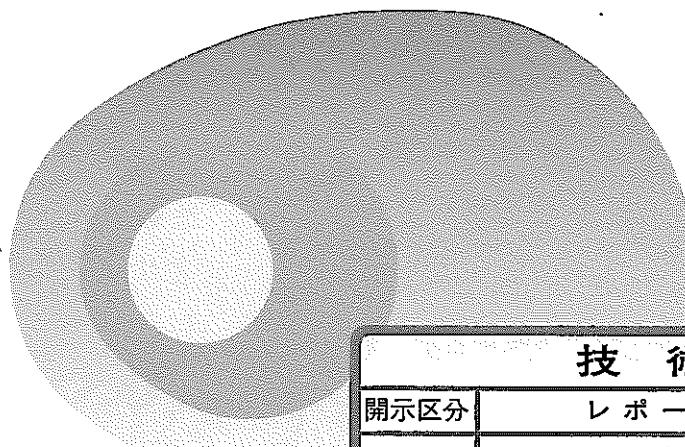


# 地層処分研究開発報告会(第2回)

## 予稿集



技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
T	N1410 94-091	1994.12.13
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です <small>動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室</small>		

期 日 平成6年11月28日(月) 13:30~16:30  
 会 場 サンケイホール 5階

**動力炉・核燃料開発事業団**

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1994

# 目 次

1. 地層処分研究開発の現況 .....	1
環境技術開発推進本部長 理事	山本 正男
2. 研究開発報告	
(1) 地層処分の目で地下深部をとらえる .....	15
-日本の地質環境とその安定性に関する研究-	
環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ主幹	武田 精悦
(2) 地層処分の長期の安全確保を明らかにする .....	27
-性能評価研究-	
環境技術開発推進本部 処分研究グループ主幹	佐々木憲明

## 1. 地層処分研究開発の現況

# 地層処分研究開発の現況

環境技術開発推進本部

本部長

理事 山本正男

## 1. はじめに

動燃事業団は、原子力委員会の方針に基づき、高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術開発を進めるとともに、中核推進機関として地層処分の研究開発を進めてきている。

ガラス固化技術開発については、昭和50年頃に小規模のガラス固化試験を開始し、実規模の溶融炉を用いたコールド試験及び実験室規模でのホット試験等の研究開発を進め、これらの成果の集大成として、平成4年4月には東海事業所にガラス固化技術開発施設（TVF）が完成した。本施設では竣工後、約2年間のコールドの試験運転を行い、模擬廃液を用いた固化プロセスの性能及び運転特性の把握、設備・機器の遠隔操作性等の確認を終了した。本年9月からはホットの試験運転の段階へ移行し、今後実廃液を用いて施設の安全性、固化プロセスの性能を確認して、ガラス固化技術のプラント規模での開発運転を進めていく計画である。TVFがホットの試験運転の段階に入ったことは、我が国における高レベル放射性廃棄物対策上の大いな前進である（写真-1）。



写真-1 ガラス固化技術開発施設（TVF）（東海事業所）

地層処分研究開発については、平成4年9月に第1次の取りまとめとして「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－」を公表するとともに、国（原子力委員会）に報告した。これに対し原子力委員会より、これまでの研究開発の進め方とその成果が概ね妥当であることの確認がなされるとともに、今後の進め方に関する考え方や課題が示された。

動燃事業団は、原子力委員会が示した今後の進め方や課題、各界、専門家等のご意見等を踏まえ、大学、研究所等の各機関の協力を得ながら着実に成果を積み重ね、次の目標に向けて引き続き研究開発を進めているところである。

ここでは、主に第1次取りまとめ以降に動燃事業団で進めている高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発の現況について、その概要を報告する。

## 2. 高レベル放射性廃棄物対策の基本方針と地層処分研究開発の進め方

我が国における高レベル放射性廃棄物対策の基本方針は、安定な形態に固化（具体的にはガラス固化）した後、30年間から50年間程度冷却のための貯蔵を行い、その後、地下の深い地層中に処分すること（地層処分）である。

地層処分は、地下の安定な地層中に高レベル放射性廃棄物を埋設するもので、人工的に設けられる多層の安全防護系である人工バリアと地層そのものである天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムによって安全を確保するものであり、世界各国共通の方法である（図-1）。

安全を確保する上で重要な要件は、自然現象などによる安全上の直接的な影響がないと評価できる安定な地層を選ぶこと、地下水によって人工バリアから放射性核種が運ばれることを抑制すること、及び地下水によって放射性核種が地層中に運ばれることを想定しても、地層の持つ核種移行抑制機能や希釈分散機能により、安全性がさらに確かになることを確認することである。

平成6年6月に策定された新しい原子力長期計画によると、動燃事業団は、当面、研究開発や地質環境調査の着実な推進を図り、地層処分の研究開発については、

- (1) 国の重要プロジェクトとして、動燃事業団を中心とした機関として関係機関が協力して進める。
- (2) 当面、対象とすべき地質環境を幅広く想定し、地層処分を行うシステムの性能評価研究、処分技術の研究開発、地質環境条件の調査研究等を進めるほか、地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的研究を着実に進める。
- (3) 研究開発の進捗状況や成果を適切な時期に取りまとめ、その到達度を明確にしていく。こ

のため、動燃事業団は、2000年前までに予定している研究開発の成果の取りまとめを行い、公表する。国はその報告を受け、我が国における地層処分の技術的信頼性等を評価する。

(4) 我が国における深地層についての総合的な研究の場として、地質の特性等を考慮して複数の深地層の研究施設の設置が望まれる。この計画は、処分場の計画とは明確に区別して進めること。

(5) 幌延町で計画している貯蔵工学センターは、地元及び北海道の理解と協力を得てその推進を図ることとされている。

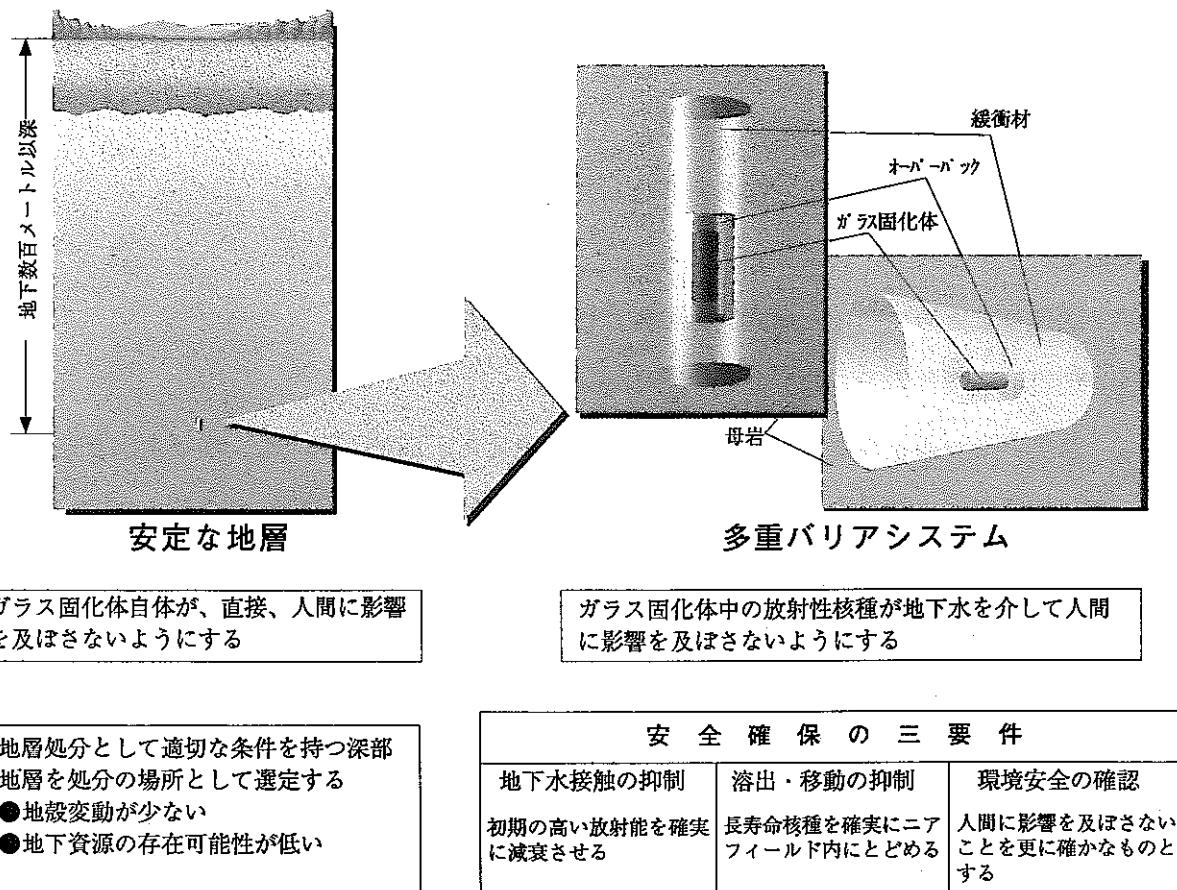


図-1 地層処分の多重バリアシステムの概念

### 3. 動燃事業団における研究開発の方針と重点

これまでの研究開発の成果とそれに対する原子力委員会の評価結果及び今後の研究の進め方の考え方などに基づき、さらには、各界、専門家のご意見などを踏まえ、関係機関の協力を得ながら研究開発を進めている。

研究開発の基本的な方針は、

- (1) 我が国の地質環境の調査を進めるとともに、地域を特定することなく幅広い地質環境条件に対応した調査研究を進める。これによって、我が国の地質環境に適合する処分技術の適用範囲を広く考えることを可能とし、多重バリアシステムの技術的選択の幅を広げる。
- (2) 我が国の地質環境や水理・物質移行の特徴を踏まえ、結晶質岩系と堆積岩系について研究開発を進める。
- (3) 当面の研究開発の目標は、ニアフィールド性能の定量化及びファーフィールド性能の概括的な評価とする。また、地質環境調査技術・機器の開発を進める。これらの成果は、200年前までに第2次技術報告書として取りまとめ、公表するとともに国に報告する。
- (4) 第2次技術報告書の取りまとめ以降については、多重バリアシステム全体性能の定量化を目標とし、技術基盤の確立、規準等の策定への寄与を考慮しながら引き続いて研究開発を進め、第3次技術報告書を取りまとめる。
- (5) 地層処分研究開発の基盤となる研究として地層科学的研究を進める。

等である。

第2次取りまとめに向けた研究開発の重点は次のとおりである。

#### ① 地質環境条件の調査研究

ニアフィールド性能評価の境界条件として重要な広域地下水流动、地下水水質を中心とする深部地質環境の知見や自然現象による地質環境条件の変化についての情報を整理・検討し、性能評価研究に資する。

#### ② 処分技術の研究開発

これまでの研究により得られた人工バリアの概念仕様を基に、新しい材料の検討、仕様の詳細化、品質や性能の向上を重点に置いて人工バリアの設計・施工及び処分施設の設計・建設・操業・閉鎖の要素技術の開発を進める。

#### ③ 性能評価研究

ニアフィールドで生ずる現象に関する解析手法の改良、開発及びその妥当性の確認並びに核種の溶解度や収着等に関する信頼性の高いデータの取得を図ることに重点を置いて進める。さらに、自然現象が多重バリアシステムに与える影響について検討を進める。

#### 4. 研究開発のこれまでの成果（第1次技術報告書）の要約

第1次技術報告書の要点は、

(1) 地質環境条件の調査研究については、

地層処分の観点から、現在収集可能な広範囲のデータについて、我が国で初めて体系的かつ包括的に整理し、我が国の地質環境の特徴を示す基礎ができたこと、

(2) 処分技術の研究開発については、

人工バリアと処分施設の設計・施行等に必要な技術については既存技術が適用できる見通しがあること、さらに、より高い信頼性を有する技術を目指した研究開発課題を明らかにできること、

(3) 性能評価研究については、

多重バリアシステムの性能を評価する方法論を明らかにし、その解析に必要なモデル体系の基礎を構築したこと、地質環境条件に対応して適切に設計・施工すれば、多重バリアの性能を長期的に保持でき安全が確保され得ること、ニアフィールドに大きな核種移行の抑制性能が期待できる可能性が高いこと、

などである。

総合的には、これらによって、我が国における地層処分の安全確保の技術的基盤が明らかにされている。

この報告書に対して、平成5年7月に原子力委員会より、多重バリアシステムの有効性を示唆する知見が得られ、合わせて具体的な技術的方法が明確になってきているとして、現段階にあっては、概ね妥当との評価がなされるとともに、今後の課題と進め方が示された。

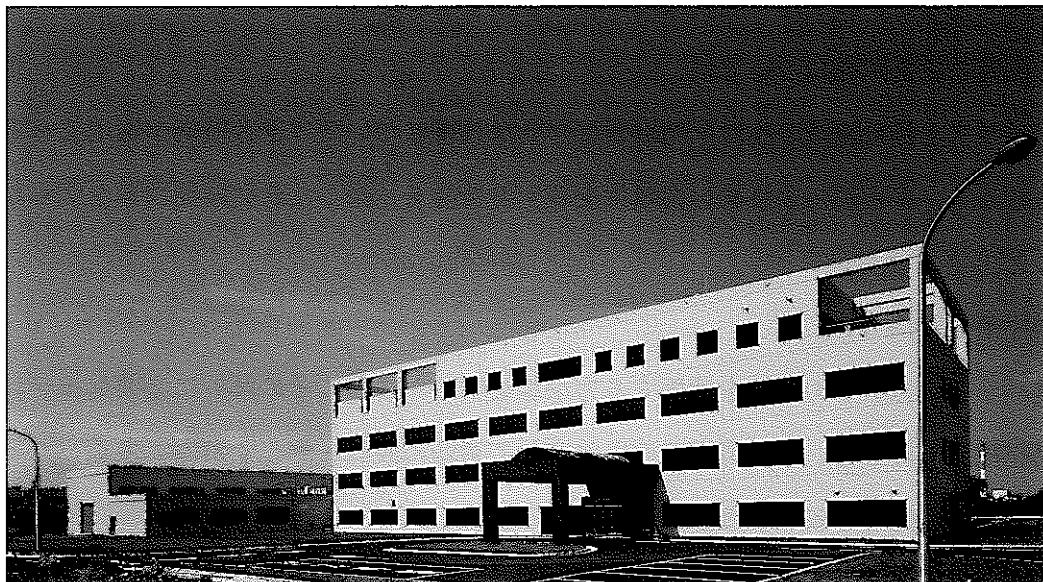
#### 5. 動燃事業団における研究開発の現状

今後の研究開発を進めるために、地層処分基盤研究施設での試験研究、放射性核種を用いたデータ取得試験を進めるとともに、地層科学研究として進めている釜石鉱山での原位置試験、東濃鉱山やその周辺等での調査・研究、さらには国際協力を積極的に行っている。

(1) 地層処分基盤研究施設における試験研究

地層処分基盤研究施設は、動燃事業団東海事業所に建設した研究棟と試験棟から成る放射性物質を用いない施設であり、地層処分で想定されるさまざまな現象のうち、地下水影響過程に着目し、地下水に対する多重バリアシステムのふるまいを研究、解析、評価していくことを目的とした施設である。

写真－2に建屋外観を示す。研究棟は、基礎研究と解析業務等のソフトワークを主としており、精密分析設備、計算機、シミュレーションシステムなどを設置している。試験棟には、やや大型の試験設備を設置している。



写真－2 地層処分基盤研究施設（東海事業所）

本施設は、平成3年度に建屋建設及び試験設備製作を開始し、平成5年8月末に竣工した。その後、設備等の調整を行い、同年10月より本格的な試験を進めている。

表－1に主な試験設備の概要を示す。

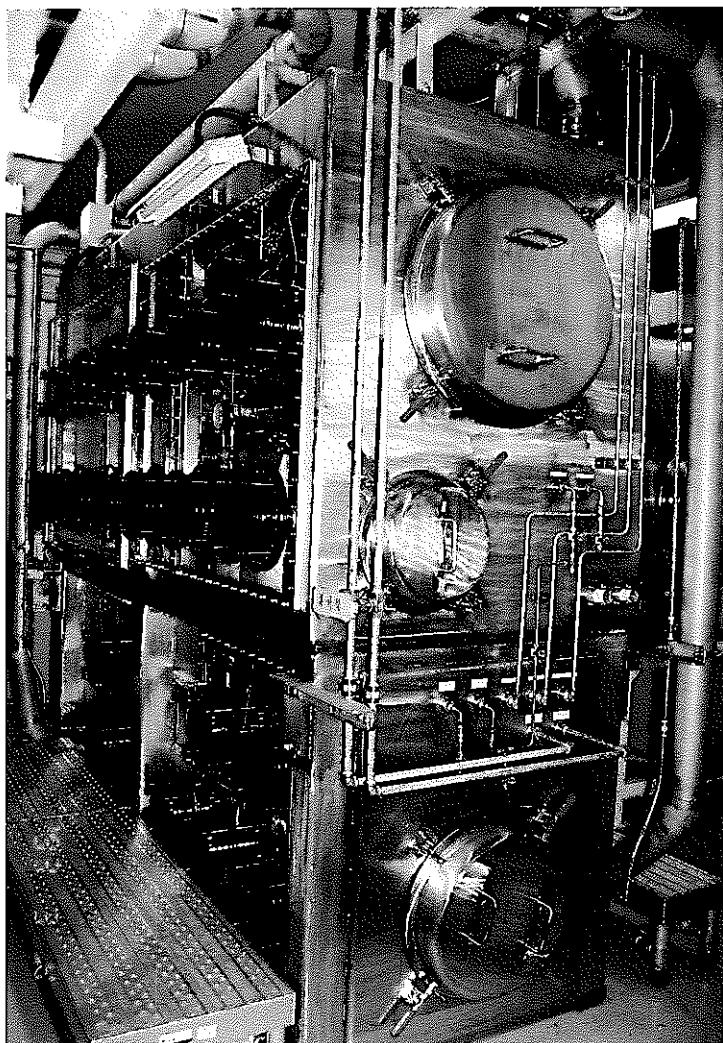
表－1 地層処分基盤研究施設の主な試験設備の概要

試験設備名	目的	
(1) ニアフィールド化 学環境変化試験設備	① 化学平衡反応試験設備 (EDAS)	深部地質環境条件下での地下水とニアフィールド構成要素との化学反応に関するデータ取得、モデル化
	② 動的化学反応試験設備 (IMAGE-MASTRA/GEOCHEM)	ニアフィールドにおける化学反応を伴う物質移動現象の解明、モデル化
(2) ニアフィールド連 成現象試験設備	① 龜裂性媒体水理試験設備 (LAB ROCK)	人工バリア周辺母岩における亀裂性媒体中の水理および物質移動現象の解明、モデル化
	② 多孔質媒体水理試験設備 (MACRO)	人工バリア周辺母岩における不均質多孔質媒体中の核種の分散、移流現象のモデル化
	③ 人工バリア構造力学試験設備 (PASS)	オーバーパックの腐食による水素ガスの発生および移行挙動、断層等に対する人工バリアの構造力学的挙動、長期間における緩衝材の亀裂内での挙動の解明、モデル化
	④ 熱-水-応力連成試験設備 (COUPLE)	人工バリアの再冠水時の熱-水-応力連成モデルの開発

これらの設備を用いた試験研究に対して、現在、フランス原子力庁（C E A）、カナダ原子力公社（A E C L）、スイス放射性廃棄物処分全国組合（N A G R A）、米国ペンシルベニア州立大学などが関心を示しており、本年10月からは既にフランスより研究者が滞在して研究を行っている。

## (2) ホット試験の概要

東海事業所の高レベル放射性物質研究施設（C P F）等において、実際のガラス固化体試料、プルトニウム入りガラス試料、放射性同位元素などを用いて、核種の浸出、溶解、収着、拡散などの基礎的な研究を続けている。地下深部環境条件下でのデータがますます重要であることから、写真－3に示す雰囲気制御二重グローブボックスを製作し、深部地質環境を模擬した条件で研究を進めている。



写真－3 雰囲気制御二重グローブボックス（東海事業所）

深部地質環境を模擬した条件で、多くの試験を効率よく実施するために、今後、雰囲気制御機能を有する設備を充実していく計画である。

### (3) 地層科学研究の概要

地層科学研究は、深部地質環境の科学的研究であり、地層処分研究開発の基盤となる研究として位置づけて実施している。その主な内容は、

- ① 地質環境特性に関する研究
- ② 地質環境調査機器・手法の開発
- ③ 地質環境の長期安定性に関する研究

であり、釜石鉱山、東濃鉱山及びその周辺地域等において調査研究を進めている。

上記の①、②項に関して、釜石鉱山では花崗岩を対象に、昭和63年度より平成4年度まで行った第1フェーズの原位置試験に引き続き、平成5年度より5ヶ年の計画で第2フェーズの試験を進めている。図-2は、釜石原位置試験場のレイアウトである。

第2フェーズでは、第1フェーズの試験を行った550mレベルに加えて、釜石鉱山で最も深い250mレベル坑道（地下約750m）において試験を展開している。

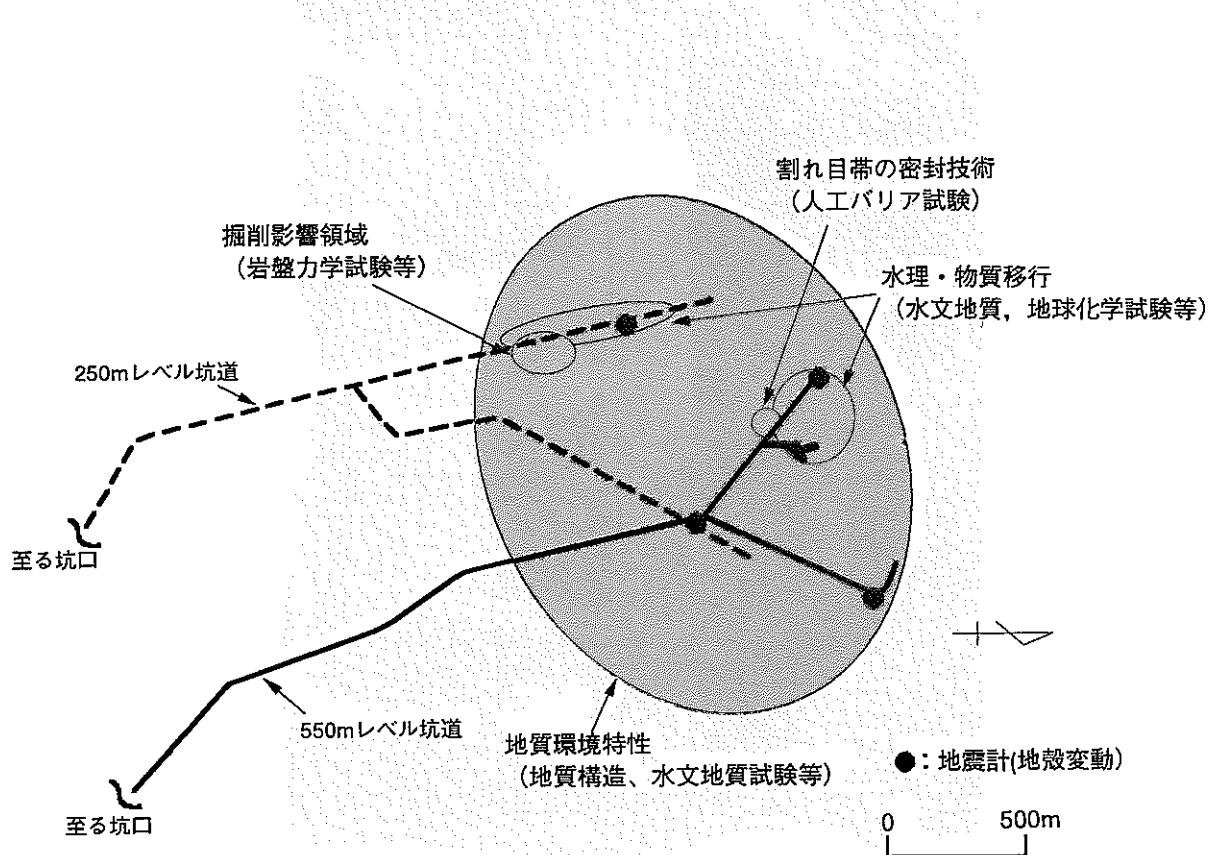


図-2 釜石原位置試験場のレイアウト

第2フェーズの主な試験項目は、花崗岩の深部地質環境特性の把握、深部岩盤における掘削影響領域の評価、結晶質岩中の水理・物質移行研究、人工バリア試験、地震に関する試験研究である。掘削影響試験では、掘削影響領域の評価、坑道周辺の地下水の酸化還元状態の調査等を実施している。水理・物質移行試験では、これまで国際協力等により研究開発してきた成果を受けて、代表的な亀裂を対象に、非放射性のトレーサーを用いて、本格的な試験を行う計画である。人工バリア試験では、熱や緩衝材の膨潤による圧力が、周辺の岩盤の緩み領域やグラウトに与える影響を調べるために、ヒータやベントナイトを縦孔に設置し大型の試験を行う計画である。

東濃鉱山及びその周辺地域においては、主に堆積岩を対象に、ウラン鉱山を利用した物質移行現象に係わるナチュラルアナログ研究、広域地下水流动研究、地球化学に関する研究、掘削影響試験などを進めている。本地域では、平成3年度に第2立坑を掘削し、長期的な観測を継続することにより、周囲の岩盤や地下水流动に与える影響の評価を行っている。写真-4は、直径6m、深さ150mの第2立坑の写真である。

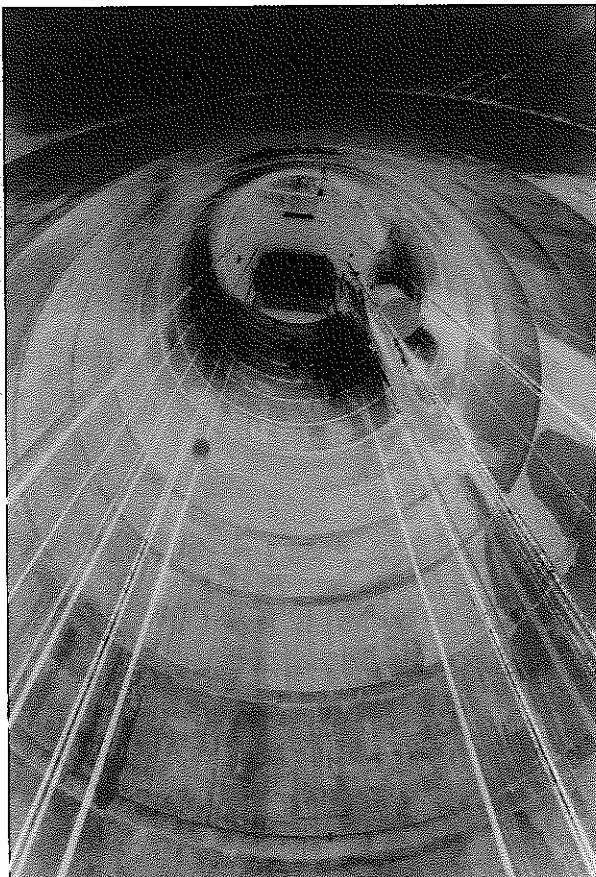
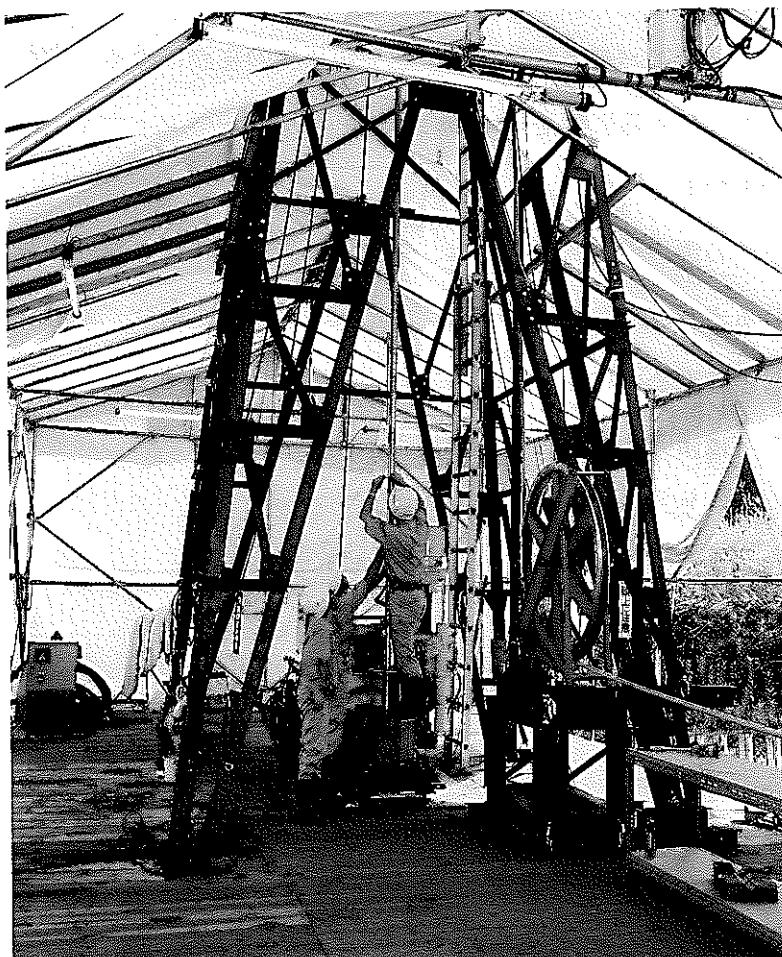


写真-4 第2立坑（直径6m、深さ150m）（東濃鉱山）

この他、深部地質環境を的確に把握するための機器の開発を進めている。写真－5は、その一例で、地上から地下1000mまでの深さの岩盤の水理特性・地球化学特性を測定できる調査機器である。このような機器によって、深部地質環境が的確に把握できるようになってきている。



写真－5 1000m対応水理調査機器・地下水の地球化学特性調査機器

上記③項の研究は、これらの研究に合わせて、我が国においては、天然事象とそれらが地質環境に与える影響の調査・研究が、安定な地質環境の評価という観点から重要であり、特に重要な天然事象として、地震／断層、火山、隆起／沈降／侵食、気候変動／海水準変動を取り上げ、専門家の指導、協力を得て事例研究等を着実に進めている。

今後、地層科学研究の中核的な実施拠点である東濃地科学センターを開放的な研究体制に整備し、地球科学の広い分野にわたる先端的な研究を進めていきたいと考えている。

## 6. 国際協力

我が国を始め、地層処分の研究を進めている多くの国々は、おのおのの国情に応じた考え方、進め方を有する一方、国際的に共有すべき多くの課題も抱えている。地層処分に関わる研究開発は、広範囲の学問領域にわたって行われ、それらの成果について総合的に評価することなどによって、社会各層の幅広いコンセンサスを得つつ推進していくことが重要である。従って、地層処分の研究開発を進める上で、諸外国の研究開発機関と協力をすることは、相互の技術的な情報の共有及び国際的なコンセンサスの構築のためにも、各国の先端技術や施設の効率的な活用、データの量と質の向上、技術や評価の信頼性の向上、安全論理の構築等の面でも非常に有益なものとなっている。

動燃事業団はこのような考え方のもと、積極的に国際協力を進めている。

### (1) 二国間協力

現在、二国間協力としては、米国（U S D O E）、カナダ（A E C L）、スイス（N A G R A）、スウェーデン（S K B）、フランス（C E A）、英国（U K A E A）と協力協定を締結して、共同研究などを進めている。その主な内容を表－2に示す。

表－2 動燃事業団が進めている二国間協力の主な内容

国 名	機 関 名	主 な 内 容
米 国	エネルギー省（D O E）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 亀裂性岩盤内水理・物質移動解析モデルの開発（ローレンスパークレー研究所）</li><li>② 核種溶解度及び収着の基本データの取得（バッテルパシフィックノースウェスト研究所）</li><li>③ 火成活動等の自然現象が地質環境に与える影響の評価</li></ul>
カ ナ ダ	カナダ原子力公社（A E C L）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 地球化学、岩石特性、水理、人工バリア及び埋め戻しに関する地下での試験研究</li><li>② 地層の特性に関する測定技術</li><li>③ 材料挙動及び放射性核種の移行に関する研究</li><li>④ 処分システムの性能評価</li><li>⑤ 広報活動の情報交換等</li></ul>
ス イ ス	スイス放射性廃棄物処分全国組合（N A G R A）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 包括的な情報交換</li><li>② グリムゼル岩盤試験場での亀裂中核種移行原位置試験</li><li>③ 東濃鉱山を利用したナチュラルアナログ研究等</li></ul>
ス ウ ェ ー デ ン	スウェーデン核燃料廃棄物管理会社（S K B）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 硬岩研究所（H R L）での事前調査・事前予測・地下坑道での検証等</li></ul>
フ ラ ン ス	フランス原子力庁（C E A）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 性能評価研究全般（地下水中的コロイド・有機物の分析等）</li></ul>
英 国	英國原子力公社（U K A E A）	<ul style="list-style-type: none"><li>① 热力学データベースの充実</li><li>② 収着機構の理解</li></ul>

米国（U S D O E）とは、ローレンスバーカレー研究所（L B L）及びバッテルパシフィックノースウェスト研究所（B P N L）を通じて、それぞれ亀裂内岩盤水理・物質移行解析モデルの開発、核種溶解度及び収着の基本データの取得について協力を進めている。また、ユッカ山計画に関して火成活動などの自然現象が地質環境に与える影響の評価について情報交換を進めている。

カナダ（A E C L）とは、特に地下研究施設を利用した研究を重視し、地層処分の研究開発全般についての協力をしている。

イスイス（N A G R A）とは、地層処分の概念や考え方方が我が国と類似点が多いことから、最も密接に協力を進めてきている。協力の範囲は広く、包括的な情報交換、グリムゼル岩盤試験場での放射性トレーサーを用いた亀裂中の核種移行現象の共同研究、東濃鉱山を利用したナチュラルアナログ研究、東海事業所の地層処分基盤研究施設での共同研究など、研究員の相互派遣を含め、活発に協力を進めている。

スウェーデン（S K B）とは、地質環境調査手法等の確立を目的として、新しい地下研究施設である硬岩研究所（H R L）の建設工事を利用して、事前調査・事前予測・地下坑道での検証等の共同研究を進めている。

フランス（C E A）とは、性能評価全般について協力を進めている。東濃鉱山での地下水中のコロイド・有機物研究として、共同でサンプリングや分析を進めている。

英国（U K A E A）とは、熱力学データベースの充実及び収着機構の研究で協力を進めている。

## (2) 国際機関及び多国間の協力

二国間協力に加えて、O E C D／N E A等が主催あるいは協力している国際会議や国際ワークショップ等の会議にも積極的に参加している。例えば、スウェーデンの規制機関であるS K I (Swedish Nuclear Power Inspectorate)が事務局を担当しているD E C O V A L E Xプロジェクトは、10ヶ国（2国際機関を含む）の参加のもとに、熱-水-応力連成解析モデルの開発・確証を目的としたものであり、動燃事業団は、平成2年の発足準備から主要メンバーとして参加し、東海事業所の緩衝材大型試験設備で得られた成果を中心に報告している。平成5年10月には東海事業所の地層処分基盤研究施設にて、ワークショップと調整会議を開催している。この他、国際確証研究プロジェクトであるI N T R A V A Lなどにも参加してきている。

最近、各国の研究開発機関が協力を呼びかけて、ワークショップを開催するケースが多く

なってきている。結晶質岩系を研究しているスイス（N A G R A）、スウェーデン（S K B）、フィンランド（T V O）、カナダ（A E C L）、日本（動燃事業団）が情報交換や意見交換を行う5ヶ国ワークショップが良い例であり、活発に率直に議論が展開されて得るところが多い。平成5年11月に、動燃事業団自身が呼びかけて開催し、国内外から多くの専門家の参加を得た釜石シンポジウムや地層処分国際ワークショップもその例である。

我が国における研究開発が進展するにつれて、国際会議を日本で開催してほしいとの要望が増えてきている。今後とも出来るかぎりの協力をしていく考えである。

## 7. 今後の展開

地層処分研究開発は、関係各界のご意見、専門家のご指導やご協力を得ながら、ニアフィールド性能の定量化を中心とした研究開発の展開を着実に進め、その成果を2000年前までに取りまとめることが当面の目標である。

研究開発を進める上で、それらに共通的な基盤となる深地層の研究施設は極めて重要であると認識しており、貯蔵工学センター内の深地層試験場をはじめ、結晶質岩系の施設の設置に向けて、関係者のご協力、ご理解を得ながら早期実現に向けて全力をあげて取り組んでいきたい。

また、核種移行に係わる信頼性の高い基礎的なデータベースを構築していくために、放射性物質を用いる地上の室内試験の充実を図っていく考えである。

さらには、これらの研究成果に立脚して、多重バリアシステム全体の性能の定量的評価・確認を目指した2000年以降の研究開発並びに安全研究を成熟させ、処分実施に向けての種々の技術基準等の策定に資するよう努力していきたい。

今後とも、ご指導、ご協力をお願いする。

## 2. 研究開発報告

# 地層処分の目で地下深部をとらえる

## — 日本の地質環境とその安定性に関する研究 —

環境技術開発推進本部  
地層科学研究グループ  
主幹 武田精悦

### 1. はじめに

我が国における地層処分の安全性を科学的・技術的に示すためには、日本の地質環境を的確に把握し、現実性の高い地質環境モデルを性能評価研究及び処分技術の研究開発に反映させることが重要である。現在、地域・岩種を特定することなく地質環境条件をとらえ、調査・研究を行っている。

これまでの地球科学の知識によれば、地下深部の地質環境特性には、地域に固有な性質と地域に依らない共通な性質があることが知られている。日本の地質環境を効率的かつ的確に把握するためには、地層処分において特に重要な特性と地域に共通な性質に着目し、合理的にデータを取得することが重要である。

岩石はその成因に基づいて、大きくは火成岩・変成岩・堆積岩に分類され、さらに鉱物・化学組成、鉱物の粒度、組織などによって多くの種類の岩石に细分される。しかし、地層処分の性能評価において重要である地下水の移動や物質移行の観点からは、岩石が生成された環境よりも、むしろ、現在の岩石組織や収着性などの物理・化学特性、地下深部の岩盤の水理構造や地下水の性質などが重要な特性として挙げられる。この観点からみると、我が国に分布する岩石は、亀裂性媒体の結晶質岩と多孔質媒体の堆積岩に区分することが可能である。花崗岩と新第三紀の堆積岩はそれらの代表的な岩石であり、我が国に広く分布している。

動燃事業団では、以上のような観点から、地質環境条件の調査研究を進めている。また、地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の研究を地層科学研究として新たに設定し、調査研究や技術開発を推進している。

ここではこれまで進めてきた研究開発の現状と今後の方針について報告する。

## 2. 研究開発の目標と進め方

地質環境条件の調査研究の目的は、地層処分の観点から我が国の地質環境を捉え、調査・観測によって地質構造モデルや地下水流动モデル等を構築し、データの体系化を図ること、地質環境を高い精度で効率的に把握し、これらを解析・評価するために必要な技術の実用化を図ることである。この調査研究によって得られたモデルおよびデータを性能評価研究及び処分技術の研究開発に活用する。

地層処分システムにおけるニアフィールド及びファーフィールドの地質環境では、地下水の流动と地下水の地球化学特性及び物質移行に関する情報が重要である。特にニアフィールドについては、掘削影響領域を含む人工バリア周辺岩盤の水理特性や地球化学特性に関する信頼性の高い情報を重点的に整備していく必要がある。一方、ファーフィールドでは、広域地下水流动や物質移行の観点から断層破碎帯や変質帯などに関する情報の整備や沿岸域における塩淡境界に係わる水理・水質等に関する情報が重要である。

地層処分の観点から重要な地下深部の地質環境に関する情報は、高い精度と信頼性を要求されることから、調査・計測技術や機器の開発・改良を進め、効率的に精緻に把握する必要がある。このため、水理学的・地球化学的特性の調査機器については、極めて透水性の低い岩盤や地下深部の圧力や温度に対応できる装置の開発を進めている。また、地質環境を出来る限り乱さないように非破壊で調査するため、物理調査やボーリング調査による調査手法の高度化と統合化を目指している。

地層処分の観点からは、適切な地域における地質環境が、そこで起こり得るあらゆる変化を考慮しても、地層処分において地質環境の役割が維持できれば、その地質環境は安定なものとみなすことができる。この地質環境の安定性の評価のためには、将来、それぞれの事象が地質環境に与える影響の性質とその規模などを把握することが重要である。そのためには過去における天然事象の発生や規則性に関わるデータ（規模、地域性、規則性、発生機構など）を解析して規則性を見出し、それに基づいて将来予測を行うという研究のアプローチが重要である。

地質環境条件の調査研究の実施においては、関連する理工学分野において蓄積された知見や最新の成果を取りまとめるとともに、東濃鉱山並びに釜石鉱山における地層科学研究の成果を活用する。また、海外諸国との共同研究を通して、調査技術、評価手法の確立を目指している。

### 3. 地質環境の特徴とこれまでの主な知見

一般的に、火山地域や温泉・地熱地帯などの地域を除くと、深部の地層においては地下水の動きが極めて遅く、化学的な環境は還元性・中性～弱アルカリ性と考えられる。このため、深部の地層中では廃棄物中の放射性核種は溶け出しにくく、微量溶け出したとしても周辺岩盤や割れ目の粘土鉱物等に吸着されたり、沈澱したりするため、放射性核種の動きは地下水の動きよりも遅くなることが期待される。

花崗岩類や堆積岩を対象として行われた試錐孔における試験結果によれば、透水係数は約 $10^{-5}$  cm/s ~  $10^{-8}$  cm/s という値が得られており、また、岐阜県東濃地域の深度 160mの地下水から -300mV という低い酸化還元電位が得られている。さらに、東濃ウラン鉱床の例では過去約数10万年の間、ウランの大きな移動はなかったことなど、地質環境が持つ特性が明らかにされつつある。

さらに、深部の地質環境は地表に比べて地震、氷河作用、風化・侵食作用等の自然現象や人間の活動による影響を受けにくいという特徴をもっている。

釜石鉱山の坑道を利用した地震観測の結果では、地下数百mでの加速度振幅が、地表の約 1/2 であった事例が報告されている。また、地下水の間隙水圧や水質の長期観測によると、地震時の一時的な変化はあるものの、その変化は季節変動などの変化幅の中もあり、大きな変化はいまのところ認められていない。また、地質環境の安定性に影響を与える可能性のある天然事象のうち、第四紀に活動したと考えられる断層（活断層）について分布状況を整理すると、断層の全くない地域が広く存在し、断層が多く認められる地域でもその中には断層が存在しないブロックがあることがわかっている。日本列島における火山活動の場は、プレートの沈み込み運動とその深度に関連していると考えられ、大局的にみて過去1200万年間大きく変化していない。さらに、氷河性気候変動／海水準変動は地球全体にわたる事象であり、過去70万年間において、10万年程度の周期で繰り返されてきた。このように、天然事象には地域性、規則性、周期性が認められることから、これらを的確に把握することにより、地質環境の安定性を適切に評価することが重要である。

### 4. 研究開発の状況

現在行っている研究開発のうち、地質環境特性に関する研究については地層科学研究の状況を、長期安定性については研究開発の進め方について示す。

#### (1) 東濃鉱山およびその周辺における調査研究

東濃鉱山は岐阜県東濃地域にあるウラン鉱山である。東濃鉱山周辺の地質は花崗岩類を基盤と

し新第三紀の堆積岩がこれを覆う構造をなしている（図-1）。同鉱山周辺では、ウラン探査や学術研究により膨大な地質学的知見が蓄積されており、また、立坑やそれに連絡する坑道により地下百数十mまでのウラン鉱床を含む堆積岩へのアクセスが可能である。東濃鉱山およびその周辺において、地下水の水理、地球化学、地下水による物質移行及び坑道掘削が地質環境に与える影響の調査研究を進めている。

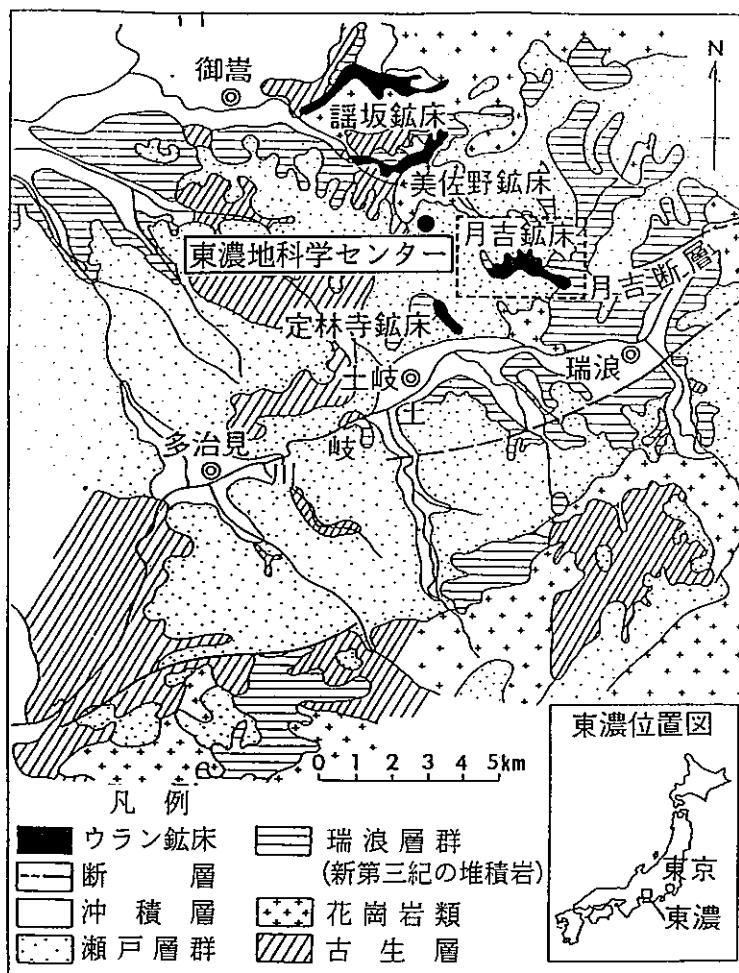


図-1 東濃ウラン鉱床地域の地質図及び位置図

地下水の水理に関する試験研究では、地表から地下 500mまでの信頼性の高い水理データの蓄積、調査結果に基づく水理地質構造モデルの構築、地下水流动予測解析手法の検討ならびにモデルの検証のための長期観測を実施している（図-2）。東濃地域の堆積岩類と花崗岩を対象とした試錐孔における透水試験の結果によれば、堆積岩の透水係数は粗粒の部分ほど高く、中粒～粗粒砂岩の透水係数は約 $10^{-6}$  cm/s のオーダであるのに対し、凝灰質砂岩や細粒～中粒砂岩の透水係数は約 $10^{-8}$  cm/s という値が得られている。さらに、花崗岩は高透水性 ( $10^{-3} \sim 10^{-4}$  cm/s) の

開口割れ目帯部分と、難透水性 ( $10^{-6} \sim 10^{-9}$  cm/s) の健全な母岩及び挟在物を含むと思われる割れ目帯部分とに区別できる。また、東濃地域を例とした三次元地下水流动解析によると、間隙水圧分布は浅層部以外ではほぼ静水圧分布を示し、地下500 m以深での動水勾配は0.04未満であることが示された。今後は、深度 1,000mまでの水理データの取得を進めていくとともに、地下水流动解析手法の高度化、現地調査手法の最適化を図りつつ、地下水流动の調査研究を進めて行く計画である。

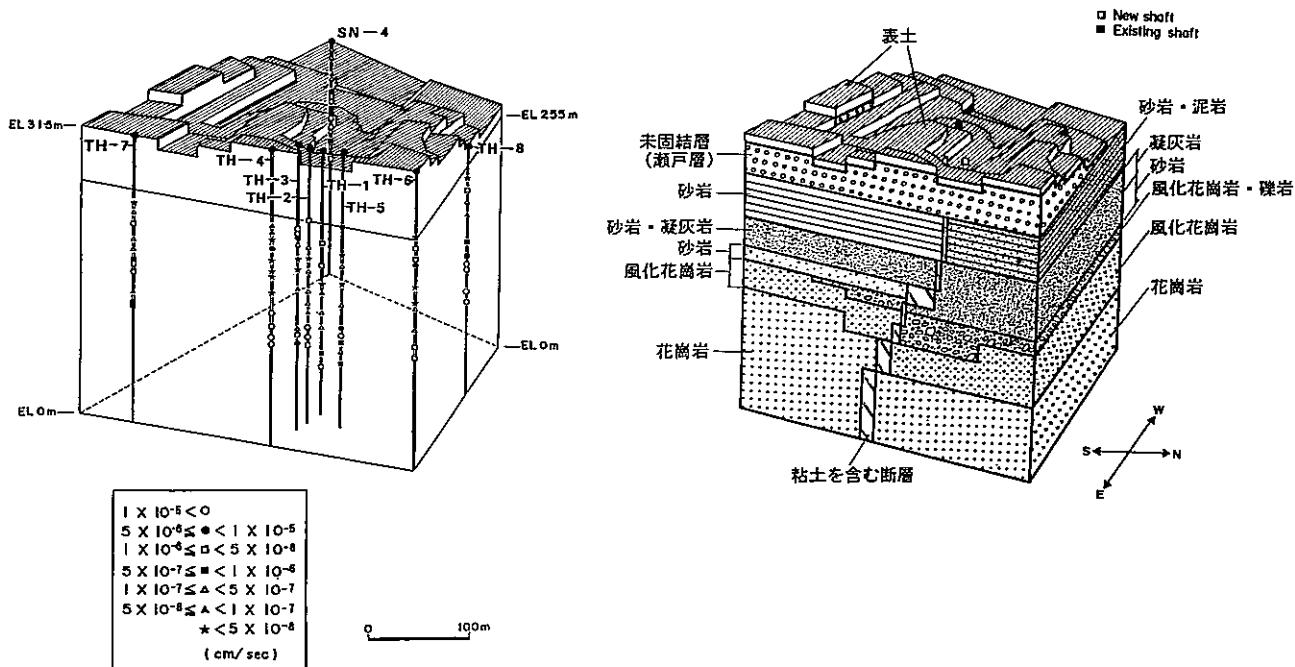


図-2 東濃地域における(a)透水係数の分布と(b)水理地質構造モデル

地下水の地球化学特性については、地下水の年代、起源及び地球化学的特性の三次元的な分布を把握し、水質形成に関する地球化学モデルの妥当性を確かめるために、試錐孔における採水と測定を実施している。堆積岩中の地下水組成のほとんどはNa-HCO<sub>3</sub>型を示し、pHは深部に行くにしたがって、中性からアルカリ性へと変化している（図-3）。酸素・水素安定同位体比の分析結果から地下水は降水起源と考えられ、また、炭素の放射性同位体による年代測定から、堆積岩基底部の地下水の年代は少なくとも1万年以上であることがわかっている。地球化学平衡モデル解析によって得られた地下水のpH、酸化還元電位及びイオン濃度と、この地域での実測値がかなり良い一致を示すことが明らかとなった。今後は深度 1,000mまでの地球化学データの蓄積と花崗岩類を含めた深部地下水の水質形成に関する検討を行う。

地下深部の地質環境における物質の移行挙動を明らかにするため、ウラン鉱床とその周辺を地

層中の物質移行・固定に関する天然における類似現象（ナチュラルアナログ）の場としてとらえ、これを対象としてウラン鉱床の生成と保存の環境条件に関する研究及び天然ウラン系列核種の地下水による移行と遅延に関する研究を実施している。その結果、ウランは還元環境下で固定され、ウランの移行・濃集には岩石の鉱物・化学組成のみならず地下水の移行が大きく影響していること、鉱床中のウランは過去約数10万年間ほとんど移行していないことなどの知見が得られた。今後の課題として、地下水の移行経路の特性と天然ウラン系核種の移行の関係、移行の定量化と収着現象のモデル化などを進める。

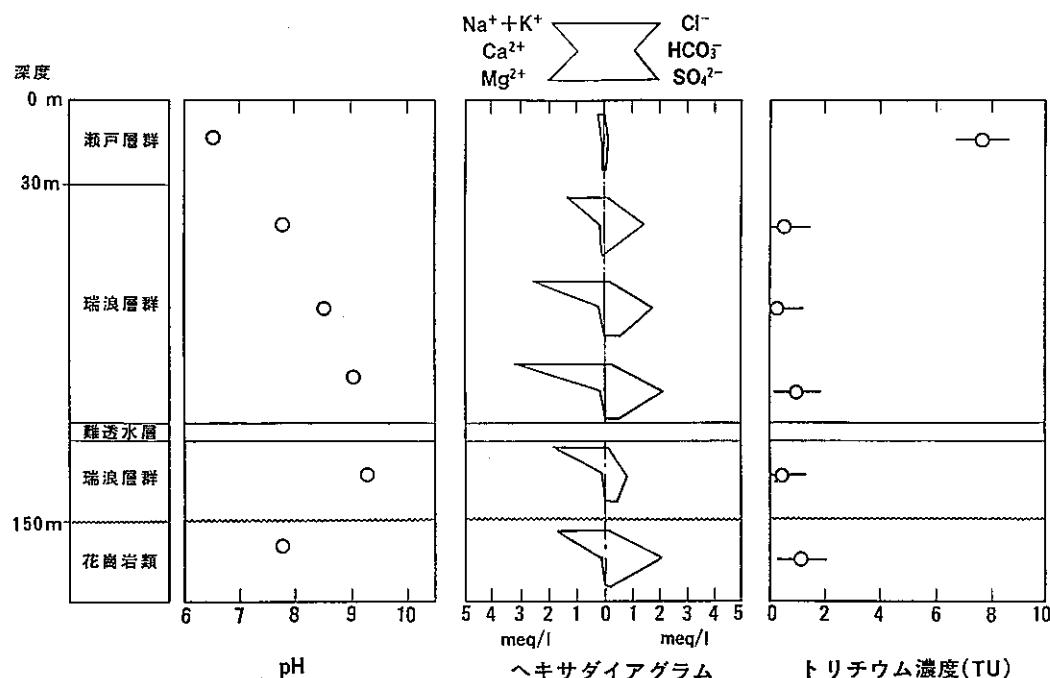


図-3 東濃地域の地下水のpH, ヘキサダイアグラムおよびトリチウム濃度

坑道等の掘削が坑道周辺の地質環境に与える影響を把握するため、掘削前の岩盤の初期条件を把握して、掘削の影響を予測し、その後に坑道等を掘削して地質環境の変化を実測するという一連の調査研究を実施している（図-4）。立坑掘削影響の試験研究では、内径 6 m、深さ 150m の立坑を掘削し、既に約 4 年にわたる観測を継続中である。この結果、発破により岩盤が損傷を受けた範囲は立坑壁面から 1 m 程度であることや、立坑周辺における間隙水圧の変化は立坑を中心とした半径 100m 程度の広がりであることが確認された。今後は、岩相や掘削工法の違いによる岩盤への影響を把握するとともに計測・解析手法の改良を行っていく予定である。さらに、長期にわたる岩盤変形や水理等への影響を把握するため、長期モニタリングを継続していく。

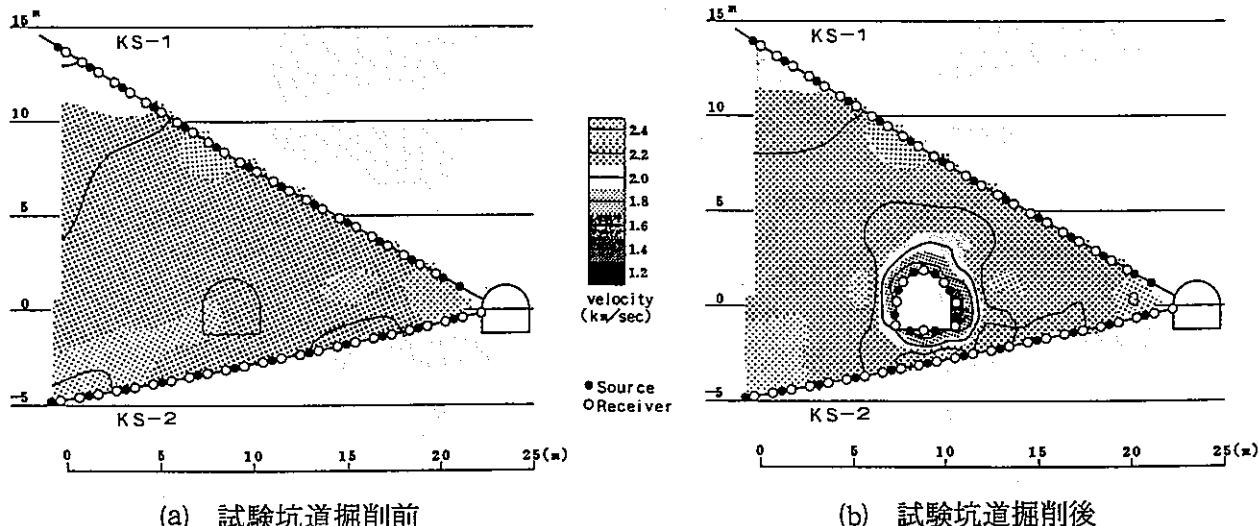


図-4 東濃鉱山における弾性波トモグラフィー測定結果

## (2) 釜石鉱山における調査研究

釜石鉱山は、岩手県釜石市にある花崗岩類を母岩とする鉄・銅鉱山である。動燃事業団は昭和63年から、同鉱山の 550m レベル坑道（地表下約 300m）を利用して、栗橋花崗閃緑岩を対象として試験研究を実施してきた。平成 5 年からは、250m レベル坑道（地表下約 700m）を主たる試験場所として、さらに、5 年間にわたる試験研究を開始した。同鉱山では、深部地質環境特性の把握、深部岩盤における掘削影響領域の評価、結晶質岩中の水理・物質移行試験、人工バリア試験、地震に関する研究等を行なっている（図-5）。

最初の 5 年間では、地質環境特性の分布とそこで起こる現象に関するデータを取得することと、その過程を通じて現有の調査試験技術の適用性を確認することを目的として、試験研究を行った。その内容は、坑壁や試錐孔の割れ目調査、割れ目の分布を把握するための物理調査、岩盤の透水性の評価や地下水流动現象の把握とそのモデル化等の水文地質学的研究、深部地下水の起源、年齢、水質形成機構等の地下水の地球化学的研究、坑道掘削影響試験等の岩盤力学的研究、地震に関する研究、人工バリアに関する試験研究などである。

その結果、栗橋花崗閃緑岩の強度等の物性、初期応力状態、岩盤の透水性、地下水が割れ目内の特定の経路を選択的に移行するチャネリング現象、深部地下水の地球化学特性、岩盤内に充填したベントナイト粘土の原位置での膨張挙動に関する知見などを蓄積してきている。また、坑道掘削が地質環境に与える影響の調査では、岩盤の透水性や変形性の変化は坑道壁面から 1 m 程度であることが判明した。

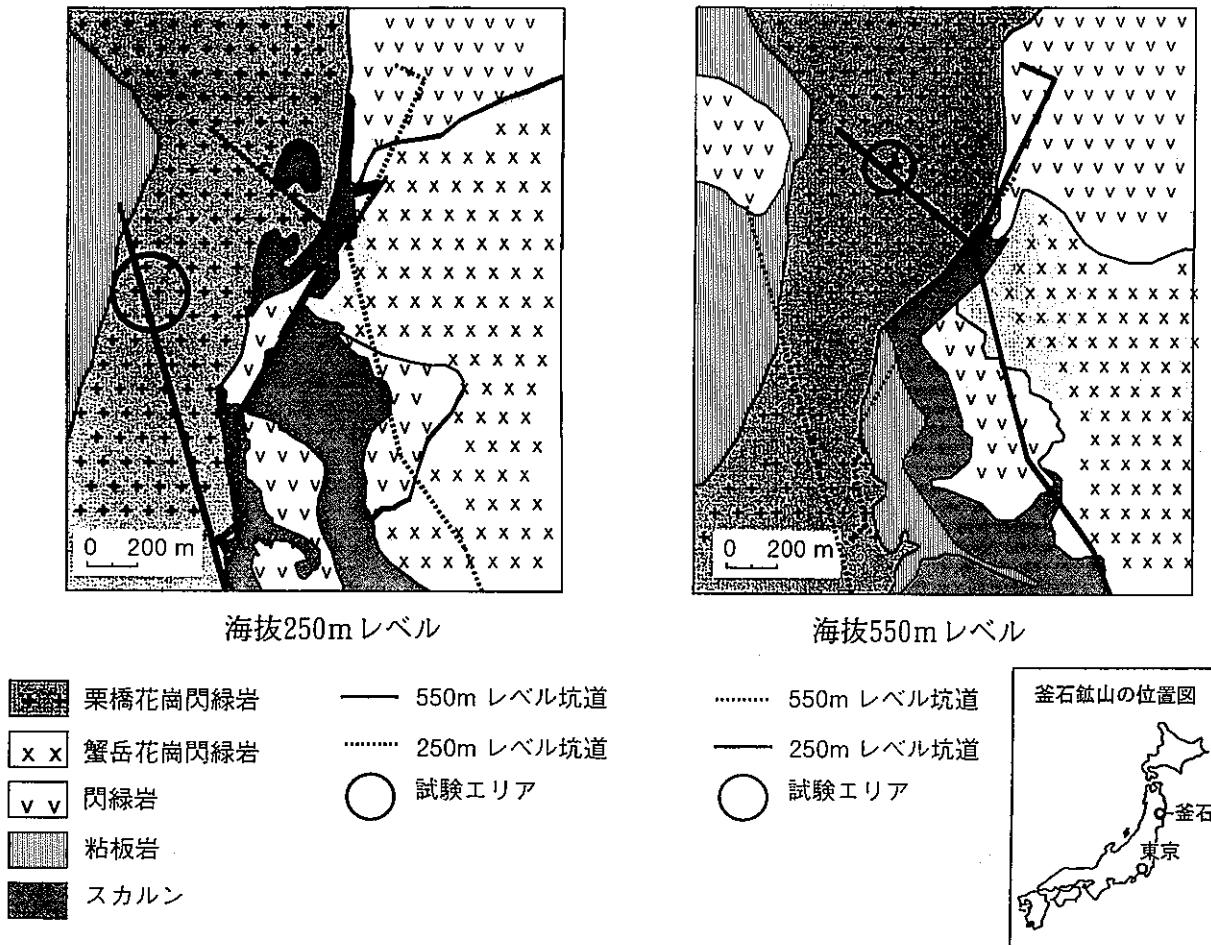


図-5 釜石原位置試験場周辺の地質図

また、これらの調査研究の過程を通じて、坑道周辺での地下水流動や坑道掘削に伴う周辺岩盤の変形挙動等のモデル化手法の有効性を確認している。この他、調査技術の観点からは、レーダー・比抵抗トモグラフィー法等の物理調査手法及び割れ目（帯）の分布のモデル化手法の有効性、透水試験手法の適用性等を確認した。

地震に関する研究では、深度の異なる坑道に地震計を設置し、地震動特性を把握するための観測を継続するとともに地下水の間隙水圧や水質の連続分析を行った。地震動観測の結果、大部分の地震に対し、地下数百mでの加速度振幅が地表の約 $1/2$ であることが明らかにされた（図-6）。また、地下水の間隙水圧や水質の長期観測によると、地震時の一時的な変化はあるものの、季節変動などの変化幅の中に収まり、大きな変化を与えるようなケースはいまのところ認められていない。

平成5年度からは、地質環境特性の深度による違いを明らかにすること、坑道掘削影響領域の詳細を明らかにするという新たな視点に立った5年間の研究計画を策定し、調査研究を実施している。その内容は、地下の地質環境特性の詳細把握、周辺岩盤中の地球化学的変化を含めた坑道

掘削の影響の把握、坑道周辺岩盤の割れ目の分布や水理・物質移行現象の解明、ペントナイト粘土と周辺岩盤・地下水の間での熱・水・力学連成現象の解明、地震動の地下低減特性の実証データの蓄積、及び地震が地下水に与える影響の調査などである。

これまでに、異なる深度(250m レベル及び 550m レベル坑道)での初期応力状態、物質移行の観点からの割れ目構造及び微小空隙構造、坑道近傍の地下水の酸化還元環境等が明らかとなりつつある。

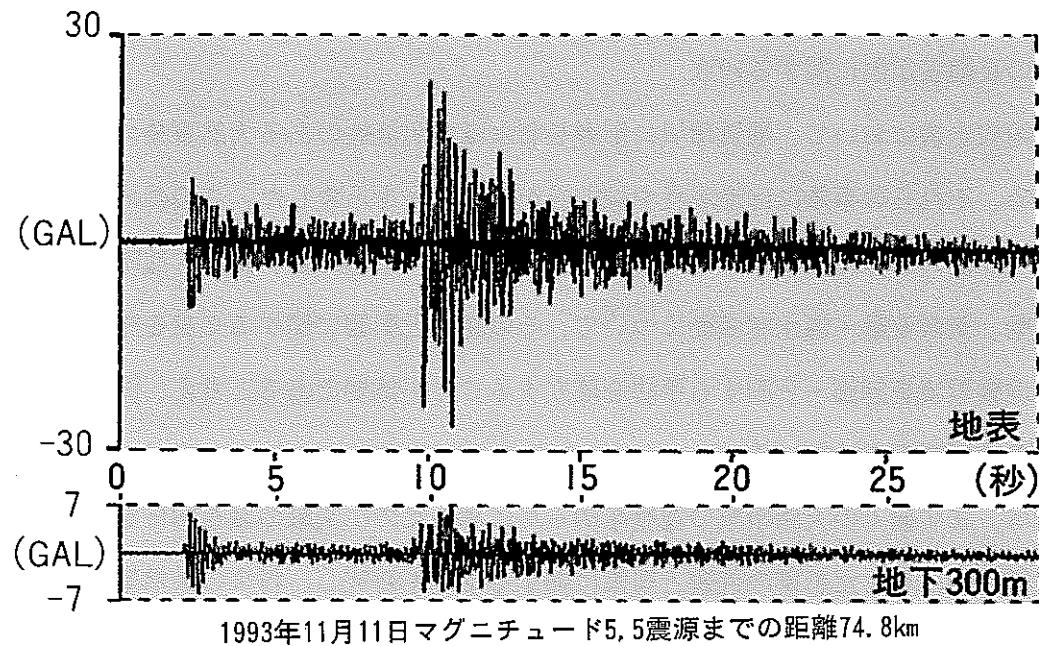


図-6 釜石鉱山における地表と地下での地震観測（加速度振幅）結果の一例

### (3) 深部地質環境の調査技術開発

地下深部の水理地質特性を定量的に把握するため、難透水性岩盤を対象とした低水圧制御水理試験装置の開発を進め、適用深度 500mまでの $10^{-9} \text{ cm/s}$ オーダーの透水係数の原位置測定装置を実用化した。また、地下水の酸化還元電位、pH、溶存酸素濃度等の物理化学パラメータを原位置で連続的に計測する装置や、地下水を被圧不活性状態で採取できるパッカ式地下水サンプラーの開発も行われ、地層中に本来存在している状態を維持したままで採水することが可能となった。さらに、適用深度 1,000mまでの地下水調査機器も平成 6 年度に製作が行われ、現在、機能試験の段階にある。この他、湧水量分布を坑道壁面から計測する蒸発量測定装置、坑道周辺の単一割れ目を対象とした孔間透水試験装置の開発も行われている。

深部の地質環境に関するデータの取得に際しては、地質環境本来の状態を乱すことなく、出来

る限り非破壊で岩盤内の割れ目や地質構造、水理特性等を高い精度で把握することが望ましい。このために、物理調査手法として比抵抗分布や弾性波トモグラフィー等の開発や適用性の確認を行っている。さらに、複数の試錐孔を利用して、試錐孔間の詳細な割れ目帯の位置、規模等を調査するレーダー調査技術の開発を行っている。

また、深部地質環境を地表から予測し、坑道掘削によって実証するという予測手法の向上と調査技術の確立も重要である。そのため、スウェーデン核燃料廃棄物管理会社（SKB）との共同研究において、これを目標とした調査研究を実施中である。

#### (4) 地質環境の長期安定性に関する研究

第1次技術報告書において、地質環境に影響をおよぼす可能性のある天然事象について概説的に取りまとめ、それらの事象には地域性や規則性があることを示唆した。このため地質環境に影響を与える可能性のある天然事象としてとりあげた、地震・断層運動、隆起・沈降運動・侵食作用、火山活動、気候変動・海水準変動について、その発生と影響に関する知見を整備するとともに、将来の地質環境を評価・予測する手法を確立することが重要であると考え、国内外の関連文献の調査や事例研究を進めている。

本研究では、まず個々の天然事象の履歴を明らかにするため、文献の調査解析を進める。次に、それらが地質環境に与えた影響の性質と規模に関する事例を研究し、将来の天然事象による地質環境への影響について現実的な変動の幅を示すための手法を確立していくというアプローチをとる。

断層活動の研究に関しては、断層活動の時間的・空間的变化と断層活動を生じている場の特性に着目し、新たな断層の発生の可能性について検討を行う。断層活動がどの程度の範囲まで周辺の地質環境に影響をおよぼすかを明らかにするため、水理学的变化や地下水の地球化学的变化等を把握するための手法の検討を行う。

隆起・沈降運動では、将来における変動幅を把握するため、過去の変動量を精度よくとらえるための変動基準面の同定法や対比法及び第四紀標準編年表を整備し、日本列島における地殻変動を明らかにする。さらに、隆起・沈降運動に伴う地形变化及び地層の厚さの減少を見積もるため、侵食作用をモデル化し、将来の地形变化を予測するための数値モデルを構築する。

日本における火山活動については、その活動地域が将来的にも変化しないという見通しを確かめるため、第四紀における火山活動の特性及びその地域性を把握し、火山活動の場と地質構造・応力場・プレート配置等との関係を明らかにする。また、火山活動がどの程度の範囲まで周辺の

地質環境へ影響をおよぼすかを明らかにするため熱的影響の範囲と規模、地下水の地球化学特性や地下水流动への影響を把握する。

地球規模での気候変動及び海水準変動に関する知見を整理、解析し、変動の規模と規則性を把握する。

## 5. おわりに

日本の地質環境を論じていくためには、十分な客觀性と論理性を備えた解析手法と質の高い体系的な情報とデータの取得、提供が不可欠であり、限られた情報・データを最大限に活用していくことが重要である。さらに、本研究開発のような新しい分野の研究については広く公衆の理解を得つつ進められるべきものであり、そのためには基礎的な段階から、関連する分野の専門家の参加を得て幅広い視野から調和のとれた研究開発を透明性をもって進め、成果を着実に積み上げて行くことが大切である。また、個々の研究はもちろんのこと、研究開発全体としての進捗状況やその方向性に関する関係各界の専門家によるコンセンサスを形成していくことが極めて重要な認識のもと、各種委員会に指導を仰ぎつつ研究開発を進めている。

一方、深地層の地質環境に関する研究の場として、深地層の研究施設の重要性が強く認識されており、原子力委員会は平成6年6月の『原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画』において、「深地層の研究施設は、深地層の環境条件として考慮されるべき特性などの正確な把握や、地層処分を行うシステムの性能を評価するモデルの信頼性向上等地層処分研究に共通の研究基盤となる施設であり、我が国における深地層についての学術的研究にも寄与できる総合的な研究の場として整備していくことが重要である」と位置づけ、我が国の地質の特性等を考慮して複数の施設が望ましいとの考えを示している。また、深地層の研究施設計画を、処分場の計画とは明確に区分して進めていくことを明記している。

動燃事業団は我が国の深地層に関わる研究を更に充実させるためには、既存坑道における研究に加え、地質環境が擾乱されていない地層での研究、並びに地表からの調査予測研究段階及び坑道掘削による実証などを行う研究施設計画の推進が極めて重要であるとの認識に立ち、この施設の早期実現を目指し、鋭意努力を行っている。

# 地層処分の長期の安全確保を明らかにする

## －性能評価研究－

環境技術開発推進本部  
処分研究グループ  
主幹 佐々木 憲明

### 1. はじめに

地層処分の研究開発は、地層処分した高レベル放射性廃棄物の安全性を長期にわたり確保し得ることを具体的に示すことを目指し、現在のところ地域や岩石の種類を特定することなく幅広く地質環境条件を想定して、それらに対応しうる処分技術を研究開発するとともに、多重バリアシステムの性能を総合的に解析・評価することにより進めてきている。

これまでに行われた研究開発の成果として、地層処分の安全確保に関し、多重バリアシステムの有効性を示唆する知見が得られ、かつ具体的な技術的方法が明確になってきている。

現在、引き続き多重バリアシステムの有効性をより信頼性高く示していく研究開発を進めている。ここではその現状を紹介する。

### 2. 性能評価体系の構築に向けて

地層処分の安全性を確固として示すためには、地質環境の変化の影響を含め、多重バリアシステムで生ずる事象・現象・プロセス（FEP）の十分な理解と重要なFEPの抽出、信頼性の高いデータベースの構築、並びに妥当性の確認された解析手法の確立といいわゆる多重バリアシステムの性能評価体系の確立を図ることが必要である。動燃事業団が進めているジェネリックな研究開発は、これらの整備や確立を目指したものである。

多重バリアシステムの性能評価の体系は、図-1に示すように階層構造を持ったものであり、多重バリアシステムの性能を詳細に解析できるようにする（これを現象解析モデルの開発という）とともに、十分な安全裕度を持たせた解析方法も合わせて確立する（これをシステム評価モデルの開発という）必要がある。この両者の開発によって、解析の信頼性が確認でき、安全裕度の程度を把握できるからである。

図-2は最終的に確立を目指している多重バリアシステムの性能評価のモデル体系である。当面の目標は、ニアフィールドモデルはほぼ確立させ、ファーフィールドを含む地質圈モデルは概略的ながら詳細化を図り、さらに生物圏モデルについては、これまでに得られている原子力施設の環境安全研究成果を取り入れて、地層処分の観点から整理することである。これらの成果に基づいて、第2次取りまとめを行う予定である。

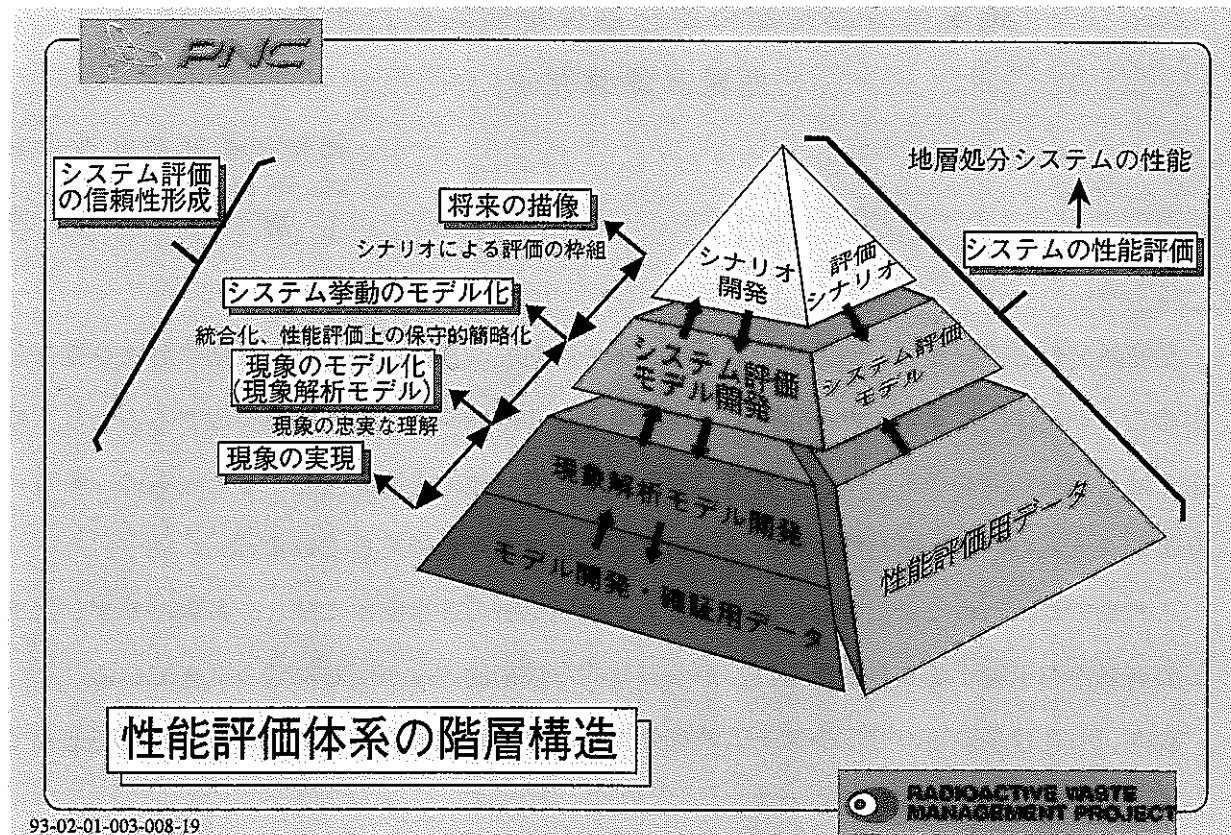


図-1 性能評価体系の階層構造

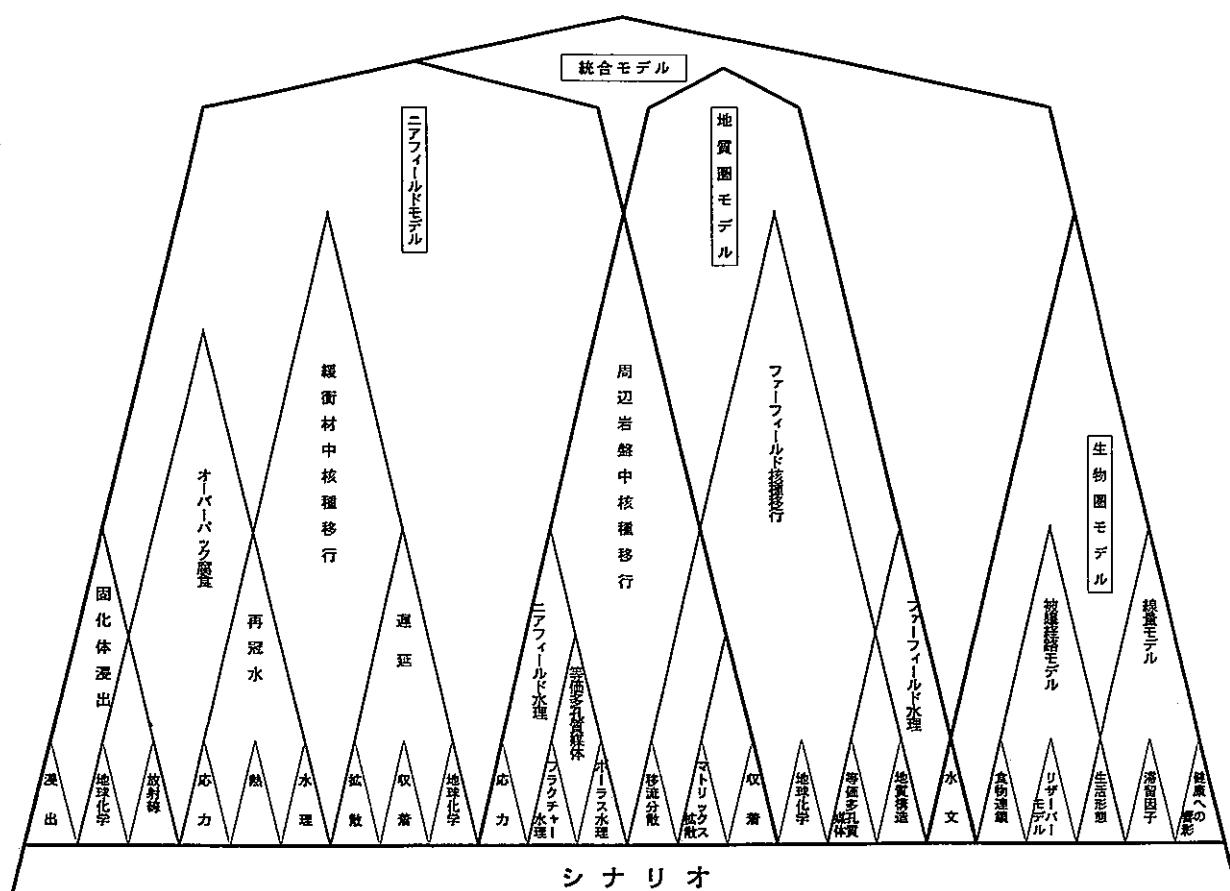


図-2 多重バリアシステム性能評価のモデル体系

以上のようにして、多重バリアシステムの長期の性能を解析評価していく方法を確立していく考えであるが、これまでの研究開発によって、かなりのことが明らかになっている。次にこれまでの主な知見と成果を示す。

### 3. 地層処分の長期の安全確保に関するこれまでの主な知見と成果

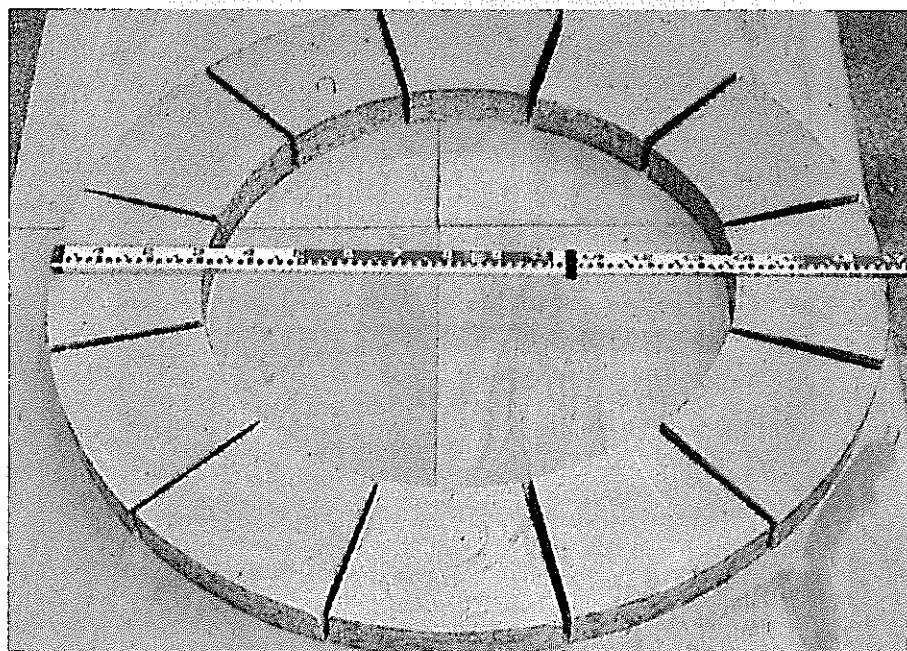
廃棄物が直接人間に影響を及ぼすことが無いと評価できる安定な地質環境に設置することを前提に、安全確保の要件である

- (1) 地下水接触の抑制、
- (2) 核種の溶出・移動の抑制、
- (3) 環境安全の確認

を満たす基本的な条件を検討した結果、これまでに次のような安全確保上の重要な知見が明らかとなっている。

- ① 天然事象には、規則性、周期性、地域性が認められるので、これらを適切に評価することが重要である。
- ② 深地層では一般的に、地下水の動きは遅く、還元性で、中性～弱アルカリ性であるという好ましい性質が期待できる。
- ③ 人工バリアの一つである緩衝材としては、圧密した天然のベントナイトが有力である。

写真－1は、圧密ベントナイトブロックの試作品である。ベントナイトの温度を100



写真－1 緩衝材の一例（ベントナイトと砂を締固めたもの）

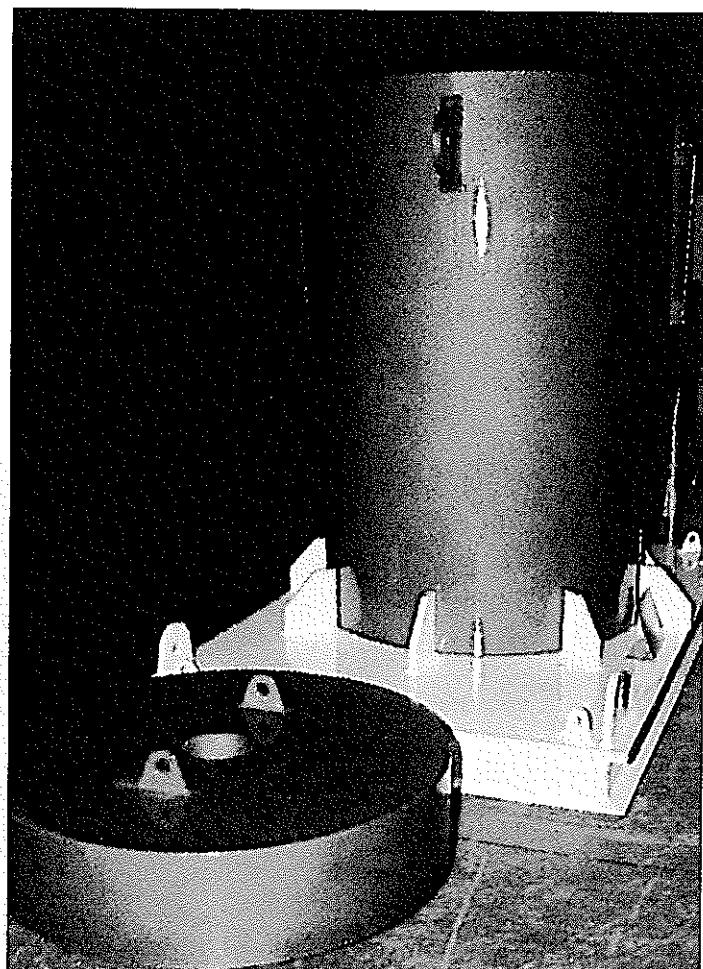
°C以下にすることにより、その鉱物的安定性を長期間保つことができ、長期の化学的安定性と好ましい化学的緩衝性が維持できる。

④ 人工バリアであるオーバーパックの材料としては、炭素鋼が候補材の一つとして有力であり、1000年間程度以上の耐食性のあるオーバーパックが製作できる見通しがある。

写真－2は、厚さ30cmの炭素鋼オーバーパックの試作品である。

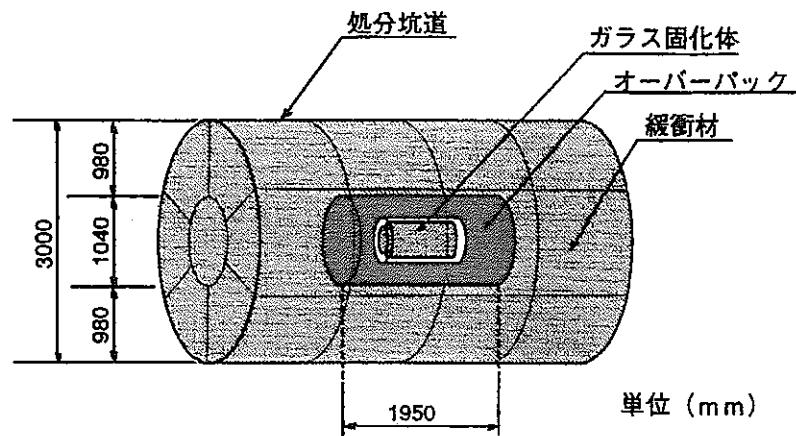
⑤ 人工バリア周辺の岩盤は、大きな核種移行抑制性能を持つ可能性がある。その結果、人工バリアと合わせて、ニアフィールドに大きな核種移行抑制性能が期待できる。

⑥ これらの性質、性能及びファーフィールドに期待できる核種の遅延・分散等の機能によって、多重バリアシステムは有効である見通しである。

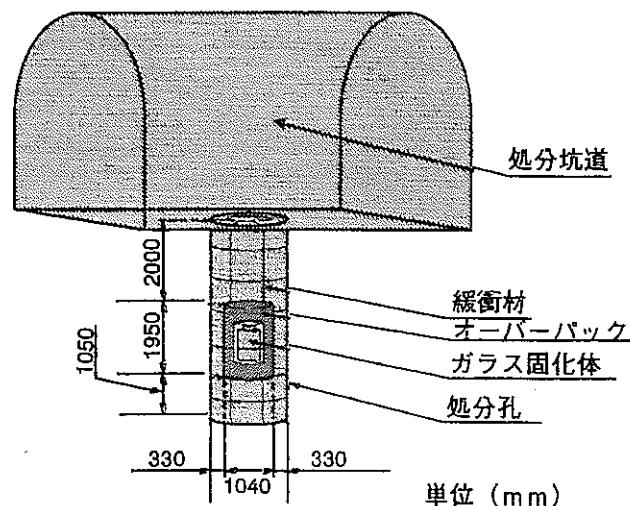


写真－2 オーバーパックの一例（炭素鋼）

人工バリアの設置の方法としては、図-3に示すように坑道横置方式あるいは処分孔豎置方式が代表的である。図-4は坑道横置方式の場合の処分場の設計例である。人工バリアと処分施設の設計や施工等に必要な技術については、基本的に既存技術が適用できる見通しである。



(a) 坑道横置方式



(b) 処分孔豎置方式

図-3 人工バリアの仕様例

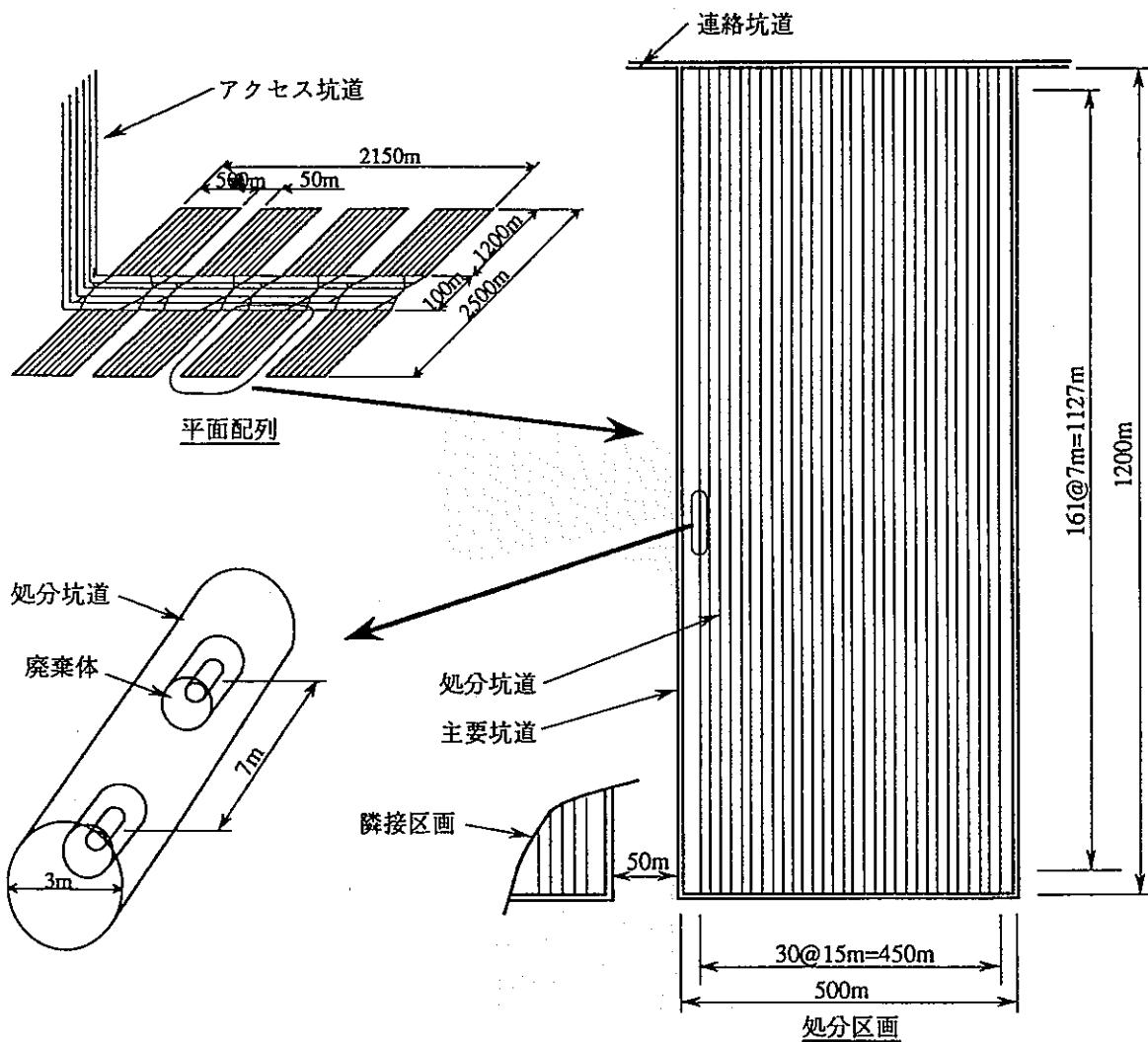


図-4 処分区画の仕様例

多重バリアシステムによる安全確保の主な仕組みは整理できてきており（図-5）、また性能を解析できる基本体系も構築されている。それを用いて例示的にではあるが、地下水に対する多重バリアシステムの性能が評価された結果、人工バリア及び処分施設を地質環境条件に対応して適切に設計・施工すれば、多重バリアの性能を長期的に保持することができ、安全が確保され得る見通しが明らかとなっている。図-6にこれまでに構築された解析モデルの体系を示す。

#### 4. 研究開発の重点

これまでの研究開発の結果、ニアフィールドの性能の重要性が明らかとなっていること及び詳細な研究開発がファーフィールドと比較して行い易いことから、手順としてまず、ニアフィールドに着目し、重要な現象の理解、性能の解析手法と必要なデータの整備、長期的な性能の

定量的な把握を当面の目標としている。ファーフィールドについては、これと並行して着実に研究開発を進めている。

現在の研究開発の重点は、解析や技術の信頼性の向上と高度化であり、そのため次の事項を重要視している。

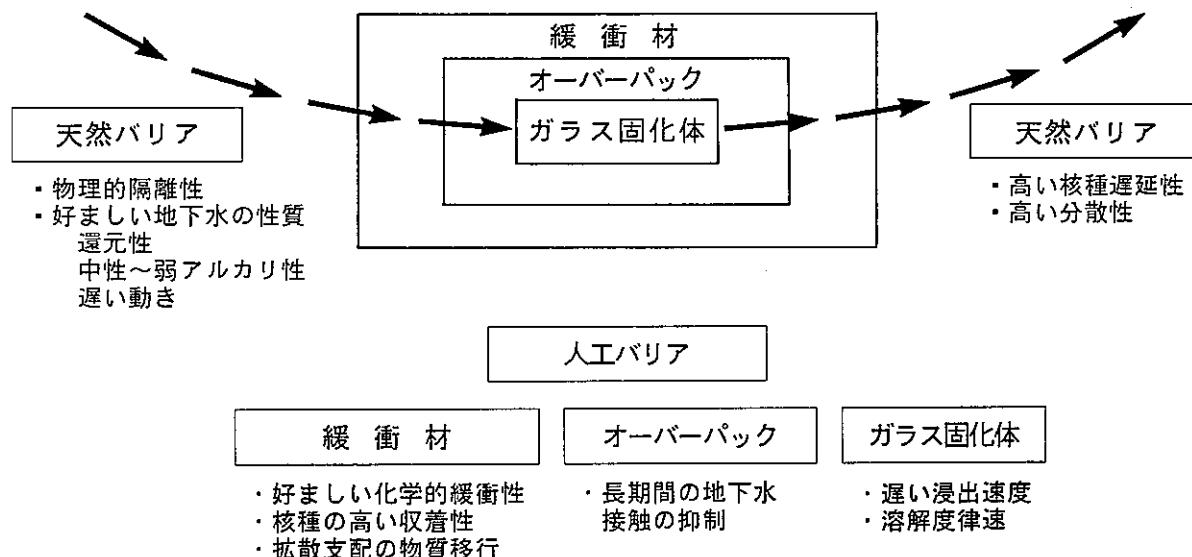


図-5 多重バリアシステムによる安全確保の主な仕組み

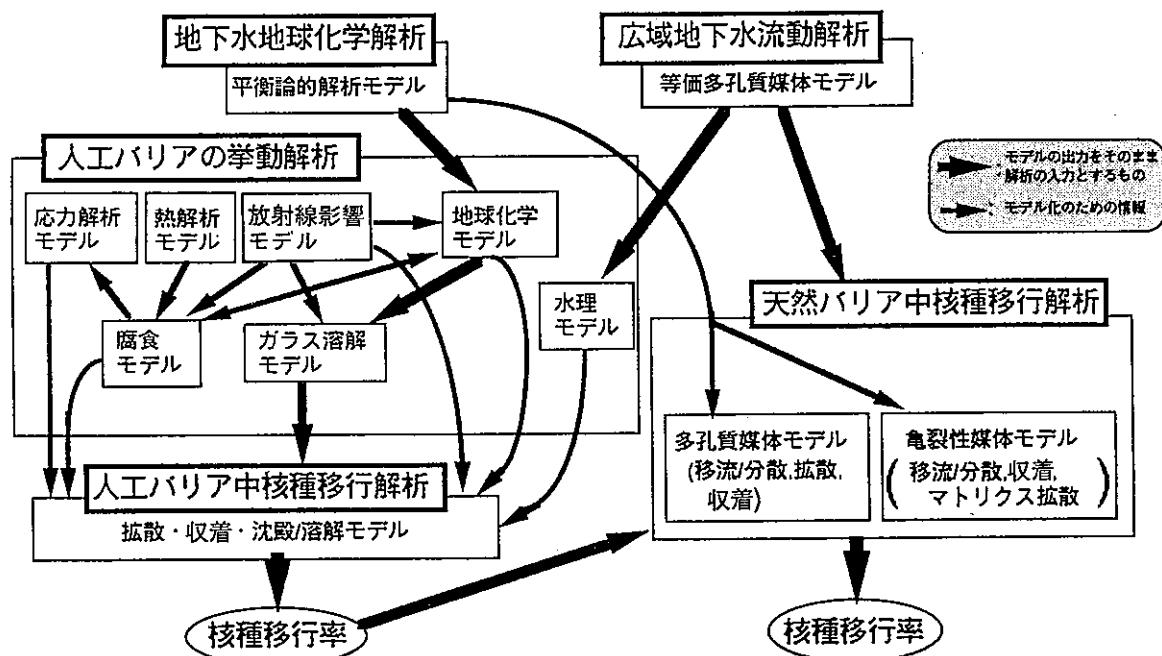


図-6 地下水シナリオに対する解析モデルの体系

- (1) 現象の基本メカニズムのさらなる理解
- (2) 基礎データの充実と整備
- (3) 大型試験の実施
- (4) 原位置試験等の成果の活用
- (5) ナチュラルアナログ研究の充実
- (6) 新材料／新技術の研究開発
- (7) シナリオ開発と感度解析の充実
- (8) 解析手法の高度化と妥当性の確認

である。このような視点に基づいて、多重バリアシステムで生ずる安全確保上の重要な事象や現象について研究開発を進めている。主な具体例は次のとおりである。

① 現象の基本メカニズムのさらなる理解

岩石－水反応、ベンナイト－水反応、オーバーパックの腐食、亀裂性媒体及び多孔質媒体中の水理・物質移行メカニズム等の解明。

② 基礎データの充実と整備

核種の溶解度・分配係数・拡散係数等の測定。

③ 大型試験の実施

人工バリアの熱－水－応力連成試験、人工バリアの試作・施工試験、人工バリアの振動試験の実施。

④ 原位置試験等の成果の活用

釜石鉱山原位置試験、東濃鉱山及びその周辺地域での調査研究成果の活用。

⑤ ナチュラルアナログ研究の充実

人工バリア材の評価のための古い材料、出土品、粘土鉱山、火山ガラスの研究等の実施。

核種移行解析結果の信頼性を確認するためのウラン鉱床を用いた地層科学研究成果の活用。

⑥ 新材料／新技術の研究開発

チタン、銅などの新しいオーバーパック候補材、緩衝材への添加物等の研究。

⑦ シナリオ開発と感度解析の充実

変動ケースの検討、感度解析による重要パラメータの抽出。

⑧ 解析手法の高度化と妥当性の確認

亀裂ネットワークモデルの開発、フラクタルモデルの開発、解析手法の統合化等。

なお、化学反応が主に現象を支配している場合には、深地層の地球化学条件に出来るかぎり

近い条件で試験を行う必要がある。このため、試験手法として、雰囲気制御を重要視して研究を進めている。

## 5. 研究開発の状況

4章に述べた研究開発は、主に東海事業所のコールド及びホットの各施設を中心に、国内外の機関の協力を得て進めている。以下に、現在行っている研究開発の中の主なものの状況を示す。

### (1) 地層処分基盤研究施設における試験の状況

地層処分基盤研究施設では、次の設備を用いて試験を進めている。

#### ①ニアフィールド化学環境変化試験設備

人工バリア及びその周辺岩盤から成るニアフィールドにおいて、地下水との間で生ずる化学反応や化学反応を伴う物質移行現象について、次のような試験研究を行っている。

##### (a) 化学平衡反応試験

酸素あるいは二酸化炭素濃度を制御した雰囲気制御ボックス内で、地下水と人工バリア材（金属材料、粘土材料等）や天然バリア材（岩石、鉱物）との化学反応を調べ、反応の機構、反応速度、反応生成物等を明らかにし、深地層の環境条件下における人工バリア材の性能や耐久性、地下水の性質などの評価に資する。また、試験結果と地球化学計算コードによる解析結果とを比較し、コードの妥当性の確認に役立てる。

写真-3は、化学平衡反応試験設備である。

図-7は、この設備を用いて調べたベントナイト-水反応データの例である。雰囲気制御した場合としない場合とで反応が異なるが、その理由が理論的にも説明できるようになってきており、反応の機構の理解が進み、解析の手法がほぼ確かなものになってきている。この他、核種が鉱物へ吸着するメカニズムについても、鉱物の表面に存在する鉄の化合物に良く吸着すること、吸着の様子が表面錯体モデルやイオン交換モデルで説明できることがわかつってきた。このように、雰囲気制御した設備を用いることにより、重要な現象の基本メカニズムが明らかになってきている。

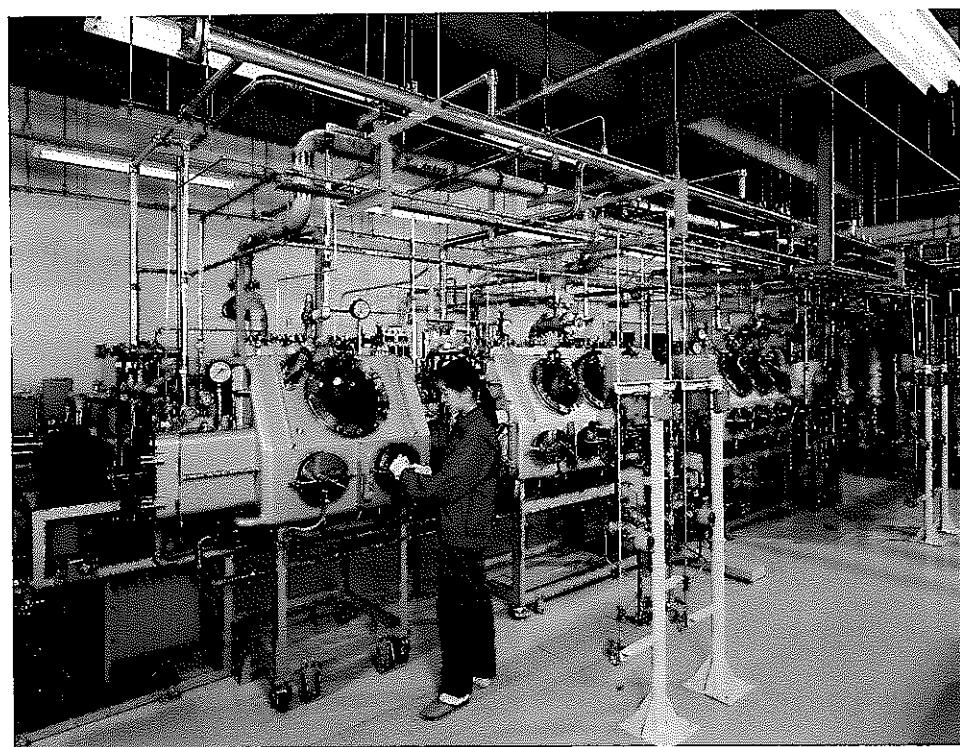


写真-3 化学平衡反応試験設備

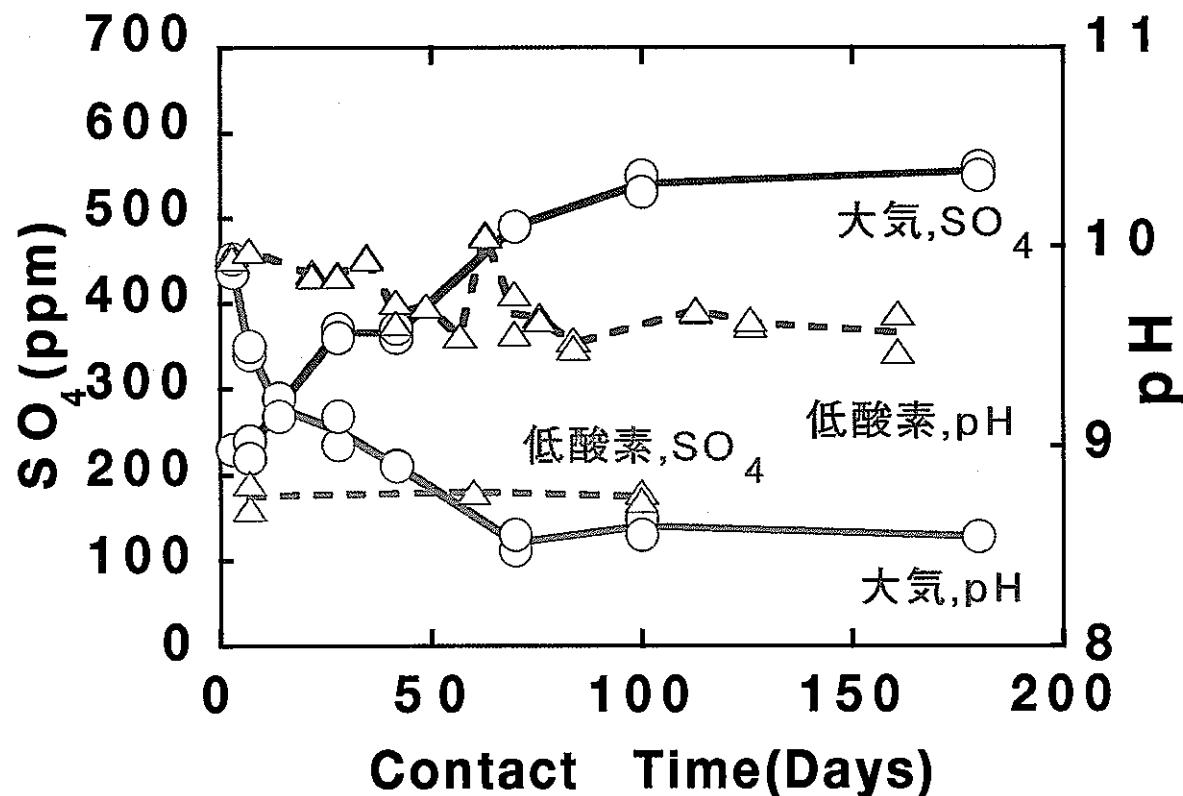
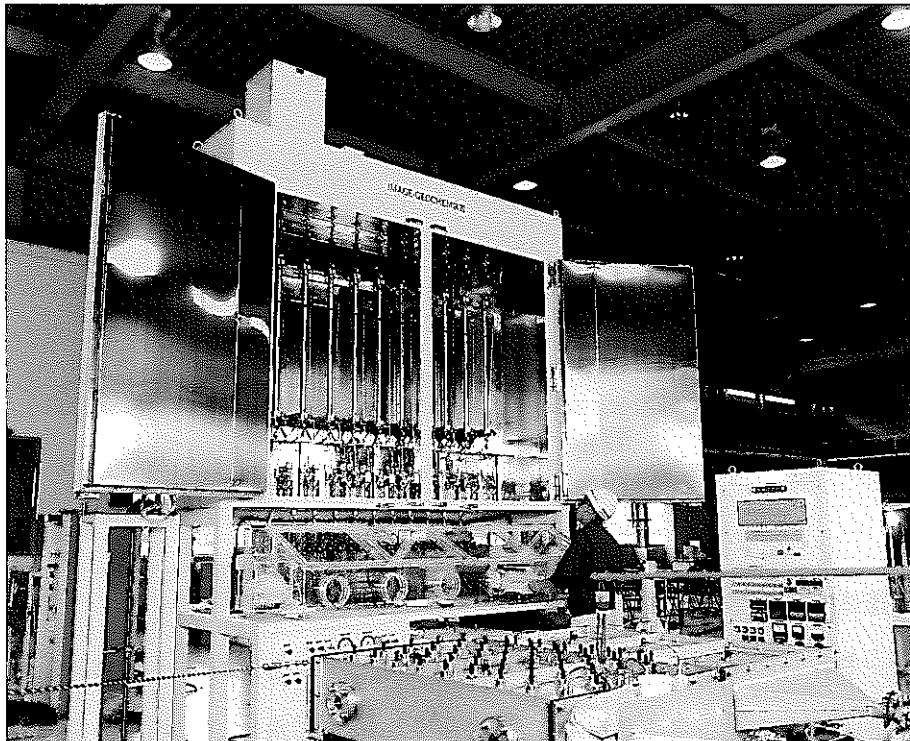


図-7 雾囲気の違いによるpH, SO<sub>4</sub>濃度の違い  
(クニゲルV1-蒸留水、液固化10ml/g)

### (b) 化学反応を伴う物質移行に関する研究

深部地下水の水質は、雨水や海水と岩石との化学反応及び地下水の移動により変化するので、地下水の水質形成を理解するために、岩石試料等を充填したカラム中に模擬地下水を通水し、その組成の変化を調べている。現在、岩石の構成鉱物を用いて、水との反応を調べている。

写真－4は、地下水水質形成過程試験設備である。



写真－4 地下水水質形成過程試験設備

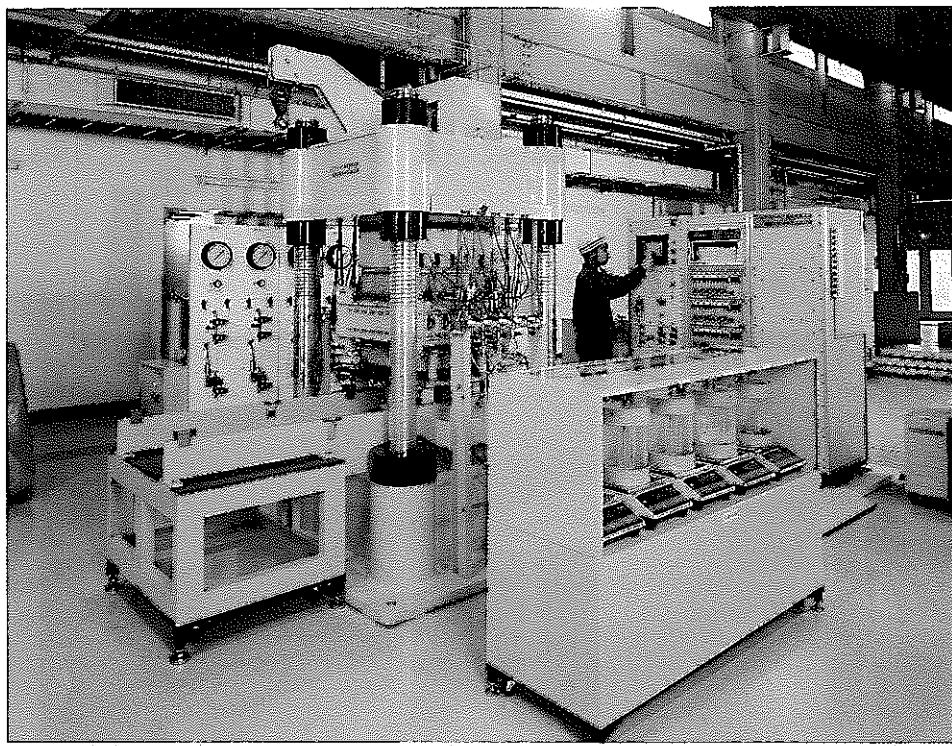
## ② ニアフィールド連成現象試験設備

地層処分の環境下では、地下水、熱、地圧等が相互に作用して複雑な現象が生じる。人工バリアや周辺岩盤の性能の把握を行うためには、その現象を詳細に調べる必要があり、次のような試験研究を行っている。

### (a) 亀裂性媒体水理試験

亀裂中の水理・物質移行の基礎的な現象を明らかにするために、花崗岩のブロックを用いて加圧下で試験を行い、解析モデルの開発、原位置での試験結果の解釈等に役立てている。

写真－5は、亀裂性媒体水理試験設備であり、単一の亀裂を有する花崗岩ブロックを釜石鉱山より切り出し、試験に使っている。



写真－5 亀裂性媒体水理試験設備

(b) 多孔質媒体水理試験

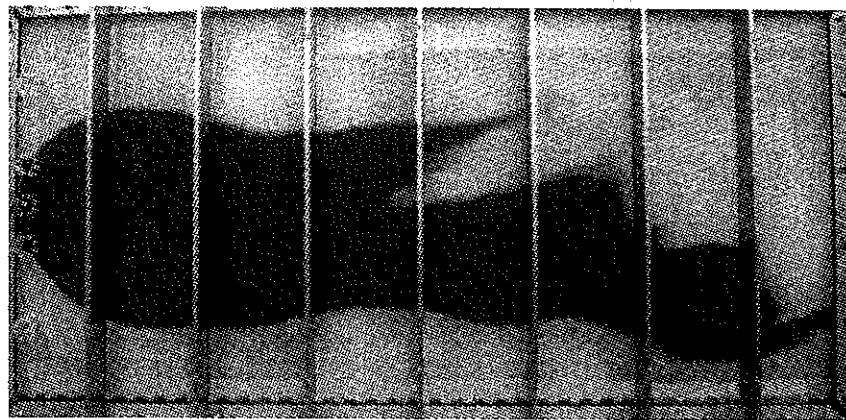
不均一多孔質媒体中の水理・物質移行の解析モデルを開発するために、粒径を変えたガラスビーズを充填して不均一多孔質媒体を模擬し、水や溶存物質の流れ、広がり方を調べている。

図－8 の上段は、この装置に青の染料を含む水を左の注入口より注入してから 8.5 時間後の分布状態を示す。一方、図－8 の下段はフラクタルモデルに基づいて理論的に解析した結果である。両者が極めて良く一致していることから、不均一多孔質媒体中の水理・物質移行を解析できる手法が開発できつつあることがわかる。もちろん、実際の地層で確認することが将来必要である。

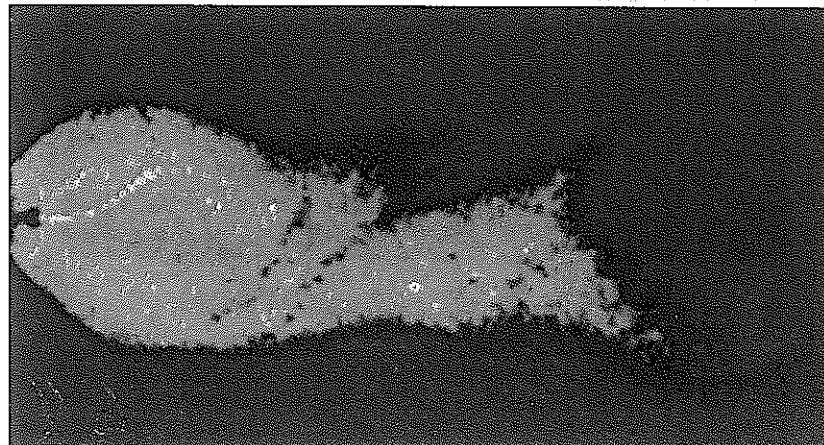
(c) 熱－水－応力連成試験

ニアフィールド（人工バリアとその周辺の岩盤）で起こる廃棄物からの熱の伝導、地下水の動き、地圧や膨潤圧の変化などの連成作用を解明して、ニアフィールドの環境条件とその時間変化を把握するために、実際の岩石を用いて圧力をかけながら試験を行っている。

写真－6 は、熱－水－応力連成試験設備である。



染料トレーサー試験観測結果(8.5時間後)



シミュレーション結果

図-8 多孔質媒体水理試験設備での試験の様子とシミュレーション結果

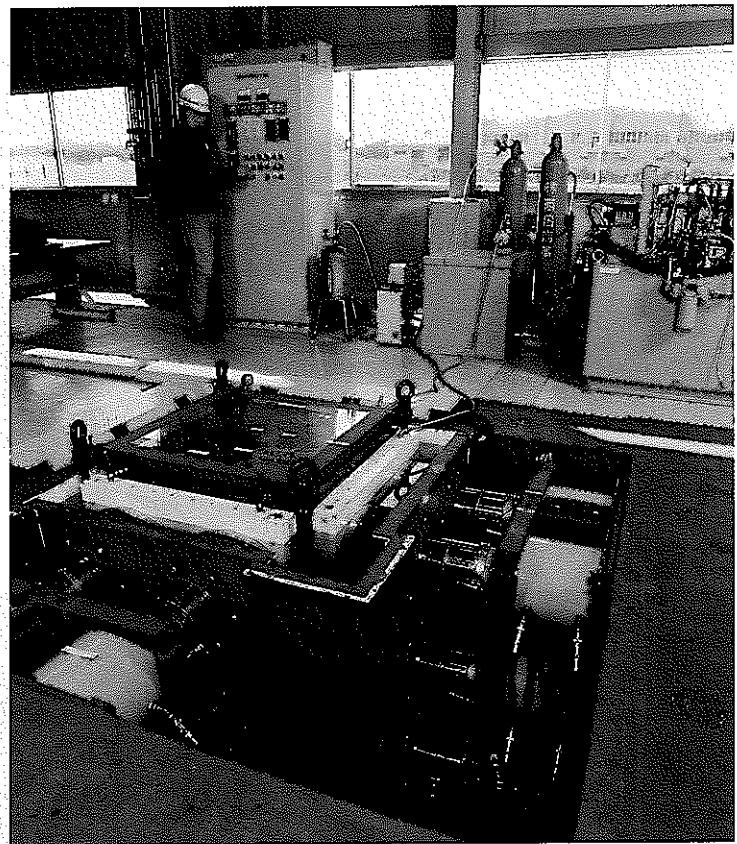
(d) 水素ガス移行試験

金属（炭素鋼）が地下水と反応して腐食する時発生する水素ガスの圧縮ベントナイト中の移行挙動を解明するために、防爆構造のカラムに圧縮ベントナイトを充填し、水素ガスを供給して試験を進めている。

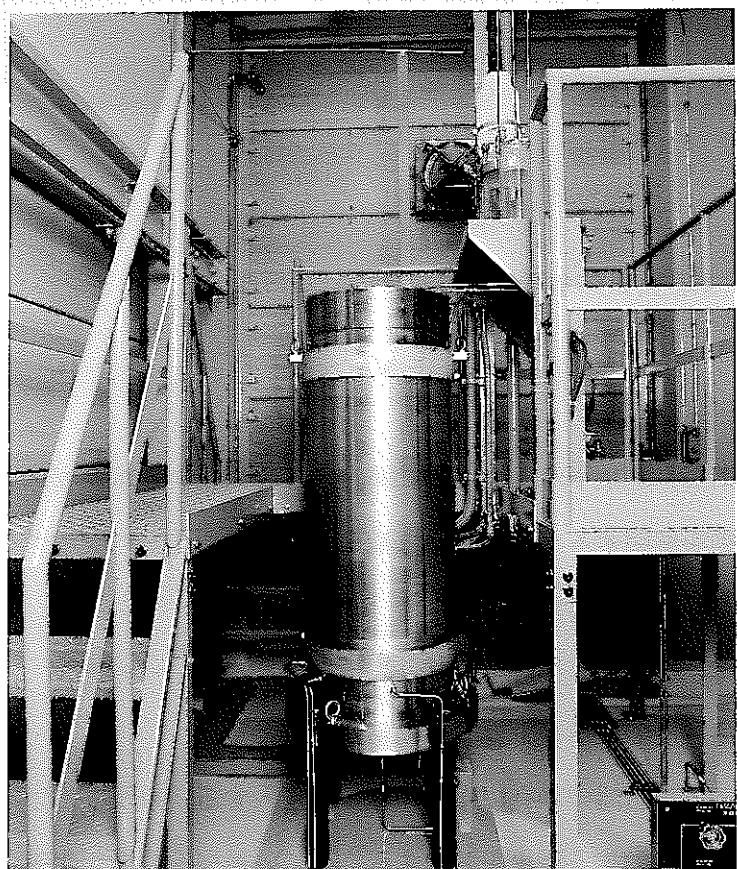
写真-7は、水素ガス移行挙動試験設備である。

(e) 岩盤中の亀裂内でのベントナイトの挙動試験

ベントナイトが岩盤の亀裂に膨潤によって進入する現象及び地下水の動きによりベントナイト粒子が移動する現象を解明するために、亀裂を模擬した装置を用いて試験を行っている。



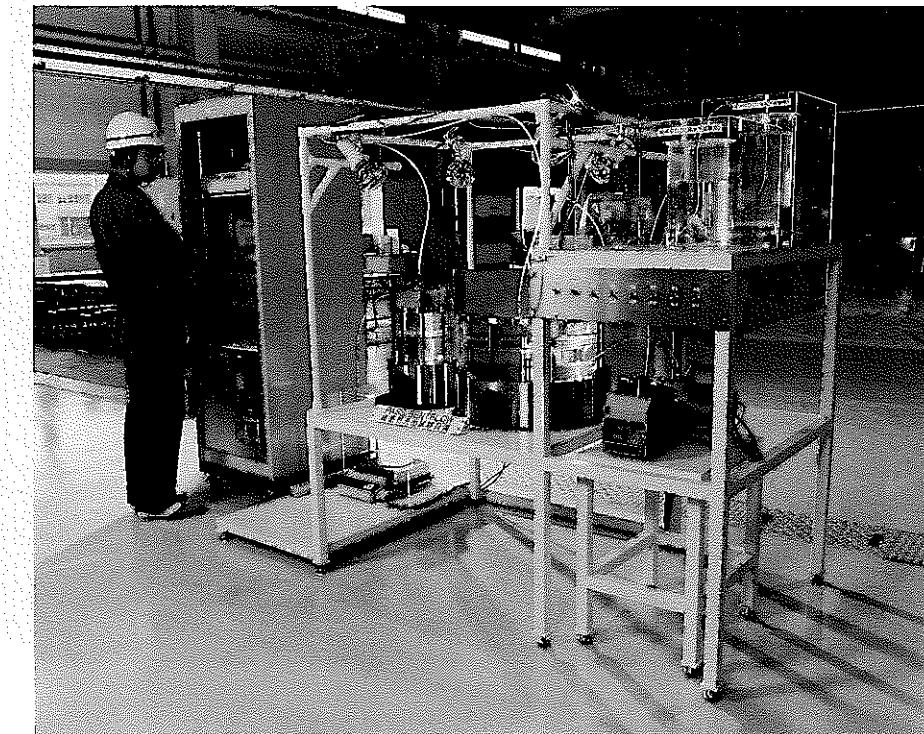
写真－6 热-水-応力連成試験設備



写真－7 水素ガス移行挙動試験設備

写真－8は、岩盤中の亀裂内でのベントナイトの挙動試験設備である。

この他、地層処分基盤研究施設では、オーバーパック材の腐食機構の研究、ナチュラルアナログ研究材料の分析などを行っている。



写真－8 岩盤中の亀裂内でのベントナイトの挙動試験設備

このように、地層処分基盤研究施設では、ニアフィールドの現象の理解とその性能の解析を詳細に行うための試験が進行している。

## (2) 核種移行抑制性能に関するホット試験の状況

核種の移行に関わる現象の研究と基本データの整備は、地層処分の安全確保上最も重要な課題の一つである。このため、動燃事業団内外で、国際協力も含め鋭意研究を進めている。

写真－9は、ホットセル内用に設計・製作した雰囲気制御ボックスである。この中で、実際の放射性ガラス固化体試料をベントナイト中に埋め込んだ状態での試験を計画しており、既に行なっている空気中での試験結果と比較・考察しながら、現象を詳細に解明していく予定である。既に紹介した雰囲気制御二重グローブボックスにおいても、Puを用いたベントナイト中の移行挙動の研究や地下水への溶解挙動など基礎的な研究を進めている。

ベントナイトは、放射性核種を吸着しその移行を抑制する性能が高いことはこれまでの研究で明らかになってきているが、放射性トレーサーを用いてさらに詳細にその機構や性能を

調べてきている。この他にも、スイスN A G R Aなどとの国際共同研究も含め、溶解、収着、拡散等について基礎的なホットの実験を国内外の多くの方面の協力を得ながら進めている。

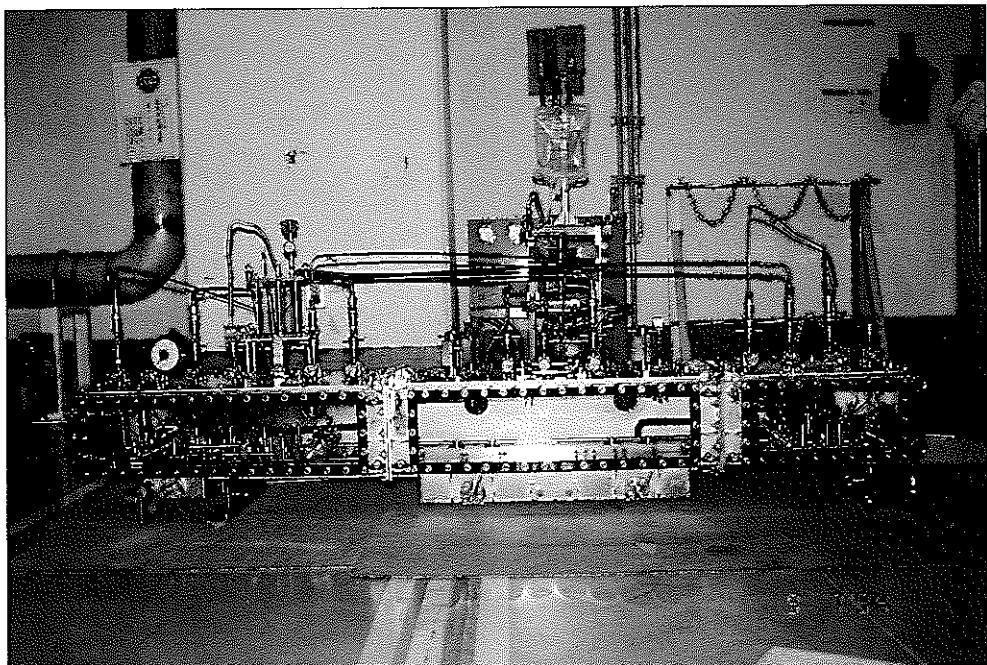


写真-9 ホットセル用霧囲気制御ボックス

## 6. おわりに

地層処分の長期の安全確保については、確固とした科学的・技術的基盤に立脚して示さなければならぬことは言うまでもない。

動燃事業団では、現在地域や岩石の種類を特定することなく、幅広く地質環境条件を想定して研究開発を進めており、これまで多くのことが明らかとなってきているが、さらに、今後ともこの努力を続け、合わせて世界の国々の情報や技術を取り入れることによって、次の段階へ向けた確固たる基盤を確立していくことができるものと考えている。

各国とも鋭意地層処分の研究開発を進めており、本年は、カナダにおいては、新しく環境影響評価書が国に提出され、またスイスにおいても、1985年に出された報告書に次いで、新しい性能評価報告書が出されようとしている。

これらの国々とも情報交換等の協力を進めるとともに、国内各界のご指導を得て、地層処分の基盤を確立していく考えである。

-×モ-

一メモ一