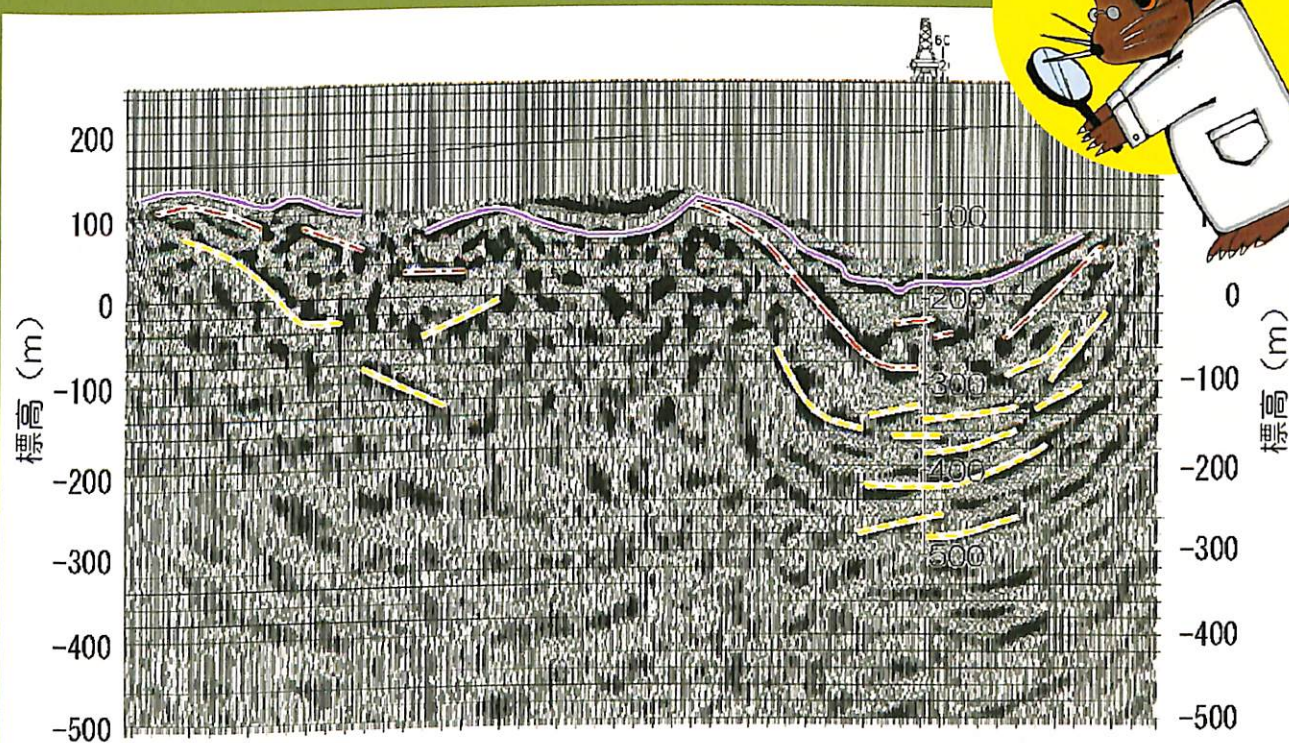




地層処分技術に関する研究開発報告会

処分技術の信頼性を支える基盤の強化に向けて

予稿集



「地表からの地質構造調査の例（反射法弾性波探査）」

核燃料サイクル開発機構

平成15年2月28日(金) ヤクルトホール

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

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

Inquiries 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)
2003

はじめに

原子力のエネルギー利用において、高レベル放射性廃棄物の処分は避けて通ることのできない課題です。我が国においては、これまでサイクル機構が中心として行ってきた研究開発成果を集大成した報告書「第2次取りまとめ」を技術的拠り所として、すでに、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が制定され、処分の実施主体である「原子力発電環境整備機構」が設立されております。また、概要調査地区選定に向けて、平成14年9月には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」が示され、同年12月には処分実施主体により「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」の公募が開始されたところです。

地層処分事業は最終処分施設建設地を選定するための調査から処分場の建設・操業・閉鎖まで長期間にわたり、事業の推進にあたっては幅広い国民の皆様のご理解を得ていくことが前提となります。今後、処分事業と安全規制の円滑な進展を支えていくためには、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立のための技術的基盤を整備していくことが重要となります。このような観点から、サイクル機構では、二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)や地層処分放射化学研究施設(クオリティ)などの研究施設や人材、経験を活用し、関係機関との適切な役割分担のもとに研究開発を進めているところです。

平成14年度は、関係機関のご協力、ご指導と地元の皆様のご理解をいただき、深地層の研究施設計画において、大きな進展を見ることができました。昨年7月には、岐阜県の瑞浪超深地層研究所の建設に着工するとともに、北海道の幌延深地層研究計画において研究所設置地区を選定いたしました。

このたびの報告会では、深地層の研究施設計画を軸とした研究開発に焦点を当て、その成果や今後の展開についてご報告させていただきます。

なお、今後予定されている日本原子力研究所との統合、新法人設立の後も、高レベル放射性廃棄物地層処分技術の研究開発の重要性は変わることはなく、引き続き皆様の一層のご支援とご指導をお願い申し上げる次第です。

目 次

はじめに

【サイクル機構の研究開発報告】

【全体概要報告】

地層処分技術に関する研究開発の全体概要	1
本社 バックエンド推進部 福島 操	

【個別技術報告】

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状	7
ー超深地層研究所計画を中心としてー	
東濃地科学センター 地層科学研究情報化 Gr 茂田 直孝	
幌延深地層研究計画の現状	15
幌延深地層研究センター 山崎 真一	
処分技術と安全評価に関する研究開発の現状	23
ー実際の地質環境を対象とした取組みを中心としてー	
東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 石川 博久	

【特別講演】

事業化段階における地下研究施設の役割	31
ーThe Role of URLs in the Repository Implementation Phaseー	
Neil A. Chapman (Nagra/シェフィールド大学)	

【サイクル機構の研究開発報告】

[全体概要報告]

地層処分技術に関する研究開発の全体概要

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)。

① 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。

② 地層処分システムの長期挙動の理解

上記①の調査研究やナチュラ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。

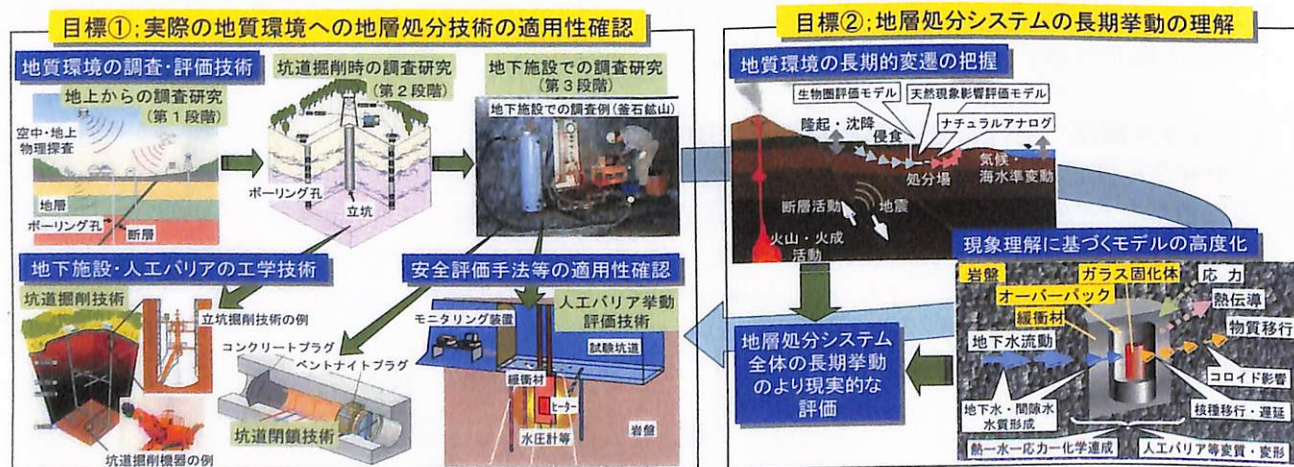


図2 研究開発目標「①実際の地質環境への適用性確認」と「②システムの長期挙動の理解」の概念

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。

① 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、地下施設の設計・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。

② 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おいて、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。

③ 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

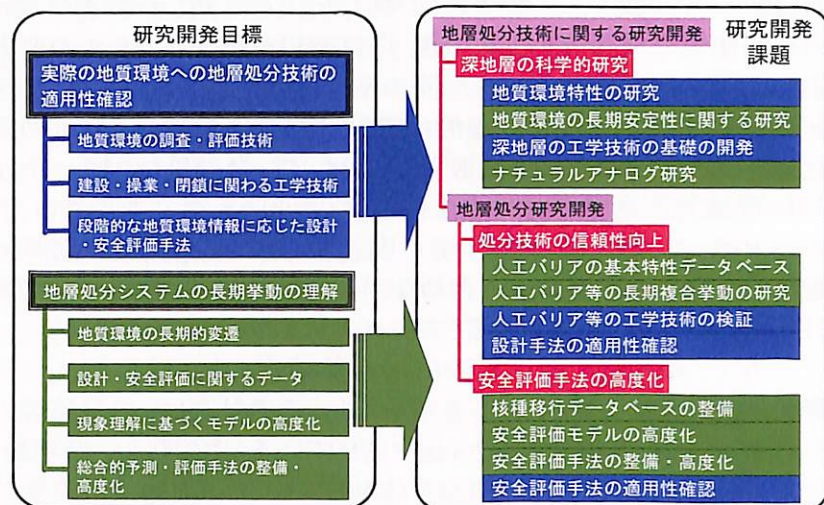
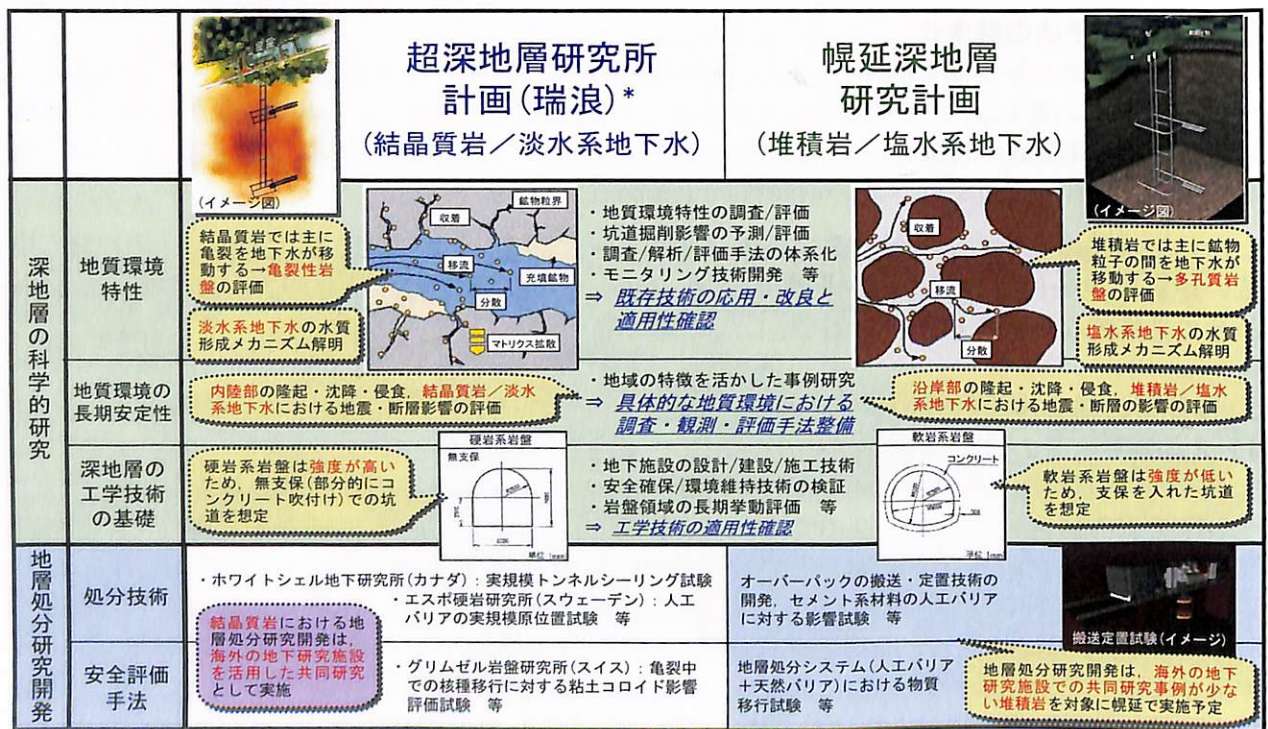


図3 2つの目標に向けた研究開発課題の設定

(花崗岩)や東濃鉾山(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,实际的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,「学術研究の場合であるとともに,国民の地層処分に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,一般の方々に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り組み状況

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、年度内の取得を目途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

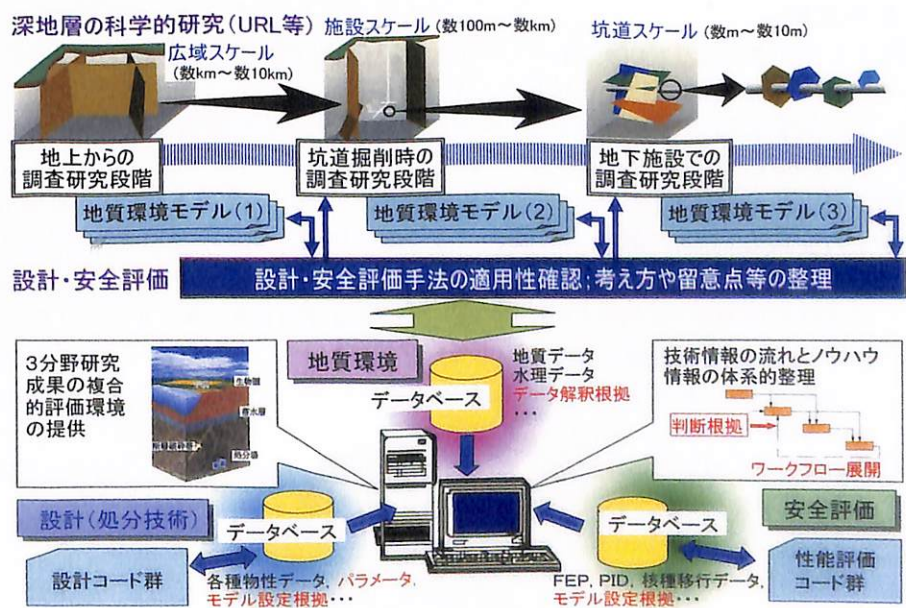


図5 分野間の連携と集約のイメージ

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年代後半を目途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。

【サイクル機構の研究開発報告】

[個別技術報告]

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状
ー超深地層研究所計画を中心としてー

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状 －超深地層研究所計画を中心として－

核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究情報化Gr
GL 茂田 直孝

1. はじめに

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、国の計画・方針にしたがい、地層処分技術に関する研究開発として、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究(以下、地層科学研究)を進めている。東濃地科学センターにおける地層科学研究は、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉱山での調査試験研究、地質環境の長期安定性に関する研究の4プロジェクトからなる。このうち、超深地層研究所計画は、原子力長期計画に示された深地層の研究施設計画のひとつとして結晶質岩を対象に岐阜県瑞浪市において進めているものである。本計画は平成8年度より開始し、昨年7月には研究坑道の設置場所となる瑞浪超深地層研究所の建設に着工した。本稿では、超深地層研究所計画を中心に、東濃地科学センターにおける地層科学研究の現状について報告する。

2. 研究の課題

「第2次取りまとめ」(サイクル機構, 1999a)以降における地層処分技術に関する研究開発の課題については、「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価」(原子力委員会, 2000)や「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)において、重要な項目が示されている。そのうち、地層科学研究に関連する課題としては、「地表から地下深部までの調査の体系化」「深部地質環境データの蓄積」(原子力委員会, 2000)、および「実際の地質環境条件を適切に考慮した設計、シナリオに基づく評価」「地質環境の長期にわたる変化を考慮した評価」(原子力安全委員会, 2000)などが挙げられている。

これら国の報告書で示された課題を踏まえ、東濃地科学センターにおいては、以下の4つの大きな研究課題を設定して地層科学研究を進めている。

- ①地質環境特性に関する研究
- ②地質環境の長期安定性に関する研究
- ③深地層における工学技術の基礎の開発
- ④ナチュラルアナログ研究

上記①は、地質環境条件として重要な地下水の動きや化学的性質、岩盤の特性、坑道掘削が周辺の岩盤に与える影響に関する知見の取得と、それに必要な技術に関する研究開発である。②は、火山や地震などの天然現象の活動の特徴や影響の程度を明らかにし、地質環境の将来における変化を予測する研究である。また、③は、研究坑道などの地下施設の建設を通して、様々な工学技術の地下深部への適用を研究するものであり、④は、地質環境中における天然ウランの移動等に関する極めて長期の天然現象を解明し、安全評価手法の信頼性の向上に寄与する研究である。これらの研究課題に対

プロジェクト 課題項目	広域地下水 流動研究	超深地層 研究所計画	東濃鉱山における 調査試験研究	地質環境の 長期安定性に関する研究
地質環境特性に関する研究	○ (広域スケール)	○ (鉱域スケール)		
地質環境の長期安定性に関する研究			△	○
深地層における工学技術の基礎の開発		○		
ナチュラルアナログ研究			○	

○：課題項目に対応するプロジェクト
△：課題項目の一部に対応するプロジェクト

図1 地層科学研究の課題とプロジェクト

して、東濃地科学センターでは地層科学研究を構成する 4 つのプロジェクト、すなわち超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉾山における調査試験研究、地質環境の長期安定性に関する研究、として取り組んでいる(図1)。

3. 研究の現状

東濃地科学センターが進めている地層科学研究のうち、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉾山における調査試験研究の 3 プロジェクトは、地下深部の岩盤とそこに含まれる地下水の性質やそこで起こっている現象を理解しながら、その調査・評価のために必要な技術を開発整備していくことを主な目的として、東濃地域を対象に実施している。一方、地質環境の長期安定性に関する研究は、わが国における地震や火山活動等の天然現象の特徴やそれによる地質環境への影響を理解することを目的に、全国を視野に入れて実施している。

超深地層研究所計画については次節で詳しく述べるため、これを除く 3 つのプロジェクトの概要を以下に紹介する。

3.1 広域地下水流動研究

広域地下水流動研究は、地下水の涵養域から流出域(例えば、尾根から河川)までを包含する領域における地下水の大局的な流れや、それに伴う水質の変化などを効率的に把握するための技術の開発整備を主な目的として、平成 4 年度から実施している。東濃地域においては、東濃鉾山を含む約 10 km 四方程度を対象に、空中や地表からの物理探査、地表地質調査、表層での水理・水文調査、深度 500 m～1,000 m の深層ボーリング調査(13 孔)などを行ってきた。これまでの研究により、深度 1,000 m までの岩盤や地下水を調査・観測するための機器や手法を開発するとともに、大局的な地下水の流動状況や深度による地下水水質の違いなどを把握してきた(サイクル機構, 2000a)。

今後は、実際の地質環境を対象とした調査研究を通して、取得される情報量と地質環境の理解の程度との関係を事例的に示すとともに、用いられた各種調査・解析技術の適用性の評価と、それらの技術の組合せや手順および適用に際しての留意点などを示した調査・解析フローの構築を目指す。そのため、特に、瑞浪超深地層研究所用地とそれを含む広域地下水流動研究の研究成果を相互に活用しながら、広い領域から研究坑道を展開する瑞浪超深地層研究所用地までのスケールを対象とした調査手法および調査データを一連のものとして、調査・解析手法の適用性に関する知見を蓄積していく(サイクル機構, 2002a)。この一環として、瑞浪超深地層研究所用地に隣接する既存のボーリング孔(DH-2 号孔; サイクル機構, 2000b)周辺での地表物理探査や DH-2 号孔を利用したボーリング調査を実施している。

3.2 東濃鉾山における調査試験研究

東濃鉾山における調査試験研究は、ウラン鉾床に掘削された既存の地下坑道を利用して、昭和 61 年度に開始した。深度約 150 m までの堆積岩が主な研究対象である。ウラン鉾床が存在し、さらにそれを断層が横切るという特徴を活かして、物質の移行・遅延現象に着目したナチュラルアナログ研究や、坑道周辺の地質環境を総合的に調べるための技術の整備を進めている。今後も、ウラン鉾床を利用したナチュラルアナログ研究として、既往の研究事例のレビューや岩芯・地下水試料を用いた室内調査などにより基礎情報を蓄積しつつ、体系的なナチュラルアナログ研究手法として整備していく。また、岩盤の力学的安定性に関する試験研究として、場の 3 次元的応力分布を解析的に評価する手法および堆積岩の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的とした調査研究を実施していく(サイクル機構, 2002b)。なお、ウラン鉾床を利用したナチュラルアナログ研究は、地質環境による物質の保存能力など、地層処分の長期的な安全性についての国民の理解を得ていく上でも有効であると考えている。

3.3 地質環境の長期安定性に関する研究

地質環境の長期安定性に関する研究は、わが国における地震・断層活動、火山活動、隆起・侵食、気候・海水準変動といった天然現象の活動の特徴(活動の傾向・規則性、地域性、変動の速度・規模など)や影響の程度・範囲などを理解することを目的とした研究である。平成元年度より全国を視野に入れて、大学等の専門家の協力を得ながら、文献調査や事例研究による情報・知見の整備、データベース化を進めている。これまでの研究により、過去数十万年にわたり、わが国における主要な地震・断層活動や火山活動が限られた場所や地域で繰り返し起こっていること、また、隆起・侵食および気候・海水準変動には、一定の傾向や周期性が認められることなどがわかってきている。このような状態は将来的にも継続すると考えられるため、現在の活断層(帯)や火山地域、あるいは隆起・侵食が著しい地域などを避けることにより、将来にわたって十分に安定な地域を見出すことができる(サイクル機構, 1999a)。今後は、実施主体による概要調査地区等の選定や国による安全審査基準・指針等の策定等への反映を念頭に置き、将来の天然現象を予測するための技術(長期予測技術)、具体的な地質環境において長期安定性を評価するために必要なデータを取得するための体系化された調査技術(地層変動調査技術)に係わる研究開発を進めるほか、安全評価等に必要な知的基盤・情報基盤の整備を図っていく(サイクル機構, 2002c)。

4. 超深地層研究所計画

4.1 計画の概要

本計画では、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備および深地層における工学的技術の基盤の整備を目標として設定し(サイクル機構, 2002d)、これらの目標を達成するため、地質環境を調査・予測・検証する一連のアプローチを繰り返し行うことにより、地上や地下から、地質環境を調査・解析・評価する手法の有効性を確認していく。そのため、全体計画を3段階(第1段階:地表からの調査予測研究段階、第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階、第3段階:研究坑道を利用した研究段階)に分け、全体を約20年間かけて実施する計画である。

本計画の成果は、他の地層科学研究の成果とあわせて、東海事業所で実施している処分技術の信頼性向上および安全評価手法の高度化に関する研究開発に反映していくとともに、国が行う安全審査指針等の策定や実施主体が進める処分事業の推進にも基盤情報として活用される。また、研究施設は広く公開し、地下深部についての学術的な研究の場、あるいは深部地質環境や地層処分の研究開発に対する国民の理解を深める場としても寄与する。

現在実施している第1段階の目標は、以下のとおりである。

- ①地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握
- ②研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
- ③研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

本計画では平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町のサイクル機構が所有する用地(正馬様用地)において第1段階の調査研究を行ってきたが、平成14年1月に、瑞浪市と、正馬様用地の約2km東方に位置する同じ明世町内の市有地(研究所用地)の賃貸借契約を締結し、研究坑道などの設置場所を研究所用地に変更することとした。

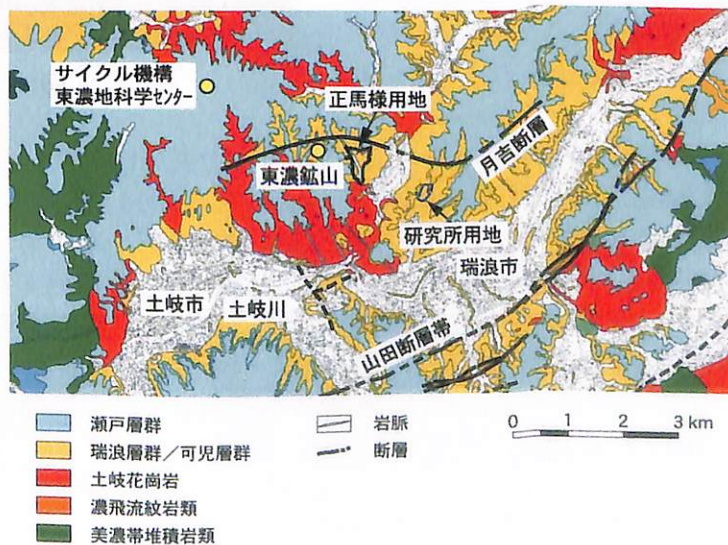


図2 研究実施領域周辺の地質

双方の用地は共に白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)の分布域に含まれており、これを基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)が不整合で覆い、さらにそれを固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が不整合で覆っている(図2)。現在、正馬様用地での研究成果を活用し、研究所用地において地表からの調査予測研究段階である第1段階の調査研究を進めている。正馬様用地については、これまで蓄積された地質環境の情報やボーリング孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用していく(サイクル機構, 2002d)。

4.2 現状と主な成果

研究所用地では、これまでに地上物理探査、深度 200m 程度までのボーリング調査(MSB-1~4号孔)を実施しており、現在、それらの調査結果を踏まえて、深層ボーリング調査(深度 1,300m 程度)の準備作業を開始したところである。また、調査研究と並行して、平成 14 年 7 月に研究所用地の造成工事に着手し、現在、研究坑道の掘削仕様や施工計画の検討を行っている。一方、正馬様用地では、これまでに地上物理探査、表層水理調査およびボーリング調査を実施してきており、今後はこれらの調査結果の解析を進めるとともに、ボーリング孔を利用した地下水の長期観測(水圧、水質)等を継続していく。

1) 研究のアプローチ/成果の統合化

本計画においては、物理探査やボーリング調査などによって得られた結果を統合しながら、順次充実してくる情報に基づき、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学に関する地質環境モデルの構築を進めている。その過程で、調査計画の立案から調査結果の評価に至る一連のプロセスを繰り返し、品質の確認、向上を図るとともに、情報の質・量と地質環境の理解における不確実性の関係を把握する(サイクル機構, 2001; 三枝ほか, 2001 など)。また、処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化といった観点から、研究成果の反映先や具体的なアウトプットを設定し、このアウトプットに至る調査・解析およびモデル化の流れ(データフロー)を明確化してきた(中野・大澤, 2001)。あわせて、データの追跡性を確保するため、データベースの整備を進めてきている

(図3)。

これまで正馬様用地での調査研究により実施してきた上述のアプローチを踏まえて、新たに研究所用地における調査研究の計画を策定した(図4; サイクル機構, 2002d)。研究所用地及びその周辺で行う調査研究では、段階的に地質環境モデルの構築、解析・評価を繰り返し行い、本研究領域を事例として、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度(深部地質環境の理解度)の関係を明らかにするとともに、深部地質環境を理解するための調査・解析・評価体系や、個々の調査・試験技術の手順・品質担保の方法、モデル化手法の適用性を示す計画である。

以下、研究所用地における調査研究の現状を研究課題ごとに報告する。また、最後に正馬様用地における研究成果の概要をまとめる。

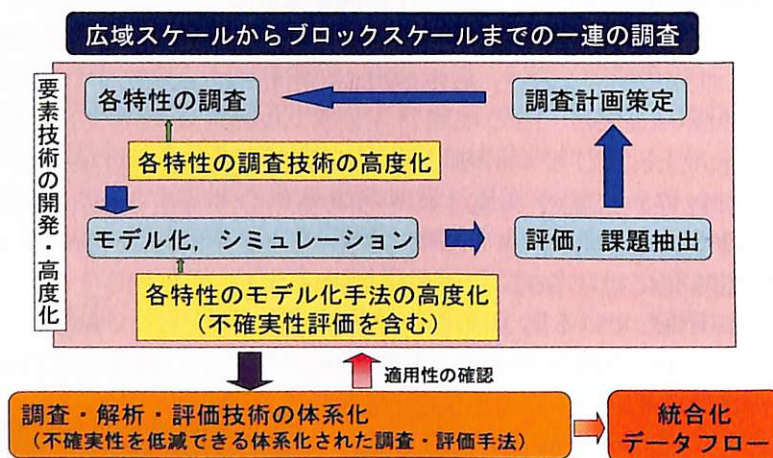


図3 研究開発の進め方

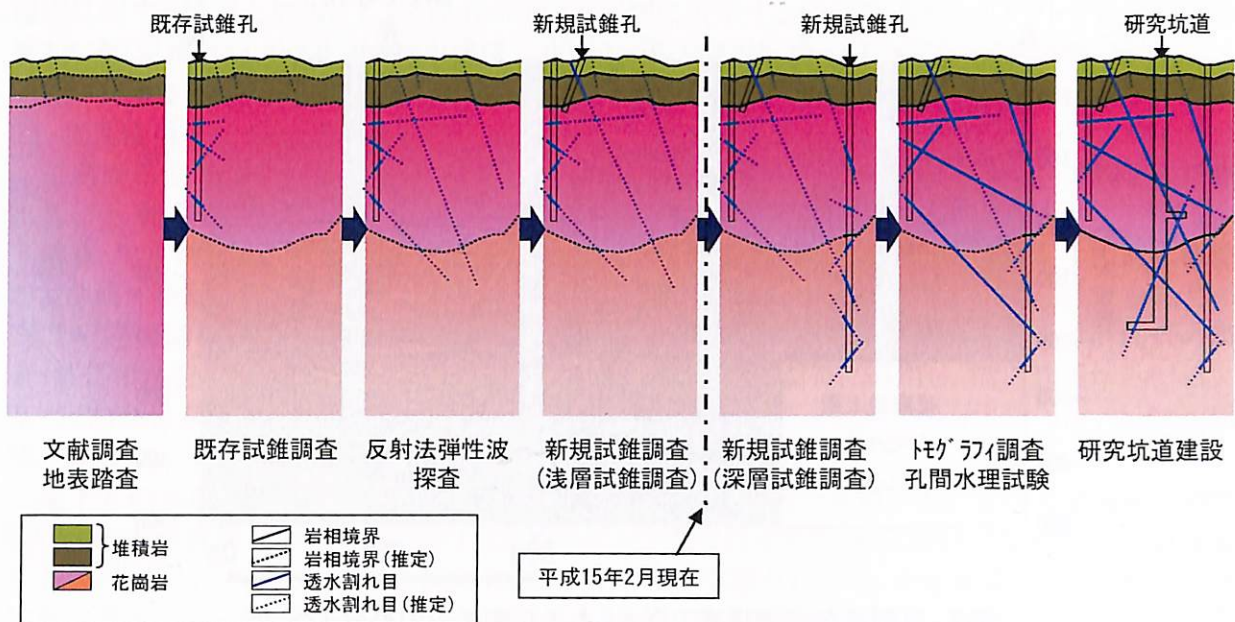


図4 瑞浪超深地層研究所における地表からの調査研究のコンセプト

2) 地質・地質構造に関する調査研究

地質・地質構造に関する調査研究では、研究用地の周辺の地質・地質構造に関する既存情報を収集・整理するとともに、研究用地およびその周辺の地質・地質構造に関する情報を取得するための地上物理探査(図5)を実施した。また、堆積岩から花崗岩表層部までの地質環境の情報を取得するため、深度 200m 程度までのボーリング調査(MSB-1~4 号孔, 図6; Goto et al., 2002)を実施した。地上物理探査では、DH-2 号孔のボーリング調査データなどの既存情報との対比を通して、花崗岩中の断層などの地質構造と反射イベントとの間に認められる相関関係により、花崗岩中においても反射法弾性波探査によって地質構造を推定できる可能性があることを示した(図7; 松岡ほか, 2002)。また、ボーリング調査では、花崗岩上部までの地層・岩相境界深度を把握した。

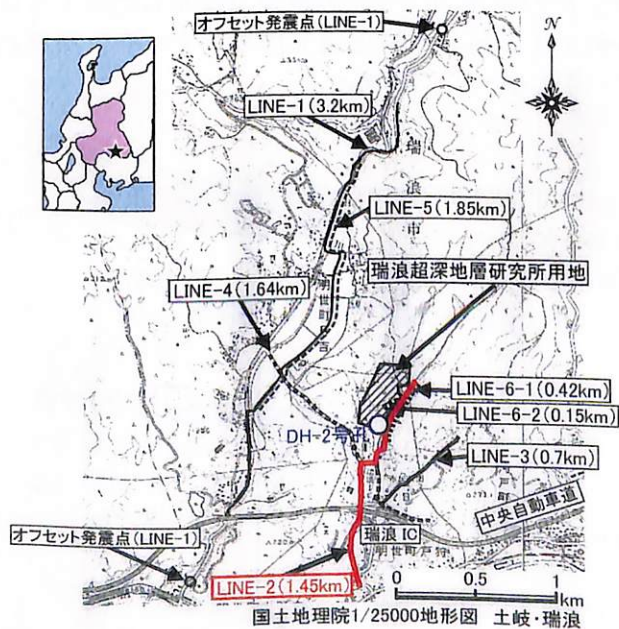


図5 地上物理探査の測線位置

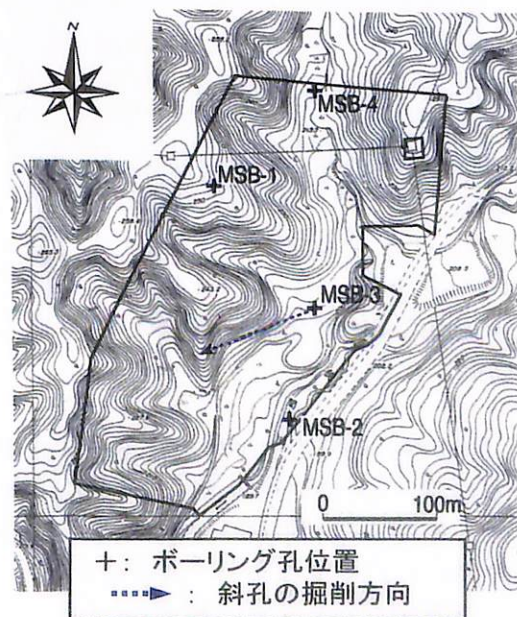


図6 ボーリング調査位置

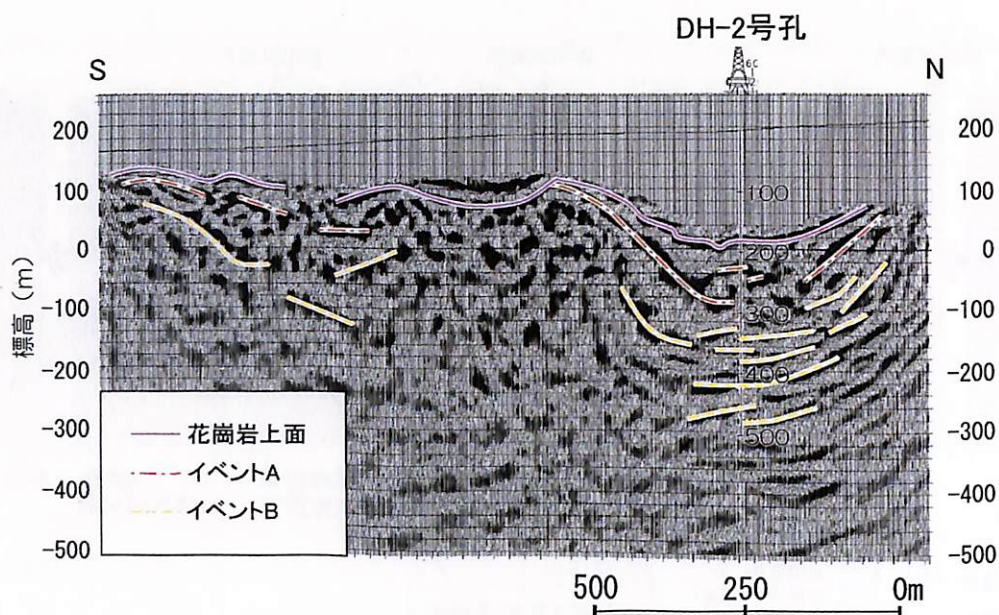


図7 反射法弾性波探査で捉えられる花崗岩中の反射イベント

3) 地下水の水理に関する調査研究

地下水の水理に関する調査研究では、研究所用地の周辺の水理に関する既存情報を収集・整理するとともに、深度 200m 程度までのボーリング調査 (MSB-1~4 号孔) において水理試験・流体検層を実施した。浅層ボーリング調査では、研究所用地に分布する堆積岩の透水係数、研究所用地の間隙水圧分布および MSB-3 号孔で捉えられた走向 NNW の断層の水理学的性質を把握した。

また、これらの情報や広域地下水流動研究で行う調査・試験の結果に基づいて水理地質構造モデルを構築し、予備的な地下水流動解析を実施中である。

4) 地下水の地球化学に関する調査研究

地下水の地球化学に関する調査研究では、研究所用地の周辺の地下水の地球化学に関する既存情報を収集・整理するとともに、深度 200m 程度までのボーリング調査において土岐夾炭類層および土岐花崗岩最上部の地下水の採水を実施した。その結果、ボーリング調査で採水した地下水は全て天水起源であり、Na-Cl 型の淡水であること、鉄および硫黄の酸化還元境界がそれぞれ深度約 20m、約 40~60m と推定されることなどがこれまでに明らかとなっている。

5) 岩盤力学に関する調査研究

岩盤力学に関する調査研究については、DH-2 号孔の岩芯を用いた力学試験などを実施した。このデータと今後実施予定の深層ボーリング調査などで得られるデータにより、研究所用地における土岐花崗岩の3次元的な岩盤力学モデルを構築していく。

6) 深地層における工学技術に関する研究

深地層における工学技術に関する研究については、研究坑道の掘削を伴う研究段階ならびに研究坑道を利用した研究段階において実施すべき調査研究項目について、国内外の先行事例などを参考に整理し (サイクル機構, 1999a), それに基づいて研究坑道の展開手順や仕様の決定方法などを検討してきた。また、これまでの調査で得られた深部地質

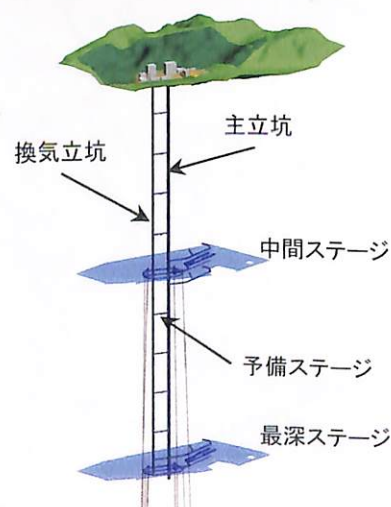


図8 研究坑道レイアウトの例

環境に関する情報を加味して、平成15年度より掘削に着手する研究坑道のレイアウトや施工計画を検討した(見掛ほか, 2000; サイクル機構, 2002c)。現在検討しているレイアウト案を図8に示す。

7) 正馬様用地における調査研究

正馬様用地では、これまでに実施した地上物理探査、表層水理調査およびボーリング調査の結果に基づき、地質・地質構造、地下水の水理、岩盤力学等についての解析を進めている。

地質・地質構造については、これまでに掘削された MIU-1～3 号孔における掘削中の逸水観測および流体検層から地下水の流入が認められた箇所、割れ目データを詳細に見直し、割れ目の密度や開口量、二次鉱物の有無・種類、あるいは物理検層値などの特徴に着目して割れ目の調査・評価手法を構築した。この手法を MIU-4 号孔のボーリング調査に適用し、構造地質学的特徴に基づく割れ目調査および割れ目を介した(熱)水-岩石反応とその程度の特特定を行った(サイクル機構, 2002e)。

地下水の水理については、割れ目(帯)の水理学的な連続性と水理定数に関する情報を取得すること、水理地質構造モデルを確認するためのデータを取得することを目的として、MIU-2 号孔を揚水孔、その周辺のボーリング孔を観測孔として長期揚水試験を行った。その結果、月吉断層が水理学的な遮水ゾーンとなっていることを確認するとともに、月吉断層に伴う割れ目帯が、上盤、下盤ともに高い透水性を示し、ボーリング孔間で水理学的に連続していることが明らかとなった(図9; サイクル機構, 2002e)。

岩盤力学については、正馬様用地で実施してきた MIU-3 号孔までの調査結果により構築した概念モデル(松井ほか, 2000) および MIU-1～3 号孔のジョイントせん断試験結果(畑ら, 2001)などに基づき、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響評価解析のために用いる岩盤力学モデルを構築した(図 10)。この岩盤力学モデルを用いて、2 次元有限要素法を用いた掘削に伴う力学的影響評価解析を実施した(サイクル機構, 2002e)。

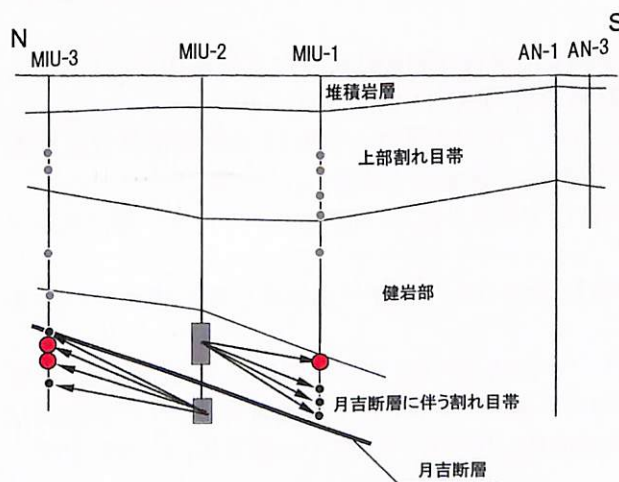


図9 長期揚水試験の結果概要

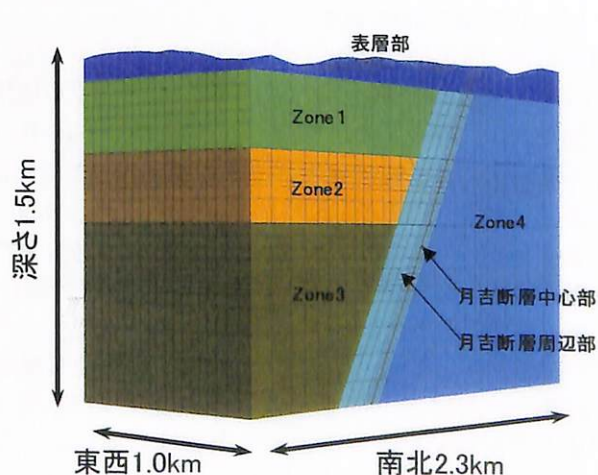


図 10 正馬様用地の岩盤力学モデル

5. おわりに

東濃地科学センターにおいては、今後とも国内外の研究機関との連携をはかりながら、また、大学等の専門家の協力を得ながら、原子力長期計画等で求められている深地層の科学研究(地層科学研究)を着実に、かつ効率的に進めていく。研究の成果については、地層処分技術の信頼性をさらに向上するための基盤的な知見・情報、技術として整備し、処分事業や安全規制への具体的な反映を念頭において時宜を得た取りまとめを行っていく。また、透明性を確保する観点からも、研究計画の策定段階から積極的に情報を公開していく。さらに、平成15年度より研究坑道の掘削に着手する瑞浪超深地層研究所についても広く公開し、地下深部についての学術的な研究の場、学習の場、国民の理解を深める場としても寄与していく。

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).
- 原子力委員会(2000):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価.
- Goto, J., Ikeda, K., Kumazaki, N., Mukai, K., Iwatsuki, T. and Hama, K. (2002): Working Program for Shallow Borehole Investigations, JNC Technical Report, JNC TN7400 2002-005.
- 畑 浩二, 丸山 誠, 鳥井原誠(2001):土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験, サイクル機構技術資料(契約業務報告書;株式会社大林組), JNC TJ7430 2001-002.
- 核燃料サイクル開発機構(1999a):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(2000a):広域地下水流動研究の現状―平成4年度~11年度―, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-014.
- 核燃料サイクル開発機構(2000b):DH-2 号孔における調査研究報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-007.
- 核燃料サイクル開発機構(2001):超深地層研究所計画の現状―平成8年度~11年度―, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001.
- 核燃料サイクル開発機構(2002a):広域地下水流動研究年度計画書(平成14年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-004.
- 核燃料サイクル開発機構(2002b):東濃鉾山における調査試験研究年度計画書(2002年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-001.
- 核燃料サイクル開発機構(2002c):平成14年度地層科学研究情報・意見交換会―要旨集―, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-006.
- 核燃料サイクル開発機構(2002d):超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.
- 核燃料サイクル開発機構(2002e):超深地層研究所計画年度報告書(平成13年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2002-004.
- 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫(2001):MIU-3 号孔における力学特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル, サイクル機構技術資料, JNC TN7420 2001-001.
- 松岡稔幸, 上原大二郎, 藪内 聡, 太田陽一, 川中 卓(2002):花崗岩地域を対象とした反射法弾性波探査の適用, 応用地質学会中部支部平成14年度支部研究発表会・講演会予稿集, pp.31-36.
- 見掛信一郎, 杉原構造, 永崎靖志(2000):地下1000 mに研究坑道を掘る―東濃地科学センター超深地層研究所計画―, トンネルと地下, 31, pp.1163-1171.
- 中野勝志, 大澤英昭(2001):超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状, サイクル機構技報, No.12(2001.9), pp.91-106.
- 三枝博光, 前田勝彦, 稲葉 薫(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その6)―不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析―, 地盤工学会亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム論文集, pp.299-308.

【サイクル機構の研究開発報告】

[個別技術報告]

幌延深地層研究計画の現状

幌延深地層研究計画の現状

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター
次長 山崎 真一

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画(原子力委員会, 2000)」に示された深地層の研究施設計画の一つとして位置付けられており、堆積岩を対象に深地層の研究を進めている。また、同計画には、この研究施設が今後の地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けての研究開発を進めて行く上での主要な施設であること、国民の研究開発に対する理解を得ていく場としての意義を有していることが示されている。幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から終了まで20年程度の計画とし、「地上からの調査研究段階(第1段階)」、「坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第2段階)」、「地下施設での調査研究段階(第3段階)」の3つの段階に分けて実施する。

なお、地下施設の建設スケジュールは、平成15年度から用地の造成、平成17年度に立坑の掘削を開始し、平成22年度には完成の予定である。

幌延深地層研究計画における地層処分技術に関する研究開発として、深地層の科学的研究(以下、地層科学研究)と地層処分研究開発を実施する。地層科学研究としては、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、地質環境の長期安定性に関する研究、深地層における工学的技術の基礎の開発の4課題を、地層処分研究開発としては、処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化の2課題を設定している。

2. 特徴を踏まえた課題とアプローチ

幌延町は天塩堆積盆の東端部に位置し、幌延町の東縁部には白亜系の蝦夷層群や中生代の地層と中生代末に主に形成されたと推定される神居古潭帯に属する変成岩類、堆積性・構造性メランジェ(蛇紋岩等)が南北方向に分布する。それに対し幌延町の西部は、先新第三紀の地層を基盤岩とし、それらを中期中新世以降に堆積した新第三紀の地層(宗谷夾炭層、増幌層、稚内層、声間層)が不整合で覆う(保柳ほか, 1986)。また、ほぼ南北方向の褶曲構造や断層構造が発達し、活断層、とう曲、傾動等の第四紀の新しい活構造も認められる。研究対象とする新第三紀の堆積岩中の地下水として「塩水系の地下水」と「淡水系の地下水」が存在すること及び、地下水には溶存ガスが存在することを確認しており、幌延深地層研究計画では、このような地質環境の特徴に着目して研究を進める。

幌延深地層研究計画では、図1に示すような成果が得られるように調査研究を進めていく。得られた研究成果は、東濃地科学センターにおける地層科学研究の成果とともに、東海事業所で実施している地層処分研究開発、あるいは国際共同研究の成果と合わせて、実施主体が行う処分事業、国が行う安全規制等に反映する。

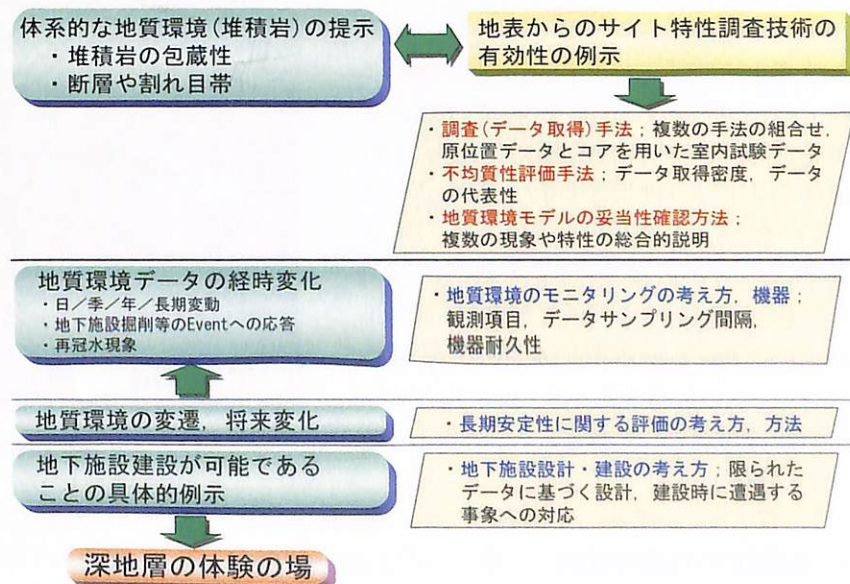


図1 幌延深地層研究計画の成果のイメージ

3. 研究所設置地区の選定

研究所設置地区については、研究の対象となる地層と地下水が存在すること、安全に地下施設を建設でき、研究環境を確保できることが基本的な要件となる。

研究所設置地区の選定にあたっては、まず平成12年度末に文献等の既存資料に基づき、新第三紀の主に泥岩からなる声問層、稚内層、増幌層(上部)を研究の対象地層に選定し、これらの地層が500m程度の深さに十分な厚さをもって分布すると推定される研究所設置対象区域(A区域、B1区域、B2区域、C区域)を抽出した(図2)。これらの区域のうち、C区域を含む北海道大学天塩研究林及び隣接している間寒別地区の民有地・町有地等を除く範囲を対象に、平成13年度に空中物理探査(磁気、電磁、自然放射能探査)、地上物理探査(電磁探査)、地質調査を実施した。

次に、これらの区域の中からガスの産出記録(長尾, 1969)や社会的側面等を考慮して、B1区域とB2区域において試錐調査(2孔)を実施した(図2)。

試錐調査地点(HDB-1, 2孔)は、それぞれの区域内において、アクセスや許認可手続き、調査に必要な用地の確保の容易性を考慮して選定した。

試錐調査により、研究の対象となる地層が深さ500m付近に十分な厚さで分布すること及び塩水系地下水が存在することを確認した。また、試錐調査によって得られた地層の力学的強度やガスのデータに基づき、地下施設を安全に建設できることを確認した。これにより、B1区域、B2区域ともに研究所設置地区としての基本的な要件を満たしていると判断した(サイクル機構, 2002)。

次に、B1、B2区域の中から研究所設置地区の候補を選定した。研究所設置地区は、地表からの調査や施設の建設を効率的に行う上で、地形が開け、道路が整備されていることに着目して、B1区域の北進地区とB2区域の上幌延地区を最終の候補地とした。

次に、北進地区と上幌延地区を比較した結果、試錐調査で得られた地質学的条件では、上幌延のHDB-2孔では割れ目が発達し、ガスの湧出を認めたこと、北進地区の方がより地形が開け、道路が発達していること、土地利用状況についても北進地区の方が許認可や用地取得が容易と考えられる原野や公的な機関の所有地が多いこと等を総合的に判断して、平成14年7月に北進地区の約3km四方を研究所設置地区として選定した(図3)(山崎ほか, 2002)。

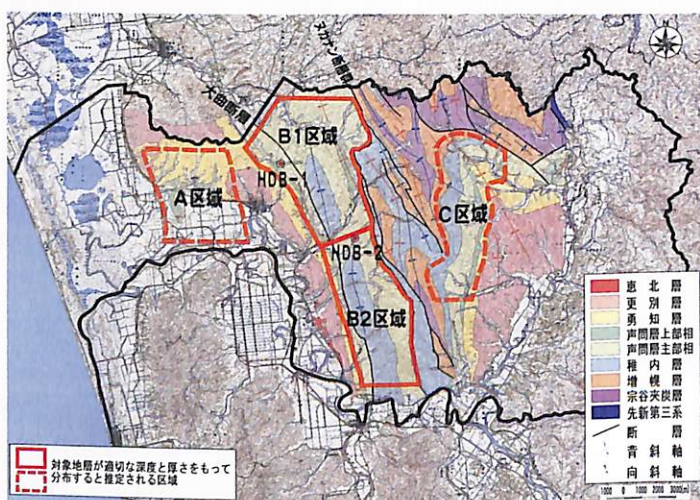


図2 研究所設置対象区域と試錐調査位置

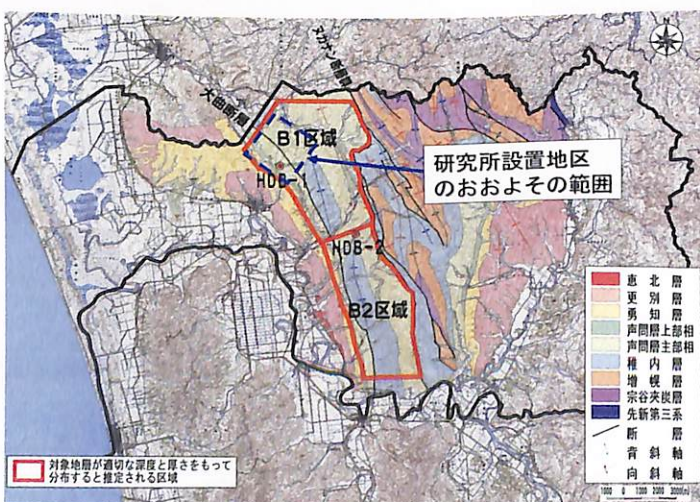


図3 研究所設置地区

4. 調査研究の進捗状況

平成14年度は、平成13年度に開始した地質環境データ取得のための地表からの調査で得た経験や知見を活かし、例えば、水理試験機にガス存在対応として、ガス/水2相状態で揚水可能なポンプ、ガス/

水分離槽の改良、定方位コア取得手法等の新たな調査手法の導入等、具体的に調査手法に工夫を加え、また、堆積岩中に掘削した試錐孔は自立性が低いことから、試錐孔を用いた試験に加え、試錐コアからの地下水の抽出等の試錐コアを用いた試験を組み合わせ、ガスが存在する軟岩である泥岩中の地質環境データを取得してきている。

一方、これまでの調査により、地層は極めて単調な珪藻質の泥岩であり、この時代(新第三紀)の泥岩として一般的な岩盤力学強度を有していること、地下水は淡水系の地下水と塩水系の地下水が存在すること、地下水にはメタンを主体とするガスが溶存していること、地下水は試錐孔の位置や深度により特徴的な水素/酸素同位体比分布を示すこと、また、局部的ではあるが非常に高い水圧を有する被圧地下水が存在すること等、この地域の地層や地下水の特徴が理解されつつある。その特徴の中で、地質環境特性の分布の不均質性という観点からは、平成13年度のHDB-1孔で得られた岩盤力学データは、その近傍の平成14年度のHDB-3孔のそれと整合的であるが、一方で、平成13年度データからは地層の透水性は全般に低く、地下水は基本的に塩水であるだろうと考えられたが、HDB-1孔から2km程度離れた平成14年度のHDB-4孔では4桁以上大きな透水係数を、HDB-5孔では淡水系の地下水の存在が確認されている。

このように、平成14年度は、平成13年度からの知見を踏まえつつ、研究所設置地区とその周辺地区において物理探査、地質調査、表層水理調査、試錐調査を実施中である(図4)。これらの調査により得られたデータに基づいて同地区の地質環境特性を把握するとともに、地質環境のモデル化を行う。地質環境モニタリング技術の開発では、平成13年度に掘削した試錐孔への長期モニタリング機器の設置を行い、地下水の圧力計測を実施中である。また、地質環境の長期安定性に関する研究では、地震観測用の地震計、地殻変動観測用のGPS(Global Positioning System)観測機器、MT観測機器を設置して観測を実施中である。

さらに、深地層における工学的技術の基礎の開発では、選定した研究所設置地区を対象として地下施設の基本レイアウト、基本的な施工計画を策定中である。

地層処分研究開発では、東海事業所と連携し、第2段階以降の地層処分研究開発の計画を具体化するために、人工バリアの定置等に関する室内試験、低アルカリ性コンクリート材料に関する室内試験等を実施中である。

また、今後の研究課題を整理するため、安全評価において重要となる地質環境データや現象の整理ならびに量や精度等の検討を実施中である。

地上施設に関しては、地形測量を実施し、それに基づいて研究所設置地区を対象に造成等に係わる基本設計を実施中である。

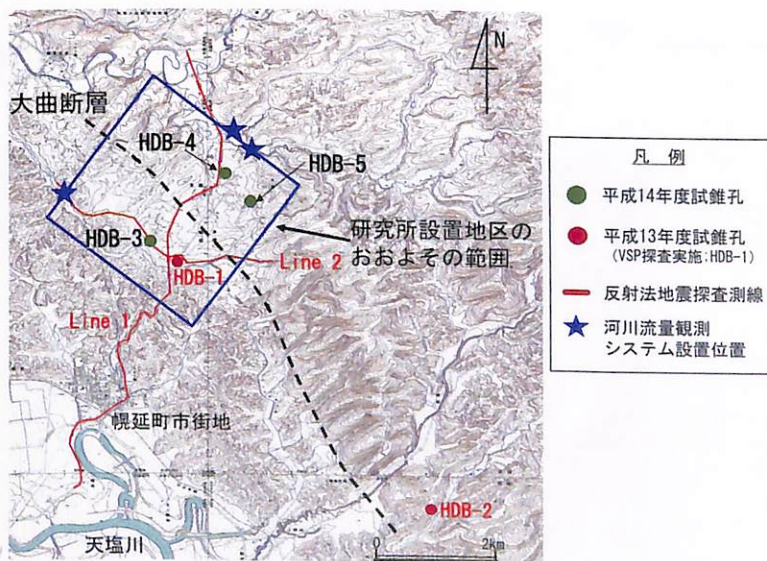


図4 平成14年度調査研究位置図

4.1 地層科学研究

1) 地質環境調査技術開発

平成14年度は、物理探査、地質調査、試錐調査を行い、地層の分布や断層等の地質構造に関するデータ、地層の透水性や地下水の圧力・水質、岩盤力学データを取得し、また、表層水理データ取得のための河川流量計の設置や、今後追加設置する機器の検討を実施してきている。

① 物理探査

平成 14 年度は、地層中を伝わる地震波の速度の違いに着目した反射法地震探査、VSP (Vertical Seismic Profiling) 探査を実施し、研究所設置地区とその周辺地区の地表から地下 2000m 程度までの地質構造をより詳細に推定するためのデータを取得した。反射法地震探査では、南北約 10.7km、東西約 4.3km、合計約 15km の測線を設定した(図 4)。地震波の発振源には大型バイブレータを 2 台、市街地では小型バイブレータを 1 台使用して調査を行い、発振は測線上を 50m 間隔で実施した(図 5)。地震波の受振には地震計を用い、地震計は 25m 間隔に測線上の道路の路肩に設置した。結果については、現在、詳細解析中であるが、図 6 に南北測線の速報段階の断面図を示す。

この断面図の横軸は測線方向、縦軸は深度で表示しており、地表から地下 4000m 程度までの反射波が捉えられている。1000m 以浅の反射面の傾向は、HDB-1 孔の南側では南傾斜の連続性の良い強反射面が幌延町市街地の地下まで確認でき、その南側では緩い北傾斜の連続性の良い反射面が確認できる。HDB-1 孔の北側では、緩い北傾斜の連続性の悪い反射面が確認できる。この HDB-1 孔から HDB-4 孔にかけての不連続部分は大曲断層の影響による可能性がある。今後、試錐調査のデータを用いて反射面と地質との対比等を行い、地質構造を推定する計画である。

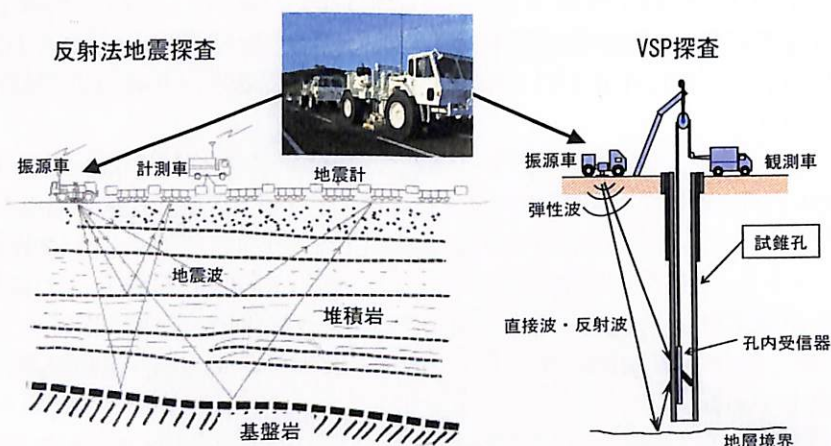


図5 反射法地震探査, VSP 探査の概念

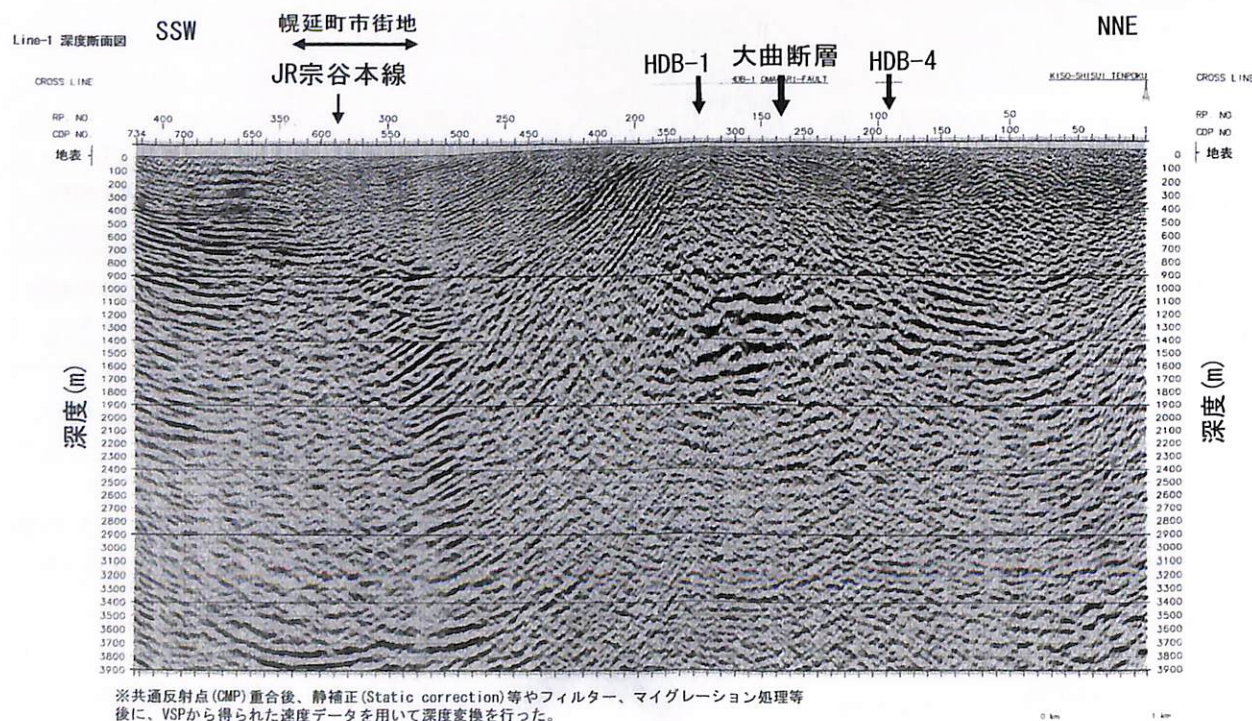


図6 反射法地震探査結果

② 試錐調査

平成 13 年度に実施した空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐調査の結果を基に、研究所設置地区において深度 520m の試錐孔を 3 孔 (HDB-3, 4, 5 孔) 掘削し(図 4)、岩芯(コア)を用いた室内試験、

掘削途中及び掘削終了後の試錐孔を用いた水理試験や、孔内水圧破碎試験を実施した。これらの調査では、地質、水理、地球化学、岩盤力学、ガスの有無・存在量に関するデータを取得し、その結果を地質環境モデルの構築や地下施設の設計に反映する。

試錐調査の結果、大曲断層の西側と推定される HDB-1,3 孔では、深度 400m 付近まで珪藻化石が保持される珪藻質泥岩が分布するが、大曲断層の東側と推定される HDB-4,5 孔では珪藻質泥岩の分布はそれぞれ深度 170m 付近及び深度 100m 付近までとなっており、下位の硬質頁岩の出現深度が浅くなっている(図 7)。

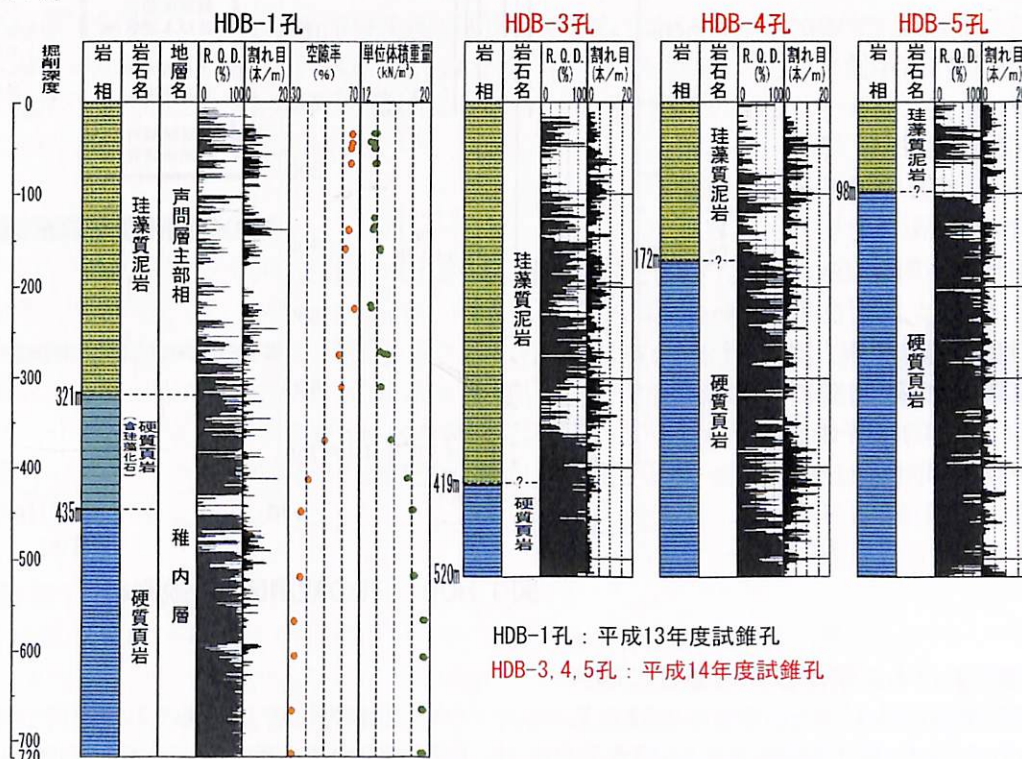


図7 地質柱状図

コアを使った力学試験で得られた HDB-3, 4 孔の一軸圧縮強度を平成 13 年度の HDB-1 孔の結果と比較したものを図 8 に示す。HDB-3 孔は、主に HDB-1 孔と同様な珪藻質泥岩を掘削しており、その一軸圧縮強度は HDB-1 孔とほぼ同様である。また、HDB-4 孔の硬質頁岩部では、最高 29MPa 程度の一軸圧縮強度を示す。

試錐孔内での水理試験による透水係数は、HDB-3, 5 孔で 10^{-7} m/sec から 10^{-9} m/sec オーダーの値を示した。また、HDB-4 孔では、掘削時に逸水が認められた箇所でも 10^{-5} m/sec オーダーの高い透水係数を確認した。現在、試験区間の地質、割れ目等との関係について検討中である。ガスに関しては、水理試験時に HDB-3 孔で 0.8 リットル/min のガス量、HDB-4 孔で 8 リットル/min のガス湧出を確認した。

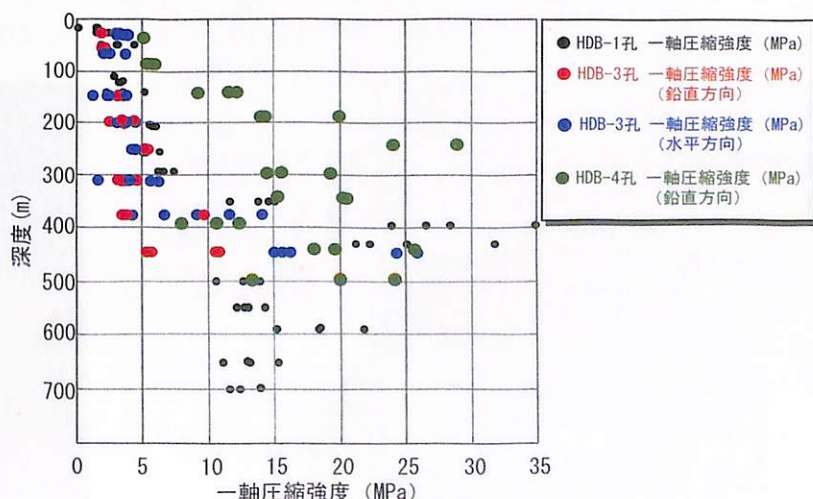


図8 コアを用いた一軸圧縮試験結果

2) 地質環境モニタリング技術の開発

長期モニタリングでは、地下施設建設前から地下水の圧力や水質等の観測を開始し、各調査活動や地下施設の建設による影響、その後の回復過程を系統的にモニタリングするために、平成13年度の試錐孔(HDB-1 孔)に長期モニタリング装置を設置し、データ取得を開始した。HDB-1 孔のケーシングパイプには火薬で9ヶ所モニタリング孔を空けてあり、この9ヶ所にMPシステムを設置した。

各区間の設置当初の圧力は水頭換算で+3～4m(一部+10m以上)程度であるが、一部区間で低い水頭値を示す(図9)。

地下施設の建設前、建設中、建設後の地質環境の変化を地震波や電磁波を用いて常時観測する遠隔監視システムについては、反射法地震探査、地上電磁探査、地殻変動観測用MT観測機器のデータを総合的に評価して、研究所設置地区及びその周辺地区の環境ノイズの把握に関する検討を実施している。

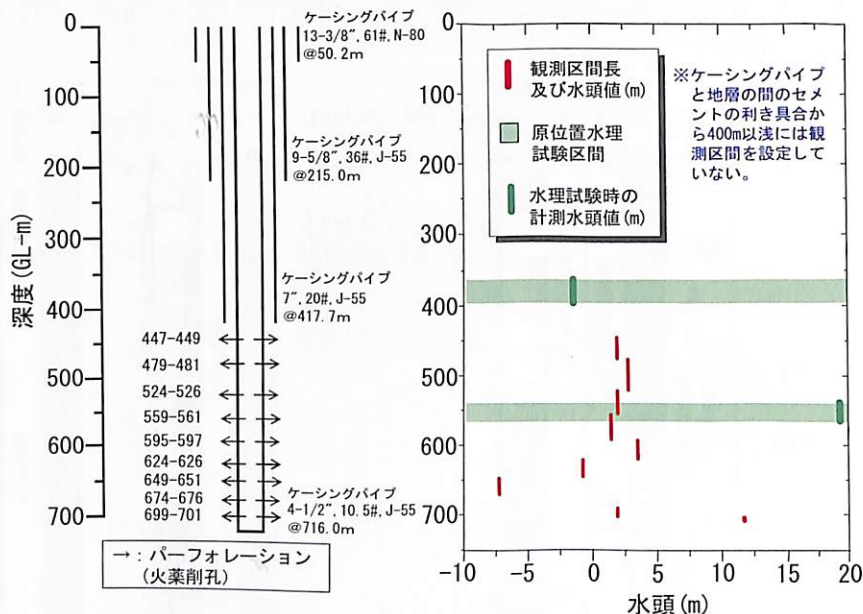


図9 HDB-1 孔の観測区間と観測結果

3) 深地層における工学的技術の基礎の開発

研究所設置地区を対象として地下施設の基本レイアウト、基本的な施工計画の策定を行っている。施工計画の策定では、地下施設における調査研究の他、施設の安全性を確保するために岩盤特性に応じた地下空洞の安定性を評価するとともに、施設の通気や防災対策等を十分考慮して進める。現在、研究所設置地区の開発のために必要な許認可手続き等を進めている。研究所設置場所については、用地取得や許認可の観点から、公共機関の土地で原野であること、また、平成13年度の試錐孔(HDB-1 孔)のデータを使えること等を考慮し、幌延町のトナカイ観光牧場に隣接する土地を候補地として選定した(図10)。また、地下施設のレイアウトとしては地下250mと500mに試験坑道を展開することとし、アクセス方式については立坑方式とスパイラル方式を比較検討した結果に基づき、経済性が良く、工期の短い立坑方式を採用することとし、かつ安全性の観点から立坑3本方式とした(図11)(白戸, 2002)。

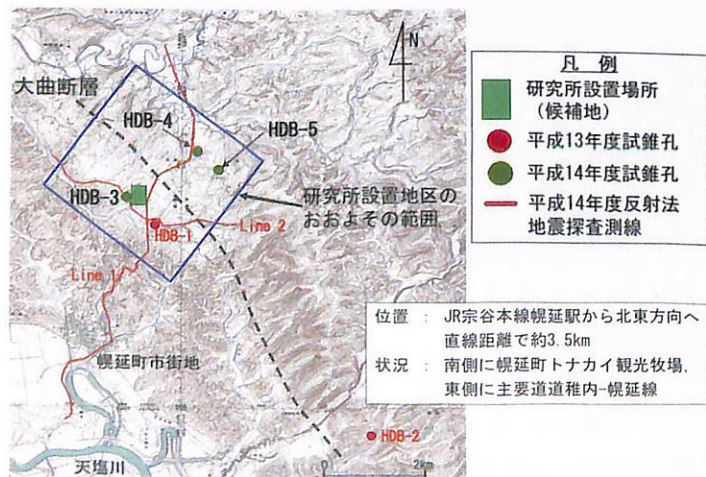


図10 研究所設置場所(候補地)

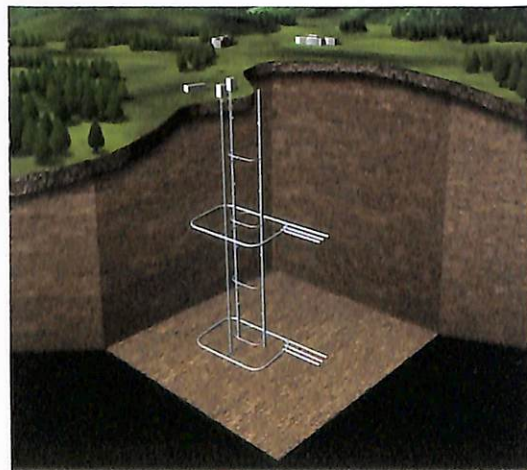


図11 地下施設のイメージ(立坑3本)

4) 地質環境の長期安定性に関する研究

試錐孔内設置型地震計を設置するための試錐孔(深度 140m)を掘削し、地震計を設置して地震観測を開始した。また、地殻の歪み等の観測を行うための、地殻変動観測用 MT 観測機器、GPS(Global Positioning System)観測機器を設置して観測を開始した。今後、防災科学技術研究所が設置している Hi-net 等、近傍の他の地震観測データと併せて震源分布の推定等を行う。

4.2 地層処分研究開発

地層処分研究開発については東海事業所と連携して進めており、処分技術の信頼性向上では、主に第2段階以降に坑道を用いて行う試験研究計画の具体化のための検討を行っている。また、安全評価手法の高度化については、安全評価に必要なデータの項目、量、精度の確認、モデルの適用と改良を行うこととしており、課題の整理等を実施している。

1) 処分技術の信頼性向上

人工バリアの搬送定置や支保工材料、坑道閉鎖、周辺岩盤を含む人工バリアの長期挙動に関して、第2段階以降に地下施設で行う試験計画(目的、内容、レイアウト等)の検討を進めている。併せて、計画の具体化のために、人工バリアの搬送定置装置に求められる精度を検討する観点から、緩衝材とオーバーパックの間に生じる隙間が緩衝材機能に及ぼす影響を把握する室内試験を実施しているほか、低アルカリ性コンクリート材料の施工性等に関する室内試験を実施している。また、第2次取りまとめで示した人工バリア設計手法の実際の地質環境への適用性を検討する観点から、幌延の地質環境データを用いた人工バリアの試設計等を実施中である。

2) 安全評価手法の高度化

研究所設置地区及びその周辺地区について、文献情報や試錐調査等から得られるデータを用いて、取得データの安全評価への取り込み方法や取得データが増えることによる解析結果への効果、その不確実性の変化等について確認し、安全評価において扱うべき重要な地質環境データの項目や現象の整理ならびに、データに求められる量や精度等を明らかにするための研究課題の整理を実施中である。

さらに、米国 SNL (Sandia National Laboratories) との共同研究の中で幌延のデータを用いた、物質移行に関する感度解析の実施について調整中である。

5. 環境調査

地下施設の建設等が環境に与える影響を未然に防止する観点から、研究所設置地区を対象に自主的な環境調査を実施中である(図 12)。これまでに、夏季(平成 14 年 8 月 26 日～31 日)と秋季(9 月 30 日～10 月 9 日)に動植物調査と騒音・振動調査を実施した。夏季、秋季調査の結果、重要種としてエゾサンショウウオ、ヤマメ、エゾトミヨ等の動物や、ハイドジョウツナギ、ノダイオウ等の植物を確認した。現在は、冬季(平成 15 年の 2 月 3 日～7 日)の動物調査を終了し、結果を取りまとめ中である。

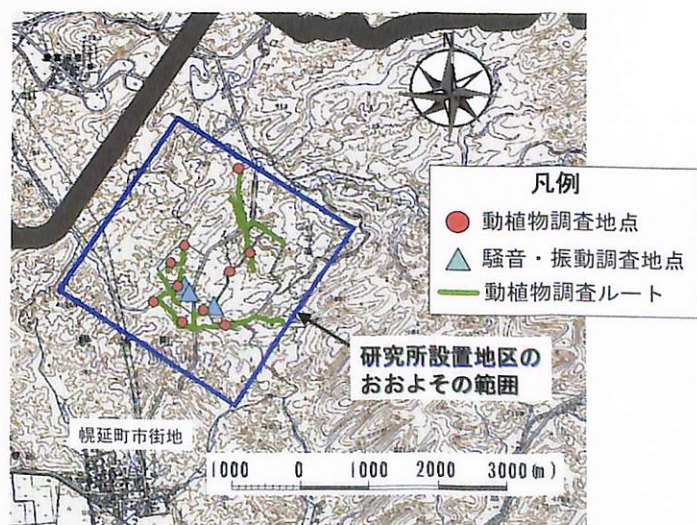


図 12 環境調査実施範囲

6. おわりに

幌延深地層研究計画における深地層での研究を通じて得られた成果としての技術や知見は、処分事業の推進や、国が進める安全基準等の具体化に反映するとともに、多くの人々に深地層やそこで行われる研究を実際に見て体験して頂くことにより、深地層の環境や地層処分について理解を深める場としての整備を進めていく。また、広く国内外の機関と協力しながら開かれた研究を推進する。

参考文献

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)

保柳康一, 宮坂省吾, 渡辺 寧, 木村 学, 松井 愈(1986):衝突帯のタービダイト相形成とテクトニクス-中新世・中央北海道の例-, 地団研専報31, pp.265-284.

核燃料サイクル開発機構(2002):幌延深地層研究計画 平成13年度調査研究成果報告, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2002-004.

長尾捨一(1969):北海道の構造性天然ガスについて, 北海道立地下資源調査所報告, No.40, pp.1-5.

白戸伸明(2002):幌延における地下施設の検討状況, 平成14年度地層科学研究情報・意見交換会「要旨集」, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-006.

山崎眞一, 中司 昇, 浴 信博, 守屋俊文, 竹内竜史, 國丸貴紀, 白戸伸明, 尾方伸久(2002):幌延深地層研究計画 平成13年度調査研究結果と研究所設置地区選定, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2002-017.

【サイクル機構の研究開発報告】

[個別技術報告]

処分技術と安全評価に関する研究開発の現状
—実際の地質環境を対象とした取組みを中心として—

処分技術と安全評価に関する研究開発の現状 －実際の地質環境を対象とした取組みを中心として－

核燃料サイクル開発機構
東海事業所 環境保全・研究開発センター
処分研究部
部長 石川 博久

1. はじめに

地層処分の研究開発において、モデル開発やデータ取得等の個別要素の開発に加えて、実際の地質環境における地層処分技術の適用性確認の取組みが重要である。

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)では、これまで海外の地下研究施設や釜石鉱山等既存の地下施設を利用した研究により、東海事業所のエントリー等にて開発してきた処分技術や解析モデルについて適用性確認や検証を進めてきた。今後とも、エントリー及びクオリティにおける研究開発と、深地層の研究施設において段階的に進められる研究開発、海外の地下研究施設等における共同研究とを有機的に連携していくことにより、「処分技術の信頼性向上」及び「安全評価手法の高度化」に係わる研究開発を、効率的かつ合理的に進めていく。

本報告では、サイクル機構が国際共同研究として進めている海外の地下研究施設を活用した実際の地下環境を対象とした研究開発の取組みと、今後の進め方について報告する。

2. 研究開発課題と進め方

東海事業所で進めている地層処分研究開発の課題である、「処分技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」について、これまでエントリーおよびクオリティにおける室内試験を中心に、長期挙動や現象の理解に基づき予測モデルや評価モデルの構築を進め、実際の地質環境条件の不確実性を考慮し、また、設計・施工条件と整合をとりつつ、ニアフィールドの長期挙動評価や安全評価におけるシナリオ、モデル、データベースの開発を進めてきた。妥当性の確認についてはナチュラルアナログ研究等を活用し、研究成果については、分りやすい提示と透明性、追跡性の確保を主眼としてきている。これまでに、エントリーおよびクオリティにおいて、第2次取りまとめまでのデータの補完として、海水系のデータ等を中心にデータの拡充を図るとともに、データベース化を進めている。特に、熱力学データを中心とした核種移行データベースを構築し、公開準備を進めている。また、モデルの高度化として、様々な個別現象モデルを連携させる「連成モデル」の開発、天然の地層における空間的な不均質性や評価の不確実性を考慮した「水理物質移行モデル」の開発等、現象に則したモデル開発を着実に進めている。

今後は、深地層の研究施設計画における実際の地質環境データの取得の進展に合わせて、室内試験等に基づき開発してきた解析・評価手法の適用性や不確実性等について確認していくことが重要となってくる。特に、サイクル機構の特徴としては、工学規模から実験室規模までの条件を制御した試験が可能なエントリー、実際の放射性物質が取り扱えるクオリティに加え、幌延および瑞浪の深地層の研究施設という実際の地質環境の場があり、それぞれの施設の特徴を活かし、有機的に連携することにより信頼性が高く、普遍的な成果を得ることができる。図1に、室内試験と深地層の研究施設での試験との連携の考え方を示す。

海外の地下研究施設では、国際共同研究として取組むことにより、各国の研究開発機関における最新の知見や成果を持ち寄り、効率的かつ合理的な研究開発に資することができる。国際共同研究に参画することにより、これまで開発してきたモデルや処分技術の確認とともに、今後のわが国の深地層の研究施設での研究開発計画に直接役立つことが期待される。なお、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わが国の計画を補完することが重要である。

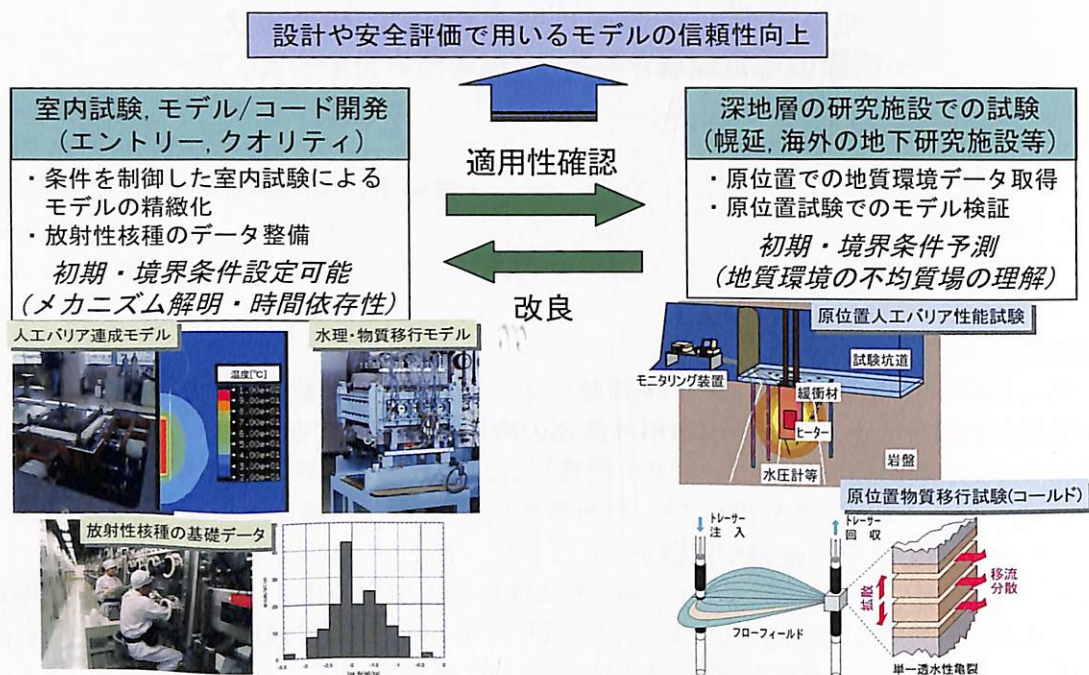


図1 室内試験と深地層の研究施設での試験との連携の考え方

3. 実際の地質環境を対象とした取組み

海外の地下研究施設を利用した「処分技術の信頼性向上」および「安全評価手法の高度化」に関わる取組みを以下に紹介する。「処分技術の信頼性向上」では、人工バリア工学技術の検証や人工バリア等の長期複合挙動に関する研究を、「安全評価手法の高度化」では、岩盤中での水理・物質移行モデルの開発、現象論的核種移行モデルの開発、コロイド等の影響評価モデルの開発を中心に、各国が共通して直面している技術的課題に海外の専門家と協力して取組んでいる。これら先行的な取組みから得られる成果は、原位置試験と室内試験／モデル開発との連携手法等、今後深地層の研究施設等で直面する課題に対して貴重な情報を与えるとともに、研究計画の合理化につながるものと考えられる。

3.1 処分技術の信頼性向上

1) 人工バリア工学技術の検証

カナダ AECL との国際共同研究として AECL の地下研究施設(花崗岩)を利用したトンネルシーリング試験(TSX:Tunnel Sealing Experiment)を実施している。これは、地層処分システムとして安全評価上重要な人工バリア工学技術の一つである処分坑道の閉鎖技術に関する検証試験である。本試験の目的は、実規模プラグ(粘土及び低アルカリ性コンクリート)について、花崗岩の地質環境を考慮した設計・設置技術の適用性の評価、施工されたプラグのシーリング性能の評価、その性能に影響を与える要因の抽出である。特に粘土プラグは、サイクル機構が第2次取りまとめで示した仕様に基いている。現在、設置したプラグの力学的・水理的挙動の計測・評価を行っている。粘土プラグの水理的挙動に関しては、プラグ及びプラグ近傍の岩盤を通過する湧水量・経路等に関するデータに基づき、プラグ周辺環境の湧水経路に関する評価技術の構築のため、計測データによる解析モデルの検証を実施している(升元・杉田, 2002)。今後、この花崗岩における閉鎖技術の知見を取りまとめるとともに、岩種が異なることも考慮しつつ、幌延の深地層の研究施設における試験研究に反映させる予定である。

2) 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

人工バリア等のニアフィールド環境における長期複合挙動をより現実的に評価するためには、ニ

アフフィールドの時間・空間的変遷を、熱、水、応力、化学が連成する挙動として捉え、実現象に基づく解析コードによる予測が必要である。この連成挙動を評価する解析コードの開発・高度化には、他の解析コードとのベンチマークテスト解析や原位置試験等のデータを用いた確証が不可欠である。

実現象を理解するためには、原位置における試験を通じた研究を実施することが重要であるが、サイクル機構では、原位置における試験としてスウェーデン SKB の地下研究施設(花崗岩)を利用した PRP (Prototype Repository Project; Svemar and Pusch, 2000) に参加している。ここでは、図 2 に示すように複数本の実規模の人工バリア(廃棄体: 廃棄体を模擬したヒーター)を地下深部に設置し、熱的、水理的、力学的プロセスが相互に影響し合う挙動について、ニアフィールド環境を調査・評価するものである。これまでに、熱-水-応力連成挙動の計測技術に関する技術協力を行うとともに、実環境における現象の理解、計測データとの比較による熱-水-応力連成現象評価モデルの妥当性の評価を行っている。図 3 に、PRP における 2 本の廃棄体に対してサイクル機構が開発した連成モデルによる廃棄体定置後 200 日後の温度分布の解析例(予測評価)を示す。

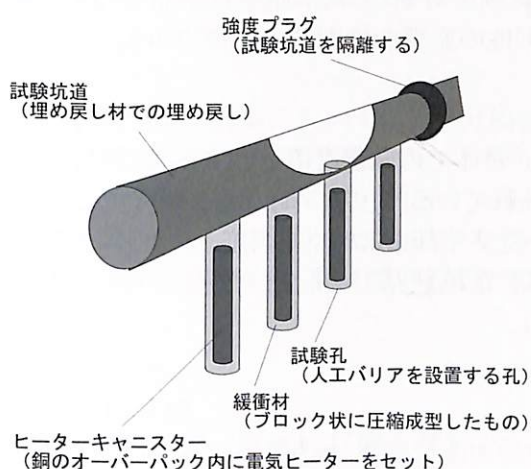


図2 PRP の模式図

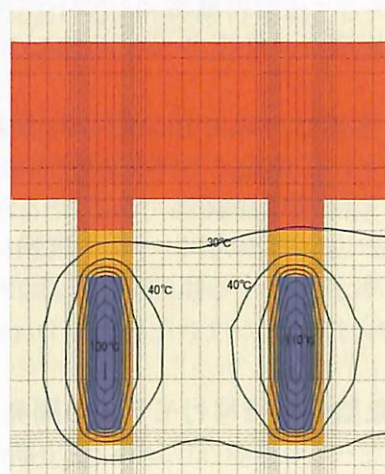


図3 定置後 200 日後の温度分布解析例

また、人工バリアにおける熱-水-応力連成挙動モデルの高度化に関する研究として、9 カ国 14 機関から成る国際共同研究 DECOVALEX に参加し、連成モデルの開発・高度化を目的として、各国の連成解析コード間のベンチマークテスト解析や室内/原位置連成試験に対する確証解析を行っている(杉田ほか, 2002)。

3.2 安全評価手法の高度化

1) 岩盤中での水理・物質移行モデルの開発

岩盤中での水理・物質移行に関しては、モデル開発にエントリーや国際共同研究における室内試験の成果を活用し、海外の地下研究施設を利用してモデルの適用性確認を行うことによりモデルの信頼性向上を図っている。

①単一亀裂: スウェーデン・SKB の地下研究施設におけるÄspö水理・物質移行モデリングタスクフォース

サイト特性調査と性能評価の連携を目的として、性能評価上重要なニアフィールド周辺岩盤中の亀裂中の核種移行評価の信頼性を向上させるため、トレーサー試験の持つ性能評価上の不確実性の評価を実施している。最終的には数 10m~100m スケールを評価することを目標に、段階的に単一亀裂から亀裂ネットワークスケールへと課題を設定している。最初の段階として、単一亀裂で行われた 5m スケールのトレーサー試験を説明可能なモデルを構築し、性能評価で用いる動水勾配(0.1%)でのモデルの挙動の比較検討を行った(吉添・Dershowitz, 2002a)。

サイクル機構は、空隙率の高い亀裂充填物が短期間のトレーサー試験に及ぼす影響に着目し、トレーサー試験結果を説明可能な空隙率の高い亀裂充填物を考慮したモデルと考慮しないモデルを構築した後、0.1%の動水勾配条件でモデルによる解析結果を比較した。空隙率の高い充填物を考慮したモデルと考慮しないモデルは、図4のように挙動が大きく異なり、パラメータを解釈する際に空隙率の高い充填物の存在を考慮しないとマトリクス拡散の効果を過大評価する可能性があることを指摘した。今後は100m スケールでの亀裂ネットワークでのトレーサー試験を対象とした不確実性解析を行い、亀裂交差部の影響など亀裂ネットワークスケールでの不確実性の影響を検討する予定である。

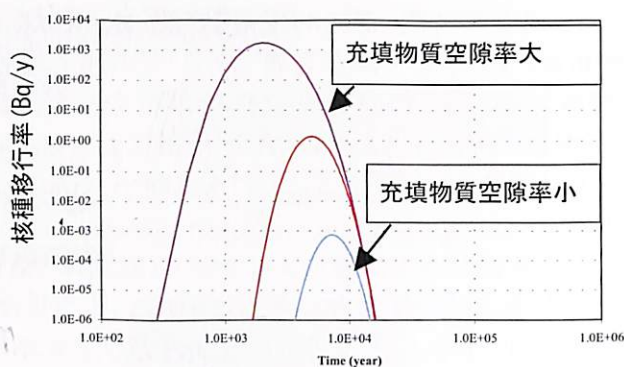


図4 空隙率の高い充填物を考慮した場合と考慮しない場合のAm241の破過曲線

②亀裂交差部:TRUE Block Scale 試験

エントリーで実施している亀裂交差部を含む 50cm 岩体での試験 (NETBLOCK 試験) において、亀裂交差部が卓越経路であることを示す結果が得られている。一方、Äspö地下研究施設で行われた 100m スケールのトレーサー試験においては、亀裂交差部をまたいで実施されたトレーサー試験は回収率が低下する傾向を示しており、亀裂交差部が卓越経路であることを仮定すると実際の回収率を再現することができた (吉添・Dershowitz, 2002b)。

2) 現象論的核種移行モデルの開発

ベルギー・モルの HADES 地下研究施設 (ブーム・クレイ粘土層) において、放射性核種添加ガラスを用いた原位置試験に関する国際共同研究 (CORALUS プロジェクト) が行われており、サイクル機構も参画している。本プロジェクトの目的は、ブーム・クレイ粘土層における放射性核種を含むガラスの溶解やベントナイト中の核種移行挙動の把握とモデルの適用性確認であり、すでに放射性核種 (Pu, Am, Np 等) 添加ガラスやベントナイトが埋設されている (Iseghem et al., 1998)。各国とも事前にガラス浸出室内試験やモデル化等の協力を行っており、サイクル機構においても、第 2 次取りまとめで用いた人工バリア中の核種移行解析モデルや核種移行データベースの原位置試験による確証を目的として事前解析を実施した。解析においては、埋設予定期間 2.5 年を想定し、原位置地下水化学に基づき、圧縮ベントナイト中の間隙水化学、ガラスの溶解速度、核種の溶解度、核種の分配係数や拡散係数を予測・評価し、圧縮ベントナイト中の核種移行挙動を予測した。

3) コロイド等の影響評価モデルの開発

スイス・グリムゼル原位置試験場 (花崗岩) の研究用トンネルを横切る単一透水性亀裂を対象に、コロイドによる放射性核種の移行・遅延の評価を目的とした原位置試験プロジェクト (CRR プロジェクト; Smith et al., 2001) が 1998 年から国際共同研究プロジェクトとして展開され、サイクル機構も参画している。これまでに、亀裂中における核種とコロイドの移行挙動に関する知見が得られた。現在は、試験対象亀裂の水理特性を考慮した核種の移行・遅延に対するコロイドの影響評価モデルを開発し、安全評価手法としての信頼性評価を行って

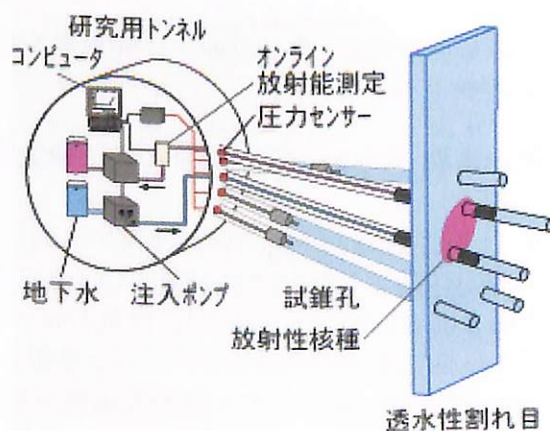


図5 グリムゼル原位置試験の概略

いる。サイクル機構は、エントリーにおけるコロイド特性評価試験や亀裂中でのコロイド-核種-岩盤相互作用を考慮したモデル解析を実施した。図 5 にグリムゼル原位置試験の概略を、図 6 に、サイクル機構が実施した CRR 実験における Am の移行挙動とモデル解析結果の比較例を示す。コロイドが共存する系での Am の移行挙動は、コロイドからの脱離速度に影響を受けることが確認され、コロイドに対する核種の収着反応の不可逆性等に関して室内試験の重要性がより強く認識されるに至っている。

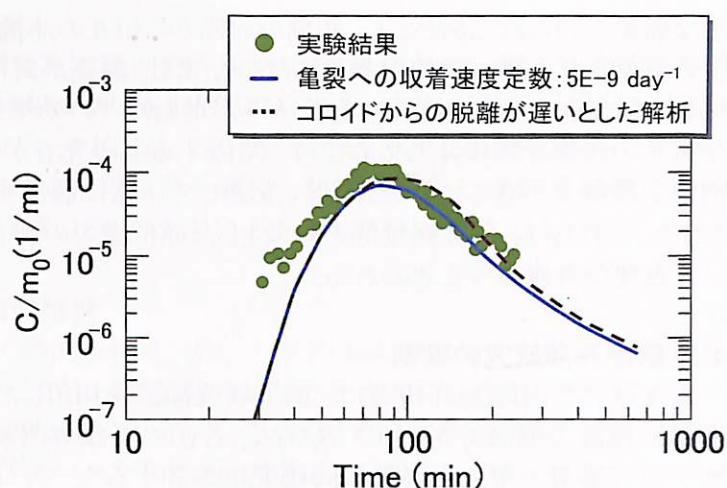


図6 CRR 実験における Am の移行挙動とモデル解析結果の比較例

また、当原位置試験場においては、処分場にセメント材料を用いた場合のセメント-地下水反応により発生する高 pH 溶液の影響を調べる目的で、セメント影響原位置試験に関する国際共同研究 (HPF プロジェクト) も行われており、サイクル機構も参画している。セメントによる高 pH 溶液の影響については各国の共通の課題となっており、本研究では、花崗岩亀裂中での 2 次鉱物の生成等亀裂の変質の把握や核種移行挙動に関する原位置試験が行なわれる。

4. 今後の進め方

4.1 分野間の連携

地層処分システムの長期の安全性評価の信頼性は、安全評価分野の中での検討のみならず、地質環境特性や処分技術(設計)からの情報の入手、あるいは安全評価の結果に基づく必要情報の提示などのやりとりがくり返し行われることにより、段階的に向上していくことができると考えられる。また、今後の地層処分研究開発においては、具体的な地質環境を対象として安全性を評価することのできる技術の開発が重要となるが、そのような評価に関わる情報の種類や相互の関係は極めて複雑になることが想定される。

そのため、「深地層の科学研究」「処分技術の信頼性向上」及び「安全評価手法の高度化」の分野間(以下、3分野という)での情報のやりとりを円滑に行うことができる環境を整備することは、3分野間の連携の効率的な実施を支援するために重要である。また、このような環境が整備されることにより、安全評価の整合性や追跡性が向上し、評価結果の品質の向上に資することが期待される。なお、ここで対象とする情報とは、様々な試験や調査の結果、それらの解釈・解析・考察・判断の結果、あるいはそれらを得るためのノウハウなどである。

このような環境を整備するための取組みとして、これまでに、第2次取りまとめを基礎として、情報の一般的な関係についての整理と体系化を進めてきている。また、平成 16 年度を目標に、体系化の成果を反映したデータベース機能、データの登録・参照機能、可視化機能などを備えた計算機システムとして具体化する予定である。また、このシステムを基本構成として、今後事例が増加する分野間での実務的な連携作業と情報のやりとりを適宜反映していくことにより、上記目的に沿った環境へと段階的に向上させていく。

原位置での調査研究と安全評価の間の相互の連携の有効性の検討にあたって、海外の事例調査として、米国サンディア国立研究所との国際共同研究の中で、米国における Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), Yucca Mountain Project (YMP) および Greater Confinement Disposal (GCD; 軍事関係の TRU 廃棄物を 40m 深さのボアホール下部 15m 部分に処分) を対象に、不確実性評価の結果を原位置での調査研究の進め方にどのように反映しているかに着目した調査を行った。この結果、顕

著な効果が得られた例として、初期の段階から相互の連携をくり返し実施した GCD において不確実性の低減などの高い効果が得られたこと、また、調査が先行した WIPP においても、相互の連携を取り入れることにより重要課題の絞り込みが進むなどの効果が得られたことがわかった。一方、このような相互の連携を実現するためには、関係する全研究者が全体の目標を理解し自分たちの作業との関係を理解すべきこと、またくり返しを通じて一緒に進歩すべきこと、などが特に重要であることが示された。これらは、今後幌延等を対象とした原位置での調査研究と安全評価の間の相互の連携において重要な考慮事項と思われる。

4.2 国際共同研究の役割

3.で述べた国際共同研究は、地下研究施設を利用した各国共通の技術課題であり、単に、一地下研究施設で解決できるものではなく、各国の当該専門家の協力が不可欠である。先行的にこれら地下研究施設を用いた国際共同研究に参加することで、①国際的な課題に対する専門家の合意形成に寄与するだけでなく、②特に、海外で先行的に進んでいる結晶質岩における重要な経験や技術的知見の処分事業や安全規制への提供、③幌延等の深地層の研究施設における当該研究計画の合理化、④既に専門家間で重要性が認識されている室内試験、モデル開発、データベース開発と原位置試験の連携手法の構築に寄与するものと考ええる。

サイクル機構が参加している国際共同研究は、いずれも上記①～④の役割の多くを担っており、各国の専門家の英知を結集し、対応されているものである。

さらに、国際共同研究は、わが国の深地層の研究施設における研究開発の補完としての役割を有している。結晶質岩については、既に海外で実規模での試験等により人工バリアシステムの確認や水理物質移行モデルの確認等が行われていることから、ここで得られる知見を活用し、わが国で実施すべき項目を合理化している。

4.3 今後の課題と進め方

3.で述べた国際共同研究による海外の地下研究施設を利用した原位置試験や室内試験／モデル開発の経験を踏まえ、わが国の深地層の研究施設計画の進展に合わせて進めていく主要な個別課題について紹介する。

1) 深地層の研究施設の進展における個別研究の重要課題

4.1で述べた3分野間の連携は、深地層の研究施設計画の各段階における情報量・質の程度に応じて適切に進められていく。以下、具体的に、深地層の研究施設計画における進展を踏まえ、水理・物質移行研究、地下水化学研究、処分技術開発の観点から、重要課題について述べる。

水理・物質移行研究に関しては、室内試験、原位置試験から得られた移行プロセス、断層・亀裂等の巨視的構造、移行経路の微視的構造に関する知見をモデル化し、性能評価の条件下での影響を評価することにより、性能評価上重要となる要因を抽出し、サイト特性調査側にフィードバックする。地表からの調査段階においては、断層・亀裂等の巨視的構造が課題となり、地下施設における調査段階では移行プロセスや移行経路の微視的構造が課題となる。サイクル機構の深地層の研究施設計画は地表からの調査研究段階であり、断層・亀裂等の巨視的構造が当面の課題となり、地下施設における調査段階にある海外の地下研究施設にない利点を有している。移行経路の微視的構造やそこで考慮すべき移行プロセスは、岩盤に依存するので、海外の地下研究施設で得られた知見を、わが国の岩盤条件に合わせて改良することが地下施設における調査段階におけるわが国の深地層の研究施設の役割となる。

地下水化学研究に関しては、人工バリア等の設計や核種移行評価等の性能評価で必要となる地下水化学特性(特に、pH、Eh、イオン強度、炭酸、有機物、コロイド、微生物)について、深地層の研究施設計画の各段階で得られる地下水化学や岩石の地球化学特性に応じて、地下水水質形成モデルや多変量統計解析等により水質の解釈を必要に応じて補正するとともに、水質の空間的分布を

把握していく。

処分技術開発については、深地層の研究施設計画の各段階で得られる水理、地下水化学、力学特性を用いた設計フローを構築し、地下施設設計・施工と連携しつつ、人工バリアの試設計を進めていく。これら処分技術開発の基礎となるデータは、2)、3)に述べる研究開発成果に基づき整備していく。これらの検討に基づき、設計手法の適用性確認を目指した個別現象の原位置試験計画の詳細化(例えば、深さ、スケール、環境条件等の設定)を進める予定である。

2) ニアフィールド環境に関する基盤情報の整備

地層処分では、地下深部環境において熱的、水理学的、力学のおよび地球化学的な現象が相互に影響し合い連成した挙動として捉えることが、より現実的な設計や安全評価を行うために必要である。これまでに、熱、水、力学における連成挙動を中心として、国際共同研究を通じて海外の地下研究施設を活用した連成試験の実施及びデータの取得、海外機関の連成コードとのベンチマークや原位置試験データを用いた検証を行い、処分技術に係わる基礎基盤情報・技術として整備してきた。今後も継続して原位置における試験データを取得するとともに、特に、国際的共通課題となっている地球化学的現象(海水系地下水、オーバーパックの腐食生成物、セメント等による岩盤や緩衝材への化学的影響)を考慮した連成挙動評価について、研究開発を行っていく。また、これらの成果を人工バリアや天然バリアに求められる性能やその評価手法の観点から整理するとともに、幌延の深地層の研究施設における熱-水-応力-化学連成現象を中心とした原位置試験計画に反映する予定である。

3) 人工材料の開発

人工材料の開発として取組んでいる低アルカリ性コンクリートは、諸外国でも普通コンクリートの有望な代替材料として検討されており、残されている主たる課題は施工性の確認である。サイクル機構における施工性開発では、室内実験により圧縮強度やpH挙動の把握を行うとともに、屋外での施工試験により基本的な施工性を確認している。また、低アルカリ性であるがゆえに問題となる鉄筋の腐食についても室内実験と屋外暴露による試験を実施している。今後の2～3年はこれらの実験を継続し、実際の工事で支障なく施工できるとともに、強度や耐久性など品質面でも問題のないことを確認する。これらの成果を踏まえて幌延の深地層の研究施設の建設に用いることにより最終的な施工性の確認を行う予定である。具体的な適用としては、立坑の支保工としての場所打ちコンクリート、水平坑道の支保工としての吹付けコンクリートを予定している。これらは、施設の一部に対して適用し、一般部には普通コンクリートを使用し、地下水への影響などを比較する。また、幌延の第3段階で実施される坑道閉鎖試験(プラグ)やセメント影響試験においても適用を検討している。

4) 核種移行評価研究

ニアフィールドの核種移行に関する原位置試験については、化学アナログに基づき、実際の放射性物質を用いた核種移行試験まで行う必要はないが、第2次取りまとめで用いた核種移行評価手法(シナリオ、モデル、データベース)の妥当性を確認する必要がある。特に、今後特定の場所を対象とした地質環境特性や処分場の設計(例えば、コンクリート支保の影響)を行うことができる技術の開発として、核種移行評価上かぎとなる原位置試験を、室内試験と連携し行う必要がある。人工バリア、特に圧縮ベントナイト中や岩盤マトリックス中の核種移行試験については、原位置の地下水を用いた室内試験で十分と考えられる。周辺岩盤中の物質移行試験については、支配的な物質移行経路を想定した原位置物質移行試験を、各段階の地質環境特性に関する情報量・質の程度に応じ設計、実施していく必要がある。核種移行試験に関しては、岩盤や地下水化学の特性はもとより、第2次取りまとめでは定性的な評価にとどまっていたコロイド、有機物、微生物の影響評価により力を入れていく必要がある。

5. おわりに

処分技術や安全評価手法の実際の地質環境への適用性確認は、地表からの調査段階から地下施設における研究まで段階を追って詳細化される地質環境特性に関する情報量・質の程度に応じ行なわれる。本稿で述べた海外の地下研究施設を活用した国際共同研究は、単に場の提供ではなく、世界各国が共通して直面している技術的課題に対して、当該分野の国際的専門家を動員して解決を図っていかなければならない課題であり、既に地下研究施設を有する国でも、他国のプロジェクトへ参画し共通課題として取り組んでいる。今後も、わが国の深地層の研究施設における主要な研究開発については、国際協力によって蓄積された技術的知見や動向も踏まえて、室内試験によるモデル化、データベース開発と連携しつつ、国際的合意形成も含めて合理的に研究を進めていくことが重要である。

参考文献

- Iseghem, P.V., Valcke, E. Godon, N. and Jockwer, N. (1998): CORALUS: an integrated in situ corrosion test on α -active glass, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.506, pp.961-967.
- Kickmaier, W., Alexander, W.R., Vomvoris, S. and McKinley, I.G. (2001): Grimsel 2000-Status of International Projects at the Grimsel Test Site (GTS), *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol.663, pp.893-900.
- 升元一彦, 杉田 裕 (2002):カナダ URL における実規模プラグの性能確認試験, 土木学会第 57 回年次学術講演概要集, 共通セッション, CS10-031.
- Smith, P.A., Alexander, W.R., Kickmaier, W., Frieg, B., McKinley, I.G. and Ota, K. (2001): Development and testing of radionuclide transport models for fractured rock: examples from the Nagra/JNC Radionuclide Migration Programme in the Grimsel Test Site, Switzerland., *Journal of Contaminant Hydrology*, vol.47, pp.335-348.
- Svemar, C. and Pusch, R. (2000): Äspö Hard Rock Laboratory – Prototype Repository – Project description, SKB IRR-00-30.
- 杉田 裕, 伊藤 彰, 川上 進, 油井三和, 大西有三, 小林 晃, 操上広志, 千々松正和, 雨宮 清 (2002): 人工バリアおよび周辺岩盤における連成モデルの開発プロジェクト -国際共同研究「DECOVALEX」, 土木学会第 57 回年次学術講演概要集, 共通セッション, CS10-051.
- 吉添 誠, Dershowitz, W. (2002a): 亀裂ネットワークモデル及び GoldSim による解析, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書;三菱商事), JNC TJ8440 2002-005.
- 吉添 誠, Dershowitz, W. (2002b): 亀裂ネットワークモデルによる解析作業の実施および長期揚水試験の計画策定に関する支援, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書;三菱商事), JNC TJ7400 2002-002.

【特別講演】

事業化段階における地下研究施設の役割

- The Role of URLs in the Repository Implementation Phase -

【講演者紹介】

Neil A. Chapman

スイス放射性廃棄物管理協同組合(Nagra)上席相談役(Executive Consultant)

シェフィールド大学教授・理学博士

＜経歴概要＞

ダーラム大学地質学科卒業後、1974 年、エディンバラ大学にて博士号取得(地質学)。リーズ大学博士特別研究員(高圧・高温岩石学)を経て、1990 年まで英国地質調査所・流体プロセス研究グループ(うち1年間、伊エンジニアリング会社 ISMES に勤務)。この間、環境汚染に関する様々な課題に従事し、おもに放射性廃棄物処分に従事。1990 年～1999 年、コンサルティング会社クオンティサイ社地球科学グループ。1999 年より、スイス放射性廃棄物管理共同組合(Nagra)上席相談役、パンゲア社(放射性廃棄物の国際共同処分を目指すスイス・英国会社。2002 年に非営利組織アリウスに移行)の科学技術部長、2002 年アリウス計画部長。1996 年よりシェフィールド大学環境地質学教授。放射性廃棄物管理の科学技術的課題に関する論文・著書は 100 編を超える。現在、国際機関のほか、各国放射性廃棄物管理プログラムに対してコンサルタントを行っている。

わが国では、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会が開催した国際ワークショップー我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分における技術的信頼性についてー(2000 年)でパネリストをつとめたほか、現在、原子力発電環境整備機構・技術アドバイザリー国際委員会委員をつとめる。

The Role of URLs in the Repository Implementation Phase

Neil A Chapman

Nagra, Wettingen, Switzerland
Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, UK

EXTENDED OUTLINE

What is done in URLs and when?

Underground Research Laboratories (URLs), for the practical exploration of issues to do with deep disposal for long-lived radioactive wastes, have been in use for almost 40 years. The earliest work dates back to the mid-1960s, when the Asse salt mine in Germany was used for the trial demonstration of LLW/ILW disposal. Major experimental R&D programmes commenced in several countries in the late 1970s, notably in salt at Asse and in granite in Sweden (Stripa) and the USA (Climax). Since that time, more than a dozen URLs have been in use world-wide, with Japan starting work at Tono in 1986.

The NEA (2001a, b) defines two main categories of URL:

1. **Generic:** at locations that will not be used for a repository
 - in extensions of existing mines or tunnels
 - purpose built generic (PBG-URL), at a previously undeveloped site
2. **Site-specific:** at sites intended for development as repositories (SS-URL).

The NEA sub-division of generic URLs does not reflect any difference in scientific or technical concepts: it is merely a matter of practicality and convenience. If a programme wishes to explore a particular rock type or geological environment, then it can be most efficient to gain access through an existing underground facility, provided the environment is analogous to those being sought for a repository, and provided the existing facility does not grossly disturb the rock-groundwater system to be used in the URL. If, on the other hand, a suitable facility does not provide ready access to a useable volume of rock (for example, if a rather specific type of formation is to be investigated in a specific geological setting), then it may be necessary to start constructing a URL from scratch (PBG-URL).

Within the two NEA categories, it is useful to classify the type of work carried out according to its purpose:

- **Experimentation:** To investigate, and to develop and test models for processes that affect repository evolution (e.g. water, heat and gas transport) in a particular geological environment and rock type. In the past, most of this type of work has been carried out in generic URLs and is generally experimental R&D.
- **Rock characterisation:** To develop, test and deploy rock and groundwater characterisation techniques and strategies for different rock types and environments. It can be carried out in generic URLs (technique and strategy development) or site specific URLs, where it can be used to investigate the particular characteristics of a specific rock formation and geological environment at a site being investigated for, or developed as a repository. Site-specific URLs, are sometimes called rock characterisation facilities (RCFs). Both generic and site-specific rock characterisation involve using underground site investigations to extend and supplement those

carried out from the surface, in order to gather data for the design and safety assessment of either a conceptual or an actual repository.

- **Test and Demonstration (T&D):** To develop, test and demonstrate the engineering aspects of repository operation, including excavation, EBS and waste emplacement (and retrieval), closure and sealing, and monitoring. This type of work can be carried out in either generic or site-specific URLs: in the latter case, some programmes refer to the URL as a Pilot, or Demonstration and Validation facility.

As can be seen, there is a wide range of potential (and confusing) terminology: URL, PBG-URL, RCF, SS-URL, Pilot Facility, D&V Facility, etc. In this presentation, I shall just use the general term URL, but discuss how the different types of work that generate this diverse terminology fit into different stages of a Repository Development Programme (which, at the risk of introducing yet another acronym, I refer to as an RDP).

The Table below illustrates the different ways that URLs can contribute to a repository development programme from the **implementor's** viewpoint. For simplicity, the Table refers to four phases of an RDP:

- **early stage:** generic concept development and exploration of alternative designs and rock formations;
- **middle stage:** when reference concepts have been identified in reasonable detail (although alternatives are still being considered for optimisation) and a site selection process is underway;
- **late stage:** when one or more sites has been identified, work is taking place on these sites and a final design(s) is being optimised in detail;
- **operational stage:** when the repository is operating and waste is being emplaced.

The Japanese HLW programme is about to enter the middle stage, in these definitions.

	Generic URL	Site-Specific URL
Experimentation	Early Stage: To explore key issues in design and safety, such as heat transfer, controls on nature and extent of the EDZ, solute and colloid transport. Now, almost an historical usage, although there are still a number of important generic issues that are being explored (e.g. gas movement). Middle to late stages: Resolving outstanding (long-standing problem) issues, or issues that have arisen during mature generic studies. Also, very long experiments might be embarked upon, to gather decade-long data sets that will be used as validation during repository licensing	Late stage: To verify generic models under actual site conditions and populate them with real data, thereby reducing the range of uncertainty.
Rock Characterisation	Early to middle stages: To develop underground site investigation techniques (e.g. fluid sampling, pilot drilling and remote sensing of major features ahead of excavation, patterns of water movement) and to test and develop models for rock physical and chemical properties.	Late stage: To measure the distribution and variability of actual rock properties in and around the potential repository volume and link underground observations (generally more extensive and simpler) with those from surface investigations (generally more limited). In addition, the URL can be used to spearhead what will eventually be a system-wide monitoring system

Test & Demonstration	Middle to late stages: To develop and test engineering aspects of repository implementation (excavation, emplacement, sealing, monitoring, retrieval, QA), including both techniques and machinery. Late stage: In the mature stages of an RDP, when technology has been largely decided upon, long-term (decades) demonstration projects might be planned. It is conceivable that (as at the US Climax mine) these could be 'fully active', using real waste packages that are retrieved at the end of the demonstration – although few programmes would care to surmount the political and regulatory problems of doing this at a non-repository location.	Late stage (actual site): In a <i>pilot</i> facility, to demonstrate how certain activities will be carried out, possibly before the repository is constructed (e.g. in support of a construction or operation license). If no generic T&D facility has been available, then some engineering testing and development (see box to left) may be needed first. In a <i>pilot disposal</i> facility, to show the complete emplacement (and, possibly, backfilling or retrieval) process before full scale disposal commences. Operational stage: to demonstrate sealing and post-closure monitoring technology.
--	--	--

From the regulator's viewpoint, the ability to evaluate information from all types of URL, at all RDP stages, will be important and useful. This is because the regulatory authorities also have to build up a parallel understanding of the disposal systems being considered in order to understand the reasoning behind the implementers decisions and proposals. Generally, regulators would have no direct influence on the early and middle stages of an RDP, but some national regulations require the implementor to use URLs in the later, site-specific stage, to assist with characterising the chosen site(s). The regulators might also wish to specify that certain types of T&D work are carried out as part of a licensing process. For example, in the late stage of an RDP, there may be a requirement to demonstrate emplacement (and retrieval) procedures before an operating license is given. Much further into the future, the regulator may ask for a demonstration of seal emplacement and overall monitoring technology before a closure license is given. In both these cases, the value of a pilot facility of some kind, with a long record of observations throughout the pre-closure life of a repository, is clear.

Both implementor and regulator benefit from an open, public demonstration of method and technology at all stages of an RDP, but particularly from the middle stage onwards, when there are developed concepts to be illustrated, using real underground environments. The majority of people are completely unfamiliar with the deep underground. As many national URLs have shown, even in the early stage, well before there is any tangible repository engineering to be demonstrated, there is huge value in taking people underground and showing them what the environment is like and how science is being used to aid design and safety studies. Later, full-scale demonstrations are essential in showing that paper concepts can actually be achieved. The early US programme was even able to provide a full-scale, fully active demonstration. The ability to stroll freely down a tunnel at the Climax mine, with real spent fuel containers emplaced in the rock a few metres beneath, provided an impressive experience, even for those technically involved in disposal projects.

Is there still a need for generic experimentation?

URLs have been operating for decades. They have contributed immensely to our understanding of deep hydrogeology, geochemistry and rock engineering. In a generic sense, most of the understanding that we need to structure design and safety assessment projects has already been gathered. URLs have acted as test-beds and as validation, in particular for theories about how water and solutes move, and about how rocks respond at the micro-scale to excavation and stress adjustment. In many senses, the 'learning' period is over: in the 1970s there was really very limited understanding of the controls on groundwater movement and radionuclide mobility in deep, low permeability rock formations. However, we have not solved everything yet, even at a generic level.

There are several topics where a better generic understanding would be of wide value to national programmes:

- the movement of gas through clays and very low conductivity rocks with sparse fracture networks;
- time dependent, spatially variable resaturation of clay buffer and backfill materials;
- the medium to long-term function of the excavation damaged zone (EDZ) in transporting water to tunnel and borehole backfills and buffer;
- techniques for characterising the 'flow-wetted surface' in fractured rocks;
- experimental evidence for efficient colloid filtration in fractured rocks;
- the development of high pH plumes in cement-based repositories and their impact on rock properties and radionuclide migration.

Continued work in these areas is likely to feature in a number of URL programmes over the coming ten years, even though the emphasis is now beginning to turn to test and demonstration activities.

Showing we can do it

Repository design concepts have existed on paper since the 1970s. As several countries move closer to realising spent fuel or HLW disposal facilities, it is becoming increasingly important to show that these conceptual designs are workable in practice, for day-after-day emplacement of waste packages, year after year. Already, experience in URLs in Sweden and Switzerland has shown that managing EBS and canister emplacement is not yet a matter of simple routine. Several practical issues, such as handling pre-formed bentonite in humid excavation atmospheres and remote handling of EBS components need a lot of practical development. There is little doubt that paper concepts will be further optimised to take account of these developments during the next few years.

Showing that emplaced waste packages really will remain safe, secure and inert, even if we can only provide a demonstration over a few decades, will also be an important aspect of winning public support for full-scale waste disposal. We should not forget that, although we may have become entirely used to the geological disposal concept after many years of exposure, it is not real: no-one has yet put a HLW container into a final repository.

Consequently, we should expect to see the emphasis of URL work moving away from experiment, to test and demonstration, particularly once sites are chosen.

Building confidence and propagating expertise

The discussion above has concentrated on resolving technical issues for design, safety and operational purposes. URLs have other functions during an RDP. Their role as test beds during the early stages of a programme is well established: the Stripa, Whiteshell, Grimsel and Mol URLs, in particular, were central in developing understanding of granite and clay formations during the 1980s and early 1990s. Over 10 – 20 years, those who worked in these projects (which acted as focal points for scientists from many countries) progressively built up their own confidence in understanding these geological systems and, in particular, in their ability to characterise them. In the case of Japan, entering into two major new URL projects, this element of progressive confidence building prior to going underground at a potential repository site, sometime after 2010, will be invaluable.

URLs have long lifetimes – typically measured in decades. Those who instigated some of the most famous URLs have long since moved on to managing other projects. But the long-term projects have acted as permanent training centres for passing growing experience on to younger generations of scientists and technologists. A key aspect of this education and training is that URLs comprise diverse, multidisciplinary projects, and they act as the focus for much of the front-line thinking and development of ideas about specific disposal concepts, both from a scientific and an engineering viewpoint. Anyone working in such an environment is exposed to many of the central

problems in an RDP. In short, URLs, properly managed and with comprehensive programmes, comprise ideal centres for training those who will eventually implement repositories.

The new Japanese URL programme

Japan is starting work on construction of two major new PBG-URLs, one (nearby the existing Tono mine and URL) in granite – the MIU project, the other in sediments, at Horonobe. As the national HLW disposal programme enters the middle RDP stage, what might these projects be expected to contribute, bearing in mind the discussion above? The following aspects will likely be important:

- A useful facet of new URL projects is the need to characterise the URL rock volume and put it into its regional context. Thorough knowledge of the rock properties and of the flow, stress and geochemical boundary (and baseline) conditions is essential for any work that will be carried out in the URL. This is analogous to the staged surface-to-depth site characterisation programme that would be carried out at a repository site, although the scale is smaller at a URL. Consequently, the surface-based, followed by shaft and underground investigations will be useful practical experience for designing later repository site characterisation programmes. Among other things, working in an integrated programme such as this will enable investigation strategies and associated quality assurance procedures to be developed. Developing QA methodologies will also be an important aspect of any T&D work later on.
- Apart from addressing some of the 'residual' generic issues mentioned above, the new projects will be the main platform over the next few years for building up and training teams to carry out field investigations. These groups will develop hands-on experience of drilling, testing and excavating in hard rocks and sediments. Some of the methods they may need to deploy are likely to build on, but go beyond, approaches already developed in other national programmes, particularly for Horonobe, where the types of sediments encountered reflect specifically Japanese geological and tectonic conditions. Transferring international experience to local conditions will be a key role for the URLs.
- All of this will build confidence, both inside and outside the radioactive waste community in Japan, that when NUMO comes forward with its proposed detailed investigation areas, there will be the technology and the experience to set up comprehensive site characterisation programmes.
- Although the national HLW programme is only just about to enter its middle RDP stage, it is not too early to begin thinking about both engineering testing and demonstration projects in the Horonobe URL, and possible long-term experiments in both URLs. Long-term experiments may be most readily accomplished at MIU, where the environment is already reasonably well understood. It is likely that further characterisation will be needed before either engineering or long-term experimental projects can be fitted to the particular characteristics of the Horonobe URL. Internationally, whilst there is much talk in favour, there is limited movement towards development of large-scale demonstration projects. This is an area where Japan, with its strong engineering base, could take a lead and attract other national programmes into shared, long-term, high-profile tests and demonstrations of repository engineering.

References

NEA, 2001a. The role of underground laboratories in nuclear waste disposal programmes. OECD Nuclear Energy Agency, Paris. 42 pps.

NEA, 2001b. Going underground for testing, characterisation and demonstration. NEA/RWM(2001)6/REV, OECD Nuclear Energy Agency, Paris. 69 pps.

(参考)

【地下研究施設(URL)の分類】

(1) 処分予定地以外の場所に設けられるもの(**Generic URL**)

- ① 既存の坑道を活用するもの [例; 釜石鉱山, 東濃鉱山, モンテリ(スイス)など]
- ② 地上から新たに建設するもの(**PBG-URL**) [例; 瑞浪超深地層研究所計画, 幌延深地層研究計画, ホワイトシェル(カナダ)など]

(2) 処分予定地に設けられるもの(**Site-specific URL**) [例; ユッカマウンテン(米)など]

【略語】

D&V: Demonstration and Validation (実証と確証)

EBS: Engineered Barrier System (人工バリアシステム)

EDZ: Excavation Damaged Zone (掘削影響領域)

MIU: Mizunami Underground Research Laboratory (瑞浪超深地層研究所)

RCF: Rock Characterisation Facility (岩盤特性評価施設)

RDP: Repository Development Programme (地層処分計画)

PBG-URL: Purpose Built Generic URL (処分予定地以外の場所に地上から新たに建設する地下研究施設)

SS-URL: Site-Specific URL (処分予定地に設けられる地下研究施設)

T&D: Test and Demonstration (試験と実証)

URL: Underground Research Laboratory (地下研究施設)