

地層処分技術に関する研究開発の全体概要

核燃料サイクル開発機構
本社 バックエンド推進部
部長 福島 操

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)が平成 11 年に公表した「第2次取りまとめ(サイクル機構, 1999)」を技術的な拠り所として、平成 12 年には、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(以下、最終処分法)」の成立、実施主体である原子力発電環境整備機構(以下、原環機構)の発足、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)(原子力安全委員会, 2000)」の公表など、処分事業や安全規制の大枠が整備され、わが国の地層処分計画は事業化段階へと踏み出した。今後は最終処分法に基づき、原環機構を主体とする処分事業が、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、最終処分施設建設地の選定と段階的に進められる。また、事業の進展にあわせて、安全審査基本指針、安全審査指針、処分場の技術基準といった安全規制に関連する指針・基準の策定が進められることになっている。

概要調査地区の選定に向けた大きな一歩として、平成 14 年 12 月に原環機構により「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が開始され、「処分場の概要」や「概要調査地区選定上の考慮事項」などの資料が公開された。また、これに先立ち同年 9 月に原子力安全委員会より「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について(原子力安全委員会, 2002)」が公表された。

サイクル機構では、わが国の地層処分計画が事業化段階へと進展した状況を踏まえ、新たな「全体計画(サイクル機構, 2001)」を策定して研究開発を進めている。本稿では、サイクル機構の研究開発の役割と目標・課題など「全体計画」の概要と、深地層の研究施設計画を中心とした研究開発の進捗状況や今後の展開について報告する。

2. サイクル機構における研究開発目標と課題

1) サイクル機構の役割

第2次取りまとめまでの研究開発は、具体的な地質環境を特定することなく、わが国における地層処分概念の成立性を科学的根拠に基づき概括的に示すことを目標として進めてきた。今後は最終処分の実施に向けて、上述したような処分事業や安全規制の段階的な進展にあわせて、地層処分のための技術、すなわち

「地質環境を把握するための技術」、「地質環境に応じて人工バリアや処分施設を設計・施工するための技術」、「それらを踏まえて地層処分の長期的な安全性を評価するための技術」の信頼性を高めていくことが求められる。サイクル機構では、第2次取りまとめまでに蓄積した知見や経験をもとに、2つの深地層の研究施設、地層処分基盤研究施設(エントリー)、地層処



図1 サイクル機構の研究開発施設

分放射化学研究施設(クオリティ)等(図1)を活用して、処分事業や安全規制の今後の展開と整合を図りつつ、双方の基盤となる技術や情報を整備していく。

2) 研究開発目標

上述したように、地層処分に関する技術の信頼性を向上させることが今後の研究開発における大目標である。そのためには、これまで整備してきた様々な技術を深地層の研究施設等における実際の地質環境での調査研究に適用することを通じて、その信頼性を確認していくことが、まず重要である。また、そのような実際の地質環境での調査研究やエントリー、クオリティ等での試験研究を通じて、地層処分システムに関連する現象への理解をさらに深め、より現実に即した評価手法へと改良、高度化を図っていくことも必要である。このような観点から、今後の研究開発は、以下の2つを目標として進めていく(図2)。

実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

第2次取りまとめまでに整備してきた地質環境の調査・評価技術、地下施設・人工バリアの工学技術、安全評価手法といった地層処分に関する様々な技術や手法を、深地層の研究施設等において実際の地質環境へ適用することを通じて、その信頼性を確認しつつ、調査の進展に応じた段階的な地層処分技術として体系化していく。

地層処分システムの長期挙動の理解

上記の調査研究やナチュラルアナログ研究などを通じて地下深部の地質環境条件やその長期的な変遷に対する理解を深め、また、人工バリアの長期挙動や核種の移行・遅延等に関する現象をより現実的なデータとモデルで再現することを通じて、地層処分システムの長期挙動評価の信頼性を高めるとともに、第2次取りまとめにおいて簡略かつ保守的な考え方で評価したシステム性能の裕度を確認する。

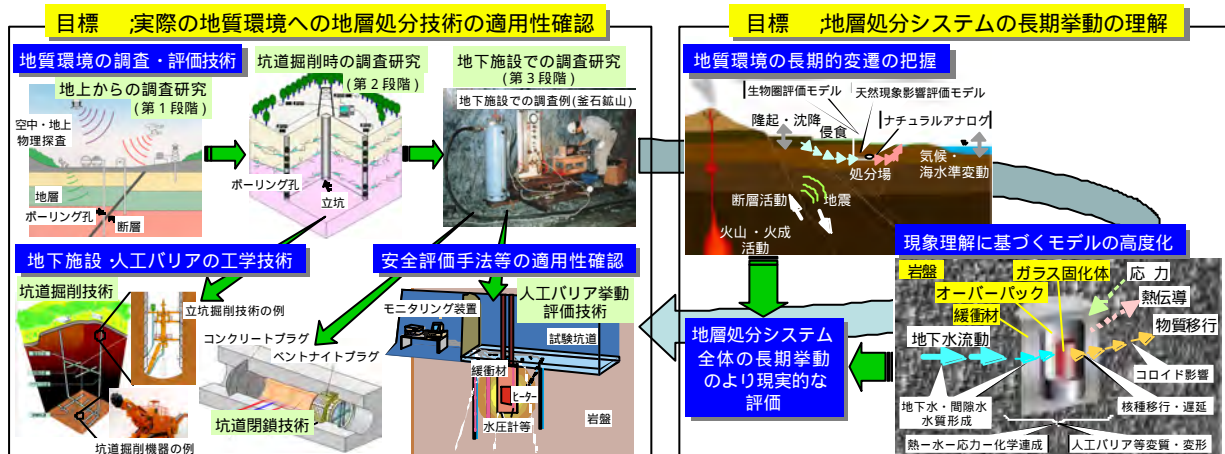


図2 研究開発目標「実際の地質環境への適用性確認」と「システムの長期挙動の理解」の概念

3) 研究開発課題

上記2つの目標を達成するために重要な研究開発課題を具体的に設定した上で、それらを効率的に実施する観点から、『深地層の科学的研究』、『処分技術の信頼性向上』、『安全評価手法の高度化』の3つの分野に整理し、分野毎に連携をとりつつ研究開発を進めている(図3)。各分野の研究開発の概要を以下に示す。

深地層の科学的研究

深地層の研究施設計画を段階的に進めていく中で、これまで整備してきた地質環境の調査・評価技術を適用することにより、その信頼性を確認しつつ、段階的な調査・評価技術としての体系化を図る。あわせて、地下施設的设计・施工を通じて、深地層における工学技術の基盤を整備する。また、

地質環境の長期安定性に関する研究やウラン鉱床におけるナチュラルアナログ研究を通じて、特定地域における地質環境の長期的な変化や物質の移動現象を評価するための手法の信頼性向上を図る。

処分技術の信頼性向上

エントリーや幌延の深地層の研究施設等を活用し、人工バリア等の基本特性や長期挙動に関するデータの蓄積とモデルの高度化、および工学要素技術の検証を行うことで、処分技術の信頼性向上を図る。

特に、人工バリア等の長期挙動に係る個別現象や連成現象に重点を置いて、ニアフィールド環境の時間的変遷を把握することにより、地層処分システムの長期挙動評価の信頼性向上を図る。

安全評価手法の高度化

エントリー、クオリティ等を活用し、また、深地層の科学的研究の成果を基盤情報として取り込みつつ、安全評価に関するデータの蓄積、モデルや手法の高度化を進める。各現象をより現実的に理解し、実際の地質環境に起因する不確実性を考慮しつつモデルや評価手法を改良することにより、地層処分システムの長期挙動評価の信頼性向上を図る。

なお、これらのうち処分技術や安全評価に関する研究開発については、第2次取りまとめ以降も幅広い地質環境条件を念頭におきつつ進めているが、今後は深地層の研究施設計画等の進展にあわせて具体的な地質環境条件を対象とした研究に重点化していく。

3. 深地層の研究施設計画の役割と取組み状況

1) 2つの深地層の研究施設

サイクル機構では、地層処分技術に関する研究開発を進めるための中核的な研究施設として、2つの深地層の研究施設計画を進めている。東濃地科学センターが岐阜県瑞浪市で進めている結晶質岩（花崗岩）を対象とした「超深地層研究所計画」と、幌延深地層研究センターが北海道幌延町で進めている堆積岩（泥岩）を対象とした「幌延深地層研究計画」である。わが国で地層処分の対象となる岩盤は大きく結晶質岩と堆積岩に分けることができ（分布は半々程度）、両者は地層処分にとって重要な地質環境の特性が明瞭に異なる。例えば、「超深地層研究所計画」が対象としている結晶質岩は緻密で硬く、地下水は割れ目を通して動くが、「幌延深地層研究計画」が対象としているような堆積岩は結晶質岩に比べて軟らかく、粒子の隙間を通して地下水が動く。そのため、深地層の研究施設については、従来より「我が国の地質の特性等を考慮して複数の設置が望まれる」（原子力委員会、1994）とされてきた。なお、「超深地層研究所計画」が対象としている領域は内陸にあって、地下水は降水起源の淡水であるのに対し、「幌延深地層研究計画」の領域は海岸に近く、深部の地下水には相当の塩分が含まれることなども、2つの深地層の研究施設計画を進めることの重要な技術的特長である(図4)。

2) わが国における深地層の研究施設計画の役割

わが国における地層処分技術の信頼性の向上が、第2次取りまとめ以降の研究開発の大目標であり、その研究開発の中核となるのが、深地層の研究施設である。第2次取りまとめでは、釜石鉱山

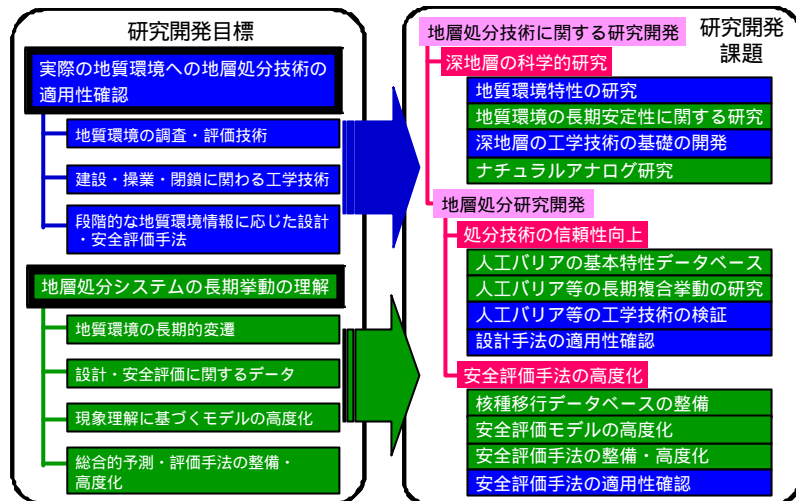

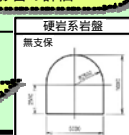

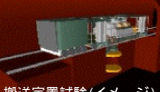


図3 2つの目標に向けた研究開発課題の設定

(花崗岩)や東濃鉦山(堆積岩)の既存坑道を活用した調査研究,あるいは海外の地下研究施設での共同研究の成果などにに基づき,地質環境を調査するための要素技術や基盤的な手法を整備した。また,これらの研究で得られた情報や文献情報を比較検討したうえで,現状あるいはその延長上にある技術により処分場を合理的に設計・施工し,地層処分の長期的な安全性を解析的に評価できる見通しなどを示した。第2次取りまとめは,質・量の異なる様々な分野の情報を解析・評価することにより,理論的に地層処分の成立性を示したといえる。これを受け,深地層の研究施設では,第2次取りまとめで示したような地層処分に関連する様々な技術を実際の地質環境に適用して,未擾乱の状態から段階的に調査研究を進めながら,順次得られてくる地質環境情報に基づき,実際に地層処分技術としての信頼性を確認していく。

一方で,深地層の研究施設は,「学術研究の場であるとともに,国民の地層処分に関する研究開発の理解を深める場としての意義を有し,その計画は,処分施設の計画と明確に区分して進めることが必要」(原子力委員会,2000)とされている。このため,深地層の研究施設については,一般の方々実際の地下深部の環境を体験してもらい,地層処分やその研究開発に対する理解や信頼を深めていただく場としても整備していく。また,計画の内容や得られた成果については,地域の方々をはじめ広く国民各層に公開し,透明性の確保に努める。なお,深地層の研究施設計画を進めるに当たっては,放射性廃棄物を持ち込まないことや将来にわたって処分場としないことなどを,関係自治体との協定により約束している。

		超深地層研究所 計画(瑞浪)* (結晶質岩 / 淡水系地下水)	幌延深地層 研究計画 (堆積岩 / 塩水系地下水)
深地層の科学的 研究	地質環境 特性	 <p>(イメージ図)</p> <p>結晶質岩では主に亀裂を地下水が移動する亀裂性岩盤の評価</p> <p>淡水系地下水の水質形成メカニズム解明</p>	 <p>(イメージ図)</p> <p>堆積岩では主に鉱物粒子の間を地下水が移動する多孔質岩盤の評価</p> <p>塩水系地下水の水質形成メカニズム解明</p>
	地質環境の 長期安定性	<p>内陸部の隆起・沈降・侵食,結晶質岩 / 淡水系地下水における地震・断層影響の評価</p>	<p>沿岸部の隆起・沈降・侵食,堆積岩 / 塩水系地下水における地震・断層の影響の評価</p>
	深地層の 工学技術 の基礎	<p>硬岩系岩盤は強度が高いため,無支保(部分的にコンクリート吹付け)での坑道を想定</p> 	<p>軟岩系岩盤は強度が低いいため,支保を入れた坑道を想定</p> 
地層処分 研究開発	処分技術	<p>・ホワイトシェル地下研究所(カナダ):実規模トンネルシーリング試験 ・エスボ硬岩研究所(スウェーデン):人工バリアの実規模原位置試験 等</p>	<p>・オーバーバックの搬送・定置技術の開発,セメント系材料の人工バリアに対する影響試験 等</p>
	安全評価 手法	<p>・結晶質岩における地層処分研究開発は,海外の地下研究施設を活用した共同研究として実施</p>	<p>・グリムゼル岩盤研究所(スイス):亀裂中での核種移行に対する粘土コロイド影響評価試験 等</p> <p>地層処分システム(人工バリア+天然バリア)における物質移行試験 等</p> <p>地層処分研究開発は,海外の地下研究施設での共同研究事例が少ない堆積岩を対象に幌延で実施予定</p>  <p>搬送定置試験(イメージ)</p>

* 超深地層研究所計画においては,「地層処分研究開発」は実施しない。また,「地質環境の長期安定性に関する研究」は,超深地層研究所計画とは別のプロジェクトとして,全国規模で実施する。

図4 2つの深地層の研究施設計画と研究開発課題

3) 深地層の研究施設計画と取組み状況

深地層の研究施設計画は大きく3段階からなる。全体で,約20年の計画である。まず第1段階として,地表からの調査によって,地下の状況や坑道を掘削した際の変化を予測する(地上からの調査研究段階)。第2段階は,坑道を掘削しながら,第1段階の予測結果を確かめるとともに,坑道周辺の状況などを予測していく(坑道掘削時の調査研究段階)。第3段階には,第2段階の予測結果を確かめながら,坑道を利用して様々な試験を行う(地下施設での調査研究段階)。このように,調査研究を段階的に進めることにより,地下深部の地質環境についての理解を深めながら,これを体系的

に調査・解析・評価するための技術基盤を整備していく。また、得られた地質環境情報に基づき、地下の研究坑道を設計・施工していくことを通じて、情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設を設置するための工学技術を整備していく。これら、「地質環境の調査・解析・評価技術」と「深地層における工学技術」の基盤を整備していくことが、「深地層の科学的研究」としての重要な技術課題である。また、得られた情報については、東海事業所が「地層処分研究開発」として進めている処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化に関する研究開発の基盤情報として活用する。なお、幌延深地層研究計画においては、深地層の科学的研究に加えて、堆積岩における人工バリアの施工・定置技術の開発や性能評価試験など、研究坑道を利用した地層処分研究開発をあわせて進めていく。結晶質岩における地層処分研究開発については、海外の地下研究施設を活用した共同研究として進めている(図4)。

サイクル機構が進める2つの深地層の研究施設計画については、平成13年度以降、着実な進展をみている。東濃地科学センターで進めている超深地層研究所計画については、平成14年1月に瑞浪市との間で市有地(研究所用地)の土地賃貸借契約を締結し、研究坑道などの設置場所をこの研究所用地に変更した。これを受け、それまで調査研究を行ってきた正馬様用地での成果や経験をもとに、研究所用地内での地表からの調査研究を開始した。また、調査研究と併行して平成14年7月には用地の造成工事に着手した。平成15年度には研究坑道の掘削を開始する予定である。一方、幌延深地層研究計画については、平成13年3月より地表からの調査研究を開始するとともに、平成13年4月に「幌延深地層研究センター」を開設した。平成14年7月には、それまでの広域的な調査研究の結果を踏まえ、研究所設置地区(今後の調査研究を中心的に行う3km四方程度のおおまかな領域)を選定した。その後、平成14年度の調査研究として、研究所設置地区内の3ヶ所において試錐(ボーリング)調査を実施するとともに、物理探査や環境調査などを行った。また、研究所を設置するための用地については、年度内の取得を目的に手続きを進めているところであり、平成15年度には造成工事に着手する予定である。いずれの計画についても、平成22年度頃を目途に、最深部までの研究坑道の完成(立坑および昇降設備の設置)を目指している。2つの深地層の研究施設計画を、処分事業の進展に対してリードタイムをもって進めることにより、得られた成果を処分事業や安全規制の技術基盤としてタイムリーに反映していく。

4. 研究成果の集約に向けて

地層処分技術の信頼性向上を目指した2つの研究開発目標を達成するためには、実際の地質環境を対象とした各分野の情報を体系的に取扱いながら、バランスよく研究開発を進めることが重要となる。そのため、東海事業所を中心に進めている地層処分研究開発においては、深地層の研究施設計画等の成果を活用して、設計・安全評価手法の実際の地質環境への適用性について検討を進めていく。この

ような検討は、調査の進展に応じて、すなわち得られる地質環境情報が段階的に詳細化されるのに応じて、繰り返し進めることが重要である(図5)。これにより、地層

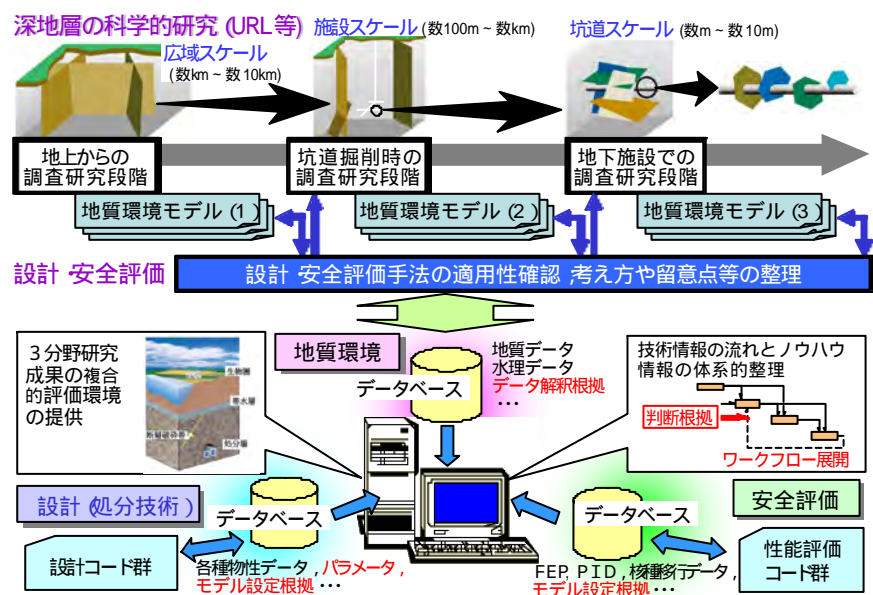


図5 分野間の連携と集約のイメージ

処分技術全体としての適用性を確認することができる。また、検討結果を調査側へフィードバックすることにより、地質環境の理解度と安全評価上の感度や必要な調査量との関係などを検討することができる。このような過程を通じて、地質環境を合理的に調査・評価する技術や、限られた地質環境情報あるいは段階的に得られる情報に基づいて効率的に設計や安全性の検討を進める手法などを整備、体系化していく。現在、このような分野間の連携や体系化に向けた具体的な方策について検討を進めているところである。また、情報伝達を効率的に進めつつ、品質や透明性を高める観点から、情報とその流れを体系的に集約・管理できるツールの開発を進めている（図5）。

研究開発の成果は、処分事業と安全規制の双方にとっての基盤的な技術や情報として寄与できるよう、双方のニーズやスケジュールを勘案しつつ、段階的に取りまとめて公表していく。当面は、平成10年代後半を目標とされる概要調査地区の選定とそれに続く概要調査や、安全審査基本指針の策定への反映を念頭において、平成17年度頃を目標に地上からの調査研究に関連する成果を取りまとめる。各分野のプロジェクトや課題ごとの研究成果を個別報告書としてまとめるとともに、分野間にまたがる情報や技術を集約した報告書を作成する計画である。具体的には、2つの深地層の研究施設計画等における地上から調査研究段階で得られた成果と、これに基づく設計・安全評価の適用性の検討結果を踏まえて、地上からアプローチする段階における一連の地層処分技術を、適用事例を示しつつ、できるだけ一般化した方法論として取りまとめる計画である。なお、個別成果については技術資料や論文としてその都度報告するとともに、全体の進捗や成果については年度毎に成果報告書（平成13年度報告：サイクル機構，2002）として公開していく。

5. おわりに

サイクル機構は、今後とも地層処分技術に関する研究開発の中核的な役割を担いつつ、2つの深地層の研究施設やエントリー、クオリティ等の施設を活用した基盤的な研究開発を、相互の連携を図りながら効率的に進め、得られた成果をタイムリーに反映していく。研究開発を進めるに当たっては、国の研究開発機関として信頼性と透明性の確保に努めるとともに、より一層の効率化を図る観点から、深地層の研究施設等の共同活用を含めた国内外関係機関との研究協力を積極的に進める。研究開発の成果については、処分事業および安全規制の双方の技術基盤として寄与できるよう、段階的に取りまとめるとともに、年度毎の進捗や個別の研究成果についてもサイクル機構の技術資料や学会等を通じて積極的に情報発信していく。また、本報告会をはじめ、様々な議論の場を通じて専門家や国民各層からの幅広い意見を取り入れつつ、研究開発を展開していく。

参考文献

- 原子力安全委員会（2000）：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）（平成12年11月6日）。
- 原子力安全委員会（2002）：高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について（平成14年9月30日）。
- 原子力委員会（1994）：原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月24日）。
- 原子力委員会（2000）：原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成12年11月24日）。
- 核燃料サイクル開発機構（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - ，サイクル機構技術資料，JNC TN1410 99-020～024。
- 核燃料サイクル開発機構（2001）：平成13年度研究開発課題評価（中間評価）報告書 研究課題「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の全体計画」，サイクル機構技術資料，JNC TN1440 2001-008。
- 核燃料サイクル開発機構（2002）：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 - 平成13年度報告 - ，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2002-003。