



## 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発

研究開発の全体計画に対する研究開発課題評価委員会(廃棄物処理処分課題評価委員会)(2001年7月24日,8月22日)による評価結果の措置を策定し,全体計画,評価結果とともに公表した(2001年12月28日)。また,全体計画を『サイクル機構シンポジウム』において報告した(2001年10月17日)。さらに,サイクル機構主催の『地層処分技術に関する研究開発報告会』(2002年1月23日)に向けて全体計画を紹介するための予稿を作成した。

### 1. 地層処分研究開発

#### 1.1 処分技術の信頼性向上

人工バリア周辺でのガス移行挙動に関する研究では,ガスの移行経路を評価するため,X線CTを用いた可視化手法及び画像処理手法に関する調査を継続するとともに,アルミ合金製容器を用いて予備試験を行い,測定データに与える影響を概略評価した。

緩衝材の連成挙動に関する研究では,熱水応力化学の四連成挙動評価モデルの開発を継続した。

緩衝材の流出に関する研究では,緩衝材流出試験設備を用い,亀裂幅をパラメータとして,緩衝材の流出挙動並びに流出密度を把握するための試験を継続するとともに,浸食現象に関する評価に必要な亀裂内の流速解析を実施した。また,コンクリートを処分場に使用することを想定し,高pH溶液によるベントナイトの変質挙動評価のため,アルカリ溶液中でのモンモリロナイト溶解速度把握試験を継続した。

オーバーパック材料の腐食評価に関する研究では,セメントの使用を想定し,高pH環境での炭素鋼の局部腐食発生・進展挙動を把握するための腐食試験を継続した。また,チタンの不動態皮膜の安定性及び水素吸収挙動に関して,主に還元性

環境での実験的研究を継続し,銅の腐食形態に関して,電気化学試験による調査を行った。

ナチュラルアナログ研究[地層処分想定される現象(廃棄体からのウラン核種の移行挙動等)と類似した自然界での現象(天然ウランの移行挙動等)についての研究]では,オクロ鉱床等の鉱物分析を継続した。

#### 1.2 安全評価手法の高度化

水理・物質移行に関する研究では,多孔質媒体水理試験装置(MACRO)を用いた塩水浸入試験を実施するための準備作業として,充てん材として使用するガラスビーズの水理特性に関わるデータをカラム試験により取得した。また,亀裂状媒体水理試験装置(LABROCK)では,水理特性の応力依存性を調べるために,垂直荷重を負荷した状態での透水・トレーサー試験を実施した。

性能評価研究に関しては,沿岸海域を核種放出域とする生物圏評価の代替モデルに関する感度解析を継続するとともに,データの不確実性の影響を評価するための計算コードの整備及び評価結果のばらつきとデータの不確実性の関係についての分析を継続した。

地層処分放射化学研究施設(QUALITY)においては,還元条件下での緩衝材中のNpの拡散試験,Npの溶解度に及ぼすフミン酸及び炭酸の影響評価試験,Npの溶解度積に関する試験を継続した。また,緩衝材中のCsの拡散に及ぼすイオン強度の影響評価試験については,試験を終了しデータ整理を実施している。

博士研究員による研究,先行基礎工学研究及び核燃料サイクル公募型研究では,それぞれ以下の成果が得られた。

博士研究員による研究では,「セグメント構造を考慮した割れ目系の三次元形態の推定法及び水理

モデルの構築手法に関する研究」において、野外の割れ目調査や室内実験などから得られた成果等を取りまとめ、日本応用地質学会での発表を行った(2001年11月1日)。一方、「人工・天然バリアにおける核種拡散過程の定量解析と放射性廃棄物処分安全評価への応用」においては、緩衝材の候補材料であるケイ砂混合ベントナイト中のSr及びIの実効拡散係数の塩濃度依存性の研究を開始した。また、処分場周辺の温度条件(60程度)でデータを取得できる透過拡散試験システムを開発し、重水の実効拡散係数の温度依存性データを取得した。これまでの成果をKAERI(韓国原子力研究所)との専門家会議(2001年10月)等で発表した。さらに、「コロイドの固相表面への付着現象を考慮した多孔質媒体中でのコロイドの移行メカニズムの解明及び核種移行評価モデルの開発」においては、光学顕微鏡を用いた観察によるコロイドの固相表面への付着率の測定を行った。

先行基礎工学研究で実施している「緩衝材特性モデルの高度化に関する基礎研究」においては、緩衝材中の溶質の拡散挙動を分子動力学と均質化法を組み合わせた手法によりモデル化するため、スメクタイト水系での分子動力学計算及び緩衝材の間隙構造モデルを仮定した均質化計算を継続した。その成果を日本粘土学会誌(粘土科学)に投稿し、第41巻第2号に掲載された(2001年12月)。

核燃料サイクル公算型研究で実施している「固液界面におけるアクチニドイオンの酸化還元反応メカニズム」においては、アクチニドイオン、特にNp(V)のFe(II)及びマグネタイト含有鉱物界面での酸化還元メカニズムを解明するための実験を継続した。また、「沿岸部帯水層内の古海水の地球化学的分析とその挙動に関する調査研究」においては、原位置で採取した岩石コア資料分析の結果を取りまとめた。

## 2. 深地層の科学的研究

### 2.1 地質環境の長期安定性に関する研究

天然事象が地質環境へ与える影響の事例研究のうち、地形変化予測手法の整備については、丘陵の地形変化速度に関する調査及び地形発達シミュレーションに関する作業を実施し、海水準変動の地質環境への影響調査及び永久凍土が地質環境に与える影響調査を開始した。地殻変動予測手法の整備については、シミュレーション手法の文献調

査を実施した。地殻温度構造調査手法の整備については、西南日本の地殻温度構造に関する調査及び温泉ガスのヘリウム同位体比測定を実施した。また、紀伊半島南部において比抵抗探査(MT法)を実施した。火山活動の熱的影響調査については、火砕流発生に伴う熱的影響に関する調査を実施した。震源断層調査手法の整備については、震源断層調査に関するリニアメント判読作業を実施した。断層周辺岩盤の影響調査については、文献調査を実施し、断層周辺の地下水変化に関する数値解析を開始した。

将来予測手法システムの構築のうち、水理モデル・地球化学モデルの統合化については、モデル統合解析のためのデータベースの作成を継続した。東濃地域の古水理地質学的変遷の把握については、岩石及び地下水試料を採取し、分析を行うための処理を行った。また、東濃地域の高精度デジタル標高データ(DEM)の作成を開始した。

『地形変化シミュレーション研究会』を開催し、10万年オーダーの地形変化を計算するためのシミュレーションプログラムのアルゴリズムを検討した。

## 2.2 地質環境特性に関する調査研究

### (1) 東濃鉱山における試験研究

岩盤の力学的安定性に関する研究については、三次元応力場の同定手法に関する研究として、初期応力データの取りまとめを行った。双設坑道安定性評価試験では、岩盤の塑性挙動に関する文献調査を実施し、解析モデルを作成した。長期岩盤挙動調査では、長期クリープ試験の性能試験及び東濃鉱山の岩石を用いたクリープ試験を実施した。岩盤の長期観測については、定期観測を2回実施し、観測データを取りまとめた。試錐孔の劣化調査として、東濃鉱山坑内の5本の試錐孔(各3m)の月1回の定期観察を実施した。地層科学研究所との共同研究である「原位置長期岩盤挙動計測システムの開発」については、東濃鉱山坑内の4本の試錐孔(各10m)に設置したひずみ計、間隙水圧計及び傾斜計によるモニタリングを実施した。

坑道周辺の地質環境特性に関する研究については、坑道周辺の水理学的掘削影響に関する研究として、坑道周辺の3本の試錐孔において間隙水圧のモニタリングを実施した。不飽和領域に関する研究で

は、原位置適用試験、データ解析及び室内試験を実施した。坑道周辺の地球化学的調査では、岩芯の分析を実施した。産業技術総合研究所との共同研究である「岩盤の力学的特性に関する計測・評価方法の研究」については、準備作業を実施した。

岩盤中の物質移行に関する研究では、地下水の化学組成のデータについて熱力学的手法を用いた解析を実施した。

月吉断層に関する研究では、断層部の地球化学的研究（月吉断層を対象とした地質学的・古水理地質学的特性調査）として、断層部の試錐及び現場調査を実施した。

## (2) 広域地下水流動研究

地質構造調査として、試錐調査結果（2孔）の取りまとめを実施するとともに、2002年度に計画している弾性波探査の測線設定作業を実施し、調査計画の検討を行った。

水理調査では、既存の1,000m級試錐孔における水理試験を終了し、結果を取りまとめた。また、表層水理定数観測システムによる観測を継続するとともに、2001年度の表層水理調査（測量作業）を実施し、結果を取りまとめた。さらに、表層水理研究におけるポイントデータ（小流域の涵養量）の代表性についての検討を行った。

地下水の地球化学調査では、既存の1,000m級試錐孔における採水試験を終了した。

長期観測では、既存の試錐孔における水位観測及びMPシステム（多点式間隙水圧測定装置）を用いた水圧・水質観測を継続した。既存の試錐孔（3本）へのMPシステムの設置については、2本の現場作業を終了し、1本は孔径検層を実施した。

地質環境のモデル化・解析については、2000年度に行った地下水流動解析結果を取りまとめ、2001年度の水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析を実施した。また、2002年度の水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析の実施計画を策定した。

核燃料サイクル公算型研究で実施している「海水準変動に着目した沿岸海底湧水の起源の検討と超長期沿岸海底地下水環境変動の評価」では、沿岸部及び沿岸海底地下水の水理・地球化学環境の評価を目的とした海底からの淡水性湧水分布の把握のために、海底面直上の電気伝導度、温度を計測した。その結果、4箇所（4）の電気伝導度異常点が発見され、うち3箇所は淡水性湧水が直接確認さ

れた。さらに、海底からの淡水性湧水の採取手法を開発し、採取した湧水の水質分析の結果、海底湧水は扇状地の扇端海岸付近の浅層地下水に類似していると判断された。

## 2.3 調査技術開発

### (1) 調査技術研究

アクロス（Accurately Controlled Routinely Operated Signal System：精密制御定常信号システム）技術を活用した地表調査法の開発として、電磁アクロス最適化信号送信機の製作を開始した。アクロスアレイ観測試験として、主受振器アレイ用受振器の検定準備を行った。

水理試験装置のうち、揚水試験装置について、北海道幌延町での深地層研究計画に対応するための改良及び整備を行った。

### (2) 年代測定技術開発

ベレトロン年代測定装置による試料の<sup>14</sup>C定常分析については、加速タンク、イオン源のメンテナンス及び加速タンク内消耗品の交換作業を行い、定常分析を実施した〔108試料（社外からの依頼分6試料を含む）〕。

試料前処理技術開発では、前処理ラインにおける微量グラフィット定量技術の開発として、微量試料用反応管による反応試験結果を取りまとめた。

## 2.4 超深地層研究所計画

### (1) 超深地層研究所における調査研究

岐阜県瑞浪市の東濃地科学センター用地内（正馬様洞）において、「地表からの調査予測研究段階」の研究を行っている。

試錐調査では、深度800mの試錐孔を利用し、月吉断層を対象とした水理特性調査のための水理試験を終了した。

地質構造調査では、深度800mの試錐孔から岩芯を採取し、室内分析を実施した。VSP（Vertical Seismic Profiling）探査に使用する試錐孔（110m）の掘削を終了し、試錐孔とその周辺においてVSP探査を実施した。また、超深地層研究所計画用地における反射法地震探査の再解析結果の取りまとめを実施した。

水理調査として、既存の1,000m級試錐孔（1孔）に設置していたMPシステムを引き揚げ、この試錐孔を揚水孔とする長期揚水試験を実施した。また、モデル流域への電磁流量計の設置作業を終了

した。表層水理定数観測システムによる観測については、観測を継続するとともに、観測データの整理作業についての検討を行った。

地下水の地球化学調査として、2001年度の河川水・雨水の水質モニタリングを実施した。

長期観測として2001年度に掘削した深度800mの試錐孔へのMPシステムの設置作業及び既存の試錐孔への水圧計の設置作業を行うとともに、既存の試錐孔での水位観測及びMPシステムによる水圧・水質観測を継続した。

力学特性調査として本年度掘削した深度800mの試錐孔の岩芯の採取及び室内試験（物性測定）を終了し、結果を取りまとめた。また、断層周辺岩盤を対象としたDSCA(Differential Strain Curve Analysis method)試験に用いる岩芯の採取を終了し、試験を実施した。

地質環境のモデル化・解析については、2000年度に行った地下水流動解析結果を取りまとめ、2001年度の水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析の解析条件等を検討して解析を実施した。また、2002年度の水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析の実実施計画を策定した。長期揚水試験については、計画策定のための事前解析を開始した。力学的掘削影響予測解析については、岩盤力学モデルを作成し、三次元初期応力解析結果の検討を行った。応力集中に伴う岩盤破壊のモデル化の研究については、室内試験を実施した。岩芯を用いた室内試験（DSCA試験、ジョイント剪断試験）の結果に基づいて、岩盤力学モデルを作成した。

立坑掘削用地の変更に伴い、調査実施計画の検討を開始し、弾性波探査の準備作業を実施した。また、既存データを用いた用地周辺の地質断面図を作成した。

## (2) 研究計画の情報普及化技術

研究計画の理解促進のためのヴァーチャルリアリティ技術の適用については、2001年度に実施するソフトウェアの改良及びシステム活用方策を検討した。東濃地科学センターの研究紹介ビデオ、超深地層研究所計画の紹介ビデオ制作のための検討を行った。

## (3) 施設設計及び建設管理

地下施設設計については、実施設計に必要な設定条件（掘削スケジュール、掘削サイクル時間等）を整理した。地上施設設計については、電力受電配電設備や給排水設備等の設計の基本条件

を整理した。また、動植物等の環境調査及び下草刈りや点検経路の整備等の用地内の整備作業を実施した。

## 2.5 幌延深地層研究計画

2001年度の調査研究計画に基づく現地調査として、10月31日より試錐作業を開始した。試錐調査に先立ち、北海道庁、幌延町及び周辺自治体に試錐調査の開始について説明を行った（9月17日～10月4日）。2001年度は2孔の掘削を実施しており、それぞれ217.3mと217.2mを掘進中である（2001年12月末日現在）。

調査のための入林許可が一旦保留されていた国有林については、入林許可を受領し（10月12日）、10月15日より地上物理探査、地質調査、環境調査を実施した。

一方、現地調査を予定していた北海道大学天塩研究林及び隣接する問寒別地区については、実施についてご理解をいただけないことから、予定していた現地調査を行わないこととし、協定に基づく2001年度の調査研究内容の変更として、幌延町（10月25日）、北海道庁（10月26日）に説明し、公表した。

また、幌延町及び周辺市町村関係者等に対し、業務状況の訪問説明を実施した（9月17日～10月4日）。さらに、石島北海道大学教授他を講師として『幌延フォーラム』を開催した（11月30日）。

## 2.6 陸域地下構造フロンティア研究

2001年度より第2フェーズに移行し、研究目標を「内陸地震の発生メカニズムの解明」に一元化して下記の実施した。

### (1) 地震発生に関する研究

固定型アクロスによる東濃鉦山内での観測を実施した。また、地震計検定の準備を行った。電磁アクロスについては、東濃鉦山内の送信電極の特性調査を実施した。

### (2) 活断層帯での地殻活動研究

跡津川断層帯の研究については、広域地震観測、GPS観測及びガイドウェーブ観測を実施した。

また、地震と地下水挙動に関する深地層総合研究については、地震と地下水挙動の関連についてSKBとの情報交換を行った。また、第1フェーズで得られた成果を地層科学研究に活用するため、現場作業等技術的事項の引継ぎ作業を実施した。

なお、2000年10月から2001年12月に実施した研究開発課題評価委員会〔評価課題「陸域地下構造フロンティア研究」第2フェーズの計画（中間報告）〕の結果を公表した（2001年12月28日）。

### 3. 国際共同研究

スイスNAGRA（放射性廃棄物管理共同組合）との共同研究の一環として、グリムゼル原位置試験場において、結晶質岩亀裂中の核種移行挙動に対するセメント高pH溶出液及びコロイドによる影響に関する原位置試験研究や解析モデルによる評価を継続して実施している。また、超深地層研究所計画及び深地層研究計画にかかわる技術検討会議（2001年11月28～12月4日）を開催するとともに、2001年度の研究計画に関するNAGRAからの提案を検討した。第2次取りまとめの技術的な信頼性を裏付けるための検討を目的とした第2次取りまとめと各国の安全評価を比較した報告書の作成や、これまでのグリムゼル原位置試験研究に関する報告書（4分冊）、論文の作成を共同で実施している。モンテリ（Mt. Terri）プロジェクトでは、難透水性堆積岩中の拡散挙動に関する試験及び地球化学モデリングの取りまとめを継続して実施した。

スウェーデンSKB（核燃料廃棄物管理会社）との共同研究については、エスポ地下研究所HRL（Hard Rock Laboratory）における原位置での工学技術の実証試験や、プロトタイプ処分場プロジェクト（PRP）における熱水応力連成挙動に関する予測解析結果を研究調整会議（2001年10月16～17日）で示した。また、ブロックスケールにおける物質移行トレーサー試験（TRUE:Tracer Retention Understanding Experiments）結果の解析を継続して実施している。

米国DOE（エネルギー省）とは、2001年度からのLBNL（ローレンスパークレー国立研究所）、LLNL（ローレンスリバモア国立研究所）、PNNL（パシフィックノースウェスト国立研究所）及びSNL（サンディア国立研究所）の4研究所との研究協力について、それぞれ技術協力にかかわる協定案（Annex）を調整し、LBNL、PNNL及びSNLとの間についてはそれぞれ協定案の締結が完了した（2001年11月）。本研究協力の一環としてPNNL（2001年11月5日）及びSNL（2001年11月10～11日）との間で研究協力会議を開催した。SNLとの共同研究では、長期揚水試験の予測解析及び不確実性

解析を行うとともに、2001年度の研究計画に関するSNLからの提案の検討を行った。また、2001年12月2日に期限を迎えたDOEとの放射性廃棄物管理に関する協力協定については、DOEとの間で協定案文の調整を行うとともに、監督官庁（文部科学省及び経済産業省）との協議を行った。

カナダAECL（原子力公社）との共同研究については、地下研究施設（URL）でのトンネルシーリング性能に関する試験について、処分環境条件まで視野に入れた温水注入等によるフェーズ2試験への参加にかかわる協定案を両者間で調整し、研究調整会議（2001年11月13～15日）ではフェーズ2試験の具体的な内容の検討を行い、協定の締結を完了した（2001年12月）。

フランスANDRA（放射性廃棄物管理機関）との研究協力については、ビュール地下研究所における岩盤クリープ及び地球化学にかかわる共同研究協力について技術協力協定の締結作業を継続して実施している。

DECOVALEX（熱水応力連成現象解明モデル高度化のための国際共同研究）については、フィンランドで行われたワークショップ（2001年10月23～26日）において、新たにCEA（フランス原子力庁）及びBGR（ドイツ連邦地質学・資源研究所）の参画を承認し、熱水応力連成挙動モデル高度化のための四つのタスクを継続実施している。

アジア地域での地層処分分野における研究開発協力に関しては、東海事業所及び東濃地科学センターにおいて、KAERI（韓国原子力研究所）との専門家会議を開催し、技術情報交換とともに今後の協力テーマについて協議した（2001年10月29日～11月2日）。またDOEが提案しているアジア地域での多国間による地層処分技術についての研究協力について、協力形態についての検討を進めている。

### 4. 研究成果の公的資源化

地層処分研究開発成果を取りまとめた報告書「第2次取りまとめ」に関しては、希望者への報告書の配布、サイクル機構ホームページへの掲載（和文・英文）等により、国内外への情報提供を継続した。報告書の概要を一般向けに解説したパンフレットや模型等についても、希望者への提供を継続するとともに、『サイクル機構シンポジウム』（2001年10月17日）や未来科学情報館での『サイク

ル機構展』(2001年11月12~22日,東京都),原子力発電環境整備機構主催の『エネルギーフォーラム21』(2001年12月9日,岡山市)等への提供を通じて,来場者への情報提供を行った。また,経済産業省主催で京都市(2001年11月1日)及びさいたま市(2001年11月12日)にて開催された『高レベル放射性廃棄物シンポジウム2001』において,パンフレット等の提供,模型やパネルの展示説明などの情報提供活動を行った。

雑誌「科学」の2000年11月号と2001年3月号に掲載された,地層処分問題研究グループ(高木学校+原子力資料情報室)による第2次取りまとめへの批判論文に対するサイクル機構の見解が「科学」の2001年11月号に掲載された。

また,第2次取りまとめに関する4件の総説が,資源・素材学会誌の環境工学特集号に掲載された(2001年11月)。

ヴァーチャルリアリティ技術を応用した体感型の情報普及システムとして東海事業所展示館で運用している地層処分体験システム「ジオフューチャー21」については,当四半期の入場者数は1,300名に上り,運用を開始した1999年12月からの累計がのべ1万6千名を超えた。この地層処分体験システムの上映内容を収録したCD-ROMについては,国内外の関係機関等への配布を継続した。

(本社:経営企画本部 バックエンド推進部)