

# 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 研究委託内容概要書)

2000年2月

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・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section.  
Technology Management Division.  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1184  
Japan.

# 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 研究委託内容概要書)

2000年2月

三菱マテリアル株式会社

# 地質環境及び地層処分性能評価用

## 解析システムの概念設計

三菱マテリアル（株）

### 要 旨

数値地層処分システムは、核燃料サイクル開発機構が所有している高レベル廃棄物地層処分の研究開発の成果をシステムに蓄積し、計算機上の処分場モデルに統合・集約するシステムである。

本研究では、昨年度に引き続いて数値地層処分システムの概念設計を行った。

地層処分事業全体を見通して数値地層処分システムの目的と機能を検討した。従来研究では十分なリンクがなされていなかった地質環境評価、処分技術、及び、性能評価について、相互の有機的な関係についてイタラティブな解析を実行する事により、人工・天然バリアのより定量的な評価、建設・操業形態の検討を可能とし、今後の具体的な地質環境条件を対象とした地層処分システムの安全裕度の定量化、及び、設計合理化を行う事が期待される。また、この目的を実現するために必要な機能要件の抽出を行った。

次に、数値地層処分システムを構成するシステムのコード、データベース、ユーティリティについて個々のサブシステムの目的と機能を検討し、概念設計を行った。地質環境評価システム、性能評価システム、処分場因子データベース、経済性評価システム、調査支援システム、品質管理システム、及び、可視化システムの概念設計を行った。

システムの全体設計では、コンピュータ・システムの観点から数値地層処分システムの検討を行った。システムの全体構成、システムに最適なソフトウェア及びハードウェア構成の検討、運用形態の検討、並列化技術の確認、プラットフォームの概念設計、及び、プラットフォームのデモンストレーションプログラムの作成を行った。

この検討結果を基に、プロトタイプの開発計画を含む数値地層処分システムの開発計画を、平成12年～平成16年頃までの処分候補地選定段階について策定した。

以上の検討により数値地層処分システムの概念を構築する事ができた。

---

本報告書は三菱マテリアル（株）が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：110D0231

核燃料サイクル開発機構担当部課室及び担当者：本社 2000年レポートチーム研究調整グループ

# Conceptual Design of The Virtual Engineering System for High Level Radioactive Waste Geological Disposal

Mitsubishi Materials Co.

## ABSTRACT

The role of Virtual Engineering System for High Level Radioactive Waste Geological Disposal (hereafter the VES) is to accumulate and unify the results of research and development which JNC had been carried out for the completion of the second progress report on a computer system.

The purpose and functions of VES with considering the long-term plan for geological disposal in Japan was studied. The analysis between geological environment assessment, safety performance assessment, and engineering technology had not been integrated mutually in the conventional study. The iterative analysis performed by VES makes it possible to analyze natural barrier and engineering barrier more quantitatively for obtaining safety margin and rationalization of the design of a waste repository. We have examined the system functions to achieve the above purpose of VES.

Next, conceptual design For codes, databases, and utilities that consist of VES were performed by examining their purpose and functions. The conceptual design of geological environment assessment system, safety performance assessment system, waste repository element database, economical assessment system, investigation support system, quality assurance system, and visualization system are preformed.

The whole system configuration, examination of suitable configuration of hardware and software, examination of system implementation, the confirmation of parallel calculation technology, the conceptual design of platform, the development of demonstration program of platform are performed. Based upon studies stated above, the VES development plan including prototype development during the period of selection of the site candidate was studied.

The concept of VES was build based on the examination stated above.

---

Work performed by Mitsubishi Materials Co. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

Contract No. : 110D0231

JNC liaison : Geological Isolation Research Project R&D Coordinaiton Group

目次

1. はじめに	-----1
2. 数値地層処分システムの目的と機能	-----3
3. システムのコード、データベース、ユーティリティの検討	-----7
3.1 地質環境評価システム	-----7
3.2 性能評価システム	-----11
3.2.1 検討範囲	-----11
3.2.2 複合現象解析コードの数値地層処分システムへの搭載と検証	-----11
3.2.3 対象となる複合現象	-----11
3.2.4 複合現象コードの概念設計	-----13
3.3 処分場因子データベースの概念設計	-----14
3.3.1 処分場因子データベースの必要性	-----14
3.3.2 システムの目的と機能	-----17
3.3.3 処分場因子の抽出	-----19
3.3.4 影響因子の抽出	-----25
3.3.5 影響因子に係る影響内容及び項目の検討と影響解析の整理	-----26
3.3.6 重要影響因子の抽出	-----29
3.3.7 処分場因子データベース構築の今後の方向性	-----33
3.4 経済性評価システムの概念検討	-----34
3.4.1 経済性評価方法の検討	-----35
3.4.2 処分事業全体を対象とした費用項目と費用積算方法の概念検討	-----39
3.4.3 経済性評価プロトタイプ概念検討	-----42
3.5 調査支援システムの概念設計	-----47
3.6 共通ツール（品質管理システム、可視化システム）	-----52
3.6.1 品質管理システム	-----52
3.6.2 可視化システム	-----57
4. システムの全体設計	-----64

4.1 システムの全体構成	-----64
4.2 システムに最適なソフトウェア及びハードウェア構成の検討	-----69
4.2.1 ソフトウェア構成の検討	-----69
4.2.2 ハードウェア構成の検討	-----73
4.3 システムの運用管理	-----81
4.3.1 プロトタイプシステムの運用管理	-----81
4.3.2 2003 年以降のシステムの運用形態	-----85
4.4 並列化技術の確認	-----88
4.4.1 高速化の検証	-----88
4.4.2 マシンのアーキテクチャに応じた並列化手法	-----94
4.5 プラットフォームの概念設計	-----96
4.5.1 プラットフォームの機能要件	-----96
4.5.2 プラットフォームの事例	-----97
4.5.3 プラットフォームの機能の検討	-----103
4.6 デモンストレーションプログラム	-----123
4.6.1 デモンストレーションプログラムの目的	-----123
4.6.2 プラットフォームのデモンストレーションプログラムの構成	-----123
4.6.3 VR コードの機能	-----123
4.6.4 プラットフォームのデモンストレーションプログラムの操作手順	-----124
5. システムの開発計画	-----127
6. まとめ	-----131
7. 今後の課題と計画	-----135
7.1 平成 12 年度計画	-----135
参考文献	-----137

## 目 次

図 2-1	数値地層処分システムの構成と情報の流れ	-----5
図 3.1-1	地質環境評価項目間の関連	-----7
図 3.3.1-1	施設及び人工バリア仕様決定に関する設計、 性能評価、外部条件の相互関係	-----15
図 3.3.1-2	オーバーパック及び緩衝材仕様決定に関する設計、 性能評価、外部条件の相互関係	-----16
図 3.3.3-1	処分システム設計における処分場因子の構成	-----21
図 3.3.3-2	処分システム安全評価における処分場因子の構成	-----23
図 3.3.5-1	地質環境の相違によって派生する考慮内容及び 設計項目の相関	-----28
図 3.3.6-1	地質環境の相違に係る重要処分場因子(設計)	-----31
図 3.4-1	経済性評価概念	-----34
図 3.4.1-1	費用積算システム概念図	-----36
図 3.4.3-1	経済性評価システムプロトタイプ概念図	-----43
図 3.4.3-2	請負工事費の構成	-----44
図 3.5-1	調査支援システムの全体概念	-----48
図 3.5-2	品質保証・管理体制概念図	-----51
図 3.6.1-1	コードの品質管理システム	-----54
図 3.6.1-2	データの品質管理システム	-----55
図 3.6.1-3	解析の品質管理システム	-----56
図 3.6.2-1	LIC 法による表示例	-----59
図 3.6.2-2	ボリュームレンダリングの例 (水素の確率密度関数)	-----61
図 3.6.2-3	長期地質変動シミュレーションの可視化アプローチ	-----63
図 4.1-1	数値地層処分システムの全体構成	-----65
図 4.2.1-1	数値処分システムのソフトウェア構成	-----71
図 4.2.2-1	数値地層処分システムのハードウェア構成	-----73
図 4.3.1-1	プロトタイプのシステム運用形態	-----84



図 4.4.1-1	PC クラスタの計算機の配置	-----90
図 4.4.1-2	EWS クラスタの計算機の配置	-----92
図 4.4.2-1	EWS/PC クラスタと地球シミュレータの マシンアーキテクチャ	-----94
図 4.5.2-1	プラットフォームのイメージ	-----102
図 4.5.3-1	フレームワークを使ったアプリケーション開発	-----106
図 4.5.3-2	ビジュアルプログラミングの GUI	-----107
図 4.5.3-3	分散環境	-----114
図 4.5.3-4	二つのプラットフォームの関係	-----122
図 4.6.4-1	計算モデル選択画面	-----125
図 4.6.4-2	データ入力画面	-----125
図 4.6.4-3	計算結果のグラフィック表示 (ガラス固化体のインベントリ)	-----126
図 5-1	数値地層処分システムのエボリューション	-----129
図 5-2	数値地層処分システムの開発計画	-----130

## 表 目 次

表 2-1	数値地層処分システムの要件とシステム構成要素	-----5
表 3.6.2-1	シミュレーションの可視化手法	-----60
表 3.6.2-2	可視化手法の数値処分システムの適用例	-----60
表 4.1-1	各サブシステムの役割と機能	-----66
表 4.1-2	数値地層処分システムのサブシステム間のデータ交換	-----67
表 4.2.1-1	過去のサブシステムの統合化プロジェクト	-----69
表 4.2.1-2	GeoFEM のプロトタイプへの適用性	-----70
表 4.2.2-1	VR の計算条件	-----74
表 4.2.2-2	各データベースシステムで参照するデータ	-----78
表 4.2.2-3	核燃料サイクル開発機構が所有する 地層処分解析用の EWS	-----79
表 4.2.2-4	プロトタイプに最適なハードウェア構成	-----80
表 4.3.1-1	プロトタイプのシステム運用形態	-----83
表 4.3.2-1	2003 年以降のシステム運用形態	-----86
表 4.4.1-1	VR コードの計算条件	-----89
表 4.4.1-2	マスター機にスレーブタスクを配置しない ケースの計算結果	-----90
表 4.4.1-3	マスター機にスレーブタスクを配置する ケースの計算結果	-----91
表 4.4.1-4	UNIX 機と新プロトコルを利用した計算結果	-----93
表 4.5.2-1	科学技術計算プラットフォームの事例 (1)	-----97
表 4.5.2-2	科学技術計算プラットフォームの事例 (2)	-----98
表 4.5.2-3	科学技術計算プラットフォームの事例 (3)	-----98
表 4.5.2-4	科学技術計算プラットフォームの事例 (4)	-----99
表 4.5.3-1	検討対象のプラットフォーム機能	-----103
表 4.5.3-2	プラットフォームへの部品化技術の適用性	-----109
表 4.5.3-3	プラットフォームへの連成モデル計算機能の適用性	-----110

表 4.5.3-4	オブジェクト指向技術を適用した アプリケーションの特徴	-----111
表 4.5.3-5	OOS の持つメリット	-----112
表 4.5.3-6	OOS の並列計算へ適用要件	-----112
表 4.5.3-7	オブジェクト指向技術のプラットフォームへの適用性	-----113
表 4.5.3-8	分散オブジェクト指向技術のプラットフォーム への適用性	-----115
表 4.5.3-9	プラットフォームに要求される機能	-----118
表 4.5.3-10	プラットフォーム機能の検討	-----119
表 4.6.3-1	ガラスの溶解モデル	-----124
表 6-1	数値地層処分システムの要件とシステム構成要素	-----132
表 7.1-1	平成 12 年度のシステム開発計画	-----136

## 1. はじめに

数値地層処分システムは、地層処分システムにおいて想定される様々な現象の解析評価を容易かつ柔軟に行うことができるよう、研究開発において得られた知識の体系化を進めるため、解析モデル及びデータベースを計算機上で統合したシステムである。いわば核燃料サイクル開発機構殿が所有している高レベル廃棄物地層処分の研究開発の成果をシステムに蓄積し、計算機上の処分場モデルに統合・集約するシステムである。

本研究は地質環境及び性能評価を中心として、数値地層処分システムの概念設計を昨年引き続いて実施するものである。

本研究の実施内容は以下の3項目である。

- ① 数値地層処分システムの目的と機能
- ② システムのコード、データベース、ユーティリティの検討
- ③ システムの全体設計

数値地層処分システムの目的と機能では、地層処分手業全体を見通して数値地層処分システムの目的と機能を検討した。

従来研究では十分なリンクがなされていなかった地質環境評価、処分技術、及び、性能評価について、相互の有機的な関係についてイタラティブな解析を実行する事により、人工・天然バリアのより定量的な評価、建設・操業形態の検討を可能とし、今後の具体的な地質環境条件を対象とした地層処分システムの安全裕度の定量化、及び、設計合理化を行う事が期待される。これら一連の作業を効率的に行うためこれまで「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次とりまとめ―」(以下第2次取りまとめと呼称する。)までに蓄積してきた技術基盤を集約するとともに、計算機技術を活用した総合的な解析システムを構築する事が本システム開発の目的である。また、この目的を実現するために必要な機能要件の抽出を行った。

システムのコード、データベース、ユーティリティの検討では、数値地層処分システムを構成するコード、データベース、ユーティリティの目的と機能を検討し、概念設計を行った。検討対象は性能評価、及び、地質環境分野に属するコード、データベース、ユーティリティとした。地質環境評価システム、性能評価システム、処分場因子データベースシ

システム、経済性評価システム、調査支援システム、品質管理システム、及び、可視化システムの概念設計を行った。

全体システム設計では、コンピュータシステムの観点から数値地層処分システムの検討を行った。システムのハード及びソフトウェアの検討、大規模科学技術計算に必要な並列計算技術の確認、システムの運用管理の検討、プラットフォームの機能の検討、さらにプラットフォームの概念を具体化するためのデモンストレーションプログラムの作成を行った。

以上に基づいて数値地層処分システムの概念と開発計画を策定した。

## 2. 数値地層処分システムの目的と機能

第2次取りまとめが、核燃料サイクル開発機構によりとりまとめられ、高レベル放射性廃棄物処分がいよいよ事業として開始される時期を迎えた。核燃料サイクル開発機構は引き続き、高レベル放射性廃棄物処分のサイト選定、施設設計、基準策定のそれぞれに関する研究開発を担っていかれると想定されるが、これら研究開発を進める上でのコア技術として数値地層処分システムが位置付けられることが期待されている。すなわち、原子力発電環境整備機構によるサイト選定及び処分施設設計・建設・操業さらには閉鎖、並びに規制者による基準策定、資金管理主体によるコスト算定、さらには国による安全基準や指針の作成等、今後の事業化段階で想定される様々な作業において必要とされるときに適切な技術基盤を整備することが核燃料サイクル開発機構の今後の重要な役割であると考えられる。この整備されるであろう技術のなかで、処分システムの各種評価に用いられるモデルやコード、データベース、計算科学技術を活用して集約したものを数値地層処分システムと呼ぶことができる。

第2次取りまとめまでの研究は、地質環境評価、地層処分の工学技術（以下では、処分技術）、及び性能評価を3つの柱とし、地質環境評価を基礎的領域である地層科学研究によりバックアップするという構成で進められてきた。これらの間の情報受け渡し関係はおおよそ以下のとおりである。

### 地質環境評価：

安定かつバリアとして適切な地質環境が広く存在することを提示するとともに、処分場設計及び性能評価の与条件を与えた。

### 処分技術：

与えられた地質環境条件のなかの岩盤の熱特性及び力学特性踏まえて、人工バリア、施設の設計仕様を示し、それらの建設・施工・操業の可能性を示した。

### 性能評価：

地質環境と施設設計仕様をもとに処分場閉鎖後の放射線学的安全性を検討した。これらの関連を図2-1に示した。

今後の研究開発においても、地質環境評価、処分技術、性能評価という3つの研究領域が設定されると想定される。第2次取りまとめでは地質環境は処分技術及び性能評価の前提条件を与えるというポジションにあり、情報の発信源であったと考えられる。これからは調査という行為により地質環境・天然バリア情報の量が増加し、それを受けて天然バリ

ア性能を把握すると想定されるが、その過程において（調査自体を進めるうえでも）天然バリア性能を繰り返し評価し、その結果を調査に反映させていく必要があると考えられる。また、天然バリア性能検討の結果を受けて、設計合理化を目指して天然バリアとの性能分担を意識した人工バリア仕様検討とそれを受けた処分技術検討が行われ、天然バリアと人工バリアの性能分担、それを受けて人工バリア仕様・施設設計仕様を最適化する等の観点から性能評価と処分技術のやりとりが行われると考えられる。

このように、地質環境／処分の工学技術／安全評価間の受け渡しを今まで以上に行う事を想定する場合においては、数多くの検討を目標に向けて管理することが重要となる。地質環境、処分技術、性能評価のそれぞれで数多くの検討が実施され、各検討はそれぞれの分野の専門家に分担して実施されると想定されるが、各検討が全体作業のなかで縦割りではなく、有機的なつながりをもっていることを各担当者が理解することが、処分システムを安全かつ合理的にするうえで重要であると考えられる。また、努力によっても解消しきれない不確実性の重要性を評価するには、専門家の判断による事になるが、その判断とその根拠は完全に文章化される必要があると考えられる。これらについての透明性を確保できるように、関連情報を容易に検索できるようにすることも大切であると考えられる。

以上から、数値地層処分システムの基本要件として以下を挙げることができると考えられる。

天然バリア性能の定量化：

第2次取りまとめでの性能評価を拡張し、地質環境評価、調査支援に対応する。

人工バリア性能の定量化：

第2次取りまとめでの性能評価を拡張し、評価の保守性改善を行う。

建設／操業形態の検討：

第2次取りまとめでの処分技術検討を拡張し、設計合理化を図る。

さらに、地質環境評価、処分技術、性能評価間でのやり取りを含めた研究開発全体を円滑に進めるために、以下の項目についても考慮が必要であると考えられる。

- ・地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理
- ・研究開発項目の優先度設定
- ・数値地層処分システムの運用
- ・将来の技術移転

これらの諸要件と数値地層処分システムの構成要素を表 2-1 にまとめた。

表 2-1 数値地層処分システムの要件とシステム構成要素

要件	構成要素	内容
天然バリア性能の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2次取りまとめ主要コード</li> <li>地質環境評価システム</li> <li>調査支援システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術の保存</li> <li>現地データから地質構造／水理構造モデルを作成する。</li> <li>調査計画作成のための判断材料を整理する。</li> </ul>
人工バリア性能の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2次取りまとめ主要コード</li> <li>複合現象解析コード</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術の保存</li> <li>人工バリア仕様合理化に向けた複合現象解析を行う。</li> </ul>
建設／操業形態の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2次取りまとめ主要コード</li> <li>処分技術解析システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術の保存</li> </ul>
地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分場因子データベース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工バリア・施設設計ロジックの明確化を行い、評価すべき事項の抽出、関連、優先順位づけと既往検討結果の有効利用を支援する。</li> </ul>
研究開発項目の優先度設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>経済性評価ユーティリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コスト低減効果が大きな検討項目の抽出を行う。</li> </ul>
数値地層処分システムの運用及び将来の技術移転	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラットフォーム</li> <li>品質保証システム</li> <li>可視化システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>数値地層処分システムの開発・利用を容易なものとする。</li> </ul>

また、数値地層処分システムの構成要素とそれらの間の情報の流れを図 2-1 にまとめた。

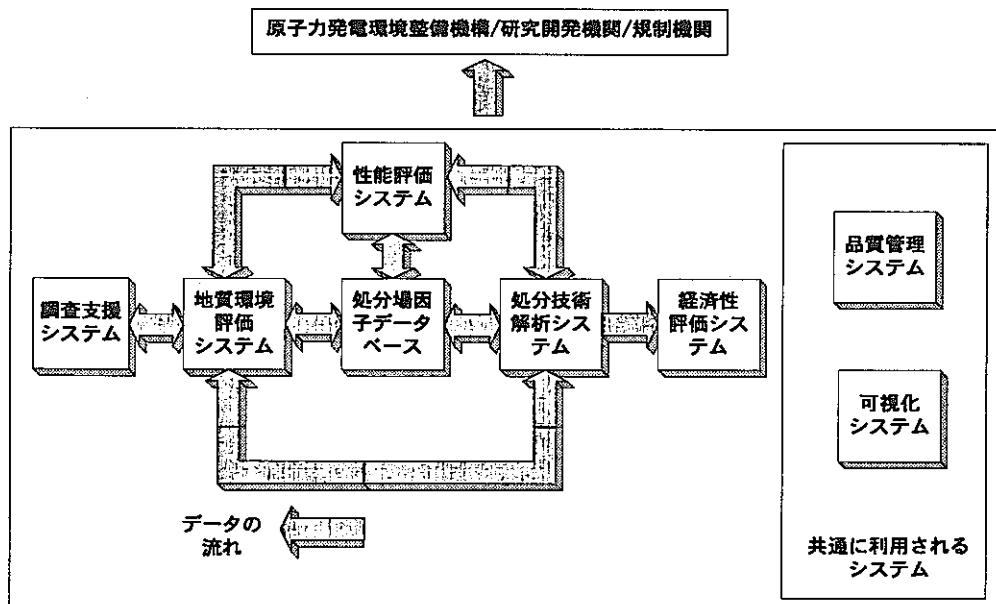


図 2-1 数値地層処分システムの構成と情報の流れ

数値地層処分システムの開発においては、地質環境評価、処分技術、性能評価という 3 つの分野でのイタレーションに完全に対応可能なシステムを時間をかけて開発するよりも、



いくつかのフェーズに分けて開発を行い、適宜状況に応じた修正を加えられるようにしておくことが適切と考えられる。

このため、まずは 2002 年までにプロトタイプを作成することを当面の目標に設定し、プロトタイプにおいては、地質環境評価、処分技術および性能評価それぞれの分野間での最小限のデータのやりとりは可能とするが、それぞれの分野で必要なツールを個別に整備することに力点を置くのが適当であると考えられる。

### 3. システムのコード、データベース、ユーティリティの検討

本章では、システムを構成するコード、データベース、ユーティリティの検討を行う。

#### 3.1 地質環境評価システム

##### (1) 地質環境評価の概要

地質環境評価システムとは、既存情報あるいは取得データを受けて地質構造、水理構造などを評価するツールであり、後述するサイト特性調査計画策定のための調査支援システムとともに処分場設置場所選定の支援及び施設設計のための基礎となる情報提供を行うものと考えられる。

地質環境評価における評価対象項目として、地質構造、水理構造、地球化学特性、物質移行特性、力学・熱特性などが挙げられる。これらの項目間の基本的関連を以下に整理した。

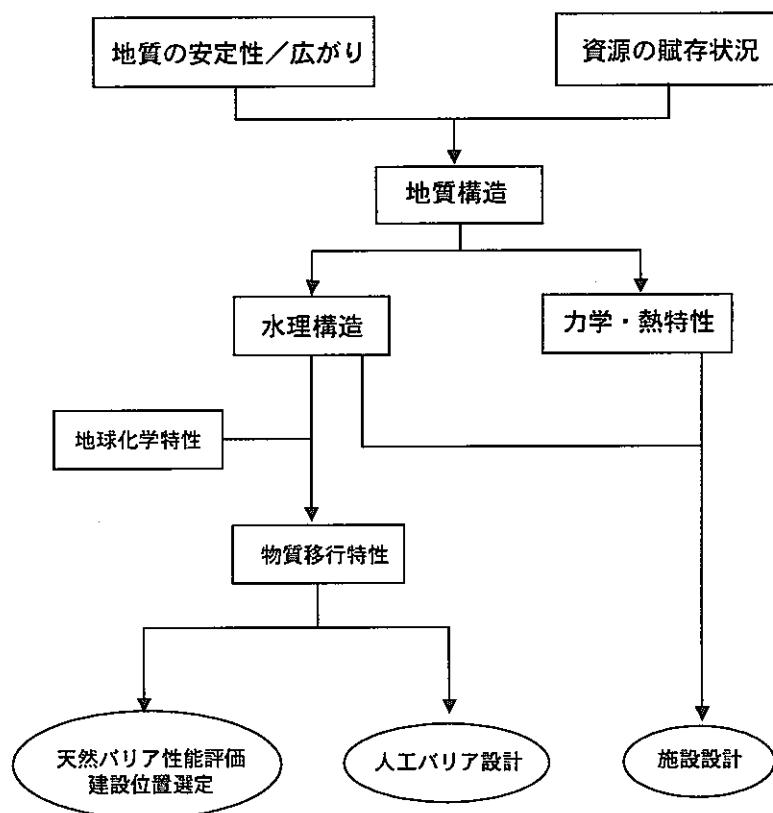


図 3.1-1 地質環境評価項目間の関連

図 3.1-1 のフローは思い切った単純化が行われており、実際には、地質環境評価での各種調査は相互にやりとりが行われながら、位置選定や施設設計への基礎情報整備がなされていき、全体のフローはきわめて複雑になると考えられる。また、母岩という空間全体に亘る諸特性を完全に確定することは不可能であり、判断や推定が導入される。これら判断や推定を行う方法はそれぞれのサイトに固有の特性を考慮して決められると考えられる。すなわち、地質環境評価システムを現時点で体系化することは困難であり、地質環境評価システムは、地質環境の理解の進展に応じて更新されていく性格のものであると考えられる。

以上のことを念頭において、地質環境評価システムの問題を検討する。

## (2) 地質環境評価システムの要件

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律案によれば、最終処分施設建設地点は概要調査、精密調査を経て選定される。概要調査の第 1 段階である既存の情報調査は文献からまとめられるが、これについては地質調査所がデータベース化に着手しているため、これを活用することが想定できる。したがって、数値地層処分システムプロトタイプの地質環境評価システムでは、次の 3 つが要件となると考えられる。

### ①地質モデルの作成

対象地区の地質をモデル化し、②、③の検討の基礎データとする。

### ②天然事象シナリオ解析を受けた予備的影響解析

隆起・侵食、地形変化などのシナリオ解析結果から放射線学的影響を第 2 次取りまとめで使用した手法をベースに検討する。

### ③ボーリング位置決定のための解析

水理構造モデルをもとに、地下水流動解析、物質移行解析を行う。

## (3) 地質環境評価用ツールの種類

要件②に対しては第 2 次取りまとめで使用したコードが適用できると考えられる。現在 CAPASA による各コード間の入出力管理が整備されているところであり、これを使用するのが適当であると考えられる。要件①と②については一部第 2 次取りまとめで使用されてきたツールで対応可能と考えられるが、ほとんどは新たに選定あるいは開発の必要がある。

要件の細目毎に必要となるツールの種類は以下のとおりである。

地質モデル作成：

既存の文献データやリモートセンシング／エアボーンで取得されたデータを基に地質構造図を作成し各要素に物性値を与える地質情報システムが必要である。

地下水流動解析：

不確定な状況を踏まえた感度解析に対応するために、既存の水理特性値（水頭圧、透水係数、空隙率）のデータのなかから解析に使用する入力データセットを作成するデータ・サンプリング機能、水理場を計算する水理解析コード、計算された水理場からクリティカル・パスを探索する流跡線解析コードが必要である。

核種移行解析：

クリティカル・パスに沿った1次元体系に物質移行特性値（分配係数、マトリクス拡散係数）を与えるデータ・サンプリング機能、それに基づき核種移行計算を行うコード及び生物圏への核種流入量を線量に換算するコードが必要である。また、感度解析での高い計算機負荷に対応するために、感度解析手法の改良を検討する。

#### (4) プロトタイプ用ツールの選定

地質モデル作成、地下水流動解析、核種移行解析のそれぞれについてプロトタイプで留意すべきと考えられる具体的ツールと開発項目を以下にまとめる。

地質モデル作成：

多数の市販コードがあり、核燃料サイクル開発機構での使用経験などから最終的に選定することとなるが、いずれにせよ、ツール間のリンクは容易に対応可能と考えられるため、特定コードの選定は行わない。

水理解析：

当面は多孔質媒体モデルで十分であり、品質保証、逆解析への対応の容易さを考慮して Dtransu3D（年内に公開予定）を選定する。2次元バージョンでは逆解析機能がついているが、3次元版では新たに加える必要がある。

流跡線解析：

Dtransu との使用経験から、市販ツールである AVS を選定する。移行時間積算プログラムを追加する必要がある。

核種移行計算コード：

1 次元の移流分散崩壊連鎖コードとして多数のものがあるが、核燃料サイクル開発機構が使用しているコードを選定する。

線量解析：

簡易コードで十分であり、核燃料サイクル開発機構が使用しているものを選定する。

今後基本設計のなかで具体的検討を行う予定である。

## 3.2 性能評価システム

### 3.2.1 検討範囲

現時点の地層処分システム全体の性能を評価するモデルにおいては、種々の現象をパラメータに落とし込むという方法で簡略化して扱い、保守的でシンプル&ロバストな評価を行っている。これをサポートするとともに処分システムの合理化を図るために、合わせて複合現象モデルが必要となると考えられる。数値地層処分システムへ搭載するコードは、これらシンプル&ロバストな評価コードと複合現象解析コードの両者となると考えられる。

シンプル&ロバストな評価コードは2次取りまとめと既存コードで対応可能であると考えられ、逐次数値地層処分システムへ搭載するのが適当と考えられる。以下では複合現象解析コードについて検討を行う。

### 3.2.2 複合現象解析コードの数値地層処分システムへの搭載と検証

複合現象モデル開発には、チャレンジングな面があると考えられる。このため、連成させるべき複数の現象の抽出、現象間の連成といった概念モデルレベルでの信頼性の高い知見、及び確認された現象をモデル化するための扱いがモデル開発の基礎として重要であると考えられる。

このような検討には、核燃料サイクル開発機構の ENTRY、QUALITY といった施設の活用が有効と考えられる。試験研究とモデル開発は、相互に成果を迅速に反映させつつ行われるため、試験研究プログラムとモデルは頻繁に改訂、改良が加えられることが考えられる。プロトタイプに搭載する複合現象解析コードは、このようなモデル化検討のための出発点と考えることができる。

### 3.2.3 対象となる複合現象

以下に、連成モデルによる検討がふさわしいと考えられる複合現象を挙げる。

ニアフィールドにおける複合現象：

#### ① ベントナイト再冠水挙動

熱-水-応力が連成した複合現象である。オーバーバックが地下水と接触するまでの時間をより現実的に見積もることにより、オーバーバック腐食代を薄くすることができ、設計を合理化することが可能となると考えられる。

## ② 隣接廃棄体のプルーム相互作用

隣接ガラス固化体からの濃度プルームの重なり効果によってニアフィールド核種放出率の低減が図れ、人工バリア仕様の軽減を図ることができると考えられる。溶解度制限となる核種に有効であるが、ガラス溶解速度で支配される核種には人工バリア仕様軽減の程度を確認する必要があると考えられる。

## ③ オーバーパック腐食／ガラス溶解

ガラスの溶解に対するオーバーパック腐食の影響を考慮する。ガラスの長期溶解速度は、保守的設定が行われているが、処分場環境でのガラスの長期溶解モデルが構築されれば、人工バリア仕様の軽減、設計合理化が図れると考えられる。但し、ガラス表面で核種が溶解度に達してしまえば、Cs-134 などコングルエント溶解核種に対してのみ有効となると考えられる。

## ④ コンクリート支保／緩衝材

コンクリートからのセメント成分の溶脱がコンクリートの物質移行特性を変化させ、同時に、溶脱成分が緩衝材と反応して緩衝材の機能を変化させる可能性があると考えられる。第2次取りまとめでは、低アルカリセメントの使用を前提としたが、これらの現象を詳細に評価できるようになれば、より安価な材料が適用できると考えられる。また、アルカリ変質後の緩衝材性能を現実的に説明することで、緩衝材の変質代を考える必要がなくなる可能性があると考えられる。

## ⑤ 温度勾配、pH 勾配による溶解成分の沈殿

温度、化学環境の空間的変化を考慮すると、ニアフィールドでの鉱物の沈殿、それによる物質移行空隙の閉塞、核種の共沈が生じる可能性があると考えられる。これらの現象及び効果が確認できれば、人工バリア仕様を軽減し、設計合理化を図ることができると考えられる。

## ⑥ ニアフィールドの地球化学反応を考慮した核種移行

上記①から⑤を組み込んだニアフィールド総合複合現象モデルを開発し、各複合現象の相乗効果による人工バリア合理化を図る。

ファーフールドにおける複合現象：

① ファーフールドの地球化学反応を考慮した核種移行

具体的な水理地質モデル、地質モデルをもとに、核種の地球化学的特性を核種移行計算に取り込むことにより、天然バリア性能を現実的に見積もり、人工バリアへの負荷の軽減、サイト特性調査作業の合理化を図る。

### 3.2.4 複合現象コードの概念設計

複合現象統合モデルの開発には、要素となる現象に関するモデル開発が不可欠である。ファーフールドについては具体的な地質構造モデル、水理地質モデルが完成するには、サイトが具体的に絞り込まれることが前提となると考えられる。このため、ニアフィールドの複合モデル開発を優先させて、具体的な施設設計に活用できるようにすることが合理的であると考えられる。

ニアフィールド複合現象のなかでは、「隣接廃棄体のプルーム相互作用」については今年度研究においてプラットフォーム検討に供されるレベルにあり、基本的な開発は終了していると考えられる。また、「再冠水」と「温度勾配、pH 勾配による溶解成分の沈殿」に関してもモデル開発がこの数年間核燃料サイクル開発機構において実施されており、今後その成果を取り込めるように、プラットフォーム側での検討を行うことが必要であると考えられる。複合現象モデル自体の開発で次に着手すべきモデルを知見及び検討の現状から判断すると、「オーバーバック腐食／ガラス溶解」については、基礎データの集積がこれからという段階であることなどを考慮して、これらの結果を待って複合現象モデル開発に着手するのが適当であると考えられる。従って、今後は、比較的研究開発の見通しが得られている「コンクリート支保／緩衝材」の複合現象モデルに第一優先度を与え、開発に着手することが適当と考えられる。



### 3.3 処分場因子データベースの概念設計

本項においては、データベースの目的、機能の検討を行い、その結果に基づいて、設計を中心として安全評価も考慮した処分場因子を抽出し、設計及び安全評価の検討フロー、処分場因子間の影響関係を整理して、処分場因子データベースについて概念設計を実施し、その検討事例を提示する。

#### 3.3.1 処分場因子データベースの必要性

高レベル放射性廃棄物処分場の設計では、施設とバリアシステムが対象と考えられる。設計による仕様の決定において重要な点は、要求される性能や安全性を確保し、かつ経済性を満足することであると考えられる。ただし、個別要素毎に単独で設計を実施し仕様を決定することは困難であり、図 3.3.1-1 及び図 3.3.1-2 に示すとおり、廃棄物条件やサイト条件を入力して設計した仕様に基づいて、今度は個別要素毎に性能や安全性を評価するという、相互影響を授受した行程により仕様が決定される。同様に個別要素に限定されず、例えば処分場施設とバリアシステムの様に、複数の要素間においても相互影響を授受しながら仕様が決定される。以上の行程を組み合わせると、最終的には処分場システム全体の仕様が最適化され、決定される。

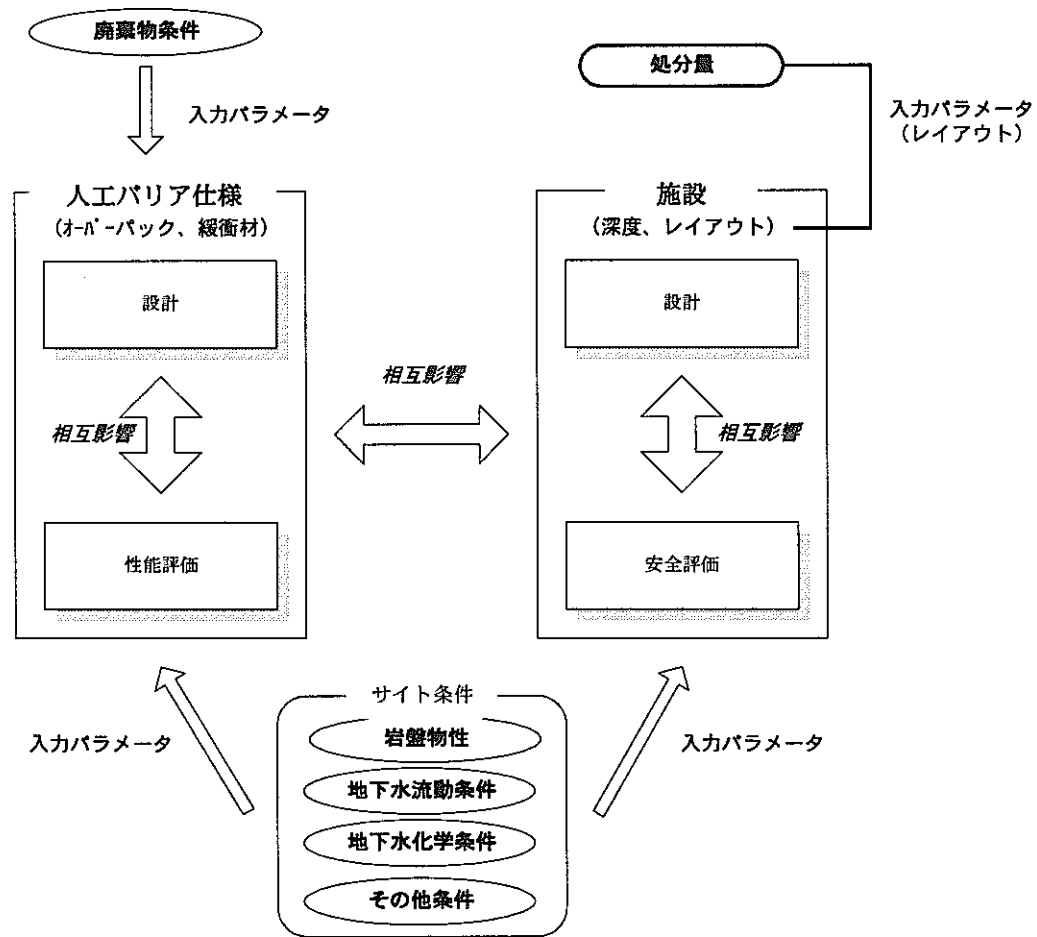


図 3.3.1-1 施設及び人工バリア仕様決定に関する設計、性能評価、外部条件の相互関係

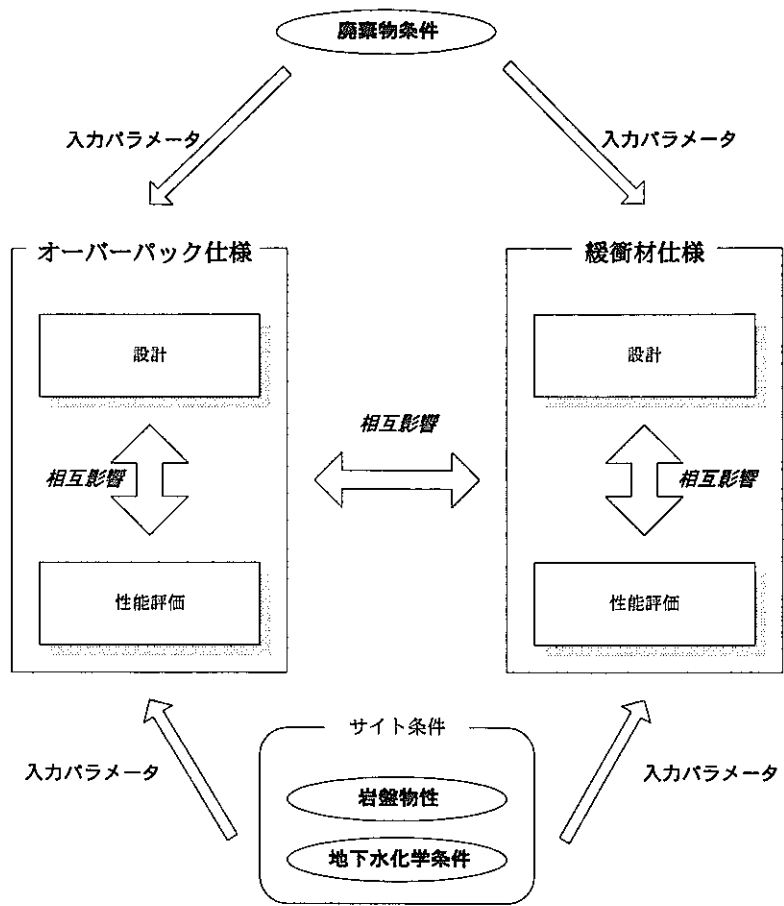


図 3.3.1-2 オーバパック及び緩衝材仕様決定に関する設計、性能評価、外部条件の相互関係

### 3.3.2 システムの目的と機能

#### (1) 処分場因子データベースの定義

本研究で使用している「処分場因子データベース」という用語は、処分システムの設計プロセス及び安全評価プロセスに関係するすべてで考慮される、知見、データをデータベースとして格納したものと定義する。

#### (2) システムの目的

高レベル放射性廃棄物処分の研究開発は、土木工学、化学工学、機械工学などの工学分野から地質学、化学、生物学など基礎学問領域に亘る広範な専門分野を有機的に統合して進められてきたと考えられる。前出図 2-2 に示したように、今後は各分野での研究の深化とともに、各分野間の管理・調整が今まで以上に緊密化されると想定される。数値地層処分システムはこのような状況に対応するためのツールであり、各種データベース、評価ツール、ユーティリティが搭載されるが、これらを有効に活用していくための機能も合わせて必要であると考えられる。

処分場因子データベースは、性能評価及び処分技術検討において、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。

#### (3) システムの機能

処分場因子データベースに必要な機能として以下が考えられる。

- ・ 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
- ・ 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
- ・ 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

#### (4) 今年度の概念設計のスコープ

処分場因子データベースに格納される情報は、各種解析評価に使用するデータ及び実施した解析評価の概要（目的、方法、結果、反映先と反映事項）に大別されるが、数値地層処分システムのプロトタイプ的设计においては、解析評価に使用するデータを格納したデータベース作成を優先させることとし、実施した解析評価の概要については、数値地層処分システムの運用が始まった段階で逐次格納することとする。

以上から今年度の概念設計のスコープは以下とする。

第2次取りまとめをベースとして、

- ・安全評価、設計、外部条件の相関の整理
- ・処分場因子の抽出
- ・影響因子の抽出と、影響項目及び内容の整理
- ・今後の安全評価及び設計の合理化の着目点の検討を行う。

### 3.3.3 処分場因子の抽出

本項においては、高レベル放射性廃棄物処分システムの設計及び安全評価プロセスにおいて考慮すべき処分場因子を抽出した。

抽出にあたっては、処分場因子を

- ・施設（施設レイアウト、施設深度、各種坑道等）
- ・バリアシステム（廃棄物、キャニスター、オーバーパック、緩衝材）
- ・定置方法等の処分システムの構成要素
- ・構成要素毎の設計項目（材質、サイズ、配置、断面積、長さ等）
- ・設計解析
- ・設計の入力パラメータ

に分類した。

処分場因子抽出の結果を図 3.3.3-1 及び図 3.3.3-2 に示す。

処分場因子の抽出にあたっては、それぞれの設計検討内容に対して、どのような処分場因子が関与しているか及び一般データベースとの関連も検討し、関係する処分場因子間の関係を検討フローに添って分類し提示した。

同様に安全評価に関しても、安全評価対象、安全評価対象の設計項目（シナリオ、モデル等）、安全評価の入力パラメータに分類した上で、安全評価プロセスにおける処分場因子を抽出した。また、一般データベースとの関連も検討し、関係する処分場因子関係を検討フローに添って分類し提示した。

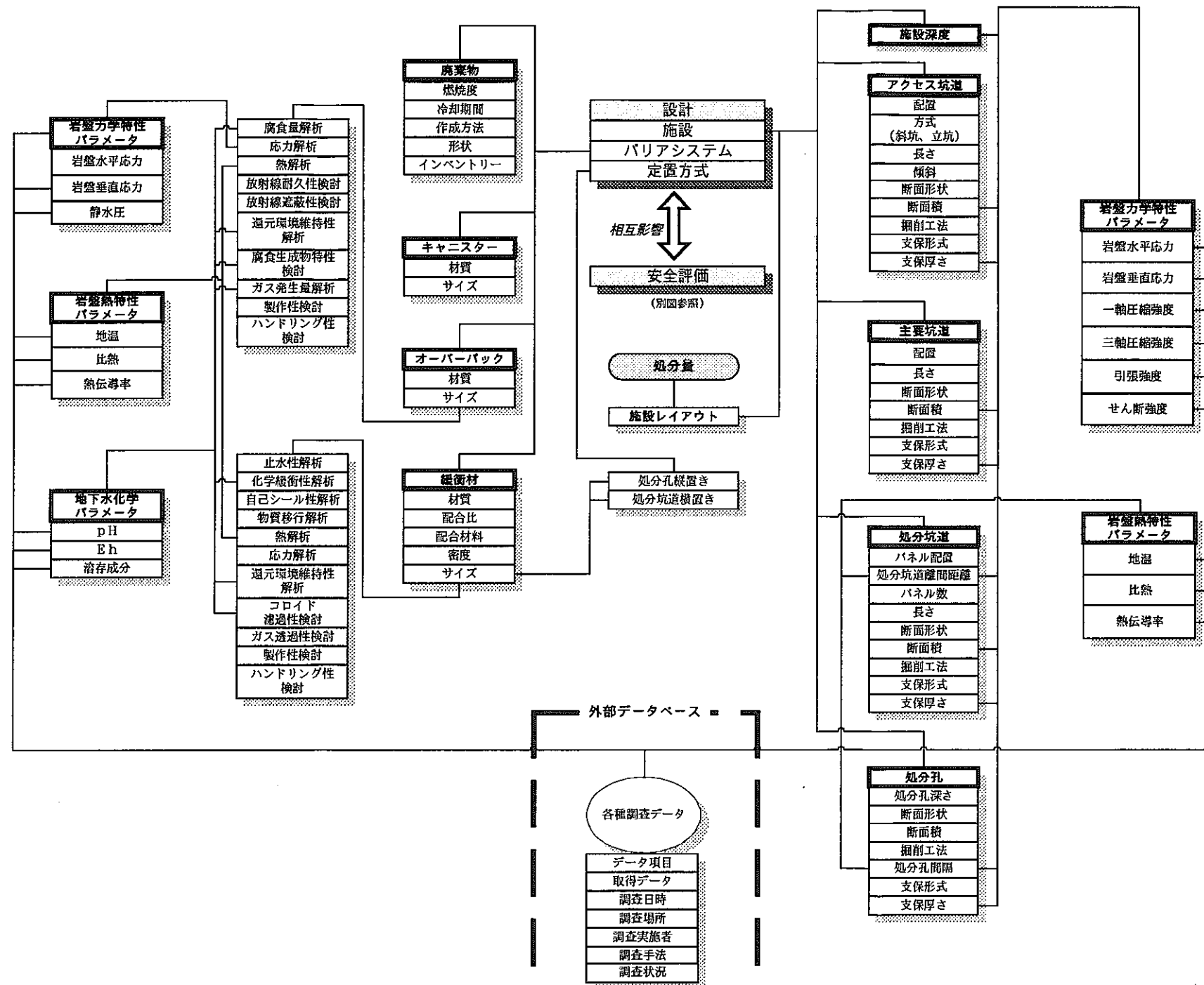


図 3.3.3-1 処分システム設計における処分場因子の構成

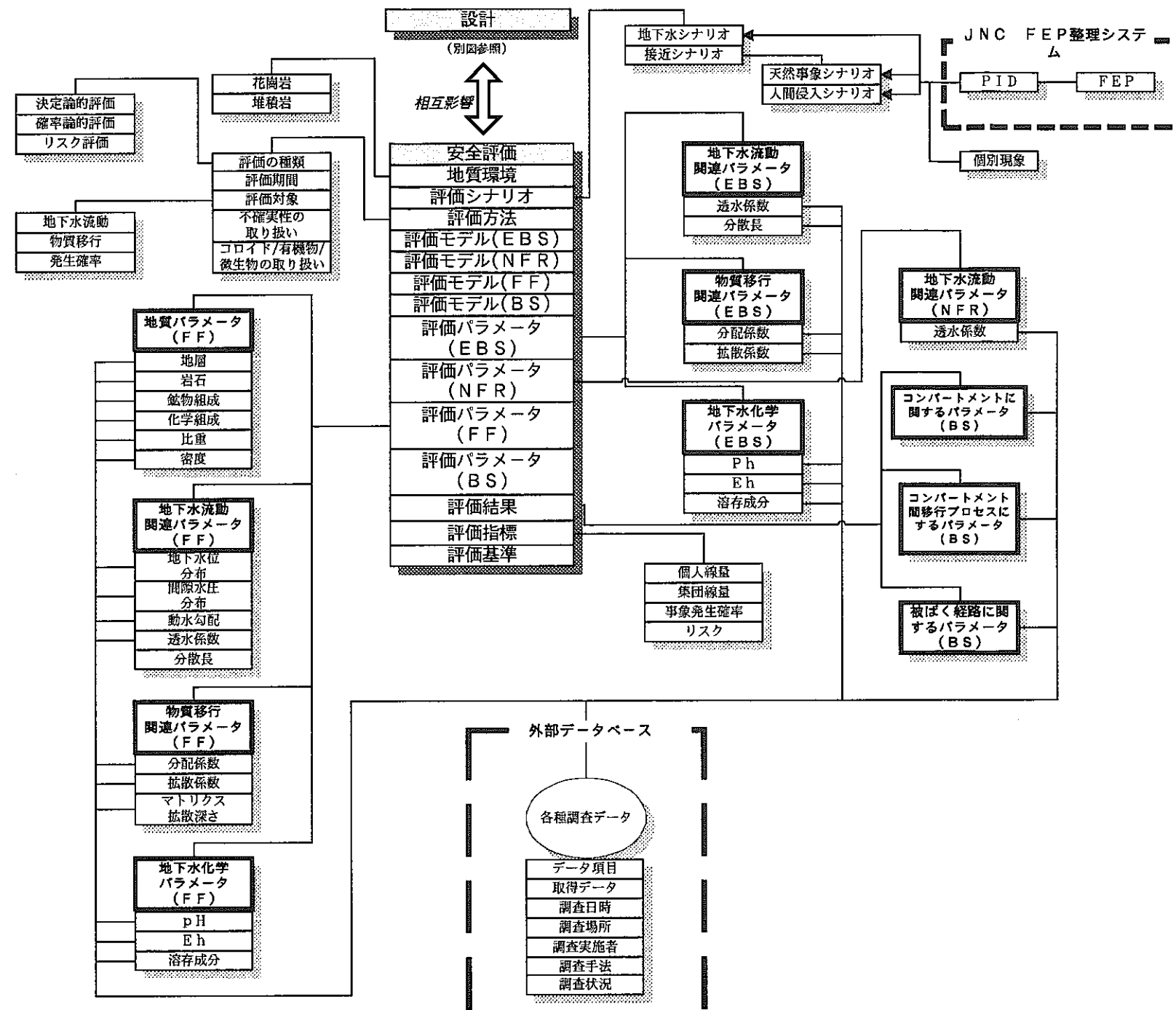


図 3.3.3-2 処分システム安全評価における処分場因子の構成



### 3.3.4 影響因子の抽出

本項においては、設計検討の開始条件、または一度設計した施設またはバリアシステムの設計変更の開始条件となる影響因子を抽出した。

#### (1) 地質環境

サイト選定において、複数と予想される処分候補地及び処分予定地の地質環境は、我が国においては概ね結晶質岩または堆積岩に区分できるものと考えられる（核燃料サイクル開発機構 第2次取りまとめ）。しかしそれぞれの地下水化学環境等を含めて考慮すると、すべてのサイトが固有の地質環境を有するものと考えられる。以上の理由により「地質環境」は影響因子の一つと考えられる。

#### (2) 処分深度

候補地または予定地となるそれぞれの個別のサイトにおいて、重要な影響因子の一つとして「処分深度」が考えられる。

#### (3) 廃棄物燃焼度／貯蔵期間

燃料の炉内における燃焼度の相違は、再処理によるガラス固化体のインベントリーや発熱量に影響を与える。また同様に貯蔵期間の増減により、処分開始時点以後の発熱量は増減する。

#### (4) 処分量

施設規模を決定する重要入力条件として「処分量（＝ガラス固化体本数）」が考えられる。処分量の決定は、技術的観点での条件によってなされることが基本ではあるものの、電力の意向や国のエネルギー政策等の観点によって変化することもあり得ると考えられる。

#### (5) 定置方式

処分場設計、特に処分坑道長さや緩衝材仕様に影響を与える条件として「定置方式」が考えられる。現時点における我が国の処分において予想される有力な定置方式としては、処分孔縦置きと処分坑道横置きがある。

### 3.3.5 影響因子に係る影響内容及び項目の検討と影響解析の整理

本項においては、影響因子が関与する考慮内容及び設計項目について、影響関係と設計における解析を整理した。整理においては、まず影響因子から派生する変化内容を抽出し、それぞれが設計及び安全評価の観点からどのような設計項目に影響するのかを、インフレンスダイアグラムの形式で提示した。その後それぞれ項目の仕様決定に用いられる解析を整理した（図 3.3.5-1）。

#### (1) 地質環境

地質環境の相違のみによって考慮すべき内容としては、地圧の相違、岩盤力学特性の相違、岩盤熱特性の相違、地下水流動特性の相違、地下水化学環境の相違を抽出した。さらに地質環境の相違に伴い派生する処分深度の相違を考慮して、静水圧の相違、地温の相違を抽出した（図 3.3.5-1）。地質環境の相違に起因する個別設計項目に関する解析を整理した。

- ① オーバーパック厚さ・・・力学解析、腐食量解析
- ② オーバーパック材質・・・腐食量解析
- ③ 緩衝材厚さ・・・熱解析、自己シール性解析
- ④ 緩衝材配合比・・・熱解析
- ⑤ 廃棄体定置間隔・・・力学解析、熱解析
- ⑥ 処分坑道離間距離・・・力学解析、熱解析

#### (2) 処分深度

処分深度の変化により考慮すべき内容は、地質環境と同一であると考えられる。

#### (3) 廃棄物燃焼度／貯蔵期間

廃棄物燃焼度及び貯蔵期間の変化は、主に廃棄物発熱特性の変化に影響すると考えられる。この変化は、人工バリアの仕様、廃棄体定置間隔、及び、処分坑道離間距離の設定に直接的な影響を与えると考えられる。廃棄物燃焼度／貯蔵期間の変化に起因する個別設計項目に関する解析を整理した。

- ① オーバーパック厚さ・・・放射線遮蔽性検討、ガス発生量解析、力学解析
- ② 緩衝材厚さ・・・熱解析、自己シール性解析
- ③ 廃棄体定置間隔・・・熱解析
- ④ 処分坑道離間距離・・・熱解析

#### (4) 処分量

処分量（＝ガラス固化体本数）の変化は、直接処分坑道の長さに影響を与えると考えられる。

(5) 定置方式

定置方式の相違は、緩衝材厚さ、処分孔または処分坑道断面積に直接的影響を与えると考えられる。定置方式の相違に起因する個別設計項目に関する解析を整理した。

① 緩衝材厚さ・・・力学解析

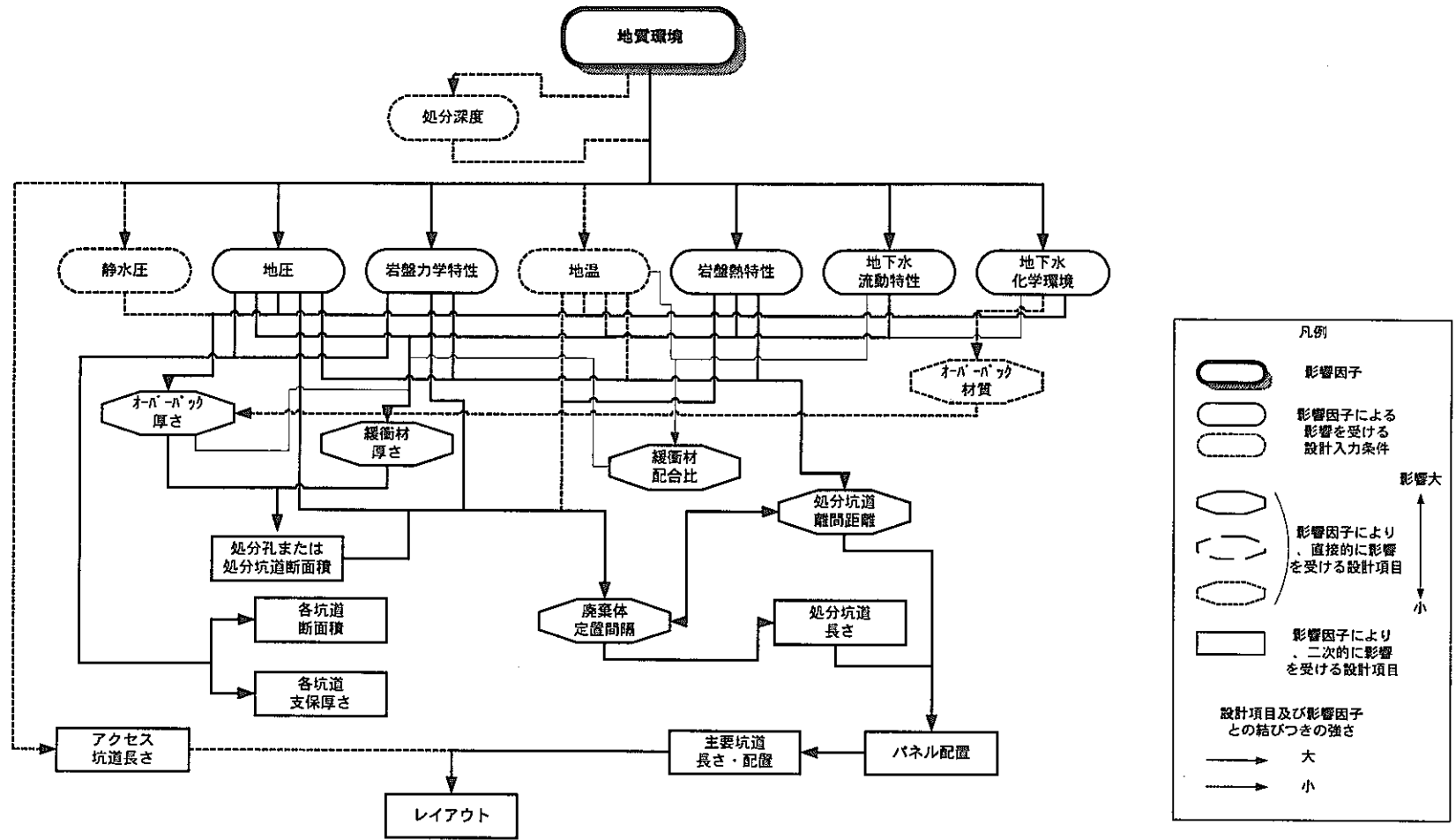


図 3.3.5-1 地質環境の相違によって派生する考慮内容及び設計項目の相関

### 3.3.6 重要影響因子の抽出

設計及び安全評価において重要と考えられる処分場因子を、影響因子毎に整理した。重要処分場因子としては、影響因子に係る影響内容及び項目に関係するすべての設計項目、安全評価項目、解析または設計項目、及びパラメータに関する処分場因子を対象とし、影響する検討範囲や内容に着目して抽出した。抽出の例を図 3.3.6-1 に示す。なお図中影響因子は濃い灰色、重要処分場因子は薄い灰色の影を付けて明示した。

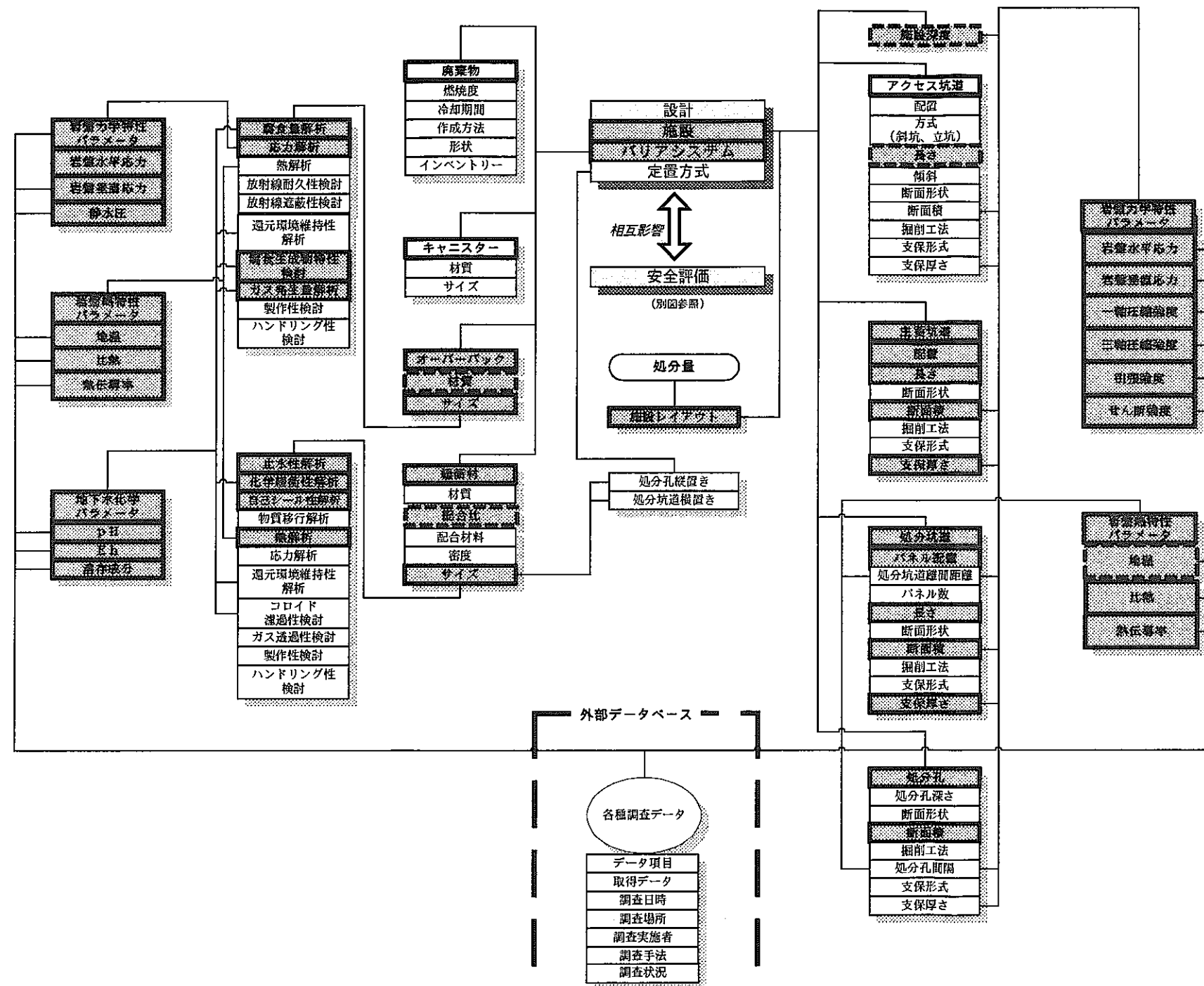


図 3.3.6-1 地質環境の相違に係る重要処分場因子（設計）

### 3.3.7 処分場因子データベース構築の今後の方向性

前項までに検討・整理した処分場因子、影響因子、及び重要処分場因子は、第2次取りまとめに準拠したものである。今後は、数値地層処分システムに搭載されるであろう合理化設計を目指した解析や検討範囲の拡大にも対応する方向での見直し、追加が必要となると考えられる。

人工バリアについては、ガラスの溶解挙動、複数廃棄体間の濃度干渉効果、オーバーパックの腐食代、開口面積、耐圧代、材質、さらに必要性などが見直し点になると考えられる。緩衝材では、アルカリ変質の影響と対策、オーバーバック腐食生成物による圧密が挙げられる。支保の物質移動抵抗、人工バリアシステムの化学環境を考慮することも合理化につながる可能性がある。

ニアフィールド岩盤では緩み域によるハイドロリックケージ効果、ファーフールド岩盤では化学反応、鉱物化などを考慮することで安全性をより現実的に評価し、施設設計の合理化を図る事が可能であると考えられる。

### 3.4 経済性評価システムの概念検討

一般的な経済性評価では、事業の成立性の評価が主な目的とされ、事業スケジュールに基づく事業の収入と課税等を含めた必要経費による資金フロー計算などが行われる。

高レベル放射性廃棄物処分事業についても、資金面から事業性を評価することは重要であり、一般的な意味での経済性評価は、今後、実施主体等により継続的に実施されると考えられる。

高レベル放射性廃棄物処分事業においては、安全性の確保が最重要課題であり、安全評価あるいは工学的な観点から性能の追求が行われる。本研究のテーマである数値地層処分システムは、高レベル放射性廃棄物処分事業に対し安全評価あるいは工学的な観点からの成立性について技術的な支援を行うことを主な目的とするものである。一方、高レベル放射性廃棄物処分事業として考える場合、安全性を担保しつついかに経済性を追求するかも重要な要素となる。

このような観点から、本研究において検討する経済性評価サブシステムは、技術的な検討結果に対し、経済性（費用）の面から評価を行うことにより、研究開発項目の抽出・把握あるいは設計合理化のための指針を提供することを目的とするユーティリティととらえられる。

事業性評価を目的とした一般的な経済性評価（下図左）と本研究で検討する技術的検討を支援を目的とする経済性評価（下図右）の概念の違いを図 3.4-1 に示す。

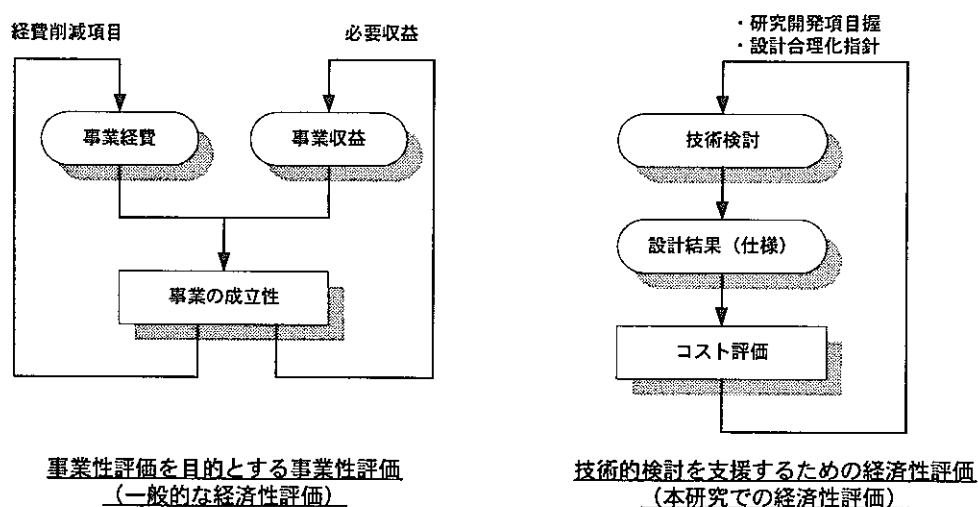


図 3.4-1 経済性評価概念



### 3.4.1 経済性評価方法の検討

本研究における経済性評価システムでは、数値地層処分システムを構成する各システムの検討結果（仕様）に基づき、費用積算を行う機能を中心とし、事業性評価を対象外とする。以下に費用積算方法について述べる。

一般的に、費用は各種仕様から直接算定されるものではなく、例えば、施設の建設に関する費用積算を行う場合には、与えられた仕様を満たす施設を建設するための人工数、材料の量、建設機器の使用時間などの数量に換算し、各数量と対応する単価から算定される。調査費用も同様に、調査手法や調査量などの仕様を調査に必要な人工数、調査機器の使用時間、物品量などの数量に換算し、各数量と対応する単価から算定される。

費用算定のための基本式を次に示す（式1参照）。ここで、費用構成項目とは、人工数、機器の使用時間、物品量のように費用を算定するための個々の項目に対応し、仕様から換算された費用構成項目の必要数量をまとめて諸元量と称す。また、単価は費用構成項目に対応する単価である。

$$\text{費用構成項目毎の費用} = \text{諸元量（費用構成項目毎の数量）} \times \text{単価} \quad \text{-----（式1）}$$

費用構成項目毎の（式1）により算定される費用は、必要に応じて集計することにより積算されるが、例えば、維持補修費のように想定される検討条件の変動が大きいとか、現状の検討結果（仕様）が構成項目毎に費用積算を実施する程詳細なレベルにない場合には比率データによる算定が最も合理的であると考えられる。また、一般管理費（諸経費）のように技術とは別な要素により変動する経費も同様である。

上記機能要件を盛り込んだ経済性評価システムと数値地層処分システムとの関係と合わせて費用積算システム概念図として図 3.4.1-1に示す。また、各機能の詳細を以下に示す。

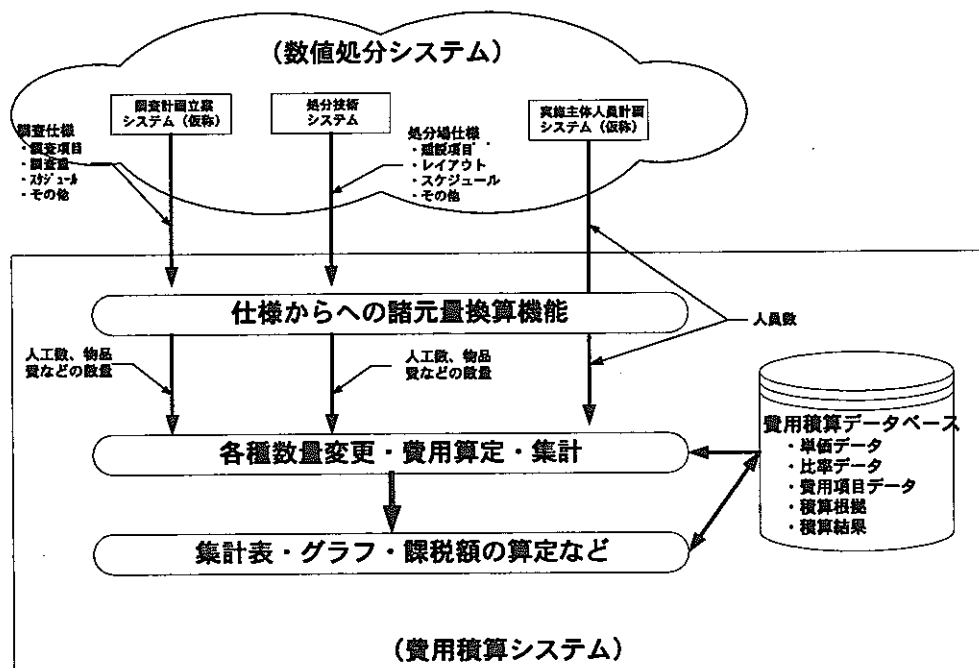


図 3.4.1-1 費用積算システム概念図

(1) 費用構成項目毎の数量（諸元量）換算機能

(式 1) の方式により費用積算を行うためには、外部からの検討結果として提示される様々な仕様（入力データ）を、条件に応じた換算方式により諸元量（費用構成項目の数量）に変換する機能が必要である。具体的な例として、坑道掘削を行う場合に、断面積と長さ等の坑道の仕様から必要な人工数、材料の量、機械の運転時間等の積算を行うための基本項目の数量を算出することが必要である。

しかしながら、現状の研究レベルでは前提条件等が確定しておらず、詳細な仕様を提示できる分野は少ない。その中で比較的詳細な仕様の提示が可能であると考えられるのが、ほぼ既存の調査手法の組み合わせで対応可能な処分地選定調査に関する部分と処分技術システムとして現在概念検討が進められている地下施設に関する部分である。

前者の場合、調査仕様（対象領域、調査項目、調査スケジュール等）から、後者の場合、処分場仕様（処分深度、施設建設項目、パネルレイアウト、建設・操業・閉鎖スケジュール等）から費用構成項目の数量（諸元量）を導き出す機能が必要となる。

数値地層処分システムは、研究開発項目の抽出・把握、設計合理化への指針の提供を経済性評価の目的とすることから、基本的に既存技術の組合せにより対応が可能とされ

る処分地選定調査ではなく、処分技術システムにより提示される詳細な仕様に基づいた検討が可能となる地下施設に関する経済性評価を2002年度までのプロトタイプターゲットとする(3.4.3参照)。なお、前者は、本研究において数値地層処分システムのユーティリティの一つである調査支援システムの一部として概念検討を行った(3.5参照)。

その他の費用項目の諸元量(費用構成項目の数量)は、現状の検討レベルで詳細な設定を行うことは困難であるため、費用の把握が必要な場合には、比較的大まかな費用項目に対し単価と数量を設定することにより算定を行うのが妥当であると考えられる。そこで、当面プロトタイプの対象とはせず、第2フェーズ以降に経済性評価システムに組込むこととする。

## (2) 費用積算(含む集計・表示)機能

(式1)により構成項目毎に算出された費用を処分地選定調査、処分場建設、操業、閉鎖等の費用項目の分類に従い集計・出力を行う機能が必要である。

また、経済性の面からの研究開発項目の把握、設計合理化方針の提示をおこなうためには、経済性評価の結果を研究開発あるいは設計合理化に対応する程度の詳細な費用集計機能が必要であることから、上記大分類項目の詳細な内訳を一覧表として出力する機能が必要である。

さらに、必要に応じて年度展開データとしての出力やグラフ表示機能を加える。

費用項目は、調査、建設、操業等のようにスケジュールの観点からの分類、地上施設、地下施設、設備等のように対象物の観点からの分類等、様々な観点からの分類が求められると考えられる。費用積算及び集計・表示をシステムティックに実施するためには、積算の条件である処分事業に関する仕様に合わせて、費用構成項目と集計用費用項目の関係をデータベース化し、柔軟に対応できる構造にしておくことが必要である。

## (3) データ管理機能

高レベル放射性廃棄物処分事業の推進にあたっては、将来想定される情報公開への対応も含めて費用積算の透明性、再現性が求められる。そのためには、経済性評価システムでは、費用積算に直接用いる単価データのみならず、積算条件、積算結果などの費用

積算に用いた全てのデータを対象として管理する機能が必要である。

#### (4) 課税額算定機能

処分事業全体を対象とした費用を把握するためには、費用規模から固定資産税、消費税等の課税額を把握することが必要であると考えられる。以下に、経済性評価システムにおける課税額の算定機能について示す。

### 3.4.2 処分事業全体を対象とした費用項目と費用積算方法の概念検討

処分事業全体を対象として、費用項目と費用積算方法の概念について検討を行った。対象とする費用項目は、高レベル廃棄物処分事業全体を対象とするため、平成10年5月29日に原子力委員会・高レベル放射性廃棄物処分懇談会がとりまとめた報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」（以下、処分懇報告書）に示された事業内容及び処分スケジュールを参考として、次のように大きく分類した上で検討を行った。

- ① 処分地選定調査に係る費用
- ② 処分場の設計・事業許可申請に係る費用
- ③ 処分場建設に係る費用
- ④ 操業に係る費用
- ⑤ 閉鎖に係る費用
- ⑥ 閉鎖終了後に必要な費用
- ⑦ その他の費用

#### (1) 処分地選定調査に係る費用

処分懇報告書によれば、2000年の実施主体設立以降、処分候補地の選定段階、処分予定地の選定段階および処分地の選定段階からなる処分地選定調査を実施した後、事業許可申請とそれに対する国による安全審査を経て最終的に処分地が決定される。

ここでは、処分地選定調査に係る費用項目として、上記の処分地選定調査の各選定段階における調査項目を検討した。

処分地選定においては、地質環境条件のみならず、社会環境条件に関する調査も実施されると考えられる。特に、処分候補地選定段階では、地層処分場建設に不適切な地域を除外するという観点から社会環境条件の重要度が大きい。

#### (2) 処分場の設計・事業許可申請に係る費用

処分懇報告書では、「処分地の選定後、実施主体は処分場の設計を行うとともに処分に係る事業申請を国に行い、国の安全審査が始まることとなる。」とされていることから、処分場設計、事業許可申請（安全審査対応）作業費用が必要である。

処分場の設計、事業許可申請（安全審査対応を含む）に係る業務は、大半が机上業務となるため、人工数から算定する方法が最も適すると考えられるが、サイト条件、設計

条件等により作業量が大きく変動することが予想されることから、現時点で人工数の算出基準を明確にすることは困難である。

### (3) 処分場建設に係る費用

処分場報告書では、「処分場の建設は処分場の設計・事業許可申請完了後に開始され、10年程度の建設期間の後に操業が開始される」としている。

経済性評価を行うべき処分場施設をインフラ施設、地上施設及び地下施設に分類し、施設毎に費用項目を検討する。

処分場各施設の建設費の積算は、現在、様々な施設の建設で行われている人件費、材料費等の費用構成要素に基づく算定が最も精度の高いものとなると考えられるが、インフラ施設、地上施設は、次のような理由により、現時点で詳細な費用算定を実施することは不要であると考えられる。

- ・ 処分費用総額に占める割合が小さいこと
- ・ 同一サイトにおいては、仕様の変動を考えにくいこと

一方、地下施設は、処分事業の根幹をなす施設であり、数値地層処分システムの主要システムの1つとして概念検討が進められている「処分技術システム」からは、詳細な地下施設のレイアウト及び仕様が出力として提示されることが期待されている。このため、地下施設の建設費は、処分技術システムから提示される情報に基づく詳細な積算が必要となる。

### (4) 操業に係る費用

操業費は、建設された地下施設における廃棄体定置、処分孔（縦置きの場合）及び処分坑道の埋め戻しに必要な設備及びその関連費用から構成される。さらに、再処理施設からの廃棄体の輸送も操業費に含めるものとする。

操業で使用する設備は廃棄体受入から定置に至るまでの全ての工程について、必要な仕様を検討した上で設定することが必要である。設備の費用算定には、個々に製作費または購入費、据付費、更新のための撤去費、動力費、必要な運転人員などを設定することが必要となる。

(5) 閉鎖に係る費用

処分場の閉鎖では、処分坑道以外の地下施設の埋戻し、地上施設の解体・撤去が行われる。また、操業等で使用した設備も撤去される。

(6) 閉鎖終了後に必要な費用

処分懇報告書では、処分場の閉鎖終了後に実施すべき事項についての記述はない。従って、閉鎖終了をもって処分事業が完了するという考え方を取ることができるが、その一方で、閉鎖後ある程度の期間は安全確認のためモニタリング等による監視・管理を行なうべきであるということも考えられる。

監視・管理を実施する場合には、モニタリング機器の維持・更新費とそのための人件費及びデータの維持管理費であると考えられる。

(7) その他の費用

上記(1)～(6)以外に必要となる費用として、処分場用地の取得費用、自然環境、作業環境、あるいは安全確認などの目的で実施される各種モニタリング費用、処分地選定の過程及び建設・操業中に実施される各種の技術開発の費用、さらには、事業そのものを管理する実施主体の人件費を中心とする維持費などが考えられる。

### 3.4.3 経済性評価プロトタイプ の概念検討

2002 年度までに構築する経済性評価プロトタイプ の概念設計を行った。

経済性評価プロトタイプは、処分場設計における合理化指針の提供と研究開発項目の抽出及び把握を目的として、別途数値地層処分システムに搭載する機能として検討されている処分技術システムから提示される処分場の設計結果（仕様）に基づき経済性評価（費用積算）を実施する。

#### (1) 経済性評価プロトタイプ の目的

経済性評価プロトタイプは、別途数値地層処分システムに搭載する機能として検討されている処分技術システムによる設計結果に基づき、地下施設の建設、操業及び閉鎖に関する経済性評価を行い、経済性の面から処分場設計における研究開発項目の抽出及び把握すると共に、合理化指針の提供を目的とする。

#### (2) 経済性評価プロトタイプ の全体概念

経済性評価プロトタイプは、処分技術システムから提示される地下施設の仕様に基づき費用積算を行った結果を処分技術システムに返すことにより、経済性の面からの研究開発項目の抽出、設計合理化の方針の把握が可能となる。

単価データ、比率データ及びそれらに付属する諸情報は、経済性評価プロトタイプ内部のデータベース内で管理する。経済性評価プロトタイプ の概念図を図 3.4.3-1 に示す。



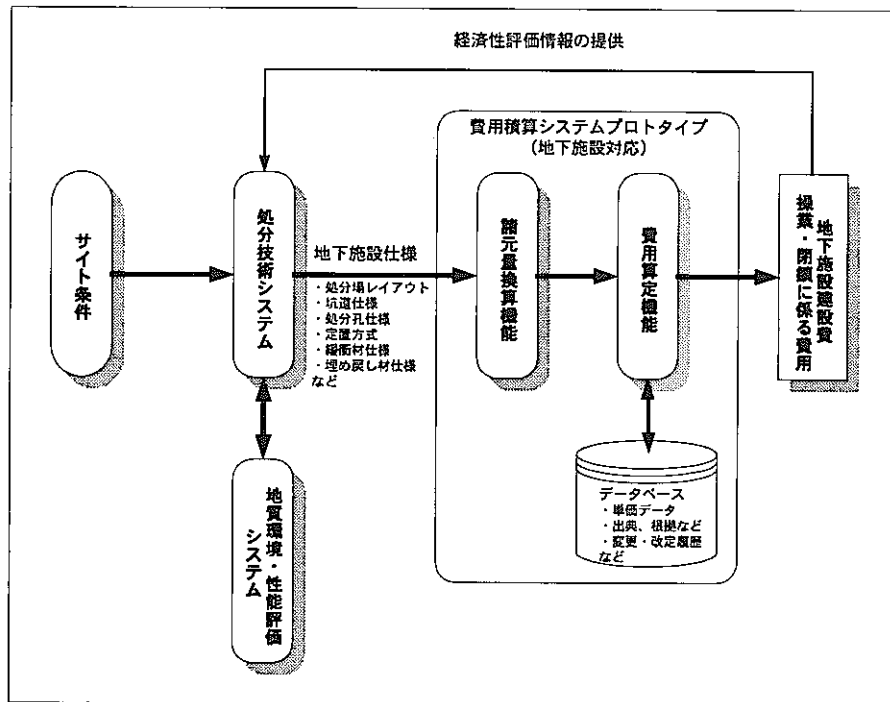


図 3.4.3-1 経済性評価システムプロトタイプ概念図

### (3) 経済性評価プロトタイプの費用積算機能

経済性評価プロトタイプは、処分技術システムによる地下施設の設計結果、即ち、処分場レイアウト、各種坑道仕様、支保、定置方式等の処分場仕様を入力データとして、地下施設の建設、作業、埋め戻し及び閉鎖に対する費用積算結果を出力データとする。入力データとなると考えられる主な処分場仕様を以下に示す。

- ・ 処分場レイアウト（処分場深度、パネル数、各種坑道の本数、坑道間隔など）
- ・ アクセス坑道仕様（形状、長さ、支保形式など）
- ・ 主要坑道・連絡坑道仕様（形状、長さ、支保形式など）
- ・ 処分坑道仕様（形状、長さ、支保形式など）
- ・ 定置方式（緩衝材仕様、オーバーパック仕様など）
- ・ 処分孔仕様（形状、長さなど）
- ・ 埋め戻し材仕様
- ・ 建設、作業、埋め戻し、閉鎖の各作業スケジュール

(a) 費用積算方法

経済性評価プロトタイプの対象とする地下施設の建設、操業、埋め戻し及び閉鎖では、土木工事が費用の大部分を占めると考えられる。

費用積算は、その結果に客観性を与えるためにも、存在するものについては可能な限り公的に認知された積算方法に則って行うべきである。

土木工事費の構成は、建設省によって請負建設工事の実態調査等の結果をもとに体系化されており、土木請負工事・工事費積算要領及び土木請負工事・工事費積算基準により図 3.4.3-2に示すとおり定められている。

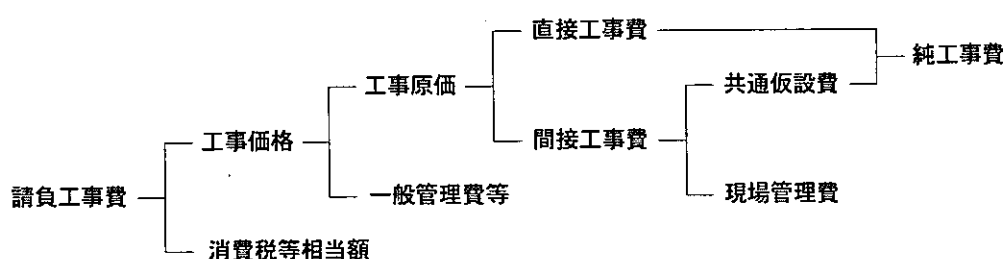


図 3.4.3-2 請負工事費の構成

請負工事費の基本となる直接工事費は、材料費、人件費、労務費及び機械経費等で構成され、費用構成項目毎に 3.4.1 で検討した (式 1) を基本として算定される。

$\text{構成項目毎の費用} = \text{諸元量 (費用構成項目毎の数量)} \times \text{単価} \quad \text{----- (式 1 : 再掲)}$
--

費用積算の根底をなす諸元量 (費用構成項目毎の数量) は、基本的には建設項目毎に設定される建設期間、建設規模 (坑道断面積及び距離)、建設仕様等から算定されるものである。

(式 1) による費用算定方法に対し、実際の費用積算では、請負工事費の構成項目のうち、直接工事費以外の項目は (式 1) を基本として積上げられた直接工事費に対し料率を乗じて算定するのが一般的である。トンネル工事の積算においてこの手法を採用する場合、共通仮設費は直接工事費の 8%程度、現場管理費は純工事費 (直接工事費 + 共通仮設費) の 15%程度 (直接工事費の 16%程度)、一般管理費は工事原価 (直接工事費 + 間接工事費) の 9%程度 (直接工事費の 12%程度)、工事

価格を直接工事費の135%（諸経費率35%）とするのが一般的である。

さらに、処分事業は数十年という長期間にわたるため、施設の維持補修費についても考慮することが必要である。上記積算基準には、維持補修費の算定方法は示されていないが、現状の検討レベルにおいては、施設毎に建設費に対し一定の維持補修費率を設定することにより算定する方法が合理的であると考えられる。

上記のような比率により算定される費用は、その算定式をシステム化することにより自動的に算定することができる。ただし、算定に使用される比率は、マニュアル等により変更可能なものとするのが望ましい。

#### (b) 諸元量（費用構成項目毎の数量）換算機能

一般に、直接工事費を構成する材料費、人件費、労務費及び機械経費等の諸元量（費用構成項目毎の数量）は、処分場仕様、建設スケジュール等に基づいて設定される。しかし、これらの諸元量（費用構成項目毎の数量）は、周辺環境（例えば、ズリ運搬距離）によっても変動が予想され、実際の見積もり時には、過去の工種別、作業別の実態調査や、経験に基づき設定されることが多い。

経済性評価プロトタイプでは、上記の諸元（費用構成項目）を分類し、処分場仕様をパラメータとする定式化が可能な項目は換算式により、また、換算式による算定が困難な項目は過去に実施、公表されている見積もりの実績等を参考とした換算テーブルをシステム内に保持することにより自動的に設定する機能が必要であると考えられる。

ただし、自動的に設定される諸元量（費用構成項目毎の数量）は、あくまで換算式によるものであり、検討条件によっては必ずしも最適な数値が得られるとは限らないことから、上記機能に加えて、設定された人工数及び各種物品の数量等の諸元量（費用構成項目毎の数量）を表示・確認し、必要に応じて数量をマニュアルで変更できる機能が必要である。本機能は、経済性に関する感度解析を行う場合のパラメータ設定にも有効である。

#### (c) 単価データ

処分事業全体を対象とする経済性評価システムと同様、0で示した（式1）により費用を算定する場合には、算定の対象となる諸元（費用構成項目）に対応する単価

データが整備されていることが必要である。諸元（費用構成項目）は、処分場の仕様等により異なることが予想されるため、想定される諸元（費用構成項目）を網羅するように単価データを整備しておくことが必要である。

諸元（費用構成項目）は多岐にわたり、従って、単価データ量も膨大なものとなることが予想されることから、単価データはデータベースにより管理すべきであるが、単に金額だけを管理するのではなく、単価の設定根拠、出典、前提条件あるいは単価設定における仕様等も合わせて管理することが必要である。さらに、単価データは、経済動向により時間の経過と共に改定が加えられるべきものであるため、改定の履歴、改定理由等も管理の対象とすべきである。

比率データについても、単価データベースと同様、比率の設定根拠、出典、前提条件、改定履歴、改定理由などと共にデータベースにより管理することが必要である。

#### (d) 項目別集計機能

処分事業全体を対象とする経済性評価システムと同様、諸元（構費用成要素）から積算された費用を項目別に集計する機能が必要である。経済性評価システムの目的が、設計合理化指針の提供、研究開発項目の把握にあることから、集計する項目のレベルは、これらの目的にとって意味がある程度において可能な限り詳細に集計することが必要である。

また、経済性評価結果は、経済性評価の基となったデータ、即ち、処分技術システムから提供される処分場仕様、それに基づいて設定された諸元量（構成項目毎の数量）及び諸元に対応して利用した単価データの情報を合わせて管理することが必要である。

### 3.5 調査支援システムの概念設計

処分地選定調査では、処分候補地が文献調査等により選定された後に、処分候補地調査及び処分予定地調査として、リモートセンシング、地表踏査、物理探査、ボーリングを利用した調査及び各種試験など多種多様な調査が現地で実施される。これらの調査手順と仕様は、調査開始時に全体の調査計画として作成されると考えられるが、一般に、地質環境条件の調査は、データを積み重ねる毎に新たな知見が得られることが多く、先の調査結果に基づいて次の調査手法を選択したり、調査仕様（調査位置、調査量等）を変更するなどの調査計画の見直しを適宜行いながら進められるものと考えられる。

例えば、電気探査 ⇒ ボーリング調査

と進められる予定であった調査計画に対し、電気探査により予期せぬ知見（例えば、断層を示唆する調査結果）が得られたために、ボーリング調査の仕様（位置あるいは掘削深度など）を変更したり、地質踏査を追加実施後にボーリング調査を行うことにするなどの変更が予想される。

一般に、調査計画の見直しは、直面する調査の手順や調査仕様を修正するだけでなく、処分候補地調査あるいは処分予定地調査全体のスケジュールや予算を考慮することが必要となるため、複雑な作業となることが予想される。

ここで検討する調査支援システムは、処分地選定調査の過程で、頻繁に発生するであろう調査計画の見直しを効率的に行うと共に、調査計画見直しに伴う予算変更、スケジュール変更などに柔軟に対応し、処分地選定調査の効率化に資することを目的とするものである。

ここでは、調査開始時の調査計画立案はもとより調査期間中の調査計画の見直しに対し有効な調査支援システムの概念を検討した。調査支援システムでは、調査、解析・評価の結果を管理し、それらのデータを適宜検索・表示することにより調査計画の立案及び変更を支援することを目的とするものである。調査支援システムの全体概念を図 3.5-1 に示す。

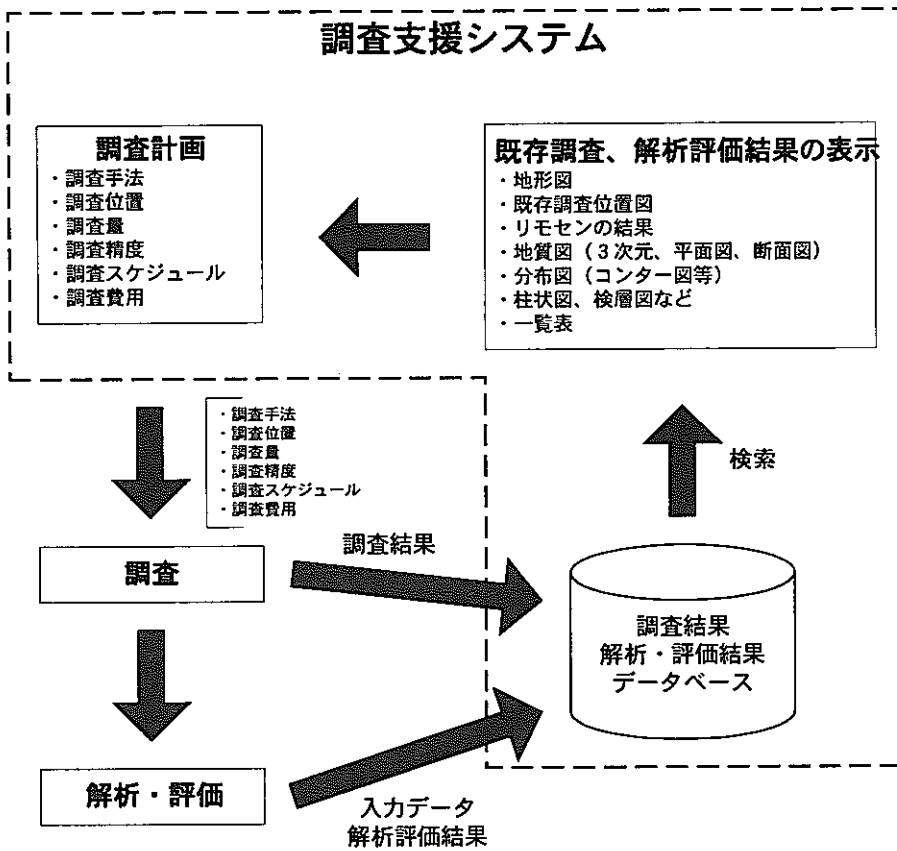


図 3.5-1 調査支援システムの全体概念

## (1) 調査計画作成（変更）機能

調査計画作成（変更）を効率的に行うためには、表示された既存の調査、解析・評価結果等のデータを参考にしながら、調査手法の選択、調査位置、調査量、調査仕様などを設定することができる必要がある。

調査計画作成（変更）機能により設定する項目の例を以下に示す。

- ・ 調査手法
- ・ 調査仕様（調査位置、調査量、調査精度など）
- ・ 調査量
- ・ 調査スケジュール など

一般に、調査量、調査位置などの調査仕様は予算との兼ね合いで決定されることが多いため、経済性を考慮した上で適切な調査点の配置、調査量及び調査仕様の設定を行うためには、設定された調査量、調査仕様に基づき自動的に調査費用の算定をする機能が必要である。

## (2) 既存調査、解析・評価結果表示機能

通常、調査計画作成（変更）は、既存調査、解析・評価結果を参考に行われるため、調査計画作成（変更）を効率的に行うためには、既存の調査結果及び調査計画を検索・表示する機能が必要である。既存計画・データの表示には、表、グラフ表示、地形図やコンター図などを重ね合わせなどができる機能が必要である。

なお、地形に関する情報はもとより、文献等の調査結果を含めた既存情報は、全て後述する調査、解析・評価結果管理機能（(3) 参照）において、取得年月日、取得者などの情報と共に登録・管理されることになる。ここに示す既存調査結果の参照機能は、これらのデータベースを背景とするものである。表示すべき項目例を以下に示す。

- ・ 地形図
- ・ 既存調査位置図（ボーリング、物理探査測点及び測線、試料取得位置など）
- ・ 地質図（平面図、断面図及び3次元表示）
- ・ 分布図（コンター図など）
- ・ 柱状図、検層図
- ・ データ一覧表
- ・ 既存調査計画 など

### (3) 調査、解析・評価結果管理機能

処分候補地選定／処分候補地調査は、対象となる地質環境の複雑さと比較して極めて限られた量の情報から解析、評価あるいは解釈などにより進められる場合が多く、個々のデータ、情報に対する十分な信頼性と追跡性を保証することが必要となる。また、サイト選定においては、選定過程の透明性、正当性、選定されたサイトの適合性を示すことが求められる。これらのことから、サイト選定調査に関して取得されるデータ・情報に関する品質管理システムが不可欠である。

文献等の調査を含む各種調査により直接得られるデータ（調査一次データ）は、各種の解析、評価に直接利用される他、各種統計処理等により様々な方法で加工されたデータ（調査二次データ）として、あるいは図・表として供されることも多い。さらに、解析・評価結果（解析評価一次データ）、直接解析・評価から直接得られた結果、解析・評価結果を加工して得られたデータ（解析評価二次データ）、解析・評価結果の図・表などが発生することとなり、それら全てのデータを管理の対象とすべきである。

調査支援システムでは、処分候補地選定（文献等の調査）及び処分候補地（現地）調査において発生する全てのデータを品質保証・管理の対象とすることとし、特に、二次データに関しては、追跡性の確保を目的としてデータ作成方法、データ作成に用いた一次データの情報まで管理の対象とする。これは、「図 3.5-1 調査支援システムの全体概念」の調査及び解析・評価結果とそれを管理するデータベース部分に相当する。

対象とすべきデータの種類、その内容、管理すべき事項をまとめて図 3.5-2 に示す。



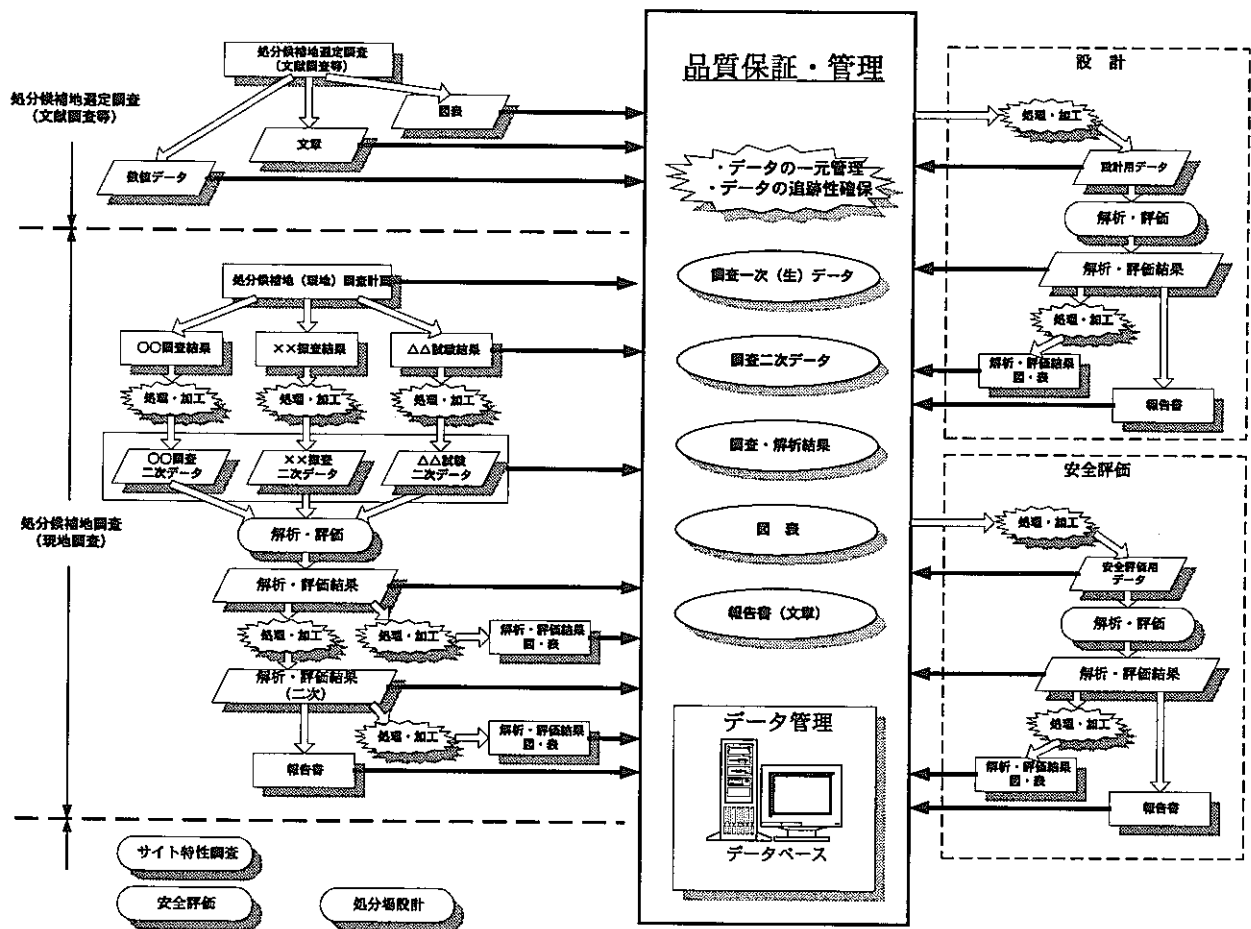


図 3.5-2 品質保証・管理体制概念図

### 3.6 共通ツール（品質管理システム、可視化システム）

本項では、システムを構成する複数のサブシステムから利用される共通ツールについて検討する。

#### 3.6.1 品質管理システム

##### (1) 品質管理システムの目的

###### (a) 数値地層処分システムの品質管理の特徴

高レベル放射性廃棄物地層処分システムの安全性の評価が、通常の工学システムの場合と大きく異なるのは、

- ①極めて長い時間枠（たとえば数万年以上）を考慮しなければならないこと
  - ②天然の地層という不均質な大きな空間領域を有するシステムを含むこと
- の2点であると考えられる。

地層処分システムの性能評価では、通常の工学システムのように設計に基づいて試験的にプラントを作成し、この結果を設計にフィードバックしながら徐々に最適化を行って安全性を実証するという直接的な方法をとることができないと考えられる。そこで地層処分システムに生起すると考えられる種々のふるまいに関するシナリオに従って、システムの長期的な挙動を表現する数学モデルやデータを開発・整備して、モデルとデータを用いた予測解析を行ってシステムの性能を推定することが必要であると考えられる。その結果、推定結果を指針や基準と比較して地層処分システムの安全性を判定するという間接的な評価手法が採用されていると考えられる。

地層処分システムの性能評価では、シナリオ、モデル、データ、及び予測解析の一連のプロセスに対する妥当性の保証が極めて重要であると考えられる。

###### (b) 数値地層処分システムの品質管理の目的

数値地層処分システムは性能評価システム以外にも地質環境、処分技術解析システムを含んでいるが、これらにも、上述した性能評価の品質管理の概念が適用できると考えられる。数値地層処分システムは多量のデータ、コード、データベース、及びコードから構成され、また、システムの運用に当たっては、多数の解析が必要となると考えられる。また、システムを構成する多数のコードに対応するモデル間の相関、連携をとるためには、複雑なシナリオの導入が必要となると考えられる。

また、高レベル放射性廃棄物処分事業においては、処分候補地の決定など、多くの判断が事業の各プロセスで実施される。これらの判断が一般大衆に受け入れられるものとする為には、判断に用いた材料を一般大衆にいつでも、正確な形で提示できることが要求される。判断に用いた材料とは、数値地層処分システムの場合、性能評価や地質環境における解析および解析結果が相当すると考えられる。よって解析にどのようなコード、データ、シナリオを用いたかを適宜トレースできることが必須条件となる。従って、数値地層処分システムのコード、データ、シナリオ、及び解析の品質管理が必要となると考えられる。

以上の検討項目から数値地層処分システムの品質管理の実施対象は、以下の4つであると考えられる。

- ・シナリオの品質管理
- ・コードの品質管理
- ・データの品質管理
- ・解析の品質管理

## (2) 品質管理システムの全体像

ここでは、検討された機能要件に基づいて、システムの全体像を検討した。

### (a) シナリオの品質管理システム

シナリオの品質管理システムは処分場因子データベースに含めるものとする。よって、ここでの検討は省略する。

### (b) コードの品質管理システム

コードの品質管理システムの主な機能として、コードの品質管理記録の登録と検索（トレーサビリティシステムへの登録と検索）が考えられる。

コードの品質管理では、コード開発、検証、改定が行われた時点で各作業に関する品質管理記録を専門家や品質管理者が承認し、承認後に品質管理記録をトレーサビリティシステムへ登録できることが要求される。また、品質管理記録はいつでもトレーサビリティシステムから検索が可能であることが機能上要求される。このようなシステムの全体像を以下に示す。（図 3.6.1-1 参照）

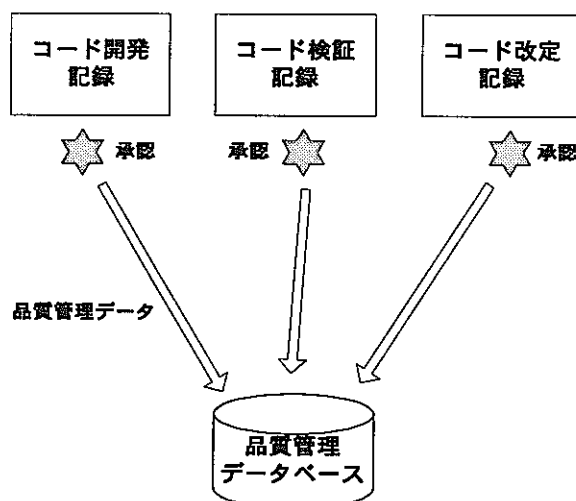


図 3.6.1-1 コードの品質管理システム

(c) データの品質管理システム

データの品質管理システムの主な機能として、データの品質管理記録の登録と検索(トレーサビリティシステムへの登録と検索)が考えられる。

各データの登録毎に以下の機能が必要である。各データの登録とは1次データ登録加工、2次データ登録である。

- ① データ登録(加工)前に品質管理担当者がデータを審査
- ② 品質管理担当者(専門家)が承認後、データをデータベースへ登録
- ③ 同時に品質管理情報をトレーサビリティシステムへ登録

また、品質管理記録はいつでもトレーサビリティシステムから検索が可能であることが機能上要求される。このようなシステムの全体像を以下に示す。(図 3.6.1-2 参照)

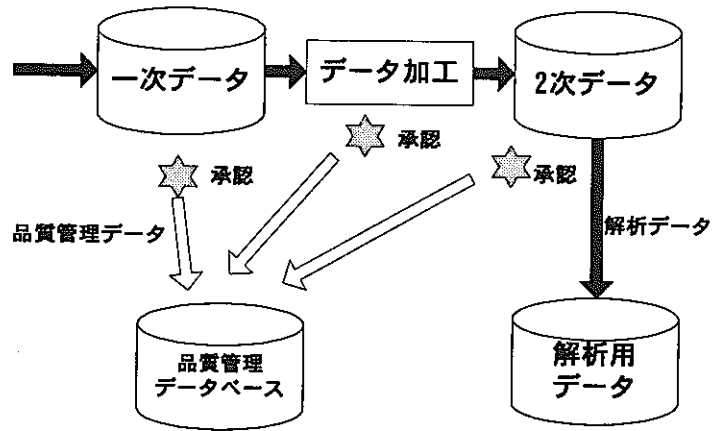


図 3.6.1-2 データの品質管理システム

(d) 解析の品質管理システム

解析の品質管理システムの主な機能として、解析の品質管理記録の登録と検索（トレーサビリティシステムへの登録と検索）が考えられる。

各解析のプロセスに以下の機能が必要である。

- ① データ登録（加工）前に品質管理担当者がデータを審査
- ② 品質管理担当者（専門家）が承認後、解析データをデータベースへ登録  
同時に品質管理情報をトレーサビリティシステムへ登録

また、品質管理記録はいつでもトレーサビリティシステムから検索が可能であることが機能上要求される。このようなシステムの全体像を以下に示す。（図 3.6.1-3 参照）

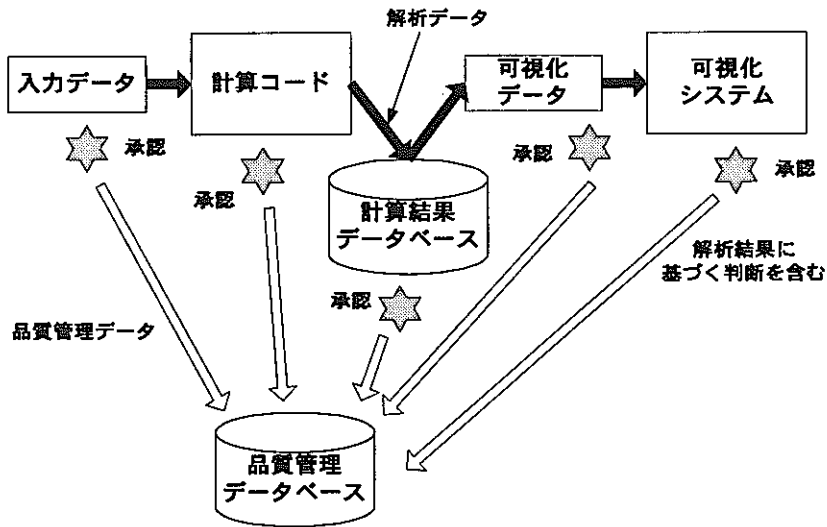


図 3.6.1-3 解析の品質管理システム

### 3.6.2 可視化システム

本項では、コンピュータのグラフィックス機能を用いてデータの視覚化機能を実現する可視化システムについて検討する。

#### (1) 可視化システムの目的

数値地層処分システムは多数のコード、データベース、及び、ユーティリティから構成されると考えられる。数値地層処分システムの中でもシミュレーションは必要不可欠な手法であると考えられる。

複合現象解析システム等ではシミュレーションの出力データは、多量の2次元又は3次元空間分布データとなる事が予想される。また、地質環境評価システムで扱う地質データは3次元の空間分布データであり、データ量も多く不均質な空間分布データであるのが特徴であると考えられる。

以上のように、数値地層処分システムでは多量の空間分布データを取り扱うため、ユーザがデータから対象の定性的な特徴を直感的に理解する事が必要であると考えられる。これは地質の専門家が地質調査結果から地質構造を推定したり、解析の専門家が複合現象解析システムの出力結果に評価を加える場合等に、データの理解が判断そのものや判断を下す効率に影響を与える可能性があると考えられるからである。

このような多量のデータの理解のためには、コンピュータのグラフィックス機能を利用して対象を様々な技法を用いて可視化する事が必要であると考えられる。

#### (2) 可視化システムの機能

可視化システムに必要な機能として以下が挙げられる。

- ・可視化手法によりデータを可視化する機能
- ・品質管理システムとのリンク機能

可視化システムに最も重要な機能は可視化手法によりデータを可視化する機能であると思われる。従って、可能な限り多種類の可視化手法を機能としてシステムに与える事が必要であると思われる。

可視化対象のデータとしては以下が挙げられる。

- ・計算コードの出力結果
- ・施設的设计内容

- ・施設全体計画のイメージング
- ・インタラクティブに操作できる GUI

計算コードの出力結果の可視化情報はユーザの解析評価に利用されるため、品質管理システムとのリンクが必要であると考えられる。

### (3) 可視化機能

検討された可視化システムの機能の中で、システムの観点から見た場合最も重要であるのは可視化機能であると考えられる。ここでは、可視化機能を CG 作成機能と、CG を応用してユーザの直感的理解を支援するためのビジュアライゼーション機能とに分けて検討する。

#### (a) CG 作成機能

数値地層処分システムの可視化システムで描画する対象として、処分場全体の様子及び設計の設計内容等が挙げられる。施設全体計画をアニメーションによりイメージングする際の基本機能は CG 作成機能である。

数値地層処分システムにおいて要求されるのは、3次元CGである。3次元CGの描画は通常次のような手順により生成されることが考えられる。

- ① モデリング
- ② 座標変換
- ③ 隠線、隠面消去
- ④ シェーディング
- ⑤ ディスプレイ表示

②③④の作業を合わせて、レンダリングという。3次元CGの描画は、モデリングとレンダリングの2つのプロセスに分けられる。

一般の3Dグラフィックス・ソフトでは、形状のモデリングを行い、光源の設定、表面や材質の設定、カメラ(視点)の設定を終えたら、あとはプログラムが自動的にレンダリングを行う方式が一般的である。

#### (b) ビジュアライゼーション機能

数値地層処分システムでは、解析結果としてインベントリ、温度、圧力等の物理量の空間分布や、地下水流れの分布等が得られると考えられる。これらは、多量の空間



分布 データであるので数値データのみではイメージを把握するのが困難であると考えられる。よってコンピュータによるビジュアライゼーション（コンピュータビジュアライゼーション）の技術を導入する必要があると考えられる。

#### 1) ビジュアライゼーションのプロセス

コンピュータビジュアライゼーションとは、数値データに対するユーザの直感的理解を、CG 技術を利用して支援する可視化技術であると考えられる。一般にシミュレーションの結果である空間分布している物理量のコンピュータビジュアライゼーションは、次のようなプロセスで実現される。

- ① データの獲得
- ② データの加工
- ③ グラフィカル形式への変換
- ④ 表示・解析

#### 2) 2次元のビジュアライゼーション技法

2次元のビジュアライゼーション技法としては、等高線、疑似カラーコーディング、ベクトルなどが挙げられる。

この他に、ベクトル表示の改良版として最近発達している手法にLIC法がある。LIC法とはテクスチャにぼかし等の効果を加えることにより、流れ場の向きを可視化する手法である。ベクトル表示では表現できなかった細かい渦流の様子まではっきりととらえることが可能である。LIC法は、数値地層処分システムにおいて地下水流れを詳細に表現する場合に有効な手法であると考えられる。LIC法による表示例を図3.6.2-1に示す。

LIC法は主に2次元のベクトル場の向きを表現する場合に用いられる手法である。

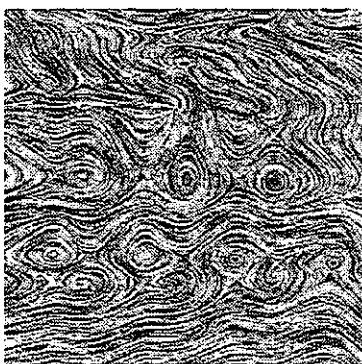


図 3.6.2-1 LIC法による表示例

### 3) 3次元のビジュアライゼーション技法

数値地層処分システムでは複合現象解析システム等で3次元データの視覚化が必要であると考えられる。3次元データとして例えば核種移行を可視化する場合に適している可視化の手法が、ボリュームビジュアライゼーションであると考えられる。

ボリュームデータを可視化する手法は、サーフェスフィッティング、ソリッドフィッティング、ボリュームレンダリングに分けられる。シミュレーションの可視化手法を2次元の場合も含めて、まとめて表3.6.2-1に示す。検討された可視化手法が適用できると考えられるデータ例を、数値地層処分システムで取り扱うと考えられるデータを対象として、表3.6.2-2にまとめた。また、3次元のビジュアライゼーション技法の一つであるボリュームレンダリングの描画例を図3.6.2-2に示す。

表 3.6.2-1 シミュレーションの可視化手法

可視化対象データ		手法
2次元	スカラー場	等高線
		疑似カラーコーディング
	ベクトル場	ベクトル (3次元でも可) LIC (3次元でも可)
3次元	スカラー場	ボリューム ビジュアライゼーション
		サーフェスフィッティング
		ソリッドフィッティング ボリュームレンダリング

表 3.6.2-2 可視化手法の数値処分システムの適用例

データの種類	数値処分システムのデータ例	可視化手法
2次元ベクトル場	地下水流速分布等	ベクトル、LIC
2次元スカラー場	地下水流速のポテンシャル分布、温度分布、圧力分布等	等高線、疑似カラーコーディング等
3次元スカラー場	地下水流速のポテンシャル分布、温度分布分布、核種濃度分布等	ボリューム ビジュアライゼーション

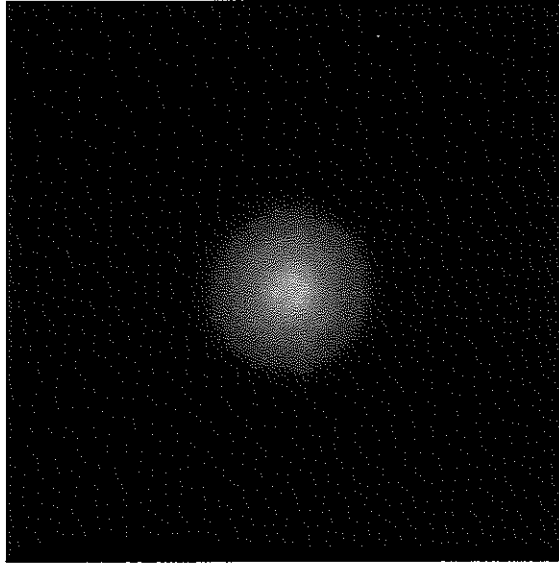


図 3.6.2-2 ボリュームレンダリングの例 (水素の確率密度関数)

#### (4) CGソフトウェアの例

以下に数値処分システムに適用可能と思われる商用CGソフトウェアの例を挙げる。

##### (a) 標準CGライブラリ

標準CGライブラリは、基本的にC言語やFortran等と組み合わせてプログラミングを行い(ライブラリが保有するユーティリティ関数を利用)、3次元CGのシーンを実現する。標準CGライブラリの著名なものとして、OpenGL、Open GL Optimizer、Direct3D、Fahrenheitなどが挙げられる。

##### (b) コンピュータビジュアライゼーション用ツール

シミュレーション結果を可視化する代表的なツールにはAVSがある。AVSは、多数の可視化技法をモジュールの形式で持ち、それらを計算結果や実験結果の数値データと組み合わせる事によりプログラミング無しでデータを可視化できるツールである。

#### (5) 大規模シミュレーションの可視化の例

大規模シミュレーション結果を可視化する事例の一つとして、長期地質変動シミュレーションが考えられる。このプロジェクトは、放射性廃棄物処分場周辺の地質が、長期にわたって力学的に安定しているかどうかを評価し、視覚的にわかりやすく表示することを目的としたものである。可視化のアプローチを図3.6.2-3に示す。

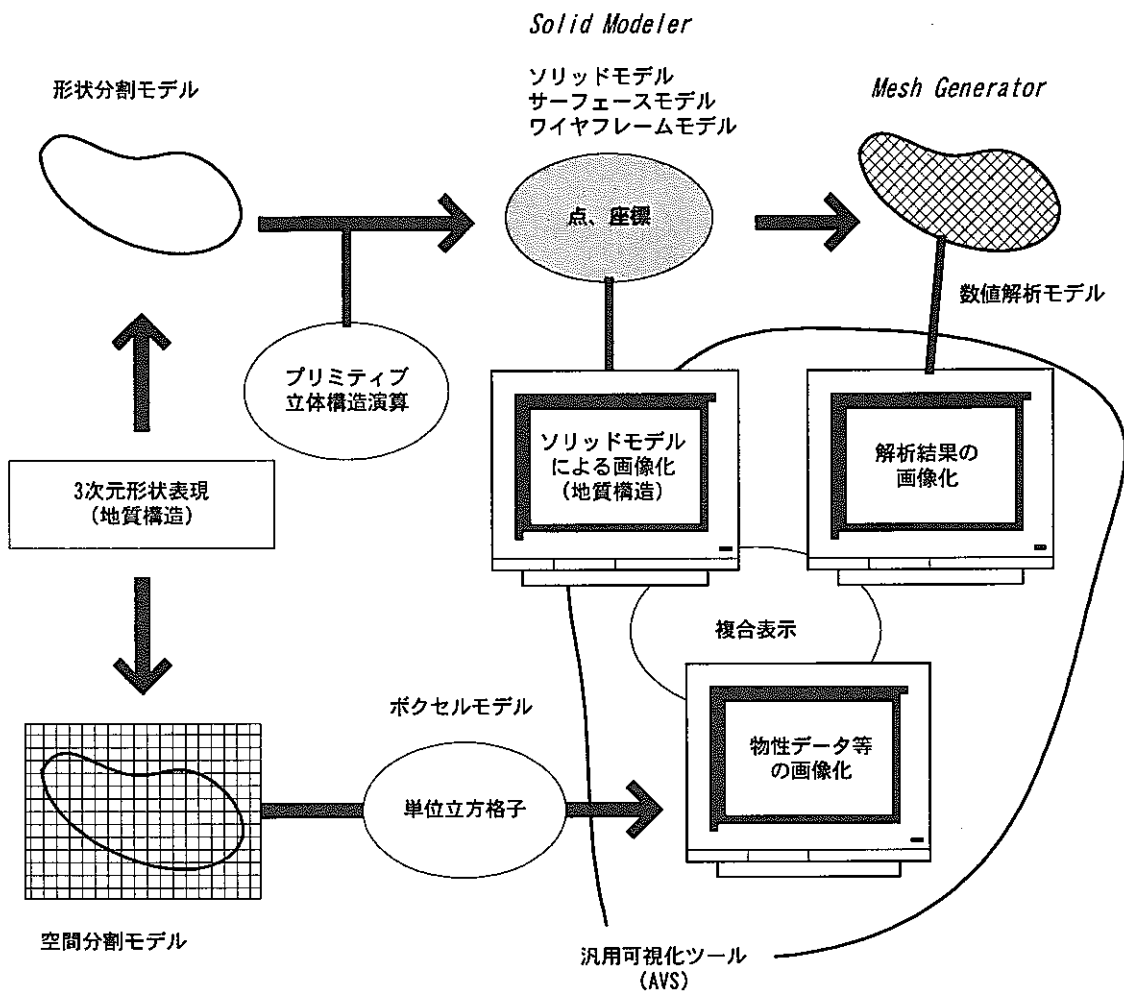


図 3.6.2-3 長期地質変動シミュレーションの可視化アプローチ

このシミュレーションでは、地質構造と岩盤力学解析の結果と、地震源などのデータを同時に表示する複合表示を行っている。地質構造のように、形状データが与えられているものについてはソリッドモデルで表示し、地震源などのデータについては表示する図形をボクセル（単位立方格子）単位に分け、各ボクセルにデータを持たせて表示する。これにさらに有限要素法などの数値解析の結果を表示している。

数値地層処分システムへの適用性を考えた場合、オーバーバック等の構造物の表示に加え、核種移行解析や力学解析結果や地質環境のデータなどを合わせて表示しなければならないと考えられる。そのため、このプロジェクトの可視化のアプローチは参考になると思われる。

#### 4. システムの全体設計

本章では数値地層処分システムの全体設計を行う。

全体設計では最初にシステムを構成する個別システムの機能、及び、個別システム間のデータの流れを整理する。次にシステムに最適なソフトウェア、ハードウェア構成、及び、運用形態の検討を行う。さらに大規模科学技術計算に必要な並列化技術の確認を行う。

数値地層処分システムでは、サブシステム同士が互いにリンケージをとりながら機能する事が要求される。このために、データのリンクのみならず、システム全体を一元管理するプラットフォーム機能が必要となる。そこでプラットフォームの概念設計を行い、それを具体化するためのデモンストレーションプログラムの作成を行う。

##### 4.1 システムの全体構成

前章までに数値地層処分システムを構成する個別システムの概念設計が実施された。一般に、複数の個別システムから構成されるシステムの概念設計は2種類に分ける事ができると考えられる。

- ・ 個別システムの概念設計

個別システム毎の目的及び機能要件の検討を行う。

- ・ 全体システムの概念設計

全体システムの機能要件の検討を行う。個別システムのリンケージや全体システムを一元管理するための機能（プラットフォーム機能）、さらに情報システムの概念設計に必要なシステムのソフトウェア構成、ハードウェア構成、運用形態等について検討を行う。

##### (1) 個別システムの概念設計

個別システムの概念設計については3章で実施されているため、本項ではその要約を示す。

数値地層処分システムは、図 4.1-1 に示されるように、複数の個別システムが互いに連携を取りデータ交換をしながら一つのシステムを構築している。

個別システムには、地質環境評価システム、調査支援システム、性能評価システム、処分場因子データベース、処分技術解析システム、経済性評価システムと、共通で利用されるシステム（品質管理システム、可視化システム）がある。各個別の全体システムにおけ

る役割と機能の検討結果を、表 4.1-1、表 4.1-2 にまとめた。

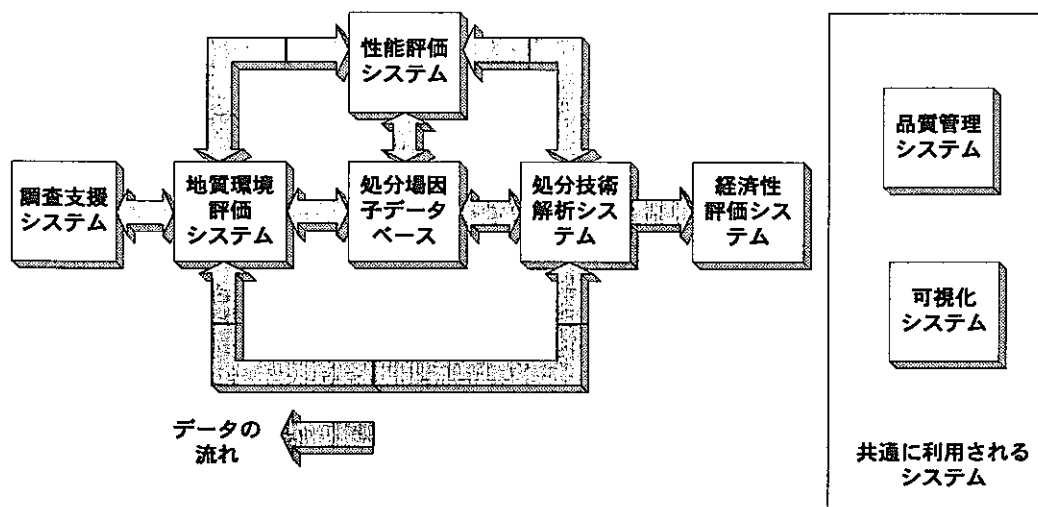


図 4.1-1 数値地層処分システムの全体構成

表 4.1-1 各サブシステムの役割と機能

サブシステム	役割	機能
調査支援システム	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。	① 調査データの管理機能 ② 地質環境評価システムとデータのリンクを行う機能
地質環境評価システム	地質データから地質構造、水理構造等を評価して、処分場設置場所の選定を支援する。 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。	① 地下構造のモデリング機能 ② 地下水流動解析機能 ③ 流跡線解析機能 ④ 核種移行計算法機能 ⑤ 線量評価機能 ⑥ 調査支援システム、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とデータのリンクを行う機能
性能評価システム	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う。 複合現象解析を行い、人工バリア性能の定量化を行う。	① 複合現象解析機能 ② 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 ③ 地質環境評価システム、処分技術解析システム、処分場因子データベースとのデータのリンクを行う機能
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。	① 処分場因子データの管理機能 ② 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 ③ エキスパートの判断を知識ベースの形で取り込む機能 ④ 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
経済性評価システム	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。	① 費用積算機能 ② 処分技術解析システムとのリンク
品質管理システム	シナリオ、コード、データ、解析の品質を管理する。	① 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
可視化システム	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。	① 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



表 4.1-2 数値地層処分システムのサブシステム間のデータ交換

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
調査支援システム	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
地質環境評価システム	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
性能評価システム	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	処分技術解析システム 地質環境評価システム	施設概念 天然バリア特性評価の目標値
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
経済性評価システム	処分技術解析システム 事業計画	施設設計仕様 事業スケジュール	コスト評価	研究開発管理 資金管理	合理化設計のポイント 予算計画
処分技術解析システム	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

## (2) 全体システムの概念設計

全体システムを構成する個別システム間のデータ交換内容は、既に個別システムの概念設計で検討を行ったが、それらをまとめて表 4.1-2 に示す。

全体システムの概念設計では、個別システムの機能及びシステム間のデータ交換を考慮する事が必要であると考えられる。このためデータのリンクのみならず、システム全体を一元管理するプラットフォーム機能が必要となると考えられる。

プラットフォームの概念設計に当たっては、個別システムをブラックボックス化して概念設計を行い、任意の個別システムがプラットフォームに搭載可能であり、かつ、他の個別システムとデータ交換が可能である汎用プラットフォームの機能を検討する事が必要と考えられる。

さらにプラットフォームを実現するためのシステムのソフトウェア、及び、ハードウェアの検討が必要であると考えられる。

全体システムの概念設計に必要なと考えられる検討項目を挙げると以下となる。

- ・プラットフォーム機能

様々な個別システムに対応可能な汎用的なプラットフォーム機能をシステムに持たせる事が必要である。

- ・ソフトウェア構成

プラットフォーム機能を実現するために最適なソフトウェア構成の検討が必要である。

- ・ハードウェア構成

拡張性・柔軟性に優れたハードウェア構成の検討が必要である。

- ・並列計算技術の検証

科学技術計算の高い計算負荷に対応するため、並列計算技術の検討が必要である。

- ・運用形態

数値地層処分システムは多種類のユーザから利用されると考えられるため、運用形態の検討が必要である。

次節以降では、上記の各々の機能について検討を行った。

## 4.2 システムに最適なソフトウェア及びハードウェア構成の検討

### 4.2.1 ソフトウェア構成の検討

#### (1) サブシステムの統合化プロジェクト調査

高レベル放射性廃棄物処分事業を効率良くかつ整合性を保ちつつ実施するためには、数値地層処分システムに搭載されるシステムを統合化する事が必要であると考えられる。過去の科学技術計算関連のサブシステムを統合化したプロジェクトの実例を調査して、システムのソフトウェア構成の検討材料となる要件を抽出した。

##### (a) 調査対象

統合化プロジェクトの調査対象として以下の2件を挙げた。

表 4.2.1-1 過去のサブシステムの統合化プロジェクト

	実施機関	プロジェクト名
1	科学技術庁 (科学技術振興費による総合研究)	物質・材料設計のための仮想実験技術
2	(財) 高度情報科学技術研究機構 (RIST)	GeoFEM

##### (b) 数値地層処分システムへの適用性

###### 1) 物質・材料設計のための仮想実験技術

物質・材料設計のための仮想実験技術プロジェクトでは、プラットフォームをミドルウェアとして採用するにより、個々の材料設計システム（シミュレーションコード等）を統合化することに成功し、材料設計に関するノウハウの蓄積が可能となった。

個々のソフトウェアを統合する役割を持つミドルウェアの導入は、一般的には広く行われているが、科学技術計算の分野ではまだ一般的ではない。そこでミドルウェアとしてのプラットフォームの概念を数値地層処分システムのプラットフォームにも適用すべきだと考えられる。

###### 2) GeoFEM

GeoFEM は固体地球解析用の力学ソルバーと、それを搭載するプラットフォーム機能を持っている。

地質環境・安全評価では高レベル廃棄物処分場内で発生する多種類の現象を取り扱うため、多種類の解析手法に対応することが要求される。GeoFEM の持つソルバーは構造解析、及び、熱流動解析用である。安全評価、及び、地質環境分野では、構造解析ソ

ルバーが利用できる対象は例えば緩衝材及びオーバーパック等が挙げられる。しかし、単に応力による変形等の現象が単独に発生するのではなく、膨張潤による緩衝材の形状変化や腐食によるオーバーパックの変形など、複合現象として発生する可能性があるため、適用に当たってはモデルの選定を慎重に検討することが必要である。また、熱流動解析ソルバーは固体地球の内部の力学モデルに特化しているため、地下水流動解析にそのまま適用することはできないと思われる。従って GeoFEM のソルバーの適用性は低いと思われる。一方 GeoFEM の持つソルバーの処分技術システムへの適用性は高いと思われる。しかし、適用にあたっては、ソルバーの品質保証や計算環境へ適合性等を十分検討する必要があると思われる。

プラットフォームについては、GeoFEM はプラグイン方式、GDL 言語によるインターフェースの統一により統合化プラットフォームを構築している。しかしプラットフォームの設計にあたっては、FEM の統一化されたデータ構造が前提になっている。さらに、GeoFEM システムは有限要素法に特化しているため、有限要素法を用いて解析できる現象の評価しか行えない。地層処分の安全評価の対象となるすべての現象が、有限要素法のみを用いて解析できるわけではないので、数値地層処分システムを GeoFEM に単純にプラグインするだけでは、地層処分の安全評価は行えない事は注意すべきである。これはプラットフォームのインターフェース言語である GDL 言語についても言えると考えられる。ただし前述したように、地層処分研究開発の進展に伴いサブシステムを登録していくという概念は、GeoFEM のプラグイン方式と概念的に共通する。よって GeoFEM の設計思想はプラットフォームの概念設計に取り入れるべきであると考えられる。

その他、GeoFEM の数値地層処分システムのプロトタイプへの適用性の検討結果を次表にまとめた。

表 4.2.1-2 GeoFEM のプロトタイプへの適用性

分野	GeoFEMの特徴	プロトタイプへの適用
統合化	・プラットフォームによるプログラムの統合化(I/F言語、プラグイン方式、FEMの局所化されたデータ解析)	・プラットフォームの概念が適用可能。(プラグイン方式は適用しない)
現象間連成	・プラットフォームにより解析ソルバー、メッシュ生成プログラム、可視化プログラムを統合化	同上
並列計算手法	・最大1億(Snake)、100億(Tiger)自由度に対応する高速な並列解析手法、データ構造、負荷分散、メッシュ生成機能等 ・地球シミュレータへの最適化手法(階層構造)	・FEMに特化した大規模自由度に対する並列計算手法等は、複合現象解析コードへの適用性あり ・地球シミュレータへの最適化手法は適用可能
構造・熱流動解析	・固体地球の構造、熱流動解析(最大100億自由度、現象間連成モデル)	・性能評価分野では、適用性は低い ・処分技術分野では、適用可能
可視化	・リアルタイム可視化	(プロトタイプでの可視化対象モデルが確定してから)

## (2) ソフトウェア構成の検討

上記の 2 つのプロジェクト例を基に、数値処分システムにおけるソフトウェア構成について検討する。

数値処分システムでは、仮想実験システムのサブシステムを統括する技術、すなわち、システム全体が一つのユーザインターフェースを持ち、ユーザの指示に従いユーザが要求するサブシステムのツールまたは計算コードがデータベースより呼び出され実行された後、実行結果がデータベースに格納されるというプラットフォーム技術が必要である。また数値処分システムに搭載されるサブシステムの一つである複合現象解析サブシステムにおいても、計算モジュールの組み合わせから構成される様々なケースの解析を柔軟に実行できるプラットフォーム機能が要求される。

よって仮想実験システムのアプリケーション・ソフトウェア階層のように、プラットフォーム層と、その上位のアプリケーション層を設けて、アプリケーションの統合化を実現する必要がある。さらに数値処分システムに含まれる各種コード、データベース、ユーティリティは、頻繁に更新されたり、登録・削除されることが予想される。そこで、GeoFEM のプラグイン機能のように、サブシステムを抜き差しできるような機能が必要になると考えられる。

以上から、数値処分システムに最適なソフトウェア構成は、図 4.2.1-1 と考えられる。

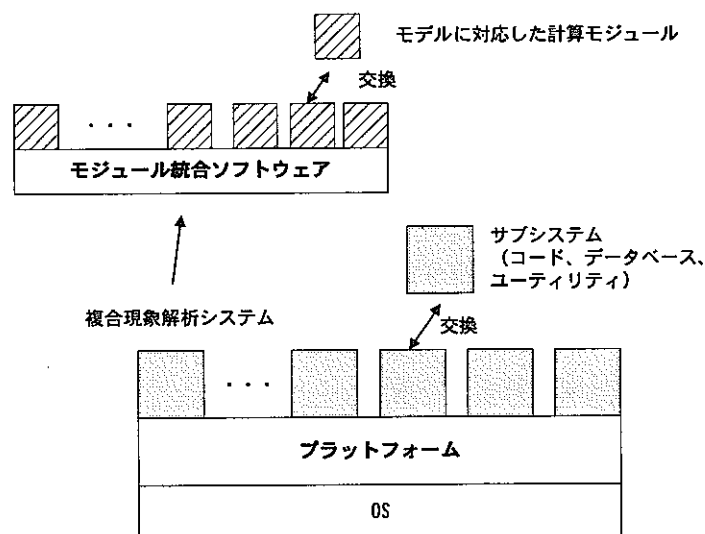


図 4.2.1-1 数値処分システムのソフトウェア構成

プラットフォームは 2 種類必要であり、一つはサブシステムを搭載するプラットフォーム、残りの一つは複合現象解析サブシステムのモジュールを統合するプラットフォームであると考えられる。以降は、2 種類のプラットフォームを区別するため、プラットフォームと複合現象解析サブシステムのモジュール統合ソフトウェアと呼ぶ。

プラットフォームと複合現象解析サブシステムのモジュール統合ソフトウェアに要求される機能は以下と考えられる。

① プラットフォーム機能

- ・ サブシステムの管理、再利用機能

複数のサブシステムを一元管理し、また、自由にプラットフォームへ搭載・削除できるための管理及び再利用機能

- ・ 分散システム機能

複数の計算機上に分散しているサブシステムの管理機能

- ・ シナリオ管理機能

サブシステムを関連付けするためのシナリオ管理機能

- ・ 運用管理機能

② 複合現象解析サブシステムのモジュール統合機能

- ・ モジュールの管理、再利用機能

複数のモジュールを一元管理し、また、自由にプラットフォームへ搭載・削除できるための管理及び再利用機能

- ・ 複合現象モデルの解析機能

複数のモジュールを組み合わせで連成モデルを構成し、解析を行う機能

- ・ 並列計算機能

複数の計算機を使って並列分散計算を行う機能

- ・ シナリオ管理機能

モジュールを関連付けするためのシナリオ管理機能

- ・ 運用管理機能

以上の各機能について、4.5 の「プラットフォームの概念設計」の項で検討する。

#### 4.2.2 ハードウェア構成の検討

数値地層処分システムは、多数のサブシステムから構成され、また開発も長期間にわたって行われる。ハードウェア及びソフトウェアの性能は年々進歩しているため、数値地層処分システムのハードウェア構成には柔軟性を持たせて、サブシステムが開発された時点で最良のハードウェアが選択できるように設計する事が必要である。また、サブシステムによりハードへの要求性能も異なっていると考えられる。そのため各サブシステム毎に搭載ハードを分散させて、分散システムを採用する事が望ましいと考えられる。

分散システムを採用した場合の、数値地層処分システムのハードウェア構成の概略を図4.2.2-1に示す。システムはシミュレータを搭載するハードウェア、データベースを格納するデータベースサーバと計算結果をグラフィック表示するCGワークステーションから構成されることが考えられる。シミュレータのハードウェアをEWS/PCクラスタにすべきか、あるいは商用の並列計算機にすべきは、シミュレーションに要求される計算負荷に基づいて決定されることが考えられる。また、データベースサーバの容量はデータベースに格納するデータ量から決定されることが考えられる。

本項では数値地層処分システムのハードウェア構成の検討を行った。

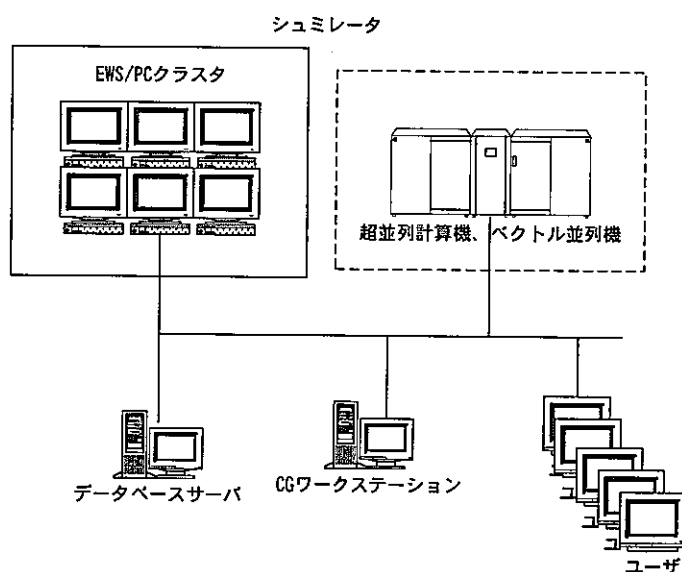


図 4.2.2-1 数値地層処分システムのハードウェア構成

## (1) 計算機の規模の想定

計算規模を推定するにあたり、プラットフォームに搭載する計算コードの候補である Virtual Repository (カリフォルニア大学/三菱マテリアル(株)が開発、以下 VR コード) を検討対象とした。

### (a) VR コード

VR コードは高レベル廃棄物処分場の安全評価コードである。このコードの特徴として、連成モデルを取り入れたシミュレーションを計算モデルのベースにしていることである。このコードでは、ガラス固化体、パフファ、NF、FF がモジュール化されており、モジュール間の連成モデルを数値解析により解いている。また、NF についてはコンパートメント間の連成モデルも考慮している。連成モデルに基づきシミュレーションを行っているため、長大な計算時間が必要とされる。

このように、VR コードではリアリスティックな処分場のシミュレーションを目指しているため、VE システムの複合現象解析システムの計算規模を推定するには適用な計算コードと考えられる。

### (b) VR コードの計算規模

VR コードを用いた安全評価計算の典型例の計算規模を測定した。測定に当たっては、ハードウェア環境には Windows NT マシンを利用した。CPU は、Pentium III、450MHz (およそ 100MFLOPS) を利用した。表 4.2.2-1 に示す計算条件で安全評価計算を実行させた結果、計算時間は 720 時間であった。なお計算時間は、コンパートメント数と評価対象年数 (時間ステップ数) にほぼ比例する。

表 4.2.2-1 VR の計算条件

コンパートメント数	200 個
核種数	12 個
評価対象年数	1.0e+8 年

日本で計画中の高レベル放射性廃棄物地層処分場のコンパートメントを全て計算モデルに入れた場合には、コンパートメント数は 40000 個 (今回のケースの 200 倍) となる。この条件で解析を行うと計算時間は 6000 日となり、非現実的な計算時間となる。

VR コードの計算モデルが 1 次元配置されたコンパートメントモデルに制約されている



理由は、処分場の地下水流路に沿ったコンパートメントの並びに沿って核種が輸送されるからである。よって処分場の地下水による輸送現象のモデルとしては、1次元配置のコンパートメントで十分と考えられ、コンパートメント数も最大200個で十分と考えられる。

#### (c) プロトタイプの計算規模

2002年まで作成する数値地層処分システムのプロトタイプの中で、最も計算負荷の高いシステムは複合現象解析システムである。

VRコードの現バージョンを実行する並列環境としてPCクラスタを想定すると、例えばCPU性能が900MHzのハードからなるWindows-NTマシン16台は容易に実現できると考えられる。この場合、クラスタPCの並列計算効率が100%出たと仮定すると、計算規模の推定で検討した典型例(WindowsNT 720時間)の計算時間は約22時間となり1日以内に収まる。

また、2002年までに開発される複合現象モデルをVRコードに組み込むと計算負荷は増大する。しかし数値地層処分システムのプロトタイプであることを考えると、モデルに含まれるコンパートメント数を減らしても複合現象の解析サブシステムとして問題はないと思われる。従って、コンパートメント数を低減する事により、シミュレーションが現実時間で収まると思われる。

クラスタを構成するPC/EWSの台数については、クラスタの柔軟性と低コストを生かして、計算負荷が増大した時点でマシンを追加していくのが運用上最も適した方針と思われる。

以上から数値地層処分システムのプロトタイプでは、モデルに含まれるコンパートメント数を減らして複合現象モデルの計算負荷を吸収すると、シミュレーションに要するCPU時間は現実的な時間に収まると考えられる。

#### (d) プロトタイプ以降のシステムの計算規模

複合現象解析サブシステムが全て完成した場合の最適なハードウェアを検討する。この場合は大規模科学技術計算が必要であるので、PC/EWSクラスタではなく、スーパーコンピュータクラス以上の大型並列計算機が導入されていると思われる。

大型並列計算機に適した地層処分の解析を検討すると次が挙げられる。

##### ① 現存モデルの規模を増加させた解析

- ② 新しい解析モデルによる解析
- ③ モンテカルロ等の繰り返し回数の多い解析

以下各項目について検討する。

#### 1) 現存モデルの規模を増加させた解析

現存モデルの規模を増加させた解析としては、VR コードによる全処分場モデルの解析が考えられる。先に述べた典型例(WindowsNT 720 時間)から算定すると、地層処分場のフルモデル(コンパートメント数 40000 個)を WindowsNT (450MHz) を搭載した PC 1 台で実行すると、約 6000 日が必要である。

現在のスーパーコンピュータの最高速の機種は、100GFLOPS 程度である。これを PC の性能と比較すると、ベクトル化は考慮せず、並列計算の効率が 100%出たと仮定して計算速度の比を元に推定すると、計算時間は 6 日となる。

一般的に解析計算を行う場合にはパラメータサーベイが必要であるので、そのためにも 1 日以内で計算を終了させることが必要である。

国が開発中の地球シミュレータ(40TFLOPS)は平成 13 年完成予定であり、40TFLOPS の性能を持つため、この計算機で上記計算を実行すると、6 日の計算時間が 11 分に短縮され、実用的な計算時間となる。

#### 2) 新しい解析モデルによる解析

VR コードの現在のバージョンではコンパートメントの構成要素を 1 次元平板モデル化している。モデルを詳細化し、さらに詳細な地下水流動解析を行った場合には、計算時間はさらに増加すると思われる。また、複合現象モデルを VR コードに組み込むと、計算時間はさらに増加すると思われる。

新しい解析モデルを導入した場合、仮に計算時間が現在の典型例モデル(WindowsNT 720 時間)の 100 倍に増大すると計算時間は、典型的なスーパーコンピュータでは 72 時間、地球シミュレータでは 260 秒となる。計算負荷が 100 倍に増大するだけでスーパーコンピュータでは非実用的な計算時間となるので、地球シミュレータの使用が必要である。

#### 3) モンテカルロ等の繰り返し回数の多い解析

モンテカルロ等の繰り返し回数の多い解析については、将来の処分場解析の方向も念頭

において検討する。

処分場の安全評価解析として大規模計算が必要なのは、不確実性解析、感度解析であると思われる。地質環境データ等の解析の入力データは実験的に取得されるため、実験誤差、測定誤差等の誤差分布を持っている。

入力データの誤差を解析に反映する最も有効な方法は不確実性解析、感度解析手法である。その一般的な手法は入力パラメータを確率分布に従ってランダムに変化させ、得られた各入力パラメータの組み合わせについて、解析を実行し、解析結果の統計的な分布から、解析結果の統計分布を求める方法である。

この手法は、試行の回数に比例した計算時間が必要であり、変化させる入力パラメータが増えたと一般的に計算時間も増大する。

VR コードに対して不確実性解析、感度解析を行った場合を想定する。通常試行を 100・1000 回程度繰り返すので計算時間は 1 ケースの実行時間に比べて 100-1000 倍以上に増大すると考えられる。

計算時間が現在の典型モデルの 1000 倍に増大すると仮定すると、計算時間は典型的なスーパーコンピュータを使った場合は 720 時間、地球シミュレータでは 2600 秒となる。スーパーコンピュータでは非実用的な計算時間となるので、地球シミュレータの使用が必要となる事が示される。

計算負荷の観点から複合現象の解析システムには将来的に地球シミュレータをハードウェアとして利用することが必要である。

## (2) データベースに格納するデータ量の推定

データベースサーバの規模を決定するため、各サブシステムがデータベースに参照する(データベースに格納すべき)データ項目、データの種類、データ量を推定する。

データ量の推定に当たっては、サイト候補地は 1000 個存在すると仮定した。また、調査データや公開文献等の 1 次データは処分場因子データベース以外の各データベースに収納され、1 次データが加工され、品質管理された後で処分場因子データベースに登録されると仮定した。

各データベースシステムに収納されるデータ項目、データの種類、データ量の推定結果を表 4.2.2-2 に示す。

表 4.2.2-2 各データベースシステムで参照するデータ

データ項目	データの 種類	項目数	1項目当 たりデー タ数	データ量
データベースへの 収納データの合計量	イメージ	1.53E+0 3	3.60E+0 2	1.33E+0 8
	数値	2.61E+0 4	2.61E+0 4	1.35E+1 1
	文字	1.44E+0 4	1.34E+0 4	1.03E+1 1
容量換算値 (1数値データを4バイト、1文 字データを10バイトで換算)	数値	540GB		
	文字	1.03TB		

データ量の推定結果から、数値及び文字データの合計は 1.5TB となった。これより、データベースサーバは、ディスク容量で約 1.5TB のものを用意すれば全データを収納できると考えられる。

ただしデータ容量は概算であり、システム運営の初期には一部のデータのみ入手可能と考えられる。サーバマシンの容量も年々増加しているので、データベースにデータが蓄積されるに従い、データベースサーバの容量を増設していくのが運用上最適なハードウェア形態と考えられる。

また、イメージデータについても、システム開発の初期には限定した量のイメージデータしか得られないと考えられる。よってイメージデータが蓄積されるに従い、データベースサーバの容量を増設していくのが運用上最適なハードウェア形態と考えられる。

### (3) 最適なハードウェア構成

以上の検討の結果、数値地層処分システムのプロトタイプハードウェア構成としては、以下の組み合わせが最適と考えられる。

- ・複合現象解析サブシステム：PC/EWS クラスタ
- ・データベース、ユーティリティ：PC/EWS
- ・CG：CG用 PC/EWS

プロトタイプを構築するにあたって、シミュレータに EWS または、PC を採用する判断基準は、コストパフォーマンスが最重要の要因である。現在、安価で高性能な PC が手に入るようになった。また、一台の性能は EWS に劣るものの、多数の PC でクラスタシステム

を構成することにより、性能面でのハンディをカバーすることもできる。少なくとも、プロトタイプのために、新規にマシンを導入することを考えると、PCの方が有利であると考えられる。

ただし、システム管理の容易性や安定性を考えた場合、EWSの利用も捨て難い選択肢である。その場合は、核燃料サイクル開発機構が所有する地層処分解析用のEWSが活用できるが、クラスタEWSを構築するためにはそれだけでは不十分であるので、新規にEWSを購入することが必要である。よってコストはPCの場合より高くなる。参考として核燃料サイクル開発機構が保有するハードウェアを表4.2.2-3に示す。

以上からプロタイプシステムのマシンとしては、PCの方がEWSと比べてコストパフォーマンスに優れていると考えられる。

以上の検討を元に、数値地層処分システムのプロトタイプに最適なハードウェア構成を検討した結果を表4.2.2-4に示した。

複合現象解析システムのシミュレータ、データベースサーバ、及びグラフィック用マシンにコストパフォーマンスに優れているPCを採用した分散システムが、数値地層処分システムのプロトタイプの最適なハードウェア構成と考えられる。

表 4.2.2-3 核燃料サイクル開発機構が所有する地層処分解析用のEWS

機種	用途	CPU
SGI OCTANE	シミュレータ	MIPS R シリーズ
Sun Ultra2	シミュレータ	SUN SPARC
DEC AlphaServer 4100	シミュレータ	DEC Alpha
DEC AlphaServer 800	シミュレータ	DEC Alpha
SGI OCTANE (2台)	シミュレータ 解析結果の可視化	MIPS R シリーズ
FUJITSU S-4/10	シミュレータ	SUN SPARC
SUN Enterprise 450	データベースサーバ	SUN SPARC

表 4.2.2-4 プロトタイプに最適なハードウェア構成

システム	ハード構成	備考
複合現象解析 システム	PC クラスタ	クラスタを構成する PC の台数は計算負荷と ハード性能により決定
データベース、 ユーティリティ	PC (データベースサーバ)	1 台
CG	CG 用 PC	1 台

### 4.3 システムの運用管理

システムを運用する上で、ハードウェア、ソフトウェアの維持管理・保守は重要な要件である。本項では、数値地層処分システムを運用するにあたって、必要となるシステム管理の体系や運用管理技術について、プロトタイプシステムと2003年以降のシステム（プロトタイプ以降に開発されるシステム）に分けて検討を行った。また、2003年以降のシステムについては、ユーザの利用管理についても検討を行った。

#### 4.3.1 プロトタイプシステムの運用管理

##### (1) システムの概要

プロトタイプシステムは、複数のコンピュータがネットワークで結合され、それぞれのコンピュータが分担して処理を行う分散システムである。システムのハードは、PC/EWS クラスタシステム、データベースとユーティリティ用のPC/EWS、CG用のPC/EWS、PC/EWS等の端末、及び、LAN等のネットワーク機器から構成される。

ソフトウェアは、複合現象解析システム用の計算コード、データベース、ユーティリティ、及び、それを搭載するミドルウェアとしてのプラットフォームから構成される。

##### (2) 運用管理の組織体系

分散システムのユーザを検討する場合、問題になるのはシステムの外部からのアクセス可能性である。プロトタイプの場合、PA機能の一部として、外部からの一般大衆のシステムへの接続機能を持たない設計となっているため、ユーザとして外部の一般ユーザは考慮しない。

分散システムでは従来の大型汎用機に集中していたシステムがダウンサイジングされ分散化されている。さらにネットワークによる多数の機器が接続されているため、運用管理も集中して行うことが不可能である。そこで運用管理業務の全てを情報システム部門が行うことは効率が非常に悪いため、情報システム部門とエンドユーザ部門が協力して実施する形態が最適と思われる。

運用管理の形態としては基本的に、「アプリケーションソフトウェアの運用」はエンドユーザ部門が担当し、「ミドルウェア、ネットワーク、及び、ハードウェアの運用」は情報システム部門が担当して、運用管理を分散させる形態が最適と考えられる。また、エンドユーザ部門もユーザを分離し、管理者と一般ユーザに分類する。管理者はアプリケーションソフ

トウェアの運用業務を担当し、一般ユーザはアプリケーションの実行とアプリケーションに異常が発生した場合にそれをエンドユーザ部門の管理者へ伝達する監視業務を担当するのが適当と思われる。

### (3) 運用形態

以上から数値地層処分システムのプロトタイプシステムについて、運用形態を検討した結果を表 4.3.1-1、図 4.3.1-1に示す。

ユーザは4種類に分類されている。情報システム部門の所属下のシステム管理者、エンドユーザ部門の所属下の管理者、及び、エンドユーザ、そして品質管理担当者である。

基本的に、システム管理者はシステムの全体構成の運用を行い、分散システムの各機器やアプリケーションに何か異常が発生した場合の復旧作業を担当とする。

エンドユーザ部門の管理者は、各部が担当するシステムの各構成アプリケーションの監視とバックアップが担当である。また、一般のエンドユーザはアプリケーションの異常を端末から監視する事が担当業務である。品質管理担当者は、品質管理における承認業務が担当である。承認を実行する権限は品質管理担当者しか持たないものとした。

運用管理項目は、先に挙げた一般の分散システムの管理項目にアプリケーションの運用と、品質管理を加えたものである。品質管理を項目に加えたのは、品質管理担当者の位置付けを明確にするためと、トレーサビリティシステムの存在を明確にするためである。ただし、トレーサビリティシステムの運用形態は他のアプリケーションと変わらないものである。ユーザ管理については、ユーザのID発行、登録などのID管理はエンドユーザ部門の管理者が行い、一般ユーザへのシステムの教育等はシステム管理者の担当とした。



表 4.3.1-1 プロトタイプ of システム運用形態

(◎:管理の主担当者 ○:管理担当者)

管理項目	作業項目	システム 管理者	エンドユ ーザ (管 理者)	エンド ユーザ	品質管 理担当 者	備考
ソフトウェア、データ資源管理	アプリケーションの監視	○	◎	○		
	ファイル、データの保護 (バックアップ)	○	◎			
	ソフトウェアの更新 (Upgrade) への対応	◎	○			
品質管理	承認作業				◎	
	トレーサビリティシステムの運用 (監視)	○	◎	○		
	トレーサビリティシステムの運用 (対応)	◎	○			
システム管理	システム全体構成管理	◎				
アドレス管理	各機器のアドレス管理	◎				
障害管理	障害監視	○	◎	○		
	障害対応	◎	○			
ハードウェア資源管理	資源監視	○	◎	○		
	資源対応	◎	○			
性能管理	性能監視	○	◎	○		
	性能対応	◎	○			
セキュリティ管理	セキュリティ監視	○	◎	○		
	セキュリティ対応	◎	○			
ユーザ管理	ユーザ管理	○	◎			
	ユーザ対応	◎				教育等

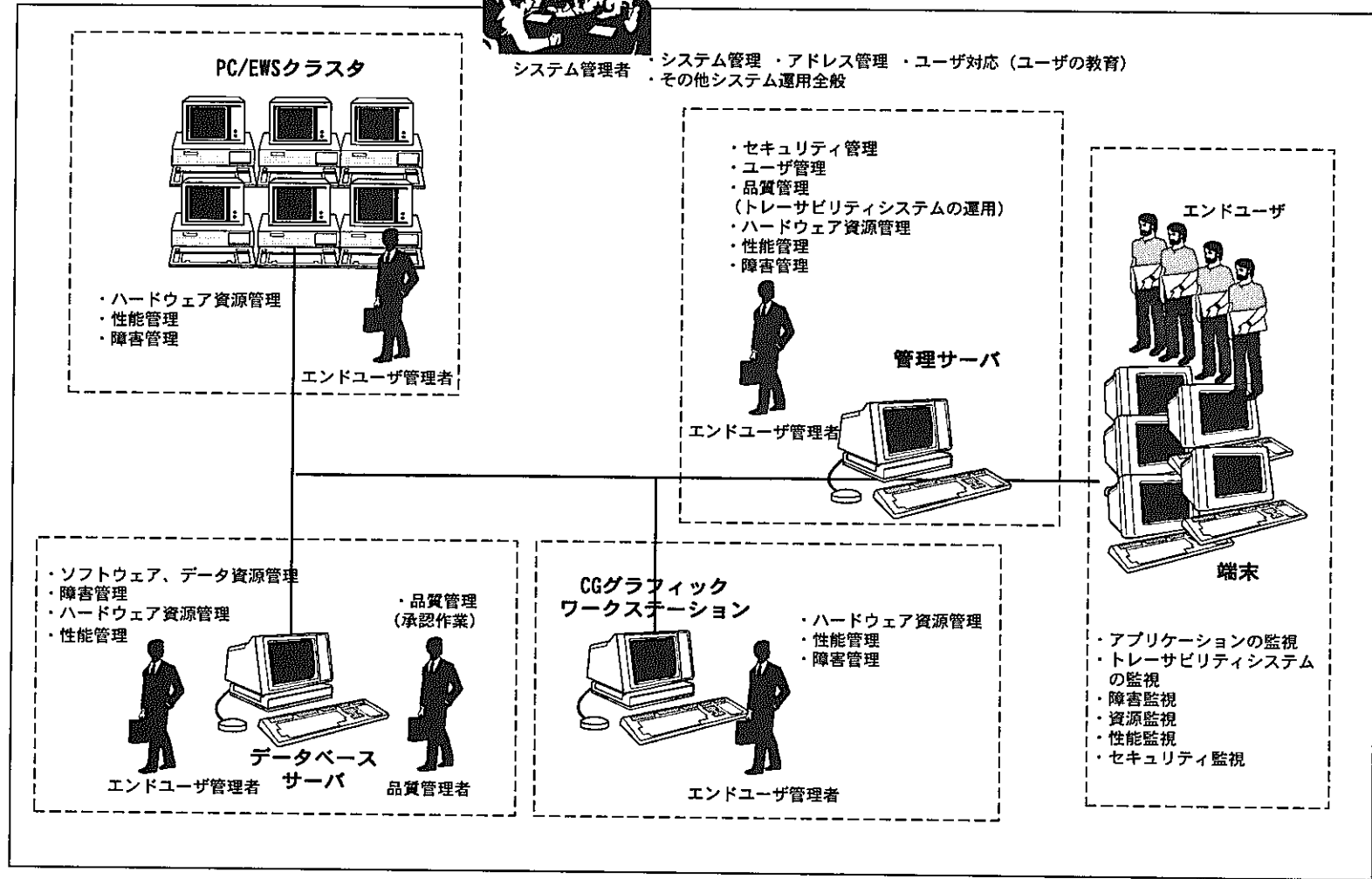


図 4.3.1-1 プロトタイプのシステム運用形態

#### 4.3.2 2003 年以降のシステムの運用形態

##### (1) システムの概要（プロトタイプシステムからの運用管理を行う上での変更点）

2003 年以降のシステムは、プロトタイプシステムとは異なり、PA などの目的にも利用されるため、システムは外部との接続機能を持たなければならない。ユーザとして、解析サブシステム、データベースサブシステムを利用するエンドユーザの他に、一般ユーザも含まれることになる。

2003 年以降のシステムは、プロトタイプシステムと同様に分散システムである。プロトタイプシステムと比べて、ハードウェア構成で異なる点はシミュレータに国所有のスーパーコンピュータが候補として加わることである。スーパーコンピュータの運用については、所有機関に委ねられることになると思われる。

##### (2) 運用管理の組織体系

プロトタイプシステム同様、マシンが物理的に分散しているため、運用管理の組織体系として、エンドユーザ部門と情報システム部門の 2 階層に分けて行うことが考えられる。

##### (3) 運用形態

以上から 2003 年以降のシステムの運用形態を検討した結果を表 4.3.2-1 図 4.3.2-1 に示す。プロトタイプと異なる点は、ユーザに一般ユーザが含まれる事である。

表 4.3.2-1 2003 年以降のシステム運用形態

(◎:管理の主担当者 ○:管理担当者)

管理項目	作業項目	システム 管理者	エンド ユーザ (管 理者)	エンド ユーザ	品質管 理担当 者	一般 ユーザ
ソフトウェア、データ資源管理	アプリケーションの監視	○	◎	○		○
	ファイル、データの保護 (バックアップ)	○	◎			
	ソフトウェアの更新 (Upgrade) への対応	◎	○			
品質管理	承認作業				◎	
	トレーサビリティシステムの運用 (監視)	○	◎	○		
	トレーサビリティシステムの運用 (対応)	◎	○			
システム管理	システム全体構成管理	◎				
アドレス管理	各機器のアドレス管理	◎				
障害管理	障害監視	○	◎	○		○
	障害対応	◎	○			
ハードウェア 資源管理	資源監視	○	◎	○		○
	資源対応	◎	○			
性能管理	性能監視	○	◎	○		○
	性能対応	◎	○			
セキュリティ管理	セキュリティ監視	○	◎	○		○
	セキュリティ対応	◎	○			
ユーザ管理	ユーザ管理	○	◎			
	ユーザ対応	◎				

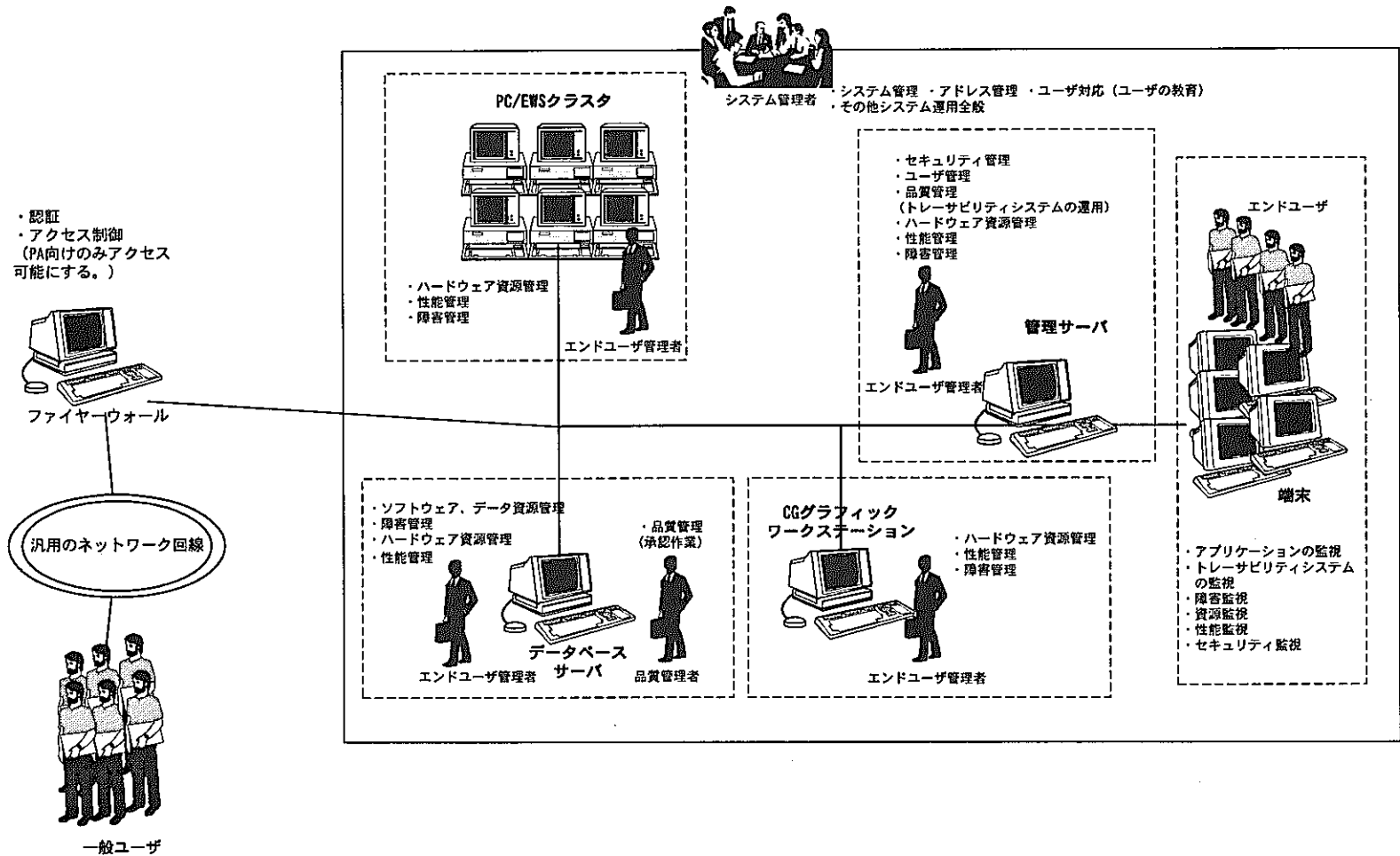


図 4.3.2-1 2003 年以降のシステムの運用形態

#### 4.4 並列化技術の確認

数値地層処分システムには大規模シミュレーションが必要であり、それに伴い大規模科学技術計算の実現に必要な高速化技術、特に並列化技術が不可欠であると考えられる。よってシミュレーションの要素技術である並列化技術のプロトタイプシステムへの適用性の確認を行うことが必要であると考えられる。

この節では、マシンのアーキテクチャに応じた並列化手法を紹介し、VR コードを用いて高速化（並列処理）の検証、確認を行う。

また、並列計算機を利用する場合にはシリアル計算コードを並列計算用の計算コードに書き換えなければならないが、書き換えに必要な労力はマシンのアーキテクチャによって異なる。プロトタイプシステムでは、シミュレータとして PC クラスタを、最終的なシステムには、スーパーコンピュータ（地球シミュレータ）の導入を予定しているが、この両システムの並列化手法の違いについて検討する。

##### 4.4.1 高速化の検証

数値地層処分システムの性能評価システムを利用した解析には多大の計算時間が必要であり、並列処理計算が不可欠であると考えられる。並列処理計算を行うハードウェアとしては、ベンダが提供するもしくは研究機関が所有する商用並列計算機（ベクトル並列マシン、スカラ並列マシン）、又は、EWS/PC クラスタが考えられる。しかしながら、プロトタイプでは PC クラスタを使用する予定であるため、今回の検証では、EWS 単体、PC 単体、EWS クラスタ、PC クラスタの 4 種類のハードで計算を行った場合の計算時間の比較を行った。また、EWS クラスタで計算を行った場合の通信プロトコルによる計算時間の違いについても検証を行った。

##### (1) 通信プロトコル

EWS/PC クラスタなどの分散メモリマシンの通信には、メッセージパッシングモデルが広く用いられている。これに対して、共有メモリマシンの通信には共有メモリモデルが用いられる。共有メモリモデルは分散メモリモデルに比べてプロセス間通信のオーバーヘッドがかからないため、データ交換の効率が良いと考えられる。そのため、分散メモリマシンにおいても、共有メモリモデルの適用が試みられている。この分散メモリマシン上で、共有メモリモデルを実現する手法（新しいプロトコル）として、MBCF（Memory - Based Communication Facilities、以下 MBCF）がある。今回は、研究用 OS の SSS-CORE 上

に MBCF を実装して検証を行った。

## (2) 高速化の検証結果

### (a) PC 機による汎用メッセージパッシングライブラリを用いた検証

VR コード、PC クラスタ、汎用のメッセージパッシングライブラリ (Message Passing Interface、以下 MPI、Parallel Virtual Machine、以下 PVM) を用いて、高速化の検証を行った。VR コードで計算を実行し、その計算時間を測定した。計算条件を表 4.4.1-1 に示す。

表 4.4.1-1 VR コードの計算条件

コンパートメント数	200 個
核種数	12 個 (4 チェーン)
評価対象年数	1000 年または 10000 年

並列計算モデルとして、マスタースレーブモデルを採用した。マスタースレーブモデルとは、計算機群をマスター機 1 台とスレーブ機に分けて並列処理を行うモデルである。マスター機はスレーブ機にデータを与え、スレーブ機からの計算結果を集計、出力する役割を担う。各スレーブ機は、マスター機からのデータを受け取り、計算を実行し、計算結果をマスター機に返信する。マスター機自らがスレーブ機にもなりうるモデルである。

今回は図 4.4.1-1 に示すように、合計 4 台の PC クラスタを用いて検証を行った。1 台をマスター機としてのみ配置させ、残りの 3 台をスレーブ機として配置するケースと、マスター機にもスレーブタスクを配置するケース (マスター 1 台、スレーブ 4 台) の 2 種類のケースで計算を行った。結果を表 4.4.1-2、表 4.4.1-3 に示す。

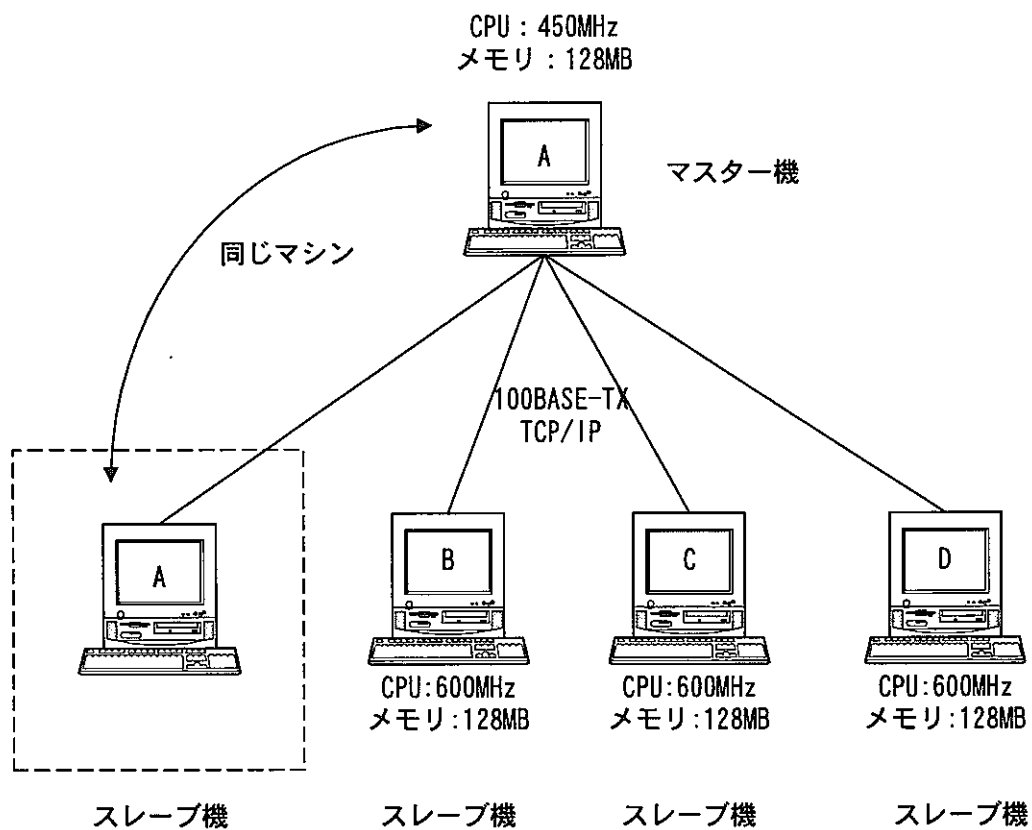


図 4.4.1-1 PC クラスターの計算機の配置

表 4.4.1-2 マスター機にスレーブタスクを配置しないケースの計算結果

ツール	シミュレーション時間	スレーブ数	マシン構成	CPU時間	速度向上率	並列計算効率	その他
MPI	1000年	-	B	11	-	-	非並列計算
		1	A+C	8	1.4	1.4	
		3	A+B+C+D	4	2.8	0.9	
	10000年	-	B	116	-	-	非並列計算
		1	A+C	86	1.3	1.3	
		3	A+B+C+D	37	3.1	1.0	



表 4.4.1-3 マスター機にスレーブタスクを配置するケースの計算結果

ツール	シミュレーション時間	スレーブ数	マシン構成	CPU時間	速度向上率	並列計算効率	その他
MPI	1000年	-	B	14	-	-	非並列計算
		1	A+A(スレーブ)	41	0.3	0.3	
		2	A+A(スレーブ)+B	33	0.4	0.2	
		4	A+A(スレーブ)+B+C+D	20	0.7	0.2	
	10000年	-	B	155	-	-	非並列計算
		1	A+A(スレーブ)	400	0.4	0.4	
		2	A+A(スレーブ)+B	294	0.5	0.3	
		4	A+A(スレーブ)+B+C+D	166	0.9	0.2	
PVM	1000年	-	B	14	-	-	非並列計算
		1	A+A(スレーブ)	16	0.9	0.9	
		2	A+A(スレーブ)+B	13	1.1	0.5	
		4	A+A(スレーブ)+B+C+D	8	1.8	0.4	
	10000年	-	B	155	-	-	非並列計算
		1	A+A(スレーブ)	177	0.9	0.9	
		2	A+A(スレーブ)+B	129	1.2	0.6	
		4	A+A(スレーブ)+B+C+D	81	1.9	0.5	

表中の速度向上率は、非並列計算を行った場合に比べて、マシンを追加したことにより、どの程度 CPU 時間が短縮されたかを示したデータであり、並列計算効率は、速度向上率をスレーブマシンの台数で割ったものである。MPI の検証結果にあるように、マスター機にスレーブタスクを配置しないケースではスレーブマシンの台数を増やすに従って CPU 時間が低減した。

マスター機にスレーブタスクを配置するケースでは、MPI に加え、ヘテロな環境で有利とされている PVM での検証も行った。MPI、PVM ともに、マシンの台数が増えるに従って CPU 時間は低減している。ただし、PVM に比べ MPI の方が並列計算効率は低い。これは、マスター機にスレーブタスクを配置した場合、マスター機がボトルネックとなるヘテロな環境となり、このマシン環境が MPI にとって不利であるためと考えられる。

以上から並列計算の要素技術である、メッセージパッシング用インターフェースの MPI と PVM の検証を行い、並列計算により高速化が実現されていることが確認された。MPI を用いてスレーブタスクをマスターマシンに配置しない並列計算を行うと、高い並列効率が測定された。

ただし、今回はあくまで並列計算技術の確認が目的である。計算環境はスレーブマシン 3 台より構成されており、タスクの計算粒度が大きく、かつ、通信コストが小さいので高い並列効率が達成されたと思われる。

今後プロトタイプシステムの並列計算の性能を確認するには、スレーブマシンを増やした環境で試験する事が必要と考えられる。

(b) OS と通信プロトコルの違いの検証

UNIX 機を利用して、VR コードと汎用のメッセージパッシングライブラリの組み合わせによる高速化の検証を行った。VR コードの計算条件は表 4.4.1-1 と同じである。検証を行ったハードウェア構成を図 4.4.1-2 に示すが、ホスト 1 台とスレーブマシン 4 台の組み合わせで並列計算を実行した。ホスト上では計算は実行しなかった。

計算結果を表 4.4.1-4 に示す。PC 機と UNIX 機単体を比較すると(表 4.4.1-2、表 4.4.1-4)、PC 機の計算時間は UNIX 機に比べ約 5 分の 1 となっている。これはマシンスペック (CPU のクロック数) の違いによるものである。並列計算の効率は、両方のケースとも 1.0 に近い効率となっている。これから MPI をメッセージパッシングライブラリとして利用する限り、並列計算の効率は、WindowsNT と UNIX のどちらの OS を利用しても変わらないことが示される。

また、UNIX 機を利用して、従来の TCP/IP 以外の高速通信プロトコルによる並列計算の確認を行った。UNIX+MBCF 通信+MPI と、UNIX+TCP/IP+MPI の組み合わせによる計算を実行してプロトコルによる比較を行った。計算機の構成は UNIX と同じ構成とした。検証結果を表 4.4.1-4 に示す。数回測定した結果の平均を取ったので、並列計算効率が 1.0 を若干超えた結果が出ている。

MBCF 通信は通常プロトコルの 10 倍以上の通信性能を持っているが、今回の検証では、すでに TCP/IP で並列計算効率が最大限達成されているため、TCP/IP と MBCF の差は現れなかった。

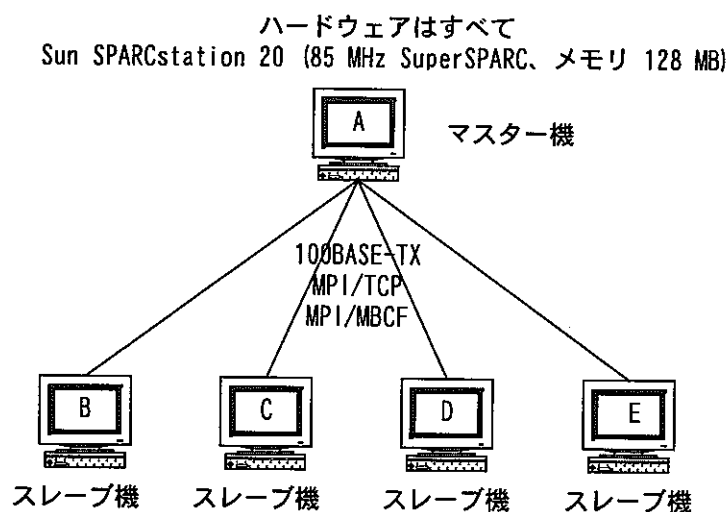


図 4.4.1-2 EWS クラスターの計算機の配置

表 4.4.1-4 UNIX 機と新プロトコルを利用した計算結果

ツール	シミュレーション時間	スレーブ数	マシン構成	CPU時間(秒)	速度向上率	並列計算効率	その他
MBCF/MPI	10000年	0	A	595	—	—	非並列計算
		4	A+B+C+D+E	120	5.0	1.3	
TCP/MPI	10000年	0	A	588	—	—	非並列計算
		2	A+B+C	229	2.6	1.3	
		4	A+B+C+D+E	132	4.5	1.1	

並列計算マシンの台数を増やして、TCP/IP 通信による並列計算効率が低下してくる環境下で両者の並列効率を比較することが必要であると思われる。

(c) まとめ

VR コード、PC クラスタ（スレーブマシン 3 台）及び UNIX クラスタ（スレーブマシン 4 台）、汎用のメッセージパッシングライブラリを用いて、高速化の検証を行った。VR コードで計算を実行して計算時間を測定した。

メッセージパッシングライブラリに MPI を採用した場合、並列計算によりスレーブマシンの台数にほぼ比例する高速化が実現されていることが確認された。

また、UNIX 機を利用して、通常プロトコルの 10 倍以上の通信性能を持っている MBCF 通信による並列計算の検証を行った。UNIX+MBCF 通信+MPI との組み合わせによる計算を実行した。計算機の構成は UNIX と同じ構成とした。

今回の検証では、すでに TCP/IP で並列計算効率が最大限達成されているため、TCP/IP と MBCF の差は現れなかった。

#### 4.4.2 マシンのアーキテクチャに応じた並列化手法

##### (1) マシンのアーキテクチャ

数値地層処分システムのシミュレータ用マシンのアーキテクチャは、プロトタイプとそれ以後のシステムとでは、大きく異なると考えられる。

数値地層処分システムのプロトタイプでは、EWS/PC クラスタがシミュレータ用マシンとして採用される予定であるので、アーキテクチャは分散メモリマシンとなる。

2002年以降の数値地層処分システムでは、地球シミュレータがシミュレータ用マシンとして検討された。よって並列化手法を検討するマシンに地球シミュレータを加える必要があると考えられる。地球シミュレータのアーキテクチャは、図 4.4.2-1 のようになると考えられる。8PE(Processor Element)が1ノードを形成し、640ノードがマシンを構成する。PEにはNEC製のベクトルプロセッサが搭載される。このマシンのアーキテクチャは、複数のノード、1ノード中の複数のPE、PE内の演算パイプラインという三層の階層構造をとる予定である。

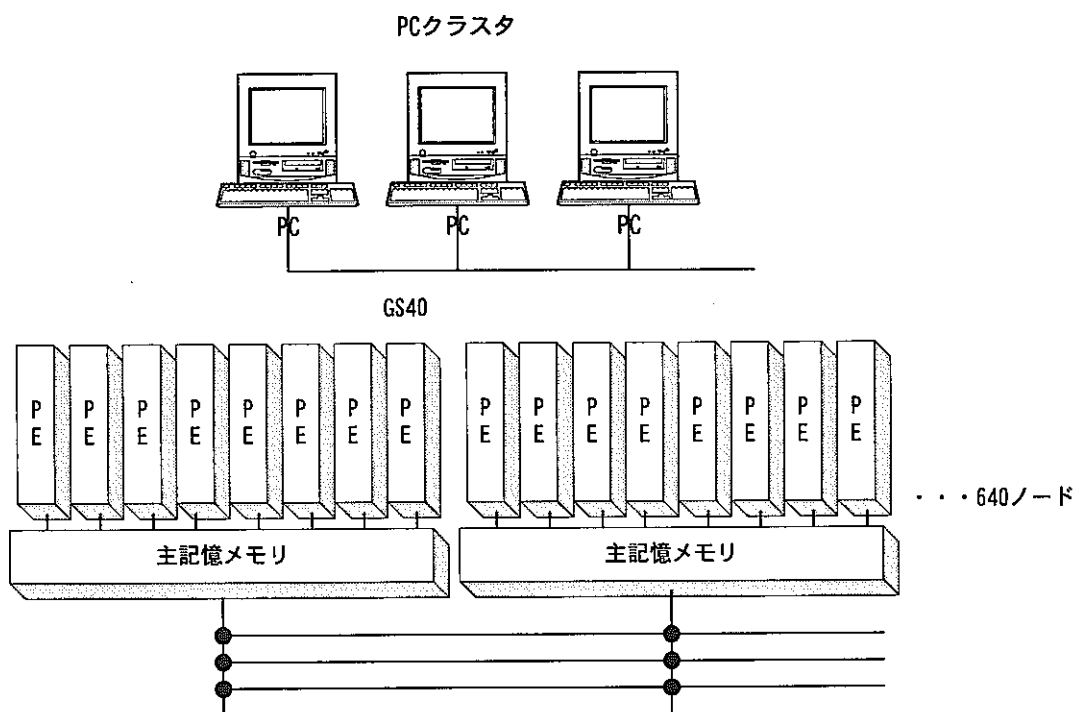


図 4.4.2-1 EWS/PC クラスタと地球シミュレータのマシンアーキテクチャ

##### (2) マシンのアーキテクチャに応じた並列計算システム

数値地層処分システムのプロトタイプでは、アーキテクチャは並列クラスタである。(分散メモリ)よって、並列プログラムは、逐次言語+メッセージパッシングライブラリを逐次

処理用のコンパイラでコンパイルし、実行コードを作成する。

2002年以降の数値地層処分システムでは、地球シミュレータを利用する予定である。地球シミュレータのアーキテクチャは複数のノード、1ノード中の複数のPE、PE内の演算パイプラインという三層の階層構造である。よって、並列プログラムは、ノード間の並列計算、ノード内の分散メモリに対応した並列計算、及び、各PEで行う演算についてベクトル化したものとなる。

#### 4.5 プラットフォームの概念設計

本項では既存の科学技術計算プラットフォームを調査し、プラットフォームの機能要件を抽出する。次に抽出されたプラットフォームの機能を検討し、それを実現するために必要なコンピュータ技術を検討する。

以上に基づいてプラットフォームの基本機能を検討する。

##### 4.5.1 プラットフォームの機能要件

###### (1) プラットフォームに要求される機能

数値地層処分システムの全体設計から要求されるプラットフォームの機能としては 4.2 章で検討されたように、以下の機能が挙げられる。

###### a) プラットフォーム機能

- ・サブシステムの管理、再利用機能
- ・分散システム
- ・シナリオ管理機能
- ・運用管理機能

###### b) 複合現象解析サブシステムのモジュール統合機能

- ・モジュール管理、再利用機能
- ・並列計算機能
- ・連成モデル計算機能
- ・シナリオ管理機能
- ・運用管理機能

#### 4.5.2 プラットフォームの事例

##### (1) プラットフォームの事例調査

過去に開発された、または、現在開発中の統合化システムに関する科学技術計算プロジェクトに関して、数値地層処分システムのプラットフォームの概念設計に参考になると思われるものについて調査し、システムの機能を調査した。

調査対象のシステムについてプラットフォームに関係する機能をまとめて表 4.5.2-1、表 4.5.2-2、表 4.5.2-3、及び表 4.5.2-4 に示した。

表 4.5.2-1 科学技術計算プラットフォームの事例 (1)

システム名称	GeoFEM	Virtual Repository™
実施機関	財団法人 高度情報科学技術研究機構 (RIST) (日本)	カリフォルニア大学・三菱マテリアル(株)
出典	GeoFEM セミナー資料、ホームページ	学会発表資料、UCB 学内資料
ホームページ	<a href="http://geofem.tokyo.rist.or.jp/index_jp.html">http://geofem.tokyo.rist.or.jp/index_jp.html</a>	-
プロジェクトの目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固体地球分野のモデリングとシミュレーション</li> <li>・「地球シミュレータ」用大規模並列プラットフォームの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HLW 処分場の安全評価コードの開発</li> <li>・並列計算に対応したプラットフォームを開発</li> </ul>
プロジェクトの概要	<p>地球内部のダイナミクスと熱輸送を含む固体地球のモデリングとシミュレータを作成し、それを「地球シミュレータ」上で実行するための大規模並列プラットフォームを開発する。</p> <p>GeoFEM Snake(1997-1998)では、地球問題に限らない汎用並列有限要素コードを開発し、GeoFEM Tiger(1999-2000)では、固体地球問題に特化したコードを開発する。</p>	<p>HLW 処分場の安全評価のために、処分場のリアルスティックなシミュレータを開発する。</p> <p>また、解析手法の進歩に対応するため、オブジェクト指向アプローチをシミュレーションに適用し、安全評価の汎用プラットフォームを開発する。並列計算にも対応している。</p>

表 4.5.2-2 科学技術計算プラットフォームの事例 (2)

システム名称	ADVENTURE	Agent Middleware
実施機関	東京大学等 (日本学術振興会未来開拓推進事業) (日本)	日立製作所 (日本)
出典	ホームページ	学会発表資料
ホームページ	<a href="http://adventure.me.tokushima-u.ac.jp/index.html">http://adventure.me.tokushima-u.ac.jp/index.html</a>	-
プロジェクトの目的	・ 1千万から1億自由度の大規模モデルを用いて任意形状の実用力学問題を1時間から1日で解く計算力学システムの開発	① 半導体デバイス中の電子の挙動及び欠陥中の熱伝導の解析 ・ 並列計算に対応したプラットフォームを開発
プロジェクトの概要	2001年完成予定のプロジェクトである。既存の解析コンポーネントを統合し、様々な計算機上で稼動するシステムを開発する。計算力学解析作業に隠されたノウハウや非手続的処理部分自動化する機能や、メッシュ分割、可視化機能も開発する。	半導体デバイス中の電子の挙動及び欠陥中の熱伝導解析のため、異なる計算機上の複合現象の解析システムを開発。 異機種の計算機上の解析コードのデータを補間して通信するため、エージェントシステムを開発する。

表 4.5.2-3 科学技術計算プラットフォームの事例 (3)

システム名称	POOMA	ALICE
実施機関	アルゴンヌ研究所 (米国)	アルゴンヌ研究所 (米国)
出典	ホームページ	ホームページ
ホームページ	<a href="http://www.acl.lanl.gov:80/software/pooma.html">http://www.acl.lanl.gov:80/software/pooma.html</a>	<a href="http://www-unix.mcs.anl.gov/alice/">http://www-unix.mcs.anl.gov/alice/</a>
プロジェクトの目的	・ オブジェクト指向フレームワークにより、並列計算コードを開発するためのライブラリを開発する。	大規模数値計算用に開発されたコンポーネントを統合化するシステムを開発する。
プロジェクトの概要	オブジェクト指向フレームワークにより、並列計算コードを開発するための開発環境である。ユーザはGUI上でライブラリを使ってC++でプログラムを記述することにより、並列計算プログラムを開発できる。	アルゴンヌ研究所で開発された大規模数値計算用コンポーネントをライブラリ化して、アプリケーション開発環境を開発する。既存のコードを組み込むことも可能であるが、新規にコードをオブジェクト指向アプローチにより開発することも可能である。



表 4.5.2-4 科学技術計算プラットフォームの事例 (4)

システム名称	材料設計システム
実施機関	科学技術庁振興費 (日本)
出典	報告書
ホームページ	-
プロジェクトの目的	・材料設計コードと解析に必要なデータを登録したデータベースを統合化し、一連の解析を自動的に行う
プロジェクトの概要	材料設計コードとデータベースをタスクとして、プラットフォームに登録し、解析に必要な一連のタスクをタスクフローとして管理する。

## (2) プラットフォームの機能要件

以上からプラットフォームの機能要件をまとめると以下となる。

なお、プラットフォームの事例及びシステムの検討結果には含まれていなかったが、プラットフォームの運用管理機能を新たに付け加えた。これはプラットフォームの運用の観点から運用管理機能は必要不可欠であるが、プラットフォームの事例及びシステムの検討結果に明示的に含まれていなかったためである。

### ① プラットフォーム機能

#### ・サブシステム管理、再利用機能

プラットフォームに搭載するサブシステム（データベース、コード、ユーティリティ）の管理が可能であり、登録、削除、関連付けが自由にできること。サブシステム間のデータの受け渡しが可能であること。

#### ・分散システム機能

プラットフォームは複数の計算機が統合化した分散システムであるので、透過性を持つ事。外部システム（例えば CAPASA ADVANCED システム）との通信機能を持つこと。

#### ・シナリオ管理機能

一連のサブシステムによるデータの受け渡しによる処理が処理フローとして保存可能であり、過去の処理フローを利用した処理が可能であること。また、処理フローの処分場因子との整合性確認機能を持つこと。

#### ・運用管理機能

サブシステムのバージョン管理及びシステム維持管理を持つこと。さらにサブシステムの実行時管理機能を持つこと。

### ② 複合現象解析システムのモジュール統合機能

#### ・モジュール管理、再利用機能

複合現象解析コードは、支配方程式に対応する計算モジュールから構成される。コードのモジュール化及びモジュールの再利用が可能であること。また、モジュールのシステムへの登録、削除、及びモジュール間の関連付けが可能であること。

複合現象解析コードは多数のモジュールから構成されると考えられるため、開発効率の向上のためにモジュール化が必要である。

- ・並列計算機能

EWS クラスタまたは PC クラスタによる、並列分散計算が可能であること。

- ・連成モデル計算機能

複数のモジュールを組み合わせて連成モデルを構成する事が可能であること。また、現象間の連成に必要な補間機能をモジュールに与える事により、連成現象の柔軟なモデル開発が可能であること。

- ・シナリオ管理機能

複数モジュールによる一連の計算が計算フローとして記録可能であり、過去の計算フローを利用した解析が可能であること。処分場因子データベースとリンクを張る事によって、解析コードを構成するモジュールのシナリオ管理機能及び処理フローの整合性の確認機能を持つこと。

- ・運用管理機能

モジュールのバージョン管理及びシステム維持管理を持つこと。実行管理機能を持つこと。

以上の機能を持つプラットフォームのイメージを図 4.5.2-1 に示した。

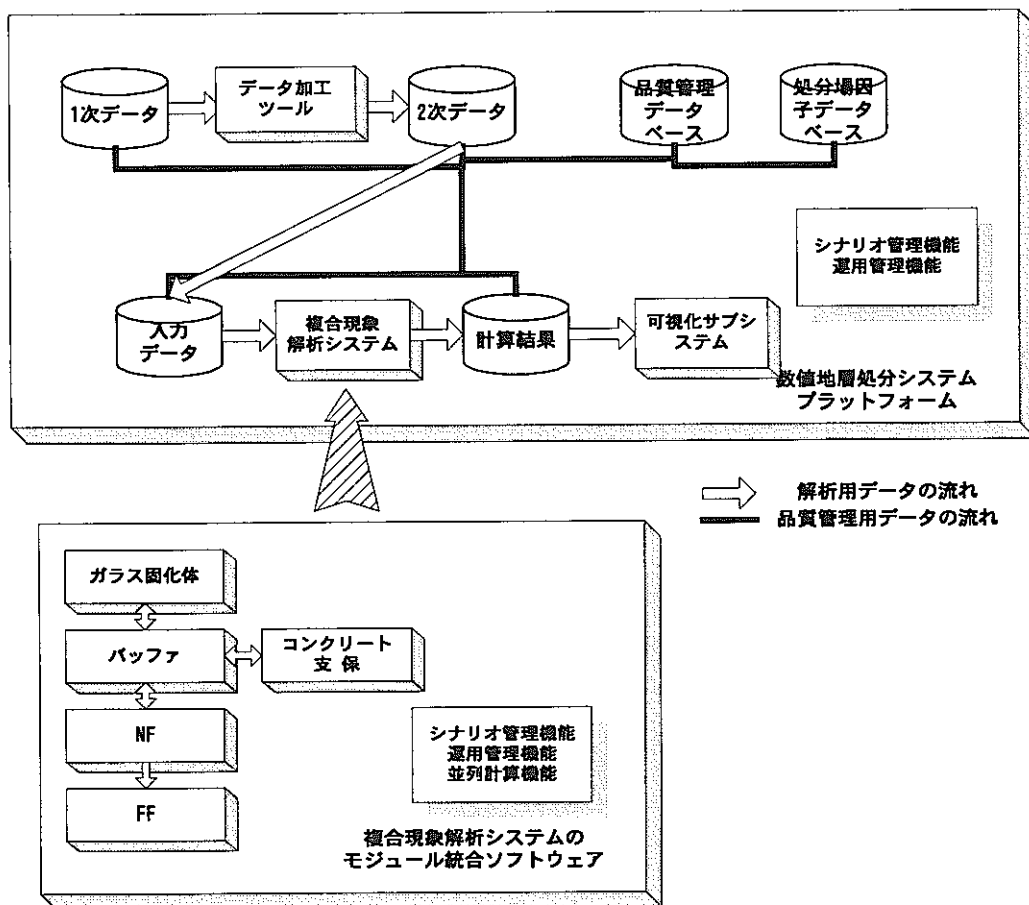


図 4.5.2-1 プラットフォームのイメージ

#### 4.5.3 プラットフォームの機能の検討

プラットフォームの事例調査から抽出されたプラットフォームに必要な機能、及び、機能を実現する技術について検討を加え、数値地層処分システムのプラットフォームの全体像を検討する。

##### (1) プラットフォームの機能要件

本項では、アプリケーションの統合化プロジェクトの事例から抽出されたプラットフォームに必要な機能をまとめて、機能要件に集約する。

本項で検討を行うプラットフォーム機能について表 4.5.3-1 にまとめて示す。

表 4.5.3-1 検討対象のプラットフォーム機能

検討機能	プラットフォーム機能	モジュール統合機能
部品化・再利用機能	○	○
連成モデル計算機能		○
オブジェクト指向機能		○
分散システム機能	○	
運用管理機能	○	○

##### (2) モジュール管理、再利用機能

本項ではプラットフォーム及び複合現象解析サブシステムのモジュール統合ソフトウェアの両方に共通であるモジュール管理及び再利用機能を検討する。モジュール及び再利用機能を検討し、次にこれらの機能を利用してソフトウェアを開発する際に必要な開発ツールについて検討する。

##### (a) 高品質ソフトウェアの生産技術

ソフトウェアの品質を向上させるため重要と考えられる技術にはモジュール技術と再利用技術がある。以下にその2つの技術について述べる。

##### 1) モジュール技術

ソフトウェアは基本的に人間が作成しているため、品質の向上を達成するために重要な視点は人間の認知限界である。認知限界をプログラムに適用すると人間が一度に正確

にプログラムを読み書きできる量は、およそ 60 行程度というのが一般論である。ところが、実際のソフトウェアはこの基準を超えた数百万ステップ程度のプログラムが多く存在する。複雑なシステムを、人間が把握できるように分割する方法が、モジュール化技術の中心課題である。

モジュール化技術は、さらに 2 つに分類することができる。それは分割と抽象化である。分割は巨大なソフトウェアを人間の理解可能な大きさにする事で、構造化技術がその代表である。抽象化を中心としたモジュール化技術は抽象データである。

## 2) 構造化技術

構造化技術とは、ソフトウェアを機能分解することにより生産性、保守性の高いプログラムを開発することを主眼とするソフトウェア技術であり、その意味からモジュール化技術としての性格が強い。構造化設計技法は、システム全体を複数のモジュールに分解し、それを階層構造に組み立てるシステム構築技法であり、その中心は構造化定理に基づくモジュール分割にある。

プログラムの複雑さを低減するためには、プログラムの構造化設計から次の 3 点が要求される。

### ・区分け

識別可能なわかり易い境界を持った部分にシステムを分割する

### ・階層構造化

システムを階層構造で表現する

### ・独立性

システムの各部分間の独立性を最大にする

## i) 再利用技術

ソフトウェア開発の生産性を向上させる技術としては、既存のプログラムを再利用する技術が代表的な技術である。プログラムの再利用ではプログラムを関数により部品化するアプローチが代表的である。

関数部品を用いたソフトウェアの再利用には、2つのアプローチがある。それは、

- ① 既存のプログラムを完結したものとして利用する方法（閉じた再利用）
- ② 既存のプログラムを不完全なものとして利用する方法（開いた再利用）

である。

## ii) 開発ツール

部品を利用したソフトウェアの開発の際に、プログラムの開発手順や開発方法等を支援するためのツールが必要となる。開発ツールには、フレームワークやデザインパターンなどがある。これらは部品化技術を用いた一般的な概念であるが、アプリケーションの部品化が前提にあった。そのため、オブジェクト指向技術によるアプリケーションのカプセル化が実現されてから普及した手法である。

また、フレームワークやデザインパターンはソフトウェア再利用の手法の1つでもある。

### ・フレームワーク

フレームワークとは特定の分野のソフトウェアを作成するために利用する半完成品を意味する。アプリケーションの分野を特定することにより、ソフトウェアの基本的な枠組みとその枠組みを構成する基本的なクラスライブラリを与えるものである。アプリケーションはフレームワークをカスタマイズして、新規クラスを追加することにより作成される。

フレームワークは階層構造を持つ通常のクラスから構成されるため、この観点からは通常のクラスライブラリと変わらない。しかし、通常のクラスライブラリとの相違点は、単にアプリケーションに組み込まれるクラスではなく、特定の分野で抽象的かつ汎用性を持つクラスとして設計されている点である。

ある分野を特定すると、アプリケーションには共通要素が多く存在し、それを利用して汎用性のある部品を作成するのがフレームワークの考え方である。

具体的なプログラミング方法は、フレームワークを構成するクラスに、アプリケーションに適したクラスを追加する事により、アプリケーションが作成される。追加するクラスは既存のフレームワークのクラスを継承することにより定義される。

フレームワークはどのようなアプリケーションに対しても不変である部分(フロースポット)と、カスタマイズの対象になる部分(ホットスポット)の二つに分けられる。(図 4.5.3-1 参照)

支援する環境が部品化技術とオブジェクト指向技術を利用して実現可能となる。

・) プラットフォームへの適用性

本項ではモジュール化技術のプラットフォームへの適用性について検討する。

これらの技術が適用可能であるのは、プラットフォーム、及び、複合現象システムのモジュール統合ソフトウェアであると考えられる。

これらに部品化技術を適用した場合のメリットと実現できる機能を表 4.5.3-2 にまとめた。



表 4.5.3-2 プラットフォームへの部品化技術の適用性

対象プラットフォーム	部品化・再利用技術の効果	適用性詳細説明
プラットフォーム	サブシステムの管理、再利用	オブジェクト指向技術と併用した部品化技術によりプラットフォームを構成するサブシステムの管理、維持管理、再利用が容易となる。また、部品とプラットフォーム間の柔軟な I/F を作成できる。
	品質管理の向上	サブシステムの再利用性や部品化に伴い、サブシステムをプラットフォームへ組み込む際の標準化が必要となる。再利用性や部品化、並びに標準化に準拠する事は生産性や品質管理の向上する事ができる。
	ビジュアル操作環境	ビジュアルプログラミングを採用した操作・開発環境を導入することにより、システムの操作性が向上し、ミスオペレーションが少なくなり、運用上のメリットとなる。
複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェア	計算モジュールの管理、再利用	オブジェクト指向技術と併用した部品化技術によりモジュールの管理、再利用が容易となる。複合現象システムは多数の計算モデルから構成されるため、モジュールによる生産性や維持管理の向上は非常に大きい。モジュールと統合ソフトウェアのメッセージによる統一 I/F を作成できる。
	品質の向上	部品化・再利用により、開発すべきソフトウェアの量が低減し、生産性が向上する。オブジェクト指向技術により部品間の共通部をまとめると、生産性はさらに向上する。 部品化により、モジュールを統合ソフトウェアへ組み込む際の標準化が必要となる。標準化に準拠することは生産性や品質管理の向上する事ができる。
	ビジュアル開発環境	ビジュアルプログラミングを採用した開発環境を導入することにより、モジュールの組み合わせがユーザレベルで可能なシステムを構築できる。 エンドユーザ用のビジュアルプログラミングシステム、及び、エンドユーザレベルより詳細なプログラミンが可能な開発環境(プログラムをソースから書く機能等を持つ)を提供する事によりシステムの操作性と開発効率を向上する事ができる。

### (3) 連成モデル計算機能

複合現象の解析に必要な連成モデル計算機能を複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェア上で実現する方法について検討する。

#### (a) 連成モデル計算機能の必要性

複合現象の解析には連成モデル計算が必要と考えられる。連成モデル計算では、複数のモジュールを組み合わせて連成モデルを構成する事、及び、固有スケールの異なる現象間の連成に必要な補間機能をモジュールに与える事により、連成現象の柔軟なモデル開発機能が必要である。よって連成モデル計算機能の実現にはソフトウェアのモジュール化技術が前提となる。

#### (b) プラットフォームへの適用性

連成モデル計算機能のプラットフォームへの適用性について検討した結果を表 4.5.3-3 まとめた。

表 4.5.3-3 プラットフォームへの連成モデル計算機能の適用性

対象プラットフォーム	適用性詳細説明
プラットフォーム	(適用外)
複合現象解析システムのモジュール統合ソフトウェア	<p>① 連成モデル計算機能 プロセスをモジュール化して、タイムステップ毎にモジュール間のデータ通信を行う方法により連成モデル計算機能を実現可能 (計算モデルのモジュール化、及び、時間、空間的データ補間が必要)</p> <p>② 固有スケールの異なる現象間の連成 固有スケールの異なる現象間の連成モデルはケース毎の検討する事が必要 典型的なパターンはモジュールのシナリオという形式でプラットフォーム登録する</p>

#### (4) オブジェクト指向機能

本項では、モジュール管理、再利用機能の実現に必要なオブジェクト指向機能について検討する。

##### (a) オブジェクト指向プログラミング

オブジェクト指向技術に基づいてアプリケーションを作成すると、ソフトウェアの階層化、部品化、及びインターフェースの標準化という特徴を持ったアプリケーションを構築することができる。このような特徴を持ったアプリケーションはモジュール性、維持管理性、及び、再利用性を持っていると言い換えることもできる。オブジェクト指向の基本概念がこれらの特徴にどのように寄与するかをまとめたものを表 4.5.3-4 に示す。下表では、オブジェクト指向技術を適用したアプリケーションの特徴をシステム開発及び維持管理の観点からの特徴をまとめた。

表 4.5.3-4 オブジェクト指向技術を適用したアプリケーションの特徴

基本概念	システム開発の観点	システム維持管理の観点
分散協調型モデル	部品の抽出、利用が容易	-
データ抽象化機能	独立性の高い、インターフェースが標準化された汎用部品の作成が容易	機能変更、他機種計算機への移植が容易
インスタンス生成機能	部品のカスタマイズが容易	
階層化と継承機能	階層構造を持った部品ライブラリが構築可能	機能追加が容易

オブジェクト指向技術を適用したプログラミング言語はオブジェクト指向技術プログラミング言語と呼ばれ、代表的な言語には Smalltalk、C++、Java 等がある。

##### (b) オブジェクト指向シミュレーション

オブジェクト指向技術をシミュレーションに適用したものがオブジェクト指向シミュレーション (Object - Oriented Simulation 以下 OOS) である。OOS は、オブジェクト指向技術の利点である維持管理性、再利用性、及び適合性をアプリケーションの部品化とデータ抽象化により実現している。

OOS の持つメリットをオブジェクト指向の基本概念と対比してまとめたものを表

4.5.3-5 に示す。

表 4.5.3-5 OOS の持つメリット

基本概念	OOS の特徴
分散協調型モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プログラム開発が効率化（グラフによる構造把握が可能）</li> <li>・並列計算への適合性</li> </ul>
データ抽象化機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア部品化によるプログラムとモデルの再利用性、適合性、及び、維持管理性の向上</li> <li>・オブジェクトの持つ情報隠蔽機能で部品化が実現</li> <li>・プログラムの理解性の向上</li> </ul>
インスタンス生成機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品のカスタマイズが容易となり、プログラム開発が効率化</li> </ul>
階層化と継承機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・継承と階層構造によるプログラム開発の効率化と維持管理性の向上</li> <li>・継承による再利用性の向上</li> </ul>

また、OOS の並列計算への適合性とは、分散協調型モデルとカプセル化により、多数のマシンへのオブジェクトの配置が容易に実現できるため、非並列環境で作成された OOS プログラムの並列環境への移植が、従来法より低コストで可能である事を意味している。

OOS の並列計算へ適用する際の要件をまとめて表 4.5.3-6 に示す。

表 4.5.3-6 OOS の並列計算へ適用要件

要件	内容	その他
実行モジュール	プログラムがどんなアーキテクチャ（場合によっては OS）のマシン上でも実行可能であり、同じ結果を出す。	
データ抽象化機能	ソフトウェア部品化により、並列計算時にオブジェクトの配置が可能なこと。	
通信機能	並列計算に必要な通信機能が備わっていること。	現状では MPI、PVM 等のライブラリを使用。

(c) プラットフォームへの適用性

オブジェクト指向技術及びそれに基づくオブジェクト指向シミュレーション技術のプラットフォームへの適用について検討した結果を表 4.5.3-4 に示す。

表 4.5.3-7 オブジェクト指向技術のプラットフォームへの適用性

プラットフォームの種類	適用技術		
	オブジェクト指向技術	オブジェクト指向シミュレーション技術	
プラットフォーム	ソフトウェア部品化・再利用技術と組み合わせてプラットフォーム構築の要素技術となる。	(適用外)	
複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェア	ソフトウェア部品化・再利用技術と組み合わせて複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェアの要素技術となる。	モジュールの管理と再利用	複合現象サブシステムのシミュレーションコードの計算粒度は支配方程式に対応する計算モデルをカプセル化したものである。よって OOS の再利用性により、モジュールの組み合わせに柔軟性を持つシミュレーションコードが構築可能である。また、部品とモジュール統合ソフトウェア間の柔軟な I/F を作成できる。
		並列分散計算対応	OOS により、シミュレーションコードの並列分散計算対応が容易である。
		コードの品質管理	OOS の持つ部品化・再利用機能により、コードの品質管理に大きく寄与する。

## (5) 分散システム機能

本項では、分散システム構築に必要となる分散システム機能について検討する。

### (a) 分散オブジェクトシステム

分散システムとは、通信ネットワークで結合されたコンピュータ内のプロセスが相互に通信を行いながら、協調動作を行うシステムをいう。分散システムとはネットワーク技術とオブジェクト技術が融合した技術を基盤とするものである。基盤となるネットワーク技術の一つにはTCP/IPプロトコルの標準化がある。これによりハードウェアやOSの異なるコンピュータ間の通信が可能となった。

分散システムを構成する各コンピュータ内のソフトウェア資源(コード、データベース、ユーティリティ)を共通の枠組みとして捕らえることが必要である。この枠組みとしてオブジェクト指向技術が適用され、ソフトウェア資源はオブジェクトとして扱われている。オブジェクト指向技術が適用された場合のメリットは、ソフトウェアのインターフェースをオブジェクトのメソッドとして提供しているため、ユーザは実装については一切知識がなくともソフトウェアが利用できることである。また、分散処理は複数の計算機間の通信により実現されるものなので、通信可能なデータ基が通常のメモリアクセスにより処理と比べて非常に小さい。従ってデータ通信量を低く抑えながら処理を行うことが要求される。この観点からもオブジェクト指向に基づくメッセージ通信は分散システムに適した技術である。(図 4.5.3-3)

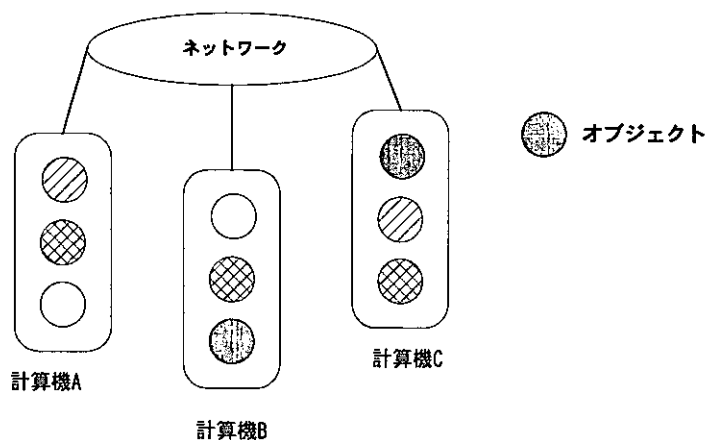


図 4.5.3-3 分散環境

システムを分散化するメリットは以下である。

- ・ 資源の共有
- ・ 性能の向上
- ・ 信頼性、可用性の向上
- ・ 既存の資源の総合的利用

(b) プラットフォームへの適用性

プラットフォームは複数のサブシステムから構成され、かつ分散システムを採用している。よって分散オブジェクト技術を適用すると、異なったマシンで、かつ異なった OS のソフトウェアが統合可能であり、柔軟性や透過性にも優れたシステムが構築可能である。

また CORBA のラッパー技術を利用すると、非オブジェクトもプラットフォームに組み込むことができるため、サブシステムとして従来のデータベース等も組み込むことができ、プラットフォームの汎用性が向上する。

検討結果を表 4.5.3-3 に示す。

表 4.5.3-8 分散オブジェクト指向技術のプラットフォームへの適用性

種類	効果	効果の詳細
プラットフォーム	分散透過性	異なったマシン間で、かつ異なった OS 間のソフトウェアが統合可能であり、柔軟性や透過性にも優れたシステムが構築可能である。
	サブシステムの管理、再利用	部品化によりサブシステムの再利用性が向上する。柔軟なサブシステムの構成や配置変更が可能となる。
	非オブジェクトの組み込み	CORBA のラッパー技術を用いて非オブジェクトのプラットフォーム組み込みが可能である。
複合現象 サブシステムのモジュール 統合ソフトウェア	並列クラスタはメッセージパッシングライブラリを使って通信を行う。 分散オブジェクト技術は適用しない。	

## (6) 運用管理機能

本項では、プラットフォームの運用管理について検討する。

プラットフォームと複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェアの運用管理は異なっているので、各々検討する。

### (a) プラットフォームの運用管理

プラットフォームの運用管理は、通常のネットワーク分散システムの運用管理でカバー出来る部分が多いと思われる。例えば、システム構成、障害管理、及び、資源管理等は通常のシステム管理の対象である。ソフトウェアの運用やバージョン管理もシステム管理の対象である。プラットフォームとはシステムの中層ウェアであり、システムに組み込まれているアプリケーションの一部であるので当然の事と考えられる。しかしプラットフォームに搭載されているサブシステムの運用管理は基本的にプラットフォームの運用管理対象とするのが適当である。

また、プラットフォーム独自の運用管理内容としては、サブシステムの関連付けにシナリオ管理機能を導入した場合のシナリオの管理作業が挙げられる。サブシステムの関連付けに用いるシナリオのバージョンは、ソフトウェアのバージョンとは異なる概念である。これは処分場因子データベースの管理対象と考える事もできる。しかしここでは、プラットフォームの運用管理の一部として検討する。

従って運用管理機能としては、

- ・サブシステム管理機能（バージョン管理等のソフトウェア管理機能、品質管理機能）
- ・サブシステム関連付けのシナリオ管理機能（処分場因子データベースとのリンク）
- ・サブシステムを実行する際のジョブ管理、性能管理機能

が必要と思われる。

### (b) 複合現象サブシステムのモジュール統合ソフトウェア

複合現象サブシステムの運用管理については、システム管理と重複する部分も多いが、独自性のあるものは、モジュールの管理、モジュールの関連付けのシナリオ機能の管理、及び、並列計算の管理等の実行管理である。

従って運用管理機能としては、



- ・モジュールの管理機能

モジュールのバージョン管理及び品質管理機能（モデルの適用条件、承認者、導入日など）

- ・モジュールのシナリオ管理機能

シナリオのバージョン記録と品質管理機能（シナリオの適用条件、承認者、導入日など）

- ・整合性確認機能

モジュールの処理フローの整合性の確認（処分場因子データ等とのリンク）

- ・タスク管理、ノード管理機能

各マシン上に分散されたタスク管理を行い、並列計算を効率よく実行する機能（負荷分散や並列分散モデルの管理機能）

並列計算等のタスクをノード（計算機）に分散して処理を実行する際に、あるノードに障害が発生した場合にタスクを他のノードに配置換えして処理自体を継続させるよう、実行時のタスクの管理を行う機能

これらの機能が運用管理機能として必要だと思われる。プラットフォームの運用管理機能については、システム開発が始まった段階でサブシステム的具体像が決まった段階で、検討する事が必要であると思われる。

(7) まとめ

以上からプラットフォームの概念設計についてまとめる。

(a) プラットフォームに要求される機能と実現技術

数値地層処分システムのプロトタイプのプラットフォームに要求される機能は以下である。(表 4.5.3-9)

表 4.5.3-9 プラットフォームに要求される機能

分類	プラットフォーム機能	複合現象解析システムの モジュール統合機能
1	サブシステム管理、再利用	モジュール管理、再利用機能
2	分散システム	並列分散計算機能
3	シナリオ管理機能	連成モデル計算
4	運用管理機能	シナリオ管理機能
5	—	運用管理機能

プラットフォームに要求される機能の詳細と、それらの実現に必要な技術を次表にまとめた。(表 4.5.3-10)

表 4.5.3-10 プラットフォーム機能の検討

	機能	機能詳細	技術	
プラットフォーム	1	サブシステム管理、再利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステムの管理、再利用が可能</li> <li>・サブシステム標準化により生産性や品質管理が向上</li> <li>・ビジュアルな操作環境による高い操作性</li> <li>・部品：オブジェクト又はラッパーされた非オブジェクト</li> <li>・部品間 I/F：CORBA の IDL による柔軟性のある I/F</li> </ul>	部品技術 分散オブジェクトシステム技術
	2	分散システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分散透過性の実現</li> <li>・CORBA ラッパー技術による非オブジェクトの組み込み機能</li> </ul>	分散オブジェクトシステム技術
	3	シナリオ管理機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステムの関連付けのシナリオによる管理機能（処分場因子データベースとのリンク機能）</li> </ul>	部品技術
	4	運用管理機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用管理機能</li> </ul>	—
複合現象解析システムのモジュール統合機能	1	モジュール管理、再利用機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュールの管理、再利用が可能</li> <li>・モジュール標準化により生産性や品質管理が向上</li> <li>・ビジュアルな開発環境による高い操作性</li> <li>・部品：オブジェクト</li> <li>・部品との I/F：メッセージパッシングによる統一 I/F</li> <li>・モジュールの開発環境</li> </ul>	部品技術 オブジェクト指向技術
	2	並列分散計算機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・並列分散計算をモジュールの PE への配置で実現</li> </ul>	部品技術 オブジェクト指向技術 並列計算技術
	3	複合現象モデル計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連成モデルをモジュールの組み合わせにより実現</li> <li>・マルチスケール現象（空間・時間）の統合化機能</li> </ul>	部品技術 オブジェクト指向技術
	4	シナリオ管理機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュールの関連付けのシナリオによる管理機能（処分場因子データベースとのリンク機能）</li> </ul>	部品技術
	5	運用管理機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用管理、実行時管理機能</li> </ul>	—

## (b) プラットフォームの開発方針

概念設計で検討されたプラットフォームの機能要件に基づいて、プラットフォーム及びモジュール統合ソフトウェアの開発方針を検討した。

### 1) プラットフォーム

プラットフォームの開発については、新規開発、及び、既存プラットフォーム利用の二つの選択が考えられる。

プラットフォームの新規開発には多大な費用と時間が必要であると考えられるため、可能であれば既存のプラットフォームの利用が望ましいと考えられる。核燃料サイクル開発機構所有の CAPASA システムはアプリケーションの統合化システムであり、現在 CAPASA ADVANCED システムが開発中である。CAPASA ADVANCED システムの詳細仕様は現時点では決まっていないと考えられるが、プラットフォームへ搭載するソフトウェアに関する基本的な仕様は以下と考えられる。

- ・プログラムまたはプログラムをサブルーチン単位で分割したものをプラットフォームに搭載する基本単位とする。
- ・プログラムをサブルーチン単位で分割したものを組み合わせて擬似連成計算を行う。

以上の特徴から、CAPASA ADVANCED システムを数値地層処分システムのプラットフォームとしては利用するのに基本的に問題は無いと思われる。但し、検討された機能要件が満たされている事が必要である。

### 2) モジュール統合ソフトウェア

モジュール統合ソフトウェアの開発については、プラットフォームと同様に新規開発、及び、既存プラットフォーム利用の二つの選択が考えられる。

モジュール統合ソフトウェアでは大規模科学技術計算を実行し、かつ、複合現象解析における連成計算が必要である事から、CAPASA ADVANCED システムの適用は不可能であると考えられる。その主な理由を次に示す。

- ・モジュール統合ソフトウェアには複合現象の解析コードが搭載される。複合現象の解析では計算モジュールの柔軟な登録、削除、自由な組み合わせ機能、及び、大規模連成計算の機能が必要であると考えられる。
- ・大規模科学技術計算の実現のために低オーバーヘッドのシミュレーションが必要で

あると考えられる。

- ・複合現象の解析のために厳密な連成計算が必要であると考えられる。
- ・複合現象の解析のためにモジュールによる柔軟なプログラム開発環境が必要であると考えられる。

以上の要件は CAPASA ADVANCED システムでは満たされていないと考えられる。

そこで、科学技術計算プラットフォームの調査対象プロジェクトの中から、モジュール統合ソフトウェアとして利用できる可能性のあるシステムを探索した。

表 4.5.2-2 には調査対象プロジェクトの評価であり、これに基づいてプロジェクトを選定した。

モジュール統合ソフトウェアでは、最も重要なのはモジュール再利用、管理機能である。部品化技術で検討したよう、オブジェクト指向技術と部品化技術が同時に適用されてモジュール再利用、及び、モジュール管理機能が実現されていることが必要であり、これにより再利用性の高い、柔軟なモジュール再利用機能が実現できる。

次に重要な機能は複合現象計算機能である。複合現象の解析においては、多数の計算モデルから構成される複合現象を効率良く計算する必要があるからである。

また、大規模計算のための並列計算機能も必要である。

これら 3 つの機能を満たしているのは、Virtual Repository のみである。Virtual Repository はオブジェクト指向技術による計算手法に限定されない部品化機能を有しており、また、連成計算モデルの組み込みも可能であり、高レベル放射性廃棄物処分場のマルチコンパートメントモデルを利用した連成計算モデルが組み込まれている。また、PC クラスタによる並列計算にも対応している。

よって Virtual Repository をベースにモジュール統合ソフトウェアを開発するのが最も効率が良いと思われる。

しかし Virtual Repository にも抜けている機能が多数ある。オブジェクト指向によるモジュール管理機能を持っているが、シナリオ管理機能と運用管理機能を持っていない。従って数値地層処分システムのプラットフォームとしては、Virtual Repository をベースにして、機能要件を満たすように開発するのが最適であると考えられる。また、Virtual Repository のソースコードをそのまま転用するのはなく、アプリケーションのプラット

フォーム機能を実現している主要部分のみを利用し他の部分は全面的に書き換える、あるいは新規機能を追加する事が必要であると思われる。

また、モジュール統合ソフトウェアに搭載する計算モジュールについても、Virtual Repository が現在持っているモジュールをそのまま利用する事はできないと思われる。モジュールに対する品質管理を行った上で、搭載することが必要である。Virtual Repository はあくまで、プラットフォームとして利用することに注意すべきであると思われる。

以上から数値地層処分システムのプラットフォーム及びモジュール統合ソフトウェアとしては、CAPASA ADVANCED システム上に複合現象解析システムを除いたアプリケーション(コード、データベース、及び、ユーティリティ)を搭載し、Virtual Repository には複合現象解析コードを搭載し、両システムを高速のインターフェースで結合する構造が最適と思われる。(図 4.5.3-4)

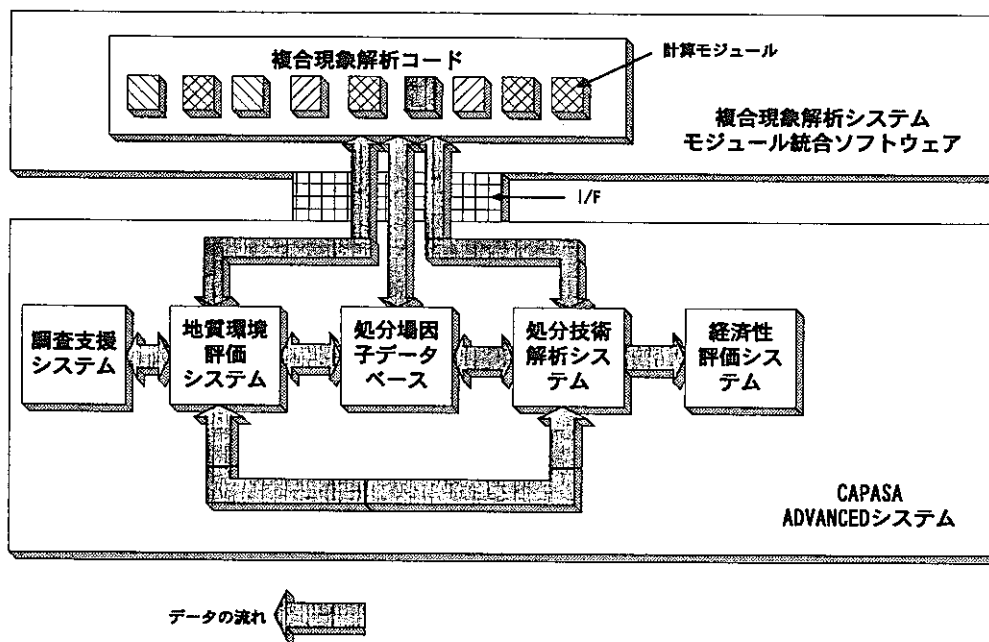


図 4.5.3-4 二つのプラットフォームの関係

## 4.6 デモンストレーションプログラム

本節では、プラットフォームの概念設計で検討されたプラットフォームの機能に基づいて、概念設計の成果を具体化するためにプラットフォームのデモンストレーションプログラムを作成した。

### 4.6.1 デモンストレーションプログラムの目的

概念設計で検討したプラットフォームの機能要件を具体化して、一連の操作イメージを実現する事がデモンストレーションプログラムの目的である。

デモンストレーションプログラムのプラットフォーム機能の操作イメージを得るために各機能に相当するメニューを作成した。

複合現象解析システムのモジュール統合機能の操作イメージを実現するために、デモンストレーションプログラムに VR コードを組み込んだ。これは VR コードはモジュール管理、複合現象解析、及び、並列計算機能を既に持っているためである。また、シナリオ管理機能も部分的に実現されている。

### 4.6.2 プラットフォームのデモンストレーションプログラムの構成

プラットフォームのデモンストレーションプログラムは、前節で検討した機能を実現するため、ハードウェア及びソフトウェアの構成は以下とした。

- ・ハードウェア構成：LAN 結合された Windows NT 5 台
- ・ソフトウェア構成：デモンストレーションプログラム、データベース  
管理ソフトウェア (ACCSESS)、MPI ライブラリ、  
VR コード、AVS ツール

### 4.6.3 VR コードの機能

#### (1) VR コードの機能

VR コードの最大の特徴は、コードのメンテナンス、再利用、拡張性を考慮して、オブジェクト指向シミュレーションコードとして作成されていることである。

処分場全体を多くの仮想のコンパートメント (オブジェクト) に分けて安全評価計算を行っている。各コンパートメントはガラス固化体、緩衝材、ニアフィールドロック (以下 NF)、

フィールドロック（以下FF）からなり、各要素にオブジェクトを形成している。

このように各要素の計算部分がクラスの関数に収納され、ユーザから隠蔽されている。

また、ガラス固化体、緩衝材、NF、及び、FF の間の核種移行の連成モデルを数値的に解いており、また、処分場を固化体 1 個でなく、直線状に並んだコンパートメントの列としてモデル化可能であるので、複合現象解析コードである。また、メッセージパッシングライブラリを使って並列計算に対応している。

## (2) VR コードに追加した機能

複合現象解析サブシステムのモジュール統合化ソフトウェアとして、地層処分の安全評価の様々な解析シナリオに対応できなければならない。そのため、各シナリオに対応したモデルを基にクラスオブジェクトを作成し、そのクラスオブジェクトをシナリオに応じて入れ替えられるよう機能をコントロールする GUI を作成した。

現状では、ガラスの溶解モデルに関するオブジェクトの入れ替えのみ可能である。

VR コードに与えたガラスの溶解モデルを以下に示す。

表 4.6.3-1 ガラスの溶解モデル

	モデル	モデルの詳細
1	溶解度モデル	放出された核種がガラス近傍に析出し、ガラス・バッファの境界濃度が常に溶解度限界となっている
2	コングルエントリリリースモデル	処分初期はコングルエントリリリース。ガラス・バッファの境界濃度が溶解度限界を超えると溶解度モデルに移行する放出モデル。

## 4.6.4 プラットフォームのデモンストレーションプログラムの操作手順

プラットフォームのデモンストレーションプログラムの操作は以下の画面に従って実施される。

### (1) デモンストレーションプログラムの入力データ

入力データとして、次の 2 種類のデータが必要である。

- ・ 解析シナリオの選定（ガラス固化体のモデル選定）



・ 入力データ（岩種データ、核種データ、処分場のデータ、シミュレーション条件など）  
 解析シナリオの選定画面を図 4.6.4-1 に示す。また、データの入力画面を図 4.6.4-2 に示す。

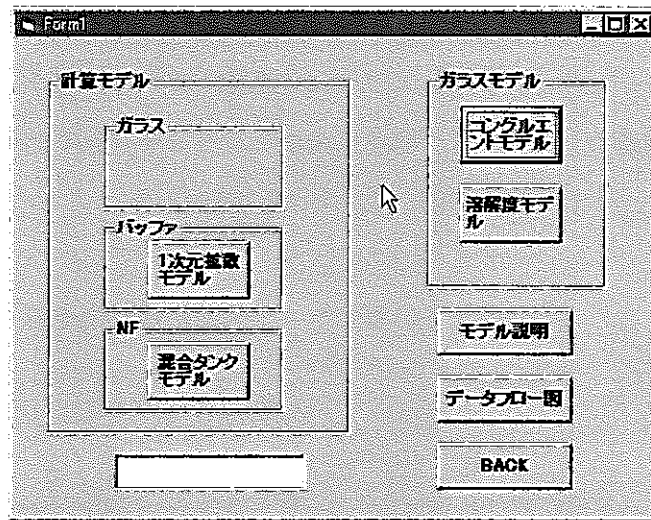


図 4.6.4-1 計算モデル選択画面

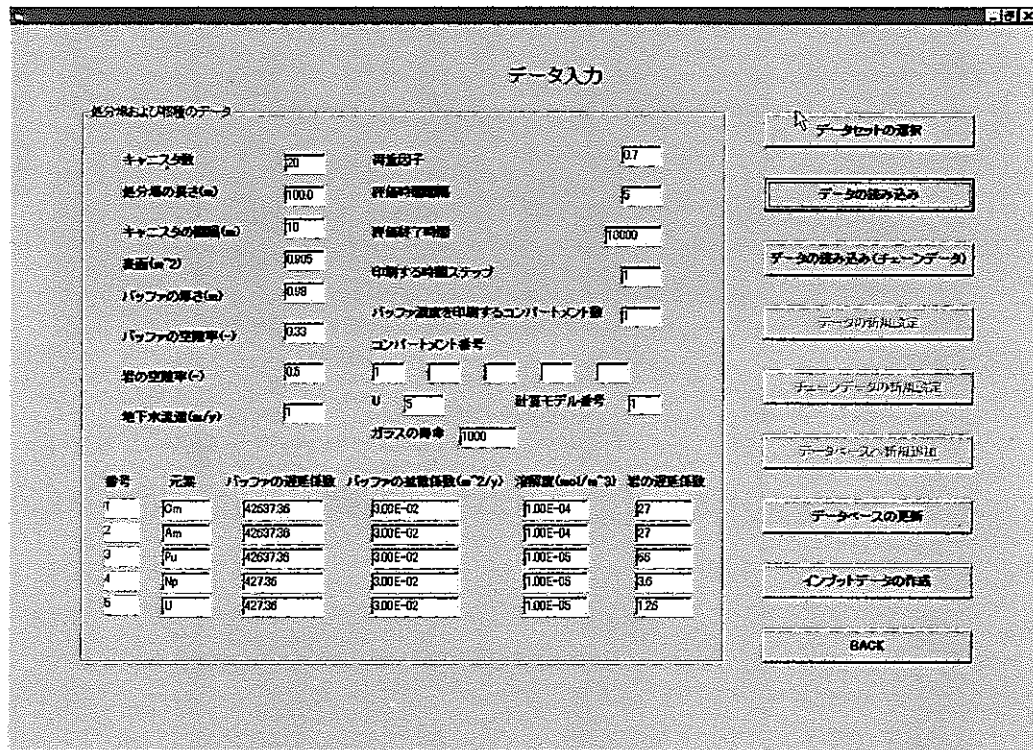


図 4.6.4-2 データ入力画面

## (2) デモンストレーションプログラムの出力データ

出力データは、可視化サブシステムに送られて、グラフィック化されて表示される。プラットフォームのデモンストレーションプログラムでグラフィック表示可能なデータ項目は以下である。

- ① 各シミュレーション時間（年）における各要素（ガラス固化体、バッファ、NF、FF）に存在する核種別インベントリの総量（全コンパートメントの合計）
- ② 各シミュレーション時間（年）における各コンパートメントに存在する NF の核種別濃度

一例として、前節の入力条件にて計算したガラス固化体の核種別インベントリの結果を図 4.6.4-3 に示す。

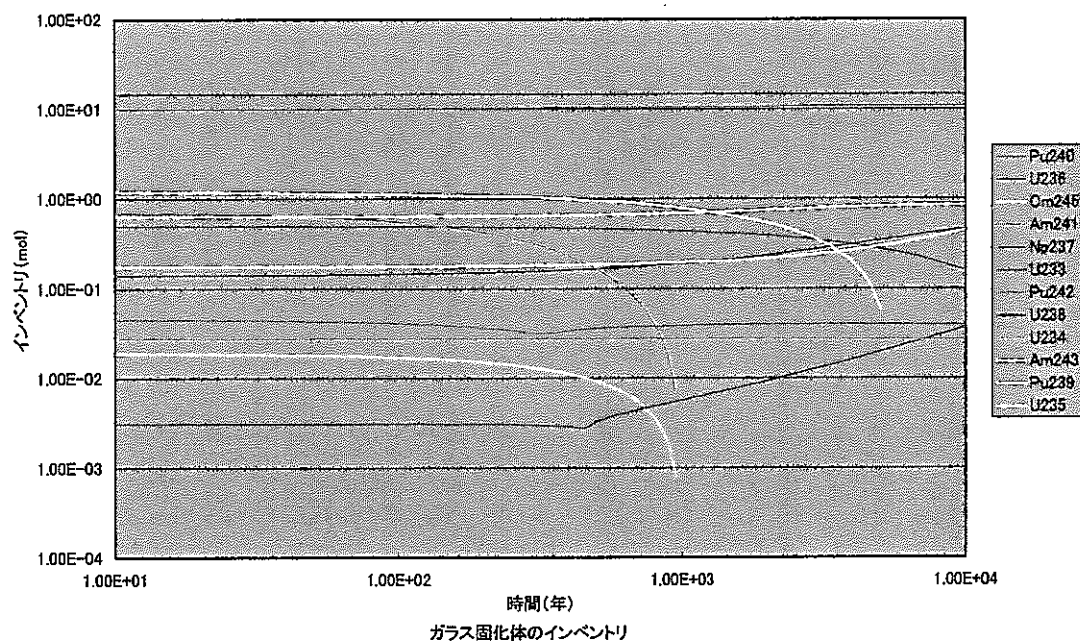


図 4.6.4-3 計算結果のグラフィック表示（ガラス固化体のインベントリ）

## 5. システムの開発計画

本年度は昨年概念設計に基づき、数値地層処分システムのうち、システムの目的と機能、個々のサブシステムの機能、コンピュータシステムの観点からの全体システムの機能について検討した。

第2次取りまとめ以降の核燃料サイクル開発機構の研究開発は地質環境評価、処分技術、性能評価という3つの分野でのイタレーションが基本となると考えられるが、数値地層処分システムの開発においては、そのような研究に完全に対応可能なシステムを、時間をかけて開発するよりも、いくつかのフェーズに分けて開発を行い、適宜状況に応じた修正を加えられるようにしておくことが適切と考えられる。

このため、まずは2002年までにプロトタイプを作成することを当面の目標に設定する事が必要であると考えられる。このプロトタイプにおいては、地質環境評価、処分技術および性能評価それぞれの分野間での最小限のデータのやりとりは可能とするが、それぞれの分野で必要なツールを個別に整備することに力を置くのが適当であると考えられる。ツール間で強いリンクを張り処分システムの最適化検討を行うためのツール開発はその次のフェーズで状況を勘案しつつ具体的な方針を決めるのが適当であると考えられる。システムの長期開発の概念を図5-1にまとめた。

次に、本年度実施された数値地層処分システムの概念設計に基づいて、システムの開発計画を作成した。システムの開発計画はプロトタイプ開発を中心にして作成し、2004年までをスコープに取り入れた。(図5-2参照)

プロトタイプを構成する各システムの開発計画の検討結果を以下にまとめた。

### ・地質環境評価システム

2004年度までに地下水流動解析機能を除く機能の開発を完成する。プロトタイプでは、地下水流動解析機能は高速化、逆解析、及び感度解析機能(単純サンプリング)を開発し、2003年以降は高速化を目的とした感度解析機能の改良(サンプリング機能の改良、及び、感度解析手法への確率論的手法等の導入の検討)を行う。

- ・性能評価システム

2004 年度までに第 2 次取りまとめに使用したコードをプロトタイプシステムに搭載する。複合現象解析コードについては、ベントナイト・コンクリート支保相互作用について解析コードを開発する。これはコード開発、各種モデルの実験との比較検証を含んだ開発計画である。残りの複合現象に対応するコードは順次開発する。

既に完成している複合現象解析コード（再冠水、濃度/pH 勾配による再沈殿）は 2004 年度までに複合現象解析システムに搭載する。

- ・処分場因子データベース

システムの設計、開発を 2000 年度に行い、データ整備と入力を 2001-2002 年度に実施する。2004 年度にプロトタイプシステムに搭載する。

- ・経済性評価システム

積算機能の開発を 2000 年度に行う。システム開発とデータ整備・入力を 2001、及び、2002 年度に実施する。2004 年度にプロトタイプシステムに搭載する。

- ・調査支援システム

2001、及び、2002 年度の 2 年間でシステムを開発し、2004 年度にプロトタイプシステムに搭載する。

- ・品質管理システム

2001、及び、2002 年度の 2 年間でシステムを開発し、2004 年度にプロトタイプシステムに搭載する。

- ・可視化システム

可視化システムは可視化機能が必要なプログラムと並行して開発する。よって 2001-2003 年度の 3 年間でシステムを開発し、プロトタイプシステムに搭載する。

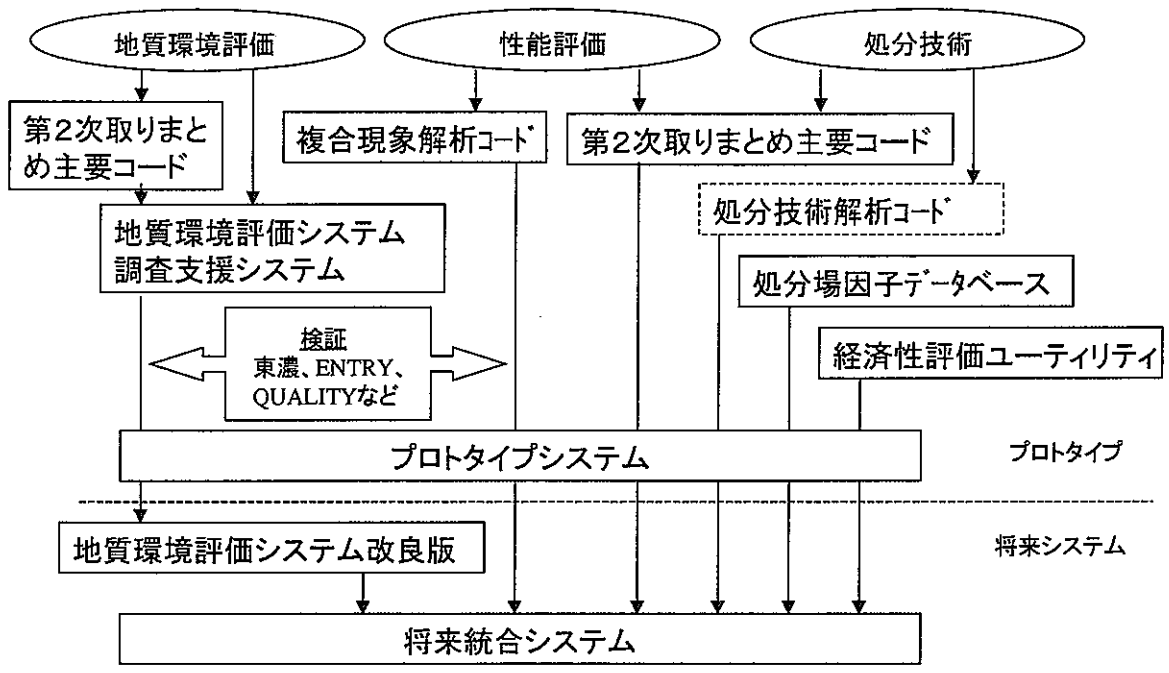


図 5-1 数値地層処分システムのエボリューション

システム全体開発計画							
サブシステム	実施項目	1999	2000	2001	2002	2003	2004
		平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年
地質環境評価システム	地質モデル作成						
	地下水流動解析		高速化				
	流跡線解析		高速化、逆解析、感度解析				改良版開発(サンプリング改良等)
	核種移行解析		移行時間解析ツール				
	線量解析		高速化				
	2次取りまとめに使用した主要コード						
性能評価システム	2次取りまとめ主要コード		I/F設計	高速化			
	複合現象解析コード	ベントナイト-コンクリート支保相互作用モデル解析		コード開発及び検証(実験と並行)		プラットフォーム搭載	
		オーバーパック腐食/ガラス溶解相互作用モデル解析			コード開発及び検証(実験と並行)		プラットフォーム搭載
		再冠水		I/F設計	高速化		プラットフォーム搭載
		濃度/pH勾配による溶解成分の沈殿		I/F設計	高速化		プラットフォーム搭載
処分場因子データベース			開発	データ入力			
経済性評価システム			積算方法の検討	開発+データ整備・入力			
調査支援システム				開発			
共通	品質管理システム			開発	データ入力		
	可視化システム			開発(個々のコード開発に合わせて開発)			


 プロトタイププラットフォーム搭載

図 5-2 数値地層処分システムの開発計画

## 6. まとめ

数値地層処分システムは、地層処分システムにおいて想定される様々な現象の解析評価を容易かつ柔軟に行うことができるよう、研究開発において得られた知識の体系化を進めるため、解析モデル及びデータベースを計算機上で統合したシステムである。いわば核燃料サイクル開発機構が所有している高レベル廃棄物地層処分の研究開発の成果をシステムに蓄積し、計算機上の処分場モデルに統合・集約するシステムであると考えられる。

本研究では地質環境及び性能評価を中心として、数値地層処分システムの概念設計を昨年引き続いて実施し、数値地層処分システムのより具体的な概念を検討した。

数値地層処分システムはコンピュータシステムの観点からは、高度数値シミュレーション技術を基にコンピュータグラフィックス技術、高速並列計算技術、高度ネットワーク技術、知識工学、データベース技術等の計算機科学技術を自在に応用し、自然環境、及び一部社会環境をヴァーチャルに計算機空間中に構築し、いわば処分 OS を実現することを最終目標とするシステムであると考えられる。

本年度は昨年概念設計に基づき、数値地層処分システムの概念設計を行った。

### (1) 数値地層処分システムの目的と機能

地層処分事業全体を見通して数値地層処分システムの目的と機能を検討した結果は以下となった。

従来研究では、地質環境評価、処分技術、及び、性能評価の3分野は相互に密接にリンクされていなかったと考えられる。そこで数値地層処分システムは、3分野間のイタラティブな解析を実施する事を目的としたシステムであると考えられる。

3要素間のイタラティブな解析の内容を以下にまとめた。

#### ① 地質環境評価と性能評価のリンク

この解析により、より現実的な天然バリアの定量的な評価が可能となる。

#### ② 地質環境評価と処分技術のリンク

この解析により、より現実的な建設・操業形態の検討が可能となる。

#### ③ 性能評価と処分技術リンク

この解析により、より現実的な人工バリアの定量的な評価が可能となる。

以上のイタラティブな解析の結果、今後の具体的な地質環境条件を対象とした地層処分シ

システムの安全裕度の定量化、及び設計合理化を行うことが期待される。

また、この目標を実現するためにシステムに必要な付帯的要件を検討した結果を以下に示した。

- ・地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理
- ・研究開発項目の優先度設定
- ・数値地層処分システムの運用
- ・将来の技術移転

システムに必要な機能をシステムの構成要素の形で検討した結果を以下の表に示した。

表 6-1 数値地層処分システムの要件とシステム構成要素

要件	構成要素	内容
天然バリア性能の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第2次取りまとめ主要コード</li> <li>・地質環境評価システム</li> <li>・調査支援システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術の保存</li> <li>・現地データから地質構造／水理構造モデルを作成する。</li> <li>・調査計画作成のための判断材料を整理する。</li> </ul>
人工バリア性能の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第2次取りまとめ主要コード</li> <li>・複合現象解析コード</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術の保存</li> <li>・人工バリア仕様合理化に向けた複合現象解析を行う。</li> </ul>
建設／操業形態の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第2次取りまとめ主要コード</li> <li>・その他処分技術解析コード</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術の保存</li> <li>・ -</li> </ul>
地質環境評価、処分技術、性能評価の全体管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場因子データベース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア・施設設計ロジックの明確化を行い、評価すべき事項の抽出、関連、優先順位づけと既往検討結果の有効利用を支援する。</li> </ul>
研究開発項目の優先度設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済性評価ユーティリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コスト低減効果が大きな検討項目の抽出を行う。</li> </ul>
数値地層処分システムの運用及び将来の技術移転	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォーム</li> <li>・品質保証システム</li> <li>・可視化システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数値地層処分システムの開発・利用を容易なものとする。</li> </ul>



## (2) システムのコード、データベース、ユーティリティの検討

数値地層処分システムを構成する性能評価、及び、地質環境分野のコード、データベース、ユーティリティについて目的と機能を検討し、概念設計を行った。

### 1) 地質環境評価システム

地質環境評価システムの基本機能及び全体像を検討した。

### 2) 性能評価システム

性能評価システムの基本機能及び全体像を検討した。

複合現象解析コードの基本機能を検討した。高レベル廃棄物処分場の性能評価に必要な複合現象を把握し、解析コードに組み込む複合現象モデルの検討を行った。

### 3) 処分場因子データベースシステム

処分場因子データベースシステムの機能要件を、処分場因子の概念、サンプル、性能評価における役割等から検討した。処分場因子データベースシステムの基本機能及び全体像を検討した。

### 4) 経済性評価システム

経済性評価システムの機能要件、積算方法、及び、単価データ項目を検討した。経済性評価システムの基本機能及び全体像を検討した。

### 5) 調査支援システム

処分地選定調査では現地にて地質調査が行われる。地質調査を効率的に行うための調査支援システムの基本機能及び全体像を検討した。

### 6) 品質管理システム

共通ツールである品質管理システムの基本機能及び全体像を検討した。

### 7) 可視化システム

共通ツールである可視化システムの基本機能及び全体像を検討した。

## (3) システムの全体設計

システムの立場から数値地層処分システムの検討を行った。

### 1) システムの全体構成

システムを構成するアプリケーションの関連を整理し、システムの全体構成を検討した。

### 2) システムに最適なソフトウェア及びハードウェア構成の検討

システムの基本的要件、基本機能からシステムに最適なソフトウェア及びハードウェア

構成を検討した。また、地球シミュレータ及び GeoFEM の適用性についても検討した。

### 3) 運用形態の検討

核燃料サイクル開発機構のハウスマシンで運用されると予想されるプロトタイプについては、システムのユーザ管理、システムの維持管理、及び、セキュリティを検討した。

### 4) 並列化技術の確認

大規模科学技術計算の高速化に必要な並列計算の技術を、プロトタイプ of シミュレータ用マシンとして予定されている PC クラスタに適用して、高速化の検証を行った。

### 5) プラットフォームの概念設計

既存の科学技術計算プラットフォームを調査して、プラットフォームの機能要件を抽出した。プラットフォームの基本機能、及び、全体像を検討した。

### 6) プラットフォームのプロトタイプ作成

概念設計で得られたプラットフォーム概念を具体化し、概念設計に寄与するため、デモンストレーションプログラムを作成した。

## (4) 全体開発計画の検討

地層処分事業全体を見通して数値地層処分システムの開発計画を検討し、プロトタイプ of 開発計画を検討した。開発計画は 5 章に示した。

## 7. 今後の課題と計画

本章では平成 12 年度の課題及び計画の検討を行った。

### 7.1 平成 12 年度計画

平成 12 年度のシステム開発計画の検討結果を表 7.1-1 に示した。

平成 12 年度のシステム開発計画は多数のシステムを含んでいる。開発計画に含まれている課題をシステムごとにまとめて以下に示した。

地質環境評価システムでは地質環境評価のためのシステムのコード選定を行い、既存コードの高速化や機能追加を行う事が必要であると考えられる。

性能評価システムについては、第 2 次取りまとめ主要コードを CAPASA ADVANCED システムに搭載するためのインターフェースの調査を行う。また、複合現象コードについては、ベントナイトコンクリート支保相互作用のモデルの開発を開始する。既存コード（再冠水モデル、濃度/pH 勾配による溶解成分の沈殿）については、プラットフォームに搭載するためのインターフェースの調査を行う事が必要であると考えられる。

処分場因子データベースについては、データベース開発及び因子データ収集を行う事が必要であると考えられる。

経済性評価システムについては、積算方法の検討を行う事が必要であると考えられる。

可視化システムについては、可視化が必要な他システムと並行して開発を行う事が必要であると考えられる。

表 7.1-1 平成 12 年度のシステム開発計画

システム		作業内容	
地質環境評価システム	地質モデル作成	コード選定 高速化	
	地下水流動解析	コード選定 高速化 感度解析 逆解析	
	流跡線解析	核種移行時間解析ツールの開発	
	核種移行解析	コード選定 高速化	
	線量解析	コード選定 高速化	
	第 2 次取りまとめ主要コード	プラットフォームとの I/F 設計	
性能評価コード	複合現象解析コード	ベントナイトコンクリート支保相互作用	コード開発
		オーバーパック腐食/ガラス溶解相互作用	(無し)
		再冠水モデル	プラットフォームとの I/F 設計
		濃度/pH 勾配による溶解成分の沈殿	プラットフォームとの I/F 設計
	第 2 次取りまとめ主要コード	地質環境評価システムと同じ	
処分場因子データベース		データベース開発 因子データ収集	
経済性評価システム		積算方法の検討	
調査支援システム		(無し)	
品質管理システム		(無し)	
可視化システム		システム開発	

## 参考文献

### 2 章

核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性  
—地層処分研究開発第 2 次とりまとめ—総論レポート、(1999)、核燃料サイクル開発機構  
TNT1400 99-020

Brian Cabral and Leith Leedom : “Imaging vector fields using line integral  
convolution”, SIGGRAPH '93 International Conference on Computer Graphics and  
Interactive Techniques, (1993)

### 3 章

高度情報科学技術研究機構：第 1 回 GeoFEM セミナー 配布資料、(1999)

Shirun Ho, Satoshi Itoh, Shigeo Ihara, and Richard Schlichting: “Agent Middleware  
for Heterogeneous Scientific Simulations”, High Performance Networking and  
Computing Conference, (1998)

G. Myers : ソフトウェアの複合/構造化設計、近代科学社、(1979)

情報処理学会：新版 情報処理ハンドブック、オーム社、(1997)

Chell Roberts and Yasser Dessouky: An Overview of Object-Oriented Simulation,  
Simulation, (1998)

Keiichi Tsujimoto and Joonhong Ahn: “Development of Object-oriented Simulation  
Code for Repository Performance Assessment” Winter Meeting, American Nuclear  
Society (1999)