

JNC TJ7410 2002-001

立坑及び坑道掘削に伴う地質環境調査  
手法に関する情報の収集及びとりまとめ

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2000年 2月

株式会社 大林組

本資料の全部又は一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

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

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2000

立坑及び坑道掘削に伴う地質環境調査手法に関する情報の収集及びとりまとめ

河村秀紀\* 納多 勝\*

要 旨

核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」）東濃地科学センターでは、地質環境の調査技術・評価手法を開発することを目的として、広域地下水流動研究、超深地層研究所計画を進めている。地層科学研究は現在、超深地層研究所計画の第2段階の準備段階にあり、広域地下水流動研究、東濃鉱山における研究の一部成果を取り入れ、より効率的に超深地層研究所計画を推進することが求められている。

本研究では、これらの背景を踏まえ、超深地層研究所計画の成果を実用的なものとするために、純粋な技術的研究成果に加え、経済性や作業工程の効率性の観点から海外における地下研究施設での研究展開を調査し、広域地下水流動研究から超深地層研究所計画における主として地質環境調査技術に関する情報についてとりまとめた。

---

本報告書は、株式会社大林組が、核燃料サイクル開発機構との契約により実施した成果に関するものである。

機構担当部課室及び担当者：東濃地科学センター 地層科学研究グループ

\*：株式会社大林組土木技術本部

JNC TJ7410 2002-001

February 2000

**Information Collection and Arrangement for the Investigation Methods of  
Geological Environment due to the Shaft and Drift Excavation**

Hideki Kawamura\*, Masaru Noda\*

**ABSTRACT**

Tono Geo-Science Center of Japan Nuclear Cycle Development Institute, which has been conducting the Regional Groundwater Investigation and Mizunami Underground Facility (MIU) Project in order to develop investigation technologies and evaluation methods. At present, the Geo-Science study, which is facing on the planning stage of the second phase of the MIU Project, is required for promoting the MIU program smoothly and efficiently with regard to the current Japanese HLW program.

According to such situation, this study investigates and summarizes the following issues, which are promoting results from MIU project to be practical and efficient, based on the information collection of oversea countries with respect to their experience and performance in the similar facilities as well as their outcomes of research and development.

---

This study has been carried out by Obayashi Corporation under the contract with JNC Tono Geo-Science Center in the fiscal year of 1999

Japan Nuclear Cycle Development Institute : Geoscience Research Execution Group, Tono  
Geoscience Center

\*: Civil Engineering Technology Division, Obayashi Corporation

# 立坑及び坑道掘削に伴う地質環境調査手法に関する情報の収集及びとりまとめ

## 目 次

### 要旨

1. 目 的 .....	1
2. 実施項目 .....	1
3. 実施概要 .....	2
4. 実施期間 .....	4
5. 調査結果 .....	5.1-1
5.1 坑道・立坑掘削に伴う地質環境の研究等に関する海外文献調査 .....	5.1-1
5.2 海外におけるサイト選定と地下研究施設の位置付けに関する調査 事例のまとめ .....	5.2-1
5.3 超深地層研究所計画における研究項目のとりまとめ .....	5.3-1
6. まとめ .....	6-1

### 引用文献

## 図目次

図 5.1-1	サイト評価過程での調査エリア概念	5.1-15
図 5.1-2	フェーズ I における調査対象区域	5.1-17
図 5.1-3	フェーズ I の結果選定された区域 (縦線部分)	5.1-17
図 5.1-4	フェーズ II, III の調査予定概念	5.1-18
図 5.1-5	各サイト特性調査段階における調査概要	5.1-20
図 5.1-6	岩盤特性調査施設に関する調査概要	5.1-21
図 5.1-7	表 5.1-11 の説明付図	5.1-26
図 5.2-1	スウェーデンにおける放射性廃棄物処分プログラム	5.2-5
図 5.2-2	サイト選定に必要な情報	5.2-6
図 5.2-3	全国規模の調査例	5.2-7
図 5.2-4	サイトスタディ地域 (エッシェマー)	5.2-8
図 5.2-5	スイスにおける放射性廃棄物処分プログラム	5.2-9
図 5.2-6	Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー: 地質	5.2-10
図 5.2-7	Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー: 地下水	5.2-11
図 5.2-8	Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー: 水文地質	5.2-12
図 5.2-9	Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー: 地下水化学	5.2-13
図 5.2-10	東濃-地質統合化におけるデータフロー : 地表および試錐孔からの地下水評価	5.2-14
図 5.3-1	スイス、スウェーデンでのサイト選定プロセス	5.3-4

## 表目次

表 5.1-1 「米国における HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」	5.1-9
表 5.1-2 「カナダにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」	5.1-9
表 5.1-3 「スウェーデンにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」	5.1-10
表 5.1-4 「スイスにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」	5.1-10
表 5.1-5 地質環境調査手順の検討のうち事例調査のまとめ	5.1-11
表 5.1-6 IAEA におけるサイト選定基準 サイティングプロセスにおける選定基準	5.1-12
表 5.1-7(1) IAEA におけるサイト選定基準 ガイドラインと必要データ (1/2)	5.1-13
表 5.1-7(2) IAEA におけるサイト選定基準 ガイドラインと必要データ (2/2)	5.1-14
表 5.1-8 調査のステップと目的	5.1-16
表 5.1-9 スウェーデンにおける地質環境調査計画	5.1-19
表 5.1-10 各国の地下研究施設での各種試験	5.1-22
表 5.1-11(1) HRL におけるプログラム (その 1)	5.1-23
表 5.1-11(2) HRL におけるプログラム (その 2)	5.1-24
表 5.1-11(3) HRL におけるプログラム (その 3)	5.1-25
表 5.1-12 Nagra グリムゼルテストサイト (GTS) における試験計画	5.1-30
表 5.1-13 実施・計画試験項目及び試験工程	5.1-31
表 5.1-14 主な成果及び適用技術の概要	5.1-32
表 5.1-15(1) ベルギー-MOL における原位置試験項目	5.1-34
表 5.1-15(2) ベルギー-MOL における原位置試験項目	5.1-35
表 5.1-15(3) ベルギー-MOL における原位置試験項目	5.1-36
表 5.1-15(4) ベルギー-MOL における原位置試験項目	5.1-37
表 5.1-16(1) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その 1) －Modeling Strategy and Validation－	5.1-38
表 5.1-16(2) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その 2) －Previous cycles of characterization and Strategy for next cycle－	5.1-39
表 5.1-16(3) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その 3) －RCF Objectives and Experiment Programme－	5.1-40
表 5.1-17 諸外国における深層ボーリングの事例調査	5.1-41
表 5.1-18 地下研究施設の変遷と役割 (TOPSEAL' 96)	5.1-43
表 5.3-1 候補地選定段階に必要と考えられる技術 (想定)	5.3-7

表 5.3-2	予定地選定段階に考えられる技術（案）	5.3-8
表 5.3-3	超深地層研究所の施設建設スケジュールのオプション	5.3-9
表 5.3-4	研究実施項目の実施段階の検討	5.3-10
表 5.3-5	研究項目と各深度での展開比較	5.3-11
表 5.3-6	超深地層研究所の研究深度による比較	5.3-12
表 5.3-7	地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験の案	5.3-13
表 5.3-8	地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験の案	5.3-14



## 1. 目的

東濃地科学センターにおける地層科学研究では、地質環境の調査技術・評価手法を開発することを目的として、広域地下水流動研究、超深地層研究所計画を進めている。地層科学研究は現在、超深地層研究所計画の第2段階の準備段階にあり、広域地下水流動研究、東濃鉦山における研究の一部成果を取り入れ、より効率的に超深地層研究所計画を推進することが求められている。また、超深地層研究所計画の成果を実用的なものとするためには、純粋な技術的研究成果に加え、経済性や作業工程の効率性も求められるものと考えられる。こうした経済性や作業効率については、これまで地層科学研究としては十分検討されてこなかった面がある。

本業務は、広域地下水流動研究、超深地層研究所および東濃鉦山において実施されてきている地層科学研究の成果の超深地層研究所計画での研究の集約において、それぞれの調査研究内容を実用的なものとするため、経済性や作業工程の効率性の観点を重視した、地質環境調査手法に関する情報の収集ととりまとめを行うことを目的として実施するものである。

## 2. 実施項目

- (1) 文献調査による地質環境の研究における研究成果の整理
- (2) 超深地層研究所計画における立坑及び坑道掘削に伴う地質環境の調査技術に関する研究項目のとりまとめ

### 3. 実施概要

#### (1) 坑道・立坑掘削に伴う地質環境の研究等に関する海外文献調査

NAGRA、SKB 等海外研究機関で実施された坑道掘削を伴う地質環境に関する調査事例を調査し、東濃地科学センターで実施されている広域地下水流動研究、超深地層研究所や東濃鉱山で行われる研究に相当する研究成果の実用化への反映に利用できる事項について検索する。

文献調査の対象は、以下の研究機関の公開論文とする。

- ・カナダ：AECL、スウェーデン：SKB、フィンランド：TVO、
- ・スイス：NAGRA、ベルギー：SCK/CEN

わが国における地質環境の研究は、亀裂性岩盤と多孔質岩盤を対象にして計画・実施されている。同じ地質を対象にして、かつ同じように対象岩種別の研究を平行して実施しているのは世界的に見てもスイスだけであり、カナダ、スウェーデン、フィンランドの対象岩種は亀裂性岩盤、ベルギーは多孔質岩盤である。そこで、東濃地科学センターでの地質環境の研究成果を、実用化に効果的に反映できるように、海外事例の整理は各岩種別にケースを分けて整理するものとする。

東濃地科学センターの超深地層研究所計画などの地質環境の研究と、海外の亀裂性岩盤での事例で確認された各段階で用いた技術、用いる予定の技術・手法と比較し、研究の手法の妥当性、過不足について整理する。また、広域地下水流動研究および超深地層研究所計画の主対象としている岩種とは異なる多孔質岩盤については、海外の多孔質岩盤での事例との比較により、亀裂性岩盤を対象とした場合とどれぐらい必要と考えられる技術に差異が生じるかについて整理する。

具体的な成果は以下のようにとりまとめる。

#### 1) 各国での地下研究施設の現状調査および実施されている試験研究等の整理

- a. カナダ：ホワイトシェル地下研究所 (URL)
- b. スウェーデン：エスペ岩盤地下研究所 (HRL)
- c. スイス：グリムゼル岩盤研究所とマンテリ国際研究所
- d. ベルギー：モル地下研究所

#### 2) 世界各国でのサイト選定スケジュールと地下研究施設の位置付け

##### a. スウェーデンにおけるサイト選定及び処分スケジュール

スウェーデンでは、1983年に公表されたKBS-3報告書を基本に、3年ごとに作成する研究計画書(RD&D Programme)に従いサイト選定と研究開発計画を連動させ、地下研究施設の活用を図っている。

##### b. スイスにおけるサイト選定及び処分スケジュール

スイスでは、1985年に公表されたProject Gewähr 1985を基本に、スイスにおけ

る廃棄物処分の実現性を具体的なデータで示すことを主眼として、異なる岩種を対象に研究が進められている。国際共同研究を実施することで世界的なコンセンサスを得る戦略を導入している。

3) 地下研究施設で実施されている研究項目の整理・分析

- a. 世界各国で実施されている（あるいはすでに実施された）研究項目のとりまとめ
- b. 各国で共通して実施されている項目および処分プログラム固有あるいは、岩種固有の項目の整理と分析
- c. 各国における亀裂性岩盤と多孔質岩盤での研究の相違に関する整理・分析

(2) 海外調査事例のまとめ

スイス、スウェーデン等海外での実績をベースに、各段階で実施主体が要求されると考えられる報告書・設計図書・評価書のレベルを考察し、それらの記述に必要な技術・手法の達成レベルを設定する。

Nagra 等海外での地下研究施設を用いた研究を実施している研究機関の工事担当者との調査坑道、立坑の掘削等の作業工程と研究項目について情報交換を行い、研究工程と作業工程の関係についてのとりまとめを行う。

ここでも、岩種毎に研究項目や作業工程にどのような差異が生じているのか、あるいは生じていく見通しなのかに留意した事例のとりまとめを行うものとする。

(3) 超深地層研究所計画における研究項目のとりまとめ

(2) で取りまとめた情報をもとに、超深地層研究所計画の研究項目と作業工程の関係についてとりまとめを行う。この際、超深地層研究所計画で研究実施計画に照らしてその妥当性を確認する。

具体的な成果は以下のようにとりまとめる。

- 1) 超深地層研究所計画における第二段階の研究計画の考察
  - a. 第二段階での研究項目の整理
  - b. 作業工程と研究項目の分析
- 2) 超深地層研究所計画の作業工程に関する考察
  - a. 処分スケジュールを考慮した作業工程（案）
  - b. 各作業工程での研究項目

#### 4. 実施期間と体制

- ・実施期間

平成11年12月13日

平成12年2月29日

- ・体制（担当者一覧）

株式会社大林組 土木技術本部設計第二部

実施責任者	河村 秀紀
実施担当者	納多 勝
研究業務担当者	安藤 賢一
	佐藤 晶子
	金森千恵子

## 5. 調査結果

### 5.1 坑道・立坑掘削に伴う地質環境の研究等に関する海外文献調査

#### 1) 海外における処分スケジュールの調査

地下研究施設の役割を明らかにするために、海外における放射性廃棄物処分スケジュールと地下研究施設の計画について調査した。調査の対象国は以下の4カ国である。

- ①米国
- ②カナダ
- ③スウェーデン
- ④スイス

#### a. 米国における処分スケジュール

米国における処分スケジュールと関連する法規制を表形式にまとめたものを表 5.1-1 に示す。米国では、1987年の「核廃棄物政策法の改訂」の時に政治的判断でユッカ・マウンティンを処分候補地として選定した。現在、実施主体である DOE は、2001年に大統領へ処分地としての推薦書を作成するための活動を進めている。米国での地下研究施設は、1980年代の初期に結晶質岩を対象（ネバダ州クライマックス）とした基礎研究が実施された。実際の調査研究は、ユッカ・マウンティンが選定されたことにより、原位置試験の段階から一足とびに、候補地としての適性を調査する「サイト特性調査」として開発と実証をかねて各種試験が展開されている。

#### b. カナダにおける処分スケジュール

カナダにおける処分スケジュールと関連する法規制を表 5.1-2 に示す。カナダでは1978年の政府とオンタリオ州との条約により、処分概念が国民に受け入れられるまでは、実施主体の設立、およびサイト選定作業に移行しないことが約束された。そのために、まず処分概念の技術的実現性を示すことを目的として、AECLが研究主体に指名された。AECLは、原子力研究施設のあるマニトバ州と21年間の借地協定を結び、地下研究施設（Underground Research Laboratory: URL）を建設し、そこでの成果も踏まえて1995年に「環境影響評価書：EIS」を作成した。国によってレビューされた結果、AECLが示した処分概念は、カナダ国民に受け入れられるには不十分であると評価され、実施主体の設立は停止され、第三者機関を設立し、更なる検討を進めることが要求されている。

#### c. スウェーデンにおける処分スケジュール

スウェーデンにおける処分スケジュールと地下研究施設との関連を表 5.1-3 に示す。スウェーデンでは、1980 年代初頭から、OECD/NEA の国際プロジェクトとしてストリーパ鉱山跡地での原位置試験が展開されていた。そこでは処分概念の技術的実現性を示す基礎試験が実施されるとともに、地下水流動モデルの比較検証、および物質移行に関する試験等が段階的に展開された。実施主体である SKB は、1986 年に R&D1986 で新たに地下研究施設 (Hard Rock Laboratory : HRL) の建設を公表し、その場所として原子力施設のあるオスカーシャムのエスぺを選択した。ここは、主として処分候補地選定のための調査・評価技術の確立、および処分の適性を評価するための各種モデル等の実証を行う場として位置付けられた。現在は 3 つの候補サイトを選定し、詳細な調査を実施する計画が作成されている。2003 年頃には処分予定地が決定され、詳細な調査、許認可申請を経て 2010 年頃には操業が開始される予定である。

#### d. スイスにおける処分スケジュール

スイスにおける処分スケジュールと地下研究施設との関連を表 5.1-4 に示す。スイスの実施主体である Nagra は、1983 年から結晶質岩を対象とした地下研究施設 (グリムゼル岩盤試験場 Grimsel Test Site : GTS) を建設し、段階的に各種実験を展開してきている。第Ⅲ段階までは、主として調査・評価にかかわる要素技術の開発、結晶質岩盤での物質移行に関する基礎的研究、モデル開発および専門家の育成が実施された。1994 年の第Ⅳ段階からは、処分の許認可を意識した各種実証実験が国際共同研究として展開されている。一方、堆積岩を対象とした地下研究施設 (マウント・テリ : MontTerri) は、1994 年の開設当時から国際共同研究の場として各種実験が段階的に展開されている。スイスの高レベル放射性廃棄物処分計画では、結晶質岩として花崗岩を、堆積岩として泥岩を選択しており、すでにスイス北東部にそれぞれ 50 平方キロメートルの候補サイトを選定している。2005 年頃にはどちらのサイトとするか、政府により優先順位が決定され、その後の詳細調査を経て処分地としての適性が評価されることが計画されている。

## 2) 海外における地質環境調査手順と技術の調査

地質環境を調査する手順とそこに適用される技術について、国際機関で提案された手順および各国での手法を調査した。調査の対象は以下の国際機関と国である。

- ①IAEA（国際原子力機関）
- ②カナダ
- ③スウェーデン
- ④スイス
- ⑤米国
- ⑥英国

調査の結果の一覧表を表 5.1-5 に以下の項目に従ってまとめて示す。

- ・対象国・機関の現状
- ・地質環境調査の特徴
- ・調査手順
- ・わが国への反映
- ・調査項目

IAEA は、現在進めている国際的な安全基準体系化（RADWASS）活動の一環として、1996 年に「サイティングに関する基準」を公表した。その中では 4 つの段階での調査目的とその概要が示されている。表 5.1-6 にそれぞれの段階で実施すべき内容をまとめて示す。また、サイト選定における指標について、地質環境調査項目別に整理した内容と必要とされるデータを、地質条件、将来的な変化、水理地質条件、地球化学、人間活動に関する項目、建設に関する項目等に分類して、表 5.1-7 に示した。IAEA の基準はサイトを特定しない前提での理想的な参考意見として捉えるべきで、それぞれの国の状況に対応して、独自に調査の手順と方法を確立していく必要がある。しかしサイト選定プロセスの大きな枠組みを構築する上では重要な情報となる。

### a. カナダにおけるサイト選定手順と調査手法

カナダにおけるサイト選定手順と調査手法については、1995 年に AECL が公表した「環境影響評価書」に記述されている。選定の手順は候補地の選定から段階的に絞りこまれていくことを前提にしているが、詳細な調査は、ある広がりをもつ候補エリアから順次処分予定地を各種調査結果を評価しつつ絞りこんでいくことを基本としている。その段階的な絞り込みの概念を図 5.1-1 に抜粋して示す。この図には絞りこむ段階での調査の種類、絞り込み領域の概略の広さが提案されている。

#### b. スイスにおけるサイト選定手順と調査手法

スイスでのサイト選定の手順については、結晶質岩を対象に、第Ⅰフェーズ：広域の調査段階（1993年で終了）、第Ⅱフェーズ：地上からの調査段階、第Ⅲフェーズ：地下での調査段階の3段階が計画され、すでに北東部を対象に候補エリアまで絞り込まれている。表 5.1-8 に第Ⅱフェーズ以降の調査項目とその目的を整理して示す。また第Ⅰフェーズでの広域調査の調査対象区域とその選定されたエリアをそれぞれ図 5.1-2、図 5.1-3 にまとめた。図 5.1-4 には第Ⅱ、第Ⅲフェーズにおける予定地での調査の概念を抜粋して示す。スイスではこれまで結晶質岩を対象に7本の深層ボーリングを、堆積岩を対象に1本の深層ボーリングが実施され、候補エリアの岩体の大きさ、および特性が調査されている。これらの調査・評価技術には、それぞれ2ヵ所の地下研究施設での基礎的な試験結果と考察が反映されている。

#### c. スウェーデンにおけるサイト選定手順と調査手法

スウェーデンでのサイト選定手順と予定地でのサイト特性調査の考え方を整理した資料を表 5.1-9 に示す。この表では、段階的な調査手順とそれぞれの段階での行為も含めて記述している。特徴的な事項として、サイト特性調査におけるデータの取得から評価までを系統的に行うための以下に示す3つの基本的な考え方が構築されている点がある。

##### ① 調査ステージ毎の分割

##### ② 異なったスケールでのサイト概念モデルの構築

##### ③ 処分場の設計、性能評価、安全評価における重要項目の提示（これらの項目を確実に調査するための技術を予定地選定までに確立することが求められている）

これらの系統化に従い、地下研究施設（HRL）での試験計画が立案され、実際に展開されている。

#### d. 米国におけるサイト選定手順と調査手法

米国では、前節でも述べたように、すでに予定地がユッカ・マウンティンに選定され、現在そこでのサイト特性調査が実施されている。サイト特性調査では地表からの調査が約5年実施され、その後プログラムの停滞があったが1996年より地下調査施設の建設が開始され、現在は図 5.1-5 に示されたような地下での試験坑道が展開されている。ユッカ・マウンティンでの最も大きな特徴は、不飽和層であることで、そのために地下水流動場の調査、および地球化学特性の調査のために独自の技術が開発されている。



e. 英国におけるサイト選定手順と調査手法

英国における低中レベル廃棄物処分場のサイト選定手順は、全国を対象に開始され、最終的にセラフィールドが候補地点として選定された。セラフィールドは廃棄物処理施設に隣接し、廃棄物の輸送の観点からも有利な場所とされていた。実施主体である Nirex は、セラフィールドの地表からの調査を 1996 年に終え、1997 年に処分予定地とすることを国に申請した。予定地での地下調査施設 (Rock Characterization Facility : RCF) の建設を行い最終的な決定をする計画であった。図 5.1-6 岩盤特性調査施設に関する調査概要を示す。しかし、Nirex が提出した評価書に対し、さまざまな観点からのレビューが実施された結果、セラフィールドは予定地として好ましくないと判断され、現在 Nirex のプログラムは暗礁に乗り上げている。否定的なレビュー結果の中で、地表からの調査でなされた地下水流動の場の評価が、得られた情報を的確に表現していないとの指摘もあり、地表からの調査のあり方とその評価の信頼性が問われた結果であった。

### 3)各国での地下研究施設で実施されている試験研究等の調査

世界各国の地下研究施設で実施された、実施中、あるいは計画中的の実証試験項目を整理して表 5.1-10 に示す。ここでの米国の例は、処分予定地として実施される各種試験を掲載している。特に WIPP では処分場はすでに建設され 1998 年には操業の許可が下りているサイトであるが、それまでにどのような試験が展開されたを参考に記述している。国によって、岩種も地質環境も異なると共に、おかれている状況が様々ではあるが、実証試験としていくつかの項目が共通して実施されていることが分かる。それらを分野別に取りまとめると以下の項目になる。

- ・ 調査・評価技術の開発と検証
- ・ 掘削影響試験に係わる予測技術の実証
- ・ 地下水流動試験による水理モデルの実証
- ・ 人工バリア定置試験による熱解析モデルと設計・定置技術の実証
- ・ シーリング（埋め戻し、閉鎖）技術の実証
- ・ 核種移行評価技術の実証

これらの技術を、国際共同研究として展開し、それぞれの国の地質環境条件に対応できる独自の技術、およびノウハウの蓄積を進めている。また、実証試験等を通じて技術・評価に対する信頼性の構築（Confidence Building）を進めると共に、一般の人々への処分に対する理解を得ることを図っている。

#### a. スウェーデンで展開されている実証試験

スウェーデンの HRL で展開されている実証試験をまとめて、表 5.1-11(1)～(3)とその説明用図を図 5.1-7(1)～(4)に示す。代表的なプロジェクト毎に、内容、目的を整理して記述する。HRL では実際の処分施設での適用技術を実証するための試験、および評価のモデル、コードを確証するための試験が中心になっている。この背景には、ストリーパ鉱山での基礎的な研究成果の蓄積があると考えられる。

#### b. スイスで展開されている実証試験

スイスにおける 2 つの地下研究施設での実証試験の現状について、Dr. C. McCombie が国際会議で発表した資料を巻末に資料-1 として添付する。この資料には、グリムゼル研究施設での 1983 年当時からの研究開発内容、および実証試験へのフェーズの切り替え、マウント・テリでの国際共同研究の有用性等について紹介されている。表 5.1-12 にはグリムゼルでの実証試験であるフェーズⅣとⅤの試験項目を整理した。表 5.1-13 と 5.1-14 にはそれぞれマウント・テリにおける各段階での試験

項目の一覧表とそれぞれの試験で適用されている技術の一覧を示した。

c. ベルギーで展開されている実証試験

ベルギーでは、ブーム粘土と呼ばれる堆積層を処分候補岩体と選定し、モルにある原子力研究所内に、研究主体である SCK/CEN が地下研究施設を建設している。そこの試験は技術開発の目的と共に手法・評価技術の実証、およびデータの取得も平行して実施されている。1998 年からはさらに合理化された工法を用いた立坑建設が開始され、許認可取得のための準備が進められている。これまでモル研究所で実施されてきている各種試験項目をその目的および概要を整理して、表 5-1-15(1)～(4)に示す。

d. 英国で検討されていた試験計画

英国のセラフィールドは、予定地として選定されなかったが、Nirex が検討した試験計画は、今後わが国で計画をたてる時に参考になる（特に沿岸でのサイト調査では）と想定されることから、計画作成の一連の流れも含めて、表 5.1-16(1)～(3)に整理した。

4) 諸外国における深層ボーリングの事例調査

地質環境調査技術で最も重要とされる技術は、深層ボーリング技術とボーリング孔を利用した調査技術である。本節では、各国で実施されている深層ボーリング調査の現状を調査対象エリア毎に分類して整理した。調査の対象国は以下の 6 カ国 8 サイトである。

- ①スウェーデン：HRL サイト、フィッシュン調査サイト
- ②スイス：北部スイス候補地、バーレンベルグ候補地
- ③英国：セラフィールド候補地
- ④米国：ユッカ・マウンティン予定地
- ⑤カナダ：URL サイト
- ⑥フィンランド：オルキルオト予定地

それぞれのサイトの特徴も含めて、深層ボーリング実施までの背景ボーリング配置図、ボーリング本数および深度について、表 5.1-17 にまとめて整理した。また、巻末の添付資料-2 には、それぞれのボーリングの仕様を詳細に示した。

## 5) 地下研究施設の役割と位置付けに関する調査

地下研究施設の変遷と役割について、1996年にストックホルムで開催された“TOPSEAL '96”での公演を中心に取りまとめた。地下研究施設の役割は大きく2つの世代に分割することができる。

- ・ 第1世代：処分場とは明確に区別され、そこでは地質環境調査技術の開発、モデル開発と実証、および建設・操業等に関する処分技術の開発が展開される。
- ・ 第2世代：処分予定地で展開され、処分地としての適性を評価するための地質環境情報の取得、処分場建設のための技術の実証、および評価手法の適用性確認が展開される。

地下研究施設の目的は、評価に使用されるモデル・データの詳細化と実証のプロセスを通じて、処分地適性評価手法の最適化、合理化された設計・建設技術の確立、地質環境の長期安定性を評価する手法に関する確信を構築することが主たる活動となる。またこれらの研究プログラムは地下研究施設だけでなく、地表での室内試験、専門家会議を統合して達成されるものである。

地下研究施設の必要性については、技術的な観点からと社会的な観点から述べられている。また地下研究施設そのものが段階的に成長していくと考えられており、大きく以下の3つの段階に整理された。

- ・ 第1ステージ：①地質環境調査のための手法・機器の開発  
②処分概念の基本的成立性の実証  
③ジェネリックな岩盤データの取得
- ・ 第2ステージ：①調査機器の効率化  
②地球物理学的、水理学的研究  
③各種モデルの検証
- ・ 第3ステージ：①処分場特有のデータの取得  
②検証／実証：より複雑な系での試験  
③国際協力によるレベル向上  
④手法の最適化、性能評価モデルの実証に移行

これらの分析に従い、各国の地下研究施設の現状を表 5.1-18 のように分類している。

表 5.1-1 「米国における HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」

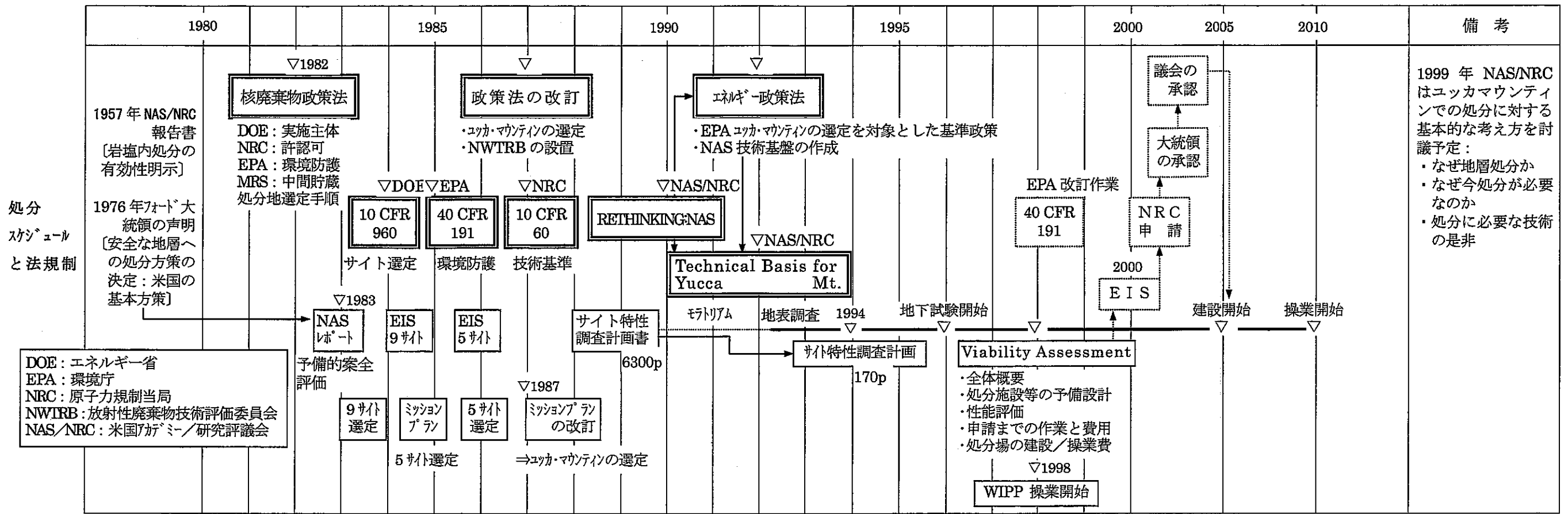


表 5.1-2 「カナダにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」

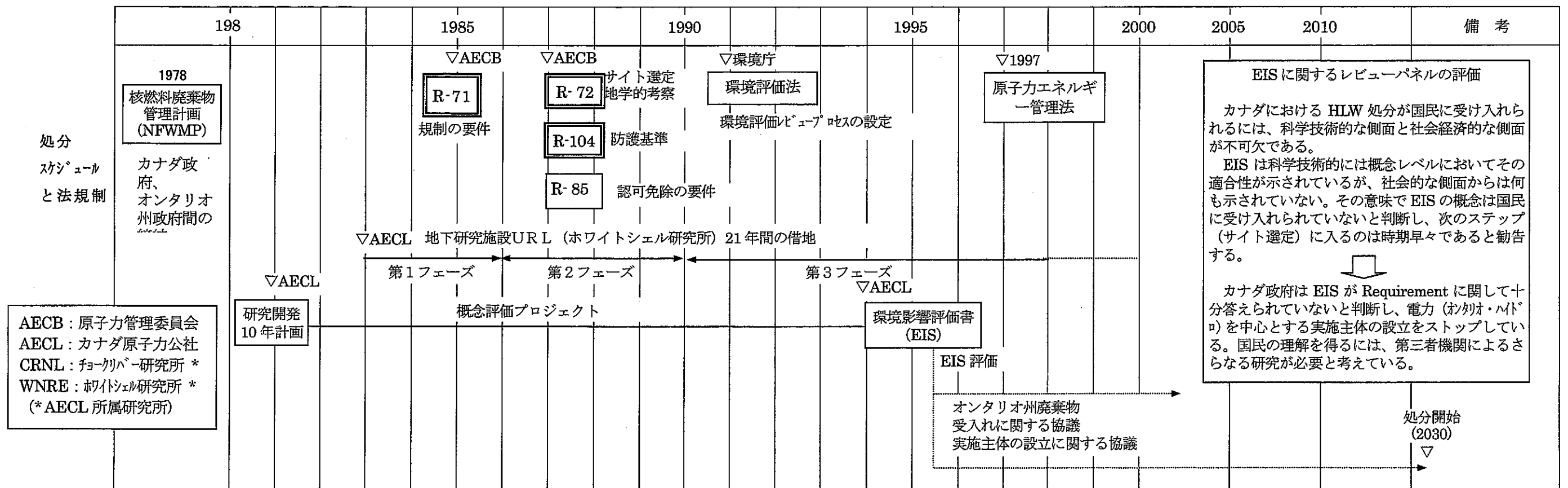


表 5.1-3 「スウェーデンにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」

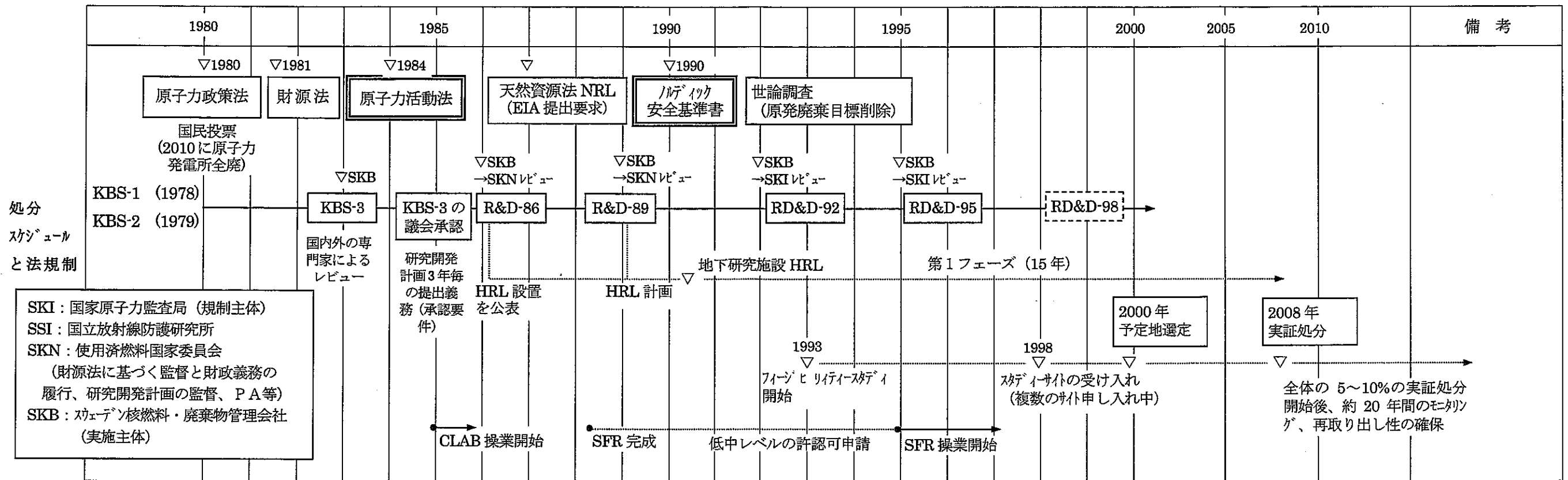


表 5.1-4 「スイスにおける HLW 処分スケジュールと法規制のあり方」

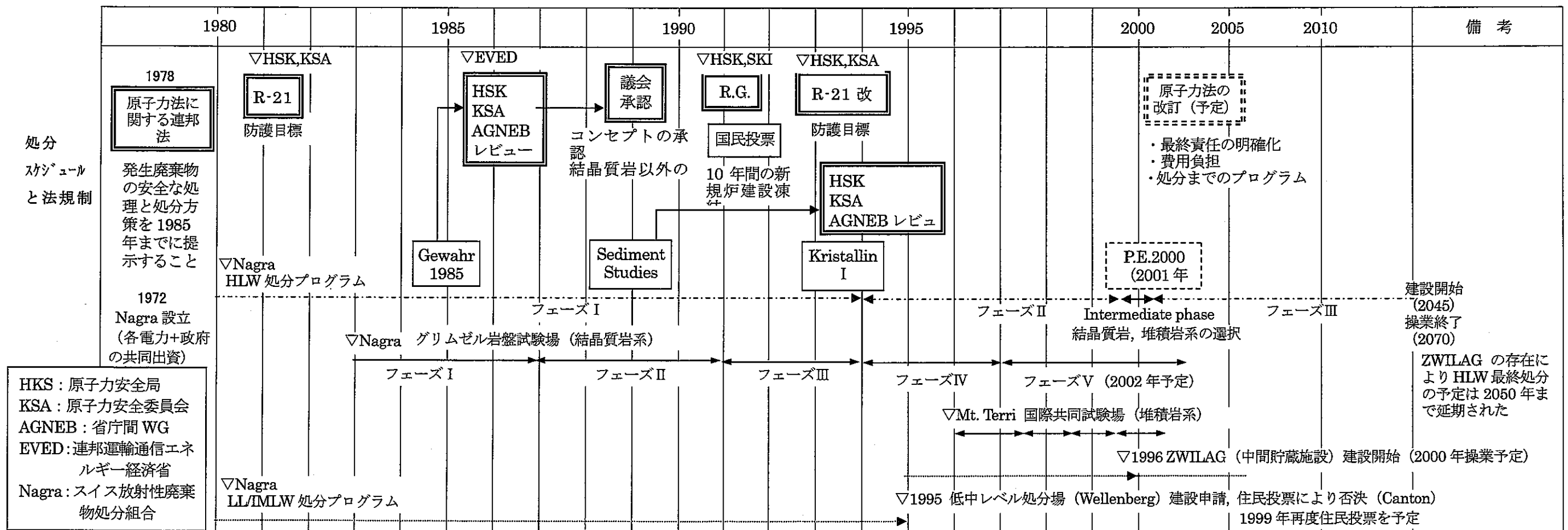


表 5.1-5 地質環境調査手順の検討のうち事例調査のまとめ

調査対象	対象国・機関の現状	地質環境調査の特徴	調査手順	我が国への反映	調査項目
I A E A	放射性廃棄物処分に係る包括的な基準大系作成 (RADWASSプログラム) の一貫としてサイト選定に係わる指針を策定している。 RADWASSは、FOUNDAMENTALを頂点に階層構造的な基準・指針類から構成されている。内容的にはIAEA加盟国のコンセンサスを得た勧告として位置付けられる。	調査段階を以下の4つの段階に分類 ・概念および計画の段階 ・地域調査の段階 ・サイト特性調査の段階 ・サイト確認の段階 基本的には、①広範囲から処分場規模へ ②概略調査から詳細調査へのスケールと調査精度/密度の変化により対応する。	①概念および計画の段階 長期安定性、技術的実現性、社会・経済政治・環境からの考察 ②地域調査の段階 地域分析と候補地点選択スクリーニング ③サイト特性調査の段階 候補地としての適性を調査・評価 ④サイト確認の段階 許認可申請を対象とした調査	ゼネリックなサイト選定手法と段階的な進め方による、各段階での目標に対応した調査手順を示していることから、サイトが決まっていなかった我が国にとっては基本的なコンセンサスを得る上で参考となる。	・調査項目としては、地質条件(地質構造、母岩の広がり、物性値等)、将来的な地質環境の変化、水理地質特性、地球化学特性等
カナダ	URL等で安全な処分の研究開発が進められており、ゼネリックなサイトを対象とした処分概念の実現性を示した(EIS)段階である。今後のサイト選定手順と調査手順についてもEISに詳細に記述されている。 サイト選定には20年程度の期間を想定している。	EISに示された調査段階(計画) ・サイト選定段階(3~5年) ・サイト評価段階(15~20年) サイト選定段階では、既存のデータによる可能性領域の設定を行い、別途定められる排除基準に従った選定を実施する。評価段階では、エリアの絞り込みと詳細調査による評価が進められる。 URLでの研究が実績として累積	サイト選定段階: 既存情報による調査、およびサイトの社会・経済的背景調査 サイト評価段階: - 地表踏査スケール - グリッドエリアと地質研究エリア - 深層ボーリング孔を利用した調査 - 試験立坑建設による調査	※2000年までの活動に相当 ・ゼネリックではあるが、カナダの地質、地質構造の特徴を捉えた計画となっているため、具体性があり理解しやすい。 ・断層等避けるべき構造の調査手法、および処分場のレイアウトを考慮した調査手順は大いに参考になる。	・URLを中心とした調査試験実績をベースにしていることから、それぞれの調査の根拠については、URLでの成果まで逆上る必要がある。 ・調査項目はIAEAと同様、特に排除すべき地質構造の把握(断層、破碎帯)
スウェーデン	安全評価書(SKB91)を発行し、処分予定地の選定段階にある。地元の反対もあり調査への移行は困難な状況となっている。 予定地での調査技術は別途実施しているHRLで開発検証されており、その期間として20年程度が予定されている。	処分場操業後に実証埋設が計画されている。調査は2段階で展開され、各段階で目標を設定してシステム化された調査を展開する。 ・調査ステージの分割 ・異なったスケールでのサイトの概念モデルの構築 ・処分場の設計、性能評価を対象に重要項目を設定	候補地での調査は2段階で展開される 1. 全般研究: 事前調査による候補地点の絞り込み (HRLの成果を反映) 2. 詳細調査: 調査立坑と地下坑道によるサイト特性調査 地域スケール⇒サイトスケール⇒ブロックスケール⇒詳細スケールへの展開	※第2段階から第3段階に相当 ・サイト調査で実施すべき項目手法が調査スケールに対応して示されている。 ・HRLでの実際の調査手順、および今後の各種試験は直接参考になる。	・HRLでの調査手順が基本となっている。 ・調査項目はIAEAと同様システムティック水理地質構造の調査手法に特徴あり
スイス	候補地域のボーリング調査結果等を利用して安全評価を実施している。結晶質岩と堆積岩を対象として2000年にはどちらかの岩質を決定し、候補地選定に移行する。HLW処分は2030年~50年頃と予定されている。 WellenbergでのLLW/ILW処分候補地選定のあと住民の承認を待つ状況にある。	1991に公表されたKristallin-Iにおいて、将来のHLW処分候補地における調査計画が提示された。主として地下深部の地質・地質構造および水理地質構造の把握を目的としている。 調査計画は大きく3つの段階に分類 第1段階: 候補エリアでのボーリング調査 第2段階: 候補地点での地表からの調査 第3段階: 候補地点での地下で調査	候補エリアかた地点への絞り込みの調査 第1段階: 7本の深層ボーリング調査(実施中)⇒主要な地質・水理地質構造の把握と水理データの取得 第2段階: 物理探査+ボーリング調査⇒処分場の位置の決定 ⇒詳細な水理地質構造の把握 第3段階: 立坑と調査坑道により処分エリアの確認	※第1段階に相当 限定された物理探査とボーリング調査による処分の実現性を評価する総合的な技術、および安全評価モデル作成のための主要な地下水透水ゾーンの同定のための調査手順・手法は直接参考となる。	・特定地域の母岩の広がりと同定するための調査、および処分想定エリアの主要な地下水経路となる断層・破碎帯の調査、物理探査と深層ボーリングを組合わせた深部地質の調査
米国	処分候補地であるユッカマウンテンでサイト特性調査が展開されている。地下調査のための斜坑も建設中で、地下でのさまざまな実験計画も作成されており2010には操業開始される予定である。	詳細なサイト特性調査計画(NRCが要求)に従い調査が展開されている。調査計画そのものはNWT RBの評価を定期的に受け変更された。 調査計画は、3段階で実施されている。 第1ステップ: 予備的評価段階 第2ステップ: 自然環境の適性条件・特徴の調査段階 第3ステップ: サイト特性調査段階	第1ステップ: 地表概要調査。母岩の起源(終了)等構成の調査 第2ステップ: 地質・地質構造、水理地質(終了)条件、地化学、気象学調査 第3ステップ(1)地表からの調査(実施中) 物理探査、ボーリング調査 (2)調査坑道での調査・試験建設段階での試験、実証試験、評価データの取得	※第3段階に相当 広域から候補地点をしばりこむための調査手順が参考となる。規準により詳細な計画の立案と品質保証計画が要求されており、その要求項目は参考となる。地下調査施設での各種試験の展開計画も参考とする。	・不飽和領域での調査/試験 ・地下水の位置の変化、およびガス移行が大きなテーマとなっている。 ・将来的な地質環境の安定性評価のための調査
英国	1991年LLW/ILWの処分候補地としてセラフィールドが選定され、現在サイト特性調査が展開されている。設定理由としては、地質環境が適切であることと廃棄物の輸送費が少なくすむことが上げられている。 処分場の操業開始は2007年頃と予定されている。 処分場は塩水環境下に計画されている。	調査は、処分候補地の選定段階に対応して展開されてきた。 第1段階: 英国全土を対象とした調査 第2段階: 500⇒200⇒160⇒12サイト 第3段階: 12⇒2サイトの絞り込み(セラフィールドとドレーン) 第4段階: 地表からの物理探査とボーリング調査による比較 ⇒セラフィールドを候補地として選定	セラフィールドにおけるサイト特性調査 (1)地表からの詳細調査による地質・地質構造、水理地質構造の把握⇒処分場の位置の決定 (2)地下施設(RCF)による詳細調査 - 立坑建設に伴う影響評価 - 試験坑道における特性調査と実証試験 - 坑道拡張⇒安全評価データとモデルの実証	※第3段階に相当 地点の絞り込みのための手順、および候補地点での調査計画が参考になる。特に海岸近傍での調査ボーリングによる地下水流動モデルの構築技術、および評価技術については貴重な情報である。	・深層ボーリングと物理探査による地下深部地質構造の調査 ・広域から処分場スケールでの水理地質構造の調査

表 5.1-6 IAEAにおけるサイト選定基準  
サイティングプロセスにおける選定基準

	概念及び計画の段階	地域調査の段階	サイト特性調査の段階	サイト確認の段階
目的	<p>サイト選定段階全体の計画を立案すること、および入手できるデータを用い、地域調査段階に於いて対象とする岩種と地質構造の候補を決定することにある。</p>	<p>概念及び計画の段階で同定されたサイティングに関する因子を検討することにより、適切なサイトが含まれることが想定される地域を確認することにある。</p> <p>結果として、対象地域の段階的なスクリーニングがなされ、適切な小規模地域が選定されることになる。</p>	<p>一つあるいは複数のサイト候補地を調査・研究することにより様々な観点、特に安全性の観点からサイトの受容可能性を実証することにある。</p>	<p>以下の事項を目的とする</p> <p>a)望ましいサイト選定の支援、あるいは確認</p> <p>b)詳細な設計、安全解析、環境影響評価、および許認可に要求されるサイト特有の情報の提供</p>
概要	<p>以下の項目を包括した計画を立案する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施すべき業務の決定と内容</li> <li>・さまざまな業務の時系列な工程表</li> <li>・サイト特性調査で適用される指針、あるいは規準</li> <li>・これらの指針、規準適用に当たっての手順の概要</li> <li>・包括的なスケジュール</li> <li>・費用概算</li> <li>・長期の安全性を勘案した最適化</li> </ul> <p>この際、処分施設になる可能性のあるサイトに影響を及ぼす因子を以下の事項をベースに設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・長期の安全性</li> <li>・技術的実現性</li> <li>・社会、経済、政治および環境からの考察</li> </ul>	<p>この段階は、以下の2フェーズに細分される。</p> <p>a)適切なサイトとなる可能性のある地域を確認するための地域分析（地域のマッピングフェーズ）：</p> <p>これは、興味ある地域の設定から始まり、事前調査から得られる地質データや歴史地震のデータ等の入手可能なデータの分析により行われる。</p> <p>b)更なる評価のための候補地点選択のためのスクリーニングフェーズ：</p> <p>このフェーズでは、マッピングフェーズで考慮されなかったより詳細な因子を用いて候補サイトを適切な地域の中に設定する。これらには例えば、重要な地下資源、国立公園等を考慮することも含まれる。</p>	<p>サイト調査段階では、予定する処分施設に関連したサイトのパラメータのレンジと特性を設定するためにサイトの地質、地下水質、環境条件に関する情報を踏査、調査より得る。これには、室内試験、原位置試験および地下を対象とした調査が行われる。</p> <p>さらに、サイト特性調査に関連する輸送、人口統計、社会的な背景等についてもデータの収集がなされる。</p> <p>これらの得られた情報より、予備的な安全評価を行い、そのサイトが潜在的に処分場として適していることを示す。</p> <p>こうした安全評価の結果と処分場建設が受け入れられるかどうかを考慮して、合理的な比較評価を行い、望ましいサイトの同定がなされる。</p>	<p>処分場の建設に先立ち、より詳細な研究調査が行われる。これらは、処分場となるサイトとその周辺における室内試験、原位置試験や地下における調査からなり、これらの情報をもとに放射性核種の移行に関するモデル化がなされる。これらの結果は、選定されたサイトにおける工学的に詳細な処分場の設計と費用算出に用いられる。</p> <p>全ての関連する規準を用いた比較検討により、処分システムが要求される事項の達成可能性を確認し、施設の建設認可に係わる許可を得るための情報を記載した提案書を規制当局へ提出する。この提案書には、サイト調査、特性評価および確認作業の結果をもとに実施される安全評価も含まれる。</p>
規制側で予想される対応			<p>この段階で規制当局より結果が審査され選ばれたサイトが処分場建設地点として適切かどうか、また計画されたサイト確認検討が許認可申請につながるかどうかについて決定されることが想定される。</p>	<p>提案書の内容を全て審査した後、規制当局は、サイトの適切性について決定を行い、全ての必要な要求項目に適合した後、処分場の建設開始の認可が交付されると想定される。</p>

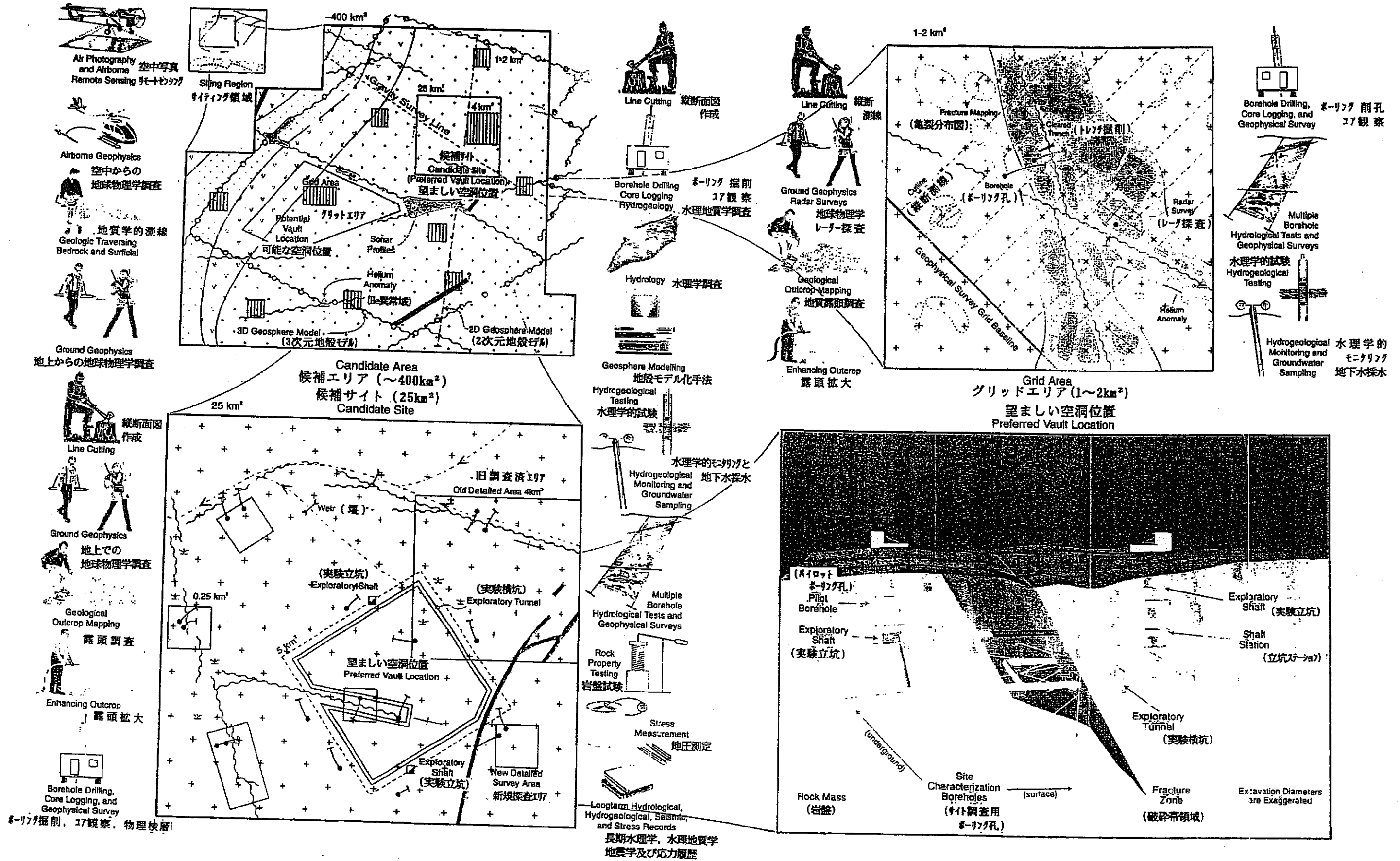


表 5.1-7 (1) IAEAにおけるサイト選定基準  
ガイドラインと必要データ (1/2)

分野	ガイドライン	必要データ
地質条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場の地質条件は、想定される期間中に処分場からの放射性核種の移行を防止するために、幾何学的、物理学的さらには科学的に結合された特性を有しなければならない。</li> <li>・母岩の深さ、面積は処分場を建設するのに十分でなければならず、破碎帯や岩塩ドームの境界のような地質学的不連続面から十分な距離を有しなければならない。</li> <li>・母岩の物理学的特性は処分場の安全な建設、操業、閉鎖、及び長期安定性を保証するために望ましいものでなければならず、この際には、熱特性・ガス移行特性も考慮されなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩、堆積物、土壌の地域的局所的なデータ： これには、構造と地層別のデータが含まれ、物理的、化学的特性についても必要となる。</li> </ul>
将来的な自然の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分システム全体の隔離機能が、容認できないほどの範囲での将来的な地質変動現象（例えば、気象変化、ネオテクトニクス、地震活動、火山活動等）によって影響を受けないような母岩でなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象史とそれを基本とする将来予測</li> <li>・地殻変動の歴史と歴史的な地震活動</li> <li>・隆起、沈降、褶曲、断層等の活動中のネオテクトニクス過程の証拠</li> <li>・活断層、活火山の歴史と活動状況</li> <li>・原位置での応力場</li> <li>・地熱、熱源の状況</li> </ul>
水理地質学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場内の地下水流を抑制し、放射性核種を要求される期間隔離しなければならない。帯水層や亀裂帯などの潜在的な放出経路の同定と水理地質的な希釈能力も評価されなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局所的、地域的な水理環境の把握</li> <li>・母岩の水理地質的特徴（透水係数、動水勾配、間隙率等）</li> <li>・地下水と母岩の物理的、化学的特性</li> </ul>
地球化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトの地質学的、水理学的環境下での物理化学・地球化学的特性は、処分場から地表への放射性核種の放出を抑制するものでなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質学的媒体の地球化学的特性値</li> <li>・地下水化学</li> <li>・岩の放射線化学的、鉱物学的組成</li> <li>・重要核種に対する岩と鉱物の吸着性能</li> <li>・pHとEhを含む化学組成と放射性核種含有量</li> <li>・岩と地下水化学に対する放射線と崩壊熱の影響</li> <li>・岩単位での核種の有効拡散係数</li> </ul>
人間活動より生じる事象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトとサイト周辺での実際と潜在的な人間活動を考慮し、その活動が処分システムの隔離能力に影響し、許容できない結果を引き起こすような可能性を最小化しなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトの近傍における過去と現在の掘削と採鉱作業の記録</li> <li>・サイト周辺でのエネルギーと鉱物資源の算出に関する情報</li> <li>・サイトにおける地表と地下水の将来的な使用予測</li> <li>・地表水域の位置</li> </ul>

表 5.1-7 (2) IAEAにおけるサイト選定基準  
ガイドラインと必要データ (2/2)

分野	ガイドライン	必要データ
建設とエンジニアリング	・サイトの地下と地表の特性は、掘削および地下、地上施設での作業を最適化された計画の適用を容認するものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域の洪水記録</li> <li>・掘削作業中の潜在的に不利な状態</li> </ul>
廃棄体の輸送	・サイトは公衆への放射線被ばくおよび廃棄体の輸送に伴う環境への影響が許容限度内にあるような位置を選定しなければならない。	
環境の防護	・サイトは、技術的、経済的、社会的、環境的な因子を考慮して、環境の質が適切に防護され、潜在的に不利な影響が許容できる程度に低減されるような位置になければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国立公園と野生生態圏</li> <li>・地表水と地下水資源の存在</li> <li>・地表と水中植生および野生生物の存在</li> </ul>
土地利用	適切なサイト選定において、土地利用・土地所有権は、想定地域での起こりうる将来の開発と地域計画とを結びつけて考慮しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地資源および用途とその支配権の存在</li> <li>・関心ある地域の土地利用計画</li> </ul>
社会的影響	・処分場システムを設置することによる社会全体に与える影響が許容されるように、サイト位置は選定されなければならない。ある地域に処分場を立地した場合の否定的な影響を最小化し、肯定的な影響を最大化しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人口構成、密度、分布の動向</li> <li>・雇用分布と経済分野の動向</li> <li>・社会資本</li> <li>・住宅供給</li> <li>・地域の経済基盤の見通し</li> </ul>



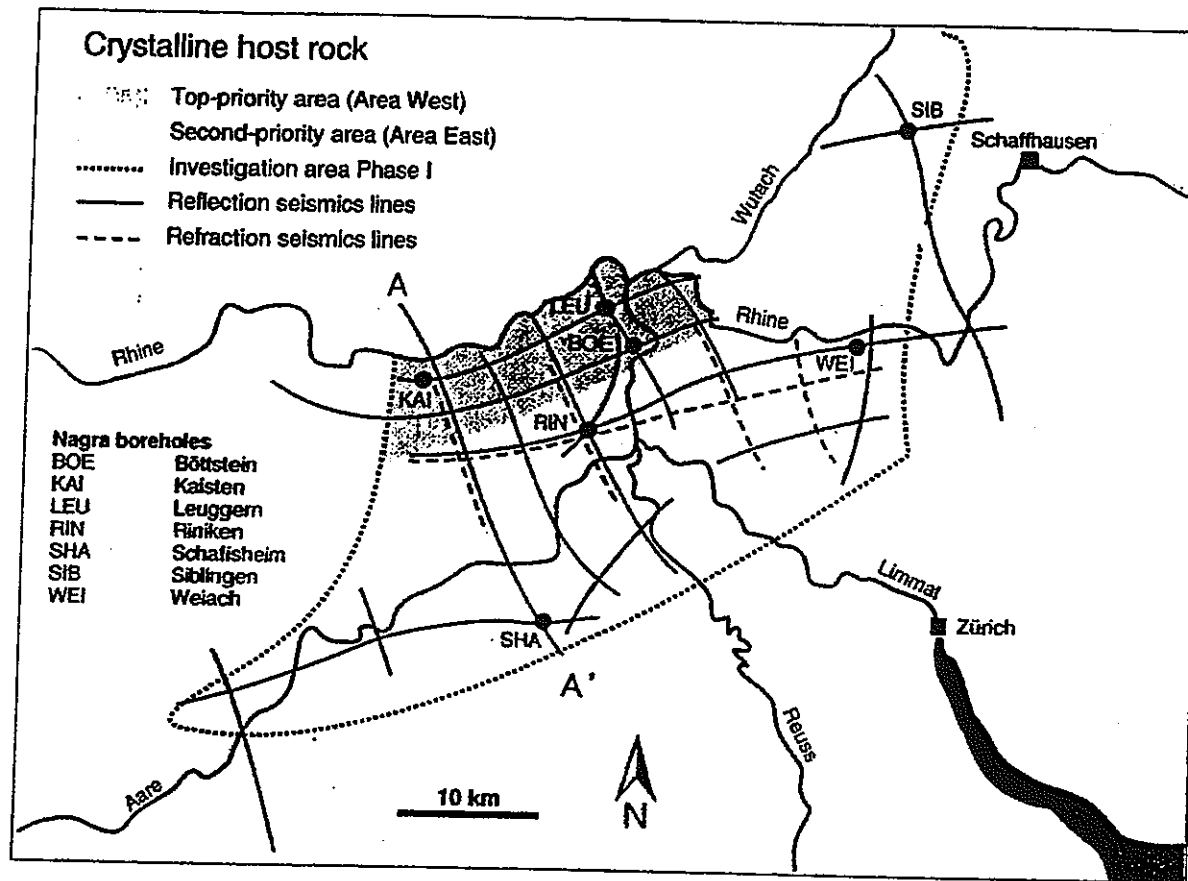
Schematic of Site Evaluation Process

図 5.1-1 サイト評価過程での調査エリア概念

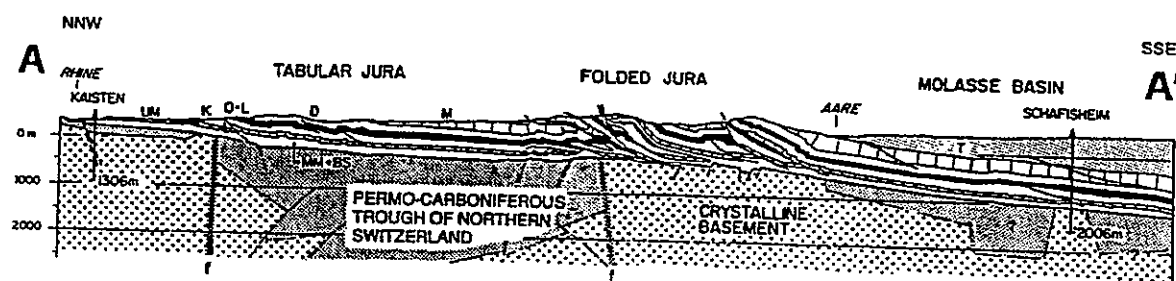
出典: AECL: The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Site Screening and Site Evaluation Technology, AECL-10711, COG-93-1, (1993)

表 5.1-8 調査のステップと目的

調査ステップ		目的
地表からの調査（フェーズⅡ）		
1	地震探査（補足の高分解能の反射法地震探査）	上部堆積層の支脈を伴う大規模断層の配置
2	処分場予定地における一本の鉛直ボーリング	適切な低透水性の岩体が処分場予定位置の適切な深さに存在することを実証する
3	4本の放射状の斜めボーリング、トモグラフィ、孔間透水試験（鉛直ボーリングと同じ位置からの）	基盤岩の特性把握、ある一定規模の断層の特定と特性の把握、低透水性部分の上部境界の特定、処分深度の試設定
4	立坑予定地近傍、予定処分エリアの追加ボーリング（鉛直、斜め）	立坑区域における基盤岩の地質および水理地質的特性の把握 もし必要であれば、追加した断層の特定と特性の把握。その時点で優勢な水道となる断層が見つからない十分な大きさの基盤岩の特定
地下での調査（フェーズⅢ）		
5	処分深度までの立坑掘削。これに先立ち、乱されていない水理場の特性把握と掘削影響把握のためのボーリング	水頭分布の把握、鉱物と温度の基礎的計測母岩の詳細な特性把握。区域にある全ての断層を考慮した岩盤ブロックの幾何形状の把握。レイアウト設計と処分深度決定のためのデータの取得
6	調査、500mの水平ボーリング、トモグラフィ、横坑掘削（もし、立坑が処分区域外の場合、ボーリングと横坑は処分区域の方向に掘削される） ボーリングと横坑掘削は、処分エリアとして十分な大きさの母岩が特定されるまで行われる。	
7	詳細な調査プログラム（ボーリング、試掘坑、原位置試験）処分場の建設に先行し、あるいは同時に行われる。	予測された地質の確認と処分場設計の微調整



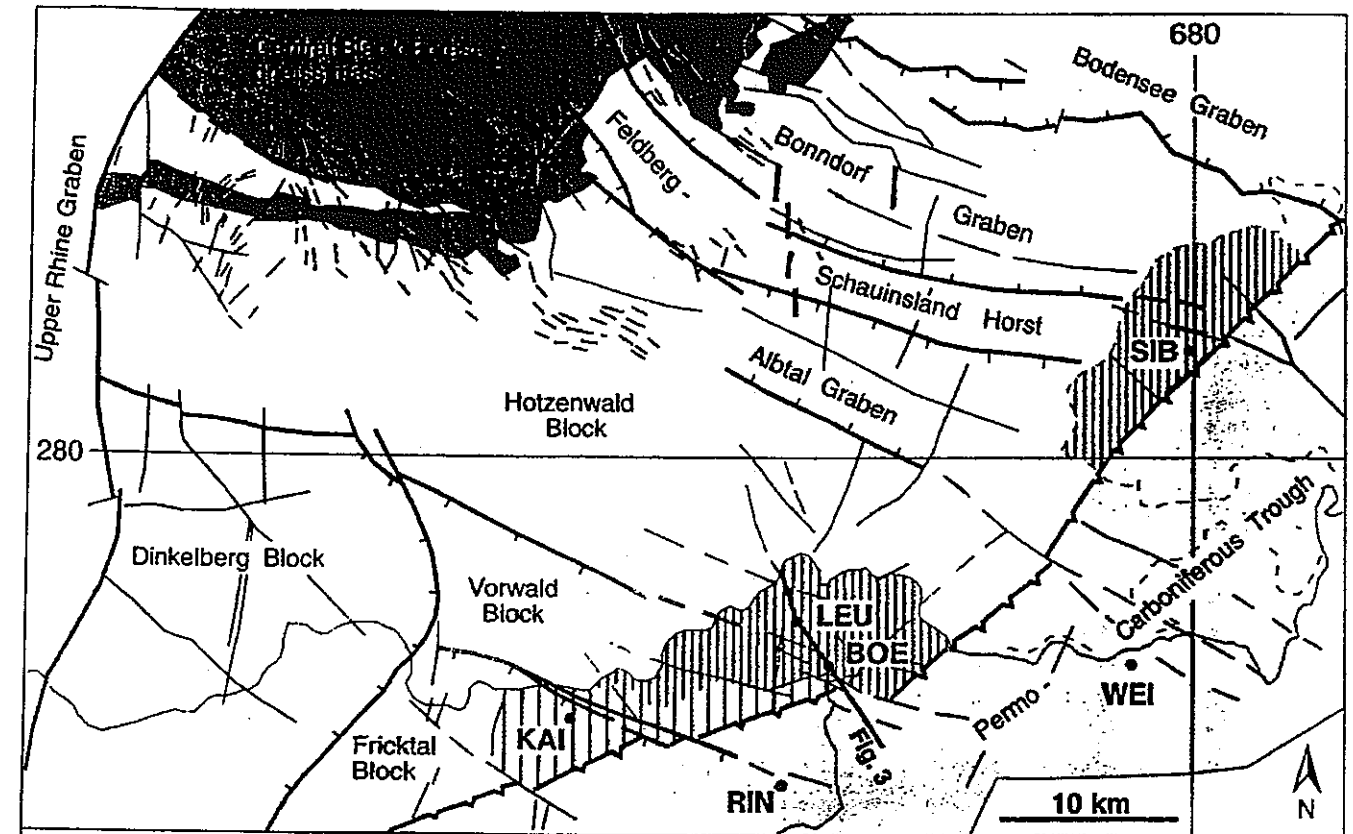
Nagra investigation area with locations of reflection seismics lines and deep boreholes in Northern Switzerland (Nagra boreholes: BOE = Böttstein, WEI = Weiach, RIN = Riniken, SHA = Schafisheim, KAI = Kaisten, LEU = Leuggern, SIB = Sibingen).



T= Tertiary, M= Malm, D= Dogger, O+L= Opalinus-Clay and Liassic, K= Keuper, UM= Upper Muschelkalk, MM-BS= Middle Muschelkalk to Buntsandstein, f= fault / flexure zone

Geological cross-section A-A' (cf. Fig. 2-1a) through the Nagra investigation area along reflection seismics line 82-NF-10. From DIEBOLD (1986).

図 5.1-2 フェーズ I における調査対象区域  
出典 : Nagra: Disposal programme for high-level waste, NAGRA bulletin No.25, p.11, (1995)



構造

- Faults
- /// Porphyry dykes
- || Ore and mineral veins

サイト候補地域

- ▨ Crystalline basement beneath Mesozoic
- ▨ Crystalline basement beneath Permian
- Location of profile (Fig. 3)

結晶質基盤岩

- Upper Rhine Graben
- ▨ Central Black Forest
- Southern Black Forest
- Western Tabular Jura
- Molasse Basin

堆積基盤岩

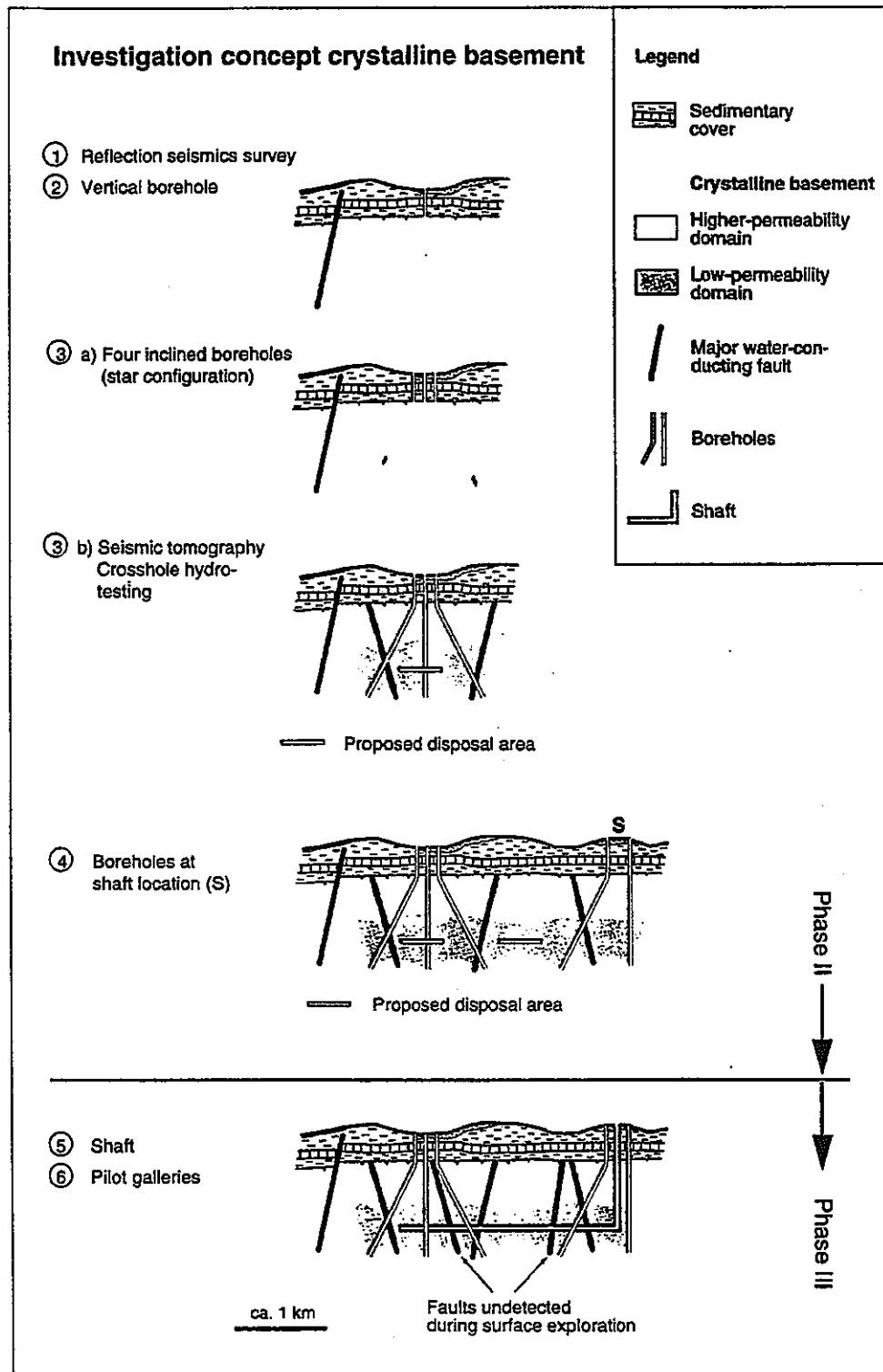
- ▨ Badenweiler-Lenzkirch Zone
- Perno-Carboniferous Trough

ボーリング

- BOE Böttstein
- KAI Kaisten
- LEU Leuggern
- RIN Riniken
- SIB Sibingen
- WEI Weiach

The basement in the region Southern Black Forest-Northern Switzerland (Mesozoic and Tertiary sediments are not shown).

図 5.1-3 フェーズ I の結果選定された区域 (縦線部分)  
出典 : Nagra: Disposal programme for high-level waste, NAGRA bulletin No.25, p.12-13, (1995)



**Proposed concept for further investigations in the crystalline basement in Area West.**

図 5.1-4 フェーズ II, III の調査予定概念

出典 : Nagra: Disposal programme for high-level waste, NAGRA bulletin No.25, p.21, (1995)

表 5.1-9 スウェーデンにおける地質環境調査計画

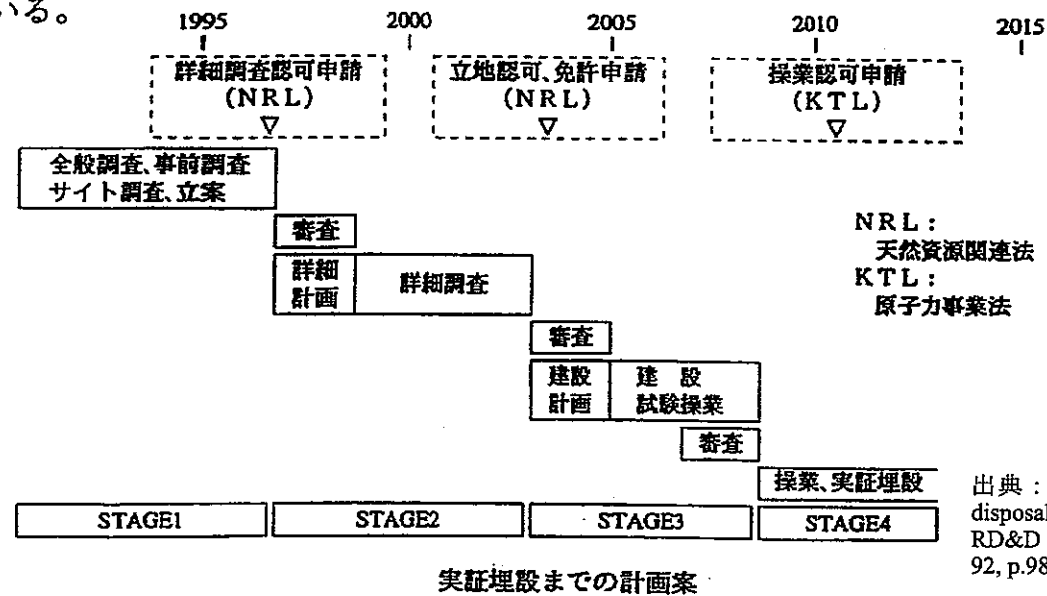
○処分場建設までのプログラム

RD&D PROGRAM 92ではR&D PROGRAM 89で示した最終処分場建設までのプログラムに、実証埋設というプロセスを経る修正を行っている。実証埋設とは処分深度到達後の実処分場小スケール(5~10%)の埋設試験を実施し、その結果により処分場の適否を評価するものである。

実証埋設までのプログラムは以下の4ステージに分けられる。

- ステージ1: 全般研究。立地要件の解析、想定候補地点の実現可能性研究。候補地点の選定。数地点の事前調査。処分場の初期設計。技術的、社会経済的研究。事前調査結果の評価(1サイトの選定)。最初の安全評価に伴う環境影響評価を含む詳細調査認可のための申請。
- ステージ2: 計画処分深度のまでの立坑とトンネル掘削による詳細調査。詳細調査の評価。安全性に関する報告書の作成。環境影響評価。処分場の詳細設計。処分場立地(実証埋設のための)許可、免許申請。
- ステージ3: 取扱/埋設のため必要とされる施設の建設と関連装置の取り付け。最終安全評価報告書の作成。操業許可申請。
- ステージ4: 認可。埋設

これら4ステージのタイムスケジュールを図4.1.3.3-10に示す。実証埋設の結果は2020年までに評価し、その後フルスケールの処分場建設を行い、2040年代には処分場の閉鎖を計画している。



SKB(スウェーデン核燃料廃棄物管理会社)のサイト選定過程では、上記ステージ1に該当する、事前研究(文献等、既存資料)による複数候補地点から、詳細調査(トンネル、立坑掘削による調査)を申請する地点の選定を、地表・ボーリング調査等によるサイト特性調査の評価をもって実施するとしている。そのため、HRL(ハードロック地下研究施設)

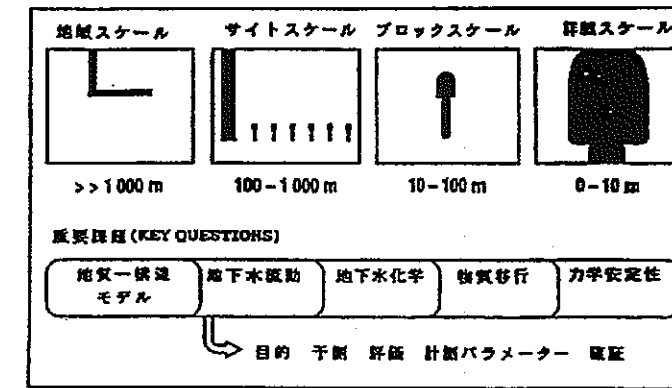
では「事前調査手法の検証」を1つの目標として、これまでSKBが開発してきたサイト特性調査手法、調査機器を地表およびボーリング調査に適用することにより、処分場深度の岩盤の安全性にかかわるデータを取得する可能性の実証を実施している。

○サイト特性調査の考え方

SKBはサイト特性調査をデータの取得から評価を系統的に行う学際的な作業とし、位置づけている。そして、これを容易にするために、以下の3つの基本的判断を示した。

- ①調査ステージ毎の分割
- ②異なったスケールでのサイトの概念モデルの構築
- ③処分場のデザイン、性能評価、安全評価において重要な5つの課題の提示

調査スケールと5つの重要課題を図4.1.3.3-11に示す。ステージ毎の調査結果は、最終的に重要5課題について予測・評価される。HRLにおいて実施された地域スケールの地質・水理・地化学・物質移行・力学的安定性分野に関する調査項目は表4.1.3.3-6に示すものである。



出典: SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 92, p.15, Figure 1-4, (1992)

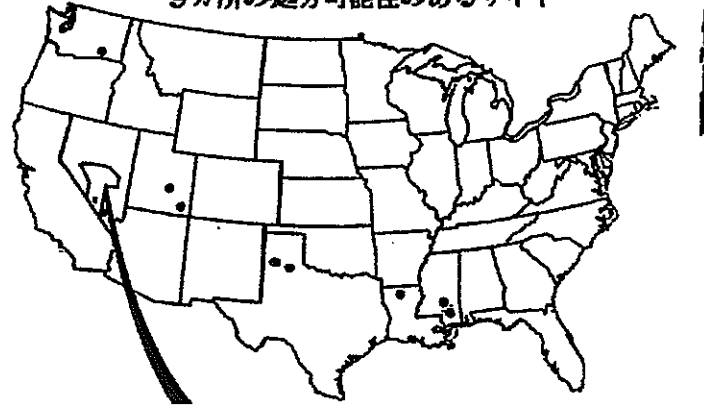
調査スケールと重要課題

HRLにおける各分野の調査項目

分野	スケール	調査項目	手法 / 詳細項目
地質	地域	リニアメント調査	デジタル地形モデル
		空中・地表物理探査	磁気、VLF、スリングラム、屈折法弾性波、重力探査
		岩石物性	密度、固性、磁化率、IP
		地質・構造調査	岩相分布、主要構造帯、割れ目パターン解析
水理	地域	既存データの編集	既存孔井データベースの検索調査
		孔内水理試験	揚水試験、干渉試験、スピナー検層
		モデル解析	水理数値計算モデル
地化学	地域	既存データの編集	既存井の水質データベースの検索調査
		水質調査	浅部孔内水の化学分析、地表水の分析
物質移行	サイト	地下水流動の速度に関する物性等	トレーサー希釈試験 トレーサー移行試験
		モデル解析	水理数値計算モデルの修正(予測モデルの作成)
力学的安定性	サイト	応力データの取得	原位測定(水圧破砕、 $\sigma_v$ - $\sigma_{3T}$ 法) コアの力学試験

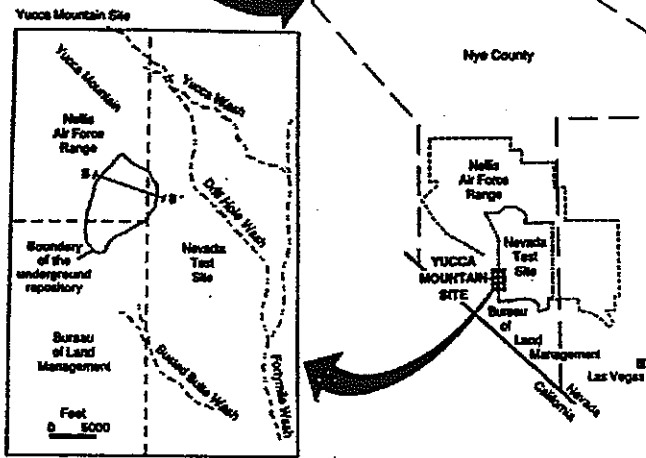
1. 予備的サイト選定段階

9カ所の処分可能性のあるサイト

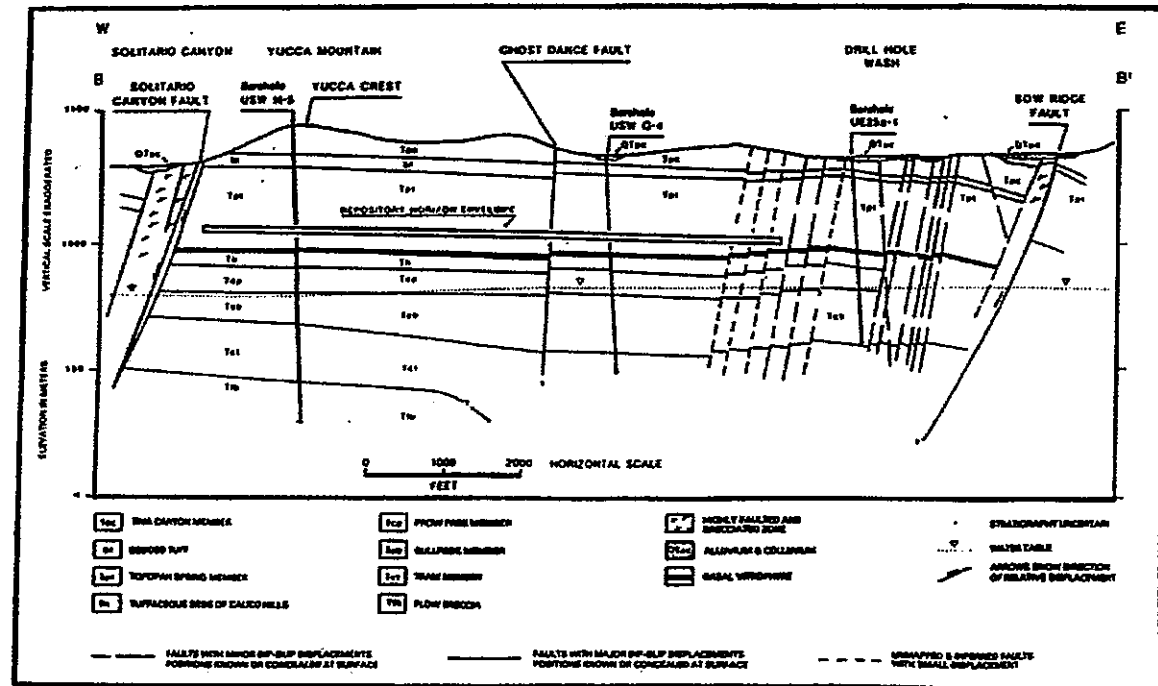


2. 予備的調査段階

Yucca Mountain



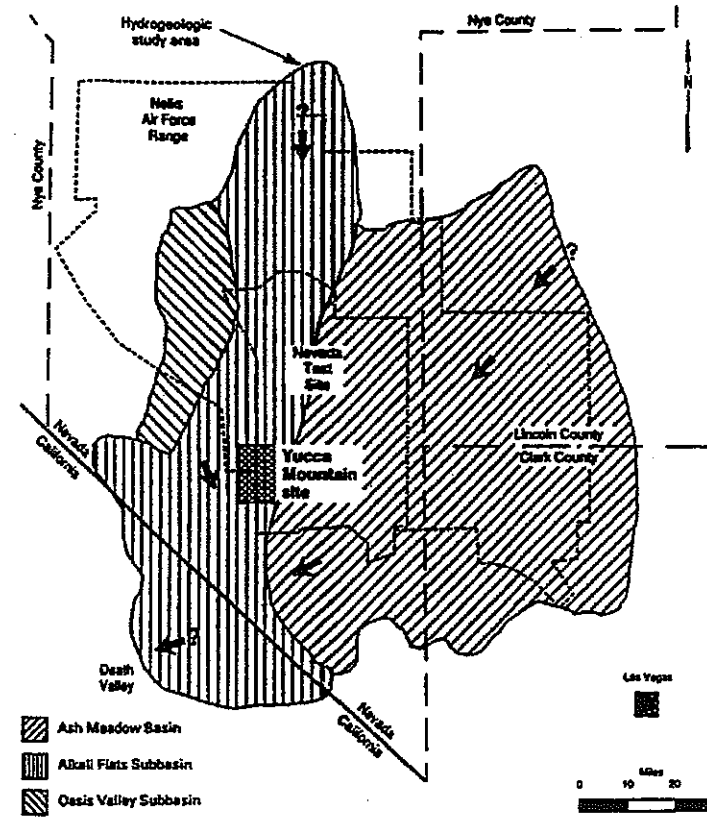
3. 地層処分としての自然環境の適性条件と特徴の調査  
地質概要



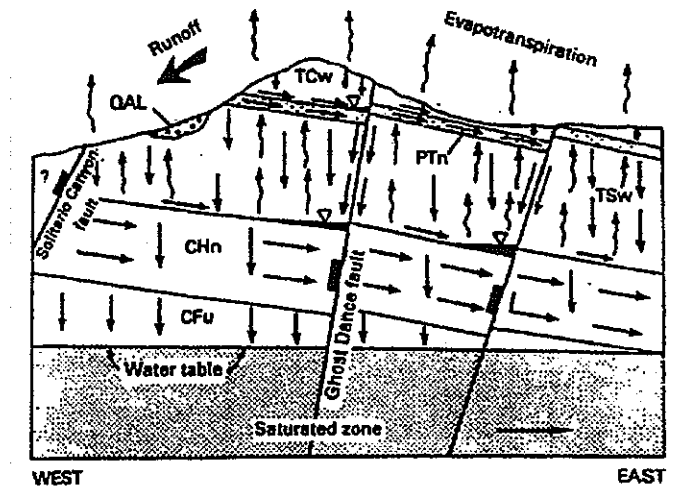
4. サイト特性調査

4. 1 地表からの調査

水平方向の地下水流動



不飽和領域中の鉛直方向地下水流動



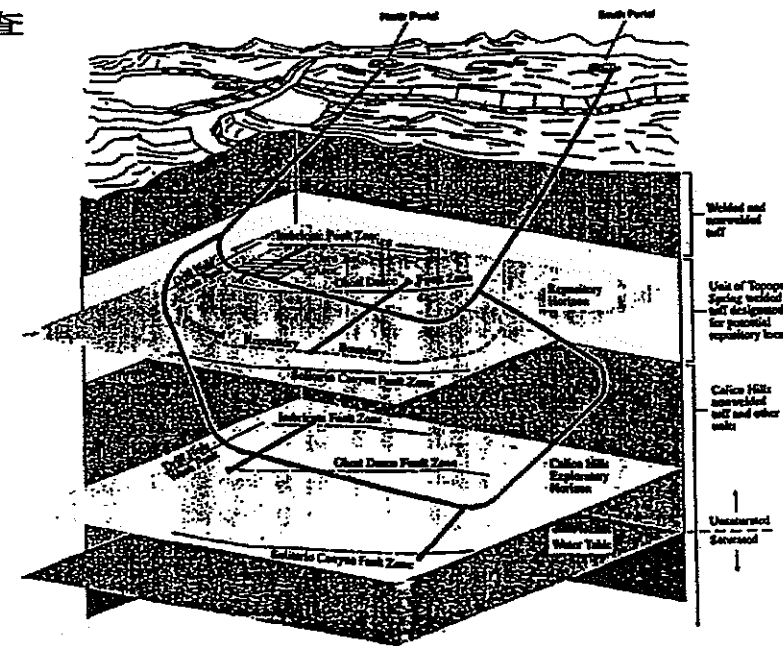
WEST EAST

OAL Alluvium  
 TCW Tiva Canyon welded unit  
 PTn Paintbrush nonwelded unit  
 TSW Topopah Spring welded unit  
 CHn Calico Hills nonwelded unit  
 CFu Crater Flat (undifferentiated) unit

Liquid-water flow  
 Water-vapor flow  
 Normal fault  
 Possible perched-water zone

4. 2 調査坑道での調査

調査施設の全体レイアウト



地下調査施設と試験エリアのレイアウト

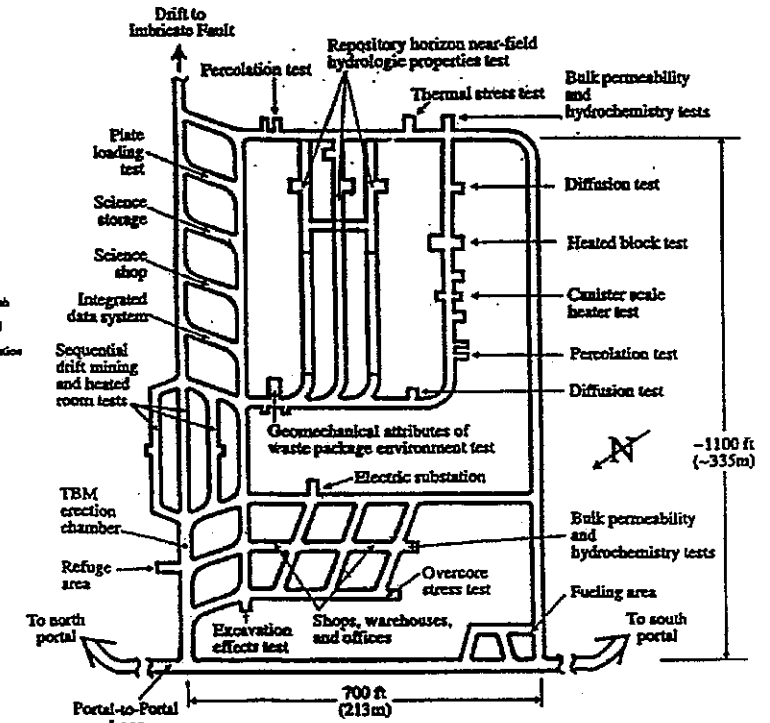
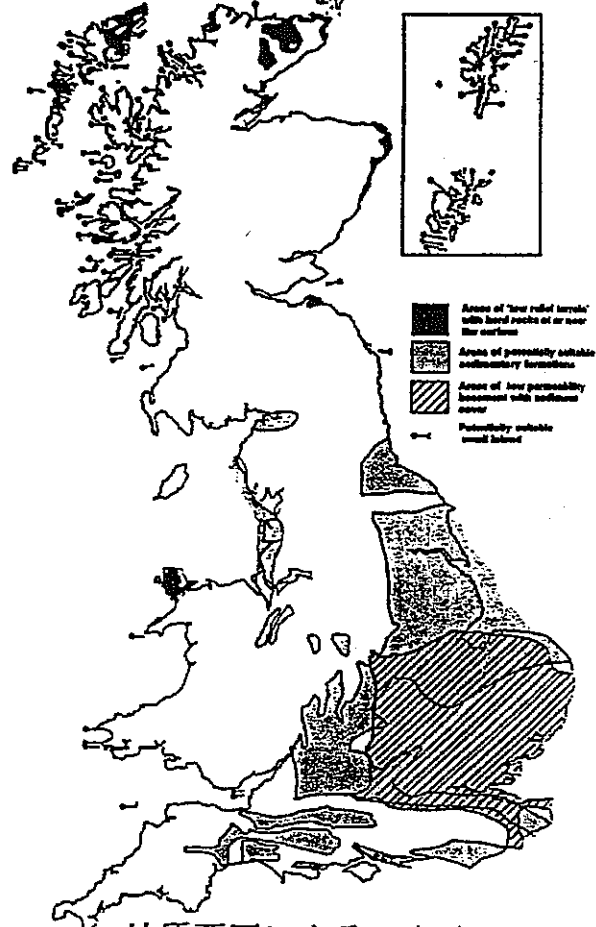


図 5.1-5 各サイト特性調査段階における調査概要

出典 : US DOE: Site Characterization Plan Overview, Yucca Mountain Site, Nuclear Waste Policy Act (Section 113), US DOE, Dec. 1988, p.19,29,30, (1988)

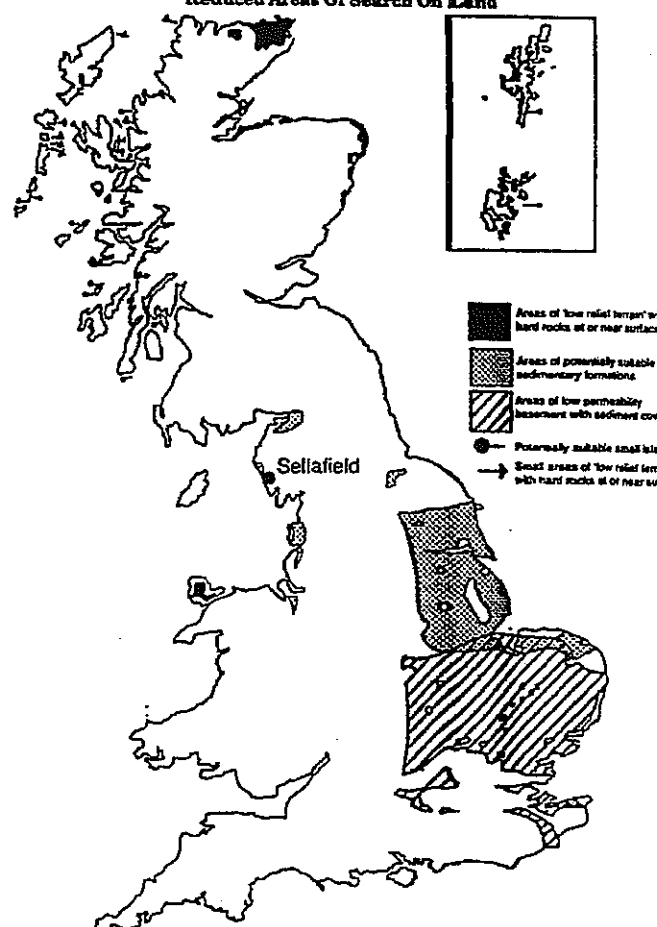


Geological Environments Considered To Have Potential For Repository Development



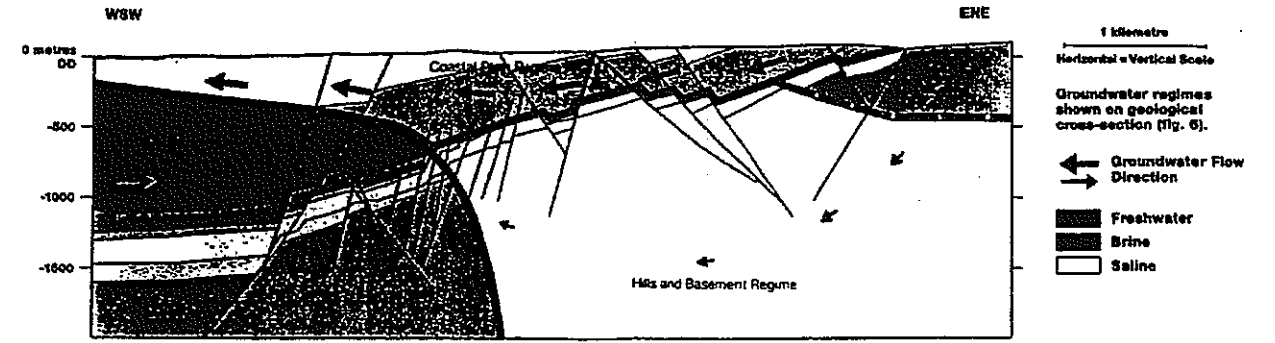
地質要因によるスクリーニング

Figure 6.3 Reduced Areas Of Search On Land

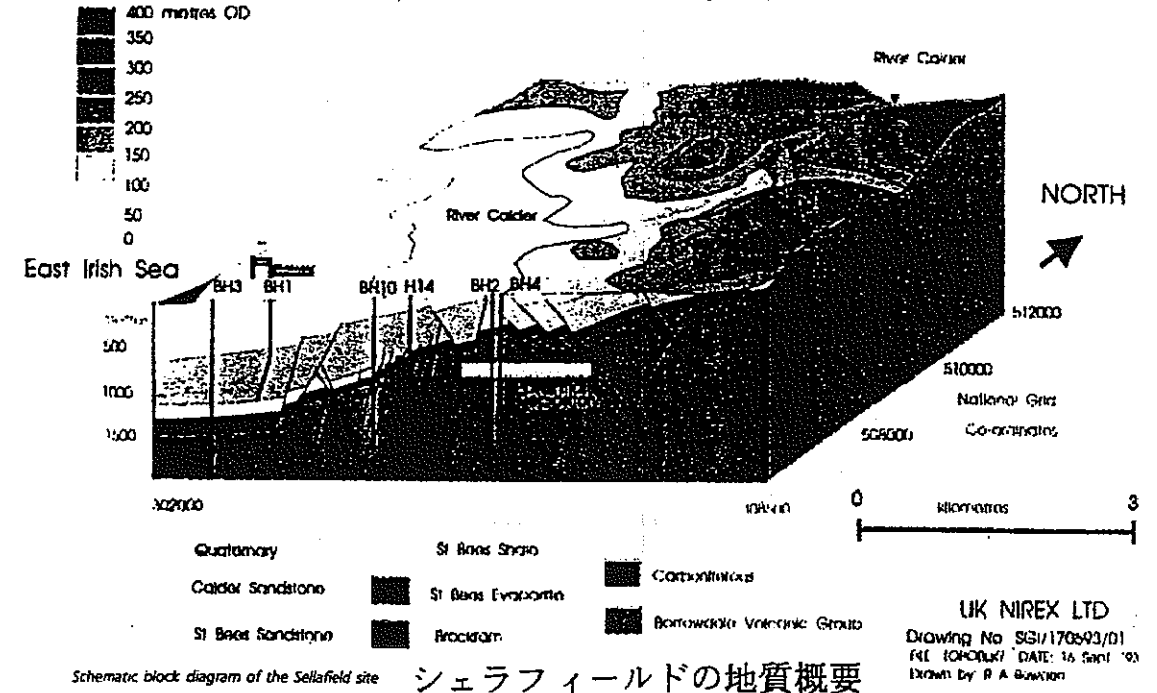


地質・社会的要因によるスクリーニング

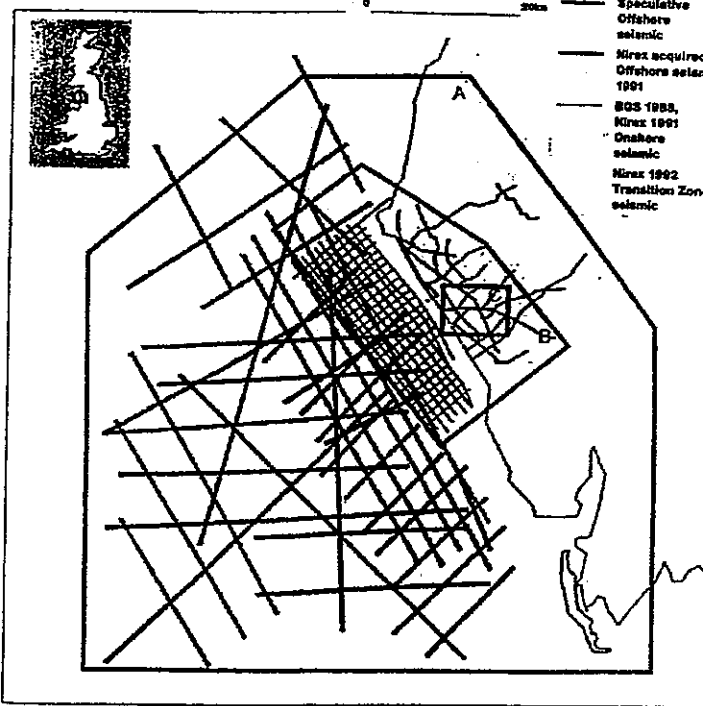
Current conceptual model of the groundwater system in the Sellafield area Figure 13



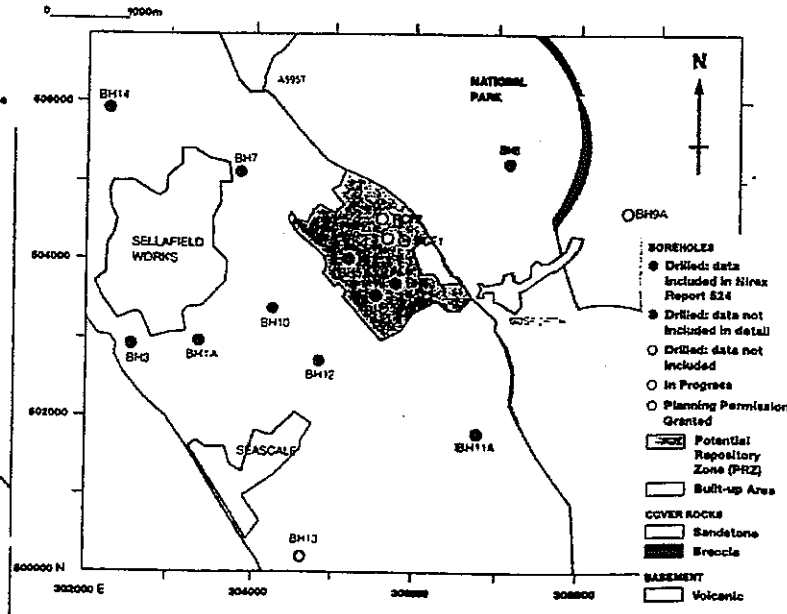
シェラフィールドにおける地下水流動のコンセプト



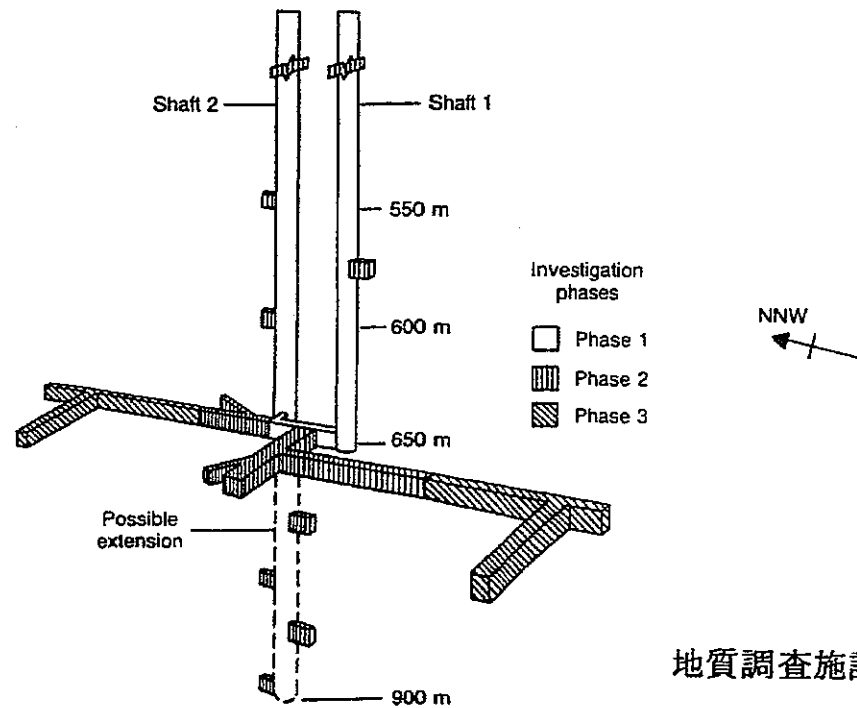
シェラフィールドの地質概要



弾性波探査



サイト調査のためのボーリング位置



地質調査施設概要

図 5.1-6 岩盤特性調査施設に関する調査概要

出典 : UK Geological Society: The Geology and Hydrogeology of the Sellafield Area, Proceeding of the Nirex Seminar, 11 May 1994, p.S2-S5, S11, S39, (1994)

表 5.1-10 各国の地下研究施設での各種試験

	①米 国 Yucca Mt.	②米 国 WIPP	③カナダ URL	④スウェーデン HRL	⑤ベルギー MOL	⑥スイス Grimel	⑦スイス Mt Terri	⑧英 国 RCF
位置付け (役割)	処分予定地 許認可取得のための -詳細調査 -技術の実証 -データの取得 の場	処分予定地 許認可取得のための TRUPACTプラント (25年) →最終処分に移行	研究施設 調査/各種技術の開発と 実証の場	研究施設 実際の処分場で使用する 全ての技術の実証と確立 の場	研究施設 (予定地?) 実際の処分場で使用する 全ての技術の実証と確立 の場	研究施設 調査/各種技術の開発と 実証の場 ノウハウの蓄積	研究施設 調査/各種技術の開発と 実証の場 国際共同研究プロジェクト	処分予定地 許認可取得のための -詳細調査 -技術の実証 -データの取得 の場
(1) 規模	8km斜坑 (被り520m) TBM	650m立坑、4km試験横坑 レズボ・リング、ロードヘッパ	240m、420m立坑 ベンチ発破、SB	4000m斜坑、450m立坑 TBM、SB、レズボ・リング	270m立坑+調査坑道 凍結工法+手掘	既設7kmトンネルからの分岐 する1,000m横坑 TBM (被り450m)	道路トンネルの坑道利用 SB、200m区間 (被り400m) (被り400m)	650m立坑+横坑 (1000m) SB
(2) 岩種	凝灰岩 (Tuff)	岩塩 (2.5億年前)	花崗岩	スウェーデン花崗岩 (17億年前) 水河の影響 1992~	グー・粘土	花崗岩	堆積岩 (Opalinus Clay)	凝灰岩 (Borrowdale Volcanic Group) 水河の影響 1996~
(3) 建設開始 時期	1994~	1985~1998	1984~ステージ I 1988~ステージ II		1984~ステージ I 1986~ステージ II	1984~1996:フェーズ I~IV 1996~2002:フェーズ V	1995~2000 (予定)	
(4) 持主	国/州	DOE	ARECと地元との協定 1981年より21年間借用 終了後、埋め戻し返還	電力会社	国王の領地	電力会社から借用 →20年後返還	借用地 (国) →返還	BNFLの用地
特徴	・酸化雰囲気 ・不飽和層のため複雑な 化学環境 ・過去200万年安定	・ドライ、地下水はブライ ン水のみ ・列-変形大 ・薄いシーム層の存在	・還元雰囲気 ・側圧係数大 (K=4) ・高い地圧、塩水 ・亀裂が少なく	・還元雰囲気 ・海の下 (塩水) ・岩盤は飽和状態	・還元雰囲気 ・列-変大 ・低透水性 (拡散場)	・還元雰囲気 ・7kmトンネルに属する 活動大、複雑な構造 →不連続面評価	・山脈の中腹 ・低透水性 (不飽和)	・還元雰囲気 ・塩水、低透水性 ・割れ目/破砕帯の存在
研究内容 (予定)	○TBM掘削による影響 を調査中 ・地下トンネルでの各種試 験 (予定) ○ヒーター試験/水連成 ○掘削影響 △水理 (パ-コレーション) ○地球化学 △コイド/微生物 □データ取得	・岩質の特性を調査 ○カ-ブ変形 (自己修 復性) ○熱影響 △ガス移行 □データ取得 ○シ-リング	○調査技術の開発と検証 ・240mLでの各種実証 ○掘削影響 △割れ目中の地下水流 動・物質移行 ○シ-リング (予定) ○熱・水連成 (堅置き) △核種移行 (ブ-ロック試験) ○水理行#検証 ○地球化学モニタリング	○調査技術の開発と検証 ・処分を想定した各種実 験を予定 (実証) ○掘削影響 ○熱影響・定置 (予定) ○核種移行 (予定) ○シ-リング (予定) ○水理行#検証 ○地球化学モニタリング	○調査技術の開発と検証 ○施工技術の確認 ・安全評価に必要な各種 実験 ○核種移行 (レ-リング孔内) △ガス透気性 ○掘削影響 (支保工) ○熱影響 ○シ-リング △パ-コレーション △微生物/コイド、腐食	○調査技術の開発と検証 ○施工技術の確認 (TBM) ・安全評価に必要な各種 実験 ○核種移行 ○熱影響 (横置き) △パ-コレーション ○掘削影響 ○シ-リング △パ-コレーション ○地球化学モニタリング	○調査技術の開発と検証 ○掘削影響 △高pHソリューション △ガス ○熱影響 △パ-コレーション ○地球化学モニタリング ○長期挙動	○調査技術の開発と検証 ・Confidence Building のための試験 (予定) ○水理地質学#の検証 □データ取得 ○シ-リング ○掘削影響 △パ-コレーション ○地球化学モニタリング ・最適化を目指した試験
留意事項	・処分場の一部として併 用 (斜坑、坑道共) ・処分場と同一工法を適 用 ・火山、地震活動の影響 による地下水面の上昇	・処分場と別区画に実験 エリアを設定 (立坑は兼用) ・ブライン水の影響評価	・高い地圧のため、当初 の定置概念と異なる概 念の建設性を確認 (in-room方式) ・近くに高い透水性が 存在する (800L/min) ・要素技術開発のため研 究は単発的	・高透水性の存在 (5l/min) →止水がラフ ・処分地適用を目的に統 合化された実証実験を 展開	・将来処分場となる可能 性大 ・長期モニタリングによる各 種実証試験を展開	・隆起量 1cm/year ・処分場にはならない ・各種技術/フェーズの検証 ・検証の場として利用	・国際共同研究の場 ・堆積岩系唯一の研究の 場として要素技術の開 発と検証	・同一エリアであるが処 分場と別区画に建設さ れる (各種実証実験を展開す るため場を乱す可能性 があるため)

(SB: スム-スプレッティング、TBM: トンネル-リング機)

○: 共通して実施されている試験、△: 場の特有の試験、□: 許認可上のデータ収集、◎: 最も特徴的な試験

各国で共通している  
試験

- ・ 調査技術の開発と  
検証
- ・ 掘削影響試験  
→ 予測技術の  
実証
- ・ 地下水流動試験  
→ 水理モデルの  
実証
- ・ 人工バリア定置/  
熱試験  
→ 設計・操業技  
術の実証
- ・ シーリング試験
- ・ 核種移行試験

独自の技術の確立、  
評価に対する  
Confidence Building,  
許認可対応

表 5.1-11 (1) HRLにおけるプログラム (その1)

プログラムの大項目	プロジェクト	目的	内容	備考
<p>I. FINALIZATING DETAILED CHARACTERIZATION METHODOLOGY                      詳細な特性調査手法の最終プログラム</p> <p>使用済み燃料の深地層処分のための詳細特性調査の目的</p> <p>－可能な安定した処分場規模の建設性を確認する。</p> <p>－深層処分場建設の許認可取得に必要な安全評価のための十分なデータを準備する。</p> <p>－人工バリアおよび坑道の幾何学的な形状に関して、処分場の最適化のためのデータを準備する。</p>	<p>ZEDEX                      掘削影響領域の研究</p>	<p>○掘削工法への依存、岩盤の起源、性質、物性値の変化量に関してEDZの機械的挙動の精度の良い評価</p> <p>○影響領域の水理的特性解明をサポートする研究の実施</p> <p>○EDZの物性値を測定する装置・手法の開発と確認</p>	<p>深度420mレベルに位置する2本の平行な坑道を利用して実施。坑道はそれぞれ長さ40m、直径5m円形であり、TBMおよび発破工法で掘削されている。</p> <p>多くの探査ホールドが掘削事前に配置され、影響領域内における物性値を測定し、解析による予測結果と比較検討する。</p>	<p>次頁図参照</p>
	<p>岩盤モデルの可視化システムの開発</p>	<p>○岩種や不連続面（フラクチャ-リ-ン）に関する岩盤の主要な構造をコンピュータモデルによりシミュレートとする3D-CADシステムの構築</p> <p>○地下施設を岩盤の状態に適合した配置にするための3D-CADシステムの構築</p> <p>○調査結果や既存ホールド、計画ホールドや地下施設を異なるスケ-ルでシミュレートする3D-CADシステムの構築</p> <p>○プロジェクトのデータ-ベースから情報をアップデートし、効率的にコンピュータモデルを作成するシステムの構築</p>	<p>HRLでの各種試験、及び事前調査から確認調査までのワンスルーの研究をベースに、地質・地質構造を特定の調査結果から推測しモデル化する。</p> <p>すでに開発された3D-CADシステムに、処分場のレイアウト設計に必要なソフトを組み入れ、HRLの進展に伴いシステムの検証と確認を行うことにより、技術の確立をはかる。</p>	
	<p>地下における計測のための水理試験装置の開発</p>	<p>○将来の深層処分場で実施するであろう水理試験装置の開発と実証</p>	<p>技術的かつ経済的な制約をベースに、現在まで実施された地下での試験経験を踏まえ、目標とする試験装置を開発・準備し、原位置においてその検証と適用性を確認する。</p>	
	<p>詳細な特性調査のための調査手法の開発</p>	<p>○詳細調査への手法の適用性に関して、現時点で不確実性がある既存、あるいは新しい手法の試験を行う。試験の対象とする手法は深層処分場計画内の詳細特性調査方策上の可能性をベースに選択</p>	<p>例えば、弾性波やレーダーを用いた手法の場合には手法の適用性と共に、異なるトンネルやホールドの配置への適用性を評価する必要がある。また、SKBが使用しておらず流通されている技術についても適用性試験の対象とする。</p>	

表 5.1-11 (2) HRLにおけるプログラム (その2)

プログラムの大項目	プロジェクト	目的	内容	備考
<p>2. TEST OF MODEL FOR DESCRIPTION OF THE BARRIER FUNCTION OF THE ROCK 岩盤のバリア機能評価のためのモデルの試験プログラム</p> <p>処分場周辺岩盤は、放射性核種の生物圏への放出への天然バリアを構成する。岩盤の最も重要な機能は、長期の化学的・力学的安定性および微少な流速という意味での限られた核種の移行を保証することにより人工バリアを保護することである。安全評価においては、岩盤のバリア機能は単純化したモデルにより表現される。このプログラムの当面の目標は、単純化したモデルの有用性・現実性の評価、そしてモデルを含めたパラメータ同定手法・試験の開発を目的とした検討が含まれている。</p>	<p>TRUE トレーサーの保持機能の解明試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○割れ目系岩盤内の核種移行および保持についての知見の集積</li> <li>○モデル概念についてその有用性、現実性を評価</li> <li>○移行に関する重要パラメータを決める手法の開発</li> <li>○原位置にて重要パラメータの取得</li> </ul>	<p>TRUEプログラムは幾つかの段階で実施される。詳細な計画は第1ステージの評価が終了した時点で決められる(1997年始め) 第1ステージは既存坑道から10-20mの距離に位置する割れ目あるいは割れ目帯の特性調査を実施し、異なる境界条件で非吸着性の数種のトレーサーを用いたトレーサー試験を実施する。</p>	<p>次頁図参照</p>
	<p>REX マトリックス試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○岩盤と接触する酸素による反応を定義する</li> <li>○酸素の還元メカニズムについての知見の取得</li> <li>○水を導く割れ目内の岩盤鉱物に接する酸素の還元反応の定量化</li> </ul>	<p>研究は酸化水が岩盤との反応が容易な室内試験により始められる。室内試験の結果から、エスベでの原位置試験のパラメータが決定される。</p>	
	<p>核種保持に関する研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○モデルの検証および地下水への核種の溶解、放射性分解の影響、燃料の溶出、鉱物表面への吸着、岩盤マトリックスへの拡散、埋戻し材中の分散、破壊したキャニスターからの移行、個々の割れ目への移行への寄与に用いられる定数の照合</li> <li>○核種の吸着および溶解の自然減少状態の影響評価</li> <li>○天然のヨウ素、フミン酸およびフルミン酸における核種移行への地下水の影響評価</li> </ul>	<p>原位置で様々な核種の保持機能を測定するホアホール・プローブ、CHEMLABを開発し、岩盤内の地下水の物性を計測する。 機器は原位置試験の事前に雰囲気制御された実験室にて試験され、検証された後に適用される。</p>	<p>次頁図参照</p>
	<p>水理化学のモデリングの研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○将来可能性の高い地下水システムへの変化のより良い解釈を明らかにし、水理化学モデルの統合のための手法の開発を行う</li> </ul>	<p>モデリングの研究は、ISAPプロジェクトに参画しているモデリンググループにより実施される。研究はISAP事前調査段階で得られた調査結果をもとに実施される。</p>	
	<p>地下水からのガス溶出と二相流の研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○地下水からのガス溶出の広がり、水理定数測定結果に与える影響評価</li> <li>○岩盤中への空気の侵入および蒸発を対象として、トネルおよび岩盤空洞周辺の二相流プログラムの研究</li> <li>○閉鎖後の再冠水に要する時間の測定</li> <li>○原位置における飽和度の測定装置の開発</li> </ul>	<p>異なる水圧時におけるホアホールでの流量測定により、ガス溶出による岩盤の水理定数変化を観察する。</p>	<p>次頁図参照</p>

表 5.1-11 (3) HRLにおけるプログラム (その3)

プログラムの大項目	プロジェクト	目的	内容	備考
<p>3. DEMONSTRATE TECHNOLOGY FOR AND FUNCTION OF IMPORTANT PARTS OF THE REPOSITORY SYSTEM 処分システムの重要部分の機能および技術の実証</p> <p>HRLは長期的安定性に関して重要となる深地層処分場実規模の様々な構成要素についての試験・調査・実証が可能である。深地層処分場の設計・建設・操業が高い品質の元の実証できることを示す。</p>	埋戻し材の試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>○坑道の埋戻し材についての施工性、品質確認の評価</li> <li>○実験規模の処分場試験に用いる埋戻し材選択のための基礎データ収集</li> <li>○定置およびブライクの設計についての知見取得</li> <li>○各ブライクの形式の力学的・水理的機能の評価</li> <li>○埋戻しに伴うEDZの水理定数についての知見取得</li> </ul>	<p>発破工法で掘削されたZEDEX坑道において、異なる種類の圧縮ベントナイト材を用いて実施される。坑道奥では、TBMのズリをそのまま、あるいは適度の大きさに整形したものを埋戻し材とした試験を実施する。また、坑道入り口にはブライクを設置する。</p> <p>埋戻し材、周辺岩盤には施工中、施工後の状態をモニターするために間隙水圧、変位、飽和度等の計測器が設置される。</p>	次頁図参照
	実験規模の処分場	<ul style="list-style-type: none"> <li>○科学的な知見や現状の技術を実際の処分場に適用できることを工学的に実証</li> <li>○関連基準に関して満足した品質をもって処分手順が可能であることを提示</li> <li>○実験規模の処分場を対象とした総合的な性能の確認</li> <li>○設計手法、建設、処分孔の掘削、コアホールドの特性、埋戻し、ブライク、モニタリング、回復性の確認</li> </ul>	<p>-450mレベルのTBMトンネル内に実証規模の処分場を建設する。予備計画では、4本のフルスケールの処分孔を6m間隔でKBS-3概念で行うとしている。</p> <p>TBMトンネルの2本の処分孔は完全に埋戻される。トンネルブライクは内径2.5mとなるスチールチューブにより分けられている。スチールチューブとブライクは水圧や膨潤圧に抵抗するよう設計されている。スチールチューブには、埋戻し材・緩衝材のサンプリング、処分孔近傍の変位・飽和達成までの時間の測定装置のための空間が用意されている。</p>	次頁図参照
	埋戻し材の性能の長期試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>○深地層処分場の環境下での長期間(20年以上)のベントナイト性能評価</li> <li>○メタタイトからイライトへの変化、高pH.の影響に関する室内試験結果の確認とモデルの実証</li> <li>○深地層処分場環境下で起こりうる可能性はあるが、定量的に評価できない事象の排除</li> </ul>	<p>ベントナイトの性能の長期試験は約300mmの直径の4-7m深度のボアホールで実施される計画である。ボアホールでは温度、圧力、熱伝達率、飽和度の測定が行われる。</p> <p>緩衝材はMX-80ベントナイトを用いて実施され、最高温度は100度となるように計画されている。</p>	次頁図参照
	TBMによるトンネル掘削中の割れ目誘発(fracturing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○結晶質岩盤における機械掘削に関連した掘削断面周辺岩盤の物性を支配する割れ目発生モデルの開発</li> </ul>	<p>これまでの室内試験(indenters)により機械掘削による割れ目発生概念モデルが準備されている。室内試験の手法およびTBMトンネルのコアサンプルの検証研究により、概念モデルをブラッシュアップしたものとする。</p>	
	コアホールドのレイアウト	<ul style="list-style-type: none"> <li>○キャニスター定置の対象となる処分坑道の長さを決定するため、各段階で得られる地質、岩盤の力学的な挙動、水理地質そしてその他の情報に基づく統計的な手法を開発する</li> </ul>	<p>最初のフェーズでは、安定的なキャニスターの本数を決定するために、力学的安定性、化学的な還元環境、微小流速の条件下の岩盤ブロックが、どの程度必要となるか研究する。</p>	
	グラウト工法の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>○中規模の厚さ、広がりをもつ高透水性の不連続面、および多くの湧水を伴う不連続面を対象としたグラウト補強工の技術・ノウハウの実証</li> </ul>	<p>グラウトの性能評価を目的として、水理試験手法の開発が計画された。HRLにおける制御された条件下で、装置の開発が行われる。</p> <p>原位置試験では、グラウト中の物質移行に関しても調査が実施される。</p>	

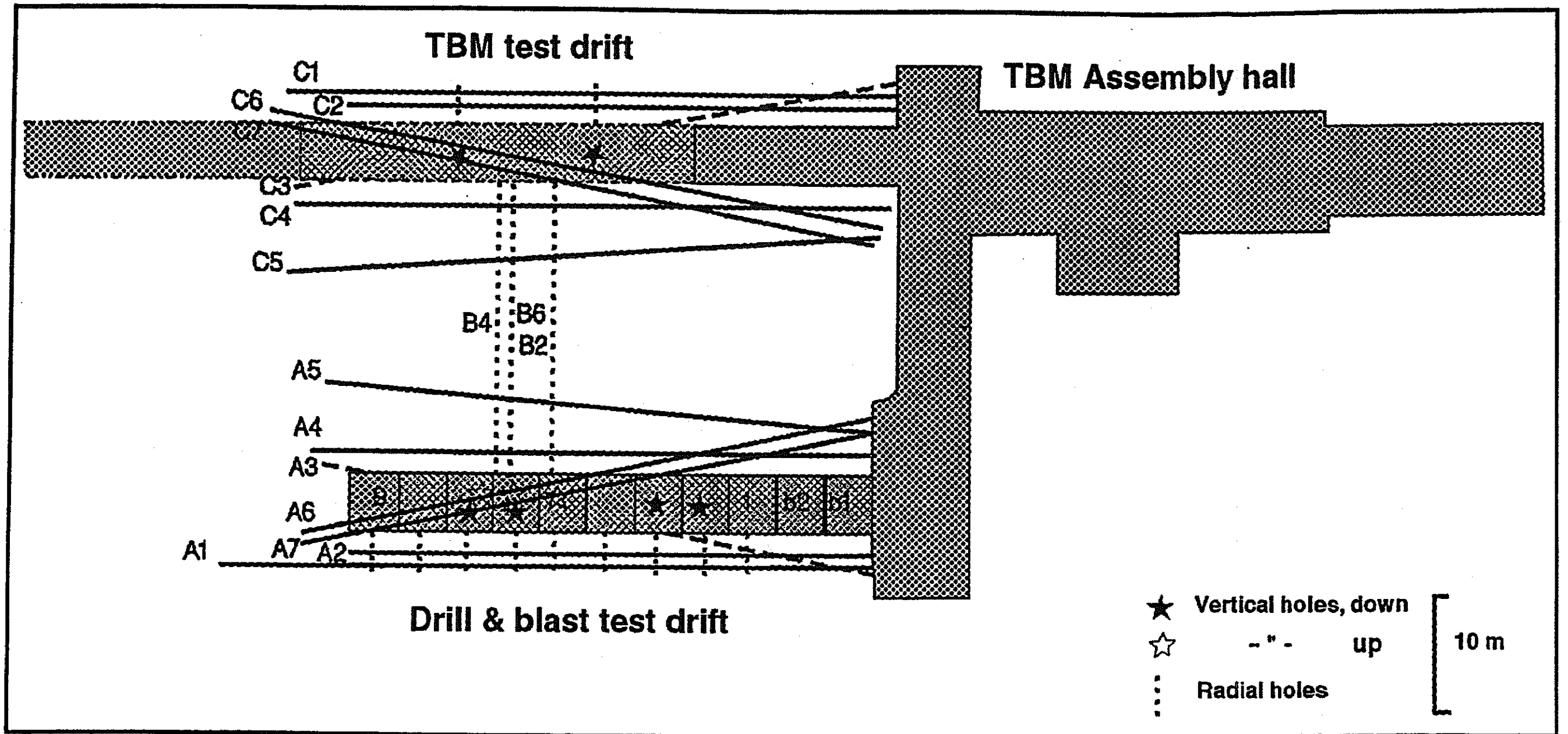
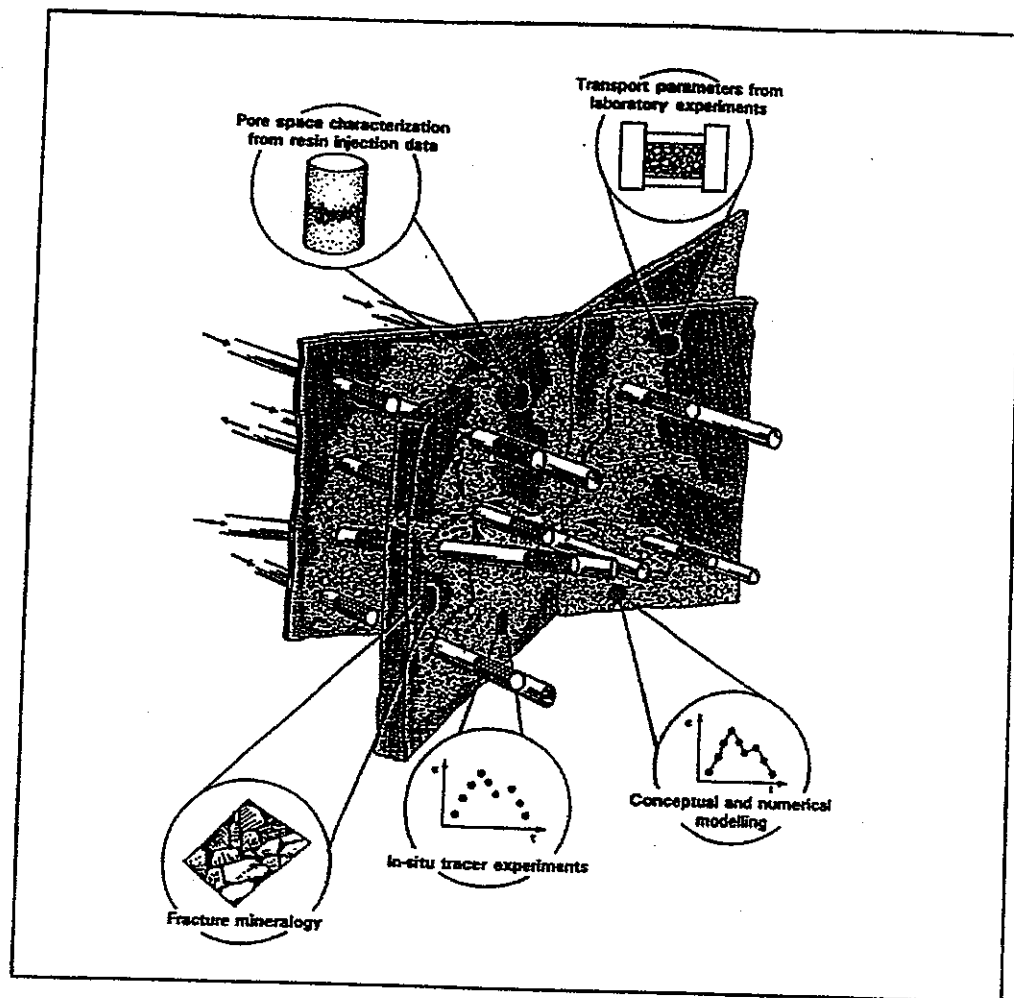


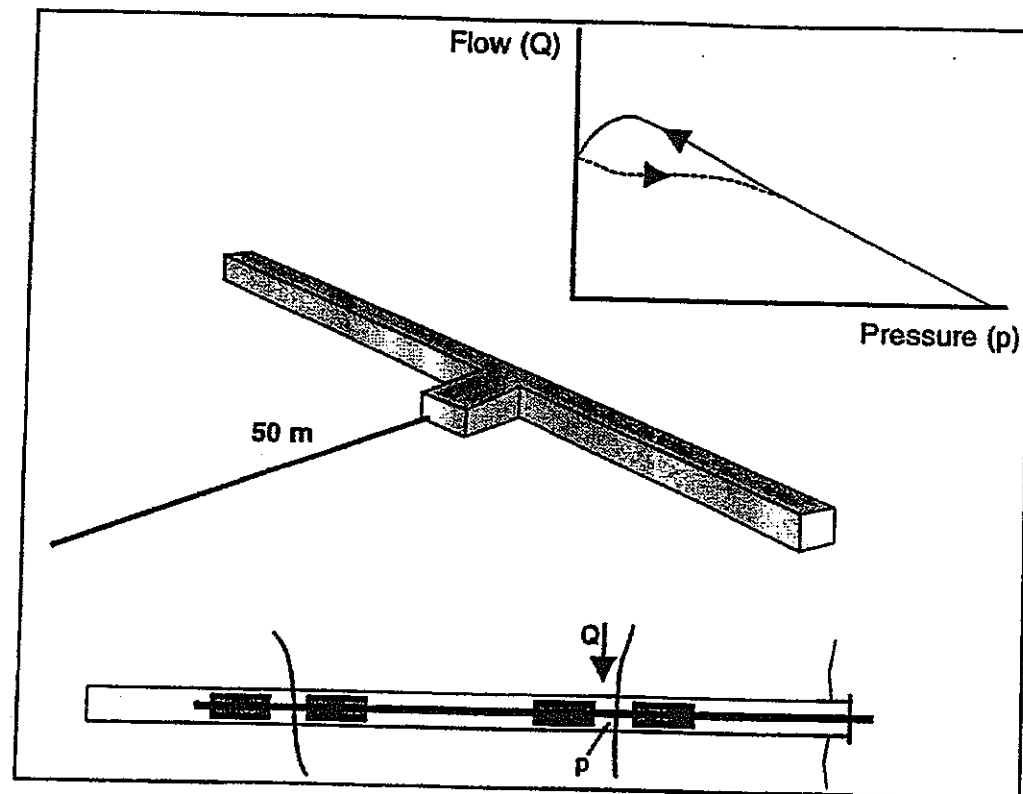
図 5.1-7(1) 表 5.1-11 の説明付図

Location of the ZEDEx Project's experimental tunnels and exploratory boreholes.

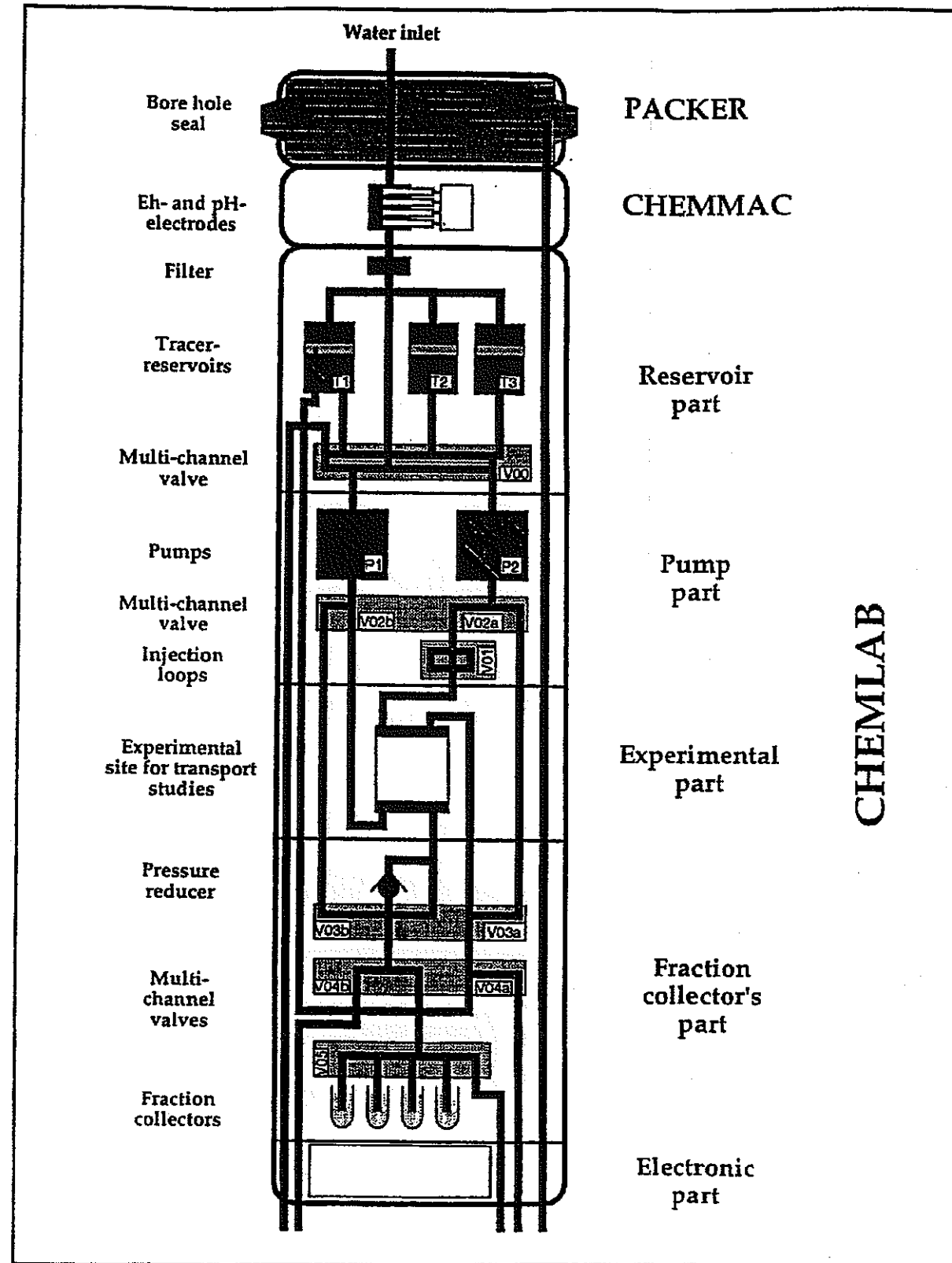
出典 : SKB: ASPO HARD ROCK LABORATORY 10 YEARS OF RESEARCH, SKB, p.75, (1996)



Schematic illustration of TRUE.



Principle for study of the influence of degassing of groundwater in boreholes. The graph indicates expected results if the hypothesis is correct.



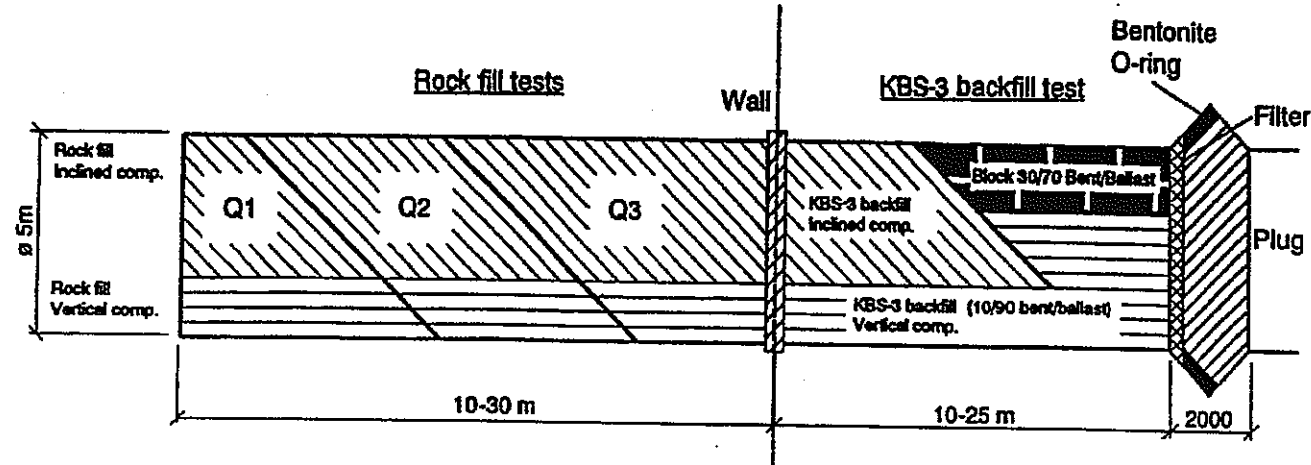
Schematic illustration of the CHEMLAB probe.

図 5.1-7(2) 表 5.1-11 の説明付図

出典 : SKB: ASPO HARD ROCK LABORATORY 10 YEARS OF RESEARCH, SKB, p.80, 82, (1996)

# ÄSPÖ HARD ROCK LABORATORY - BACKFILL AND PLUG TEST IN ZEDEX DRIFT

## Overview and processes



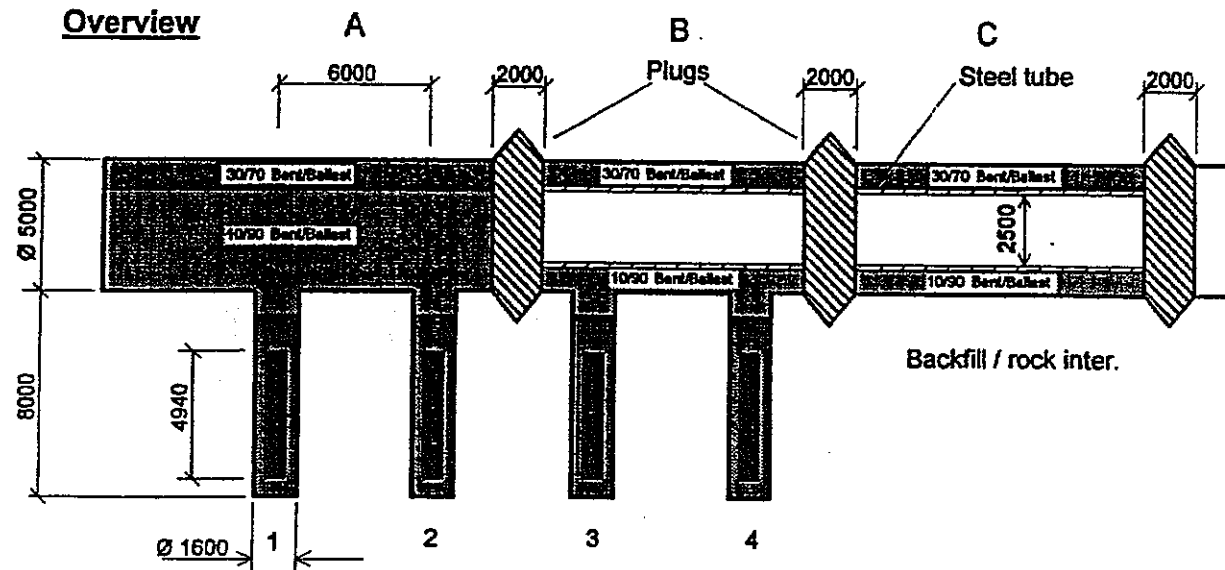
Scientific processes  
 Engineering processes

HM Interaction backfill/rock EDZ  
 Backfill emplacement  
 Backfill compaction  
 Quality control

Overview of the test configuration for the backfill and plug test and the processes to be studied.

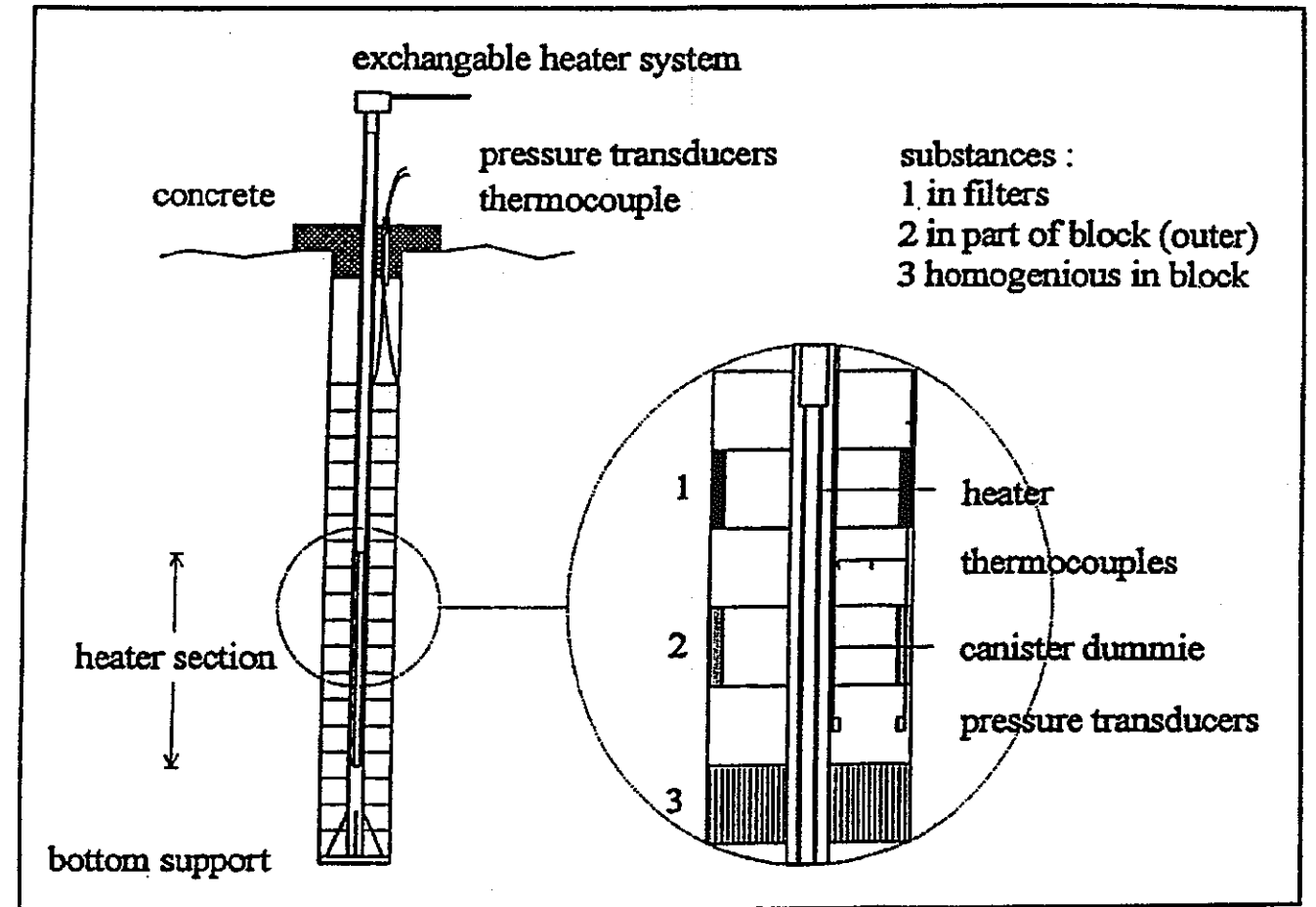
# ÄSPÖ HARD ROCK LABORATORY - PROTOTYPE REPOSITORY

## Overview



T=80°C	T=80°C	T=80°C	T=80°C	Legend: $\rho_m$ = density at water saturation $S_{ri}$ = initial degree of water saturation
$\rho_m = 2.0 \text{ t/m}^3$	$\rho_m = 2.0 \text{ t/m}^3$	$\rho_m = 2.0 \text{ t/m}^3$	$\rho_m = 2.0 \text{ t/m}^3$	
$S_{ri} = 90\%$	$S_{ri} = 40\%$	$S_{ri} = 40\%$	$S_{ri} = 90\%$	

Preliminary design of Äspö prototype repository.

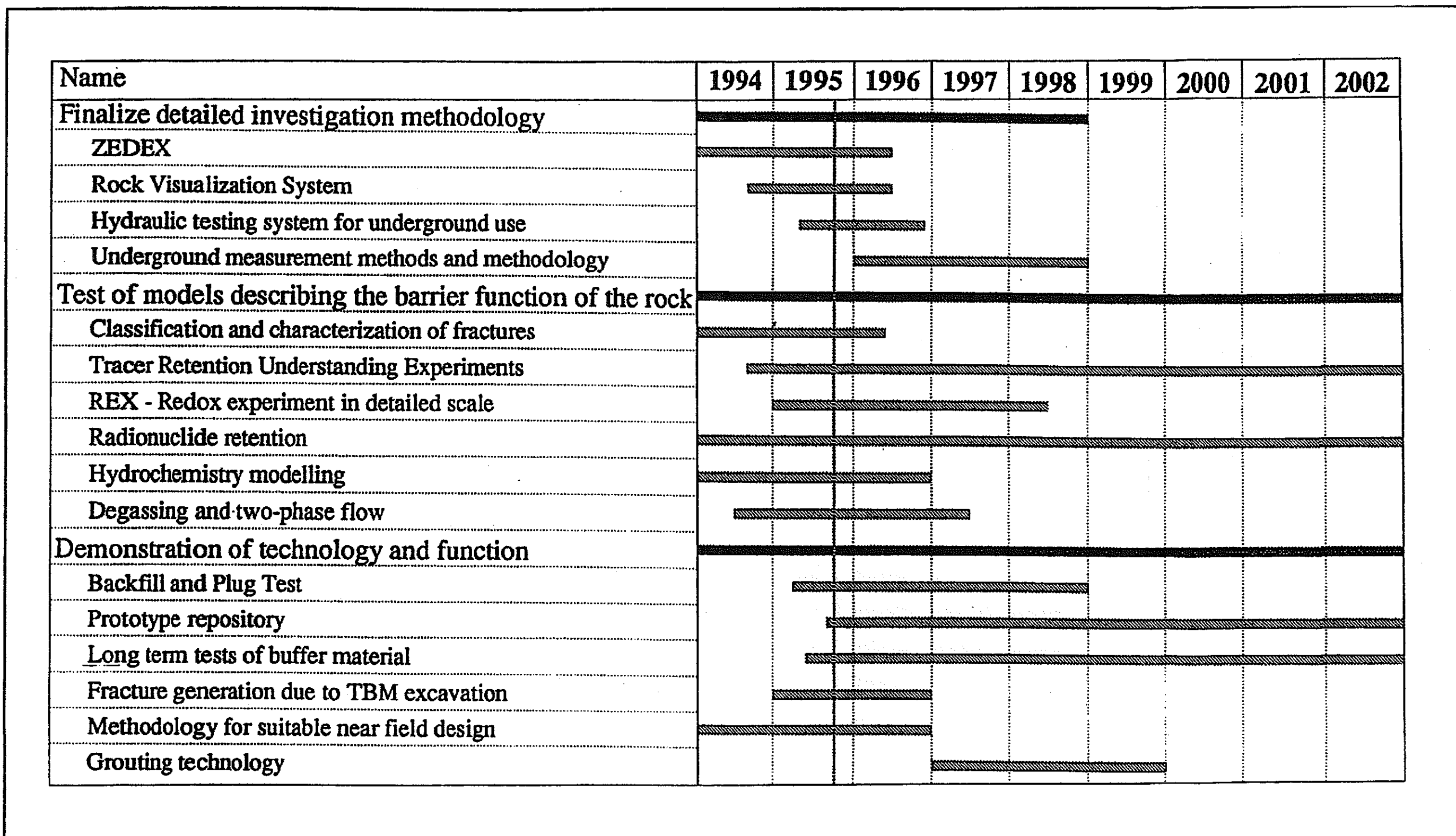


Preliminary design of long-term tests of bentonite performance.

図 5.1-7(3) 表 5.1-11 の説明付図

出典 : SKB: ASPO HARD ROCK LABORATORY 10 YEARS OF RESEARCH, SKB,p.83-85, (1996)





Time schedule for execution of the tests at the Aspo HRL.

図 5.1-7(4) 表 5.1-11 の説明付図

出典 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, p.184, (1995)

表 5.1-12 Nagra グリムゼルテストサイト (GTS) における試験計画

○ GTS の目的とマイルストーン

Nagra は放射性廃棄物の処分概念として、安定した地質環境への処分を想定している。GTS(グリムゼルテストサイト)は、サイトの安定性の評価の重要性から、地下調査施設として Nagra により操作されている (1983 年開始)。その目的は以下である。

- ・ 様々な科学的・技術的な訓練の場として、原位置試験の計画、実施、評価 (解釈) に関するノウハウを蓄積する。
- ・ 将来の処分場サイトの調査・評価期間に有用となる調査手法、計測技術、試験装置の開発に関する実際の経験を得る。
- ・ Nagra 処分コンセプトに重要となる物理的、化学的プロセスの試験的な調査を行う。

GTS は Oberhasli 水力発電所のアクセストンネルに、半径 3.5m の TBM 掘削により建設された全長約 1km の坑道である。GTS 操作および現在までの試験計画は以下である。

1979	地質マッピング開始
1980	水平探査ボーリング開始
1982 2月	GTS 建設の決定
1982 11月	連邦政府の許認可を得る
1983 復活祭	ボーリングマシンの到達
1983 11月	原位置試験開始 (掘削影響)
1984 6月20日	GTS 正式操作開始
1983-1993	Phases I - III
1994-1996	Phase IV
1996-2002	Phase V

以下、これまでに GTS で実施された試験項目 (Phase I - IV) と今年度計画内である Phase V での試験項目を示す。詳細な試験内容については、平成 7 年度に実施した調査研究にまとめられている。

○ これまでの主な試験項目 (Phases I - IV)

Phase I and II (1983-1990)	-	探査ボーリングと地質マッピング調査
	AU	掘削影響
	BK	割れ目内流れの試験 (BGR)
	EM	高周波の電磁波を用いた測定 (BGR)
	FRI	フラクチャーション (断層帯) の調査 (Nagra/DOE)
	GS	岩盤応力測定 (BGR)
	HPA	水理的な圧力 (Nagra)
	MI	物質移行試験 (Nagra/PNC)
	MOD	水力学的モデリング (Nagra)
	NFH	ニアフィールド水理 (Nagra)
	NM	傾斜計 (GSF)
	SVP	トンネル切羽前方の予測 (Nagra)
	US	地下弾性波探査 (Nagra)
	UR	地下レーザ探査 (Nagra)
	VE	ベンレーション試験 (GSF)
	WT	ヒータ試験 (GSF)

Phase III (1990-1993)	BK	割れ目内流れの試験 (Nagra)
	MI	物質移行試験 (PNC/Nagra)
	MOD	水理・力学的モデリング (Nagra)
	UZ	不飽和領域の研究 (Nagra)
	VE	ベンレーション試験 (GSF/Nagra)
	-	大口径ボーリングの試験 (Andra)
Phase IV (1994-1996)	BOS	ボーリング・シリング試験 (Nagra/Andra)
	EDZ	掘削影響領域の研究 (Nagra)
	EP	破碎帯における物質移行試験後の掘削 (PNC/Nagra)
	TOM	弾性波トモグラフィの追加研究 (Nagra)
	TPF	二層流の研究 (Nagra)
	VP	連結された間隙に関する研究 (Nagra)
	ZPK	トンネル近傍領域のフラクチャネットワーク内の二層流の研究 (BGR)
	ZPM	結晶質岩盤マトリックス内の二層流の研究 (GSF)
FEBEX	ガラスの人工バリア試験 (2000 年まで継続) (ENRESA/Nagra)	

○ 今後の試験計画 (Phase V)

概念および数学モデルに関する試験 (性能評価モデルの実証を中心)	
1.	割れ目内の高 pH グラムの研究
2.	ジョイント・トレーサ試験
3.	溶解度/錯体形成の原位置試験 (地下水化学のモデリングも含む)
4.	微生物モデルの試験
5.	HLW ガラス溶解の原位置試験
サイト特性調査手法の開発	
1.	GBEC 決定のための手法の研究
2.	統合された CAD/視覚化システムの研究
3.	有効な水理パラメータの研究
4.	フラクチャネットワーク内の分散
5.	水理モデル検証のためのサブリング戦略
6.	長尺水平ボーリングの施工確認試験
7.	物質移行のための有効なパラメータの研究
8.	岩盤/地下水サブリングの QA/QC の研究
9.	'GTS の地質構造特性' の研究
10.	ガスと地下水流れの研究
11.	主要な構造要素のリモート・マッピングの研究
12.	拡張されたボーリング・シリング (BOS) の研究
13.	トンネル/大規模ボーリング周辺の掘削影響領域 (EDZ)
処分場建設/操作技術のデモンストレーション (Confidence building, Concept making を中心)	
1.	トンネル・シリング (天然岩使用) のデモンストレーション
2.	TRU(LMA) 定置のデモンストレーション
3.	キー・コンクリート/ライアットを決定するゾーン・シリングの研究
4.	L/ILW&TRU のモデリングの研究
5.	回収の概念に関する試験
6.	ガラス EBS 概念に関する試験
7.	トンネル壁面の飽和に関する試験

表 5.1-13 実施・計画試験項目及び試験工程

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002 以降
試験名称	Phase 1+2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	
FM-A: Flow mechanism (fluid logging)							
FM-B: Flow mechanism (resin injection)							
FM-C: Flow mechanism (tracer)							
FM-D: Evaporation logging						?	
WS-A: Groundwater sampling (in-situ)							
WS-B: Porewater sampling (laboratory)							
WS-C: Porewater chemistry							
WS-D: Trace elements							
WS-E: Cl and He profiles							
GP: Hydraulic and gas permeability							
GP-A: Hydraulic and gas permeability							
BF: Borehole fluid effects							
DT: Drilling technique							
ED-A: EDZ hydraulic and pneumatic tests							
ED-B: EDZ evolution around new gallery							
ED-C: EDZ geophysical characterisation						?	
DM: Deformation mechanisms							
EH: EDZ self-healing							
UZ: Unsaturated zone						?	
OP: Osmotic pressure							
CW: High-pH cement pore water							
GS: Gasfrac self-healing							
DI: Diffusion in rock							
HE: Heater experiment							
IS-A: In-situ stress (over/undercoring)							
IS-B: In-situ stress (borehole slotter)							
IS-C: In-situ stress (hydraulic fracturing)							
IS-D: In-situ stress						?	
PP: Porewater pressure							
RB: Horizontal raise boring							
RB-C: Micro-tunnel characterisation							
RB-V: Ventilation test							
RB-E: Engineering barrier emplacement							
RB-S: Micro-tunnel sealing							
GR: Ground penetration rader							
DB: Deep borehole simulation							
FP: Fracture propagation							
GM: Geochemical modelling and synthesis							
SD: Small diameter disposal drift							
RA: Rock mechanics analysis							
HA: Hydrogeologic analysis							
DI-A: Longterm diffusion							

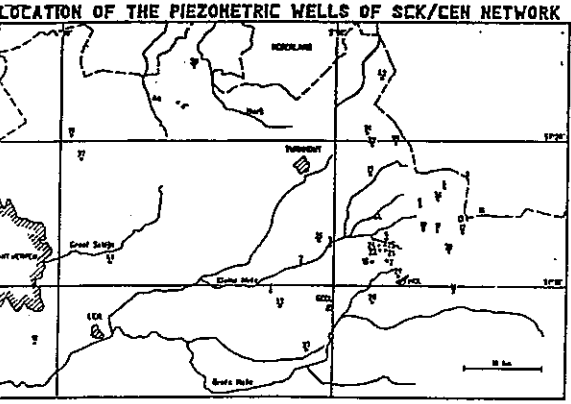
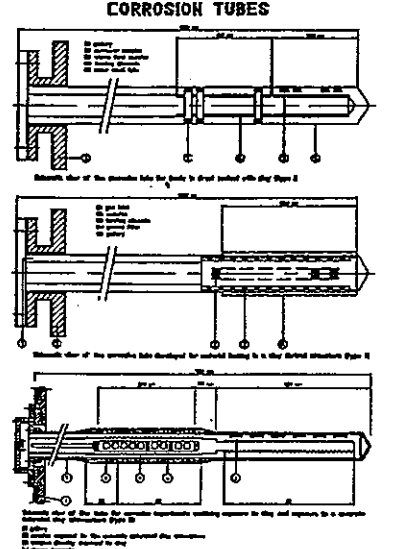
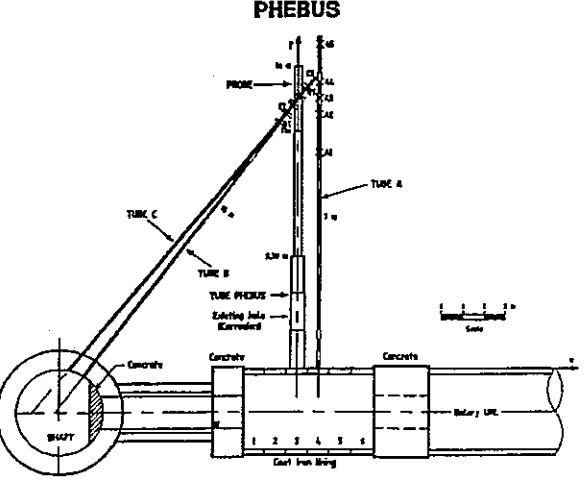
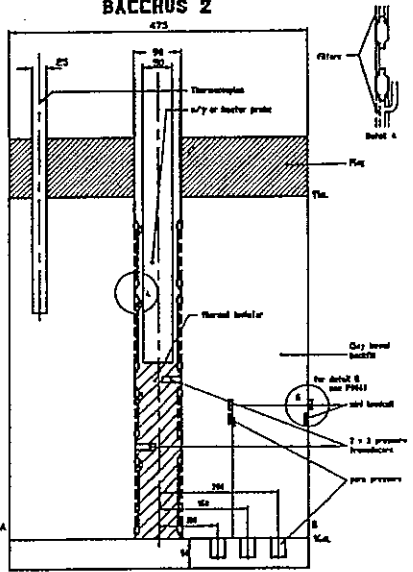
参考文献 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview  
Work Programme of Phase 4, (1998)など複数年にわたる Programme Overview より作成

表 5.1-14 主な成果及び適用技術の概要

試験項目	試験目的・主な成果	試験技術
<b>水理・ガス移行試験</b>		
フルッド・ロギング試験 FM-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>-フルッド・ロギングシステムの適用性把握（岩盤透水性、動水勾配、地下水との塩分濃度差に影響される）</li> <li>-検出限界以上の流入（透水性）は観測できず</li> <li>-塩水の方がボーリング孔の安定性は高い</li> </ul>	-フルッド・ロギング（脱イオン水、塩水）
樹脂注入試験 FM-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>-採取コア及び原位置亀裂構造の安定化と可視化、原位置亀裂構造（EDZ、連続性）の把握</li> <li>-室内試験においてアクリル樹脂は膨潤と強度低下をもたらしたため、原位置用としてエポキシ樹脂を選定</li> <li>-坑道近傍の流路を同定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-アクリル樹脂及びエポキシ樹脂の着色・注入</li> <li>-オーバーコアリング</li> <li>-UVライト・マイクロスコープ</li> </ul>
トレーサ試験、拡散試験 FM-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>-移行特性の把握（流動、核種の移行メカニズム、拡散パラメータ）</li> <li>-室内試験により拡散パラメータを取得、原位置での確認試験実施中</li> </ul>	-原位置トレーサ濃度連続測定
蒸発量測定試験 FM-D	<ul style="list-style-type: none"> <li>-低強度・低透水性岩盤での透水性把握</li> <li>-他の透水試験結果と比較して透水性は大きい（継続中）</li> </ul>	-エバポレーション・ロギングシステム
間隙水圧測定試験 PP	<ul style="list-style-type: none"> <li>-低透水・低自由水岩盤中での間隙水圧測定技術の適用性評価</li> <li>-適用性を確認、坑道から奥への水圧分布把握</li> </ul>	-マルチパッカーシステム+ケーシング+樹脂注入+推定組成間隙水
2相流試験 GP-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>-水理特性、ガス移行特性の把握と測定機器の適用性評価</li> <li>-透水特性値とガスしきい圧を取得</li> <li>-高圧による岩盤の変形影響が大きい</li> </ul>	-マルチパッカーシステム、ミニパッカーシステム、クロスホールテスト
<b>地下水化学</b>		
間隙水分析試験 WS-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>-地下水化学組成、地下水中の希ガス・同位体成分、地下水・岩石中の含有酸化物の分析</li> <li>-原位置及びコアからの採取地下水を分析</li> </ul>	-N <sub>2</sub> 洗浄、コアからの高圧絞り出し、SEM、X線分析、TG+A TD
<b>力学試験</b>		
初期応力測定試験 IS-A,B,C	<ul style="list-style-type: none"> <li>-測定機器の適用性及び初期応力場の把握</li> <li>-それぞれの手法で主応力方向とその大きさを測定</li> <li>-測定位置（ボーリング孔表面）、評価モデル（線形弾性仮定、等方材料仮定）に問題がある可能性がある</li> </ul>	-ポアホールスロット、ダイラトメータ、オーバー/アンダーコアリング、水圧破砕法
応力変形特性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>-室内試験による応力変形特性の把握</li> <li>-堆積方向に起因する異方性、含水率依存性を観測（継続中）</li> </ul>	-ひずみ制御3軸試験
<b>ボーリング削孔技術</b>		
膨潤試験 OP	<ul style="list-style-type: none"> <li>-膨潤による圧力増加の評価</li> <li>-膨潤特性は水の化学特性にわずかに影響され、プレロード圧には大きく影響</li> <li>-堆積方向に垂直な方向の膨潤は平行な方向より大</li> </ul>	
孔壁安定液比較試験 BF	<ul style="list-style-type: none"> <li>-現位置試験及び深層ボーリングに適切な掘削方法あるいは孔壁安定液の選定</li> <li>-脱イオン水、石灰水は膨潤を引き起こす</li> <li>-空気掘削時のほこりは問題となる</li> <li>-孔壁安定性試験を継続実施中</li> </ul>	-塩化カリウム溶液、泥水、石灰水、石灰水+非膨潤添加材、空気にて削孔

レイズボーラー 試験 RB	<ul style="list-style-type: none"> <li>-小断面水平坑道掘削へのレイズボーラーの適用性評価</li> <li>-実施中</li> <li>-掘削された坑道は、フェーズ5以降に他の試験に利用される予定</li> </ul>	-レイズボーラーの水平使用
EDZ評価試験		
飽和度測定試験 UZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>-坑道近傍不飽和域の飽和度、水の動きを評価</li> <li>-現在 TDR 計測を実施中</li> </ul>	-TDR、エバポレーションロギング
透水性評価試験 ED-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>-坑道面からの距離と透水性との関連の把握</li> <li>-2種の計測法で、EDZ（壁から約 50cm と評価された）でないところではほとんど差がなかったが、EDZ では透水性に大きな差が発生</li> <li>-ガストレーサ試験により、坑道延長方向に連続した亀裂システムがあることが判明</li> </ul>	-ANDRA SEPII プロブ、Nagra MMPS
AE観測及び弾性波探査試験 ED-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>-掘削に伴う亀裂の発生、剛性低下の評価</li> <li>-掘削の進展に伴いAEの増加が観測</li> <li>-坑道周辺に弾性波速度が明らかに遅い部分が観測（継続中）</li> </ul>	-原位置AE測定、弾性波探査
その他		
高pHプリュームによる変質試験 CW	<ul style="list-style-type: none"> <li>-セメント間隙水による岩盤の変質メカニズムの把握</li> <li>-室内試験によるミクロな変質状況を観察、現位置試験を実施中</li> </ul>	-XRD、SEM+EDS、高耐食性機器
ヒーター試験 HE	<ul style="list-style-type: none"> <li>-原位置データによる HTM モデルの評価</li> <li>-実施中</li> </ul>	

表 5.1-15 (1) ベルギー-MOLにおける原位置試験項目

試験名	広域水理地質	原位置腐食試験	大気と深層粘土との水理的な輸送の現象 (PHEBUS)	放射性廃棄物の地下貯蔵における埋戻し材の飽和に関する制御試験 (BACCHUS2)
目的	データ取得と広域水理地質モデルの更新	廃棄体（廃棄物、キヤノク、ホパノック）とブームクレイとの中期の相互作用による腐食の評価	処分坑の掘削・操業時に深層の粘土構造が引起す水理的影響の評価	商品化されている粘土を基本とした埋戻し材の適用性のデモンストレーション試験
概要	水理地質システムに関する情報の収集。 ANTWERP地域からMOL東部までの広域を範囲とした圧力調査。 広域水理地質モデルの更新	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接クレイに接触する4つのチューブ (TYPE1, 水平)</li> <li>間接的に接触する5つのチューブ (TYPE2, 鉛直)</li> <li>コンクリートと飽和したクレイへの2つのチューブ (TYPE3, 傾斜)</li> </ul> を対象とした腐食試験の実施 試験パラメータ: 気圧, 温度, 期間, 資料の処理方法	試験ブローブは、回収された腐食チューブを延長して設置された。3つのホッピング孔を利用し、コントロールブローブ周辺に全水頭変圧器が設置された。(1本はブローブに平行, 2本は立坑から傾斜して交差している)	埋戻し材に囲まれた大口径ホッピング孔(520mm)内にセパレートフィルターを設置する。 パラメータ: 飽和フロントの進展, 間隙水圧, 埋戻し材とブームクレイ間の圧力, 飽和後の埋戻し材の透水係数を測定
期間	1981年から開始された圧力調査は、1ヵ月の期間で継続されている。モデルの更新は、データ取得と同じく1992年に開始された1992-93年の2年間に計画された。	9つの装置(チューブとセンサー)は1985-1989年に設置。TYPE1とTYPE3それぞれ1つは1993年に設置。1988年から1994移行までにデータを回収する。	3つのホッピング孔の設置 (1993年9月) クレイへのブローブの設置 (1994年中頃) 計測の開始 (1995年2月)	BACCHEUS1の回収: 93年5月 BACCHEUS2の設置: 93年6月 ブローブ: 94年5月
状態	データの収集および過去のモデルの改良はほぼ終了。 水理地質モデルの更新中	TYPE1: 3/4は回収中, 資料の試験は継続 TYPE2: 3/4は故障 TYPE3: 1/2は継続中	バックグラウンドデータの収集	設置・操作中
成果	-	原位置資料についての試験は終了 廃棄物についての室内試験は確認済 (腐食率は1~10 μ m/year)	正確なアクセスホールの削孔が必要	-
概念図	 <p>LOCATION OF THE PIEZOMETRIC WELLS OF SCK/CEN NETWORK</p>	 <p>CORROSION TUBES</p>	 <p>PHEBUS</p>	 <p>BACCHUS 2</p>

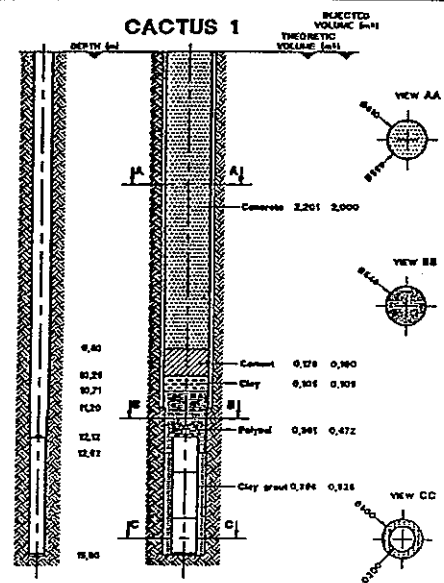
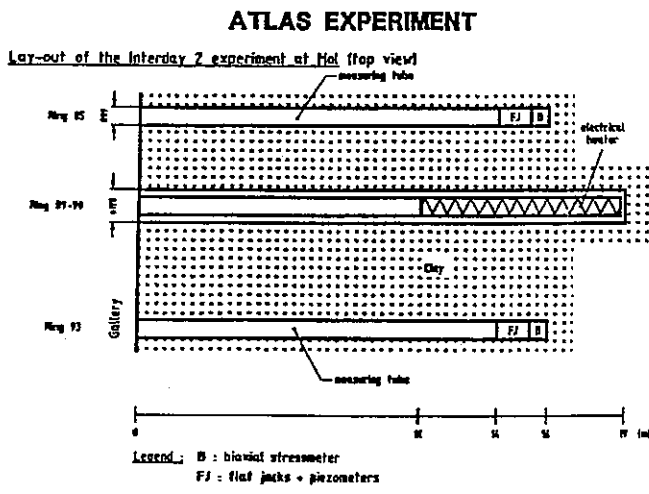
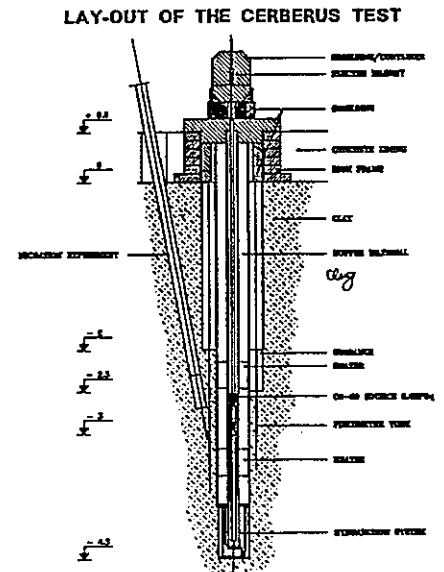
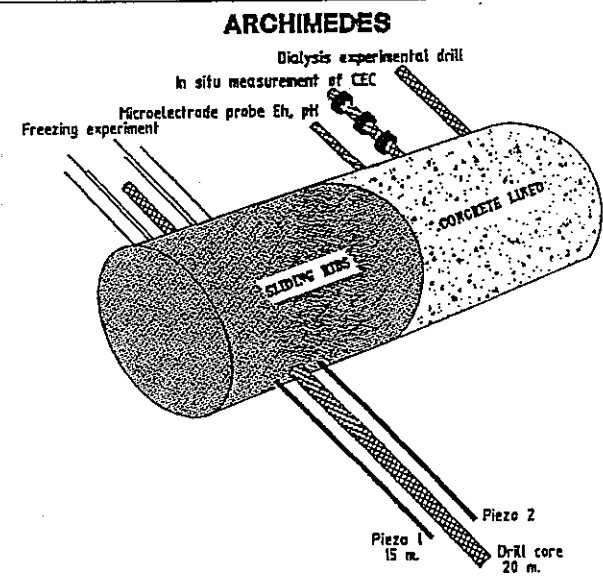
出典: SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1996)

表 5.1-15 (2) ベルギー-MOLにおける原位置試験項目

試験名	原位置浸透・移行試験	建設可能性のデモンストレーション (MINE-BY)	処分場母岩におけるガス移行のモデリングおよび試験 (MEGAS)	原位置注入・移行試験																														
目的	ブ-ムクレイ内の放射性核種の移行挙動のデモンストレーション	トンネル掘削技術の直接的なデモンストレーション	ガスの移行モデルの確証のためのデータの取得	放射性核種の移行挙動のデモンストレーション																														
概要	拘束された2つのブ-ムクレイの資料の間に放射性核種をはさみ、新鮮な粘土内の地下水により資料から浸透した核種を集め、分析する。	以下の3つの目的をもつ <ul style="list-style-type: none"> <li>安定性の高い探査立坑・トンネルの掘削 (それぞれ長さ20m、径2m、長さ12m、径2m)</li> <li>安定性の高いフルスケールの試験坑道の掘削 (長さ42m、径4.7m)</li> <li>スライディング・リフ試験坑道の掘削</li> </ul>	中央にガス(ヘリウム)注入のホ-リング孔を設け(φ90mm)、60cm、120cmの距離に平行な3本のホ-リング孔(φ60mm)を設置する  パラメータ: ガス流速, ガス圧力, 水圧	ホ-リング孔からブ-ムクレイへトレーサを注入し、注入点よりある距離におけるフィルタ-からトレーサの検出を調べる。																														
期間	3年から10年の期間で試験	安定性の高い探査立坑・トンネル: 1984年 安定性の高いフルスケールの試験坑道: 1987年 リフのスライディング試験坑道: 1987年	設置: 1992年 水理特性: 1993年 ガス注入: 1994年開始	半永久的な移行試験である 5年-10年-20年後、そしてそれ以降のデータを取得する																														
状態	ストロンチウム、ユーロピウム、セシウム、テチウムと結合したアメリシウムが到達した。	全て完成し、フォローアップ調査中	すべての圧力計を設置し、圧力の均等が進行中である。	全てのトレーサの注入終了。 一定間隔で近隣のフィルタ-のサンプリングを実施中。																														
成果	-	建設可能性のデモンストレーションおよび中期間の坑道の健全性についても良い結果が得られた。数値解析結果と計測結果はかなり良い一致をみせた。	-	-																														
概念図	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Clay core and tracer</th> <th>Filter paper C</th> <th>Surface</th> <th>Activity Bq</th> <th>Depth (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>MS-54</td> <td>Eu</td> <td>170 E-4</td> <td>10.025</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>MS-54</td> <td>Eu</td> <td>170 E-4</td> <td>10.025</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Eu-65</td> <td>Eu</td> <td>13 E-4</td> <td>10.025</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Co-57</td> <td>Co</td> <td>14 E-4</td> <td>11.027</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>Co-57</td> <td>Co</td> <td>14 E-4</td> <td>11.027</td> </tr> </tbody> </table>	Clay core and tracer	Filter paper C	Surface	Activity Bq	Depth (cm)	11	MS-54	Eu	170 E-4	10.025	12	MS-54	Eu	170 E-4	10.025	13	Eu-65	Eu	13 E-4	10.025	14	Co-57	Co	14 E-4	11.027	15	Co-57	Co	14 E-4	11.027			
Clay core and tracer	Filter paper C	Surface	Activity Bq	Depth (cm)																														
11	MS-54	Eu	170 E-4	10.025																														
12	MS-54	Eu	170 E-4	10.025																														
13	Eu-65	Eu	13 E-4	10.025																														
14	Co-57	Co	14 E-4	11.027																														
15	Co-57	Co	14 E-4	11.027																														

出典: SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1996)

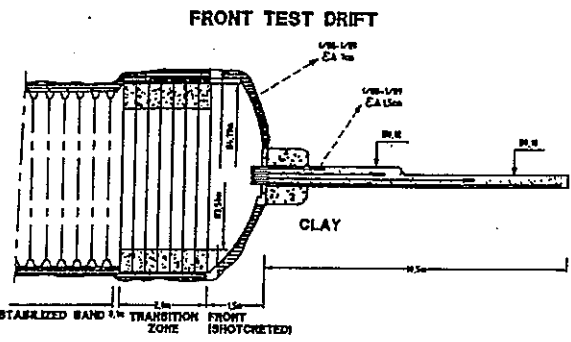
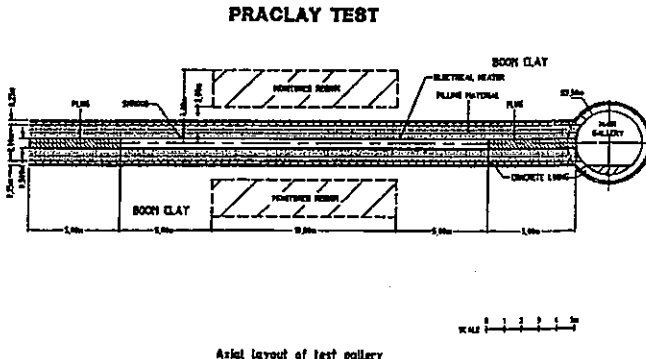
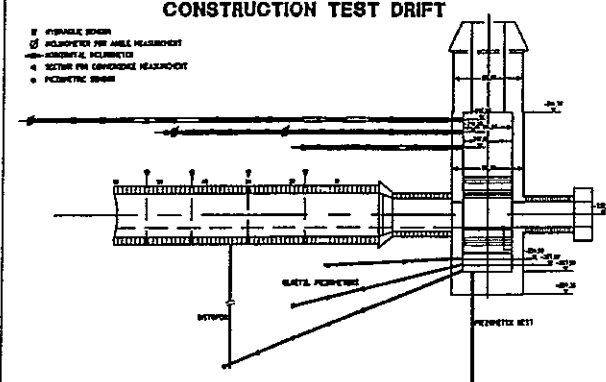
表 5.1-15 (3) ベルギー-MOLにおける原位置試験項目

試験名	地下貯蔵内の温度荷重下での粘土特性 (CACTUS I & II)	粘土層内貯蔵のための許容温度条件の試験 (ATLAS)	地下貯蔵およびベルギー処分場のための放射線制御試験 (CERBERUS)	地下水化学および微生物の試験 (ARCHIMEDE)
目的	廃棄体周辺の温度条件下における粘土特性	発熱環境下でのレオロジー挙動評価モデルの比較	放射線と水頭および掘削に関連したデモンストレーション (HLWコンクリート)	粘土構造内の地下水化学データの取得、調整岩盤/水相互作用およびフー-ムクレイ内の微生物の活動
概要	2つの試験がある。 熱源には50年経過後の廃棄体を想定。 TYPE I, II: 2つの異なる定置シリアを想定 パラメータ: 温度、全水頭、間隙水圧、密度、含水率	試験坑道に位置し、 縮小スケールの概念を用いており、1つの発熱チューブと2つのモニタリングチューブからなる。 パラメータ: 全水頭、温度、間隙水圧、時間、力 モデル: CEC-INTERCLAY-II	リス: 444TBq Co-60と2つの電気ヒータ (362W × 2) および試験坑道から2.5m下向きの地点 パラメータ: 線量、温度、地下水サンプリング、全水頭、間隙水圧 移行、腐食、埋戻し材の冠水に関連する。	間隙水と粘土の無菌・無機サンプリング - 3本の水平の無菌のボーアホール (2 × 15m, 21m) - 2本の水平の圧力計 (3, 7, 8, 14, 15m 深度) - 固体の鉱物的、物理化学的特性 - 溶液の地質化学的性質 - 固体-液体での微生物サンプリング - 組織的な微生物の性質 原位置 Ph, Eh の測定 (オンライン) 酸化還元電位の測定
期間	CACTUS I: 1990年9月設置 1992年1月まで試験 CACTUS II: 1992年2月設置 1993年12月まで試験	装置設置: 1992年3月 発熱開始: 1993年春から1年間	定置: 1988年終盤 発熱開始: 1990年初頭 発熱終了: 1994年終盤 冠水: 1997年中旬	1991年計画開始、1995年完了
状態	CACTUS I: 評価・分析中 CACTUS II: 評価・分析中	実施中 (発熱中)	間もなく完全な試験状態となる	-
成果	CACTUS I: 測定結果と温度-水理-力学相互作用解析的理論解の比較。 予測による温度進展の把握	全水頭測定結果はばらついている。 モニタリングシステムの統合・縮小化は成功している。	局所的な地化学・水理物性値の大きな影響が把握できた。	223m 深度のフー-ムクレイの微生物特性の取得 フー-ムクレイ Ph=8.2, 水頭 h=17.6 Bar 酸化還元電位はポテンシャル変動に敏感であるとの知見を得た。
概念図				

出典: SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1996)



表 5.1-15 (4) ベルギーMOLにおける原位置試験項目

試験名	試験坑道終端部、切羽前方での試験	高レベル放射性廃棄物の粘土処分の デモンストレーション試験 (PRACLAY)	地球物理学的試験	
目的	切羽前方部でのショットクリートの長期安定性の研究	キャリア中央部へのHLW定置概念に基づくトンネル掘削、埋め戻し、発熱を考慮したデモンストレーション試験	原位置での地球物理学的な物性値・状態の把握	
概要	坑道ライニングと分離された平均厚さ10cmショットクリート・シェルを用いる。 パラメータ：ショットクリート上の15の固定点の移動	設計のフェイス 処分坑道 - 長さ：25-30m - 直径：2m  パラメータ：温度、全水頭、間隙水圧、荷重、変位、含水比	地下研究所、探査立坑、探査坑道、試験坑道を対象とした全圧力、間隙水圧、変位、荷重の測定	
期間	初期設置：1987年12月 ショットクリート・シェルの再製：1994年8月 フォローアップ：1998年まで	新規坑道の計画は1996年開始 終了は2001-02の予定	1984-1987年定置	
状態	-	設計の段階であり、予備的な研究中。 立坑の設計は終了。 設備・熱源の設計、計測器の選択・キャリアレーション試験進行中。	繰り返しの計測中	
成果	-	-	全圧力はばらついている。 間隙水圧測定は信頼できる値となる。 荷重と変位の結果は矛盾のないものとなる。	
概念図				

出典：SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1996)

表 5.1-16 (1) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その1)

- Modeling Strategy and Validation -

○サイト特性調査プログラムの位置付け

Nirex により Sellafield の地質・水理地質を把握するために実施される特性調査プログラムには、BVG (Borrowdale Volcanic Group) 内に位置する処分の性能評価の展開のために必要な情報提供が要求されている。サイト特性調査プログラムと性能評価は、相互に開発・展開されることから、サイト特性調査の進展に伴い、リスク評価に係わる不確実性 (uncertainty) が縮小されるとしている。

○サイト特性調査プログラムの目的

Nirex のサイト特性調査プログラムの包括的な目的は、Sellafield における地下水の透水と放射性物質の移行に関する理解を深めることにある。さらに個々の数学モデルが天然 (バリ) システムの挙動を適切に再現しうるものであることを示すことにより、性能評価結果に対する Confidence Building につなげることである。

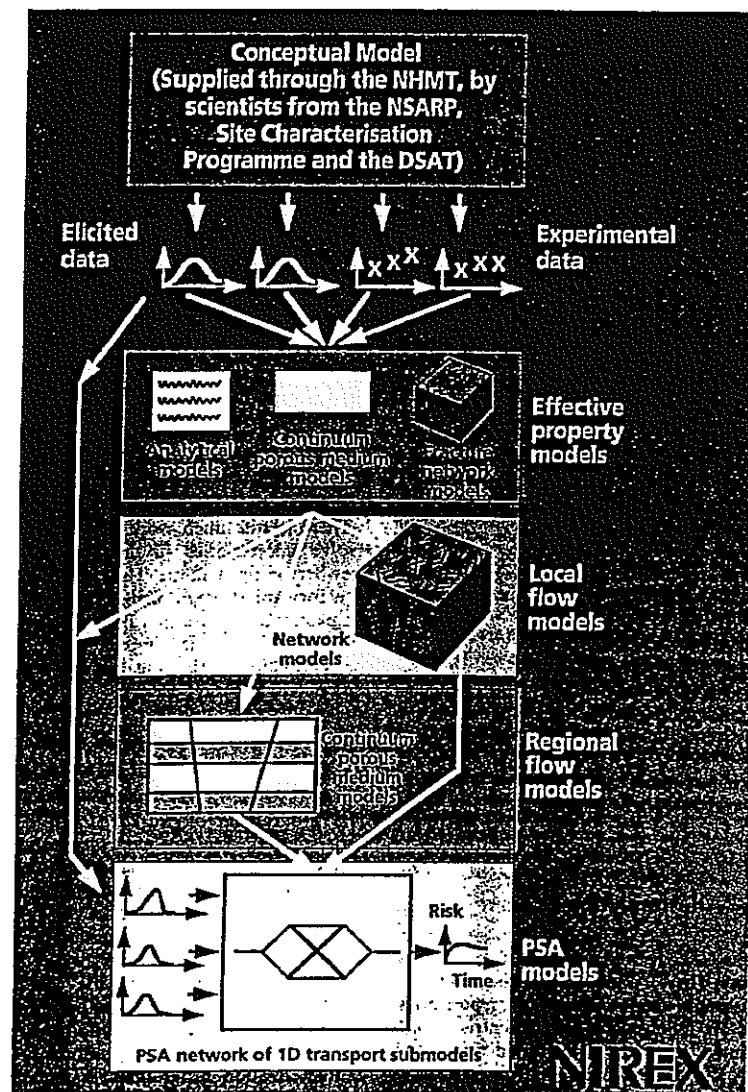


FIG. 1. Hierarchy of models. N.B. NHMT: Nirex hydrogeological modelling team. The group co-ordinates linkages between various groundwater modelling applications. NSARP: Nirex safety assessment research programme. Coordinates research into repository performance. DSAT: Disposal safety assessment team. This group develops methods for repository performance assessment. (FEPs refers to features, events and processes which are considered to be important in influencing long-term repository performance.)

○数学モデルのヒエラルキー

Nirex は、特性調査プログラムの目的達成のために、可能な限り最善の科学的・技術的手法による高品質のデータ取得をベースに、数学モデルのヒエラルキー的展開とその確証の方策を構築している。

モデルのヒエラルキーを図-1に示す。複雑なサイト特性プログラムにおいて、重要な要求達成を保証するため、モデル開発は性能評価のサイクル (図-2) の中で展開される。サイクルを構成する主要な要素は、以下の項目からなる。

- (1) 初期の処分コンセプトは、予測される事象を対象として、ある仮説を基に構築される。これらの仮説の正しさを示すために試験等によりデータが取得される。これらのデータの考察により、仮説の中で弱点となる領域を定義し、出力 (性能評価のための入力データ) を得るためのモデル (不確実性に関連するモデル) が開発される。
- (2) その後のサイクルにおいて、概念モデルに内在する不確実性は、特別に計画された試験により取り扱われ、モデルの妥当性の測定 (図-3参照) は、実現象と予測を比較することにより明らかにされる。比較によりモデルの品質は不適正が提示されることにより、モデル改善のために要求される更なる検討の領域が強調される。従って、サイクルは再び繰り返される。

それぞれのサイクルにおいて、開発されたモデルは高いレベルまで到達し、それぞれのサイクルの終了時には、特性調査項目が十分であったかをシステムティックに評価する構造が準備されている。

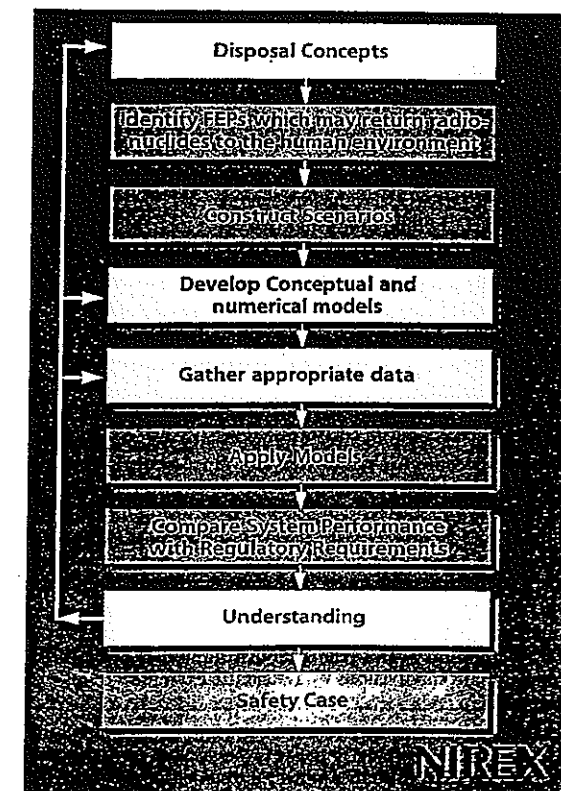


FIG. 2. Schematic illustration of the assessment cycle.

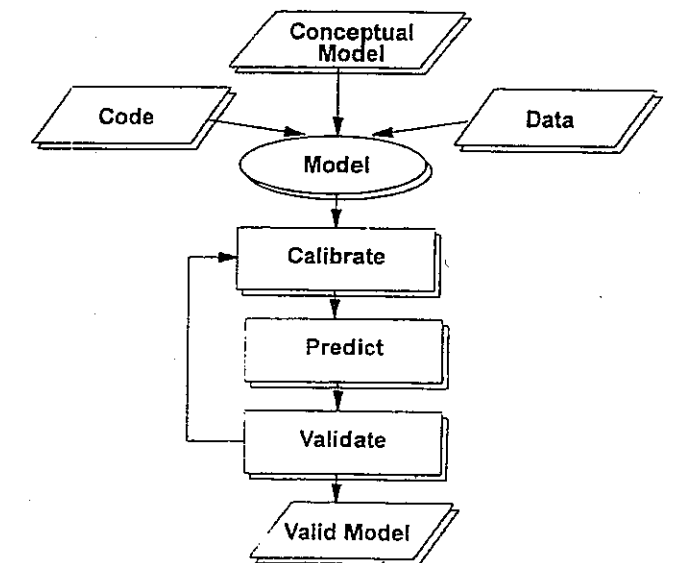


Fig. 3. Steps in numerical modelling.

表 5.1-16 (2) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その2)  
- Previous cycles of characterization and Strategy for next cycle -

○特性調査のこれまでのサイクル

Nirex は1989年から Sellafield サイトの調査を実施している。現時点ではサイト特性調査の四つのサイクルが完成に至っている。表 -1に各サイクルの調査項目を示す。最初のサイクルでは、地球物理学的な手法と地質マッピング技術により、大規模の地質・地質構造の特性を把握した。第三サイクルでは、5km~10kmの広域的なボーリング孔により、サイト深度の地質の確認とモデルのキャリブレーションを実施した。これらのボーリング孔を用いた調査により、このサイクルでは Sellafield サイトにおける3種類(真水、塩水分を含む地下水、海水)の地下水の混在状態が明らかとなった(図-3参照)。第四サイクルでは、処分場の可能性の高いゾーン内にボーリングを配置し、地質および地質構造についてのさらに詳細な特徴と、ボーリング間の3次元的地質特性を内挿法により推定することが可能となった。これらのボーリング孔を用いた調査により、現段階のモデル化では、割れ目スケールにおける詳細な地下水流れと、設定された不連続面のタイプとを関連づけることが困難であることが予測されている。

TABLE 1. Previous cycles in the site characterization programme

Cycle	Characterization activities	Assessment
1	Regional geophysical surveys Regional geological mapping Boreholes 1, 2 and 3 Surface hydrology desk studies	Comparative assessment of Sellafield and Dounreay
2	Additional geophysical surveys Boreholes 4, 5 Additional surface hydrology studies	1992 assessment of Sellafield
3	Boreholes 7, 10, 12, 14 Hydraulic monitoring—boreholes 4 & 14 Fracture Mapping of outcrop BVG Pump testing in Permo-Triassic sandstones	1993 assessment of Sellafield
4	Boreholes 3, 8, 11; RCF 1, 2, 3; RCM 1, 2, 3 Boonwood borehole Quaternary reconnaissance mapping Stream and spring gauging and surveying Hydraulic interference testing in boreholes 2 & 4 and boreholes 10 & 12 Hydraulic monitoring in boreholes 7, 8, 11 and 12	1994 assessment of Sellafield

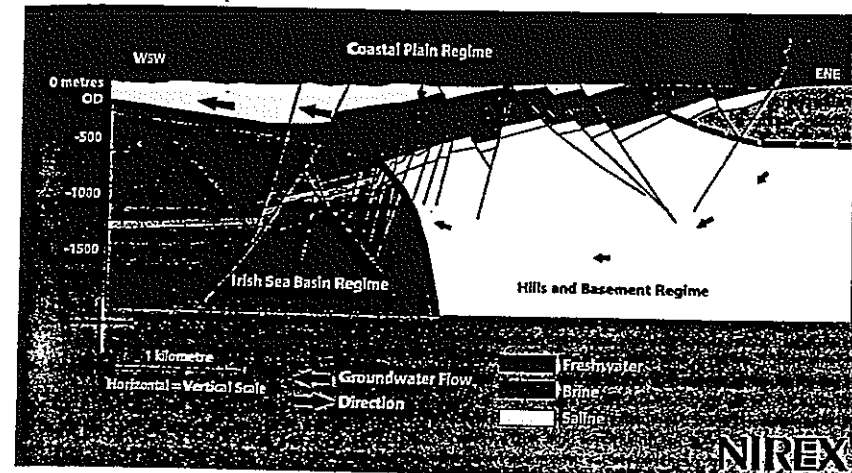


Fig. 3. Current conceptual model of the groundwater system in the Sellafield area.

○今後のサイクルの戦略

これらの初期段階でのサイクルから導き出された知見は、Sellafieldの性能評価およびサイトの地下水をシミュレートするモデルの信頼性の観点から、どこに問題があるかその具体的な欠陥が明らかとなった。その結果として、①広域特性調査、②処分場となる可能性の易い地域の特性調査、③地化学的な研究の3つの領域のプログラムを進めることが重要であると指摘された。

次なるサイト特性調査の戦略的な目的は、明らかにすべき不確実性(Uncertainty)に的を絞り、上記のプログラムが設定された。各領域における戦略的な目的とそのベースとなる不確実性を表-2, 3に示す。これらから、次のサイクルでの各領域における研究項目と調査実施項目が計画されている。

TABLE 2. Strategic objectives for regional characterization

Uncertainties	Objective
<ul style="list-style-type: none"> <li>Upper boundary conditions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establish the location and nature of the water table with greater confidence by detailed consideration of the Quaternary deposits and deep recharge</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amount of recharge and discharge through the repository volume</li> <li>The influence of major geological features on flow</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determine the extent of meteoric recharge into outcrop BVG</li> <li>Identify flow processes and pathlines to the discharge zone from the repository, in particular the influence exerted by the Seascale and Fleming Hall Fault Zones and the saline interface</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The effect of using 2-D representations of a 3-D flow system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determine the effect of simplifications arising from model limitations by examining the sensitivity of model output to different representations</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The effect of using steady state representations of a transient flow system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compare model output to measurable parameters in a systematic fashion</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The level of confidence with which the models reflect reality</li> <li>The evolution of the flow system under future conditions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify the potential influence of future events and processes by considering evidence for past events and processes held in the Quaternary and older geological record</li> </ul>

TABLE 3. Strategic objectives for PRZ characterization

Uncertainties	Strategic objective
<ul style="list-style-type: none"> <li>The characteristics of the fracture network at different scales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improve resolution of the geological discontinuities in the BVG and appropriate subdivisions by systematic examination of fracture data</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The hydraulic attributes to be applied to the fracture network</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increase confidence in the hydraulic conductivity aperture, frequency and length scale statistics to be applied to hydraulically significant discontinuities when represented in probabilistic flow models</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The extent, location and nature of hydraulic connections from the BVG into the overlying formations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify the potential for hydraulic connections from the BVG into overlying formation and their likely characteristics</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>The level of confidence with which the models used reflect reality</li> <li>The level of validity of current models for describing transport processes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improve confidence in the models by pre-modelling and prediction of key tests</li> <li>Measure <i>in situ</i> transport processes for different flow paths for comparison with model predictions</li> </ul>

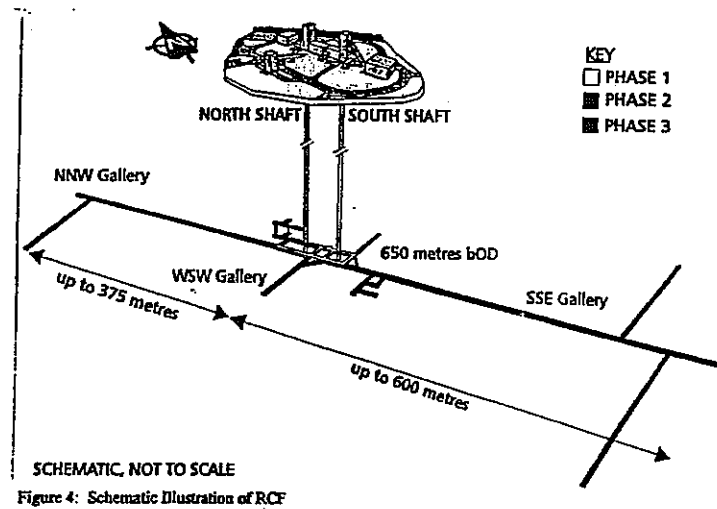
表 5.1-16 (3) Sellafield 地域における特性調査プログラムの全容 (その3)  
- RCF Objectives and Experiment Programme -

### ○ RCF (Rock Characterisation Facility) 計画の概要

RCF は図 4 に示す 3 つのフェーズで展開される計画である。フェーズ 1 では、50m の間隔をもつ 2 つの立坑が 765m から 1020m の深度まで掘削される。この立坑はフェーズ 2・3 で将来の処分場として水平に展開されるギャラリーへのアクセス坑道となる。フェーズ 2 では、それぞれ 150m の長さを持つ 3 つのメインギャラリーの建設が予定されている。これらのギャラリーはフェーズ 3 には PRZ (Potential Repository Zone) 全域まで延長される。

RCF の中心的な役割は、地表調査および室内試験により得られた知見・モデルの実証である。それ故、RCF の運用に係わる考え方の重要な部分は、実証の規準を対象に構築された枠組をベースに、事前予測と観察結果との比較を行うことである。

フェーズ 1-3 は約 10 年間の予定であり、フェーズ 1 では立坑の掘削を含め 4 年間の地化学的な調査計画も重要と考えられている。



### ○ RCF の目的と試験プログラム

Nirex は、Sellafield での処分場実現への申請準備、また操業への許可取得の可能性に向けての意志決定のより所として、依然として残る不確実な分野として、以下の 3 項目を設定している。

- ① 地下水流れと核種移行
- ② 自然あるいはその他の要因により引き起こされる天然バリアの変化
- ③ 処分場の設計と建設

各不確実性分野を対象として RCF で展開される試験項目を示す。

#### ① 地下水流れと核種移行

PRZ および周辺岩盤の地下水流動モデルは、これまでのサイト特性調査プログラムにより得られた情報をベースに構築し、安全評価に用いられてきた。これらのモデルには、十～数百 m のスケールをもつ連結する割れ目ネットワークのモデル化が必要とされ、ボーリング孔だけの調査では限界があり、RCF での調査・試験が必要との結論を得た。具体的には、

- ・立坑の掘削により、連結した割れ目ネットワークについて、より詳細な試験が実施できる。100

mm のコア観察結果から得られる情報と立坑壁面での割れ目の連続性を観察することにより、立坑から数百 m の距離の割れ目の連続性と割れ目の長さ、方向、地質的特徴についての詳細な情報が得られる。

- ・モニタリングシステムによる立坑掘削中の地下水の間隙圧および化学的な性質の変化の観察により、上記割れ目についての物理的観察結果と主要な浸透経路となる割れ目ネットワークとの関係についての情報を得ることができる。

これらの新たな情報は、地下水流動モデルによる予測解析結果と試験結果との比較を可能とする。この試験により、PRZ そしてその周辺岩盤について地下水システムの新たな理解とより高い信頼性をもつ予測をどのモデルを用いて実施すれば良いか判断できる。

RCF では、岩盤のマトリックス拡散、コロイド、ガス移行に関するモデルの実証も重要な項目として実施される予定である。

#### 実施試験項目

- Phase. 1 (1) 立坑掘削時の壁面マッピング  
(2) 水理的な計測、モニタリング
- Phase. 2-3 (1) 約 100m の長さをもつ岩盤ブロックを対象とするボーリングを利用したサイト特性調査・デモンストレーション試験  
(2) トンネル・ベンチレーション試験

#### ② 自然あるいはその他の要因により引き起こされる天然バリアの変化

上記範囲の調査は、サイトの現時点における状態に焦点を当てたものである。自然現象や処分場建設などにより、地下水流れにおいて受け入れ難い新しい水みちを形成したり、人工バリアにダメージを与えたりすることのないことを確認することも重要となる。

具体的には、サイトにおける地質状況の過去の歴史を調査し、将来的にも Sellafield は安定した地質であることを示すことが必要である。母岩における地下水を支配する割れ目ネットワークが 100 万年以上持続したものであることを示すことは、長期安定性の最良の証拠となる。RCF はこのことを確認するためのさらなる情報の取得を目的とするものである。また、RCF 掘削時に新たな水みち形成の調査を行い、処分場建設スケールでの確認を行うとしている。

#### 実施試験項目

- Phase. 1-3 掘削影響試験として実施。

#### ③ 処分場の設計と建設

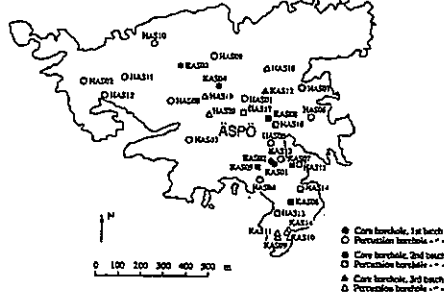
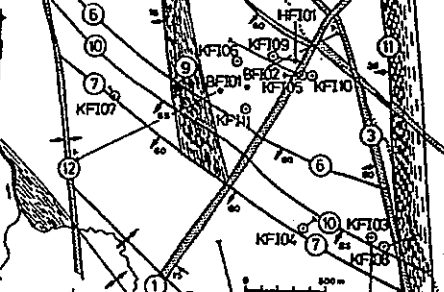
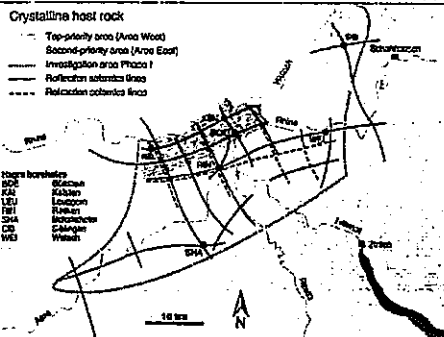

これまでの地上調査から得られる情報が限られているため、処分場の設置深度、位置、処分場の向き、レイアウトの設定が処分場の性能にどれほどの利益をもたらすかの検討は実施されていない。これらのパラメータの決定のため、地下水流れやその希釈、そして岩盤の幾何学的な性質により、性能にどれほど影響を与えるかの検討を実施する。RCF はその意味で設計の最適化手法を提供するものである。

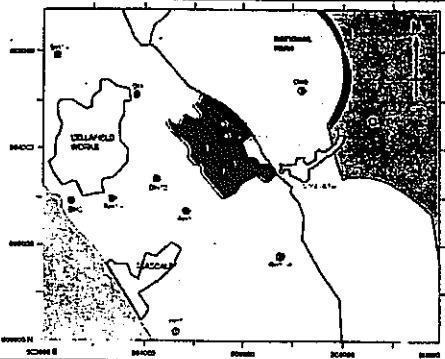
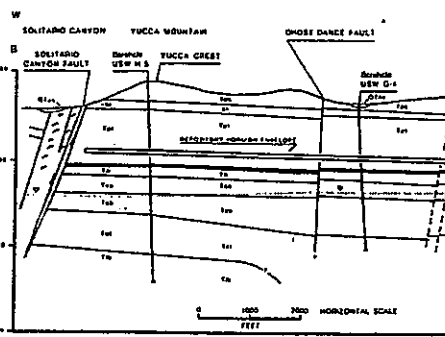
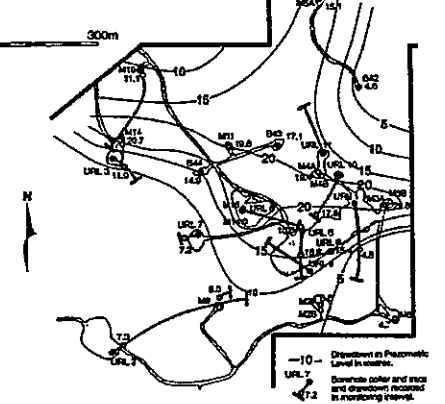
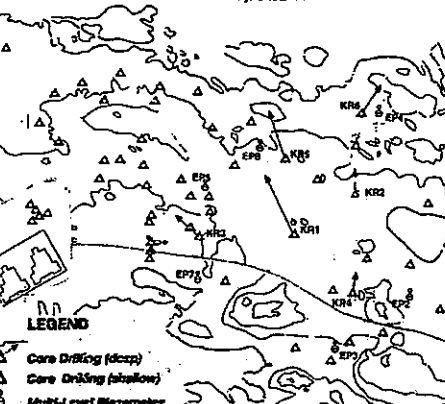
また、シーリングの要求に関する実証試験も原位置で実施する。

#### 実施試験項目

- Phase. 1 BVG を掘削することによる連結する割れ目の分布への影響評価のモデルの実証試験。
- Phase. 2-3 岩盤ブロックを用いた原位置試験 (シーリングの実証試験も含む)。

表 5.1-17 諸外国における深層ボーリングの事例調査

調査対象	サイト及びその地質特性	深層ボーリング実施までの流れ	ボーリング配置	ボーリング数量及び深度	備考
スウェーデン	<p><b>HRL(ハートロック地下研究施設)</b> オスカム発電所に隣接したエスト島に位置する。 エスト島の地質は、緑色岩、スマント花崗岩、アプロ花崗岩、輝緑岩、マイナイトからなる。</p>	<p>HRLでは事前調査期のサイトにおける立地箇所の選定から建設前の最終予測に至る過程を①立地ステージ、②サイト記載ステージ、③予測ステージの3段階に分けている。 ボーリング削孔はサイト記載ステージに、サイトスケールを対象とし、3段階のフェーズに分けられて実施されている。</p>		<p>○第1段階の深層ボーリング KAS01-04:順に924, 1002, 481m (01は掘削上の問題で放棄) ○第2段階の深層ボーリング KAS05-08:550, 602, 604, 601m ○第3段階の深層ボーリング KAS09, 12, 13:450, 380, 406m</p>	<p>各ボーリングでの調査項目は添付資料-1参照</p>
	<p><b>フィッシュンサイト</b> フィッシュンサイトはスウェーデン中央部のUppland北側に位置する。地質は花崗閃緑岩を母岩とした、メハグサイト、ヘグマイト・アプライトなどからなる。 サイト周辺には多くの断層破碎帯を含む複雑な地質となる。</p>	<p>SKB91レポート作成のためのReference Siteとして選定され、安全評価に係わる全ての要件の把握を目的として、サイト特性調査が実施された。ここでは、複雑な断層破碎帯の特性調査を目的とした深層ボーリングが、検討・実施されている。</p>		<p>断層破碎帯の詳細な調査の事前に3本の深度700mのボーリングが実施された。 断層の詳細調査を目的として、200-700mの11本のコアボーリング、16本の浅層(100m)・2本の深層(288, 459m)ハーフカッションボーリングが実施された。</p>	<p>添付資料-2参照</p>
スイス	<p><b>北部スイス</b> この地域の地質は、上部に古生代～中生代～新生代の堆積岩が分布し、結晶質基盤岩の頂部が最大深度1,500mにあるものとみられている。</p>	<p>地質調査計画として フェーズⅠ：広域の調査段階 フェーズⅡ：地上からの調査段階 フェーズⅢ：地下での調査段階 の3段階を考慮しており、深層ボーリングはフェーズⅠの段階で実施された。</p>		<p>フェーズⅠでは、当初12本の深層ボーリングが予定されたが地震探査と既存ボーリングの結果から7本の実施となった。 BOE:1501m, WEI:2482m RIN:1801m, SHA:2006m KAI:1306m, LEU:1689m SIB:1522m 全てコアボーリング</p>	<p>Deep Drilling Programとして、各種調査が実施された。 添付資料-3参照</p>
	<p><b>ヴェーレンベルグ</b> ボーリング調査位置は、標高900m程度の尾根に相当する部分から下った地点であり、両側はいずれも石灰岩層で形成される泥灰岩層である。</p>	<p>低中レベル処分場の第4の候補地として認可を受け、サイト特性調査事前の予備調査時に本地域のデータが不足していることから深層ボーリングが実施された。</p>		<p>6本の深層ボーリングが実施された。 SB1:1670m, SB2:1870m SB3:1546m, SB4:757m SB6:430m 全てコアボーリング</p>	<p>添付資料-4参照</p>

調査対象	サイト及びその地質特性	深層ボーリング実施までの流れ	ボーリング配置	ボーリング数量及び深度	備考
イギリス	セラフィールド 母岩はポロフェル火山岩群の凝灰岩であり、その上部には角礫岩層、砂岩層、未固結の第四紀層と続いている。	低中レベル処分場の候補地(2地点)の1つとして認可を受け、2年間の予備的調査時に深層ボーリングおよび集中的な調査が実施された。その後、予定地として決定され、岩盤特性調査施設(RCF)の立坑建設に先立ち、4本のボーリングが追加されている。		候補地認可後の第1ステップでは12本の深層ボーリングが実施された。 BA1/1A:1184.6m, BH2:1605m BH3:1945.8m, BH4:1255m BH5:1255m, BH7:1004.8m BH8:1000m, BH10:1602m BH11:1164.9m, BH12:1143.8m BH13:1735m, BH14:868.8m 全てコアボーリング	添付資料-5参照
アメリカ	ユッカマウンテン ネバダ州ラスベガスの北西約160kmに位置する。ユッカマウンテンサイトの地質構造は、1800m以上の厚さを有する凝灰岩質の岩盤である。 また、処分場は地下水面上部の不飽和帯に建設される予定である。	ユッカマウンテン周辺の地質調査は、1977年の候補地選定の為のスクリーニングプロセスから開始され、現在では詳細なサイト特性調査計画に従い調査が展開されている。調査計画は以下の3段階で実施されている。 第1ステップ：予備的調査段階(終了) 第2ステップ：自然環境の適性条件・特徴の調査段階(終了) 第3ステップ：サイト特性調査段階(進行中) 第1ステップから多くの深層ボーリングが実施されている。		350本の浅層ボーリングおよび70本の深層ボーリングがサイト特性調査に利用されている。 3つの掘削プログラムにより目的別に掘削、利用される。 ○縦方向ボーリングプログラム 17本のうち10本は地下水面上部の517m程度である。 ○多目的ボーリングプログラム ○システムチックボーリングプログラム 7本の580m程度のボーリング掘削	添付資料-6参照
カナダ	URL(地下調査施設) カナダ中央部のマニトバ州の南東部に位置する。地質は約25億年前に形成された花崗岩であり、深度-240mまでは比較的割れ目の多いピソングラニット、それ以深は割れ目のないグレートグラニットである。	EISに示された建設までの調査段階は、①サイト調査段階(3~5年)、②サイト評価段階(15~20年)であり、深層ボーリングはサイト評価段階の候補地内に設定された数カ所のグリットエリア(1-4km <sup>2</sup> )ないで複数実施されている。		各グリットエリアにおける全てのボーリング数量は明らかでないが、Atikokan Research Areaでは、300-900mのボーリングを4本実施している。ホワイトシェル調査地域では、7つのグリットエリアに400-1200mの21本のボーリングが掘削されている。	添付資料-7参照
フィンランド	オルキルオト サイトはフィンランド西海岸のオウル島のTVO発電所敷地内に位置する。サイト周辺の基盤岩は雲母-片麻岩を主とし、ここに石英-閃緑岩のくさび状の貫入がある。	サイト特性調査は1980年に開始され、1991年の最終安全報告書作成後の安全審査により、1992年4月に低中レベル処分場の操業許可がおりた。 深層ボーリングは9年間におよぶサイト特性調査期間に実施されている。		6本の深層ボーリング含め50本のボーリングが実施された。 KR1:1001m φ56mm KR2:503.6m φ56mm KR3:502m φ56mm KR4:503.2m φ56mm KR5:558.9m φ56mm KR6:300.3m φ76mm φ56:ハーフカッション, φ76:コアボーリング	添付資料-8参照

出典：SKB: ASPO HARD ROCK LABORATORY 10 YEARS OF RESEARCH, SKB, p.24, (1996)

SKB: The Fracture Zone Project - Final report, SKB TR93-20, p.13, (1993)

Nagra: Disposal programme for high-level waste, NAGRA bulletin No.25, p.11, (1995)

Nagra: Disposal programme for high-level waste, NAGRA bulletin No.24, p.14, (1995)

UK Geological Society: The Geology and Hydrogeology of the Sellafield Area, Proceeding of the Nirex Seminar, 11 May 1994, p.S39, (1994)

US DOE: Site Characterization Plan Overview, Yucca Mountain Site, Nuclear Waste Policy Act (Section 113), US DOE, Dec. 1988, p.19, (1988)

表 5.1-18 地下研究施設の変遷と役割 (TOPSEAL '96)

地下研究所の役割による分類

呼称	Classification	
	第1世代 First Generation Rock Laboratory	第2世代 Second Generation Rock Laboratory
サイティング	処分場とは明確に区別。	処分予定地または近傍に建設
主たる研究の特徴	地質環境調査技術開発 モデル開発・試験 建設操業技術の実証	地下深部の地質環境調査 サイト選定プロセスにおける実証 サイトスペシフィックなデータの収集 処分コンセプトを実証し、閉鎖の許認可を取得するための長期試験
調査方法	Invasive Methodologies サイトの擾乱は許す。	Non-invasive to minimize perturbation サイトの擾乱は最小限とする
第2世代の必要性		⇒処分場のスペシフィックな技術的基盤はその地質や廃棄物特性に依存する。 ⇒レイアウト、建設工法、試験プログラムは処分場特有の要求に影響を受ける。 ⇒モデリングのような基本的なサイト特性評価手法は岩盤タイプにより共通であるが、詳細な手法や機器は処分場のホストロックに適合すべきである。
地下研究所	Stripa, Grimsel	RCF-Sellafield, Konrad, Gorleben, HADES-URF

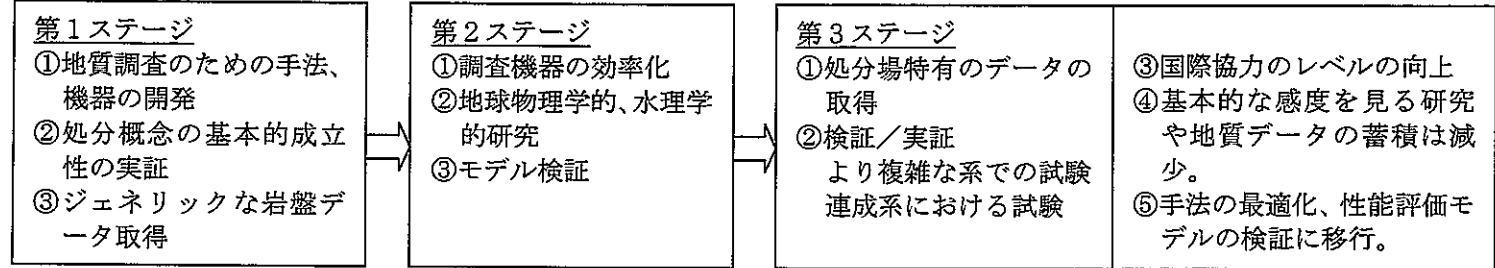
地下研究所の目的と必要性

**地下研究所の主たる目的**  
モデルの詳細化と実証のプロセスを通して、処分場選定の最適化、設計、建設手法と同様に、長期安全性の確信を深めることが研究プログラムの主たる目的である。地下研究施設と実験室レベルの研究の統合化も目的となる。

**技術的要因**  
①今までにない長期間、精度の解析を必要としており、現状では達成されていない。  
②実験室レベルでは深地層の環境を模擬するには限界がある。地下研究所以外に選択肢はない。  
③また、プロセスは連成系（力学、水理学、地化学）の場合が多く、さまざまなレベルで影響しあっている。  
④この分野の研究は統合される必要があり、同じ環境での試験の統合が効率的である。

**社会的要因**  
①1箇所の地下研究所は経済的となる。  
②PAの観点からも必要である。  
③処分プログラムの進捗により、処分予定地とは直接関係のない地下研究施設が設けられる場合もある。ジェネリックな研究は国際的に開かれた研究施設で実施され、処分場への展開はローカルな経験とPRによりなされていく。

地下研究所の特徴の変遷



	URL	Host Rock	First Generation Rock Laboratory	Second Generation Rock Laboratory	第1ステージ	第2ステージ	第3ステージ	現在の状況
ベルギー Belgium	Mol HADES/URF	粘土 Boom Clay		Potential Repository Site HADES→URF	掘削工法試験、実証(HADES)	モデル化、検証、詳細化 (岩盤力学、地球化学)	CERBERUS HADES	
ドイツ Germany	Asse (GSF)	岩塩	1995		廃棄体定置実証試験	モデル化、検証、詳細化 (岩盤力学) 廃棄体設置影響 TSS-Project		プログラムの見直し中、埋め戻し、各種試験のシャットダウン
	Gorleben (DBE)	岩塩		(Potential Repository Site)				
	Konrad (DBE)	石灰岩 鉄鉱石鉱山 凝灰岩		(Potential Repository Site)				
英国 UK	RCF Sellafield	凝灰岩		Potential Repository Site 建設許可待ち				広域サイト特性調査
フィンランド Finland	Research Tunnel Olkiluoto	Tonalite		Repository since 1992				Full Scale Deposition Holes
スウェーデン Sweden	Stripa	結晶質岩	1979-1992		大口径ボアホール掘削試験 地球物理学的調査機器、シーリング	地球物理学的、水理学的研究 モデル化、検証、詳細化 (熱伝導)		
	Aspo Hard Rock Laboratory	結晶質岩		1990 建設開始		モデル化、検証、詳細化 (水理、物質移行、掘削影響)	広域サイト特性調査 モデルの統合化、Prototype Repository	
スイス Switzerland	Grimsel Test Site	結晶質岩	1983		TBMによる掘削実証試験 地球物理学的調査機器	地球物理学的、水理学的研究 モデル化、検証、詳細化 (熱伝導)	核種遅延試験 (RRP) FEBEX	第4フェーズ 1996 第5フェーズ 1997-2001 第1~第4フェーズ 1995-1998
	Mt. Terri	堆積岩 Opalinus Clay	1995					
フランス France	Fanay Augeres	結晶質岩	1980		2箇所の地下研究所を計画中			サイト選定中 (2箇所)
スペイン Spain		結晶質岩、岩塩、粘土	3つのタイプの実証試験のための地下研究施設を計画中					
日本 Japan	Tono	堆積岩						
	Kamaishi	結晶質岩	1998					
	MIU	結晶質岩						計画中

## 5. 2 海外におけるサイト選定と地下研究施設の位置付けに関する調査事例のまとめ

海外の調査事例のまとめとして、サイト選定と地下研究施設の位置付けが明確になっているスウェーデン、スイスに着目し、処分スケジュールにおける地下研究施設の果たしている役割を整理する。

### 1) スウェーデンにおけるサイト選定スケジュールと地下研究施設

スウェーデンのサイト選定は、全国を対象としたジェネラル・サイトスタディと特定の地域を対象としたフィージビリティ・サイトスタディが平行して進められている。

ジェネラル・サイトスタディでは、国土全体の地質分布図等既存の資料をもとに、土地利用・環境および社会的な観点、長期の放射線安全性の観点、輸送を含む技術的な観点から、処分に適していると判定される地域のマップを作成している。

フィージビリティ・サイトスタディでは、これまで2カ所で開催してきたがいずれも地元の反対に合い、更なる調査は断念している。現在は以下の3カ所をスタディ候補地域として選定し、地元との折衝に入っている。

- ・ オッシャマー地区：フォスマルクのSFR等原子力施設が存在する地域
- ・ オスカーシャム：HRL等原子力施設が存在する地域
- ・ ティアープ：フォスマルクに近接する地域

いずれも沿岸地区で花崗岩を母岩とする地域である。

スウェーデンにおける処分プログラムと2つの地下研究施設の変遷を図5.2-1にまとめて示す。ストリーパ鉱山跡での国際共同研究は1980年から開始され、3段階を経て1991年に閉鎖された。それぞれの段階では国際共同研究の名のもとに、スウェーデンにおける地質環境の場ではあるが、興味深い種々の研究が展開された。地下研究施設としては第1世代の試験場といえる。

エスペ島の下で現在展開されているHRLでは、上記のスタディサイトで用いられる地質環境調査および評価技術の確立を一つの大きな目標としている。また、処分の安全評価で用いられるモデル、データの検証、人工バリアの定置および埋め戻し・プラグ設置といった工学的な技術の実証も展開されており、HRLで準備された各種技術が実際のサイトでの調査、建設に反映できるように研究計画が立案されている。

サイトの調査・評価における地下研究施設の役割は、RD&D1995に以下の項目で記述された。

サイト調査・評価の目的と計画の立案の前提として着目すべき項目としては以下の項目が挙げられている。

- － 化学的に好ましい環境かどうか
- － 力学的に安定な環境かどうか



- －核種移行の遅延の観点から
- －人間侵入の観点から

SKB では、サイト調査計画を作成するにあたり、上記の項目に関連する情報を、いかに効率的かつ信頼性を持って取得するかに焦点を当てており、そのために以下の事項に留意することとした。

- －国内および諸外国のサイト調査の事例
- －処分場の設計、安全評価、環境影響評価に必要とされるサイトデータ
- －使用される計測手法と機器
- －取得データの取り扱い
- －要求品質と品質管理プログラム

図 5.2-2 にサイト選定に必要な情報の一覧を、図 5.2-3 に全国規模におけるの一例を、図 5.2-4 にサイトスタディの候補地域であるエッシェマーの位置を示す。

スウェーデンのプログラムにおける地下研究施設の役割は以下のようにまとめることができる。

1986 年から 1994 年までの HRL における重要な実施項目として、サイト評価および特性調査に必要な手法の開発とその適用試験があげられる。そのなかで特に、「地表面およびボーリング孔からの調査でどの程度、深度 500m の地質環境条件を把握することができるか」が最重要な項目の一つであった。これを評価するために、アクセス坑道掘削前の予測、および掘削中、あるいは掘削後の計測結果を比較検討している。具体的な比較項目としては以下の項目が挙げられている。

- ・地質学的な事象・構造・幾何学的な様子：岩種境界、割れ目分布とその位置、および塩淡境界の位置などの比較・評価
- ・パラメータの推定：地質学および水理学的特性の予測にする確実性の評価
- ・その他：実作業を行うための技術的・科学的試験を掘削中に実施し、実測手法、データの取り扱い、品質確認等についてのノウハウを蓄積

## 2) スイスにおけるサイト選定スケジュールと地下研究施設

スイスの放射性廃棄物処分に係わる実施主体 Nagra は、1985 年に処分の実現を示す報告書 (Project Gewähr 1985) を作成し、政府に提出するとともに、結晶質岩を対象とする現位置試験を開始した。さらに政府の勧告を受け、堆積岩を対象とした実現性明示の研究も進めており、そのための原位置試験場も確保している。これら一連の処分プログラムと原位置試験場である地下研究施設との関連を整理して、図 5.2-5 に示す。

スイスの高レベル廃棄物処分地選定プロセスは、1980 年代前半から、処分の実現性を明示するために、全国に分布する様々な岩種を対象に進められてきた。結晶質岩については、地質環境の安定性とその分布を考慮して、早くからスイス北東部の花崗岩分布エリアが選定された。1985 年までに 5 本の深層ボーリングが実施され、その分布と岩盤の特性を把握するための調査が展開された。その結果として、Nagra は、スイス北東部の深さ 1000m レベルに処分に適した岩体が存在すると判断し、その地域を候補エリアとして選定した。これらの選定プロセスは純粋に科学・技術的な判断によっている。

一方、低・中レベル (短寿命廃棄物) 処分地選定プロセスは、同じく全国を対象に、岩種、地形、安定性、アクセス性、既存データの有無、土地利用状況の観点から 100 サイトを選出した。100 サイトを対象に、専門家の判断で以下の項目に着目し、重み付けを考えて 3 サイトが選ばれた。

- ・ 地質・地質構造
- ・ 水理地質
- ・ 長期安定性
- ・ 掘削ズリの処分等環境保全の観点
- ・ 土地利用状況 (過去の変遷と将来の含めて)
- ・ 候補エリアへのアクセス性 (インフラの整備状況)

これらの 3 サイトに 1 サイトが追加され、それぞれについてボーリング調査結果等を含めた評価がなされ、1994 年には Wellenberg が予定地として選定された。

スイスにおける地下研究所の役割および位置付けについては、添付資料-1 の「スイスにおける結晶質岩と堆積岩の地下岩盤研究施設-その技術的プログラムの選択の合理性」に詳細に報告されている。

スイスの Wellenberg で展開されている Geo-synthesis の思想は、今後わが国で地

質環境調査計画を作成する上で極めて重要であると考えられることから、そのフィールドデータからその解釈、概念化、モデル化からその結果の応用までの関連性を明確にしたフロー図を図表形式にまとめて記述する。

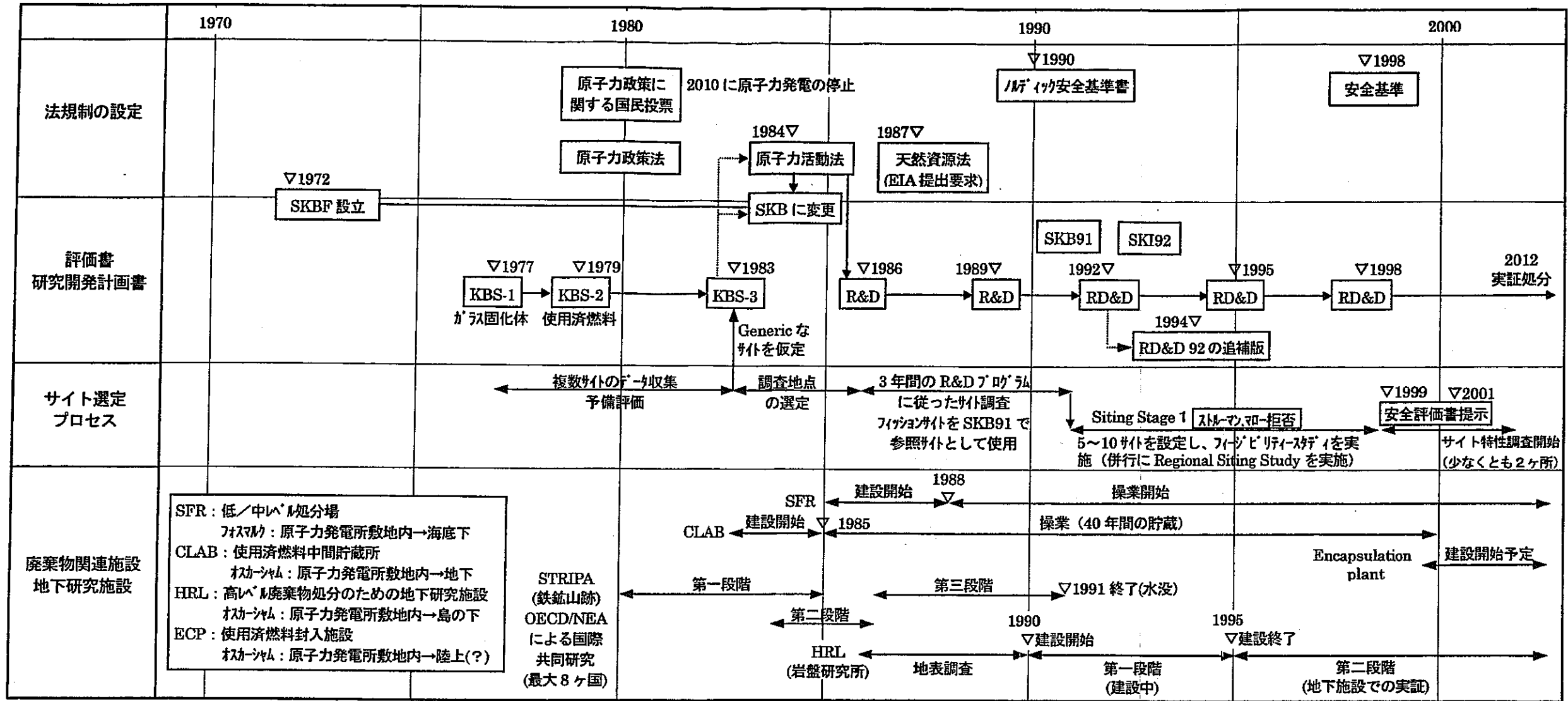
図 5.2-6 に地質に関連した統合化の関連を、図 5.2-7 に地下水を対象にした図式を示す。図 5.2-8 に地下水化学を対象にした図式を示す。

これらの統合化の考えかたを参考に、現在東濃地科学センターで実施されている広域地下水流動に関連した統合化のイメージを参考に、図 5.2-10 にまとめて示す。このイメージはまだ概念的にそれぞれの関連を結びつけたものであり、実際のデータをもとに相互の関連性と目標とする達成レベルを設定した上で詳細に検討する必要がある。

キーワード

- ・処分関連の法規性
- ・SKB の設立
- ・評価レポート
- ・研究開発レポート
- ・低/中レベル処分場の選定
- ・高レベル処分場の選定
- ・処理、処分関連施設
- ・地下研究施設

SKI : 国家原子力監査局 (規制主体)  
 SSI : 国立放射線防護研究所  
 SKN : 使用済燃料国家委員会 (財源法に基づく監督と財政義務の履行、研究開発計画の監督、PA 等)  
 SKB : スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (実施主体)



**原子力活動法：スウェーデン政府（1984）**  
 [放射性廃棄物の処理・処分に係るバックエンド政策]

原子力活動法は、4つの法律を統合する形で制定された

- ・原子力炉稼働を利用するための権利
- ・原子炉に核燃料を装荷するための認可
- ・一定期間、原子炉に核燃料の装荷を禁止する規定
- ・原子力施設での安全措置への公共の査察に関する法律

↓

原子炉所有者は、最終処分のために必要な措置並びに最終処分のために必要な研究・開発活動のための計画を作成し、または作成させなければならない（許可義務 第12条）

↓

SKB が3年毎の研究開発計画（R&Dプログラム）を作成

**KBS-3 レポート：1983 SKB**

[処分の実施主体 SKB が作成した高レベル放射性廃棄物処分に関するスウェーデンの基本概念を示した報告書]

本概念が、この後多くの国に影響を与えることになった。  
 （貯蔵→輸送→処分まで一括して明示）

↓

国内外の専門家のレビュー → 議会の承認（1985）

- ・SKB が実施主体として責務を負える能力があること
- ・スウェーデン国内での処分が技術的に可能であること

↓

SKB は R&D プログラムに従い、サイト選定活動と処分技術を確立するための様々な活動を開始（SKI との連携）

- ・地下研究施設での国際共同研究
- ・Study Site の選定

**原子力安全基準書：1990**

[高レベル放射性廃棄物処分に関する基本的基準についての原子力規制支局の見解を提示]

特徴：規制上の要件と指針の中で評価期間の時間枠に対応した安全評価指標を提示（天然ウランとの比較）  
 安全目標は IAEA-Safety Series No.99 の考え方を踏襲  
 「サイト選定基準」として一般的な指標と選定手順を明示

↓

1994年：SKB 「RD&D 1992 追補版」として、サイト選定の内規と調査の手順について、国の規制当局との協議を踏まえて記述  
 （規制当局が概略のガイドラインを明示することにより、実施側はより具体的な選定を進めることが可能となる）

**SKB が提示した「実証処分」の概念：1992**

[世代間の公平、意思決定の多様化、安心感と信頼感の熟成を目的に処分全体の5~10%を実証処分として20年間、再取り出し可能な状態で埋設する概念]  
 R&D 89の後、国、SKI、SKBの間で処分の実現に向けての方策を協議。SKB が実証処分を提案し、国、規制主体も承認→RD&D 92となる。

↓

[最終的に人間の距離に依存しない処分に移行する原則を出発点に、より国民に合意の得やすい方策として提示]

↓

[処分を実現するためには、科学・技術的な確信と社会・経済的な受容が同じレベルで不可欠]

図 5.2-1 スウェーデンにおける放射性廃棄物処分プログラム

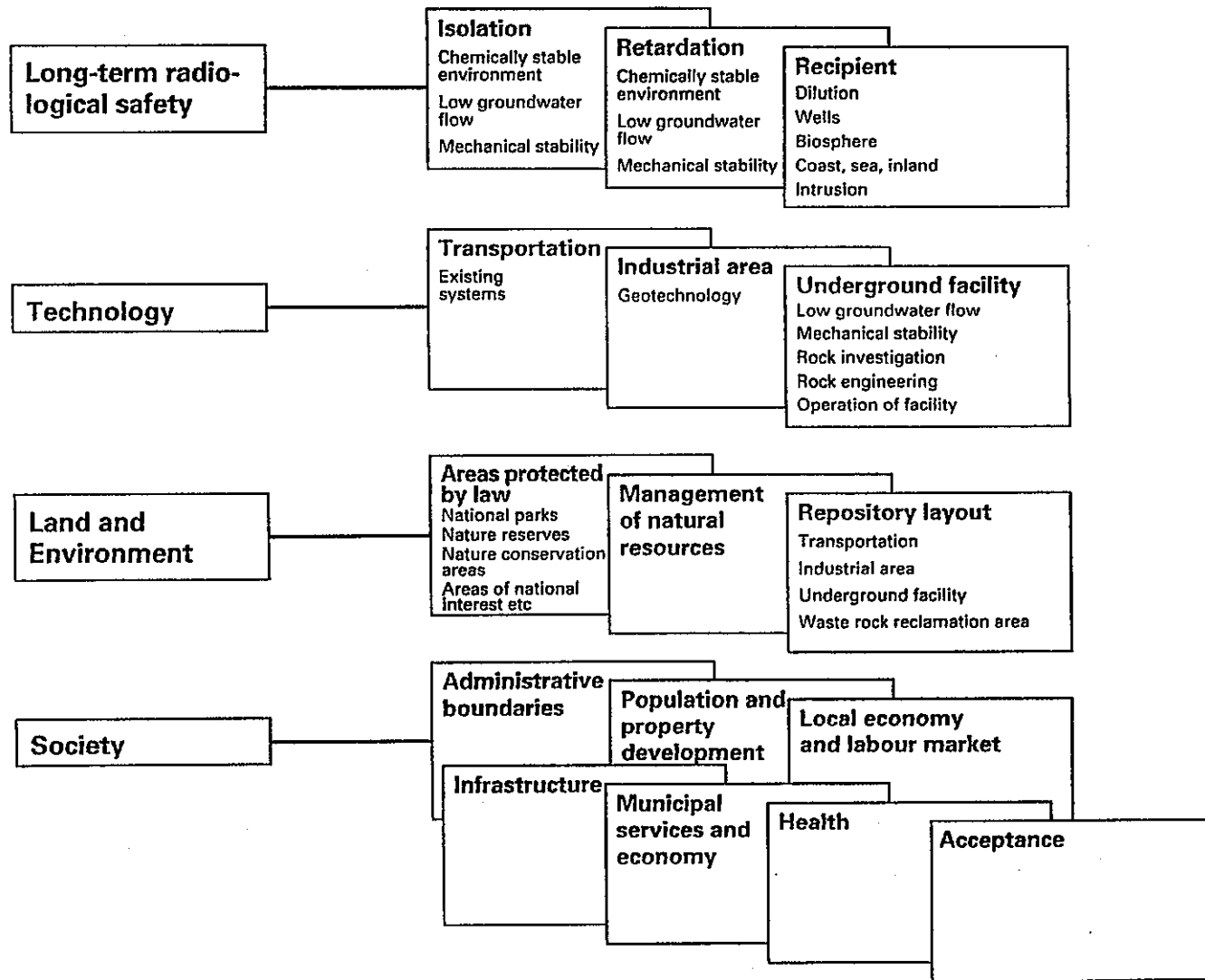


図 5.2-2 サイト選定に必要な情報

出典 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, p.13, (1995)

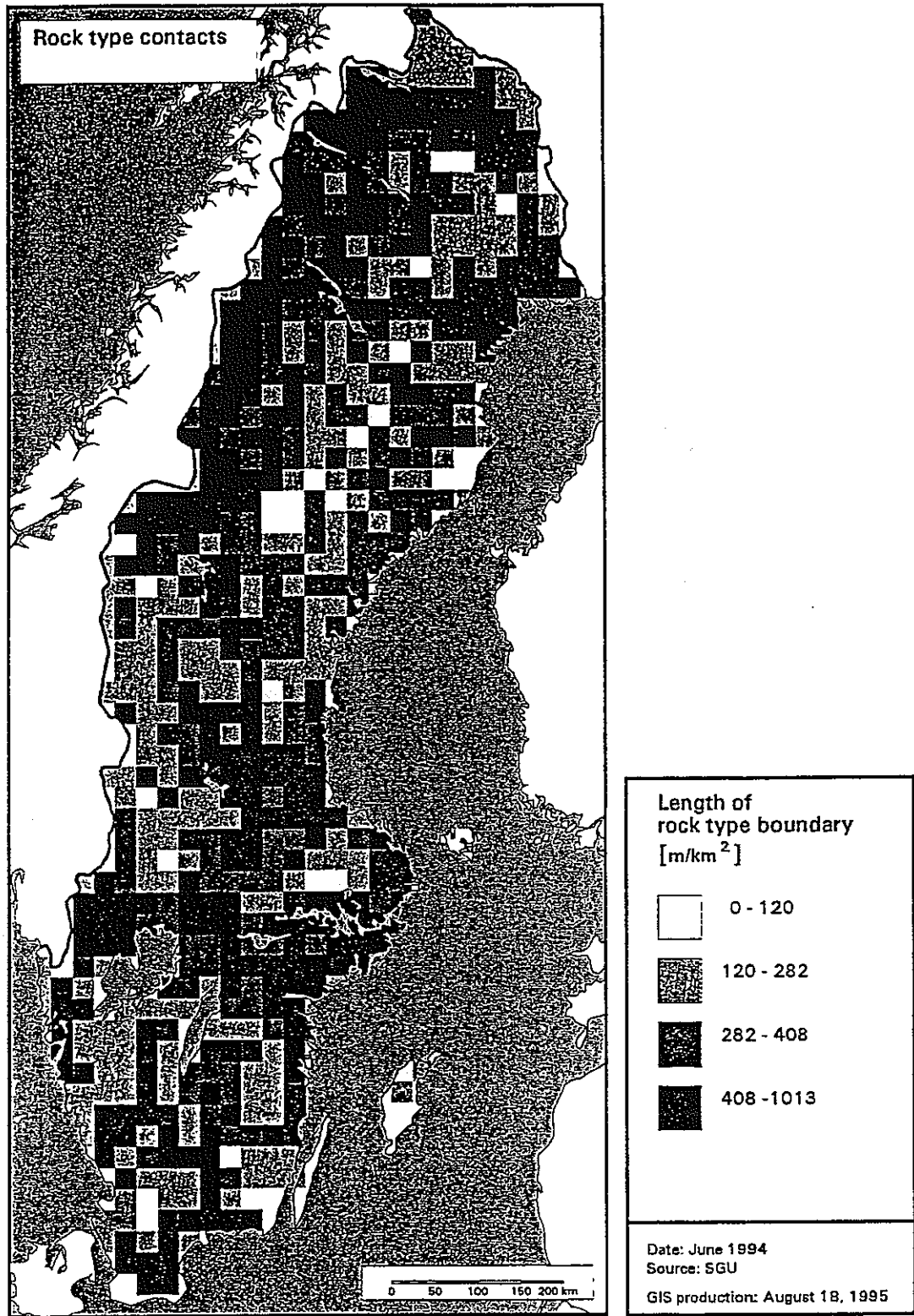
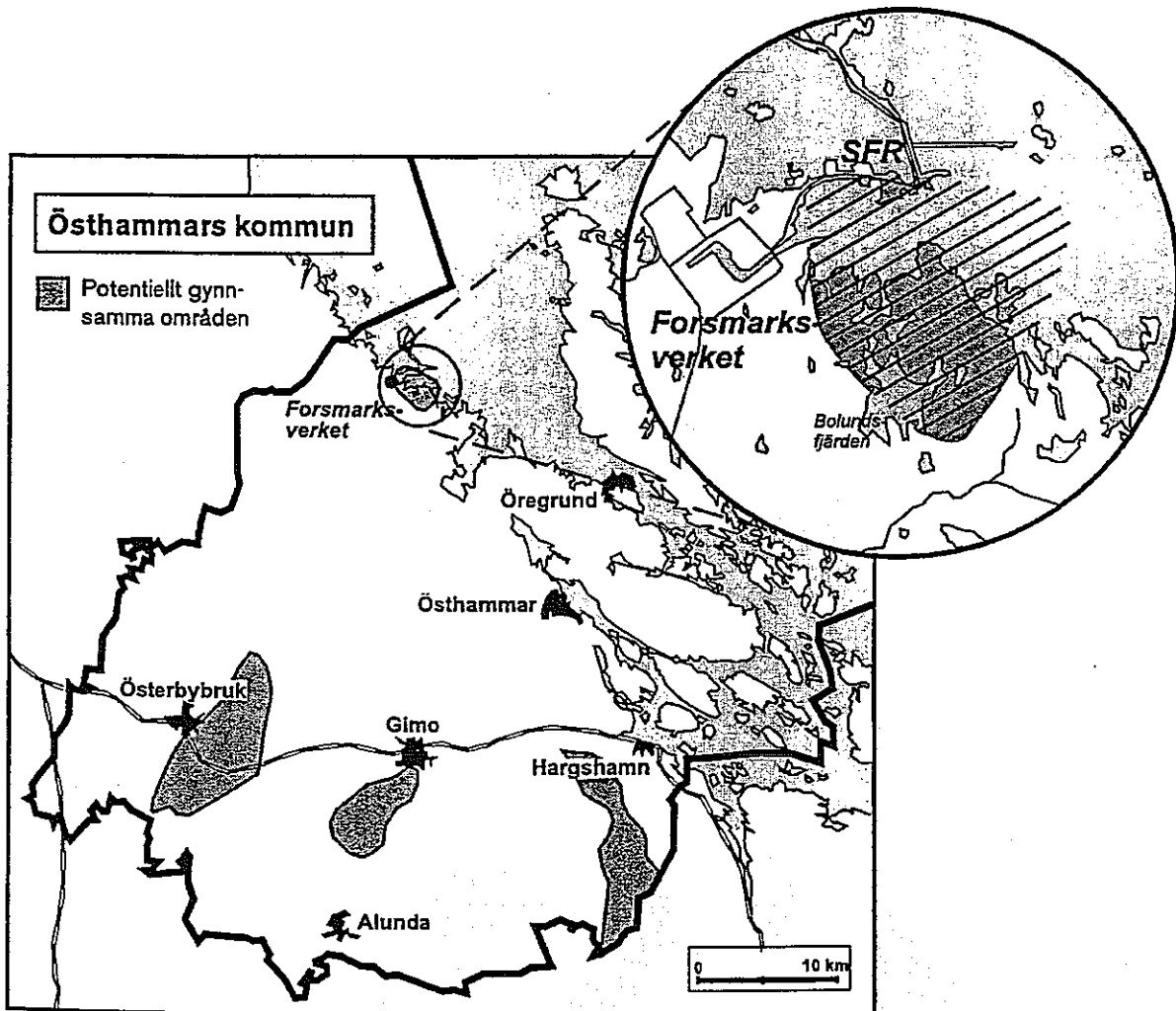


Figure . Map of the length of the boundaries between different rock types per 25x25 km topographical sheet. Based on 15-21. Regions which, on a national scale, contain many different main rock types do not have to be excluded.

図 5.2-3 全国規模の調査例

出典 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, p.122, (1995)



Figur . Potentiellt gynnsamma områden i Östhammars kommun samt lokalt vid Forsmarksverket.

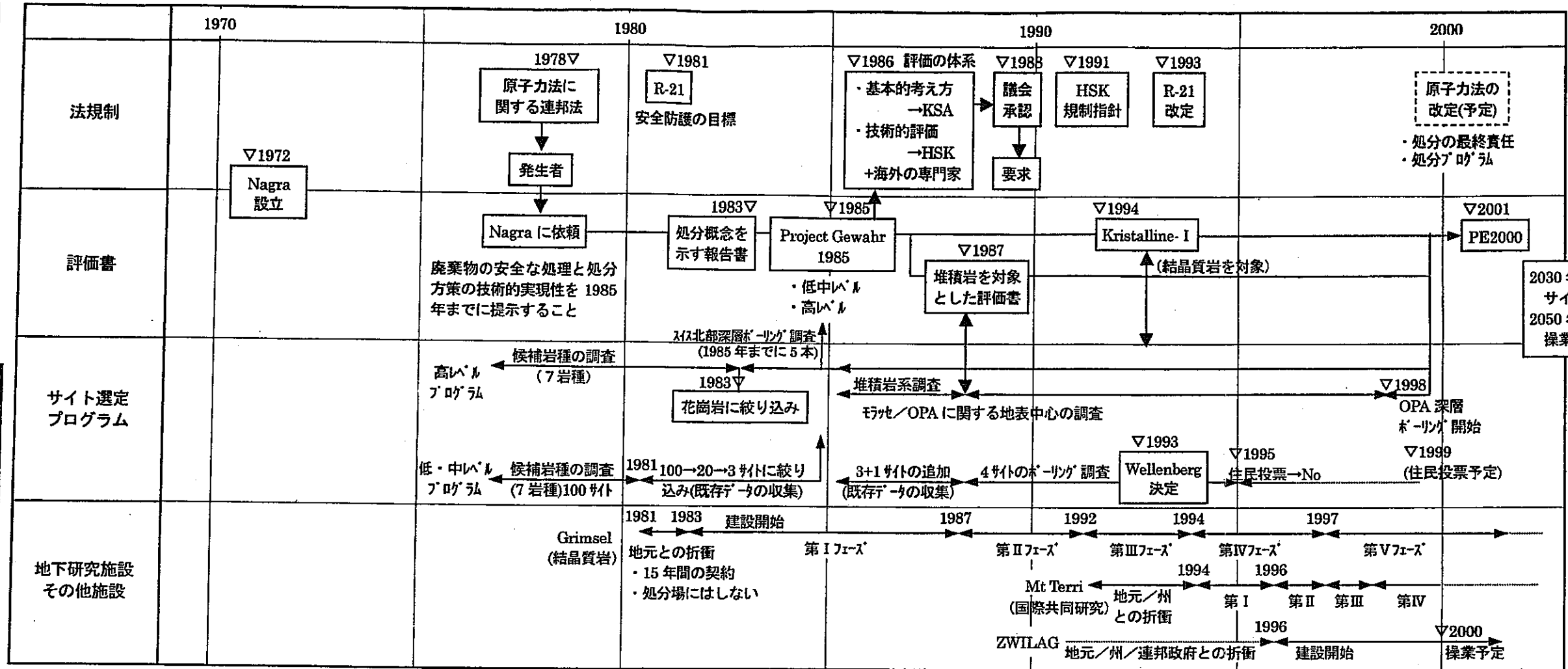
図 5.2-4 サイトスタディ地域 (エッシュャマー)

出典 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, p.123, (1995)

キーワード

- ・法規性の設定
- ・実施主体 (Nagra) の設立
- ・Project Gewähr (要求/評価/議会の承認)
- ・地下研究施設
- ・低/中レベル処分場選定プログラム
- ・高レベル処分場選定プログラム

HSK : 原子力安全局  
 KSA : 原子力安全委員会  
 AENEB : 省庁間 WG  
 Nagra : スイス放射性廃棄物処分組合



**R-21 「原子力施設に関するガイドライン」 : HSK, KSA (1981)**  
 [放射性廃棄物の最終貯蔵のための防護目標]

防護目標 1 :  
 処分後、処分場から現実的に考えられる過程を経て生物圏に達する核種による個人被曝線量は年間 0.1mSv (10mrem) を超えてはならない

防護目標 2  
 処分場はいつでも数年の間で閉鎖できるように設計すべきである。処分場を閉鎖した後は、安全措置および監視措置の放棄が行えるようにすべきである。

**R-21 「改定」 : HSK, KSA (1993)**  
 [放射性廃棄物の防護目標]

防護目標 1 :  
 合理的に起こりうるプロセスおよびイベントにより、閉鎖された処分場から放出される核種は、個人の最大線量として 0.1mSv/年を超えてはならない

防護目標 2 :  
 目標 1 で考慮していないような発生する可能性が極めて低いプロセスおよびイベントにより、閉鎖された処分場から生じる個人の放射線学的リスクは、10<sup>-6</sup>/年を超えてはならない

防護目標 3 :  
 閉鎖終了後、処分の安全性を保証するために必要となるいかなる計測 (管理) を実施してはならない。また、処分場は数年以内にいつでも閉鎖可能となるよう設計されなければならない。

**「Project Gewähr」 : Nagra (1985)**

原子力発電所の運転許可の継続・新しい発電所の認可申請のためのスイス国内での処分の技術的実現性を示す

- 第1分冊 スイスにおける核燃料サイクルとバックエンドの方策
- 放射性廃棄物の特性および最終貯蔵所の割り当て
- 高レベル処分の建設・操業技術
- 高レベル処分の人工バリア概念
- 高レベル処分の安全評価
- 低/中レベル処分の建設・操業技術
- 低/中レベル処分のバリア概念
- 低/中レベル処分の安全評価
- 要約版 (英語)

**「連邦議会の要求事項」**

1. 低/中→OK
2. HLW →OK

ただし

3. 結晶質岩以外の岩種での実現可能性の明示
4. スイス国内に処分が成立する岩帯の存在の証明

PE2000 : Siting Feasibility : Geosynthesis Report

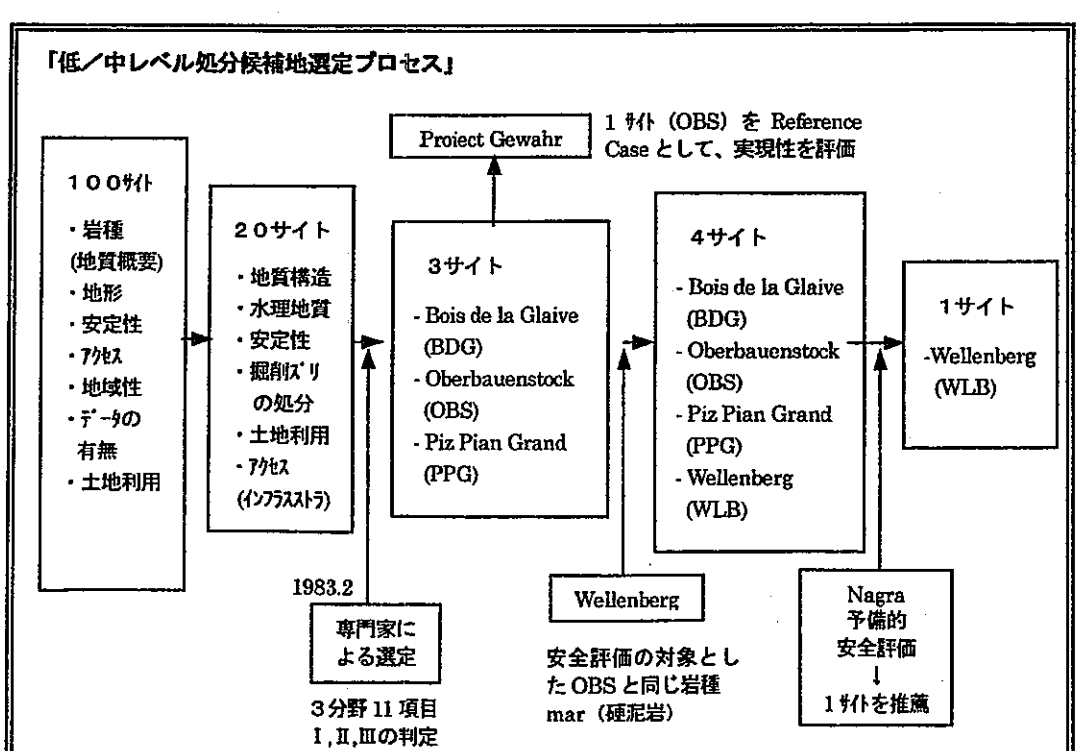


図 5.2-5 スイスにおける放射性廃棄物処分プログラム



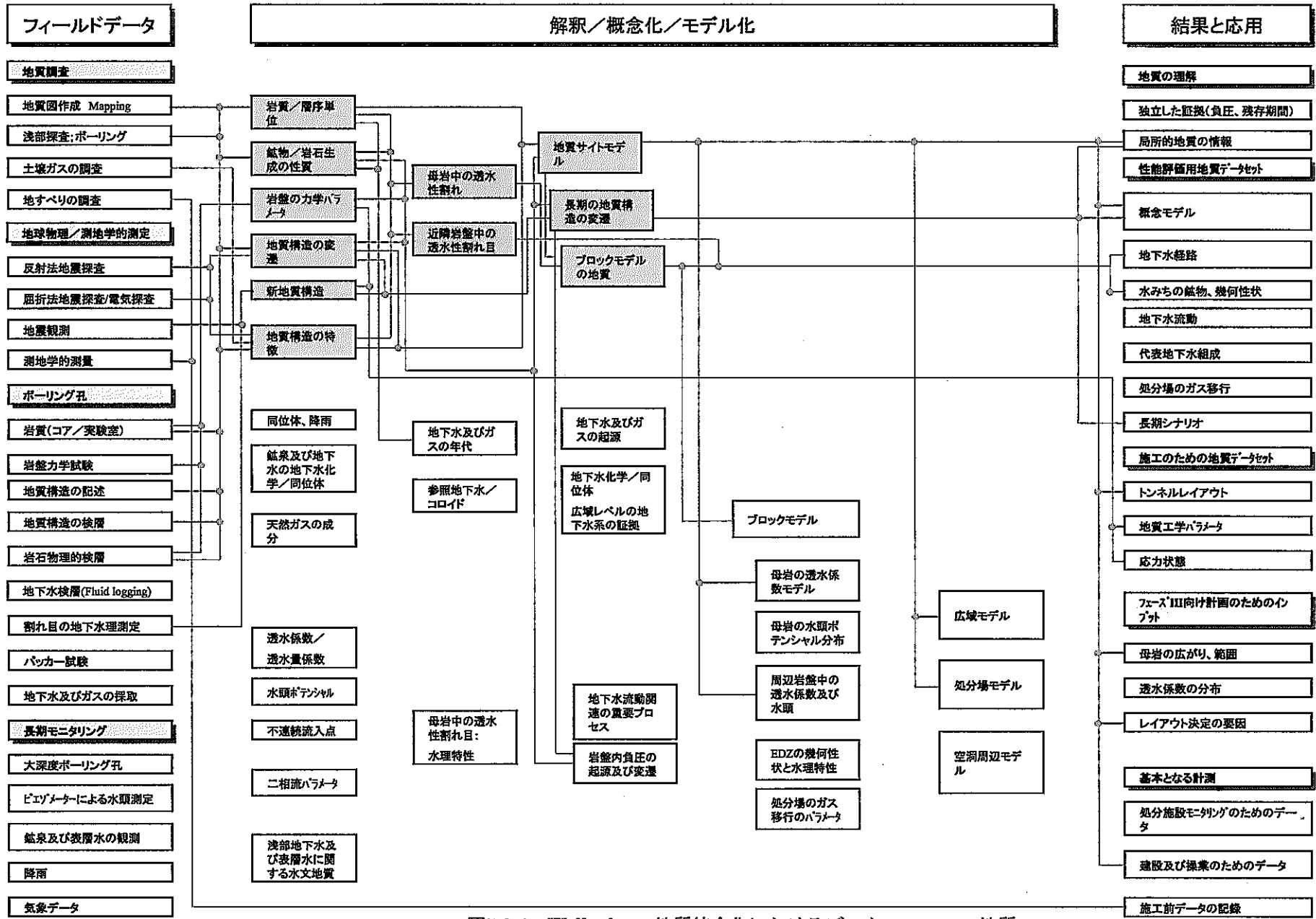


図5.2-6 Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー：地質  
 出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p40, Figure 3.7-1a, (1997)

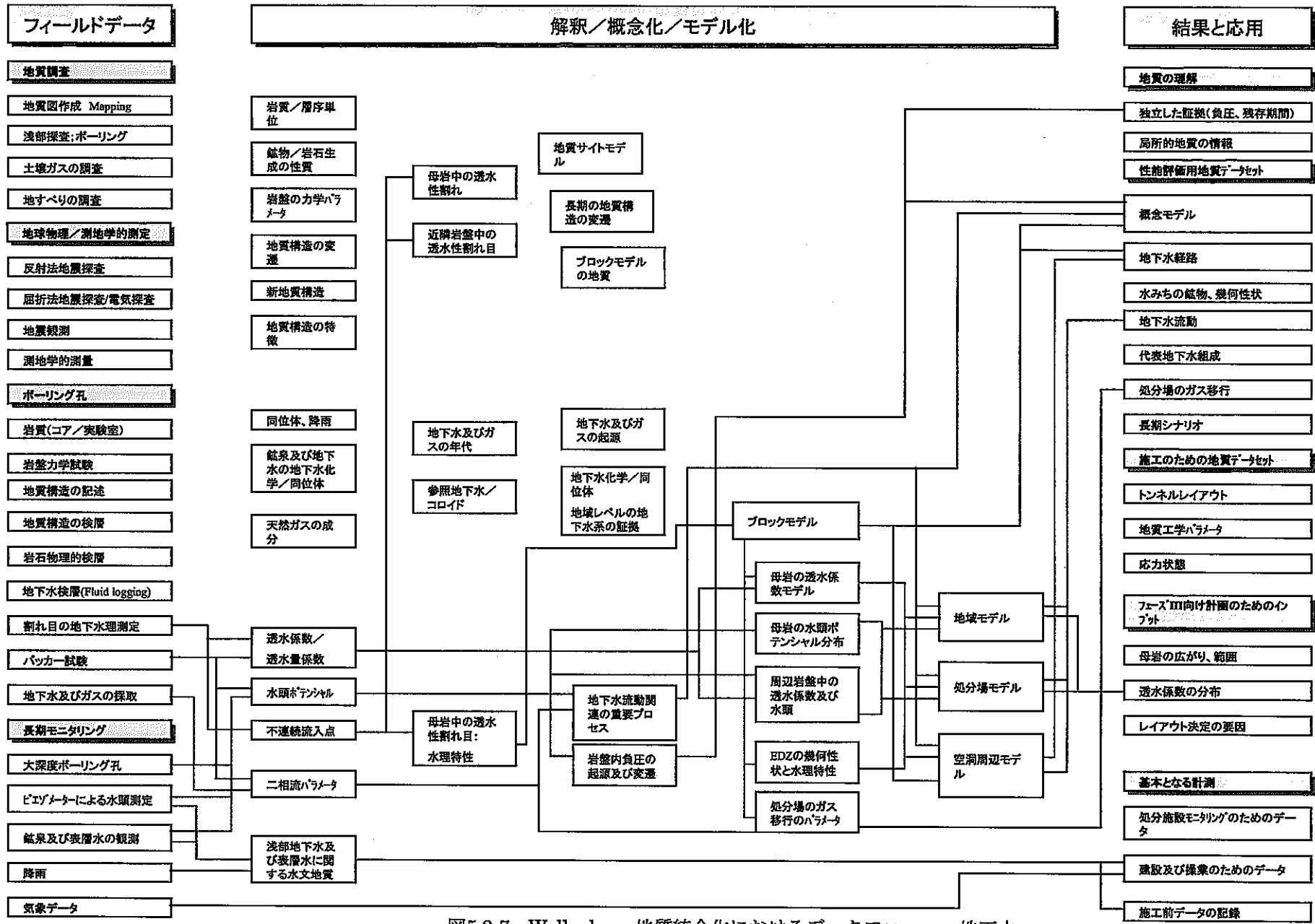


図5.2-7 Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー：地下水

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p42, Figure 3.7-1c, (1997)

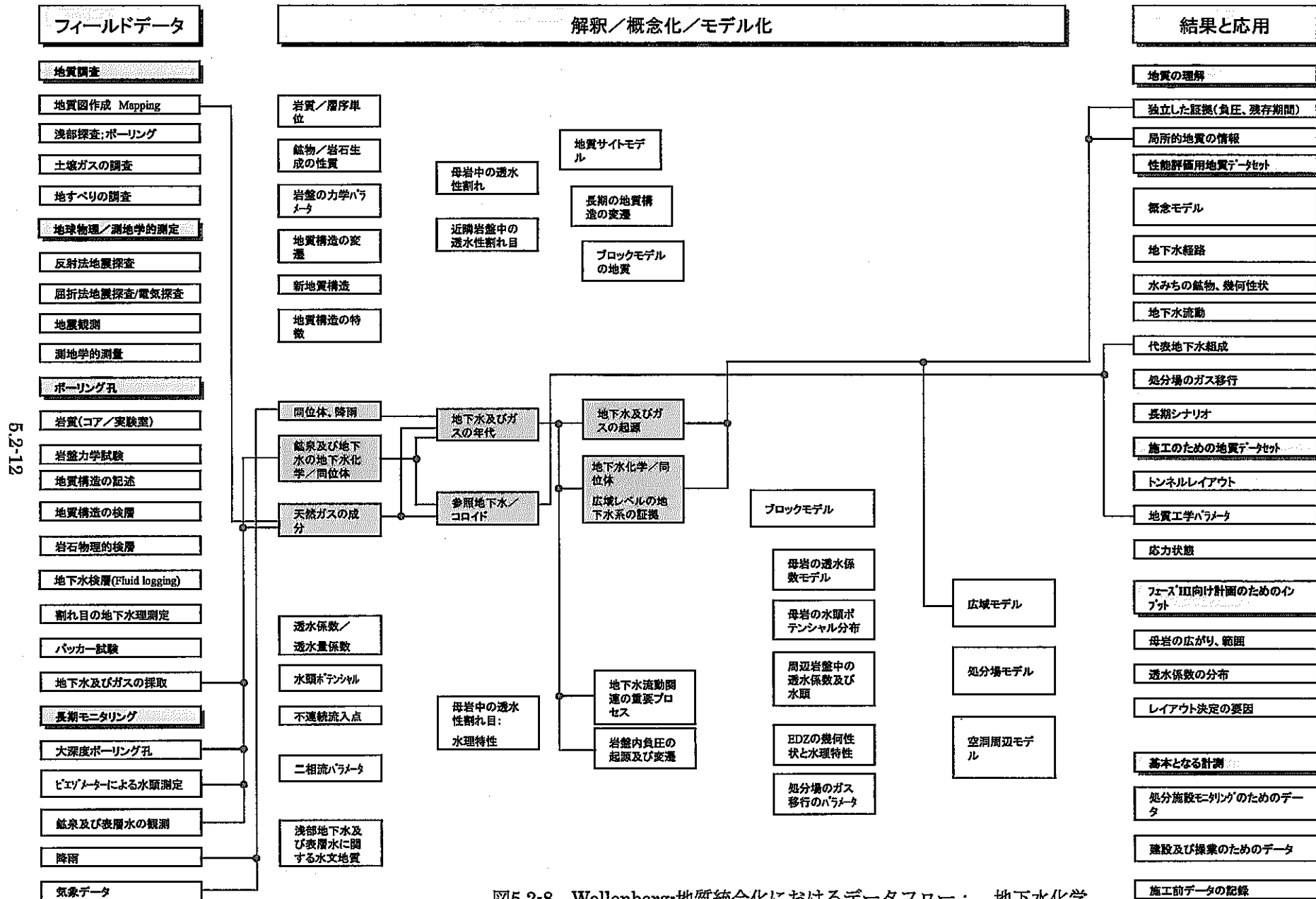


図5.2-8 Wellenberg-地質統合化におけるデータフロー: 地下水化学

出典: Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p41, Figure 3.7-1b, (1997)

地上物理探査の概要

調査範囲・方法

- ①重力探査
- ②電磁探査 (MT & CSMT法)
- ③弾性波探査反射法 (パイプレータおよび油圧インパクトを振源)
- ④弾性波探査屈折法 (ダイナマイトを振源)

調査範囲  
東西約10km×南北約10km

調査量

- ①測点数: 4,643点
- ②測点数: 144点 (測定周波数: 10Hz~96kHz)
- ③測線長: 1,304m (2測線)
- ④測線長: 1,700m (1測線)

試錐孔を利用した調査

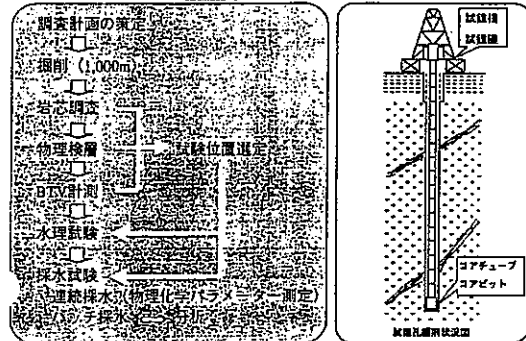
【目的】

○地表から地下深部における地質環境 (地質・地質構造、地下水の物理特性、地下水の地球化学的性質および岩盤力学特性) の分布とその物性の把握

【内容】

- ・深度1,000mの試錐孔の掘削を伴う
- ・地質・地質構造調査 (岩芯観察、物理検層、鉱物分析など)
- ・水理調査 (フローメーター検層、水理試験など)
- ・岩盤力学調査 (応力測定、室内力学試験など)
- ・地下水の地球化学調査 (地下水の採水調査、長期観測など)

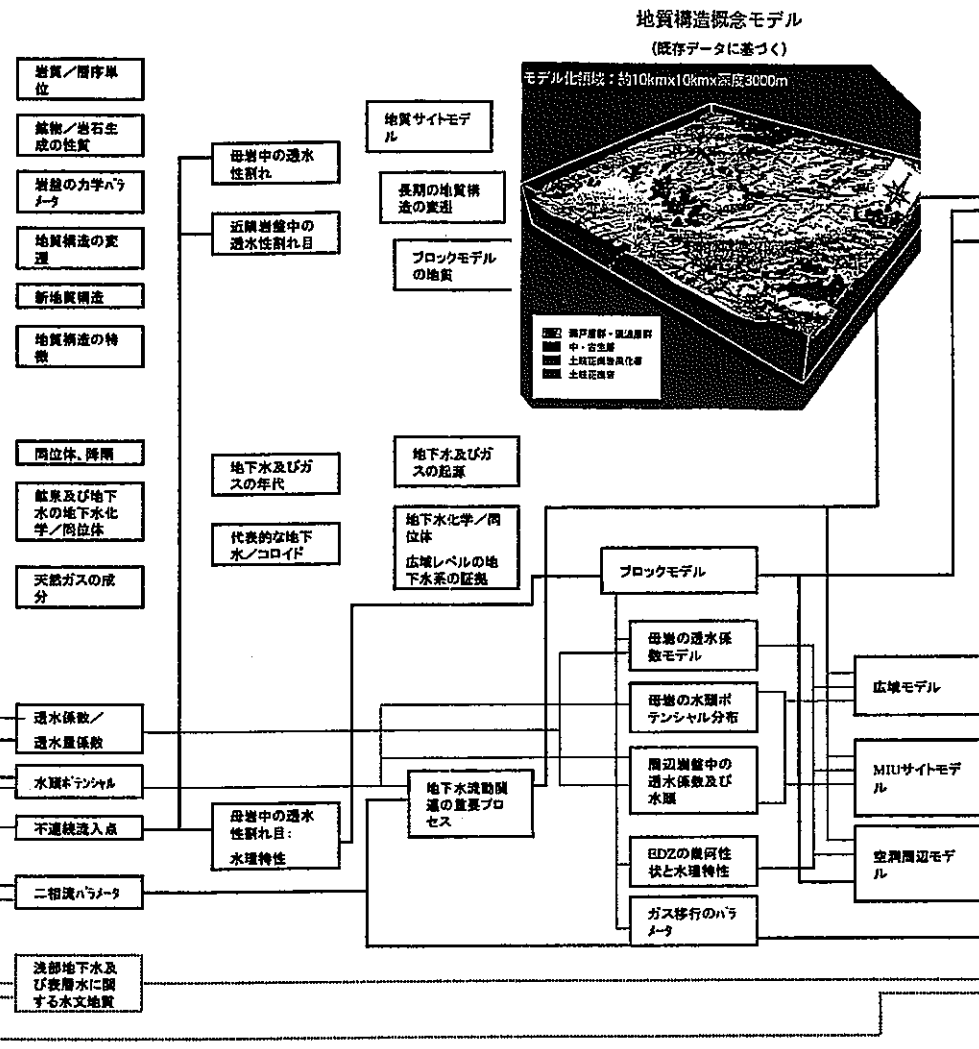
試錐調査の手順



フィールドデータ

- 地質調査
- 地質図作成 Mapping
- 湧出調査:ボーリング
- 土壌ガスの調査
- 地すべりの調査
- 地球物理/測地学的測定
- 反射法地質探査
- 屈折法地質探査/電気探査
- 地質観測
- 測地学的測定
- ボーリング孔
- 岩質(コア/実検査)
- 岩盤力学試験
- 地質構造の記述
- 地質構造の検層
- 岩石物理的検層
- 地下水検層(Liquid logging)
- 断層・割れ目の地下水理測定
- バックパッカー試験
- 地下水及びガスの採取
- 長期モニタリング
- 大深度ボーリング孔
- ビエノメーターによる水理測定
- 鉱泉及び表層水の観測
- 降雨
- 気象データ

解釈/概念化/モデル化

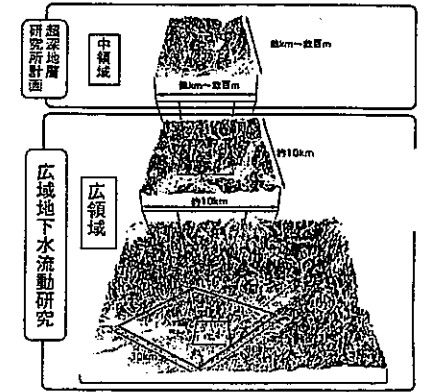


結果と応用

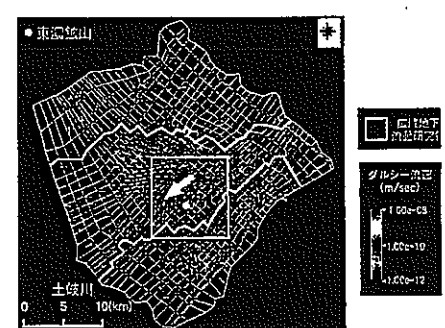
- 地質の層序
- 独立した検層
- 局所的な地質の検層
- 性能評価用データセット
- 概念モデル
- 地下水経路
- 水みちの鉱物、量同位体
- 地下水流動
- 代表地下水組成
- ガス移行
- 長期シナリオ
- 立坑建設のための地質データ
- トンネルレイアウト
- 地質工学パラメータ
- 応力状態
- 第3段階計画のためのインプット
- 母岩の広がり、範囲
- 透水係数の分布
- レイアウト決定の要因
- 基本となる貯層
- 処分施設モニタリングのためのデータ
- 建設及び操業のためのデータ
- 施工前データの記録

(中領域) 水理地質構造モデル化手法

	連続体モデル	不連続体モデル DISCRETE FRACTURE	不連続体モデル Equivalent
1. モデル化対象スケール	大	中	小
2. 適用計画	広域地下水流動研究 MIU計画 第1~3段階	MIU計画 第1~1段階	MIU計画 第1~1段階
3. 評価対象時間	長期間		短期間



解析結果一流速ベクトル

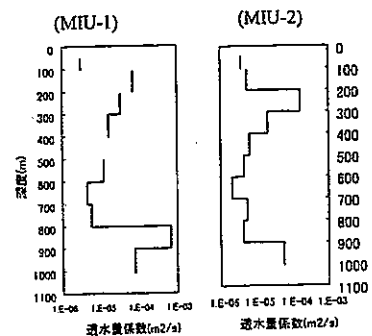


平均的な透水性の把握  
— 結果 —

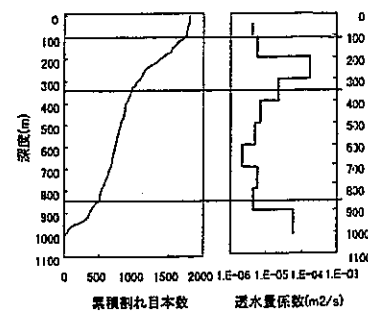
- ・長い区間の水理試験と累積割れ目本数は良い相関を示し、深度約300m程度、700~800mで累積割れ目本数に対応した概略的な透水性区分が可能。
- ・浅部と深部に高透水性ゾーンが分布。

亀裂性岩盤の透水性を評価する上での考え方

- 亀裂性岩盤では割れ目の大きさを問わず、各々の割れ目に沿って地下水が流れる。
- 試錐孔で観察される割れ目毎の透水性を把握することは困難なことから、割れ目の透水性を効率的に把握するため、割れ目の中でも透水性の大きい割れ目を抽出。
- どの割れ目を抽出するかについては、ある長さの区間を設定し、その区間の平均的な透水性を把握した上で、その中で透水性を支配すると考えられる割れ目を抽出。
- 抽出された割れ目が透水性を支配しているかを評価。

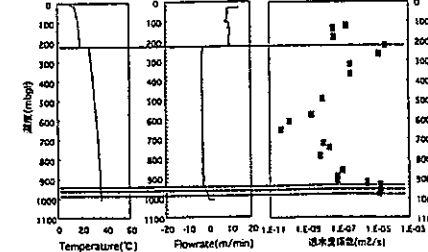


水理試験結果



MTU-2号孔の割れ目本数と透水性の関係

(中領域) 岩盤中の水みちの透水性を把握する手法  
(MIU-1号孔での調査結果の一例)



岩盤中の水みちの透水性を把握する手法として、

- ・試錐掘削中の逸水等のモニタリング
- ・温度検層
- ・フローメーター検層

の3つの調査・観測手法の組み合わせが有効

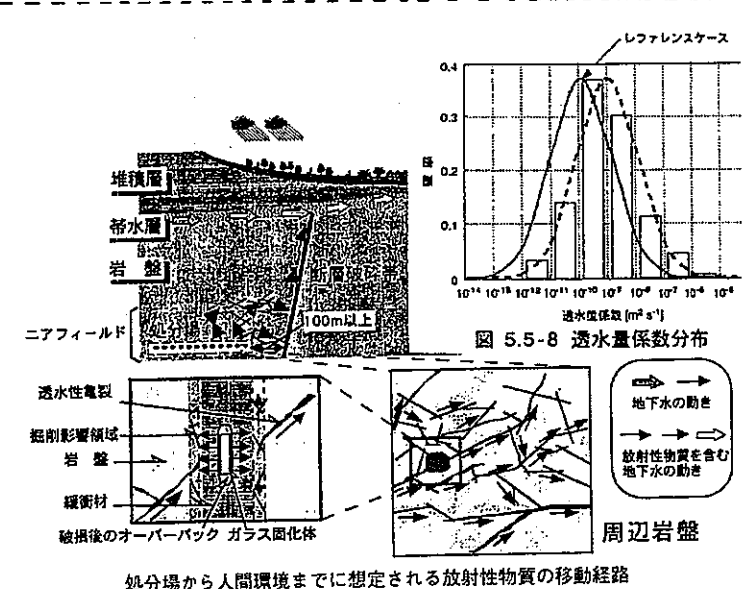


図 5.2-9 東濃 - 地質統合化におけるデータフロー：地表および試錐孔からの地下水評価

参考文献：図 5.2-7 及び核燃料サイクル開発機構・平成 12 年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集(2000)、核燃料サイクル開発機構が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ(1999) の図を使用して作成

### 5.3 超深地層研究所計画における研究項目のとりまとめ

現在、国レベルで議論され、あるいは電事連での報告書に見られる「わが国における処分スケジュール」を前提に、その各段階で要求される事項を整理し、超深地層研究所で実施することが望まれる研究項目を取りまとめる。

#### 1) わが国で想定される処分スケジュールと各段階での要求事項の想定

わが国で想定されている（国レベルで議論されている）処分スケジュールの概略を以下に示す。

- ・ 2000年頃に処分の実施主体の設立
- ・ 2005年頃に候補地の選定と国の確認
- ・ 2010年頃に予定地の選定と国の確認
- ・ 2025年頃に処分地の選定と安全審査、事業認可
- ・ 2035年頃に操業開始

これらのマイルストーンで当面最も重要な事項は、2005年頃に予定される候補地選定と国の確認、および2010年頃の予定地選定と国の確認である。図5.3-1(a)選定段階に類似する海外のアプローチのイメージを事例として示す。また、これらのイメージを参考として、必要と考えられる技術および目標とするレベルを想定し、表5.3-1に示した。

同様に、予定地選定段階に類似する海外のアプローチのイメージを事例として図5.3-1(b)た。この段階では、地表からの各種物理探査や数は限定されるがボーリングによる直接的な情報の収集が想定される。そのためには、どのようなレベルの報告書を作成するのか、トップダウン的に目標と要求事項を設定し、調査計画を作成する必要がある。特に予定地選定段階での判断は、この後の詳細調査に大きな影響を与えることになることから、品質管理と検証された調査手法の導入が必要と考えられる。表5.3-2には、処分地選定段階に必要と考えられる技術とその目標レベル、および現状のレベルを想定して示した。

#### 2) 超深地層研究所計画における第2段階の研究計画の考察

現在、東濃地科学センターでは、超深地層研究施設の第2段階、すなわち立坑・水平坑道の掘削における研究開発計画を立案中である。そこで計画されている研究項目は、大きく以下の分野が考えられている。

- ・ 地質・地質構造予測手法の研究：立坑掘削時に事前調査で3次元的に予測された構造を直接確認し、調査・予測手法の検証を行う。

- ・地下水流動場評価手法の研究：事前の広域地下水流動研究で予測される地下研究施設周辺の地下水流動特性を立坑建設時に直接計測し、調査・予測手法の検証を行う。
- ・掘削影響評価手法の研究：東濃鉱山、釜石鉱山等で研究してきた掘削影響を予測・評価する手法を用いた事前予測の結果を立坑等の掘削段階で確認し、手法の検証を行う。
- ・地下水の化学特性評価手法の研究：地下深部の地下水の化学特性を予測する手法を実際の地下水を採取し、その周辺の鉱物分布、環境条件を含めてその成因分析を行うことにより、予測手法の検証を行う。
- ・岩盤力学特性の把握と支保工等設計技術の開発：ボーリング調査結果から推定した岩盤力学特性を用いて設計した支保工の効果を実際の掘削を通じて確認すると共に、設計手法の妥当性を検証する。
- ・施工技術の開発：立坑等の掘削を通じて、掘削、支保工、ズリ出し、および地下深部で遭遇が想定される山はね、出水等への対策工の効果と対策の妥当性を検証する。この場合、施工管理およびそのフィードバック技術についても事前に検討したシステムの有効性と信頼性を検証する。

表 5.3-3 に超深地層研究所の施設建設スケジュールのオプションを前節で紹介した処分事業で予定されているスケジュールを合わせて示す。

建設工程としては、以下の3つのオプションを想定した。

- ・A 案：1000m までの立坑建設を優先し、主要ステージの建設をした後、地下の坑道を利用した研究段階を早く始める。
- ・B 案：500m までの立坑を掘削し、500m レベルでの副ステージの建設を行い、その後1000m までの立坑掘削と主要ステージの建設を連続して展開する。
- ・C 案：500m までの立坑を掘削し、500m レベルでの副ステージの建設を行い、その後スパイラル坑道を含めて1000m まで掘削した後、1000m レベルに主要坑道を建設する。

これらのオプションの違いは、

- ・各段階で要求される技術項目を視野に入れているかどうか、
- ・立坑掘削、副・主要ステージで何をするか明確にして、施工工程が組み上げられているか、
- ・900m 付近で遭遇する月吉断層の研究対象としての展開をどのように考えるのか

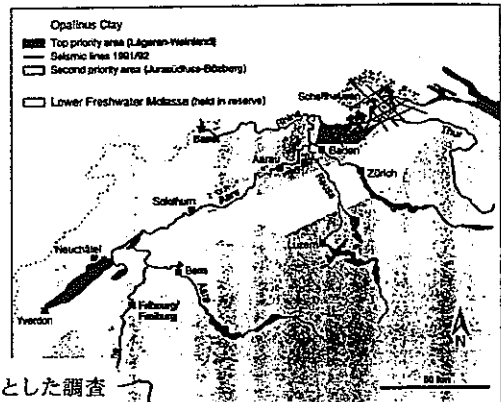
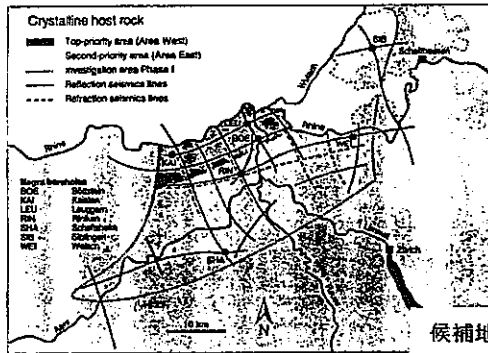
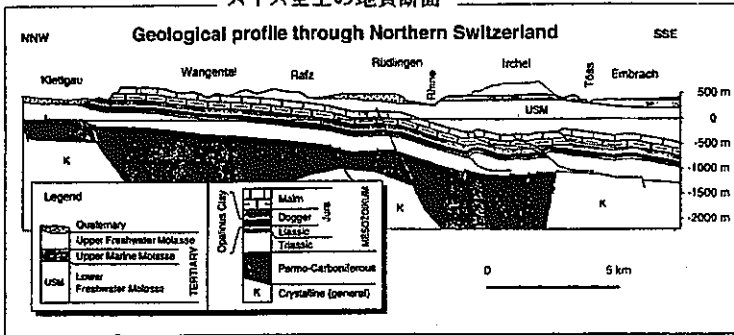
の観点から比較することができる。研究分野毎に C 案（基本案）と A 案を比較し整理したものを表 5.3-4 および表 5.3-5 にまとめて示す。

第2段階の計画案を比較した例を表 5.3-6 に示す。ここでは、地下研究施設の深さを、現在の立坑の建設が予定されている位置、最近の深層層ボーリングの結果から得られている地質構造（特に月吉断層の位置）に着目すると共に、立坑建設段階での研究対象を勘案して考察したものである。ここでの評価は、限られた情報での第一世代での概略評価であり、今後、実際に得られる成果とそのレベル、および成果の反映先を考慮し、優先的に研究開発すべき事項を明確にした上で、再度詳細に検討する必要がある。

### 3) 超深地層研究所計画の作業工程に関する考察

2010 年頃に想定されている予定地選定、およびその後の予定地での詳細な調査、予定地での処分技術の実証に向けて、どのような技術が準備されていなければならないかを想定した（表 5.3-7）。また、予定地の選定までに実証すべき事項を統合し、第二段階での作業工程に反映させる資料として表 5.3-8 に取りまとめた。

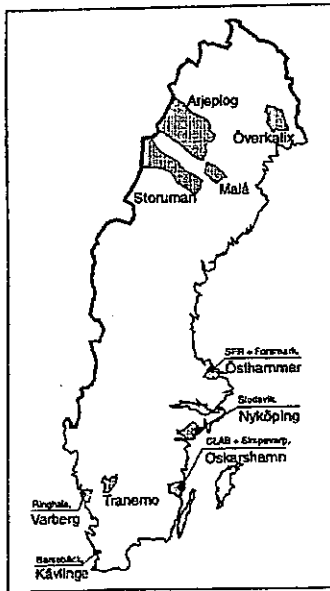
スイス全土の地質断面



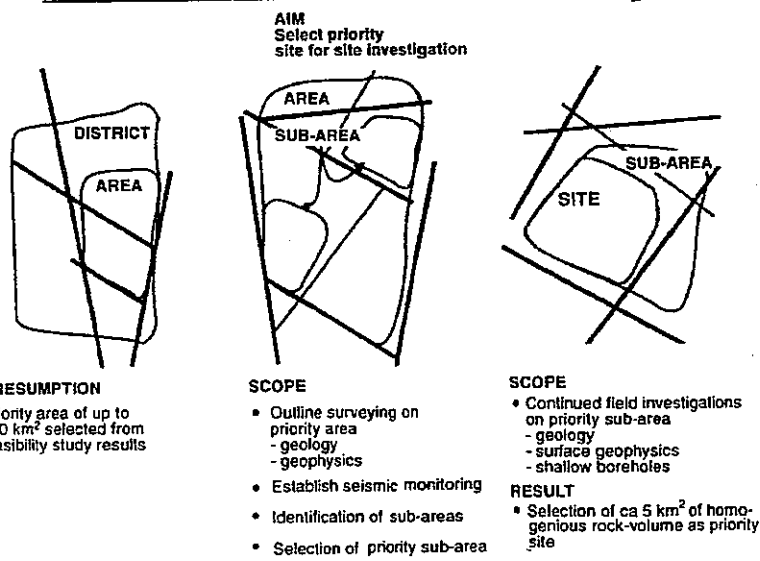
候補地を対象とした調査

スイスにおける実施例

Step 1 候補地内のブロック選定手順



スウェーデンにおける候補地



スウェーデンにおけるサイト選定イメージ

図 5.3-1(a) スイス, スウェーデンでのサイト選定プロセス

出典：上：Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, nagra bulletin No. 32, (1999)

下：SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, (1995)



**Drilling Technology**

Drilling Phases
Diameter Rotary drilling
Diameter Cored section
Diameter Enlargement
Casing <i>optional</i> <i>temporary</i> <i>assessment</i>
Drilling Fluid

**Hydrogeology**

Tracers
Depth
Hydr. Tests during drilling
Spec. DP-tests for Water and Gas Sampling
Fluid-Logging

**Geophysics / Rock Mechanics**

Depth
Long term monitoring
Petrophysical Logging
Structural Logging
Drilling technology Logging
Borehole seismic
Dilatometer-measur.
Hydraulic Fracturing

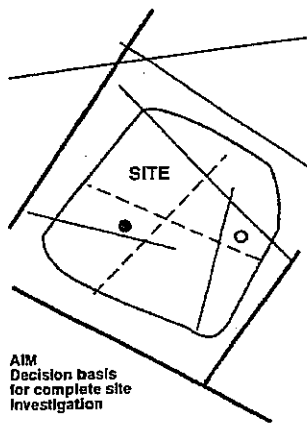


候補地ブロックを中心とした物理探査 (Benken での例)

スイスにおける実施例

ボーリング孔における調査項目 (Benken での例)

**Step 2**



**Legend**

- lineament/fracture zones of different magnitudes
- reflection seismic profile
- borehole ca 700 m (geology, chemistry)
- borehole ca 1000 m (geology, rock mechanics, hydrology)

**SCOPE**

- ca 700 m deep borehole
  - investigate geological homogeneity and ground-water chemistry
- ca 1000 m deep borehole, appropriate positioned
  - parameter data (geology, hydrology, rock mechanics)
  - structure data (geology, VSP, borehole radar, etc.)
- Reflection seismic survey for identification of major structures at depth

**RESULTS**

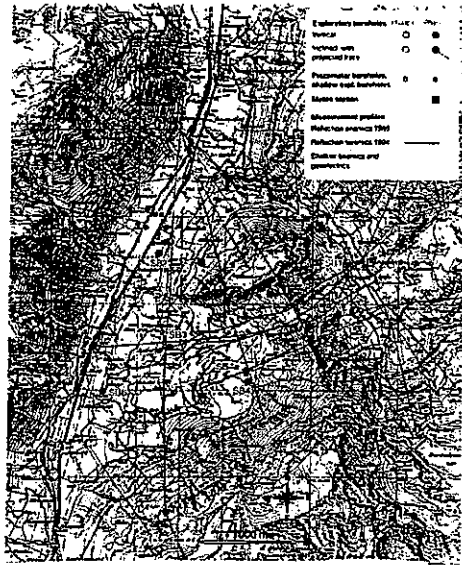
- Identification of unfavourable conditions of importance for leaving the site
- Estimate general feasibility of the site
- 3-D models of major rock structures and rock boundaries
- First site-adapted layout of the repository
- Groundwater flow and possible flow paths

スウェーデンにおけるサイト選定イメージ

図 5.3-1(b) スイス, スウェーデンでのサイト選定プロセス

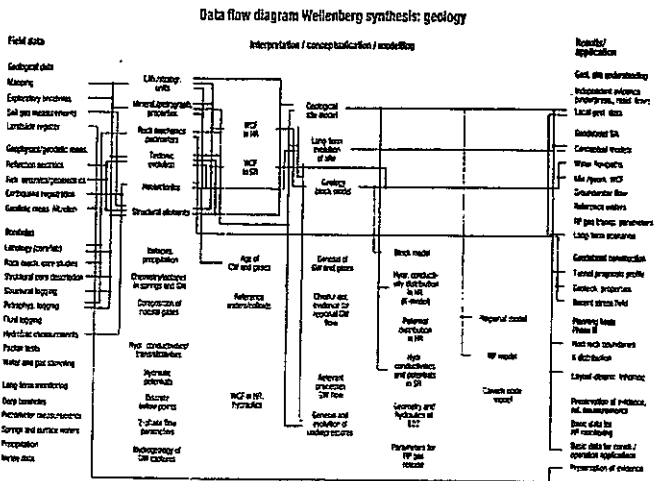
出典 : 上 : Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, nagra bulletin No. 32, (1999)

下 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, (1995)



バーレンベルグでの調査ボーリングレイアウト

Figure 3  
Location of the exploratory boreholes and the preliminary repository layout for the investigation of the Wellenberg site. The exploratory boreholes are numbered depth between 100 m and 1000 m.



バーレンベルグでの取得データ-モデル-各種評価 (安全評価を含む) とのリンク

スイスにおける実施例

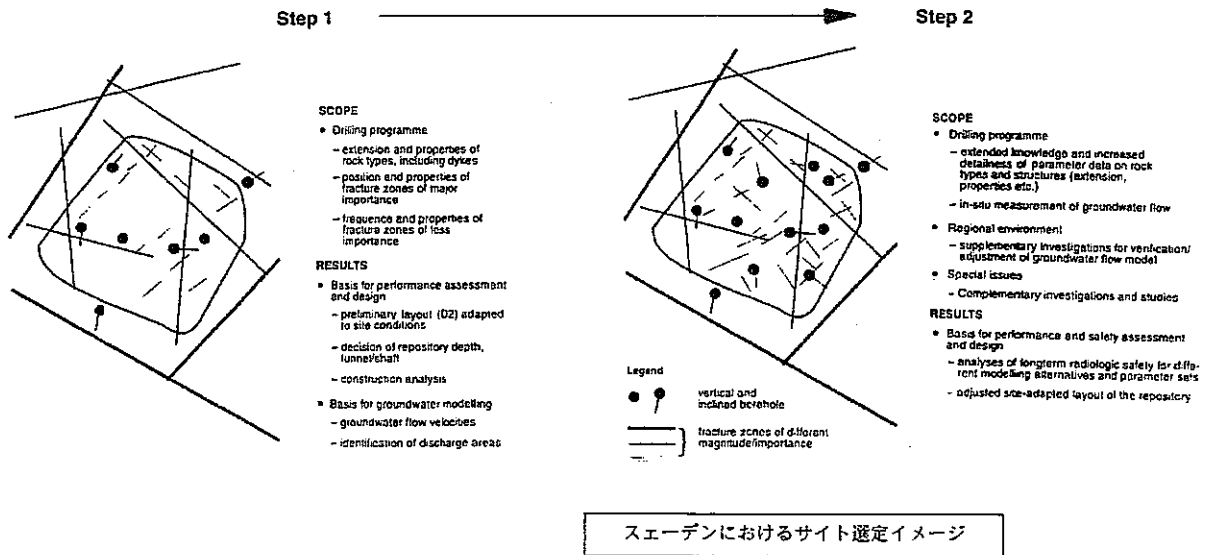


図 5.3-1(c) スイス, スウェーデンでのサイト選定プロセス

出典 : 上 : Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, nagra bulletin No. 32, (1999)

下 : SKB: Treatment and final disposal of nuclear waste, SKB RD&D PROGRAMME 95, (1995)

表 5.3-1 候補地選定段階に必要と考えられる技術 (想定)

技術分野	必要とされる技術項目	目標レベル	現状
既存資料とリモートセンシング調査から必要とされる情報を設定する技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域を設定する手法</li> <li>既存データの品質を確認する技術</li> <li>リモートセンシング技術とその適用及び分析技術</li> <li>海底下等既存資料が少ない場合の推定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性/施設建設の実現性/安全性確保の見通しが得られるための情報、知見が専門家のコンセンサスが得られるレベルで集積できること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>候補地選定の要件の項目に対応した情報をどこまで得られるか未定。</li> <li>ダム、原子力発電所の計画段階では実施された例はある。</li> </ul>
長期の安定性を見通しを得る技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査から要件を判断するために必要な調査を構築する技術</li> <li>対象領域の3次元的地質・地質構造及びテクトニクスを表現する技術</li> <li>火山/断層活動度を概略評価する技術</li> <li>統合的に長期の安定性を推定する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域が評価の対象期間、十分安定性が確保される見通しのある地質であることが、調査結果及びこれまでの知見を元に専門家のコンセンサスが得られる範囲で推定できること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジェネリックな検討が一部実施されている。</li> </ul>
施設建設の技術的可能性及び必要岩体を見通しを得る技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査から技術的実現性を示すのに必要な情報を構築する技術</li> <li>施設の概略レイアウト設定技術</li> <li>建設技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域内に必要な規模の岩体が存在することが確認できること。</li> <li>施設の建設が現状技術の延長上で合理的な範囲で実現できる見通しが得られること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>数種類のリモートセンシングを組み合わせることにより構造は推定可能。岩種の物性値(特に強度)は非破壊調査での特定は困難。</li> <li>岩種ごとの標準的な設計/施工技術は存在するが、地下深部で想定される現象での対応策の設定は困難。</li> </ul>
安全性確保の見通しを得る技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の大きな流れを推定する技術</li> <li>周辺環境から地下水の化学的環境を推定する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>推定される地質環境から、第2次取りまとめの結果を踏まえ、妥当な範囲内で保守的かつ合理的に安全性の確保の見通しが得られるレベル。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域の水理状態を推定することは可能であるが、局地的な流動系を推定することは困難。</li> </ul>

表 5.3-2 予定地選定段階に必要と考えられる技術 (想定)

技術分野	必要とされる技術項目	目標レベル	現状
ボーリング調査等により必要とされる情報を取得する技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域から調査対象エリアを設定する技術</li> <li>ボーリング調査の項目/配置/手順を決定する技術</li> <li>ボーリングを用いた調査技術</li> <li>非破壊調査技術</li> <li>データの品質を保証する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定性、施設建設の技術的実現性と環境影響評価、安全性の確保を評価するのに必要なモデル、データを構築する統合化された情報が得られること。</li> <li>調査に用いられる技術は検証されていること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>我が国において 3km～5km 四方の領域を数本のボーリングと地表からの非破壊調査により、要求されるレベルの情報を統合的かつ同一品質で調査した例はない。日本の岩盤の特徴(複雑、不均質等)に対応した情報分析技術は確立されていない。</li> </ul>
長期安定性確保の評価技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査結果から長期安定性を評価する情報を構築する技術(データ分析、モデル化)</li> <li>各種長期予測を行う技術(テラクス、地震、火山、侵食等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング調査、現地調査結果により、より確かな推定が科学的に展開できること(考え方、ツツクが各分野の専門家のコンセンサスを得られるレベル)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期予測の考え方、ロジックについては今後の検討が必要。</li> <li>個々の現象についての事例研究は行われているが、長期安定性を予測する手法は十分構築されていない。</li> </ul>
施設の建設・操業・閉鎖の実現性評価技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査結果から施設建設の可能性を評価するための情報を構築する技術(データ分析、モデル化)</li> <li>対象岩体の規模に対応した施設の概念設計を行う技術</li> <li>安全性を考慮した操業計画を構築する技術</li> <li>施設を合理的に設計/製作する技術</li> <li>施設の存在が環境に与える影響を評価する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査で確認された岩体を対象に、合理的な範囲で、技術的なレベルで建設の可能性を示せること。</li> <li>操業中の安全性が確保できること。</li> <li>合理化された施設的设计/製作技術が実証されていること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的に実現可能な設計/施工/操業技術は存在する。ただし、地下深部での遭遇が想定される事象への信頼できる対応策の検討は不十分である(高圧地下水、盤ぶくれ等)。</li> <li>長期にわたる環境影響を評価した例は我が国にはない。</li> </ul>
安全性確保の予備的評価技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査結果から得られた地質環境に対応した施設を構築する技術</li> <li>シリア設定技術</li> <li>予備的安全評価のためのモデル化技術</li> <li>各種データから安全評価に必要なパラメータを設定する技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査の不確実性をカバーした合理性を有していること。</li> <li>得られた情報において十分コンセンサスが得られるシリオであること。</li> <li>地下水シリオに基づくモデルデータは検証・確認されたものであること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩種によっては、不均質性、異方性を十分評価できるモデルを作成する技術は確立されていない。</li> </ul>

表 5.3-3 超深地層研究所の施設建設スケジュールのオプション

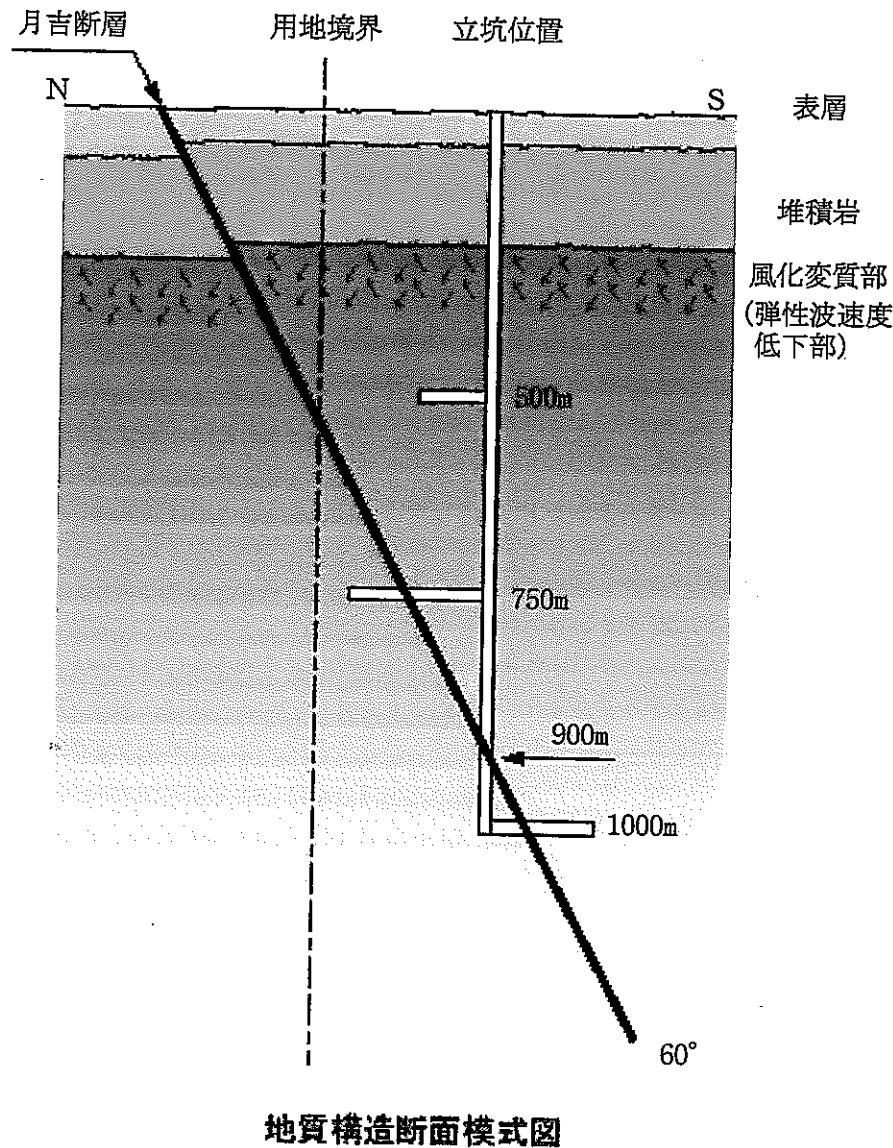
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
	平成 8	平成 9	平成 10	平成 11	平成 12	平成 13	平成 14	平成 15	平成 16	平成 17	平成 18	平成 19	平成 20	平成 21	平成 22	平成 23	平成 24	平成 25	平成 26	平成 27		
処分事業のスケジュール						▽実施主体の設立 候補地の公募(2001-03)					▽候補地の選定					▽予定地の選定 ⇒地元の承認⇒国の確認			▽処分地の選定			
想定される成果 【検証されていることが必要な技術】							地表からの調査 リモートセンシング 結晶質岩/堆積岩				地表からの調査により地下を 予測する技術 1本(数本)のボーリング ・地質構造 ・地下水の水理 ・地下水の地球化学 ・岩盤力学物性					地質環境特性調査技術 ⇒システマティックなボー リング調査技術 処分施設概念設計 ⇒建設工法の選定技術 予備的性能評価 ⇒必要なデータ取得技術		建設技術 ・要求事項、レベル ・施工計画 ・安全確保マニュアル 地下における調査技術 ・坑道周辺調査技術 ・予測の検証 処分技術の実証技術				
マイルストーン	設計研究				基本設計 坑口整備	立坑着工	予定地選定のための技術 地表からの調査手法の検証・評価 1本(数本)のボーリングによる調査技術				予定地におけるサイト特性調査技術 地表からの調査手法の検証・評価 (システマティックなボーリング調査技術)				地下における特性調査技術 坑道からの調査手法の検証・評価 建設技術、実証技術							
建設工程 A案	第1段階						立坑掘削 (0-1000)	第2段階		主要ステージ 研究坑道掘削				第3段階:坑道を利用する研究段階								
	できる限りはやく掘削し、第1段階の検証を実施する。 制約条件→						実施項目(立坑掘削時、主要ステージ掘削時) 地質構造—立坑坑道調査、3次元地質構造調査 地下水水理—地下水挙動、掘削に伴う地下水挙動調査 地下水の地球化学—地下水組成、酸化還元状態															
建設工程 B案	第1段階						立坑掘削 (0-500)	第2段階 副ステージ 坑道掘削	立坑掘削 (500-1000)	主要ステージ 研究坑道掘削				第3段階:坑道を利用する研究段階								
	できる限りはやく掘削し、第1段階の検証を実施するが副ステージでの可能性を残しておく。						実施項目(立坑掘削時) 地質構造—立坑坑道調査、3次元地質構造調査 地下水水理—地下水挙動、掘削に伴う地下水挙動調査 地下水の地球化学—地下水組成、酸化還元状態															
建設工程 C案	第1段階						立坑掘削 (0-500)	第2段階 副ステージ 坑道掘削	立坑掘削 (500-1000)	スパイラル 坑道掘削	主要ステージ 研究坑道掘削	第3段階:坑道を利用する研究段階										
	第1段階の検証を副ステージで実施することを前提とする。 時間的制約→						実施項目(立坑掘削時—500mまで、副ステージ掘削時) 地質構造—立坑坑道調査、3次元地質構造調査 地下水水理—地下水挙動、掘削に伴う地下水挙動調査 地下水の地球化学—地下水組成、酸化還元状態															

表 5.3-4 研究実施項目の実施段階の検討

研究分野	調査研究項目	C案	備考(計画見直し・修正時の留意点)	A案
I. 地質構造	①立坑坑道調査 ②水平坑道調査 ③換気立坑調査 ④研究試験場調査 ⑤3次元地質構造調査 ⑥深部領域地質調査	①主立坑掘削時(副ステージ掘削まで、主要ステージ掘削まで) ②副ステージ、主要ステージ掘削時 ③換気立坑掘削時 ④副ステージ、主要ステージ掘削時 ⑤地表からの調査予測段階、副ステージ、主要ステージ研究段階 ⑥副ステージ、主要ステージ研究段階	・⑤は「第二段階：坑道の掘削を伴う研究段階」の「第一段階」の予測に対する検証レベルの確認を副ステージでの研究段階では実施しない。	①主立坑掘削時(主要ステージ掘削まで) ②主要ステージ掘削時 ③換気立坑掘削時 ④主要ステージ掘削時 ⑤地表からの調査予測段階、主要ステージ研究段階 ⑥主要ステージ研究段階
II. 地下水の水理	①水文調査 ②自然状態の地下水挙動調査 ③アクセス坑道の掘削に伴う地下水挙動調査 ④地下水長期挙動調査 ⑤室内透水試験 ⑥試錐孔内透水試験 ⑦坑道規模透水試験 ⑧床盤透水試験 ⑨熱応力下の透水試験 ⑩単一割れ目を対象とした透水試験 ⑪断層を対象とした透水試験	①地表からの調査予測段階から研究終了まで ②地表からの調査予測段階、坑道の掘削を伴う段階 ③坑道の掘削を伴う段階(立坑掘削時) ④地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑤地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑥地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑦(副ステージ)、主要ステージ研究段階 ⑧(副ステージ)、主要ステージ研究段階 ⑨主要ステージ研究段階 ⑩特性調査後の割れ目分布地点(副ステージ、主要ステージ研究段階を想定) ⑪断層破砕帯遭遇時(副ステージ、主要ステージ研究段階を想定)	・③は「第二段階：坑道の掘削を伴う研究段階」の「第一段階」の予測に対する検証レベルの確認を副ステージでの研究段階では実施しない。 ・⑩は「第二段階：坑道の掘削を伴う研究段階」途中で坑道からの地質構造調査他をベースとした試験実施位置の見直し・修正が必要 ・⑪は「第一段階：地表からの調査予測段階」終了時の地質構造の予測結果をベースに試験実施位置の見直し・修正が必要	①地表からの調査予測段階から研究終了まで ②地表からの調査予測段階、坑道の掘削を伴う段階 ③坑道の掘削を伴う段階(立坑掘削時) ④地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑤地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑥地表からの調査予測段階から研究終了まで ⑦主要ステージ研究段階 ⑧主要ステージ研究段階 ⑨主要ステージ研究段階 ⑩特性調査後の割れ目分布地点(主要ステージ研究段階を想定) ⑪断層破砕帯遭遇時(主要ステージ研究段階を想定)
III. 地下水の地球化学	①地下水の地球化学調査 ②岩石-地下水による水質形成機構の調査 ③掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化 ④地下水の地球化学的性質の長期モニタリング ⑤坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態の調査 ⑥坑道周辺岩盤領域と地下水がもつ酸化還元能力に関する調査研究 ⑦物質移行研究の環境条件設定のための調査 ⑧水理/岩盤力学複合現象の調査 ⑨ベントナイト-地下水相互作用の調査	①地表からの調査予測段階、坑道建設時、副ステージ、主要ステージ研究段階 ②地表からの調査予測段階、坑道建設時、副ステージ、主要ステージ研究段階 ③副ステージ、(主要ステージ)研究段階 ④研究終了まで ⑤(副ステージ)、主要ステージ研究段階 ⑥主要ステージ研究段階 ⑦(副ステージ)、主要ステージ研究段階 ⑧(副ステージ)、主要ステージ研究段階	・①、②は「第二段階：坑道の掘削を伴う研究段階」の「第一段階」の予測に対する検証レベルの確認を副ステージでの研究段階では実施しない。 ・⑤、⑥、⑧、⑨は試験実施事前に坑道周辺岩盤の掘削影響試験の実施が必要 ・⑤、⑥、⑧、⑨は長期間の計測・研究実施が望ましい	①地表からの調査予測段階、坑道建設時、主要ステージ研究段階 ②地表からの調査予測段階、坑道建設時、主要ステージ研究段階 ③主要ステージ研究段階 ④研究終了まで ⑤主要ステージ研究段階 ⑥主要ステージ研究段階 ⑦主要ステージ研究段階 ⑧主要ステージ研究段階
IV. 物質移行	①室内ブロック割れ目移行試験 ②単一割れ目移行試験 ③大規模物質移行試験 ④断層を対象とした物質移行試験	①副ステージ研究段階前 ②特性調査後の割れ目分布地点(副ステージ、主要ステージ研究段階を想定) ③主要ステージ研究段階 ④断層破砕帯遭遇時(副ステージ、主要ステージ研究段階を想定)	・②は「第二段階：坑道の掘削を伴う研究段階」途中で坑道からの地質構造調査他をベースとした試験実施位置の見直し・修正が必要 ・④は「第一段階：地表からの調査予測段階」終了時の地質構造の予測結果をベースに試験実施位置の見直し・修正が必要	①主要ステージ研究段階前 ②特性調査後の割れ目分布地点(主要ステージ研究段階を想定) ③主要ステージ研究段階 ④断層破砕帯遭遇時(主要ステージ研究段階を想定)
V. 岩盤力学	①掘削影響試験 ②時間依存性の把握試験 ③室内試験 ④原位置岩盤試験	①立坑：立坑掘削時(副ステージ掘削前と最深部)、水平坑道：副ステージ、主要ステージ研究段階 ②上記掘削影響実施から、試験終了まで ③地表からの調査予測段階から試験終了まで ④地表からの調査予測段階、副ステージ、主要ステージ研究段階	・①は断層破砕帯との遭遇時にも実施。「第一段階：地表からの調査予測段階」終了時の地質構造の予測結果をベースに試験実施位置の見直し・修正が必要 ・②は長期間の計測・研究実施が望ましい	①立坑：立坑掘削時(最深部)、水平坑道：主要ステージ研究段階 ②上記掘削影響実施から、試験終了まで ③地表からの調査予測段階から試験終了まで ④地表からの調査予測段階、副ステージ、主要ステージ研究段階
VI. 地震観測	①地震動の観測 ②地質環境の変化観測 ③地震時破砕帯挙動調査	①主立坑掘削時(予備ステージ)から試験終了まで ②主立坑掘削時(予備ステージ)から試験終了まで ③断層破砕帯遭遇時から、試験終了まで	・③は「第一段階：地表からの調査予測段階」終了時の地質構造の予測結果をベースに試験実施位置の見直し・修正が必要	①主立坑掘削時(予備ステージ)から試験終了まで ②主立坑掘削時(予備ステージ)から試験終了まで ③断層破砕帯遭遇時から、試験終了まで
VII. 工学的技術	①地下施設的设计・施工計画構築技術の研究 ②地下施設の建設による影響評価技術の研究 ③測定を計測にフィードバックするシステム技術の研究 ④大深度地質環境下での地下施設の建設・施工対策技術の研究 ⑤熱-水-応力の連成挙動の研究 ⑥埋戻し材・プラグ材の性能確認試験 ⑦人工材料の岩盤への長期影響評価研究 ⑧大深度地質環境下での坑道修復に必要な工学技術の開発・実演 ⑨安全性を確保する技術の研究	①地表からの調査予測段階から、研究終了まで ②岩盤力学・掘削影響試験と同様 ③地表からの調査予測段階から、研究終了まで ④地表からの調査予測段階から、研究終了まで(予測外地質環境遭遇時に対策技術を適用) ⑤副ステージ研究段階 ⑥主要ステージ研究段階と断層破砕帯遭遇時(主要ステージを想定) ⑦副ステージ研究段階 ⑧主要ステージ研究段階 ⑨地表からの調査予測研究段階から、研究終了まで	・⑤、⑦は長期の試験工程が必要となることから、副ステージでの実施が望ましいが、主要ステージでの研究期間の確保が可能となれば、主要ステージでの実施で対応。 ・④、⑥は「第一段階：地表からの調査予測段階」終了時の地質構造の予測結果をベースに試験実施位置の見直し・修正が必要 ・⑤、⑥、⑦は試験実施事前に坑道周辺岩盤の掘削影響試験の実施が必要 ・⑧、⑨は長期間の計測・研究実施が望ましい	①地表からの調査予測段階から、研究終了まで ②岩盤力学・掘削影響試験と同様 ③地表からの調査予測段階から、研究終了まで ④地表からの調査予測段階から、研究終了まで(予測外地質環境遭遇時に対策技術を適用) ⑤主要ステージ研究段階 ⑥主要ステージ研究段階と断層破砕帯遭遇時(主要ステージを想定) ⑦主要ステージ研究段階 ⑧主要ステージ研究段階 ⑨地表からの調査予測研究段階から研究終了まで

表 5.3-5 研究項目と各深度での展開比較

超深地層研究所の研究深度による比較



	地下施設の深度を 500mとする案	地下施設の深度を 750mとする案	地下施設の深度を 1000mとする案	備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
深度の持つ イメージ	1000m 深度の半分というイメージが強い。500m とするには特別な (科学的な) 理由が必要となる。	750m という深さに何か意味があると感じることから、この深度で展開する子とお適切に説明する必要がある。	結晶質岩の処分場の深さと同じ深さのイメージがある。1000m という十分深いという感じも受ける。																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
事前調査 との対応	1000m のボーリング調査、地表からの物理探査による地下 1000m までの推定手法の妥当性を確認するには十分な深さである。500m 以深への対応については別途検討する必要がある。	1000m のボーリング調査、地表からの物理探査による地下 1000m までの推定手法の妥当性を確認するには十分な深さである。750m 以深への対応については別途検討する必要がある。	1000m のボーリング調査、地表からの物理探査による地下 1000m までの推定手法の妥当性を確認するには十分な深さである。モデルの妥当性を示すには情報が足りない。																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
サイトの特徴 との対応	500m までに当該サイトの特徴となる比較的高い透水ゾーン、割れ目帯に遭遇する。月吉断層へアクセスは困難となる。	750m までに当該サイトの特徴となる比較的高い透水ゾーン、割れ目帯に遭遇する。月吉断層へのアクセスは水平抗道で可能となる。	1000m までに当該サイトの特徴となる比較的高い透水ゾーン、割れ目帯に遭遇する。月吉断層へのアクセスは立坑掘削時に可能となる。																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
研究対象との対応 (概略評価) ×: 困難 △: 不十分 ○: 妥当	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響評価への対応 → △</li> <li>坑道周辺の地下水流動評価 → ○</li> <li>地球化学特性評価 → ○</li> <li>地下深部坑道設計建設技術 → △</li> <li>断層での物質移行評価 → ×</li> <li>モニタリング等測定技術 → △</li> <li>深部計測技術の妥当性評価 → △</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響評価への対応 → ○</li> <li>坑道周辺の地下水流動評価 → ○</li> <li>地球化学特性評価 → ○</li> <li>地下深部坑道設計建設技術 → △</li> <li>断層での物質移行評価 → ○</li> <li>モニタリング等測定技術 → ○</li> <li>深部計測技術の妥当性評価 → △</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響評価への対応 → ○</li> <li>坑道周辺の地下水流動評価 → ○</li> <li>地球化学特性評価 → ○</li> <li>地下深部坑道設計建設技術 → ○</li> <li>断層での物質移行評価 → ○</li> <li>モニタリング等測定技術 → ○</li> <li>深部計測技術の妥当性評価 → ○</li> </ul>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
工程 (案)	<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-深度500m案</p> <table border="1"> <tr><th>年</th><th>2000</th><th>2001</th><th>2002</th><th>2003</th><th>2004</th><th>2005</th><th>2006</th><th>2007</th><th>2008</th><th>2009</th><th>2010</th><th>2011</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>2015</th><th>2016</th></tr> <tr><td>▽実施主体の設立</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽候補地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽予定地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分候補地における調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■候補地選定調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分予定地におけるサイト特性調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■立坑掘削</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ施工</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ研究</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	▽実施主体の設立																		▽候補地の選定																		▽予定地の選定																		■地分候補地における調査																		■候補地選定調査																		■地分予定地におけるサイト特性調査																		■立坑掘削																		■主要ステージ施工																		■主要ステージ研究																		<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-750m案</p> <table border="1"> <tr><th>年</th><th>2000</th><th>2001</th><th>2002</th><th>2003</th><th>2004</th><th>2005</th><th>2006</th><th>2007</th><th>2008</th><th>2009</th><th>2010</th><th>2011</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>2015</th><th>2016</th></tr> <tr><td>▽実施主体の設立</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽候補地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽予定地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分候補地における調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■候補地選定調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分予定地におけるサイト特性調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■立坑掘削</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ施工</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ研究</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	▽実施主体の設立																		▽候補地の選定																		▽予定地の選定																		■地分候補地における調査																		■候補地選定調査																		■地分予定地におけるサイト特性調査																		■立坑掘削																		■主要ステージ施工																		■主要ステージ研究																		<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-1000m案</p> <table border="1"> <tr><th>年</th><th>2000</th><th>2001</th><th>2002</th><th>2003</th><th>2004</th><th>2005</th><th>2006</th><th>2007</th><th>2008</th><th>2009</th><th>2010</th><th>2011</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>2015</th><th>2016</th></tr> <tr><td>▽実施主体の設立</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽候補地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>▽予定地の選定</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分候補地における調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■候補地選定調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■地分予定地におけるサイト特性調査</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■立坑掘削</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ施工</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>■主要ステージ研究</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	▽実施主体の設立																		▽候補地の選定																		▽予定地の選定																		■地分候補地における調査																		■候補地選定調査																		■地分予定地におけるサイト特性調査																		■立坑掘削																		■主要ステージ施工																		■主要ステージ研究																		
年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
▽実施主体の設立																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽候補地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽予定地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分候補地における調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■候補地選定調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分予定地におけるサイト特性調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■立坑掘削																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ施工																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ研究																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
▽実施主体の設立																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽候補地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽予定地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分候補地における調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■候補地選定調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分予定地におけるサイト特性調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■立坑掘削																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ施工																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ研究																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
▽実施主体の設立																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽候補地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
▽予定地の選定																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分候補地における調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■候補地選定調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■地分予定地におけるサイト特性調査																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■立坑掘削																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ施工																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
■主要ステージ研究																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

表 5.3-6 超深地層研究所の研究深度による比較

	①H10基本案	②地下施設の深度を500mとする案	③地下施設の深度を750mとする案	④地下施設の深度を1000mとする案
概要	・副ステージを500m深度に、主要ステージを1000m深度に展開する。	・地下施設の最大深度を500mとし、そのレベルを主要ステージとする。	・地下施設の最大深度を750mレベルとし、そのレベルを主要ステージとする。	・地下施設の深度を1000mレベルのみとし、そのレベルを主要ステージとする。
特徴	・地下での研究段階を2つのステージで展開することにより、成果の必要時期とそのレベルに柔軟に対応できる。また、立坑途中に出現する月吉断層への研究対応を考慮し、坑道の展開を図る。	・500mでの研究に焦点を当てて計画を実施することにより、要求される時期に最短に成果を準備できる。	・750mでの研究に焦点を当てて計画を実施することにより、断層を対象とした研究を含めて要求される時期に成果を準備できる。	・1000mレベルまでの立坑建設を優先し、1000mの主要ステージでの研究展開を最速で開始できる。
研究期間	・500mレベルでは2006年から10年間、1000mレベルでは2010年半ばから5年半の間、地下施設における研究が可能となる。	・2006年から10年間の地下施設における研究が可能となる。(500mレベルの主要ステージにおいて)	・2007年より9年間、地下施設における研究が可能となる。(750mレベルの主要ステージにおいて)	・2009年半ばより6年半の期間、地下施設における研究が可能となる。(1000mレベルの主要ステージにおいて)
研究対象	・1000m深度のボーリング調査による事前予測結果の信頼性評価→特性調査手法の確立 ・立坑掘削に伴う周辺の影響評価のための測定手法、予測・評価手法の確立 ・地下深部における地質環境評価技術の確立 ・月吉断層を対象とした深部断層の特性評価技術	・1000m深度のボーリング調査による事前予測結果の信頼性評価→特性調査手法の確立 ・立坑掘削に伴う周辺の影響評価のための測定手法、予測・評価手法の確立 ・地下深部における地質環境評価技術の確立 ・地下水による物質移行の予測技術の確立	・1000m深度のボーリング調査による事前予測結果の信頼性評価→特性調査手法の確立 ・立坑掘削に伴う周辺の影響評価のための測定手法、予測・評価手法の確立 ・地下深部における地質環境評価技術の確立 ・地下水による物質移行の予測技術の確立 ・月吉断層を対象とした深部断層の特性評価技術	・1000m深度のボーリング調査による事前予測結果の信頼性評価→特性調査手法の確立 ・立坑掘削に伴う周辺の影響評価のための測定手法、予測・評価手法の確立 ・地下深部における地質環境評価技術の確立 ・地下水による物質移行の予測技術の確立 ・月吉断層を対象とした深部断層の特性評価技術
工程上の特徴および工程策定のための基本的な条件	・着工は2001年半ばとし、準備工は1年とする。 ・500m深度まで立坑を約2年で建設し、副ステージの建設を挟み半年をあけて残り500mの立坑掘削を行い1000m深度に主要ステージを建設する。また900m付近では、スパイラル坑道を立坑と平行して建設する。	・着工は2001年半ばとし、準備工は1年とする。 ・500m深度まで立坑を約2年で掘削し、主要ステージを約1年半で建設する。	・着工は2001年半ばとし、準備工は1年とする。 ・750m深度まで一挙に立坑を掘削し、主要ステージを建設する。立坑掘削期間は約3年間とする。主要ステージの一部は月吉断層を貫通する位置に配置する。	・着工は2001年半ばとし、準備工は1年とする。 ・1000m深度まで一挙に立坑を掘削し、主要ステージを建設する。立坑掘削期間は4年間とする。スパイラル坑道の掘削は実施せず、主要坑道の掘削を優先する
建設概略工程	<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-基本案</p>	<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-深度500m案</p>	<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-750m案</p>	<p>超深地層研究所-建設/研究スケジュール-1000m案</p>



表 5.3-7 地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験の案

地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験

個別実証項目	段階目標	概略工程	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	備考
		▼予定地選定	▼国の確認		△立坑位置決定 予定地におけるサイト特性調査 (地表からの詳細調査) (立坑掘削)					
<p>○断層破碎帯・割れ目帯の分類評価手法の適用性確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 第2段階までの調査結果の整理</li> <li>- 予定地内詳細調査計画の立案</li> <li>- 地表調査・地表からの物理探査等</li> <li>- ボーリング孔を利用した調査</li> <li>- 評価・とりまとめ (アクセス坑道掘削時の予測)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既に検証されたサイト特性調査手法を適用した調査結果により、アクセス坑道掘削時に遭遇する割れ目帯/割れ目の特性の予測を行う。</li> <li>・具体的には、割れ目特性に適した割れ目の分類・評価手法を選択し、モデル化を想定した予測結果を提示する。</li> </ul>									<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト特性調査の一貫としてなされる。</li> <li>・本段階では、予定地内の大規模破碎帯/割れ目帯が主な対象となる。</li> </ul>
<p>○地質・地質構造モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 第2段階までの調査結果の整理</li> <li>- 予定地内詳細調査計画の立案</li> <li>- 地表調査・地表からの物理探査等</li> <li>- ボーリング孔を利用した調査</li> <li>- 地質解析、評価・とりまとめ (アクセス坑道掘削時の予測)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既に検証されたサイト特性調査手法を適用した調査結果により、アクセス坑道掘削時に遭遇する地質・地質構造特性の予測を行う。</li> <li>・既に検証された離散化データの補間手法の適用も含まれる。</li> </ul>									<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト特性調査の一貫としてなされる。</li> <li>・サイトスケールモデルの実証 (妥当性の確認) は、アクセス坑道掘削時になされる。</li> </ul>
<p>○地下水流動モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール・調査手法も含む)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 第2段階までの調査結果の整理</li> <li>- 予定地内詳細調査計画の立案</li> <li>- 地表調査・地表からの物理探査等</li> <li>- ボーリング孔を利用した調査</li> <li>- 地下水流動解析、評価・とりまとめ (アクセス坑道掘削時の予測)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既に検証/確認された地下水流動解析手法を用いて、サイトスケールの地下水流動特性を評価し、アクセス坑道掘削時の地下水面、坑道への湧水量等の予測を行う。</li> <li>・既に検証された調査手法、離散化データの補間手法の適用も含まれる。</li> </ul>									<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト特性調査の一貫としてなされる。</li> <li>・サイトスケールモデルの実証 (妥当性の確認) は、アクセス坑道掘削時になされる。</li> </ul>
<p>○地下水流動モデル化技術の適用性確認 (地化水年代に着目したサイトスケールモデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 第2段階までの調査結果の整理</li> <li>- 予定地内詳細調査計画の立案</li> <li>- 地表調査・地表からの物理探査等</li> <li>- ボーリング孔を利用した調査</li> <li>- 評価・とりまとめ (アクセス坑道掘削時の予測)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既に検証された地下水化学特性調査手法から得た結果を基に、サイトスケールの地下水流動場を評価する。上記の坑道掘削時の地下水流動解析結果と併せて、アクセス坑道掘削時の地化学特性変化の予測を行う。</li> </ul>									<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト特性調査の一貫としてなされる。</li> <li>・サイトスケールモデルの実証 (妥当性の確認) は、アクセス坑道掘削時になされる。</li> </ul>
<p>○(断層中)地下水流動解析モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 第2段階までの調査結果の整理</li> <li>- 予定地内詳細調査計画の立案</li> <li>- 地表調査・地表からの物理探査等</li> <li>- ボーリング孔を利用した調査</li> <li>- 地下水流動解析、評価・とりまとめ (アクセス坑道掘削時の予測)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上記の断層破碎帯/割れ目帯の分類評価結果に基づき、既に検証/確認された地下水流動解析手法を用いて、サイトスケールの地下水流動特性を評価し、アクセス坑道掘削時の圧力変動(干渉)等の影響を予測する。</li> </ul>									<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト特性調査の一貫としてなされる。</li> <li>・サイトスケールモデルの実証 (妥当性の確認) は、アクセス坑道掘削時になされる。</li> </ul>

表 5.3-8 地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験の案

①地下深部の地質環境を推測する技術の適用性確認試験

個別実証項目	段階目標	概略工程	2012	2013	2014	2015	2016	備考	
		△立坑位置決定 予定地におけるサイト特性調査 (地表からの詳細調査)		△地下特性調査施設詳細レイアウト決定 (立坑掘削)			(実証エリアの掘削)		
○地質・地質構造モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール, ブロックスケール) ○断層破砕帯・割れ目帯の分類評価手法の適用性確認 ・アクセス坑道の掘削と調査 ・サイトスケールモデルの妥当性の確認・修正 ・ブロックスケールモデルの段階的な作成 ・評価・とりまとめ (地下特性調査坑道掘削時の予測)	・サイトスケールモデルの予測結果とアクセス坑道掘削中の切羽、側壁観察等の結果との比較により、地表からの調査段階に作成したモデルの妥当性の確認を行う。 ・アクセス坑道の掘削・調査を通して、各深度で展開する坑道掘削時の地質・地質構造を予測し、モデルを構築する。							実証 (モデルの妥当性の確認) のためのデータは、アクセス坑道掘削時のサイト特性調査結果により得る。	
○地下水の深度方向の水質変化を評価する地下水化学モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール, ブロックスケール) ・アクセス坑道の掘削と調査 ・地表からの地下水モニタリング ・サイトスケールモデルの妥当性の確認・修正 ・ブロックスケールモデルの段階的な作成 ・評価・とりまとめ (地下特性調査坑道掘削時の予測)	・サイトスケールの予測結果と深度毎の地下水サンプリング調査結果の比較により、サイトスケールの地化学モデルの妥当性の確認を行う。 ・アクセス坑道の掘削・調査を通して、主要試験坑道の地化学特性の予測と掘削に伴う影響を評価する (ブロックスケール)。							実証 (適用性の確認) のためのデータは、サイト特性調査による長期モニタリング結果から得る。	
②様々なスケールにおける地下水流動調査・評価技術の適用性確認試験									
○地下水流動モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール, ブロックスケール) ○(断層中) 地下水流動解析モデル化技術の適用性確認 (サイトスケール) ・アクセス坑道の掘削と調査 ・地表からの水理モニタリング ・サイトスケールモデルの妥当性の確認・修正 ・ブロックスケールモデルの段階的な作成 ・評価・とりまとめ (地下特性調査坑道掘削時の予測)	・サイトスケールの予測結果と掘削中のモニタリング結果との比較によりサイトスケールモデルの妥当性の確認を行う。 ・アクセス坑道の掘削・調査を通して、地下特性調査坑道掘削時のブロックスケールモデルを構築する。							実証 (適用性の確認) のためのデータは、サイト特性調査による長期モニタリング結果から得る。	
③地下施設の建設/設計の実演 (適用性確認)									
○アクセス坑道の掘削技術の実演 ○坑道仕様設計技術の適用性確認試験 ○グラウチングの施工技術の実演 ・坑道掘削および「ラチング」の実演 ・設計技術の適用性の確認 ・評価・とりまとめ (地下特性施設の詳細設計)	・設計仕様どおりに掘削が実施されたことを実演する。 ・計測結果と予測した設計結果との比較により、適用した設計手法の妥当性の確認を行う。							グ라우チングの実演は、構造弱部への遭遇時になされる	
④坑道周辺岩盤の特性評価技術の適用性確認試験									
○掘削影響評価技術の適用性確認試験 (サイトスケール, ブロックスケール) ・坑道掘削および計測 ・影響評価手法の適用性の確認 ・評価・とりまとめ (地下特性調査施設掘削時の予測)	・構築した地盤モデル、亀裂分布モデルを基礎とした力学的影響の予測結果と計測結果の比較により、適用した手法の妥当性を確認する。								

## 6. まとめ

本調査報告書では、現在東濃地科学センターで計画されている超深地層研究所での第2段階研究計画作成に資することを目的として、海外での地下研究施設の位置付けと役割、およびそこで実施されてきている試験項目等について調査した。

研究計画を策定する場合、その成果がどのように活用されるのかを留意することはもちろん、どのような成果が何時までに期待されているのかを明らかにすることが肝要である。この意味で、処分事業のスケジュール全体を視野に入れ、段階的に作成される報告書あるいは評価書で何がどのレベルで記述され、そのためにどのような技術および手法が準備されていなければならないのかを事前に検討しておくことは、今後、研究開発計画を作成していく上で不可欠な作業である。