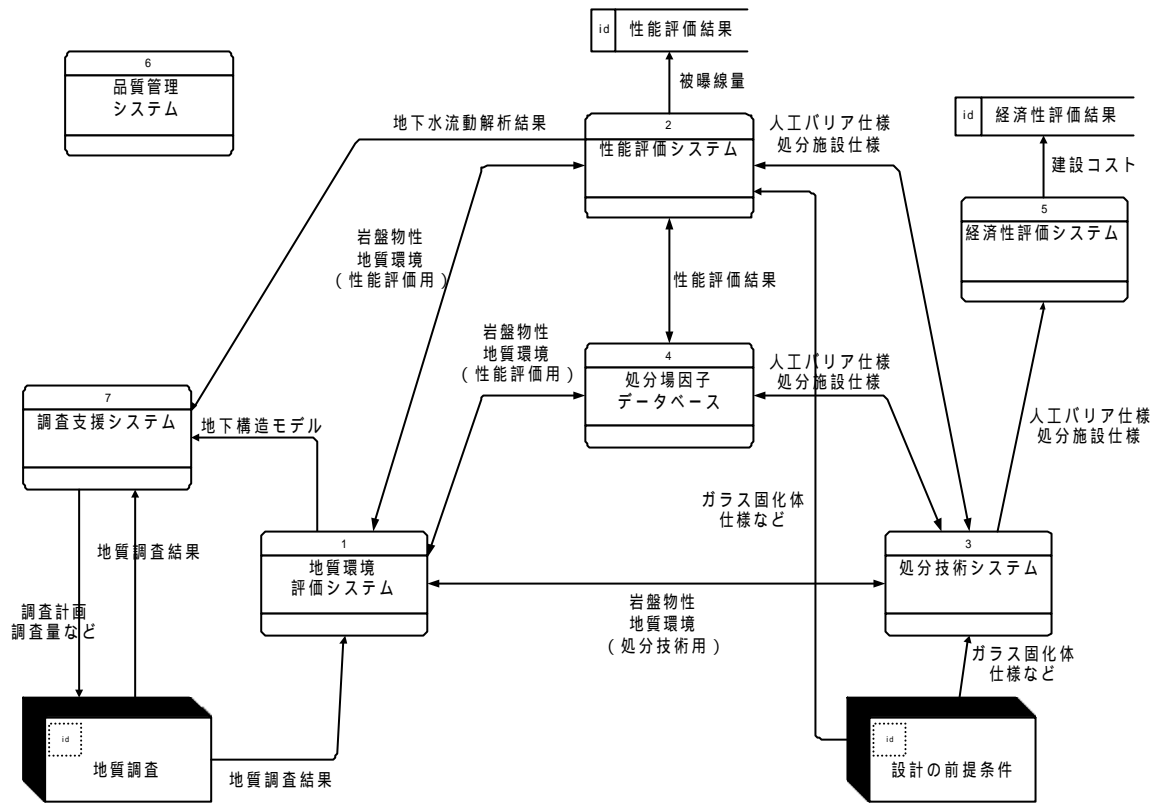


図 3.2.2-1 システム全体のデータフロー図

表 3.2.2-4 岩盤物性・地質環境データ（性能評価）

データの分類		データ例
岩盤物性	物理的特性	飽和密度、有効間隙率
	力学的特性	一軸圧縮強度、弾性係数、ポアソン比、弾性係数、弾性波速度
	熱特性	熱伝導率、地温勾配
	化学特性	分配係数
	保持性能	マトリクス拡散距離、マトリクス拡散係数
地下水流動	水理特性	透水係数、分散係数、亀裂パラメータ、拡散係数
	流動状況	動水勾配、地下水流速
	化学成分	成分濃度、Eh, pH、コロイド、微生物、分配係数
地質環境	地形	
	地質	岩種、地質構造
	地下の応力場	主応力方向
	天然事象	隆起侵食、気候変動等
生物圏		人口、涵養量等

表 3.2.2-5 岩盤物性・地質環境データ（処分技術用）

データの分類		データ例
岩盤物性	物理的特性	飽和密度、有効間隙率
	力学的特性	一軸圧縮強度、引張強度、弾性係数、粘着力、内部摩擦角、側圧係数、ポアソン比、動せん断剛性、減衰定数、動ポアソン比、弾性波速度
	熱特性	熱伝導率、比熱、地温勾配
地下水流動	水理特性	透水係数
	流動状況	動水勾配、地下水流速
地質環境	地形	
	地質	岩種、地質構造
	地下の応力場	主応力方向



表 3.2.2-6 人工バリア仕様・処分施設仕様

データの分類		データ例
オーバーパック	寿命	
	厚さ(形状)	
緩衝材	厚さ(形状)	
	化学特性	収着係数、拡散係数
	力学的特性	圧縮強度、膨潤応力、圧密応力
	水理特性	透水係数
処分施設	坑道形状	断面寸法
	処分場レイアウト	坑道間隔、廃棄体間隔、パネル形状

表 3.2.2-7 設計の前提条件

データの分類		データ例
ガラス固化体	仕様	材料、外形寸法、重量、容積
	発熱量	発熱量の時間変化
	放射能	放射能の時間変化
	貯蔵期間	貯蔵期間、冷却期間
	処分施設の規模	ガラス固化体本数
地質環境	-	地質構造要素と地形
岩盤特性	設計用岩盤特性データセット	岩種、物理特性、力学特性、熱特性、水理特性
処分深度	-	処分深度

表 3.2.2-8 地質調査結果

データの分類		データ例
地表面及び岩盤	地表形状、地下岩盤構の分布、形状	地形、地質分布、断層・破碎帯・リニアメント、割れ目（亀裂）の頻度
岩盤物性	物理特性	比重
	力学特性	圧縮強度、引張強度、せん断強度、変形係数、弾性係数、ポアソン比
	地下の応力場	最小主応力及びその方向
	熱特性	地温比熱、熱伝導率
	化学特性	岩盤の化学反応特性
地下水流動	水理特性	透水係数密度、間隙率、分散距離、分散係数、チャンネル幅、亀裂開口幅
	空隙流動状況	地下水位、間隙水圧、地下水流向、流速、拡散係数
地下水化学特性	地下水の起源	Eh、溶存酸素量、pH
	溶存成分濃度	イオン濃度、有機物、コロイド密度、コロイド吸着特性、微生物
遅延性能	物理的保持	（岩石の）間隙率、（亀裂充填物の）間隙率、マトリクス空隙中拡散係数、マトリクス距離
	化学的保持	バルク岩石分配係数、鉱物分配係数、亀裂表面分配係数、マトリクス分配係数
天然事象	火山活動及び熱水活動	地質図、地温分布、変質帯分布、温泉分布軌
	断層活動	テクトニクス、断層・リニアメント分布及び性状
	隆起侵食	隆起量（変位）、地滑り・崩壊地形分布、地表面侵食速度（風化／変質）、河川による削剥／侵食、海食
	地震動	地質学・構造地質学的データ
	気候変動	降水量・蒸発散量変化
	海水準変動	塩淡境界の変化、地下水面の変化
	氷河作用	氷期・間氷期、気候変動、アイソスタシー、周氷期
	地下資源	鉱床位置・深度・規模・品位
	大規模な灌漑	ダム仕様（貯水量）
	気候変化	平均気温

表 3.2.2-9 調査計画

データの分類		データ例
調査手法	-	地表踏査、物理探査、ボーリング
調査仕様	調査位置、調査量、 調査精度	-
調査スケジュール	-	-

表 3.2.2-10 品質管理データ

データの分類	データ例
コードの品質管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コード作成者、作成日</li> <li>・ベンチマークテスト、テストの承認者</li> <li>・実験との比較、比較データ、実験方法及び装置、比較の承認者</li> <li>・コードの品質管理の承認者</li> <li>・コードの背景となるモデル/試験の経緯</li> <li>・コード開発手法、開発及び改定の来歴リスト</li> <li>・改定時期、内容、理由、改定者</li> </ul>
データの品質管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1次データ内容、データ取得条件、取得者、取得時期</li> <li>・専門家レビューの対象データ、レビューメンバー、意見、判定、日時</li> <li>・2次データ内容、データ登録日、承認者</li> </ul>
解析の品質管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・入力データ</li> <li>・計算コード名、バージョン</li> <li>・計算結果</li> <li>・可視化手法(2次元コンター等)</li> <li>・結果の評価</li> <li>・計算日</li> <li>・計算実行者と評価者</li> <li>・問題ごとのアプローチ</li> <li>・個々の解析の目的</li> </ul>

## (b) システムの効果

本節では、システム開発によるユーザへの効果について検討する。すでに機能要件でも検討したが、システムを開発運用する事により期待される効果を、システムの機能要件毎にまとめると表 3.2.2-11 となる。ここでは、機能要件に対してプラットフォームが寄与する効果を、運用性、解析及びコードの品質管理、及び、解析性能について検討し、さらにコストの検討も行った。

検討から、プラットフォームを構築するとコストは高くなるが、運用性、解析及びコードの品質管理、及び、解析性能について多大な向上効果を持つ事が示される。

プラットフォームを開発せずに、情報共有機能だけをシステムに与えて、解析コードは各ユーザが利用する PC に設置し、解析の入力と結果をシステムにユーザが手作業で送信し、システムに収納された解析結果を表示する可視化ソフトを利用して解析結果を評価する場合、安全評価で要求される、複数のコードによる一連の解析や、モデルやデータのサーベイのために、解析シナリオの一部を変更して再度解析を行う作業の効率改善効果は、プラットフォームを構築する場合より小さい。

以上より、システムに要求される機能要件を満足するには、アプリケーションの管理機能、及び、シナリオに基づいた解析機能を持つプラットフォームを構築することが望ましい。

表 3.2.2-11 機能要件毎のシステムの効果

機能	プラットフォーム無し	プラットフォーム 組み込み	備考
コスト	安い (データベースとデータ送受信機能を開発するのみ。既存のグループウェアを利用すればメールやインターネットによるデータ共有を低価格で実現可能)	高い (プラットフォームの開発が必要。コードの修正、場合によっては作り直し、コードの品質管理が必要)	
運用性	悪い (複数のコードがリンクした解析を、ユーザが実行するので作業効率が悪い)	良い (シナリオに基づいた、複数のコードがリンクした解析の運用性が特に良い)	
品質管理	問題あり (ユーザが入出力データの編集を行い、それらを手作業でデータベースに登録・編集するので、手作業に伴うエラー排除ができない。また、コードを変更しても記録に残らないため、コードの履歴管理ができない。)	問題なし (ユーザは基本的に入出力データに手を加えないので、ヒューマンエラーの可能性が最小となる。また、解析の記録が品質管理データとして残るので、誤った解析を追跡して修正する事が可能である。プラットフォームにより、コードのバージョン管理や使用履歴管理が可能である。)	
解析性能	低い (基本的に1台のPCを利用するので、計算性能が限定される。また、端末毎に計算能力に差が発生する。)	高い (複数PCや他のマシンの使用が可能であるので、計算負荷の高い解析が可能である。)	

### (3) システムの全体像と開発計画

#### (a) システムの全体像

本項ではシステム構成の検討結果に基づいて、システムの全体像を検討した。システムの全体像としてソフトウェアの構成を検討した。

システムの全体像の検討に当たっては、地層処分統合解析システムの平成 15 年度までの開発仕様が必要である。ここでは、サブシステムの開発優先度に基づいて、サブシステムの平成 15 年度までの開発項目(仕様)を検討して、それをシステム全体像の検討の前提とした。(表 3.2.2-12)

表 3.2.2-12 サブシステムの開発項目

サブシステム	開発項目	備考
調査支援	(既存のシステムを利用する)	
品質管理	一部の機能を開発(地質環境データ、及び、解析の品質管理)	
経済性評価	一部の機能を開発(最適化に必要な人工バリア、処分施設の簡単な積算機能)	
地質環境評価	全仕様を開発	
性能評価	必要なコードは全て搭載する。モンテカルロ法に基づく不確実性解析機能を開発する。それ以外の解析機能は予算などにより調整。	
処分場因子データベース	エキスパートの知識の収納、シナリオ管理機能は開発する。統合データベースは予算などにより調整	
可視化	3次元データの理解を促進するためのビジュアライゼーション機能を開発する。	

システムのソフトウェアの構成を検討して、図 3.2.2-2 に示した。ソフトウェアの観点からは、本システムはプラットフォームとその上に搭載されるデータベース、解析コードから構成され、プラットフォームにより解析シナリオの管理、及び、効率の良い解析ツールを実現している。また、処分技術システムが搭載されるプラットフォームとの通信や、あるいは、プラットフォームの分担などについては今後検討が必要と考えられる。

(b) システムの開発計画

システムの全体像に基づいて、システムの開発計画を検討した。(図 3.2.2-3)

検討に当たっては、平成 15 年度にプロトタイプを完成するようスケジュールを設定し、かつ、詳細な開発内容は表 3.2.2-12 に従った。

システムの開発計画によると、平成 13 年度の開発計画は以下となる。平成 13 年度の開発内容は基本設計であるが、一部のシステムではプログラム開発も含まれている。

表 3.2.2-13 平成 13 年度の開発計画

サブシステム	開発項目	備考
調査支援	(既存のシステムを利用する)	
品質管理	基本設計(地質環境データ、及び、解析の品質管理システム)	
経済性評価	基本設計(最適化に必要な人工バリア、処分施設の経済性評価システム)	
地質環境評価	基本設計、ツール選定	
性能評価	基本設計、コード選定、及び、既存の解析コードの中で計算負荷の高いコードを高速化する。	
処分場因子データベース	基本設計、及び、エキスパートの知識を収納したデータベースのプロトタイプを開発する。	
可視化	基本設計、及び、可視化ツール選定。	

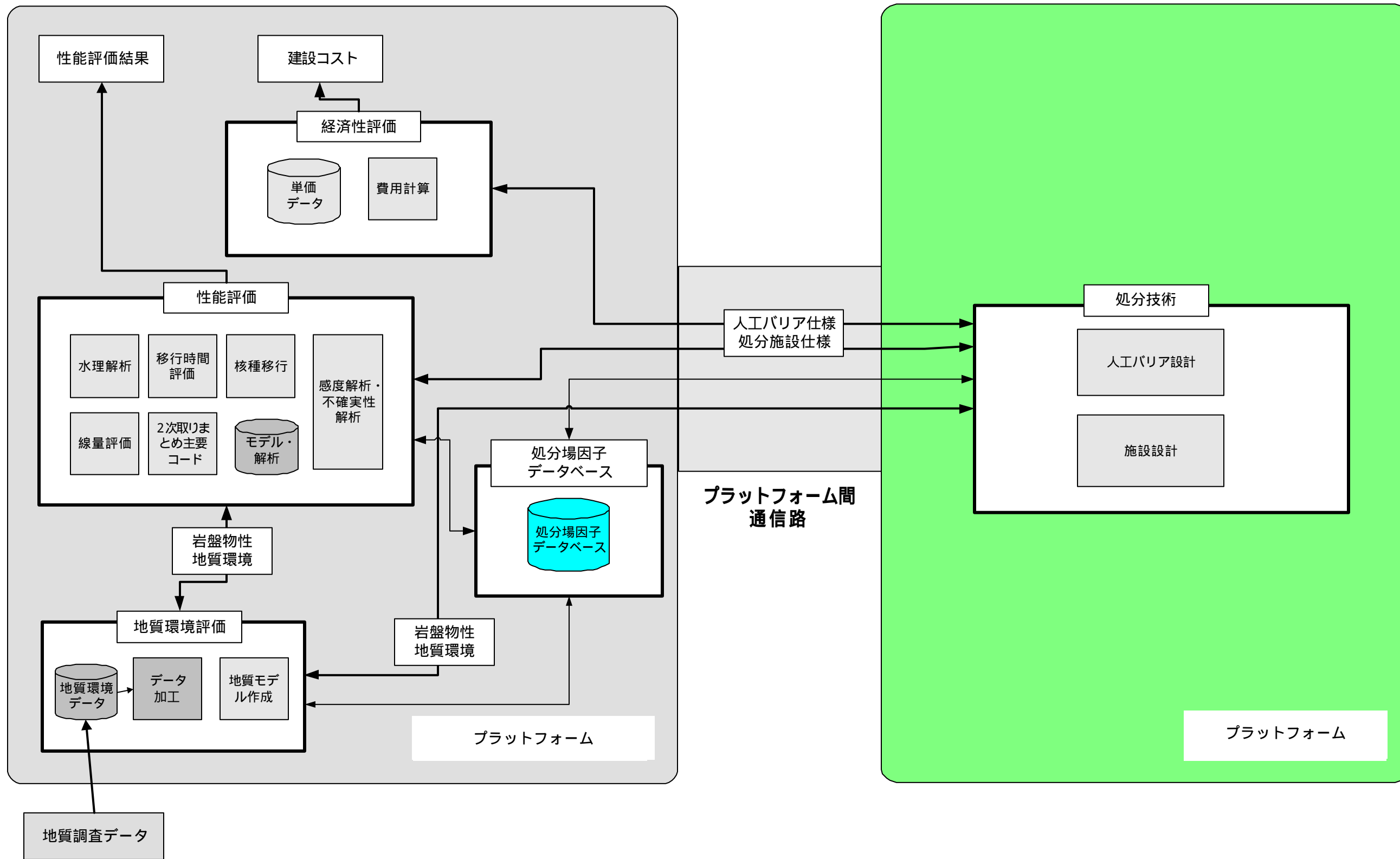


図 3.2.2-2 システムの全体像



システム全体開発計画

システム		アプリケーション	開発項目	2001年 平成13年度	2002年 平成14年度	2003年 平成15年度	備考
地質環境評価システム		地質モデル作成	アプリケーション選定	■			
			検証		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
性能評価システム		水理解析	アプリケーション選定	■			
			検証		■	■	
			並列分散計算による高速化	■	■	■	
			逆解析機能		■	■	
			不確実性解析機能		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
		地下水移行時間解析	アプリケーション選定	■			
			検証		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
		核種移行解析	アプリケーション選定	■			
			検証		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
		線量解析	アプリケーション選定	■			
			検証		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
2次取りまとめに使用した 性能評価主要コード		アプリケーション選定	■				
		検証		■	■	高速化は計算負荷の 高いコードのみ対象	
		並列分散計算による高速化	■	■	■		
プラットフォーム搭載				■			
処分場因子データベース			基本設計	■			
			システム開発		■	■	
			データ作成・入力		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
経済性評価システム			基本設計	■			
			システム開発		■	■	
			データ入力		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
共通	品質管理システム	地質環境データ	基本設計	■			
			システム開発		■	■	
			プラットフォーム搭載				■
	性能評価のモデル 解析	基本設計	■				
		システム開発		■	■		
		プラットフォーム搭載				■	
可視化システム		基本設計	■			可視化機能を搭載 するシステム毎に 開発	
		システム開発		■	■		
		プラットフォーム搭載					■

図 3.2.2-3 システムの開発計画

#### 4. おわりに

本研究では、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合することにより地層処分の解析評価のための知識ベースとして体系化していく地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究を行った。今年度は、当面平成15年度末に向けて安全審査基本指針の検討等および概要調査地区における調査の初期段階での活用を対象にした解析評価体系の提供とその技術的妥当性の保証のための技術基盤の整備を目指し、地層処分システムの構成要素の検討、および実用化の検討を実施した。

- 統合解析システムの構成要素の検討

- (1) 処分技術と性能評価を重点とした検討

第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目と情報の流れを整理し、処分場設計と性能評価の統合を重点とした関連マトリクスおよびワークフローを作成し、統合解析システムの構成要素を明らかにした。また、評価解析に使用するコードの体系とデータの階層構造をまとめた。

- (2) 地質環境と性能評価を重点とした検討

第2次取りまとめ報告書に基づき3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・検討した。次に、特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。地質環境条件の検討対象として亀裂性媒体/多孔質媒体、立地場所(陸地/海底下)、地殻の長期安定性(隆起/沈降)を考慮して検討した。

さらに、設計と性能評価、地質環境の間の情報交換内容を第2次取りまとめに基づいて整理した。整理結果を基に地質環境、設計、安全評価の3分野間の連関をとった作業の理想的形態を検討した。

システム因子、及び、情報処理の整理結果に対して、知識ベースの技術基盤となる基礎的研究を検討し知識ベースの階層構造を検討した。

- 統合解析システムの実用化の検討

- (3) 処分技術と性能評価を重点とした検討

上記(1)項でまとめた関連マトリクスおよびワークフローに基づいて、統合解析システムの概念構成を検討し、システムの機能についてまとめた。

- (4) 地質環境と性能評価を重点とした検討

上記(2)項での知識ベースの検討結果に基づいて、地層処分統合解析システムの複雑で膨

大な知識ベースを手順書に取りまとめるための方針を検討した。さらに、数値地層処分統合解析システムの構成要素に対して、開発の優先度、及び、技術的難易度を検討してシステムの全体像を検討し、ソフトウェア構成図を作成した。さらに H15 年までのシステムの開発計画を検討した。

## 参考文献

JNC TN1400 99-020, 「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」, 核燃料サイクル開発機構.

JNC TN1400 99-021, 「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」, 核燃料サイクル開発機構.

JNC TN1400 99-022, 「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」, 核燃料サイクル開発機構.

JNC TN8400 99-092, 「多孔質岩盤を対象とした天然バリア中の核種移行解析」核燃料サイクル開発機構技術資料.

JNC TN1400 99-023, 「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」, 核燃料サイクル開発機構.

JNC TJ1400 2000-002, 「地質環境及び地層処分性能評価用解析システムの開発」, 核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書.

JNC TJ1400 2000-004, 「処分場の設計評価等に関する統合化システムの開発」, 核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書.

# 地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究

## 研究概要

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

2001 年 3 月

三菱重工業株式会社

三菱マテリアル株式会社

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)

2001

## 地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究

石原義尚<sup>\*1</sup>，松岡不識<sup>\*1</sup>，佐川 寛<sup>\*1</sup>，河原憲一<sup>\*1</sup>，  
片岡伸一<sup>\*1</sup>，篠原芳紀<sup>\*2</sup>，室井正行<sup>\*2</sup>，土屋 真<sup>\*2</sup>，  
辻本恵一<sup>\*2</sup>，大橋東洋<sup>\*2</sup>

### 要 旨

本研究では、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合し知識ベースとして体系化していく統合解析システムの基本設計に関する検討を実施した。

- (1) 第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目と情報の流れを整理し、処分場設計と性能評価の統合を重点とした相関マトリクスおよびワークフローを作成し、統合解析システムの構成要素を明らかにした。また、評価解析に使用するコードの体系とデータの階層構造をまとめた。
- (2) 第2次取りまとめ報告書に基づき3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・検討した。次に、特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。地質環境条件の検討対象として亀裂性媒体/多孔質媒体、立地場所(陸地/海底下)、地殻の長期安定性(隆起/沈降)を考慮して検討した。さらに、設計と性能評価、地質環境間の情報交換内容を第2次取りまとめに基づいて整理した。整理結果を基に地質環境、設計、安全評価の3分野間の連関をとった作業の理想的形態を検討した。システム因子、及び、情報処理の整理結果に対して、知識ベースの技術基盤となる基礎的研究を検討し知識ベースの階層構造を検討した。
- (3) 上記(1)項でまとめた相関マトリクスおよびワークフローに基づいて、統合解析システムの概念構成を検討し、システムの機能についてまとめた。
- (4) 上記(2)項での知識ベースの検討結果に基づいて、地層処分統合解析システムの複雑で膨大な知識ベースを手順書に取りまとめるための方針を検討した。さらに、数値地層処分統合解析システムの構成要素に対して、開発の優先度、及び、技術的難易度を検討してシステムの全体像を検討し、ソフトウェア構成図を作成した。さらに H15 年までのシステムの開発計画を検討した。

---

本報告書は、三菱重工業株式会社および三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託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

\* 2 三菱マテリアル株式会社

## Study on Development of a Geological Disposal Technology Integration System

Yoshinao Ishihara<sup>\*1</sup>, Fushiki Matsuoka<sup>\*1</sup>, Hiroshi Sagawa<sup>\*1</sup>,  
Kenichi Kawahara<sup>\*1</sup>, Shinich Kataoka<sup>\*1</sup>, Yoshinori Shinohara<sup>\*2</sup>,  
Masayuki Muroi<sup>\*2</sup>, Makoto Tsuchiya<sup>\*2</sup>, Keiichi Tsujimoto<sup>\*2</sup>,  
Toyo Ohasi<sup>\*2</sup>

### ABSTRACT

In this study, the basic design study on integrated computer system has been carried out in order to develop the integrated methodologies for future research and development activities of geological disposal system. The key conclusions are summarized as follows:

- (1) As the result of the investigation of work items and associated flow of information (data) between items in the second progress report by JNC, the interaction matrix and work flow chart have been identified in order to specify the basic configuration of the integrated computer system. In addition, the model chain and the structure of data relation between the repository design study and safety assessment study have been summarized.
- (2) We organized and examined the system factor and the information process flow in the design, safety analysis, and geological environment study based on the 2000 Report by JNC. Then we analyzed the workflow of geological disposal business when a specific site for a repository is fixed to obtain the system factor and the information process flow. We consider the fracture/porous media, site location (land/under the sea), and long-term stability of the crust (upheaval/sink) as the key factors in examining the workflow of geological disposal business. Then we organized the information change between the design and other study in geological disposal based on the 2000 Report by JNC. We examined the ideal workflow in which the design, safety analysis, and geologic environment study of geological disposal are closely coupled. We examined the scientific and technical base of the knowledge base (the system factor and the information process flow) which is derived from the above to construct the hierarchical structure of the knowledge base for geological disposal.
- (3) As the result of the interaction matrix and work flow chart for the R&D activities, the conceptual design and the function diagram on the integrated computer system has been proposed.
- (4) We examined the plan to make the system specification, which contains the large amount and complex knowledge base for virtual engineering system for geological disposal. Then, we made the software structure of the system by examining the priority and the technical difficulty for the system development for the components of the system. The developments plan of the system till 2003 is also examined.

---

This work was performed by Mitsubishi Heavy Industries, LTD. and Mitsubishi Material Corporation 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.

\*2 Mitsubishi Materials Corporation



## 目 次

1 . はじめに	1
2 . 地層処分統合解析システムの構成要素の検討	2
2 . 1  処分技術・性能評価を重点とした検討	2
2.1.1  研究3分野の連携・統合に関する検討	2
2.1.2  評価体系の検討	6
2.1.3  評価データの階層構造の検討	8
2 . 2  地質環境・性能評価を重点とした検討	9
2.2.1  第2次取りまとめの検討	9
2.2.2  特定の地質環境が与えられた場合の構成要素の検討	13
2.2.3  設計との情報交換の検討	14
2.2.4  知識ベースの階層化の検討	22
3 . 地層処分統合解析システムの実用化の検討	23
3 . 1  処分技術・性能評価を重点とした検討	23
3 . 2  地質環境・性能評価を重点とした検討	26
3.2.1  知識ベースの検討	26
3.2.2  システムの基本設計	29
4 . まとめ	39

## 図表リスト

図 2.1.3-1	評価データの階層構造イメージ	8
図 2.2.1-1	第 2 次取りまとめでの安全評価と地質環境調査間のやりとり	9
図 2.2.1-2	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル 2) 要約(1)	11
図 2.2.1-3	性能評価のシステム因子・情報処理の流れ(レベル 2) 要約(2)	12
図 2.2.3-1	設計と他分野との情報交換	15
図 2.2.3-2	地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れ	18
図 2.2.3-3	地質環境データに対する不確実解析・感度解析の流れ	19
図 2.2.3-4	地質環境 性能評価 処分技術 経済性 解析の流れ	21
図 2.2.4-1	階層化された知識ベース	22
図 3.1-1	知識ベースに基づく統合解析システムの活用イメージ	24
図 3.2.1-1	手順書のサンプル	28
図 3.2.2-1	システム全体のデータフロー図	34
図 3.2.2-2	システムの全体像	37
図 3.2.2-3	システムの開発計画	38
表 2.1.1-1	「処分技術」分野に関する相関マトリクス	4
表 2.1.1-2	「性能評価」分野に関する相関マトリクス	5
表 2.1.2-1	処分技術/性能評価におけるモデルチェイン	7
表 3.1-1	統合解析システムの開発計画	25
表 3.2.2-1	各サブシステムの必要性と機能	33
表 3.2.2-2	機能要件毎のシステムの効果	35
表 3.2.2-3	サブシステムの開発項目	36

## 1. はじめに

本研究は、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合することにより地層処分の解析評価のための知識ベースとして体系化していく「地層処分統合解析システム」について、その基本設計のための研究を実施するものである。

今年度は、当面平成15年度末に向けて安全審査基本指針の検討等および概要調査地区における調査の初期段階での活用を対象にした解析評価体系の提供とその技術的妥当性の保証のための技術基盤の整備を目指し、以下の研究を実施する。

地層処分統合解析システムの構成要素の検討  
地層処分統合解析システムの基本設計

## 2. 地層処分統合解析システムの構成要素の検討

### 2.1 処分技術・性能評価を重点とした検討

#### 2.1.1 研究3分野の連携・統合に関する検討

##### (1) 各研究分野における検討項目と主要アウトプット情報の整理

「地質環境条件の調査」、「処分技術」および「性能評価」の研究3分野の有機的な連携・統合を図るため、最初に第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目を概略的に調査した。ここでの調査は第2次取りまとめ報告書の目次構成に準じる形で行い、各ワーク項目（研究項目）で得られる主要なアウトプットと共に整理した。

第2次取りまとめ報告書は「わが国における地層処分の技術信頼性を示す」という包括的な目標に対してまとめられた報告書であり、地層処分に係わる検討が総合的になされている。このため、第2次取りまとめに基づくワーク項目は、基本的に地層処分の研究開発に対する総ての検討項目を包含していると考えることができる。したがって、地層処分統合解析システムの構成要素を考える場合に、これらのワーク項目を「システム因子」と捉えることができる。

##### (2) 研究3分野間の情報の流れの整理

研究3分野間の情報の流れに関して、前述した概略のワーク項目に基づいて、各項目間における情報（データ）の流れの相互関係について整理した。整理にあたっては、第2次取りまとめの生物圏評価でFEP間の相関関係の特定に用いられていた相互作用マトリクスを参考にした。相互作用マトリクスでは、構成要素を対角要素に設定し、構成要素を関連づける情報を非対角要素として特定していく。このとき、情報の流れは時計回りで記述される。

上記(1)項の検討で整理したワーク項目をマトリクスの対角要素として設定し、各要素間（ワーク項目間）における情報の流れを非対角要素に当てはめることによって、相関マトリクスとしてまとめた。作成した相関マトリクスのうち、処分技術と性能評価のマトリクスを表2.1.1-1～表2.1.1-2に示す。この相関マトリクスでは、各研究分野間の「システム因子（対角要素）」とシステム因子間の情報の流れが表現されており、研究分野間の連携・統合を図る際の基盤となるものであり、相関マトリクスを構成する一つ一つの要素が統合解析システムの構成要素に成ると考えられる。また、今後の研究開発の進展に応じて相関マトリクスを充実させていくことで、技術基盤情報の取り込み・反映が可能となり、体系化された知識ベースの構築に役立つものと考えられる。

### (3) ワークフローの検討

相関マトリクスの検討結果を踏まえて、マトリクスの対角要素（システム因子）で示した各項目について、より具体的な検討内容とそこでの情報の流れを整理するため、詳細なワークフローを作成した。

作成したワークフローは相関マトリクスの対角要素（システム因子）を下位の階層に展開したものであり、ワークフローを構成するワーク項目の一つ一つも統合解析システムのシステム因子になると考えられる。したがって、研究開発の全体的な流れを示した相関マトリクスを上位のシステム因子、詳細な検討内容を示したワークフローを下位のシステム因子と捉えた階層構造を用意しておくことにより、将来の研究開発や処分事業の進展に合わせた知識ベースの構築に対して柔軟に対応できると考えられる。

### (4) 特定の地質環境条件に対する構成要素の検討

今後処分事業が進展し、サイトの条件がある程度具体的になった場合の統合解析システムの構成要素について考えてみると、表 2.1.1-1～表 2.1.1-2 に示した相関マトリクスの対角要素は全体的な研究開発の流れを示したものであり、サイトが特定されても、調査 設計 評価という流れはあまり変化しない。しかし、対角要素に含まれる個別の検討項目（ワークフロー）はサイト条件に応じて変化（細分化）する可能性がある。したがって、ワークフローの構成要素となるシステム因子を現時点で特定するとは困難であるが、相関マトリクスとワークフローの組合せにより、研究開発の時間的進展に対応できるシステムの枠組みを用意しておくことができると考えられる。

表 2.1.1-1 「処分技術」分野に関する関連マトリクス

地質環境	地質環境条件の調査	処分技術										性能評価
		設計条件	人工バリア設計		処分施設設計			人工バリア健全性評価			建設・操業・閉鎖	
地質環境	・長期安定性 ・地質構造 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性 ・地球化学特性	・岩盤力学特性 ・有機物分布 ・微生物分布	・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性 ・地球化学特性	・地震断層（地震波） ・岩盤力学特性	・地質構造 ・地質構造 ・地下水流動特性 ・地球化学特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性	・地質構造 ・地下水流動特性 ・地球化学特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性	・地下水流動特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性	・地震断層（地震波） ・岩盤力学特性 ・EDZ 特性	・地球化学特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性	・地質構造 ・地下水流動特性 ・岩盤熱特性 ・岩盤力学特性	・長期安定性 ・地質環境条件 （詳細別紙参照）	
	設計条件	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式 ・対象固化体	・処分深度 ・定置方式 ・対象固化体	・処分深度 ・定置方式 ・対象固化体	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式	・処分深度 ・定置方式 ・対象固化体	
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・OP 仕様	オーバーバック設計	・OP 仕様 ・腐食膨張率	・OP 仕様 ・腐食膨張率	・OP 仕様	・OP 仕様 ・腐食膨張率	・OP 仕様 ・腐食膨張率	・OP 仕様 ・腐食膨張率 ・腐食生成物特性	・OP 仕様 ・腐食膨張率 ・腐食生成物特性 ・ガス発生速度 （OP 腐食速度）	・OP 仕様 ・腐食生成物物性 ・OP 寿命	
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・緩衝材仕様 ・処分孔深さ（設置）	・緩衝材仕様 ・緩衝材膨潤圧 ・緩衝材圧密反力	緩衝材設計	・緩衝材仕様 ・熱特性 ・力学特性 ・膨潤特性 ・締め特性 ・処分孔深さ（設置）	・緩衝材仕様 ・熱特性 ・力学特性 ・膨潤特性 ・処分孔深さ（設置）	・緩衝材仕様 ・力学特性 ・膨潤特性 ・締め特性 ・緩衝材膨潤圧	・緩衝材仕様 ・熱特性 ・力学特性 ・膨潤特性 ・化学的特性 ・物質移動特性 ・膨潤特性	・緩衝材仕様 ・力学特性 ・膨潤特性 ・締め特性 ・緩衝材膨潤圧	・緩衝材仕様 ・力学特性 ・化学的特性 ・物質移動特性 ・膨潤特性 ・ガス透気性	・緩衝材仕様 ・物質移動特性	
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・支保工厚さ ・廃棄体占有面積 （空洞安定性） ・坑道交差部補強	-	・支保工仕様	坑道設計	・坑道断面仕様 ・支保工仕様 ・坑道交差部仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ	・坑道断面仕様	・坑道断面仕様 ・支保工仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ	・坑道断面仕様 ・支保工仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ	・坑道断面仕様 ・支保工仕様	・坑道断面仕様 ・支保工仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ ・地震時応力	・坑道断面仕様 ・支保工仕様（材質） ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・廃棄体占有面積 （熱的制約）	・OP 最高温度	・緩衝材最高温度	・パネル仕様 ・坑道配置 / 本数	レイアウト設計	・パネル仕様 ・坑道配置 / 本数 ・NF 温度	・パネル仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ	・パネル仕様 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ ・NF 温度	・NF 温度	・パネル仕様 ・坑道配置 / 本数 ・NF 温度 ・坑道離間距離 ・埋設ピッチ	・パネル仕様 / 配置 （地下水流動方向） ・坑道配置 / 本数 ・NF 温度
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・プラグ仕様 ・プラグ厚さ ・埋戻し材仕様	-	・プラグ仕様 ・埋戻し材仕様 ・緩衝材密度低下量	・プラグ仕様 ・プラグ長さ（厚さ）	・プラグ仕様 ・プラグ長さ（厚さ） ・埋戻し材仕様	プラグ・グラウト・埋戻し材	・プラグ仕様 ・埋戻し材仕様	・プラグ仕様 ・埋戻し材仕様	・埋戻し材仕様	・プラグ仕様 ・グラウト仕様 ・埋戻し材仕様	・プラグ仕様 ・埋戻し材仕様
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・OP 最高温度 ・飽和時間	・OP 最高温度 ・飽和時間	・圧力水頭 ・含水比 ・緩衝材温度 ・飽和時間	-	・含水比 ・緩衝材温度 ・飽和時間	・圧力水頭 ・含水比 ・NF 温度 ・飽和時間	再冠水挙動評価	・NF 温度 ・圧力水頭 ・含水比 ・飽和時間	・NF 温度 ・地下水浸潤挙動 ・緩衝材膨潤圧	-	・NF 温度 ・含水比 ・飽和時間
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・岩盤クレーン変形量 ・過剰間隙水圧 ・地震時応力 ・緩衝材すべり	・岩盤クレーン変形量 ・OP 沈下量 ・緩衝材圧密状態 ・地震時応力	・岩盤クレーン変形量 ・緩衝材圧密状態 ・過剰間隙水圧 ・緩衝材流出量 ・地震時応力 ・緩衝材すべり	・岩盤クレーン変形量	・岩盤クレーン変形量 ・緩衝材圧密状態 ・過剰間隙水圧 ・緩衝材流出量 ・地震時応力	・岩盤クレーン変形量 ・緩衝材圧密状態 ・過剰間隙水圧 ・緩衝材流出量 ・地震時応力	・岩盤クレーン変形量 ・緩衝材流出量 ・地震時応力 ・緩衝材すべり	構造力学安定性評価	・岩盤クレーン変形量 ・OP 沈下量 ・緩衝材圧密状態	-	・岩盤クレーン変形量 ・EDZ 範囲 ・OP 沈下量 ・緩衝材圧密状態 ・緩衝材流出量 ・緩衝材すべり
	・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・OP 腐食膨張圧 ・ガス蓄積圧	・OP 腐食膨張圧 ・ガス蓄積圧	・OP 腐食膨張圧 ・平均有効応力 ・ガス蓄積圧	-	-	・OP 腐食膨張圧 ・平均有効応力 ・ガス蓄積圧	・OP 腐食膨張圧 ・ガス蓄積圧	・OP 腐食膨張圧 ・ガス蓄積圧 ・間隙圧力	オーバーバック腐食挙動評価	-	・平均有効応力 ・ガス蓄積量 ・ガス飽和度 ・間隙水排出量
・地下深部評価手法 （取得データ項目等）	・施工性 ・操業性 ・経済性 ・安全性	・製作性（遠隔） ・検査性	・施工性（キヤップ等）	・施工性 ・操業性	・施工性（キヤップ等） ・操業性 ・安全性 （退避経路等）	・施工性（キヤップ等） ・操業性 ・安全性	・施工性（キヤップ等） ・定置精度	・施工性（キヤップ等） ・定置精度	・施工性（キヤップ等）	建設・操業・閉鎖	・EDZ 領域（工法）	
性能評価	・長期変動予測 ・地下深部評価週報 （詳細別紙参照）	・固化体特性 ・化学条件（還元性）	・核種閉じ込め性 ・化学環境維持性 ・間隙水組成	・ROFD フィルトレーション ・吸着性 ・低透水性 ・緩衝材劣化 / 変質 ・バリア性能（線量）	・支保工材質 （低アルカリコンクリート）	・固化体発熱特性 ・地下水流動特性 ・緩衝材許容温度 ・バリア性能	・緩衝材膨潤対策 ・止水性	・固化体発熱特性 ・地下水組成 ・地下水流動特性	・緩衝材劣化 / 変質 ・亀裂分布（開口幅）	・間隙水組成 ・緩衝材劣化 / 変質	・地下水流動特性	性能評価

表 2.1.1-2 「性能評価」分野に関する関連マトリクス

	地質環境	処分技術	性能評価							
			シナリオ	放射線学的特性	水理特性	地球化学特性	物質移行特性		変動シナリオ	
地質環境	地質環境条件の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地質環境条件 (詳細別紙参照)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震/断層活動</li> <li>火山/火成活動</li> <li>隆起/侵食</li> <li>気候海水準変動</li> <li>地質構造</li> <li>地下水流動特性</li> <li>地球化学特性</li> <li>岩盤特性</li> <li>ナチュラルアナログ</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (移行経路)</li> <li>流動特性 (動水勾配, 透水係数)</li> <li>水理地質構造モデル</li> <li>広域地下水流動特性</li> <li>EDZ 範囲</li> <li>EDZ 物性変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (鉱物分布)</li> <li>地下水特性</li> <li>地下水形成反応 (鉱物)</li> <li>コロイド</li> <li>有機物分布</li> <li>微生物分布</li> <li>岩盤熱特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナチュラルアナログ - ウラン系核種遅延</li> <li>ガラス溶解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造 (移行経路)</li> <li>岩盤力学特性</li> <li>ナチュラルアナログ (マトリクス拡散)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>隆起/侵食速度</li> <li>気候海水準変動</li> <li>地表環境特性 (地理的条件)</li> <li>広域地下水流動特性 (涵養点)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震/断層活動</li> <li>火山/火成活動</li> <li>隆起/侵食</li> <li>気候海水準変動</li> </ul>
処分技術	地下深部評価手法 (詳細別紙参照)	処分技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>人工バリア仕様</li> <li>処分施設仕様</li> <li>人工バリア健全性評価 (人工バリアの状態)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象固化体</li> <li>OP仕様 (組成)</li> <li>OP寿命</li> <li>緩衝材仕様 (組成)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>定置方式</li> <li>坑道断面仕様</li> <li>坑道離間距離</li> <li>パネル仕様/配置 (地下水流動方向)</li> <li>坑道配置/本数</li> <li>プラグ仕様</li> <li>EDZ範囲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分深度</li> <li>OP仕様</li> <li>腐食生成物物性</li> <li>緩衝材仕様</li> <li>支保工仕様 (材質)</li> <li>プラグ仕様</li> <li>埋戻し材仕様</li> <li>NF温度</li> <li>飽和時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食生成物物性</li> <li>緩衝材圧密状態</li> <li>OP沈下量</li> <li>緩衝材流出量</li> <li>緩衝材すべり</li> <li>EDZ範囲</li> <li>ガス飽和度</li> <li>間隙水排出量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道離間距離</li> <li>埋設ピッチ</li> <li>パネル仕様/配置 (地下水流動方向)</li> </ul>	-	製作/施工不良
性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性</li> <li>地下水条件 (還元性)</li> <li>低地下水流速</li> <li>力学的安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コールドフィルトレーション</li> <li>収着性</li> <li>低透水性</li> </ul>	シナリオ分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FEPリスト</li> <li>基本シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本シナリオ</li> <li>変動シナリオ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>変動シナリオ</li> <li>接近シナリオ</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体発熱特性</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体特性</li> <li>評価対象核種</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	ソースターム評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス固化体組成</li> <li>評価対象核種 (元素)</li> <li>NF放射線場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス固化体組成</li> <li>核種インベントリ</li> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象核種</li> <li>半減期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>核種インベントリ</li> <li>半減期</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>亀裂分布 (開口幅)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> </ul>	-	水理評価	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDZ流量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> <li>流速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性 (涵養点)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水流動特性</li> <li>核種移行経路</li> <li>流速</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水中組成</li> <li>緩衝材劣化/変質 - 緩衝材許容温度</li> <li>支保工材質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> </ul>	-	-	地球化学評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> <li>緩衝材劣化/変質</li> <li>放射線分解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>放射線分解</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水組成</li> <li>間隙水組成</li> <li>溶解度</li> </ul>
	-	バリア性能 (線量)	バリア性能 (線量)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	人工バリア中核種移行評価	核種移行率	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> <li>地下深部評価手法 (取得データ, 要求精度)</li> </ul>	バリア性能 (線量)	バリア性能 (線量)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	-	天然バリア中核種移行評価	核種移行率	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表環境データ調査項目</li> </ul>	システム性能 (線量)	システム性能 (線量)	-	-	-	線量への換算係数	線量への換算係数	生物圏評価	線量への換算係数
<ul style="list-style-type: none"> <li>断層影響</li> <li>火山影響</li> <li>隆起/侵食影響</li> <li>気候海水準影響</li> <li>長期変動予測 (精度)</li> </ul>	システム性能 (線量)	システム性能 (線量)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パラメータの影響度</li> </ul>	-	-	核種移行率	変動シナリオ評価	

### 2.1.2 評価体系の検討

本節では、第2次取りまとめの安全評価の前提条件と解析条件を整理することにより、今後の評価で留意すべき項目（現象）を抽出することを目的として、評価に使用されたシナリオおよび解析コードを整理して、第2次取りまとめにおける評価体系をまとめた。第2次取りまとめで使用された解析コードの一覧を表 2.1.2-1 に示す。

第2次取りまとめの安全評価においては、包括的 FEP リストに基づいて、安全評価の対象とする FEP と除外する FEP を選択した後に、評価シナリオを作成している。安全評価から除外する FEP は実験や解析（人工バリア埋設後の健全性評価など）から地層処分システムへの影響が小さいと判断できるものを選定している。今後の研究開発の進展に伴ってこれらの FEP の取扱いが変化する可能性があるため、人工バリアの設計（仕様）や健全性評価に対する最新の結果に基づいて、移行評価の初期条件となる人工バリアの状態を把握した上で、評価に取り込んでいくことが重要である。また、評価結果（バリア性能）を設計側に確実にフィードバックし、どのパラメータがバリア性能に影響を及ぼすか、などの情報を伝える必要がある。これは、「処分技術」分野と「性能/安全評価」分野の連携・統合に他ならず、このような情報のやり取りを密接に行うことが重要と考えられる。。



表 2.1.2-1 処分技術 / 性能評価におけるモデルチェーン

(a) 処分技術におけるモデルチェーン

設計	熱	水理特性 (緩衝材浸潤)	力学特性					化学特性	安全評価へ
			岩盤クリープ	OP沈下	緩衝材流出	耐震安定性	OP腐食膨張	ガス移行	
設計ツール									人工バリアの状態(OP破損時点)
	FINAS (THAMES)								
		THAMES							
			(FEM コード)				クリープ変形		
				DACSAR					
					(FEM コード)				
						NASTRAN 等			
							ABAQUS		
								TOUGH2	
	人工バリア仕様 熱特性	人工バリア仕様 水理特性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学物性	人工バリア仕様 力学特性 地震波	人工バリア仕様 力学特性	人工バリア仕様	

(b) 安全評価におけるモデルチェーン (2000 年レポートより引用)

水理	母岩中 地下水化学	緩衝材中 地下水化学	溶解度	処分場 周辺温度	ガラス固化体	核種移行			
						人工バリア	母岩	断層	生物圏
FracMan						EDZ 通過流量			
	PHREEQE	地下水組成							
		PHREEQEC	間隙水組成						
			PHREEQE			溶解度			
				FINAS 熱発生		温度			
					ORIGNE2	インベントリ			
						MESHNOTE	核種移行率		
							MATRICES	核種移行率	
								MATRICES	核種移行率
									AMBER
亀裂特性	熱力学データ (鉱物など)	熱力学データ (鉱物など)	熱力学データ (放射性元素)			ガラス溶解速度 拡散係数 分配係数	透水量係数 亀裂特性 拡散係数 分配係数	透水量係数 亀裂特性 拡散係数 分配係数	

### 2.1.3 評価データの階層構造の検討

統合解析システムにおいて地層処分に係わる技術基盤情報を体系化していくためには、データの管理と活用を行うデータベースが不可欠となる。データベース構造の検討においては、地層処分システムを構成する物理的な要素（例えば、ガラス固化体など）に着目し、これらの要素の持つ物性値、ならびにそこで生起すると想定される諸現象を解析することによって得られる状態量（主として解析結果）とに分類して整理した。

この分類を参考にしながら、データベースの階層構造について概略的な検討を行った結果を図 2.1.3-1 に示す。これは、リレーショナルデータベースにおけるリレーション構造を参考にまとめたものであるが、このような階層構造を用いることにより、処分システム全般にわたる複雑なデータを適切に管理していくことが可能と考えられる。

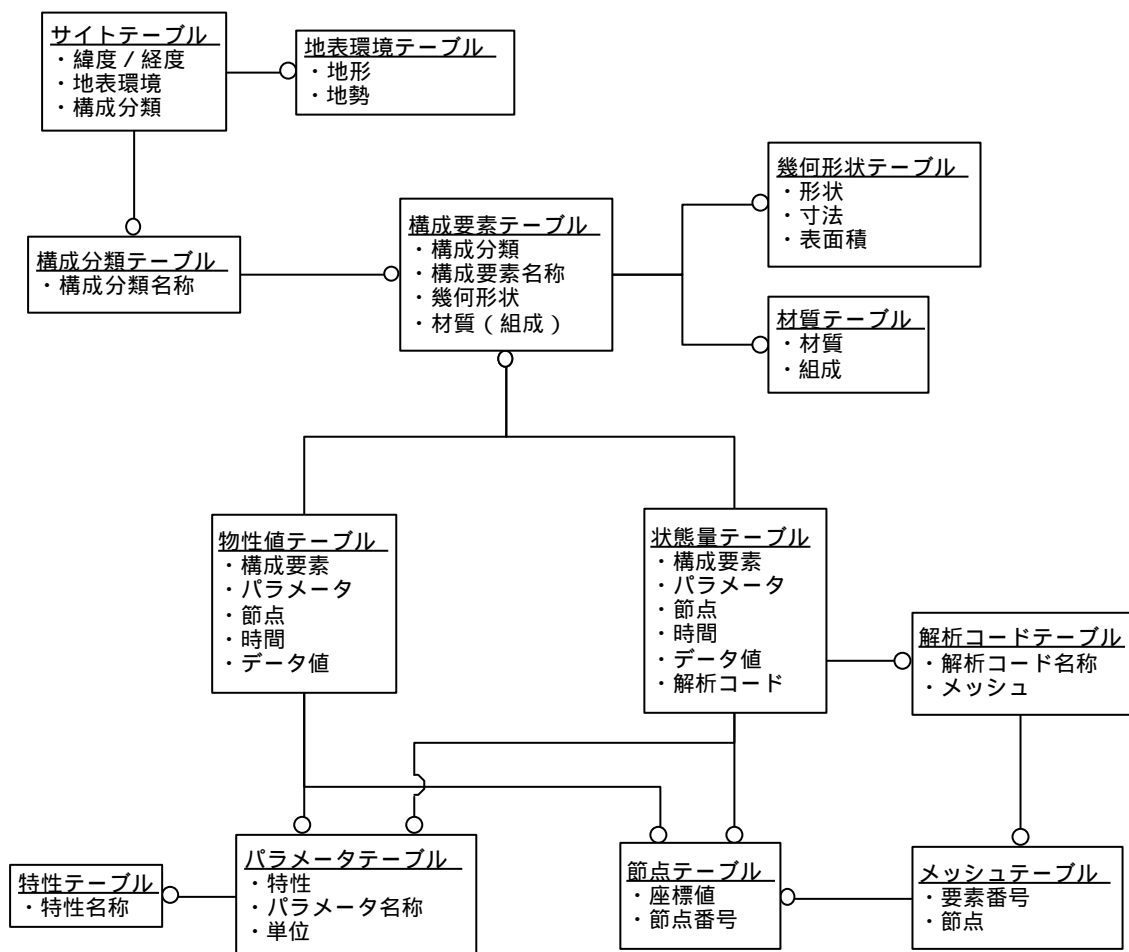


図 2.1.3-1 評価データの階層構造イメージ

## 2.2 地質環境・性能評価を重点とした検討

### 2.2.1 第2次取りまとめの検討

第2次取りまとめの包括的目的は、わが国における地層処分の技術的信頼性を示すことであり、「我が国の地質環境の調査」の目的は重要な地質環境条件を明確にすることとされており、合わせて、第2次取りまとめ作業のなかで「地層処分の工学技術の検討」、「地層処分システムの安全評価」への入力を定めることが行われている。「安全評価」の目的は地層処分システムの長期安全性を示すことであり、「地質環境の調査」との間では次のような情報のやりとりが行われている。

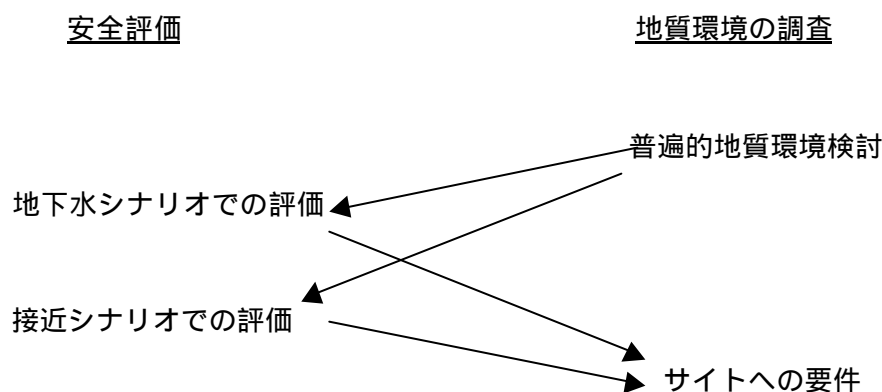


図 2.2.1-1 第2次取りまとめでの安全評価と地質環境調査間のやりとり

数値地層処分統合解析システムの使用目的の一つとして、第2次取りまとめで明らかにされたサイトへの要件をどのように満足させていくかの具体的条件づくり、すなわち、安全基準/評価シナリオ検討の基礎情報整備を挙げることができる。そのような状況においては、場所に依存したシナリオの起こりやすさ、場所が仮に決まってその長期安定性が予測できたときの線量がどうなるかが判断できるように、多量のケーススタディ、パラメータスタディが実施されることが予想され、数値地層処分統合解析システムはその作業の効率的実施を支援するものである。

本節では、地層処分統合解析システムの基本設計の出発点として、第2次取りまとめでのシステム因子と情報処理の流れを整理する。第2次取りまとめでは、地下水シナリオでの評価を主体に以下のような流れで検討が行われている。

#### 地下水シナリオ：

処分システムの多様性とシナリオ・モデル・データの不確実性の扱い方を決める。

処分システムの設定

シナリオ解析（将来挙動を想定）

シナリオをもとにレファレンスケースを設定し、概念モデル、数学モデル、データを設定し、解析

シナリオ・モデル・データの不確実性、処分システムの多様性を基に、モデル、データの変更を行い、感度解析（システムの構成要素及びシステムについて）

感度解析結果を基に安全評価で扱う不確実性・多様性を設定し、線量解析

結果の評価

#### 接近シナリオ：

参考事例として、人間侵入ボーリング、天然現象（隆起・侵食 露呈、気候・海水準変動、断層活動、火山・火成活動）を評価。

性能評価について、システム因子と情報処理の流れを整理した結果を図 2.2.1-2,3 に示す。情報加工を行っているシステム因子、システム因子に入力される情報とそのソース、システム因子から出力される情報とその反映先を第 2 次とりまとめ分冊 3 の構成に従ってまとめた。

システム因子・情報処理の流れの整理結果から、以下が示される。

- ・ 地質環境については generic な立場を採っているため、物質移動の場は 1 次元モデルから出発している（但し 3 次元との比較で妥当性確認はされている）。特定の地質環境を対象とする場合には、1 次元モデルに落とし込むまでの作業に対応したシステム因子を充実させることが重要となる。
- ・ その他の現象については、現象の捉え方に応じてモデル変更は必要であるが、概要調査の段階ではレファレンスケースで用いたシステム因子でほぼカバーできると考えられる。

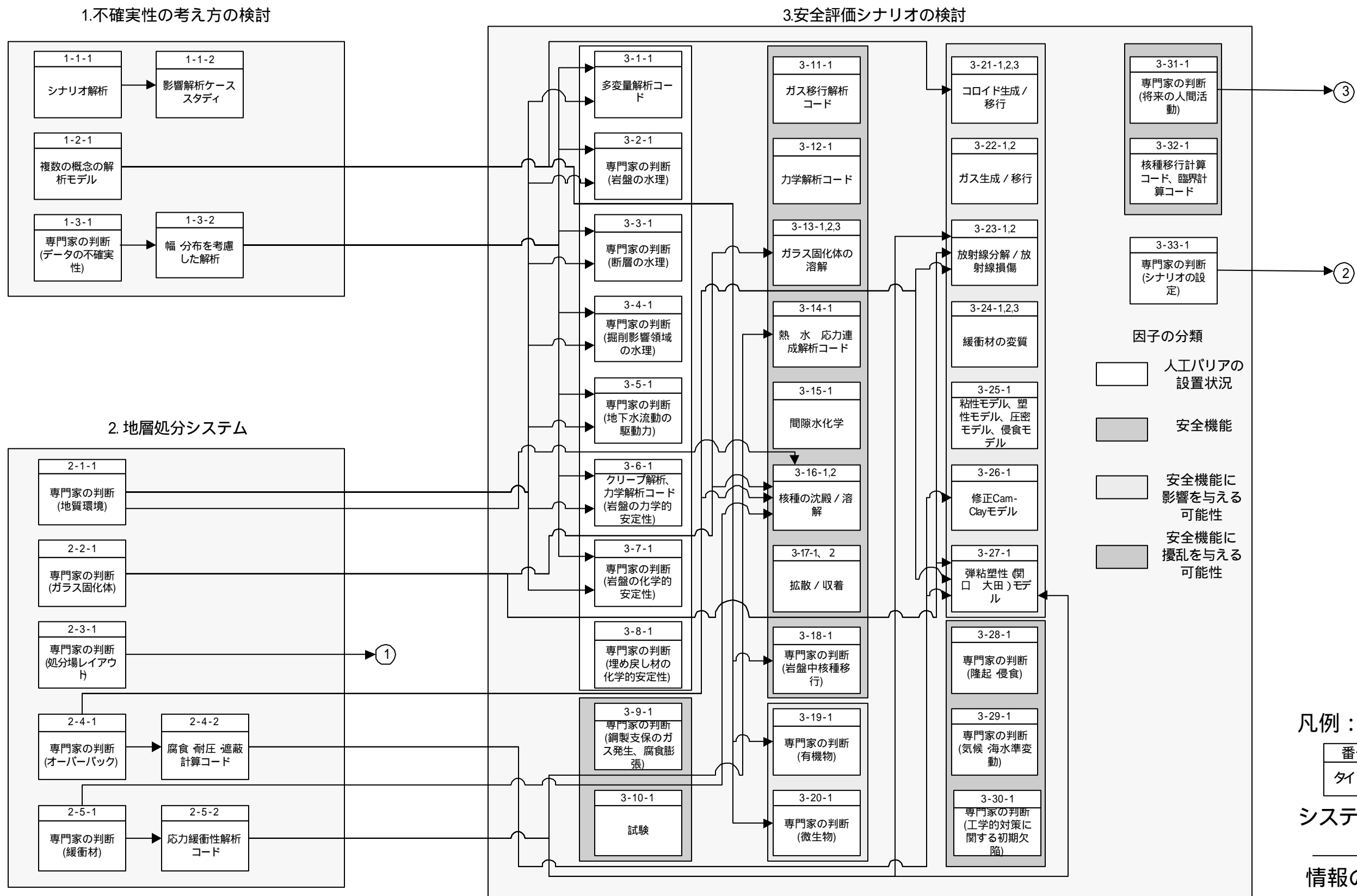


図 2.2.1-2 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ 要約(1)

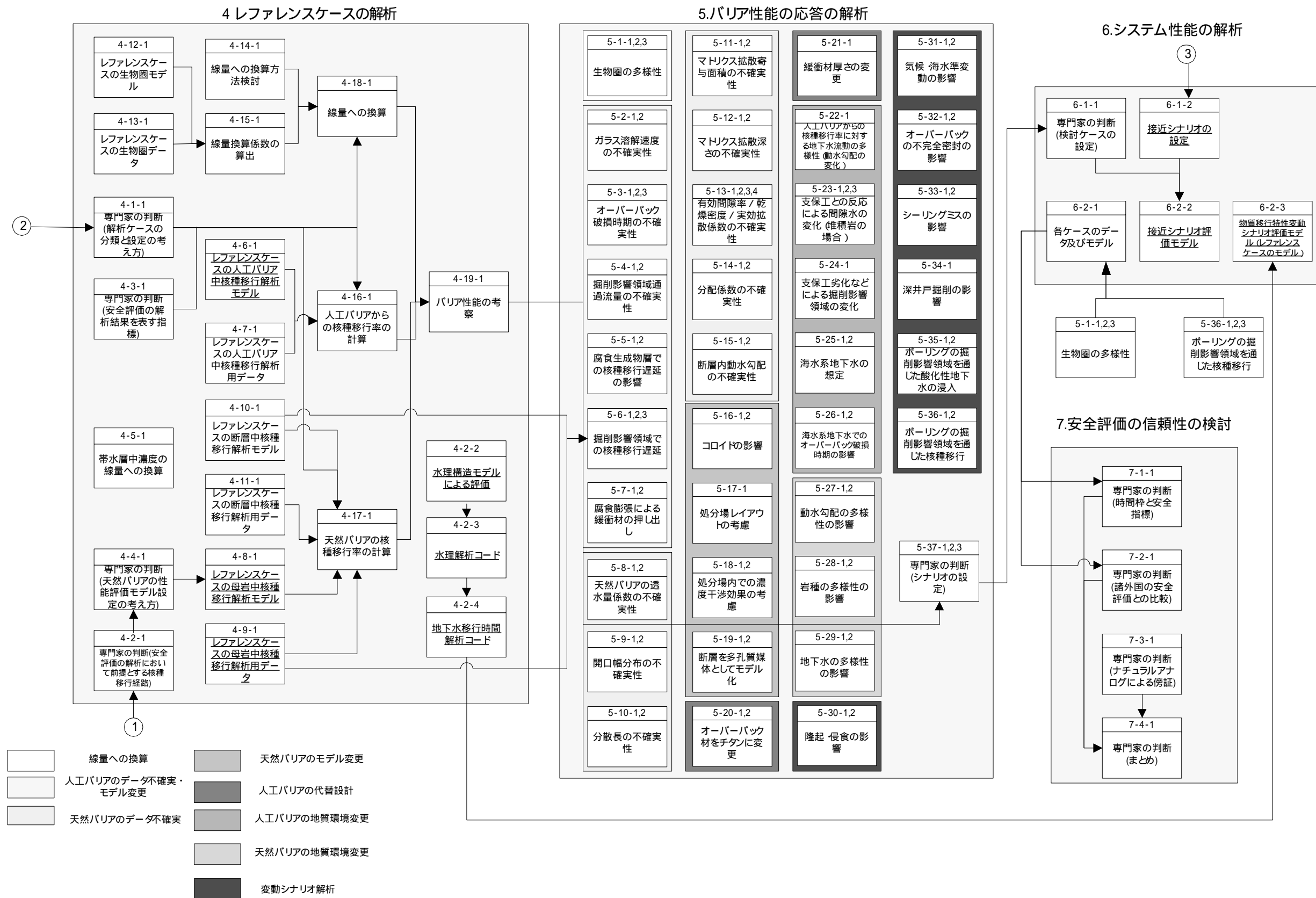


図 2.2.1-1 性能評価のシステム因子・情報処理の流れ 要約(2)

## 2.2.2 特定の地質環境が与えられた場合の構成要素の検討

平成 12 年 11 月にまとめられた「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の考え方について（第一次中間報告）原子力安全委員会 放射性廃棄物安全規制専門部会」では、処分地に要求される環境条件で特に配慮すべきものとして隆起・侵食、断層、火山・火成活動を挙げている。また、安全評価は地下水移行シナリオと接近シナリオに分けて行うとしたうえで、地下水移行シナリオでの評価を安全評価の第一義的シナリオと位置付けている。自然現象については、原子力環境整備構により地震、活断層などに関する文献調査が進められており、第 2 次取りまとめによれば、調査地区の絞込みが進んだ段階で現地でもこれらに関する調査がより詳細に実施されるものと考えられる。地下水移行シナリオについては、その場所の水理・物質移行場の把握とその安定性が評価対象になると考えられる。これらの情報加工を行うためのシステム因子が、数値地層処分統合解析システムに追加されるべきものとして挙げることができる。

追加すべきシステム因子を具体的に検討するにあたり考慮すべき点として、システム因子の地質環境条件依存性がある。既往の検討の多くは陸地立地を想定し、必要とされる技術の検討を行ってきたが、例えば、沿岸海底下に立地する場合には調査技術や性能評価に使用する個別モデルなどが異なってくることが考えられる。現時点では、与えられる地質環境を予め予想することは困難であるため、幅広い地質環境条件に対応できるようにシステム因子を抽出するのが適当であると考えられる。

以上の考え方に基づき、特定の地質環境に依存するシステム因子を検討して前節の図 2.2.1-2～2.2.1-3 に示した。(追加した因子を下線付きで表示)

また、特定の地質環境に依存するシステム因子とそれにデータを供給する地質調査を検討した。項目立ては第 2 次取りまとめに準拠し、必要に応じて取捨選択を行い、取得データの加工から物質移行場をモデル化するまでを対象としたため、データ取得の方法まで遡った整理を行った。事業（調査）の進展に伴い、同じデータ項目でも、取得方法、内容に変遷があるため、処分候補地選定調査、処分予定地調査、サイト特性調査（地上・地下特性調査）に分けて検討を行った。

### 2.2.3 設計との情報交換の検討

#### (1) 目的

地層処分事業において、将来的には地質環境条件を得るための調査に対して性能評価や設計の結果をフィードバックすることにより、性能評価や設計の信頼性を向上させたり、合理化や最適化を進めるといった情報処理の重要度が増すと考えられる。そのため、本節では、地層処分の理想的な形態を検討する。

検討に当たって、誤差巾を持つ地質環境データの取り扱いが不確実性解析により可能となり、3つの研究分野の解析の間に密接なリンクが実現している事を前提とした。

#### (2) 設計との情報交換の検討

第2次取りまとめに基づいて、地層処分場の設計の基本的な流れを整理した。基本的な流れでは、処分場設計は人工バリアと施設の設計から構成される。人工バリアの設計は、オーバーパック及び緩衝材の設計から構成される。施設設計は、坑道間隔・廃棄体間隔、レイアウト設計、及び、人工バリアの長期安定性評価から構成される。各設計項目について設計要件を検討し、それを満足する設計手法の検討が行われている。

以上に基づいて、第2次取りまとめに示されている地層処分システムの地質環境評価と処分技術システム間のデータ交換の内容、及び、安全評価と処分技術システム間のデータ交換の内容についてまとめて図2.2.3-1に示した。この図から人工バリアと施設の設計に必要なデータが、地質環境、設計の前提条件、及び、人工バリアの設計に必要なデータの3種の情報源から処分技術システムに与えられ、人工バリア及び、施設仕様が性能評価システムに渡される様子が示される。



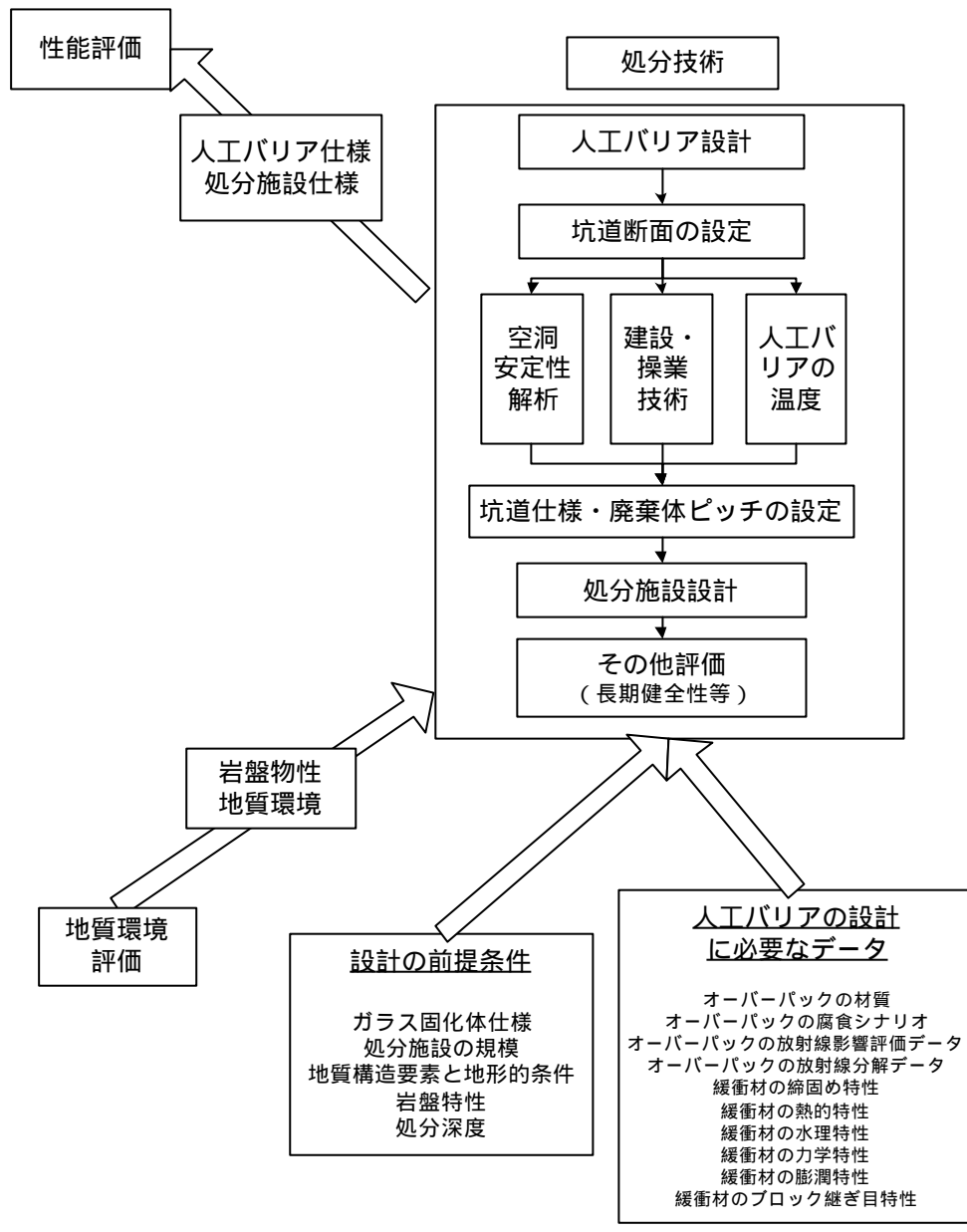


図 2.2.3-1 設計と他分野との情報交換

### (3) 理想的な形態

#### (a) 地質環境評価と性能評価を連携した解析

##### 1) 目的

地質環境評価と性能評価を連携した解析は、地層処分事業のサイト選定における処分場の場所選定に利用される。地質モデルに基づいてボーリング掘削位置の選定を行う場合、及び、予定地の選定のために調査範囲の絞り込みを行う際に生物圏の被曝線量を最小にするための処分場の場所選定機能が必要になるが、これらに本解析が利用されると考えられる。

##### 2) 解析の流れ

地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れをまとめて図 2.2.3-2 に示した。地質環境評価システムは、地質調査より得られたデータを基に 3 次元の地下構造モデルを作成する。性能評価システムは地下構造モデルに基づいて、3 次元の地下水流動計算を行い（水理解析）、地下水流動場から複数の地下水流跡線を求め、その中から生物圏への移行時間が最小の移行経路を選択し（移行時間評価）、選択された移行経路に沿って核種移行計算を行い、生物圏への核種放出率から被曝線量を求める。核種移行計算では、処分場及び人工バリアは第 2 次とりまとめに示された処分概念に従うことが適当である。

地質環境評価と性能評価を連携した解析では、システム間に以下のフィードバック作業が発生すると考えられる。（図 2.2.3-3 参照）

- ・ 性能評価から地質環境評価へのフィードバック作業

測定された地質環境データに基づいた性能評価の結果、線量が安全基準を満たさない場合には、処分場位置の見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。地質環境データの見直しを行う場合は、地質調査を再度実施して性能評価に利用する新しい地質環境データを生成する。

- ・ 感度解析による要因の抽出

多種類の地質環境データの中で性能評価の結果に最も大きな影響を与えているデータを特定するために感度解析が利用される。その結果、特定された地質環境データについて地質調査を再度実施等の見直しを行う。

##### 3) 不確実性解析と感度解析

地質環境評価と性能評価を連携した解析には不確実性解析と感度解析が不可欠である。

- ・ 不確実性解析

地質環境評価と性能評価を連携した解析では、誤差分布を持つ地質データ、及び、処分場位置を入力データとして、不確実性解析が実施される。与えられた入力条件下で地下水流動解析、移行時間評価、核種移行解析、線量評価に対して不確実性解析を行い、

代表値と誤差分布を持つ生物圏の被曝線量が出力データとなる。

本手法は地質データの誤差モデルや誤差パラメータが性能評価に与える影響をサーベイする目的、及び、生物圏の被曝が最小である処分場位置のサーベイに利用される。

- ・ 感度解析

計算手法の観点からは不確実性解析と同じであるが、誤差分布を持つ複数の地質データの中から一つのデータを選択し、そのデータ固有の誤差分布モデルやパラメータに従って不確実性解析を行う。ただし、該当するデータ以外は誤差分布を与えず、代表値を利用する。この解析では、あるパラメータが単独で線量に与える影響を、例えば感度係数の形で解析するのが目的である。

本手法は、例えば線量に大きな影響を与える透水係数の空間的な位置を特定するために用いられる。大きな感度係数を持つ部分の地質データの誤差を低減すると、線量を最も効果的に低減する事が可能である。地質環境データの見直しを効率良く行う事が感度解析の目的である。

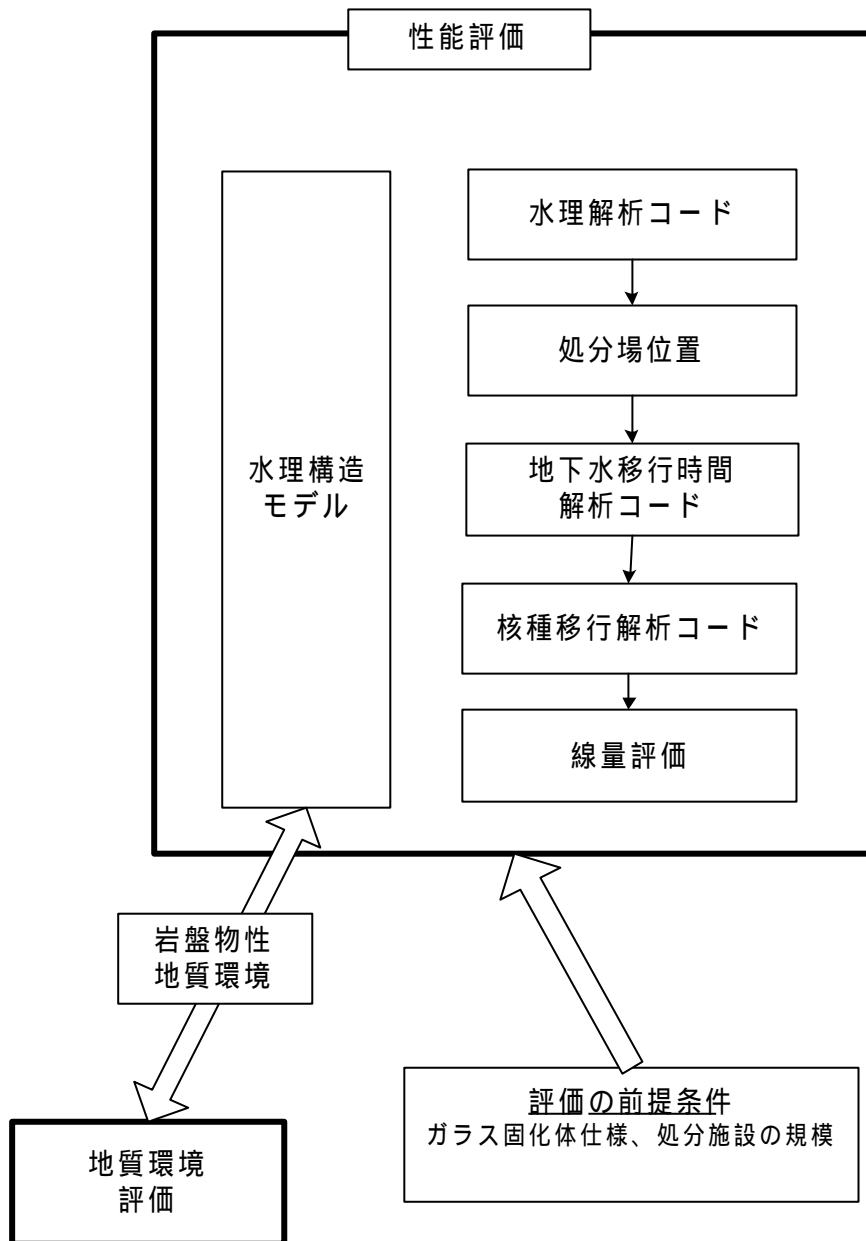


図 2.2.3-2 地質環境評価と性能評価を連携した解析の流れ

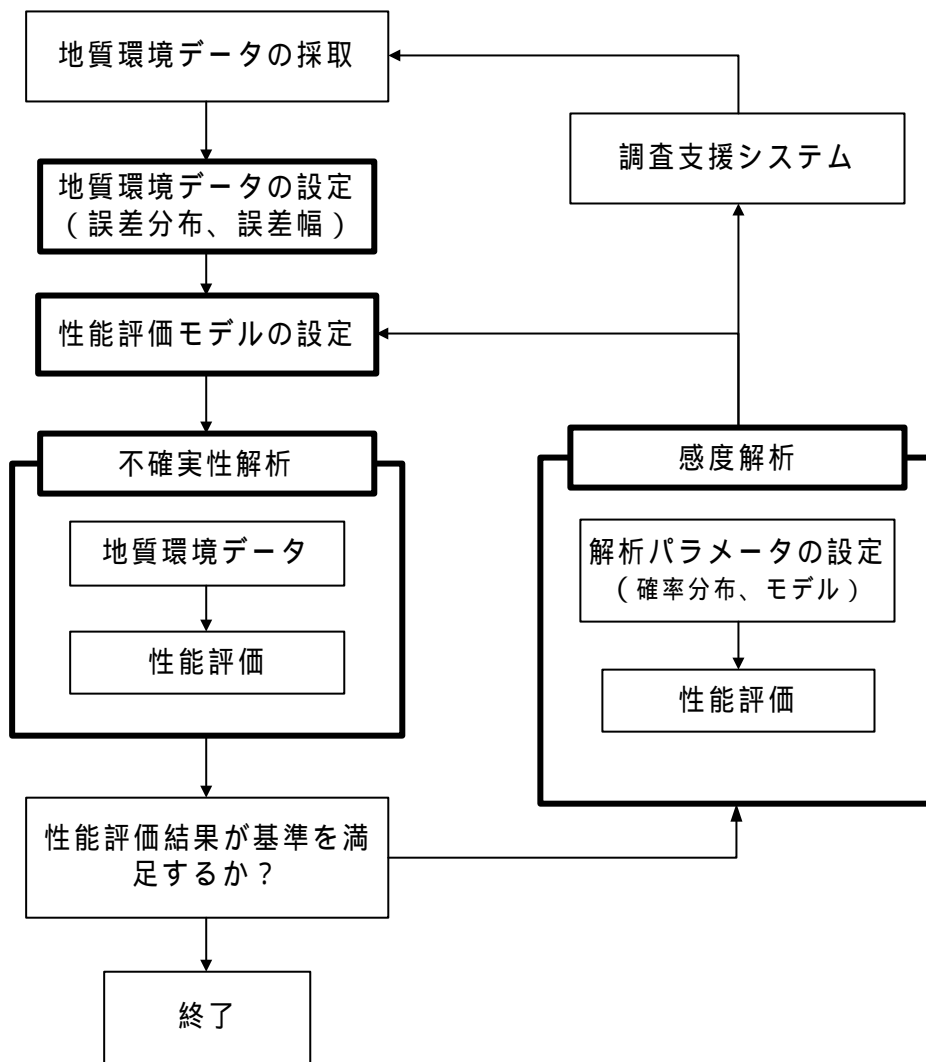


図 2.2.3-3 地質環境データに対する不確実性解析・感度解析の流れ

## (b)地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析

### 1)目的

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析は、地層処分事業のサイト選定以後の段階に利用される。地質環境モデルに基づいて具体的な処分場施設設計を行い、得られた設計仕様が性能評価の基準を満足し、かつコストが最小となるように、設計仕様の見直しを行うために本解析が利用されると考えられる。

### 2)解析の流れ

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析の流れをまとめて図 2.2.3-4 に示した。

地質環境評価システムは、地質調査より得られたデータを基に 3 次元の地下構造モデルを作成する。地下構造モデルは性能評価及び処分技術システムに提供される。処分技術システムは地質データに基づいて、処分施設及び人工バリアの設計を行う。性能評価システムは地下構造モデル及び、処分施設及び人工バリアの設計仕様に基いて処分場の性能評価を行い、例えば生物圏の被曝線量を求める。経済性評価システムは処分施設及び人工バリアの設計仕様に基いて施設の建設コストを計算する。

地質環境評価、性能評価、及び処分技術を連携した解析では、以下のフィードバック作業や最適化作業が発生すると考えられる。

- ・ 処分技術から地質環境評価へのフィードバック作業

測定された地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たさない場合には、設計仕様の見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。

- ・ 性能評価から地質環境評価へのフィードバック作業

地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たすが、性能評価結果が安全基準を満たさない場合には、性能評価モデルの見直し、あるいは、地質環境データの見直しが行われる。

- ・ 経済性評価から施設設計へのフィードバック作業

地質環境データに基づいた施設設計の結果が設計基準を満たすが、経済性評価の結果がコストの基準を満たさない場合には、経済性評価モデル・パラメータの見直し、処分場及び人工バリア仕様の見直し、又は、地質環境データの見直しが行われる。

- ・ 経済性に基づいた施設設計の最適化作業

第 2 次取りまとめによると、施設及び人工バリア設計では相関する幾つかのパラメータ（緩衝材の組成[ケイ砂混合率、乾燥密度]と緩衝材厚さ等）の仕様は一意に決める事は不可能であり、許容範囲しか決められない。よって、施設設計結果が設計基準を満たし、性能評価結果が安全基準を満たしても、施設及び人工バリア仕様は一意には決まらない。

そこで、施設及び人工バリア仕様をコストで最適化する事が必要となる。これが経済性による施設設計の最適化作業である。

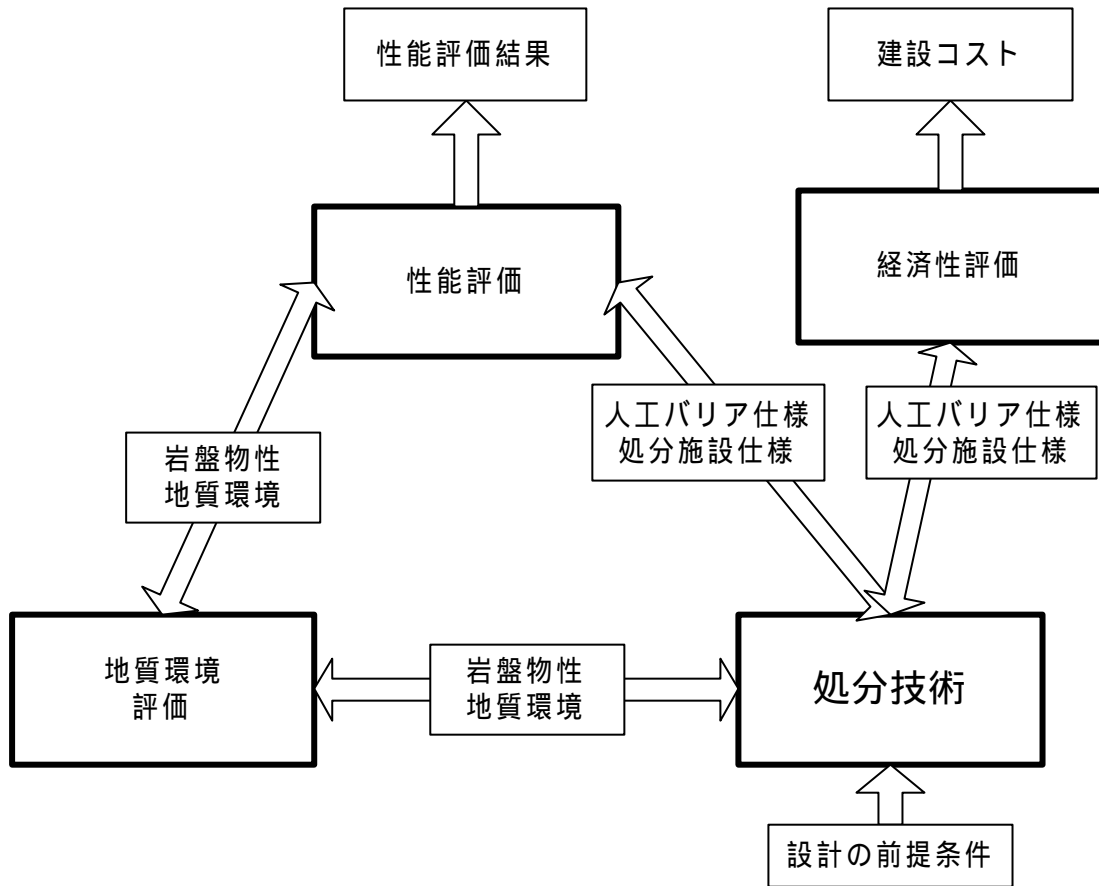


図 2.2.3-4 地質環境 性能評価 処分技術 経済性 解析の流れ

## 2.2.4 知識ベースの階層化の検討

### (1) 知識ベースの階層化

前節までに検討された知識ベースは第2次取りまとめの作業内容を基本としていた。そこで本項では、第2次取りまとめを基にして検討された知識ベースを同種のものについてまとめて、解析の基本的なモデルやデータ間の関係を示した階層化された知識ベースを検討した。

知識ベースを人工バリア、天然バリア、地質環境、生物圏の4種の分野に分類し、各分野は最下層に技術基盤層を持ち、その上位に解析のための知識ベースが存在する階層構造の検討を行った。階層化された知識ベースを図2.2.4-1に示す。

今後システムの手順書へは図2.2.4-1で示されるモデルやデータも利用されると考えられる。

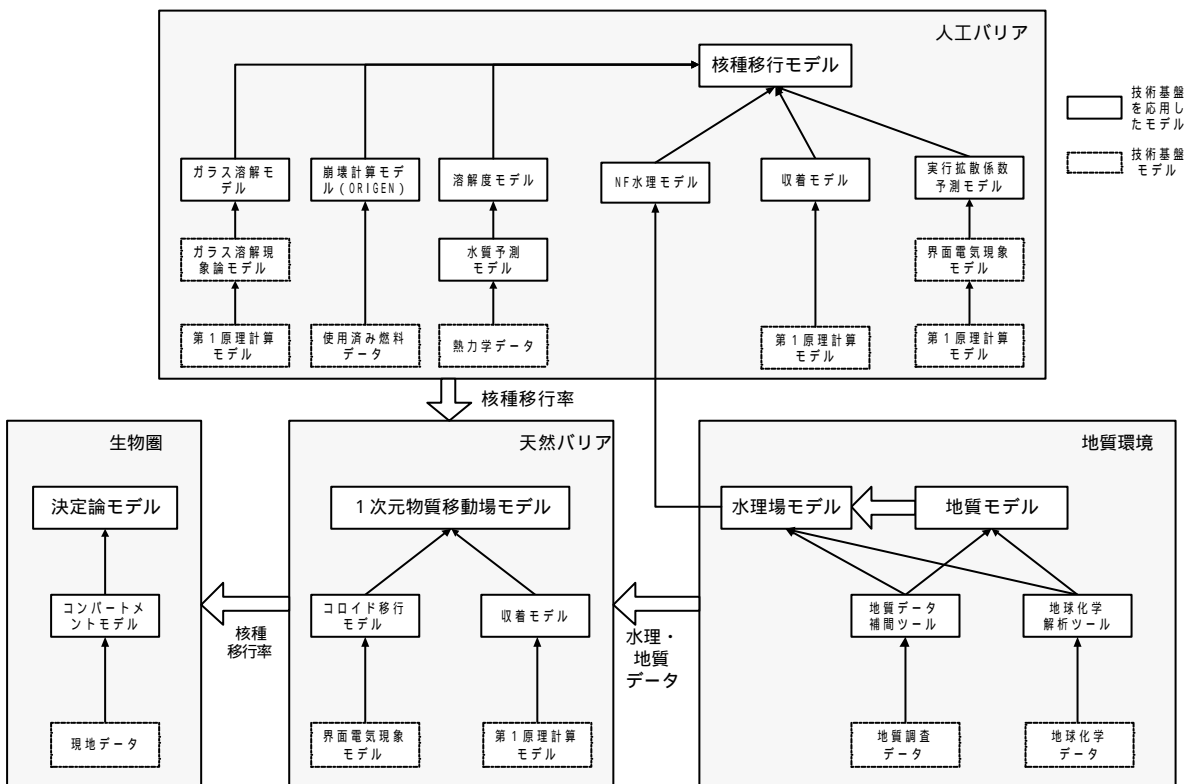


図 2.2.4-5 階層化された知識ベース



### 3. 地層処分統合解析システムの実用化の検討

#### 3.1 処分技術・性能評価を重点とした検討

##### (1) 統合解析システムのプロトタイプ構成

平成 15 年までに開発を進める統合解析システム，すなわち体系化された知識ベースを計算機に展開した場合のシステム概念について検討した。統合解析システムに求められる機能については，研究 3 分野間の整合性の向上と研究成果（知識 / 知見）の共有化が最も重要であると考えられる。この観点から，2.1.1 節で検討した相関マトリクスを計算機に展開し，各分野の研究項目と情報の流れが提示できる機能を有するシステム開発が必要となる。また，これらの情報の流れは，図 3.1-1 に示すように 3 次元的に表現する機能により，対象としている地質環境条件が視覚的に確認できるため，処分場の設計作業や安全評価の対象範囲（モデル化範囲）の特定などに効果的である。なお，評価解析作業を支援する機能については，解析コードの入出力データに対する抽出・登録プログラムによりデータベースとの連携を図ることによって実現する。

##### (2) 統合解析システムの開発計画

上述した機能を実現するための基本システムの開発計画を表 3.1-1 に示す。システムの開発は，相関マトリクスを順次展開して技術基盤情報を検索・表示する機能を中心とした統合的な操作環境と，情報（データ）を視覚的に検索・表示する可視化機能，さらに各種データを管理するデータベースに分けて開発を進める。また，解析コードの入出力データを抽出 / 登録するためのインターフェイスプログラムも，データベースの開発とあわせて行う。

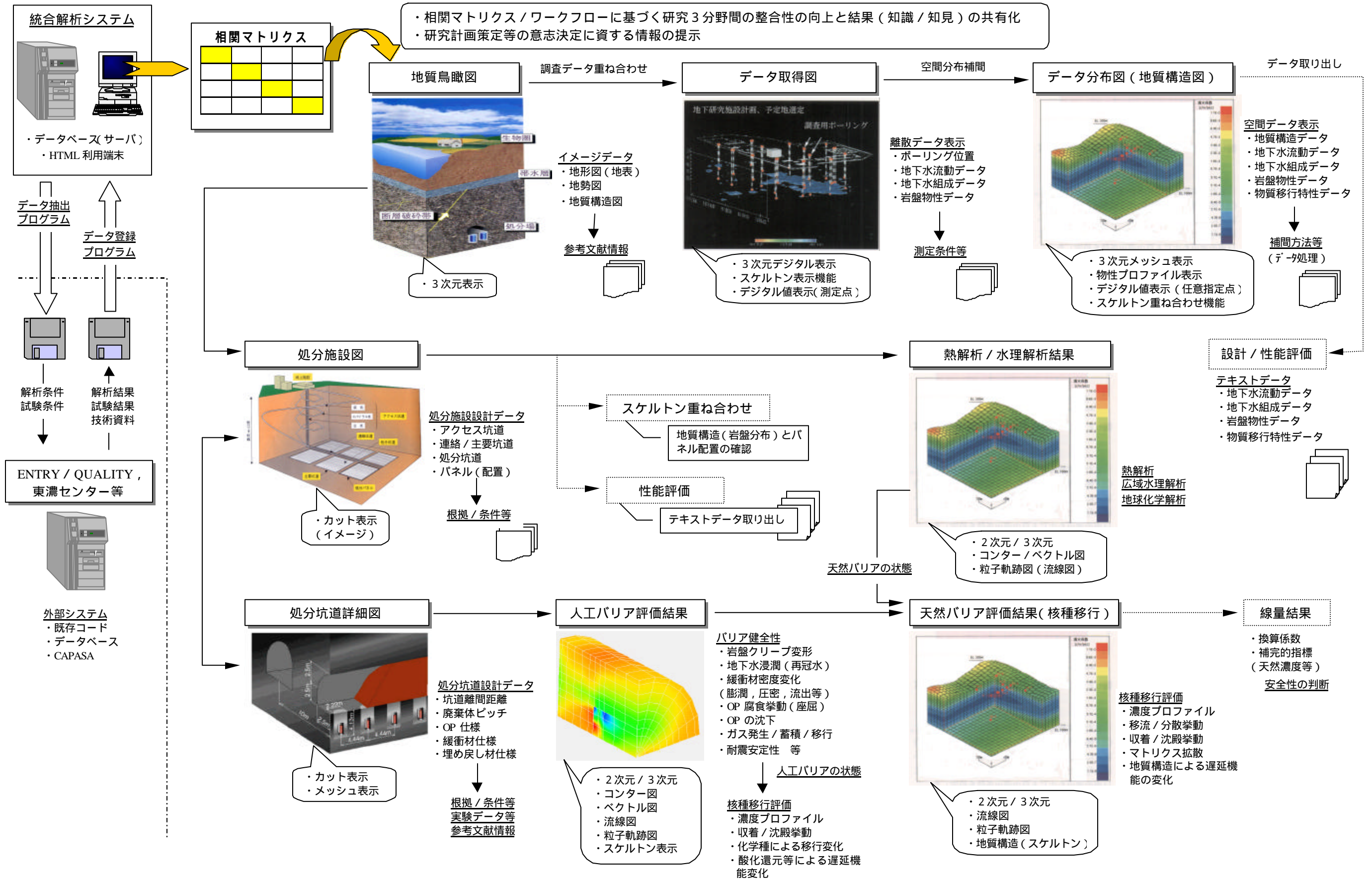


図 3.1-1 知識ベースに基づく統合解析システムの活用イメージ

表 3.1-1 統合解析システムの開発計画

開発フェーズ	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
	概念検討	基本システムの開発			運用 拡張
統合操作環境					
・基本設計	■				
・詳細設計		■	■	■	
・プロトタイプ(機能確認)		■	■	■	
・製作			■	■	
・解析コードの制御機能					■
統合データベース					
・概念構成検討	■				
・既存DB調査		■			
・詳細設計(データベース構造)		■	■	■	
・製作			■	■	
・データ抽出/登録用インターフェイス			■	■	■
可視化機能					
・概念検討	■				
・ツール調査		■			
・詳細設計		■	■	■	
・プロトタイプ(機能確認)		■	■	■	
・製作			■	■	

## 3.2 地質環境・性能評価を重点とした検討

### 3.2.1 知識ベースの検討

#### (1) 知識ベースの意味

本報告書では、知識ベースとは、システムの観点から見た地層処分統合解析システムの情報の流れを表したものであり、「システム因子」と「情報処理の流れ」から構成されるという意味で使用している。知識ベースの意味として一般的に使われる人工知能を使ったエキスパートシステムにおける知識の集積システムではなく、別の意味を与えている。

#### (2) 手順書の検討

第 2 次取りまとめ報告書の記載に基づいて整理検討された知識ベースはシステム開発に当たり、仕様を提供する手順書に記載される。

本報告書の「地層処分統合解析システムの実用化の検討」は一般のコンピュータ・システムの設計の「基本設計」に相当すると考えられる。

#### (3) システム因子・情報処理の流れの特徴

システム因子・情報処理の流れは以下の特徴を持つ。

システムをプロセス及びデータの観点から整理した情報である

データの流れの視点でシステムの仕様をまとめている

シナリオによる表現が適当である

階層化構造を持つ

以上から、システム因子・情報処理の流れ（つまり知識ベース）は一般のコンピュータ・システムの基本設計書の中で重要な役割を果たすデータフローダイアグラムに相当すると考えられる。また、手順書は一般のシステムの基本設計書に相当し、地層処分統合解析システムの開発の仕様となる文書であると考えられる。

#### (4) 手順書へのシステム因子・情報処理の流れの取り入れの検討

##### (a) システム因子・情報処理の流れの取り入れの検討

システム因子・情報処理の流れは人間の判断により多種類のパターンを持つ、データフローダイアグラムに相当すると考えられる。そこで、一般的なシステム設計の手法に

従い、手順書（システム設計書）に基本設計の成果である知識ベース（システム因子・情報処理の流れ）を取り入れるのが適当であると思われる。

将来システムの設計が進み、プログラムレベルの仕様書が作成される段階になると、段階に応じた新しい種類の仕様書を作成し、手順書に取り入れる事が重要である。

#### (b) 品質管理の観点からの検討

今後システムの開発が進むに従って、システム因子・情報処理の流れは見直され、複雑になっていくと考えられる。システム因子・情報処理の流れは手順書でも重要な位置を占めるため、変更履歴等を正確に残す事が必要であると思われる。そこで品質管理の観点からシステム因子・情報処理の流れを検討すると次となる。

#### ・システム因子・情報処理の流れの作成、更新記録の管理

システム因子・情報処理の流れの作成、及び、更新時に作成者、作成日、承認者などの記録を残し、作成更新の履歴を保存する。また、システム因子・情報処理の流れの作成・更新の理由を記録して、多くのユーザがシステム因子・情報処理の流れの作成・更新記録を見てその変更理由や背景知識を理解できるようにする。

#### ・システム因子・情報処理の流れの作成、更新記録の透明性

システム因子・情報処理の流れの作成・更新記録をデータベースに記録する事により、品質管理記録を多数のユーザがキーワードから検索する事を可能とする。これにより品質管理記録の公開性、透明性、追跡性を実現する。

#### (c) 計算機システムへの展開

システム因子・情報処理の流れは多数のデータフローダイアグラムから構成されるので、計算機への展開は容易である。プロセスの記述からはプログラム構造仕様、データフローの記述からは外部インターフェース仕様・画面帳票仕様、データストア部の記述からはデータベース仕様を導く事ができるため、システムの開発に効率良く結び付ける事ができる。

#### (5) 手順書のサンプル

前項までに検討した手順書のサンプルを作成した。（図 3.2.1-1）処分場の場所選定に利用する地質環境と性能評価をリンクした解析の流れをサンプルとして採用した。

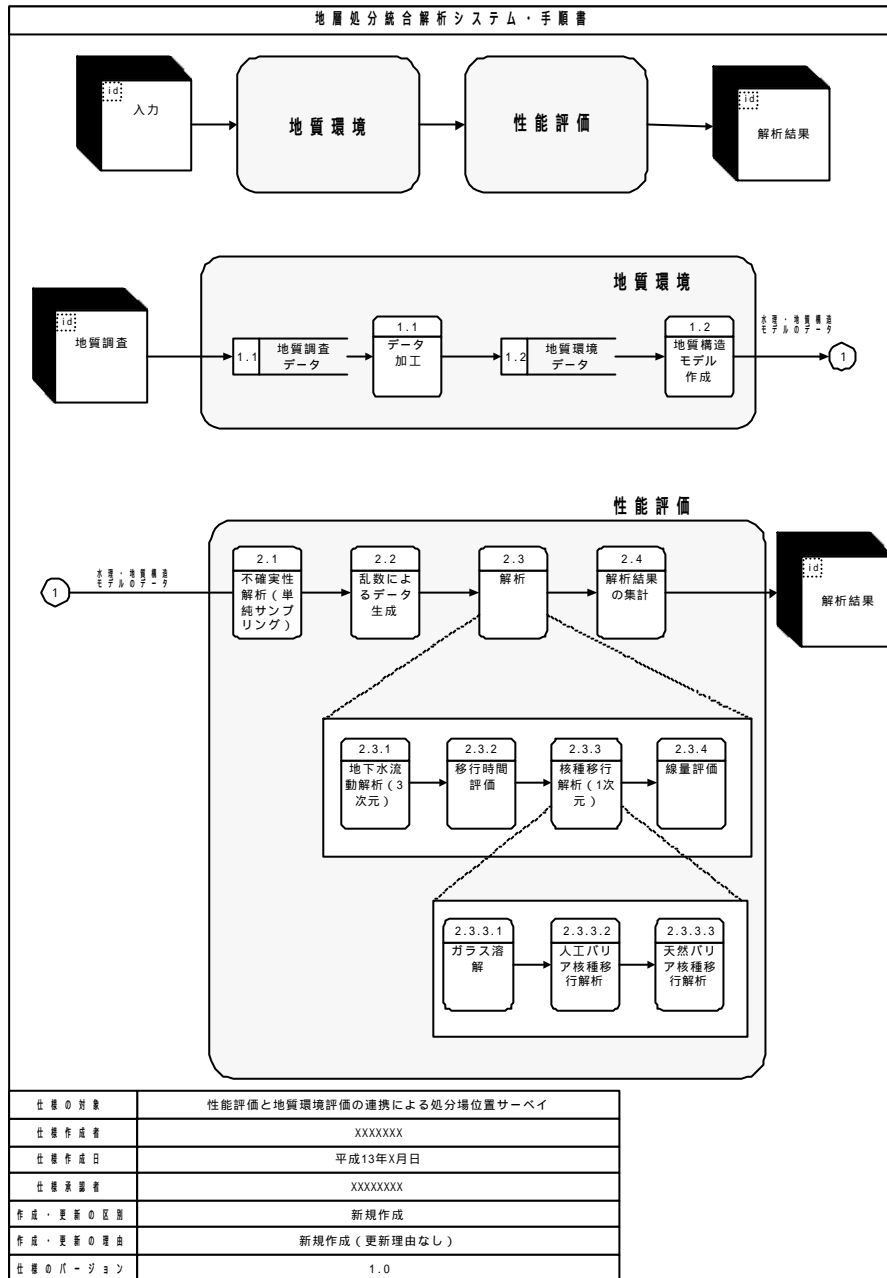


図 3.2.1-1 手順書のサンプル

### 3.2.2 システムの基本設計

#### (1) システムの機能要件

##### (a) システムの構築目的

地層処分統合解析システムの構築目的は以下と考えられる。

原子力発電環境整備機構が、概要調査地区における調査の初期段階での活用が可能なシステム（安全審査基本指針の検討等への活用）を開発すること。

地層処分統合解析システムのプロトタイプの開発

この目的に基づいて開発される地層処分統合解析システムに要求される機能要件を検討する。機能要件の検討にあたっては、以下の3つの観点から機能要件を整理検討した。

- ・概要調査地区における調査段階に要求される解析機能を実現できる
- ・効率の良い解析が実行可能な解析ツールである
- ・システムの運用、維持管理が可能である

#### 1) 概要調査地区における調査段階に要求される解析機能の観点からの検討

概要調査地区における調査段階に要求される解析機能に関しては、サイト選定の機能が必ず必要な解析機能であるが、概要調査地区における調査段階でも設計のための地質環境データが取得されるため、設計の最適化機能をシステムに持たせて処分場設計の検討が可能な環境を作る事が望ましいと考えられる。

この観点からシステムに要求される機能は以下である。

- ・システム因子・情報処理の流れに対応するコード、及び、データベースを持つこと  
知識ベースに対応する解析コード、データベースの中で、2次取りまとめ使用されたコードやデータベースに不足しているアプリケーションをシステムに追加する事が必要である。例えば、性能評価における水理（地下水流動解析）移行時間評価、線量評価コード、及び、地質環境評価における地下構造モデル作成ツール等が不足していると考えられる。また、コストによる処分場の最適化には経済性評価機能が必要である。
- ・高速計算機能  
性能評価における水理解析コードについては、3次元の移流拡散計算が必要であり、

計算負荷が高い。また、不確実性解析をモンテカルロ法で実行するためには、同様に計算負荷が大きくなるので、高速計算機能（並列分散）が必要である。

## 2) 効率の良い解析ツールの観点からの検討

概要調査地区における調査段階に要求される解析では、既に検討された処分場の位置決定のための解析は勿論のこと、データベースへのデータ入力、データの維持管理、性能評価計算などの安全評価の実務作業が実施されると考えられる。

安全評価の実務作業の特徴として以下が挙げられる。

- 莫大な地質環境データを登録、維持管理する。
- 多数回の安全評価計算を実施する。
- 安全評価計算は多数の人員により並行して行われる。

また、地層処分で扱う地質構造データの特徴として以下が挙げられる。

- 基本的に3次元の空間分布データである。
- データ量が多く、データの空間、時間分布の特徴を読み取るのが難しい。

さらに、地層処分の解析の特徴として以下が挙げられる。

- 解析がシナリオに対応しており、シナリオ変更に柔軟に対応できる事が必要である。

以上の観点からシステムに要求される機能は以下である。

### ・情報共有機能

複数ユーザによる協調作業を効率よく進めるために、解析に必要な入力データ、コード、出力データをユーザが共有する機能が必要である。

### ・シナリオによる解析機能、及び、プラットフォームの必要性

複数の解析コードによる一連の解析を知識ベースに対応するシナリオとしてシステムが管理して、ユーザが必要最小限の作業を行うだけで一連の解析を行う機能が必要である。また、シナリオ管理による解析機能の実現には、コードやデータベース間に自由なリンクを張る機能や、コードのシステムへの自由な搭載、削除等の管理が必要となる。この実現のためには、システムにミドルウェアとしてのプラットフォーム機能を持たせる事が必要である。



- ・入力データ、解析、結果の管理、可視化の一貫した解析機能

解析作業の効率化のため、入力データの準備から可視化までをシステムで実行可能とする事が必要である。

- ・シナリオ、データ、モデル、解析に対する品質管理機能

シナリオ、データ、モデル、解析の変更履歴などの品質管理データを追跡可能とする機能が必要である。

### 3)システムの運用、維持管理の可能観点からの検討

システムの運用・維持管理のためには、運用・維持管理機能が必要である。アプリケーションの種類により最適な計算機の種類が異なっているため、システムは複数の計算機から構成される事が予想される。よって分散システムに対応する事が必要である。

以上の観点からシステムに要求される機能は以下である。

- ・位置透過性

複数の異なった種類の計算機から構成される分散システムに対応できるには、透過性が必要である。

- ・運用管理、維持管理

分散システムの運用管理、維持管理機能が必要である。

### (b)外部からの制約条件

システムの機能要件の検討にあたり、外部からの制約となる条件は以下と考えられる。

- ・平成 15 年度末までにプロトタイプの完成が必要である

平成 15 年度以降は、システムの更新や改良を図り、特に概要調査地区における調査段階へ適用可能なシステムを完成する。

- ・アプリケーションの原子力発電環境整備機構への移管にかかる法的問題

JNC 殿が所有している性能評価や処分技術関係の解析コードをシステムに組み込み、原子力発電環境整備機構へ移管するに当たっては、以下の問題があると思われる。

JNC 殿所有のコードを原子力発電環境整備機構へ移管する場合の法的問題

JNC 殿所有のコードをシステムに組み込むに当たって、コードを部分的に修正する場合の法的問題、及び、ソース開示の問題

## (2) システムの構成

### (a) サブシステムの構成

システムの機能要件を実現するため、システムを解析の種類や機能毎にまとめたサブシステムに分解して、サブシステム全体によるシステムが機能要件を満たすように、個別のサブシステム構成及び機能を検討した。

サブシステム構成及び機能の検討結果をまとめて表 3.2.2-1 に示した。この表には、各サブシステムの必要性、機能を検討して挙げた。

また、サブシステムの検討結果に基づいてシステムの構成図を検討して図 3.2.2-1 に示した。ここでは、データフローダイアグラムを用いて、サブシステム間のデータの流れ、及び、機能を明示的に表わしている。

システムに外部から提供されるデータは、地質環境調査と設計の前提条件となる。地質環境評価システム、性能評価システム、処分技術解析システムの3つの解析システムと処分場因子データベースが本システムの中心的な役割を果たし、データがこれらのシステム間で通信される。性能評価、及び、経済性評価結果はデータベースに収納され、コストによる最適化解析などに利用される。

表 3.2.2-1 各サブシステムの必要性と機能

サブシステム	必要性	機能
調査支援	地質調査計画の立案、変更を効率良く進めるための支援を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	調査データの管理機能
地質環境評価	地質データから地質構造、水理構造等を評価する。調査支援システムと連携して、天然バリア性能の定量化を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	地下構造のモデリング機能 調査支援システムとデータ交換する機能
性能評価	様々なシナリオを想定した人工バリア及び天然バリアの性能評価を行い、人工バリア性能の定量化を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	地下水流動解析機能 流跡線解析機能 核種移行計算機能 線量評価機能 第2次取りまとめに使用された主要コードによる解析機能
処分場因子データベース	安全評価及び施設設計のロジックを処分場因子の形で明確化し、解析の方向付けやシナリオの整合性確認を行う。地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理を行う。(概要調査で要求される解析機能の実現・効率の良い解析ツールの実現に必要)	処分場因子データの管理機能 一般データベースのデータを取り込み、性能評価用のデータセットを作成する機能 エキスパートの判断を知識ベースの形で取り込む機能 地質環境評価システム、性能評価システム、処分技術解析システムとのデータのリンクを行う機能
経済性評価	処分技術解析システムから施設設計データを受け取り、処分に関する費用を積算する。(概要調査で要求される解析機能の実現に必要)	費用積算機能 処分技術解析システムとデータのリンク機能
品質管理	シナリオ、コード、データ、解析の品質を管理する。(効率の良い解析ツールの実現に必要)	シナリオ、コード、データ、解析の品質管理データのトレーサビリティ機能 判断支援のための情報提示機能
可視化	ユーザに解析結果等のデータを視覚的に理解し易い形式で示す。(効率の良い解析ツールの実現に必要)	解析結果の可視化機能 CG作成機能、ビジュアライゼーション機能、アニメーション機能
プラットフォーム	アプリケーションの自由な搭載、削除やシナリオ管理に従う解析を行う。(効率の良い解析ツールの実現に必要、システムの運用、維持管理に必要)	アプリケーションの管理機能 シナリオ管理による解析機能 分散システムの統合的管理に必要

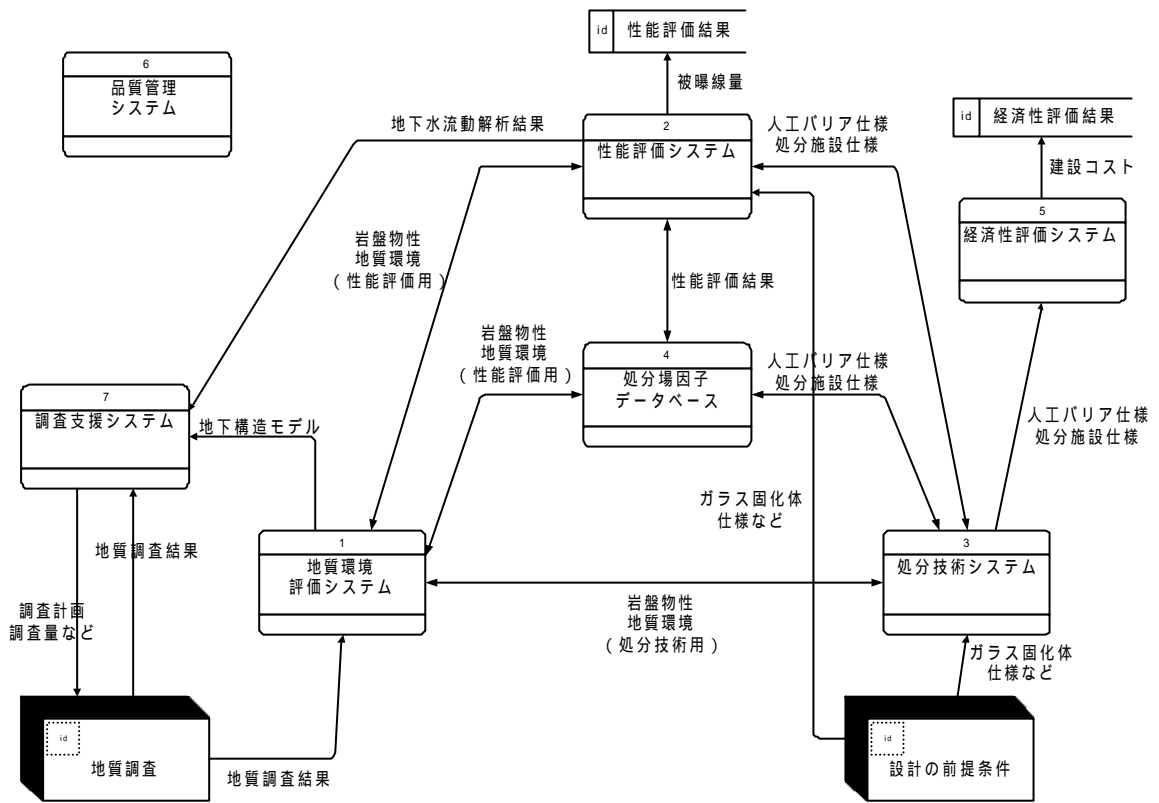


図 3.2.2-2 システム全体のデータフロー図

(b) システムの効果

システムを開発運用する事により期待される効果を、システムの機能要件毎にまとめると表 3.2.2-2 となる。前節での検討に加えて、プラットフォームが寄与する効果の検討を行った。検討の結果、プラットフォームを構築するとコストは高くなるが、運用性、解析及びコードの品質管理、及び、解析性能について多大な向上効果を持つ事が示された。

プラットフォームを開発せずに、情報共有機能だけをシステムに与えて、解析コードは各ユーザが利用する PC に設置し、解析の入力と結果をシステムにユーザが手作業で送信し、可視化ソフトを利用して解析結果を評価する方式を採用した場合、安全評価で要求される複数のコードによる一連の解析や、モデルやデータのサーベイ計算（解析シナリオの一部を変更しての解析の繰り返し）の効率改善効果は、プラットフォームを構築する場合よりも小さい。

以上より、アプリケーションの管理機能やシナリオに基づいた解析機能を持つプラットフォームを構築することが望ましい。

表 3.2.2-2 機能要件毎のシステムの効果

機能	プラットフォーム無し	プラットフォーム 組み込み	備考
コスト	安い (データベースとデータ送受信機能を開発するのみ。既存のグループウェアを利用すればメールやインターネットによるデータ共有を低価格で実現可能)	高い (プラットフォームの開発が必要。コードの修正、場合によっては作り直し、コードの品質管理が必要)	
運用性	悪い (複数のコードがリンクした解析を、ユーザが実行するので作業効率が悪い)	良い (シナリオに基づいた、複数のコードがリンクした解析の運用性が特に良い)	
品質管理	問題あり (ユーザが入出力データの編集を行い、それらを手作業でデータベースに登録・編集するので、手作業に伴うエラー排除ができない。また、コードを変更しても記録に残らないため、コードの履歴管理ができない。)	問題なし (ユーザは基本的に入出力データに手を加えないので、ヒューマンエラーの可能性が最小となる。また、解析の記録が品質管理データとして残るので、誤った解析を追跡して修正する事が可能である。 プラットフォームにより、コードのバージョン管理や使用履歴管理が可能である。)	
解析性能	低い (基本的に1台のPCを利用するので、計算性能が限定される。また、端末毎に計算能力に差が発生する。)	高い (複数PCや他のマシンの使用が可能であるので、計算負荷の高い解析が可能である。)	

### (3) システムの全体像と開発計画

#### (a) システムの全体像

システム構成の検討結果に基づいて、システムの全体像を検討した。さらにシステムの全体像としてソフトウェアの構成を検討した。

システムの全体像の検討に当たっては、地層処分統合解析システムの平成 15 年度までの開発仕様が必要である。ここでは、サブシステムの開発優先度に基づいて、サブシステムの平成 15 年度までの開発項目(仕様)を検討して、それをシステム全体像の検討の前提とした。(表 3.2.2-3)

表 3.2.2-3 サブシステムの開発項目

サブシステム	開発項目	備考
調査支援	(既存のシステムを利用する)	
品質管理	一部の機能を開発(地質環境データ、及び、解析の品質管理)	
経済性評価	一部の機能を開発(最適化に必要な人工バリア、処分施設の簡単な積算機能)	
地質環境評価	全仕様を開発	
性能評価	必要なコードは全て搭載する。モンテカル口法に基づく不確実性解析機能を開発する。それ以外の解析機能は予算などにより調整。	
処分場因子データベース	エキスパートの知識の収納、シナリオ管理機能は開発する。統合データベースは予算などにより調整	
可視化	3次元データの理解を促進するためのビジュアライゼーション機能を開発する。	

システムのソフトウェアの構成を検討して、図 3.2.2-2 に示した。ソフトウェアの観点からは、本システムはプラットフォームとその上に搭載されるデータベース、解析コードから構成され、プラットフォームの採用により解析シナリオの管理、及び、効率的な解析ツールを実現している。処分技術システムが搭載されるプラットフォームとの通信や、あるいは、プラットフォームの分担などについては今後検討が必要と考えられる。

#### (b) システムの開発計画

システムの全体像に基づいて、システムの開発計画を検討した。(図 3.2.2-3)

検討に当たっては、平成 15 年度にプロトタイプを完成するようスケジュールを設定し、かつ、開発内容は表 3.2.2-3 に従った。

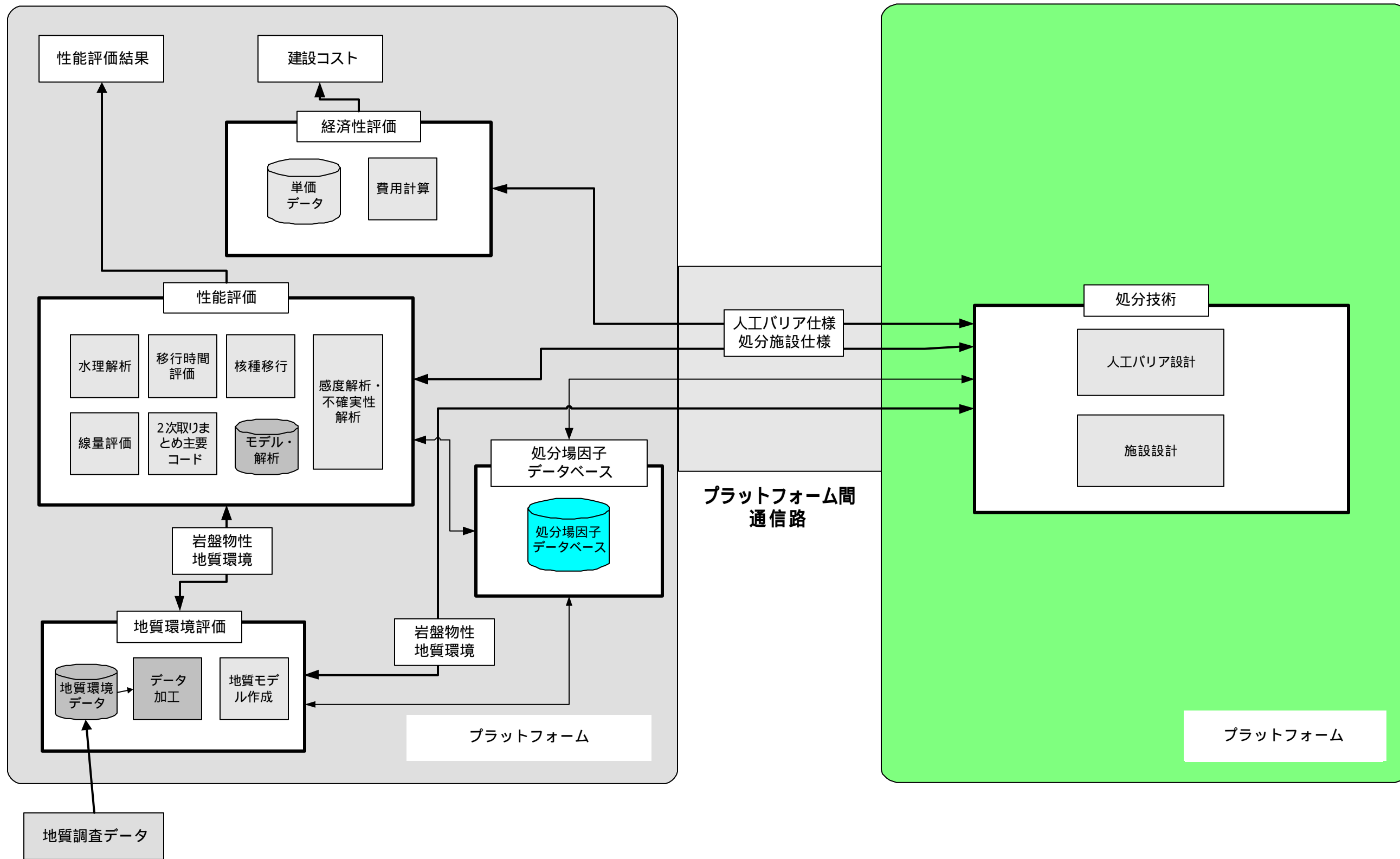


図 3.2.2-3 システムの全体像

システム全体開発計画

システム		アプリケーション	開発項目	2001年 平成13年度	2002年 平成14年度	2003年 平成15年度	備考
地質環境評価システム		地質モデル作成	アプリケーション選定				
			検証				
			プラットフォーム搭載				
性能評価システム		水理解析	アプリケーション選定				
			検証				
			並列分散計算による高速化				
			逆解析機能				
			不確実性解析機能				
			プラットフォーム搭載				
		地下水移行時間解析	アプリケーション選定				
			検証				
			プラットフォーム搭載				
		核種移行解析	アプリケーション選定				
			検証				
			プラットフォーム搭載				
線量解析	アプリケーション選定						
	検証						
	プラットフォーム搭載						
		2次取りまとめに使用した 性能評価主要コード	アプリケーション選定				
			検証				
			並列分散計算による高速化				
処分場因子データベース			基本設計				
			システム開発				
			データ作成・入力				
			プラットフォーム搭載				
経済性評価システム			基本設計				
			システム開発				
			データ入力				
			プラットフォーム搭載				
共通	品質管理システム	地質環境データ	基本設計				
			システム開発				
			プラットフォーム搭載				
	性能評価のモデル 解析	基本設計					
		システム開発					
		プラットフォーム搭載					
可視化システム		基本設計					
		システム開発					
		プラットフォーム搭載					

図 3.2.2-4 システムの開発計画



#### 4. まとめ

本研究では、地質環境条件の調査、処分場設計および性能/安全評価に係わる3分野の解析評価手法とこれを支えるより詳細な基盤的研究を、有機的かつ階層的に統合することにより地層処分の解析評価のための知識ベースとして体系化していく地層処分統合解析システムの基本設計に関する研究を行った。今年度は、当面平成15年度末に向けて安全審査基本指針の検討等および概要調査地区における調査の初期段階での活用を対象にした解析評価体系の提供とその技術的妥当性の保証のための技術基盤の整備を目指し、地層処分システムの構成要素の検討、および実用化の検討を実施した。

- 統合解析システムの構成要素の検討

- (1) 処分技術と性能評価を重点とした検討

第2次取りまとめ報告書に基づいて各研究分野のワーク項目と情報の流れを整理し、処分場設計と性能評価の統合を重点とした関連マトリクスおよびワークフローを作成し、統合解析システムの構成要素を明らかにした。また、評価解析に使用するコードの体系とデータの階層構造をまとめた。

- (2) 地質環境と性能評価を重点とした検討

第2次取りまとめ報告書に基づき3研究分野のシステム因子と情報処理の流れを整理・検討した。次に、特定の地質環境条件が与えられた場合の地層処分事業の作業分析を行い、システム因子と情報処理の流れを作成した。地質環境条件の検討対象として亀裂性媒体/多孔質媒体、立地場所(陸地/海底下)、地殻の長期安定性(隆起/沈降)を考慮して検討した。

さらに、設計と性能評価、地質環境の間の情報交換内容を第2次取りまとめに基づいて整理した。整理結果を基に地質環境、設計、安全評価の3分野間の連関をとった作業の理想的形態を検討した。

システム因子、及び、情報処理の整理結果に対して、知識ベースの技術基盤となる基礎的研究を検討し知識ベースの階層構造を検討した。

- 統合解析システムの実用化の検討

- (3) 処分技術と性能評価を重点とした検討

上記(1)項でまとめた関連マトリクスおよびワークフローに基づいて、統合解析システムの概念構成を検討し、システムの機能についてまとめた。

- (4) 地質環境と性能評価を重点とした検討

上記(2)項での知識ベースの検討結果に基づいて、地層処分統合解析システムの複雑で膨

大な知識ベースを手順書に取りまとめるための方針を検討した。さらに、数値地層処分統合解析システムの構成要素に対して、開発の優先度、及び、技術的難易度を検討してシステムの全体像を検討し、ソフトウェア構成図を作成した。さらに H15 年までのシステムの開発計画を検討した。

## Table of Contents

1. Foreword .....	1
2. Examination of the components of the "Geological Disposal Technology Integration System" .....	1
2.1 Examination with emphasis on disposal technology and performance assessment .....	1
2.1.1 Examination with respect to cooperation and integration of three study fields .....	1
2.1.2 Examination of evaluation system .....	3
2.1.3 Examination of hierarchical structure of evaluation data .....	4
2.2 Examination with emphasis on geological environment investigation and performance assessment.....	5
2.2.1 Examination of the Second Progress Report .....	5
2.2.2 Examination of the component in case that particular geological environment .....	6
2.2.3 Examination of information exchange with design.....	8
2.2.4 Examination of hierarchy of knowledge base .....	13
3. Basic design of the "Geological Disposal Technology Integration System" .....	13
3.1 Examination with emphasis on disposal technology and performance assessment .....	13
3.2 Examination with emphasis on geological environment investigation and performance assessment.....	14
3.2.1 Examination of knowledge base.....	14
3.2.2 Basic design of the system.....	16
4. Summary .....	22

## **1. Foreword**

The objectives of this study is to carry out its basic design about the "Geological Disposal Technology Integration System" that is intended to systematize as knowledge base for analytical evaluation of the geological disposal by integrating organically and hierarchically researches for three fields in relation to geological environmental investigation, design and performance/safety assessment of disposal system and more detailed fundamental study that supports the former.

In this fiscal year, the following studies will be performed toward the end of 2003 for the time being, aiming at examinations of Basic Guideline for Licensing Safety Review and provision of analytical evaluation system and buildup of technological foundation for assurance of its technical validity focused on utilization at initial stage of researches in site characterization.

Examination of the components of the "Geological Disposal Technology Integration System"

Basic design of the "Geological Disposal Technology Integration System"

## **2. Examination of the components of the "Geological Disposal Technology Integration System"**

### **2.1 Examination with emphasis on disposal technology and performance assessment**

#### **2.1.1 Examination with respect to cooperation and integration of three study fields**

(1) Examination items in each study field and arrangement of main outputs information

First, work items of each field of the study were roughly researched on the basis of the Second progress report in order to achieve organic cooperation and integration of three study fields; i.e. "investigation of geological environmental conditions", "disposal technology" and "performance Assessment". The research here was carried out in accordance with the configuration of the table of contents of the Second progress report, and arranged together with main outputs that will be obtained in each work item (study item).

The Second Progress Report is a report that has been organized toward a

comprehensive goal of "demonstrating technical reliability in the geological disposal in our country", and examinations associated with the geological disposal have been made in a comprehensive manner. For this reason, it can be considered that work items based on the Second Progress Report contains principally all examination items for the research and development (R&D) of the geological disposal. Therefore, when considering the components of the "Geological Disposal Technology Integration System", these work items can be taken as "system factors".

### (2) Streamlining of flow of information among three study fields

Inter-relationship of the flow of information (data) among respective items was streamlined according to the aforementioned outline work items, with respect to the flow of information among three study fields. In streamlining, reference was made with interaction matrix that have been used for the identification of correlation between FEPs in the evaluation of biosphere in the Second Progress Report. In the interaction matrix, the components are set as diagonal elements and information that links the components are identified as no-diagonal elements. At this time, the flow of information is described in clock-wise direction.

Work items that were organized in the examination in the above-mentioned paragraph (1) were set as diagonal elements of the matrix, and the flow of information among respective elements (among work items) was organized as correlation matrix by applying this to no-diagonal elements.

Among the correlation matrix prepared, the matrix of the disposal technology and the evaluation of performance are examined. In the correlation matrix, "system factors (diagonal elements)" among the study fields, and the flow of information among the system factors are represented, and they serve as a foundation in achieving cooperation and integration among the study fields, and it is considered that each one element comprising the correlation matrix becomes a component of the Integrated Analysis System. Moreover, it is considered that it will be possible to capture and reflect the technical foundation information by reinforcing the correlation matrix along with the progress of future research and development (R&D), and it will be useful for building the systematized knowledge base.

### (3) Examination of work flow

Based on the examination results of the correlation matrix, detailed work flow was prepared in order to organize more specific examination contents and the flow of information there, with regard to each item shown in terms of the diagonal matrix (system factors).

The prepared work flow was obtained by developing the diagonal elements (system factors) of the correlation matrix to lower level of hierarchy, and it is considered that each one of work items comprising the work flow will also constitute a system factor of the Integrated Analysis System. Therefore, it is considered possible to cope with flexibly the building of knowledge base in step with future R&D and progress of disposal implementation by making provision for hierarchy structure in which the correlation matrix showing the overall flow of R&D is grasped as upper level of the system factor, while the work flow showing detailed examination contents as lower level of the system factor.

#### (4) Examination of the components in relation to specific geological environmental conditions

When considering the Integrated Analysis System in case that disposal implementation would move forward from now on and the conditions at site would be made concrete to some extent, the diagonal elements of the correlation matrix show the flow of overall R&D, and even if the site is identified, the flow of research design assessment will not be much changed. However, there is the possibility that individual examination items (work flow) included in the diagonal elements will be modified (subdivided) depending upon site conditions. Therefore, it is difficult to identify the system factors serving as the components of the work flow at the present time, but it is considered possible to have made provision for the framework of the system that allows to cope with the time-base progress of R&D by combination of the correlation matrix and the work flow.

#### **2.1.2 Examination of evaluation system**

In this Section, scenarios and analysis codes used for the evaluation are organized, and evaluation system in the Second Progress Report is organized, aiming at extracting the items (phenomena) to be born in mind in future evaluation by organizing precondition and analytical condition of safety assessment in the Second Progress Report. The list of analytic codes used for the Second Progress Report is given.

In the safety assessment in the Second Progress Report, groundwater scenarios are prepared after choosing between FEP for the target of safety assessment and FEP to be excluded according to the list of comprehensive FEP. For FEP to be excluded from the safety assessment, those that can be judged to have minor effect on the geological disposal system from experiments and analysis (evaluation of integrity after engineering barriers are buried underground) are selected. Since there is the possibility that treatment of these FEP will be changed as the future R&D makes progress, it is important to grasp the conditions of the engineering barriers serving as initial conditions of transition evaluation, based on the latest results of the design (specification) of the engineering barriers and the evaluation of integrity, and then to incorporate them into evaluation. In addition, it is necessary to feed back exactly the results of the evaluation (multi-barrier performance) and convey the information as to which parameters have effect on multi-barrier performance, and so on. This is nothing but cooperation and integration of "disposal technology" field and "performance / safety assessment" field, and it is considered important to exchange intimately such information.

### **2.1.3 Examination of hierarchical structure of evaluation data**

Database that executes management and utilization of data is essential in order to systematize technical foundation information associated with the geological disposal in the Integrated Analysis System. In the examination of the database structure, focusing attention on physical factors (for example, vitrified wastes, etc.) comprising the geological disposal system, they were classified into physical properties that these factors have, and quantity of state (mainly the results of analysis) obtained by analyzing various phenomena that are supposed to occur there, and organized.

With reference to the classification, general examination was made into the hierarchical structure of the database, and their results were examined. This was organized with reference to relation structure in relational database, but it is considered possible to manage properly the complicated data over the whole disposal system by using such hierarchical structure.

## **2.2 Examination with emphasis on geological environment investigation and performance assessment**

### **2.2.1 Examination of the Second Progress Report**

The comprehensive purpose of the Second Progress Report is to show the technical reliability of the geological disposal in our country, and the purpose of "research into geological environment in our country" is said to specify important geological environmental conditions, and at the same time determination of inputs into "examination of engineering technology of geological disposal", "safety Assessment of geological disposal" is made in the Second Progress Report. The purpose of "safety assessment" is to demonstrate long-term safety of the geological disposal system, and the exchange of information is executed between "safety assessment" and "investigation of geological environment".

One of the objectives to use the integrated analysis system for numerical geological disposal includes establishing concrete conditions of how to meet the requirements for the site; in other words, streamlining fundamental information for examination of safety criteria and assessment scenarios. Under these circumstances, ease of occurrence of the scenarios dependant on the site, it is expected that a large scale of case studies, parameter studies will be performed so that what would be the dose can be judged when the site is tentatively determined and long-term stability there is predicted, and the integrated analysis system for numerical geological disposal serves as rendering assistance to efficient execution of the work.

In this Section, the system factors and the flow of information processing will be organized as a starting point of the basic design of the integrated analysis system for numerical geological disposal. In the Second Progress Report, examinations are made in a flow as below, in which evaluation of groundwater scenario forms the nucleus.

#### **Groundwater Scenarios**

Determine how to deal with variability of the disposal system and uncertainty of scenario model data.

Set the disposal system.

Scenario analysis (assuming future behavior).

Set reference case on the basis of the scenario, then set and analyze conceptual



model, mathematical model, and data.

Modify the model and data on the basis of uncertainty of scenario / model / data and variability of the disposal system, and execute sensitivity analysis (in relation to the components of the system, and the system).

Set uncertainty and variability that will be handled in safety assessment on the basis of the results of sensitivity analysis, and execute dose analysis.

Evaluate the results.

Alternative scenarios:

As reference example, human intrusion (bore holing), natural phenomena (uplift/erosion exposure, Climatic/sea water change, fault activity, volcanic activities) are evaluated.

The results that the system factors and the flow of information processing have been organized about performance evaluation are examined. System factors that undergo information processing, information to be input into the system factors and their sources, information to be output from the system factors and their the target to be reflected to were organized according to the configuration of the Supporting Report 3 of the Second Progress Report.

From the results of streamlining the system factors and the flow of information, the following findings are given:

- Because generic position is taken with regard to the geological environment, a field of mass-transfer starts from one-dimensional model. (However, its validity is verified in comparison with three-dimensional). With the target of particular geological environment, it is important to enrich the system factors that correspond to the work until converting into one-dimensional model.
- With regard to other phenomena, there is need for model modifications in response to how to get a perspective on a phenomenon, but it is considered that the system factors used for reference case can nearly achieve the coverage in the stage of general research.

### **2.2.2 Examination of the component in case that particular geological environment**

On considerations of safety regulations associated with disposal of high level radioactive wastes (first interim report by sub-committee on safety regulations of radioactive wastes, Nuclear Safety Committee, organized in November, 2000), environmental conditions to which particular considerations should be given among those required for disposal sites include uplift and erosion, fault, volcanic activities. In addition, safety assessment intends to be executed by dividing into groundwater scenario and alternative scenario, and evaluation in the groundwater scenario is positioned at the first principle. With regard to natural phenomena, researches into literatures relating to earthquakes, active faults and the like have been in progress by Nuclear Waste Management Organization of Japan, and according to the Second Progress Report, it is considered that surveys on these will be performed in the sites too more in detail at the stage of narrowing the districts to be surveyed has advanced. With regard to underground transfer scenario, it is considered that grasping hydraulics and mass transfer field at the place and their stability will be the target of evaluation. The system factors for performing these information processing can be included as what should be added to the integrated analysis system for numerical geological disposal.

The points to be considered in investigating concretely into the system factors to be added, there is a dependency on geological environmental conditions of the system factors. Many of the previous examinations assume land sitting, and examination of required technologies has been carried out. However, in case of sitting on nearshore seabed, for instance, it is considered that survey techniques and individual models to be used for performance evaluation and the like will differ. At the present time, as it is difficult to predict given geological environment beforehand, it is considered reasonable to extract system factors so as to cope with wide geological environmental conditions.

Based on the above philosophy, system factors that depend on particular geological environment have been examined. Moreover, the system factors that depend on particular geological environment and geological survey that provides these with data were examined. Item design is in accordance with the Second Progress Report, and some items are adopted or rejected as occasion demands, and the target ranged from processing of obtained data to modeling mass transfer field. As a result, streamlining was made going back into method for obtaining data. Even the same data are subject to changes in methods to obtain, the contents in step with the progress of disposal implementation (surveys). As a result, examination was made dividing into selection

survey on potential sites for disposal, survey on planned sites for disposal, characterization on sites (ground surface, underground characteristic survey).

### **2.2.3 Examination of information exchange with design**

#### **(1) Purpose**

In the geological disposal implementation, it is considered that feed back the results of performance assessment and design in relation to surveys to obtain geological environmental conditions on future research increases the importance of information processing in which the reliability of performance assessment and design is improved, and rationalization and optimization is promoted. For this reason, ideal form of the geological disposal will be examined in this Section.

In making examination, it becomes possible to handle geological environmental data having error width by uncertainty analysis, on the premise that close link has been realized among the analysis of three study fields.

#### **(2) Examination of information exchange with design**

Based on the second Progress Report, the basic flow of design of the geological disposal system was streamlined. In the basic flow, the design of disposal system consists of designs of engineering barriers and facilities. The design of the engineering barrier consists of designs of overpack and buffer. The facility design consists of mine cavity interval, waste system interval, layout design, and long-term stability evaluation of engineering barriers. Design requirements for each design item are examined and design method that meets the requirements is being examined.

Based on the above, the contents of data exchange between the geological environmental investigation of the geological disposal system shown in the Second Progress Report and the disposal technology, and the contents of data exchange between the safety assessment and the disposal technology are organized. Data required for designs of engineering barriers and facilities are given from three kinds of information sources; i.e. geological environment, precondition of design, and data required for design of engineering barrier to the disposal technology. Specifications of the engineering barriers and the facilities are passed to performance assessment.

#### **(3) Ideal form**

(a) Analysis in conjunction with geological environment investigation and performance assessment

1) Purpose

Analysis in conjunction with geological environment investigation and performance assessment is utilized in location selection of the disposal sites in site selection of geological disposal implementation. Location selection function of the disposal site will be needed to minimize exposure dose of biosphere in case of selecting drilling position for boring based on the geological model, and in narrowing survey range for selection of planned site, but it is considered that this analysis will be utilized to these.

2) Flow of analysis

Flow of analysis in conjunction with geological environment investigation and performance assessment was examined. Geological environmental investigation builds three-dimensional subsurface structure model based on the data obtained from geological survey. Performance assessment executes three-dimensional groundwater flow calculation based on the subsurface structure model (hydraulics calculation), a plurality of groundwater stream lines are obtained from groundwater flow field and transfer route to minimize transfer time to biosphere among them is selected (transfer time evaluation), nuclide migration calculation is performed along the selected transfer route to determine exposure dose from nuclide release ratio to biosphere. In the nuclide migration calculation, it is reasonable that disposal site and engineering barrier are subject to disposal concept shown in the Second Progress Report.

In the analysis in conjunction with geological environment investigation and performance assessment, it is considered that feed back works will arise between the systems as follows:

- Feedback work from performance assessment to geological environmental investigation

As the results of the performance assessment based on the measured geological environmental data, the review of location of the disposal sites, or the review of the geological environmental data will be executed, in case that dose fails to meet the safety criteria. When executing the review of the

geological environmental data, geological survey is executed again to generate new geological environmental data that will be utilized for the performance assessment.

- Extraction of factors through sensitivity analysis

The sensitivity analysis is utilized in order to identify the data that have the greatest effect on the results of the performance assessment among a variety of geological environmental data. As a result, such reviews as executing geological survey again on identified geological environmental data will be made.

### 3) Uncertainty analysis and sensitivity analysis

Uncertainty analysis and sensitivity analysis are essential for the analysis in conjunction with geological environmental investigation and the performance assessment.

- Uncertainty analysis

In the analysis in conjunction with geological environmental investigation and the performance assessment, the uncertainty analysis is executed taking geological data that have error distribution and locations of disposal sites as input data. The uncertainty analysis is executed in relation to groundwater flow analysis, transfer time evaluation, nuclide migration analysis, dose evaluation under given input conditions, exposure dose to biosphere that have representative value and error distribution will be output data.

This method aims at surveying the influences that error model and error parameters of geological data exert upon the performance assessment, and is utilized for survey of locations of the disposal sites where exposure to biosphere is minimal.

- Sensitivity analysis

It is same as the uncertainty analysis from standpoint of calculation method, but a piece of datum is selected among geological data that have error distribution, and the uncertainty analysis is executed according to error distribution model and parameter that are specific to the datum. However, data other than appropriate data are not given error distribution, whereas

representative values are utilized. The purpose of this analysis is to analyze the influence that a certain parameter exerts independently on dose in the form of sensitivity coefficient, for example.

This method is used for identifying spatial locations of the permeability coefficient that exerts great influence on the dose. If errors of geological data of the portions that have great sensitivity coefficient are decreased, it is possible to reduce the dose most effectively. The purpose of the sensitivity analysis is to make efficient review of geological environmental data.

(b) Analysis in conjunction with geological environment investigation, performance assessment, and disposal technology

1) Purpose

The analysis in conjunction with geological environment investigation, performance assessment, and disposal technology is utilized at the later stage than site selection of geological disposal implementation. Concrete designs of facilities at disposal sites are executed based on geological environmental model, and it is considered that this analysis is utilized in order to review the design specifications so that the obtained design specifications may meet the criteria of the performance assessment and the cost may be minimal.

2) Flow of analysis

The flow of the analysis in conjunction with geological environment investigation, performance assessment, and disposal technology was summarized.

Geological environment investigation builds three dimensional subsurface structure model based on data obtained from geological survey. The subsurface structure model is supplied to the performance assessment, and disposal technology. The disposal technology executes designs of the disposal facilities and the engineering barriers based on geological data. The performance assessment executes evaluation of disposal sites based on the subsurface structure model and disposal facilities and design specifications of the engineering barriers, and determine exposure dose of biosphere, for example. The economy evaluation calculates construction cost of the facilities based on design specifications of disposal facilities and the engineering barriers.

In the analysis in conjunction with geological environment investigation, performance assessment, and disposal technology, it is considered that the following feedback works and optimization works will arise.

- Feedback works from disposal technology to geological environment investigation

In case that the results of facility designs based on measured geological environment data fail to meet the design criteria, review of design specifications, or review of geological environment data will be executed.

- Feedback works from performance assessment to geological environment investigation

In case that the results of facility designs based on measured geological environment data meet the design criteria, but the results of the performance assessment fail to meet the safety criteria, review of performance evaluation model, or review of geological environment data will be executed.

- Feedback works from economy evaluation to facility design

In case that the results of facility designs based on geological environment data meet the design criteria, but the results of the economy evaluation fail to meet the cost criteria, review of economy evaluation model and parameters, review of specifications of disposal sites and engineering barriers, or review of geological environment data will be executed.

- Optimization work of facility designs based on economy

According to the Second Progress Report, it is impossible to determine uniquely specifications of several correlating parameters (composition of buffer [silica mixing ratio, dry density] and thickness of buffer) in facility and barrier designs, and only allowable range can be determined. Consequently, even if the results of facility design meet the design criteria and the results of performance assessment meet the safety criteria, specifications of facility and engineering barrier cannot be determined uniquely. Then, it becomes necessary to optimize specifications of facility and engineering barrier in terms of cost.

#### **2.2.4 Examination of hierarchy of knowledge base**

##### (1) Hierarchy of knowledge base

Knowledge base that has been examined up to the preceding section is based on the work contents in the Second Progress Report. Then, in this paragraph, the knowledge base that was examined according to the Second Progress Report was organized with respect to same kinds, and hierarchical knowledge base that shows the relationship between basic model of analysis and data was examined.

The knowledge base is classified into four kinds of areas; engineering barrier, natural barrier, geological environment, biosphere, and hierarchical structure where each area has technical foundation layer at the bottom layer, and knowledge base for analysis exists at the upper level was examined. The hierarchical knowledge base was examined.

It is considered that model and data will be utilized in the procedure of the system from now on.

### **3. Basic design of the "Geological Disposal Technology Integration System"**

#### **3.1 Examination with emphasis on disposal technology and performance assessment**

##### **(1) Concept configuration of integrated analysis system**

The integrated analysis system of which development will be pursued until the year 2003, in other words, the system concept in case that systematized knowledge base be developed into computer, was examined. For the functions that are sought after the integrated analysis system, it is considered that improvement in consistency among three study fields and shared utilization of the results of the study (knowledge and findings) are the most important. From this viewpoint, it becomes necessary to carry out system development that performs the functions of expanding the correlation matrix examined previously to computer, and furnishing study items of each field and flows of information. In addition, these flows of information are effective for identification of target range (modeling range) of designing work of disposal sites and safety assessment because geological environment conditions can be visually with the help of the function that enables three-dimensional representation. It is noted that the function that assists the evaluation and analysis work can be realized by achieving close connection with database with the help of extraction/registration program in relation to input and output data of analytic codes.



## (2) Development plan of the integrated analysis system

Development plan of principal system to realize the aforementioned functions was established. System development will be pursued by dividing into integrated operational environment centered on the function of expanding the correlation matrix in sequence and retrieving/displaying technical foundation information and visualization function of visually retrieving and displaying information (data), and besides, database that manages a variety of data. Further, interface program for extracting and registering input and output data of the analytic codes will be developed together with the development of database.

## **3.2 Examination with emphasis on geological environment investigation and performance assessment**

### **3.2.1 Examination of knowledge base**

#### (1) Meaning of knowledge base

In this Report, a knowledge base represents a flow of information of the integrated analysis system for numerical geological disposal from viewpoint of a system, and is used in the sense that it consists of "system factor" and "flow of information processing". As a meaning of knowledge base, it gives a different meaning, rather than collection system of knowledge in expert system that uses artificial intelligence that is commonly used.

#### (2) Examination of procedure

The knowledge base that was examined according to the descriptions in the Second Progress Report will be described in the procedure that provides specifications in carrying out system development.

Examination of commercialization of the integrated analysis system for numerical geological disposal in this report is considered to be analogous to "basic design" in design of general computer system.

#### (3) Features of system factors and flow of information processing

System factors and flow of information processing have the following features:

- Obtaining information by arranging a system from viewpoint of process and data.
- Summarizing system specifications from a point of view of flow of data

Proper representation by scenario  
Having hierarchical structure

From the above, the system factors and the flow of information processing (i.e. knowledge base) is considered to be analogous to data flow diagram that plays important role in basic design documents of general computer system. In addition, the procedure is considered to be analogous to basic design document of general system, and to be a document that serves as specifications for the development of the integrated analysis system for geological disposal".

(4) Examination of incorporating system factors and flow of information processing into procedure

(a) Examination of incorporating system factors and flow of information processing

The system factors and the flow of information processing is considered to be analogous to data flow diagram that has many kinds of patterns depending on human judgments. As a consequence, it seems reasonable to incorporate the knowledge base (system factors and flow of information processing) that is an outcome of basic design into the procedure (system design plan) in compliance with the method for general system design.

When design of system far progresses in future, and it reaches a stage where specifications at program level are prepared, it is important to prepare a new kind of specifications appropriate to the stage and incorporate them into the procedure.

(b) Examination from viewpoint of quality control

As system development advances from now on, it is considered that the system factors and flow of information processing will be reviewed and become complicated. The system factors and flow of information processing assumes a significant position even in the procedure, and hence it seems necessary to record exactly history of modifications and the like. As a result, from viewpoint of quality control, the system factors and the flow of information processing will be examined as follows:

- Preparation of system factors and flow of information processing and management of records of updates

When the system factors and the flow of information processing are prepared and updated, records of the person who prepared, date when prepared, the person who approved and the like are kept and histories of preparations and updates are preserved. In addition, keeping records of preparations and reasons for updates of the system factors and flow of information processing will allow many users to understand the reasons for the modifications and background knowledge when just seeing records of the person who prepared, date, the person who approved and the like.

- Transparency of the records of preparations and reasons for updates of the system factors and flow of information processing

Storing the records of preparations and reasons for updates of the system factors and flow of information processing in database will allow many users to retrieve quality control records from keywords, thereby realizing release to public, transparency, traceability of quality control records.

(c) Expanding to computer system

The system factors and the flow of information processing are made up of a lot of data flow diagrams, leading to easy expansion to computer system. Program structure specification can be derived from the statements of process, external interface specification and screen document from statement of data flow, database specification from the statement of data store section, and consequently they can be connected more efficiently to system development.

(5) Sample of procedure

Sample of the procedure examined up to the preceding paragraph was prepared. Flow of analysis that establishes a links between geological environment investigation and performance assessment that will be utilized for location selection of disposal sites was adopted as sample.

### **3.2.2 Basic design of the system**

(1) Functional requirements for system

(a) Purpose to build the system

The purpose to build the integrated analysis system for numerical geological disposal is considered as follows:

Nuclear Waste Management Organization of Japan shall develop a system (utilization to examinations of principal guideline for licensing safety review) that allows its utilization at the initial stage of site characterization.

Development of prototype for the integrated analysis system for numerical geological disposal.

Functional requirements demanded to the integrated analysis system for geological disposal will be examined on the basis of this purpose. When examining functional requirements, they were arranged and examined from the following three viewpoints:

- Enabling to realize analyzing function required for first survey stage in site characterizations
- Serving as analyzing tool that makes more efficient analysis to be feasible
- Making operation of system, maintenance management possible

1) Examination from viewpoint of analyzing function required for first survey stage in site characterizations

With respect to the analyzing function required for first survey stage in site characterization, which always requires the function of site selection, geological environment data for designing can be acquired even at first survey stage in site characterization. As a result, it is considered to be advisable to build an environment that allows examination of design of disposal sites by adding a function of optimizing the design to the system.

Functions to be required for the system from this point of view include:

- To have codes, database corresponding to the system factors and the flow of information processing

It is necessary to add an application that is lacking in codes and database used in the Second Progress Report, among analytic codes, database that correspond to knowledge base, to the system. For example, hydraulics (groundwater flow analysis), transfer time evaluation, dose evaluation codes in performance assessment, and tools for building subsurface structure model in geological environment evaluation, and the like are considered to be lacking. Besides, economy evaluation function is needed for optimization of

disposal sites in terms of cost.

- High-Speed Computation Function

With regard to hydraulics analytic codes in the performance assessment, three-dimensional advection and dispersion calculation is required, with high calculation load. Further, computation load becomes great in the same manner in order to execute uncertainty analysis by Monte Carlo analysis, thus requiring high-speed computation function (parallel distributed).

## 2) Examination from viewpoint of more efficient analyzing tool

In analyzing function required for first survey stage in site characterization, practical work of safety assessment including data input to database, maintenance management of data, performance assessment calculation, as well as analysis for determining the locations of disposal sites, is considered to perform.

Features of practical work of safety evaluation include:

- Register of massive geological environment data and execute maintenance management thereof.
- Make many times of safety assessment computations.
- Safety assessment computations are conducted in parallel by many people.

Further, features of geologic structure data handled in geological disposal include:

- Three-dimensional spatial distribution data in principle.
- With a huge quantity of data, it is difficult to read out features of spatial time-based distribution of data.

Still further, features of analysis of geological disposal include:

- Analysis correspond to scenarios, and thus there is need for being capable of coping flexibly with modifications of scenarios

From these viewpoints, the functions required for the system include:

- Function of sharing information

In order to proceed with cooperation work more efficiently by a number of users, the function of sharing commonly input data, codes, output data needed for the analysis is required.

- Needs for analyzing the function by scenario, and platform

The function of making a consequently analysis is required, in which the system manages a series of analysis by a number of analytic codes as a scenario that corresponds to knowledge base, and users only perform the minimal necessary works. Further, function of networking free links among codes, databases and management of free equipping and deleting codes to/from the system are required in order to realize analytical function by scenario management. For this realization, it is necessary to add platform function to the system as middleware.

- Consistent analytical function all the way from input data, analysis, management of results, all the way through visualization

It is needed to make feasible the steps in the system from preparation of input data to visualization so that analyzing work may move toward greater efficiency.

- Quality control function in relation to scenario, data, model, analysis

There is a need for function that makes quality control data including history of modifications in scenarios, data, models, and analysis traceable.

- 3) Examination from viewpoint of possibility of operation of system, and maintenance management

Operation and maintenance management function is needed for the operation of system, and maintenance management. Since optimum type of computer differs depending of kind of application, it is expected that the system may consist of a number of computers. Consequently, it is necessary to cope with distributed system.

From these viewpoints, the functions required for the system include:

- Transparency of locations

Transparency is needed for the capability to cope with distributed system that is comprised of a number of different types of computers.

- Operational management, maintenance management

Function of operational management, maintenance management of the distributed system is needed.

(b) Constraint conditions from the external

In examining functional requirements for the system, the conditions that will be constraints from the external include:

- Completion of prototype by the end of fiscal 2003 is required

From fiscal 2003 up, it is planned to achieve update or improvement of the system and in particular, complete the system applicable to first survey stage in site characterization.

- Legal problems associated with transfer of application to Nuclear Waste Management Organization of Japan

In incorporating analytic codes relating to performance assessment and disposal technology that JNC owned possesses into the system, and transferring them to Nuclear Waste Management Organization of Japan, the following problems seem to arise:

Legal problems in case of transferring the codes that JNC owned possesses to Nuclear Waste Management Organization of Japan

Legal problems and problems with disclosure of the source in case of partially modifying the codes, in incorporating the codes that owned JNC possesses into the system

(2) System configuration

(a) Subsystem configuration

Individual subsystems configurations and functions were examined so that the system comprising the entire subsystems may meet the functional requirements by breaking down the system into subsystems that are grouped by kind and function of analysis in order to realize functional requirements for the system.

The results of the examination of the subsystems configurations and functions

were summarized, and necessity and function of each subsystem were made clear.

In addition, system configuration chart was examined based on the results of the examination of the subsystems configurations and functions. Here, flow of data between subsystems, and functions are represented expressly using data flow diagram.

Data supplied from the external to the system are geological environment investigation and precondition of design. Three analysis system which is geological environment evaluation subsystem, performance assessment subsystem, disposal technology subsystem, and database of disposal sites factors play a central role of the present system, and the data are communicated among these systems. The results of the performance assessment, and the economy evaluation are stored in the database, and utilized optimization analysis in terms of cost.

(b) Effects of system

The effects that will be expected by developing and operating the system were summarized for each functional requirement. In addition to the Examination in the preceding section, the effects that platform contributes were examined. As a result, it was demonstrated that building the platform increases the cost, operability, whereas produces great effect on quality control of analysis and codes, and analyzing performance.

If the platform were not developed, and a method were adopted, in which only the function of sharing information is given to the system, analytic codes are installed on PC that each user utilizes, users send input and result of analysis by manual work, and analysis results are evaluated using visualization software, work efficiency of various works relating to safety assessment could not be upgraded. This is because this method can not improve the efficiency of survey calculations (repetition of analysis by partial modifications of analysis scenario) of a series of analysis, models, data by a number of codes required by safety evaluation.

From the above, in improving work efficiency of general survey in geological disposal implementation by Nuclear Waste Management Organization of Japan, the need for the platform that has management function of application and



analyzing function based on the scenario was demonstrated.

### (3) Overview of the system and development plan

#### (a) Overview of the system

Based on the results of the examination of system configuration, overview of the system was examined. Moreover, software configuration was examined as overview of the system.

The examination of the overview of the system involves development specifications of the integrated analysis system for geological disposal until fiscal 2003. Here, based on the priority of developments of the subsystems, development items (specifications) of the subsystems until fiscal 2003 were examined, which was made to be a precondition to the examination of overview of the system.

Software configuration of the system was examined. From viewpoint of software, the system is comprised of the platform and database mounted thereon, and analytic codes. Adoption of the platform contributes to the realization of management of analytical scenarios, and efficient analytical tool. Further Examinations will be in need regarding communication with the platform mounting the disposal technology system and share of the platform.

#### (b) Development plan of the system

Development plan of the system was examined on the basis of the overview of the system. When carrying out the examination, the schedule was set so as to complete the prototype in fiscal 2003, and followed the contents of the development.

## **4. Summary**

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 evaluation of geological disposal by integrating organically and hierarchically analysis and evaluation method three study fields associated with geological environment investigation, disposal technology and performance/safety assessment, and more detailed fundamental study that supports the former. In this fiscal year, examinations of the components of the geological disposal system, and

examination of its practical application were carried toward the end of 2003 for the time being, aiming at examinations of basic guideline for licensing safety review, and provision of analytical evaluation system focused on the good use at initial stage of site characterization and buildup of technological ground for assurance of its technological validity.

#### Examination of the components of the "Geological Disposal Technology Integration System"

##### (1) Examinations with emphasis on disposal technology and performance assessment

Work items of each study field and flow of information was streamlined based on the Second Progress Report, and the correlation matrix and work flow were prepared with emphasis on integration of disposal sites designs and performance assessment, and the components of the integrated analysis system were specified. In addition, a system of codes that will be used for analytical evaluation and hierarchical structure of data were crystallized.

##### (2) Examinations with emphasis on geological environment investigation and performance assessment

System factors and flow of information processing in three study fields were streamlined and examined on the basis of the Second Progress Report. Next, work study of geological disposal implementation was made in case that particular geological environment conditions are given, and the system factors and flow of information processing were prepared. These examinations were made considering fracture medium and porous medium, sitting locations (land/seabed), long-term stability of crust (uplift/erosion) as examination target of geological environment conditions.

Further, the contents of information exchange between design and performance assessment, and geological environment investigation were streamlined on the basis of the Second Progress Report. Ideal form of the work that has linkage among three fields of geological environment investigation, disposal technology, and safety assessment was examined on the basis of the results of the streamlining.

Basic study that serves as technical foundation of knowledge base in relation to the results of the streamlining of system factors, and flow of information processing was examined, and the hierarchical structure of the knowledge base was examined.

#### Basic design of the "Geological Disposal Technology Integration System"

(3) Examination with emphasis on disposal technology and performance evaluation

Based on the correlation matrix and the work flow that were organized in the aforementioned paragraph (1), concept configuration of the integrated analysis system was examined, and functions of the system were organized.

(4) Examination with emphasis on geological environment investigation and performance assessment

Based on the results of examinations of the knowledge base in the aforementioned paragraph (2), a poly to organize complicated and massive knowledge base of the Integrated Analysis System for Geological Disposal in the procedure was examined. Further, the priority of development, and technical difficulty level were examined in relation to the Integrated Analysis System for Numerical Geological Disposal; the overview of the system was examined; and software configuration diagram was prepared. Still further, development plan up to fiscal 2003 was examined.