

平成 16 年度 地層処分技術に関する研究開発報告会（平成 17 年 3 月 8 日開催）
会場から寄せられたご意見・ご質問

ご意見・ご質問に対する回答

No. 001 <ご質問>

出席者が高年齢である。(私も含めて) 処分実施時期を考えると若い人の参画が望まれる。私もノーアイデアであるが、何とかならないか？

No. 002 <ご質問>

今回の報告会は技術に関することが中心でした。報告会の主旨がそうであるのでその点に関して異論はありません。ただ、個人的な関心事項として、地層処分の技術に関する国民の理解を高めるためにどのような活動を行っていらっしゃるのだろうと思いました。地域住民への説明会等はありませんでしたが、その他に国民一般に地層処分の問題について考えてもらうために行っている活動を教えていただければと思います。

【回答】

サイクル機構の地層処分技術に関する研究開発報告会は、ご来場いただく方々は専門家、一般の方々も含めて広く受付けておりますが、報告内容に関しましては、対象を専門家の方々を中心として、年代を意識することなく設定しております。

ご指摘いただいた事項は重要なことであり、若い技術者等にもご参加いただけるよう、企画面や周知方法等で工夫してまいります。

また、一般の方々に対しましては、従来から、新聞、テレビ等の取材にも積極的に対応してきており、今後ともそのような機会を活用するとともに、マスコミ関係の方を対象とする勉強会（東京地区では既に実施）を開くなど、一層の情報の提供・普及に努めてまいります。

変動帯という難しい処分場であることを、明確に打出して、サイト調査、選定手法を確立していく必要がある。また NUMO との連携が、どのようにできるのが重要であるが、明確となっているのか。

【回答】

ご指摘のとおり、わが国での地層処分を考える際には、まず変動帯に位置するという地質学的特徴に留意する必要があります。日本列島では、安定大陸に比べて地震や火山活動などが活発であるため、このような天然現象によって地層処分の安全性が損なわれないようにすることが重要です。このため、わが国の地層処分概念は、安定な地質環境を選定することを前提としており、これにより、天然現象が地層処分の安全性に重大な影響を及ぼす可能性をできるだけ排除することを基本としています。

地質環境の長期安定性に影響を与える可能性のある天然現象には、地震・断層活動、火山活動、隆起・侵食、気候・海水準変動などがありますが、これらの天然現象については、その活動の履歴が記録されている地質や地形などを手がかりとして、概ね過去数 10 万年程度まで遡って活動の場所や変動の規模を追跡することができます。サイクル機構では、関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、フィールド調査や年代測定を主体とする事例研究を進め、過去から現在までの活動の中に認められる天然現象の傾向や規則性に基づいて、将来における活動の可能性や変動の規模などを検討しました。その結果、地層処分に際して、天然現象による重大な影響が及ばないような地域を選定すること、あるいは想定される変化を考慮して必要な対策をとることが可能との見通しを得ました。その詳細については、サイクル機構が 1999 年 11 月に公表した「地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」^{*1}に記述しています。

このような研究の成果を踏まえ、2000 年 5 月に成立した「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(6 月 7 日公布) やその施行令においては、処分地の選定に向けたプロセスを「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」の 3 段階とし、段階ごとに選定の要件や調査の方法などを定めています。とくに、天然現象による影響については、処分地選定の初期の段階から考慮する必要があるため、「概要調査地区の選定」に当っては、文献調査によって「地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと」や「将来にわたって、地震等による自然現象による地層の著しい変動が生じるおそれが少ないと見込まれること」などを確認することが求められています。さらに、「精密調査地区の選定」に当っては、ボーリング調査や地表踏査、物理

探査、トレンチ（試掘溝）の掘削を実施して、「地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと」を確認することとなっています。

サイクル機構をはじめとする関係研究機関においては、このような地質環境の調査技術や評価手法を確立していくための研究開発を続けており、花崗岩を対象とした超深地層研究所計画（岐阜県瑞浪市）と堆積岩を対象とした幌延深地層研究計画（北海道幌延町）の2つの深地層の研究施設計画を進める一方で、全国を視野に入れて火山活動や断層活動などの天然現象を調査する技術および、その影響や将来の変化を予測する手法の開発に取り組んでいます。それらの成果は原子力発電環境整備機構（原環機構）の処分地選定の技術基盤として反映されるものです。とくに、サイクル機構は、原環機構との間で協力協定を締結しており、お互いが保有する技術情報を積極的に公開し、透明性を確保したうえで、情報交換や技術者の交流などによる技術協力を進めています。

地層処分の実施に向けた研究開発の役割については、2000年の原子力長期計画により、実施主体である原環機構は「最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発」を、また、国とその関係機関は「最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等」を進めることとされています。とくに、サイクル機構には「これまでの研究開発成果を踏まえ、今後とも深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設等を活用し、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研究開発を着実に推進すること」が求められています。

*1 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—, JNC TN1410 99-020. (<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/2matome/index.html>)

マッキンレー博士のお話から、日本の技術レベルは最高で将来的にも世界をリードするという、とても Active な未来像が提示されました。しかし、多くの点でまだ日本の R&D は、欧米を向いていて、本当に新しいアイデアを出せないでいるのではないかと。制度的に管理が強すぎて、新しいアイデアをつぶしているのではないかと。国内でオリジナルな R&D の開発をもっとサポートするようなシステムの開発が望まれます。(具体的な点をもってはいるのですが、ここでは、抽象的な表現にとどめます。)

【回答】

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性は、適切な地質環境に人工バリアを構築するという各国に共通の概念に基づいています。安全性を示すための論拠は、わが国の専門家も参加した国際的な議論の場を通じて、体系的に整備されてきています。このような国際的に認識が共有された知識を有効に活用し、共通の概念や枠組みを踏まえて、地層処分技術の信頼性を示していくことが、処分に対する信頼を構築する上で効果的です。

こうした国際的に共通の概念や枠組みを活用しつつも、とくにマッキンレー博士の講演で示されたように、わが国が国際的にリードする分野¹でのさらなる貢献が期待されており、このような分野を含め新しいアイデアを活かして、我が国のオリジナリティが示せるよう具体性を出すため、「経済省の公募研究などの仕組みが存在していることや博士研究員の受け入れなどを行っているがさらに努める」とする。

¹ マッキンレー氏のスライド (27 枚目) では、地殻変動や活断層の解析、人工バリアの設計と最適化、放射性核種の化学及び地球化学、不均質な岩石中の溶質の移行、ナチュラルアナログ研究が、国際的にリードする分野として挙げられています。

東海事業所における処分技術の研究は多岐にわたっており、従来の H3 レポートのどの部分に関連し、どのように進捗させたかが良くわからないので、対応させていただきたい。

【回答】

本報告会は、「第2次取りまとめ」以降の各年度の成果を報告する形式で企画しておりますことから、「H3 レポート（第1次取りまとめ）」や「第2次取りまとめ」との関連については、詳細をお示しませんでした。

「第1次取りまとめ」から「第2次取りまとめ」までの進捗につきましては、「第2次取りまとめ」総論レポート I-13「1.3.3 地層処分研究開発の第2次取りまとめ」(<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/2matome/index.html>)としてまとめられており、こちらをご参照いただければと存じます。また、「第2次取りまとめ」以降につきましては、同じく「第2次取りまとめ」総論レポート VII-5「7.2.2 2000年以降の研究開発の展開」に述べたことを念頭に国の方針を受けて作成した、平成13年の全体計画に基づいて進めてきており、平成14年度、平成15年度と各年度に年報として研究成果を報告しておりますので、こちらをご覧いただければとおい思います。「第2次取りまとめ」以降の全体的な進捗は、平成17年度に報告書として取りまとめる予定です。

No. 006 <ご質問>

幌延でのクリープ実験，シミュレーション等，実在のサンプルデータを基礎とした評価をやっていただきたい。
幌延でのガス問題は御指摘のとおり，大きいので是非考えていただきたい。

【回答】

現在，幌延深地層研究センターで実施している試錐調査で取得した堆積岩試料を用いて，東海事業所および，幌延深地層研究センターにおいてクリープ試験を実施しております。これらの試験から得られるデータに基づいて，幌延地域の堆積岩のクリープ特性を評価する予定です。

ガスの影響については，地下施設の設計において考慮しており，たとえ地下施設のどの場所でガス発生に伴う火災が発生したとしても，退避経路が必ず確保できるような構造を検討しているとともに，地下施設の建設におきましては防爆仕様の掘削機械等を使用する予定にしております。

地層処分研究は、長期に及ぶと予想され、人材の計画的育成・ローテーション、研究成果のドキュメント化をしておく必要があると考えます。研究のプロセス、結果をいろんな方法でご説明いただきたい。

その他一他分野(地震、地質学など)との連携を求めて、学際的研究で成果をあげて欲しい。

独立行政法人化後も継続的研究を期待します。

【回答】

ご指摘のとおり、地層処分の研究開発は、地層処分計画の進展に応じて長期間にわたって進められるため、技術の継承や人材の育成にも配慮して進めることが重要です。また、適切な時期に取りまとめを行って、それまでの研究開発の成果を集約し、残された課題などを確認しながら進めることも必要です。サイクル機構が1992年に行った研究開発成果の「第1次取りまとめ」や、これを受けて1999年に行った「第2次取りまとめ」も、そのような研究開発の流れの中で進めてきたものです。これらのうち、「第2次取りまとめ」は、それまでの研究開発の集大成として、「わが国における地層処分の技術的信頼性を示す」と同時に、「処分事業を進めるうえでの処分予定地の選定や安全基準の策定の技術的拠り所を与えるもの」として、わが国の地層処分計画を研究開発の段階から事業化段階へと進展させる大きな根拠となりました。

サイクル機構では、「第2次取りまとめ」以降も、「地層処分技術的信頼性をさらに向上し、処分事業を進めるうえでの技術基盤を継続的に強化していく」との観点から、基盤的な研究開発を継続しており、その成果については、年度ごとの報告書として公表するほか、今回のような報告会の場で紹介させていただいています。加えて、平成17年度には、「第2次取りまとめ」以降の約5年間の研究成果を全体的に取りまとめた報告書を作成する予定です。「第2次取りまとめ」以降の研究開発によって得られた研究成果の現状や地層処分技術的信頼性向上のレベルを取りまとめて広く公開することにより、処分事業と安全規制の両者を支える地層処分技術の基盤を強化し、原環機構による概要調査や国による安全審査基本指針の策定等に反映することが大きな目的です。また、「第2次取りまとめ」以降の研究開発成果を網羅的に取りまとめ、その過程や公表後における内外の研究者間での議論を通じて、今後の研究開発の課題・方向性を明確化していくことも重要な目的です。

平成17年10月には、サイクル機構は日本原子力研究所と統合して、「独立行政法人 日本原子力研究開発機構」が発足しますが、地層処分技術に関する研究

開発は、統合後の新法人においても主要業務として位置づけられています。新法人においても、中核的な研究開発機関としての役割が期待されており、超深地層研究所計画（岐阜県瑞浪市）および幌延深地層研究計画（北海道幌延町）の深地層の研究施設計画や東海事業所（茨城県東海村）のエントリー、クオリティなどを活用した基盤的な研究開発を進めるとともに、成果の公表、深地層の研究施設などの施設の公開、国内外の関係機関や大学との研究協力などを通じて、長期にわたる処分事業を支えていくための技術の継承や研究者の育成、国民各層の地層処分に対する理解の増進に寄与していきます。とくに、深地層の研究施設については、2000年の原子力長期計画において「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」とされているように、地震学や微生物研究などの学術研究の場として外部の研究機関や研究者に開放していくとともに、国民各層が地下深部の環境を実際に体験・学習し、地層処分やその研究開発に対する理解を深める場としても整備していきます。

1. FEPという言葉をよく耳にしますが、適当な要因（関係）図がありましたら教えて下さい。
2. 2)-③18 図「コロイド」は物質（例えば鉱物）としては何でしょうか？ フェベックスベントナイトは風化物ですか？それとも人工起源でしょうか？
3. 2)-②20 図 坑道掘削影響としては地化学的な調査もなさるのでしょうか？ なさるとすれば、どのような項目を実施される予定ですか？

【回答】

1.

シナリオ解析においては、国際的に整備されている包括的な FEP リスト (NEA, 2000: 2003) を出発点とし、それぞれのプロジェクトごとに関係する FEP を抽出し、インフルエンスダイアグラムなどを活用して FEP 間の相関関係を整理することにより、シナリオや解析ケースを導くことが一つのアプローチとなっています。

このアプローチにおける FEP の相関関係図については、第2次取りまとめ (1999 年) において作成したものがありません。また、2003 年7月の総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会廃棄物安全小委員会報告書－高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて－においても作成されていません。

いずれにしても、地層処分で扱うべき重要な現象に見落としがなく、かつわかりやすく説明できるように、FEP を取り扱うことが重要です。この観点から、安全上鍵となる現象についての理解を踏まえて、適切に FEP をグループ化し、それに対する不確実性を整理することにより解析ケースを導くという手法が提案されています。このように必ずしも複雑な相関関係図を用いなくても、適切に FEP を取り扱うことができると考えられています (第2次とりまとめ ; Nagra 2002)。

参考文献

サイクル機構 (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－, JNC TN1400 99-020, 023.

総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会 (2003) : 廃棄物安全小委員会報告書－高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて－.

Nagra (2002) : Project Opalinus Clay FEP Management for Safety Assessment, Nagra Technical Report 02-23.

NEA (2000): Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International FEP Database, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.

NEA (2003): Features, Events and Processes Evaluation Catalogue for Argillaceous Media, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.

2.

地下水に含まれるコロイド粒子²は、無機あるいは有機系の物質から構成され、地下水中の沈殿物のほか、鉱物や生物起源のものがあります。たとえば、地層処分の人工バリアの候補材であるベントナイトを構成するスメクタイトと呼ばれる粘土鉱物は、その微細な粒子を水中に分散させるとコロイド粒子の性質を示します。報告会で紹介したグリムゼル原位置試験場における「コロイド及び核種移行実験」(CRRプロジェクト)では、フェベックス (FEBEX) ベントナイトをグリムゼル原位置試験場の地下水に分散させて作製したコロイド溶液を使用しています。

フェベックスベントナイトは、グリムゼル原位置試験場で実施されている「原位置での実規模人工バリア試験」(FEBEX プロジェクト)で使用されているベントナイトであり、スペイン南東部のアルメリア産のベントナイトを精製したものです。この地域のベントナイトは、火山灰などの火山砕屑物が火山活動に伴う熱水により変質して生成したと考えられています。フェベックスベントナイトは、カルシウム型のスメクタイトを90%以上含有するほか、石英、長石、方解石といった鉱物を含んでいます。

参考文献

ENRESA (1998) : FEBEX (FULL-SCALE ENGINEERED BARRIERS EXPERIMENT IN CRYSTALLINE HOST ROCK) BENTONITE: ORIGIN, PROPERTIES AND FABRICATION OF BLOCKS, ENRESA, Publication

² 「コロイド」とは、物質の状態を示す概念のひとつで、大きさが 10^{-6} ~ 10^{-3} mmの粒子(分散相)がもう一方の相(分散媒)のなかに分散している状態にあるものをいいます。気体中に液体や固体のコロイド粒子が分散しているものや、液体中に気体や固体のコロイド粒子が分散しているものなどがあり、霧や煙、牛乳やバターもコロイドの状態にあります。

Technical Num. 05/98, ENRESA, Madrid, Spain.

Mori, A. (ed.) (2004): The CRR final project report series I: Description on the Field Phase – Methodologies and Raw Data. Nagra Technical Report NTB 03-01.

3.

深地層の研究施設計画の第2段階（坑道掘削時の調査研究段階）においては、坑道掘削による周辺の岩盤や地下水への様々な影響を広く調査します。岩盤への力学的な影響や地下水流動に関する影響のほか、ご質問にある地下水への地化学的な影響についても調べます。地下水への地化学的な影響に関しては、例えば掘削する坑道の周辺で地表から掘削したボーリング孔を利用して、定期的に地下水の採水・分析を行うことにより、溶存成分の濃度や物理化学的なパラメータ（pHや酸化還元電位など）について、坑道掘削前の状態から坑道掘削中、坑道掘削後に至るまでの変化をとらえることができます。

とくに、坑道を掘削することによって岩盤が大気に開放され、地下水中に酸素が侵入することが考えられるため、酸化還元電位の変化に注目しています。酸化還元電位は、人工バリアを構成しているガラスや放射性物質の溶解度あるいは金属の腐食速度に大きな影響を及ぼすため、地層処分の安全確保にとって重要なパラメータになります。サイクル機構が1999年に公表した「地層処分研究開発第2次取りまとめ」^{*1}では、地下深部の地下水は一般的に還元性で、放射性物質を溶解したり金属を腐食する能力が低いことを示しましたが、深地層の研究施設計画においては、このような地下深部の特徴が坑道掘削によってどの程度乱され、また埋め戻しによってどう回復していくのかを評価することも重要な研究テーマになります。

*1 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—, JNC TN1410 99-020. (<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/2matome/index.html>)

深地層研究施設の調査の進展は研究者にとっての興味のほかにも、地下を掘っていく施設はこのように進んでいきます…ということを広報（ちょっと言葉は正確ではないが）するに良いチャンスだと思います。関係者以外何も知らないうちに、いつの間にか施設が出来ていましたということになるよりも、建設が始まって、どのような過程を経て施設が出来ていくのか、その間まわりの環境、地域への影響はどうであったのかを、タイムリーにホームページ等で「紹介」し「地下の施設の建設というのはこのように進むのか」という理解につなげる役割も持っているのではないかと考えられると思います。

地層処分場の実際の建設に対しての将来の懸念に対し、何らかの安心を与えられるものではないでしょうか。

【回答】

ご指摘のとおり、深地層の研究施設計画については、国民の理解を得ながら透明性をもって進めていくことが重要と認識しています。2000年の原子力長期計画においても、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」とされているところです。サイクル機構が岐阜県瑞浪市および北海道幌延町で進めている2つの深地層の研究施設計画については、多くの方々が地下深部の環境を実際に体験・学習し、また研究者との対話を通じて、地層処分やその研究開発に対する理解を深める場としても整備していきます。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一般に公開しながら、透明性をもって進めていく所存です。

そのため、自治体はもとより、地域の方々を対象とした事業説明会を定期的で開催するとともに、パンフレットやちらしの配布など、様々な手段を工夫して情報普及に努めているところです。また、サイクル機構のホームページからもアクセスできる東濃地科学センターと幌延深地層研究センターのインターネットサイトで、調査の状況や工事の現状などを逐次報告しています。

- ・ 東濃地科学センター (<http://www.jnc.go.jp/ztounou/index.htm>)
- ・ 幌延深地層研究センター (<http://www.jnc.go.jp/zhoronobe/index.html>)

No. 010 <ご質問>

研究開発報告会としているので、研究内容に特化するのは仕方ないと思うが、組織や要員から研究費などの概要をどこかで示すべきではないかと思います。コストパフォーマンスの面からも訴えるべきではないかと思います。国民の目から見ると自分達が支払った税金が使われているわけですから。

【回答】

サイクル機構は、地層処分技術に関する研究開発において、2000年の原子力長期計画に示されている国の研究機関としての役割を果たしつつ、関係機関との適切な役割分担のもと、機構が有する研究資源（特に人材、研究施設）を、目的に応じて十分かつ柔軟に活用し、効果的かつ効率的に研究開発を進めています。地層処分技術に関する研究開発報告会は、こうした取り組みの下、着実に成果を積み上げていることを、透明性をもってお伝えすることに主眼を置いています。

なお、サイクル機構全体の事業計画や予算については、外部有職者による評価の場である運営審議会において公開の議論に付すとともに、資料をホームページにおいて公開しています。

(<http://www.jnc.go.jp/kikou/unnei/index.html>)。

まだ基礎科学のレベルであるため、聞いていてもおもしろい。まだ知らなければいけないことは多数あり、それを総合的に理解して次のステップに進むまでにはたいへんな時間を要するだろう。放射性廃棄物をどうするかは、関係はもちろんあるけれども、その先あるいは別問題として考えるところにあるように思える。しかしながら、こういうレベルにあるにもかかわらず放射性廃棄物を増やし続ける現状をどう考えるのか。

【回答】

わが国では、電力の30%余りが原子力発電により供給されています。高レベル放射性廃棄物は原子力発電に伴って発生するものであり、高レベル放射性廃棄物の処分は、現に社会に存在する、避けては通れない課題です。社会の持続的維持発展のため、原子力を維持しつつ高レベル放射性廃棄物に対してどのように解決策を考えるかが重要です。これまでの長い研究開発と国際的な議論を踏まえ、地層処分が最も有望で実現可能であり、持続可能性を保障する解決策であるとの見解が国際的に共有されています（例えば、NEA, 1995）。しかし、地層処分の実現には社会的な意思決定の問題を伴い、社会的に合意されたものとして最終的に受け入れられるためには、継続的にその技術的信頼性を向上していくことが不可欠です。

わが国の地層処分概念は、諸外国と同様、地質環境（天然バリア）とその地質環境の条件を考慮に入れた工学的対策（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材で構成される人工バリアなど）を組み合わせる多重バリアシステムに基づいています。この処分概念に基づき構築される地層処分システムについては、通常の工学システムとは異なり、

- ・ 天然の地質環境という不均質で大きな空間領域を有するシステム要素を含む（空間的な不均質性）
- ・ きわめて長い時間スケール（数十万年以上）を考慮しなければならない（時間的な不確実性）

という特徴を有し、このため従来の工学的アプローチのように、設計に基づいて試験的にシステム全体を構築し、これを実際に作動させてその安全性を実証するという直接的な方法をとることができません。このため、システムの長期的な安全性は、シナリオ、モデル、データに基づく予測解析により評価されません。

これらの「空間的な不均質性」、「時間的な不確実性」に対して「科学的に完全な理解を得ることは不可能」ですが、そのような不確実性を伴う（あるいは不

完全な) 知見であっても、「地層処分を実施するという判断を行うための材料として用いるための対処は可能」です。

例えば、サイクル機構が1999年に公表した「第2次取りまとめ」では、地層処分の安全確保の考え方として、地質環境の安定性等の観点から、システムに重大な影響を及ぼす可能性のある場所を避けることを基本とし、それでも残る地質環境に関わる不確実性に対しては、性能に余裕をもたせた人工バリアを設置するなど、十分な安全裕度をもつ地層処分システムを構築し、さらに安全評価において保守性を見込むことで十分対処可能と考えました。

このような考え方にに基づき、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の技術的信頼性を示すことを目標に研究開発を進め、我が国において地層処分が可能な地層を選定し、安全に処分することが可能であることを示しました。

「第2次取りまとめ」により、それまでの研究開発の集大成として、安全性を示すための論拠を総合的に取りまとめ、「わが国における地層処分の技術的信頼性を示す」と同時に、「処分事業を進めるうえでの処分予定地の選定や安全基準の策定の技術的拠り所を与えるもの」として、わが国の地層処分計画を研究開発の段階から事業段階へと進展させる大きな根拠となりました。

事業段階においては、最終処分の実施に向けて、地層処分技術の信頼性をさらに向上させ、もって処分事業と安全規制の技術基盤をより堅固なものとしていくことが重要であり、「第2次取りまとめ」で示した安全性の論拠が、わが国の実際の地質環境に対しても適用できることを、深地層の研究施設などを活用した研究により、信頼性を持って示すことがサイクル機構の役割です。

このため、「第2次取りまとめ」以降の研究開発では、結晶質岩と堆積岩の2つの岩種を対象として段階的に進めている深地層の研究施設やエントリー・クオリティなどを活用して、地質環境の調査、設計、安全評価に係る地層処分技術について、実際の地質環境への適用性を段階的に確認するとともに、実測データの着実な蓄積などにより、地層処分システムの長期挙動に関連する現象への理解をさらに深めつつ、設計や安全評価について、より現実に即した精緻なモデル、手法へと改良・高度化を図ることを目標としています。これらの研究は、それぞれが地層処分システムの理解や技術的な実現可能性、長期的安全性を示すための論拠として統合されるべき一要素であり、地層処分技術が全体として基礎科学、実用というようにレベル分けされているわけではありません。

サイクル機構は、今後とも時宜よく研究開発成果の取りまとめを行い、安全性の論拠に関する信頼性がさらに向上していることを示していきます。これに

より、地層処分の安全性に関する総合的な理解を深めることに寄与し、国民の理解の醸成、さらには地層処分という国民レベルの意思決定の問題に積極的に貢献していく所存です。

サイクル機構（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—，JNC TN1410 99-020.

NEA (1995): The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal: A Collective Opinion of the NEA Radioactive Waste Management Committee, OECD/NEA, Paris.

No. 012 <ご質問>

非常にビジュアルなスライドで分かりやすい説明だったと思います。ただ、毎回、瑞浪、東海、幌延のそれぞれの研究開発成果を個別に報告されており、今後それらがどのように統合され、どのような総合的な成果が期待されるのかというビジョンが示されていない点が残念である。また、NUMOが進めている候補地点の選定プロセスへのサイクル機構の成果の反映についても、もう少し具体的に示して頂きたい。

【回答】

ご指摘のとおり、地層処分技術の信頼性を高め、研究開発の成果を処分事業や安全規制に反映していくうえでは、個々の研究開発課題への取り組みを着実に進めることに加えて、研究分野間で相互に連携をとりつつ全体を体系的に統合していくことが重要と認識しています。ただし、残念ながら今回の報告会では、その内容を具体的に示すまでには至りませんでした。

現在、サイクル機構では、「深地層の科学的研究」で得られた実際の地質環境情報を活用して、「処分技術の信頼性向上」や「安全評価手法の高度化」に向けた検討を進めており、このようなプロセスを通じて、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に基づいて、効率的に処分システム的设计や安全性の評価を進める手法などが整備されていくものと考えています。

サイクル機構では、このような個々の研究分野や連携作業を通じて得られた知見や事例など、「第2次取りまとめ」以降の研究開発成果を全体的に取りまとめ、平成17年度に公表することとしています。取りまとめの報告書は、3つの分野レポートと、知識化レポートで構成する予定で、分野レポートでは、3つの研究分野ごとに、「第2次取りまとめ」以降の研究開発成果を網羅的に取りまとめます。また、知識化レポートでは、個別分野での研究開発成果や連携作業を踏まえた分野間にまたがる一連の調査・解析・評価の事例などを、地層処分技術に関わる知識として構造化することを目指します。

実際の地質環境情報に基づく設計手法や安全評価手法に関する検討については、調査が進展し得られる地質環境情報が詳細化されるのに応じて、繰り返し進めることが重要となります。これにより、地層処分技術全体としての適用性を確認することができ、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ます。また、このような作業を体系的に進めるためにも、地層処分技術の知識基盤を構築していく知識化の枠組みが重要となります。

なお、平成17年度の成果取りまとめは、平成10年代後半を目途としている原環機構による概要調査地区の選定に先立って、「第2次取りまとめ」以降の研

究開発の成果を技術基盤として反映することがねらいです。概要調査におけるサイトの調査・評価に必要な技術の適用性や信頼性を、前もって確認しておくことが重要と考えています。また、平成17年度の取りまとめ以降も、処分事業や安全規制の段階的な進展に先行する形で、地層処分技術に関する研究開発を進め、得られた成果をわが国の地層処分計画を支える技術基盤として反映していく所存です。その中核となる深地層の研究施設計画については、これまで、第1段階である地上からの調査研究段階が順調に進み、次の坑道掘削時の調査研究段階に移行しつつあるところです。平成17年度の取りまとめには、この第1段階の調査研究を中心とした研究開発成果が反映されます。また、第2段階である坑道掘削時の調査研究、および第3段階である地下施設での調査研究についても、処分技術や安全評価手法などに関する研究開発の成果とあわせて取りまとめていく計画です。

No. 013 <ご質問>

人材育成（若手研究者）も一つの重要な役割ではないかと思いますが、このことに関してどのようにお考えですか？（これに関しては既に進められていることと思いますが、小生はもっと早い段階に行えればよいと思っています）

【回答】

ご指摘のとおり、地層処分の研究開発は、地層処分計画の進展に応じて長期間にわたって進められるため、技術の継承や人材の育成にも十分に配慮して進めることが必要と考えています。

サイクル機構およびこれを引き継ぐ新法人では、岐阜県瑞浪市および北海道幌延町の深地層の研究施設計画や茨城県東海村のエントリー、クオリティなどの施設を活用した基盤的な研究開発を進めるとともに、成果の公表、深地層の研究施設などの施設の公開、国内外の関係機関や大学との研究協力などを通じて、長期にわたる処分事業を支えていくための技術の継承や研究者の育成、国民各層の地層処分に対する理解の増進に寄与していく所存です。とくに、深地層の研究施設については、外部の研究機関や技術者にも広く開放して、研修の場としても活用していく考えです。また、原子力長期計画において「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」とされているように、国民各層が地下深部の環境を実際に体験・学習し、また研究者との対話を通じて、地層処分やその研究開発に対する理解を深める場としても整備していきます。そういった活動の中から、将来の科学技術を支える人材が育っていくことも期待しているところです。

なお、若手研究者の育成や人材交流を目指したサイクル機構の制度として、博士研究員制度や研究生制度などが設けられており、各研究センターにおいては、これらの制度の活用も図っているところです。

No. 014 <ご質問>

- ①ガラス割れによる表面積増加の影響は、なぜ評価したのかの動機付けを伺いたい。
- ②実際のガラス固化体の割れの状況は、いかほどか？
- ③ガラス固化体の受入れ検査システムの内容は公表されているのか？
- ④代替固化体の研究開発状況はどのようになっているのか？
- 以上の質問に対する回答をお願いします。

【回答】

- ①ガラス溶解に関する不確実性評価の一環として、表面積増加の影響を評価したものです。
- なお、「第2次取りまとめ」においては、ガラス固化体の幾何学的表面積（1.7 m²）の10倍（17 m²）を溶解に寄与するガラス固化体の表面積とすることにより、割れによる溶解量の増加を考慮し、ガラス表面に生成した2次鉱物からなる変質層の保護効果により、ガラス溶解の抑制の可能性を示しています。
- ②ガラス固化体内部に存在する製造時の冷却によって生じた割れのうち、溶解に寄与する表面積の実質的な増加は4から5倍程度であることを、大型ガラス固化体の浸出試験によって確認しています。
- ③貯蔵に係わるガラス固化体の受入れは、現在日本原燃株式会社殿で実施されており、その内容につきましては、同社への情報確認をお願い申し上げます。
- ④高レベル放射性廃棄物のガラス固化体以外の固化体については、固化処理技術開発の一環として検討されたことがあります。現在はガラス固化体とすることとしており、サイクル機構としては代替固化体を研究する予定は、現状はありません。

No. 015 <ご質問>

地層処分深度を 300m 以深としているが、300m という数値はどのような根拠によるものか

【回答】

わが国における地層処分の深度については、2000 年 5 月に成立した「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（6 月 7 日公布）によって、「地下 300m 以上の深さとする」ことが定められています。この 300m という数値は法律の制定時に検討されたもので、サイクル機構が設定したものではありません。

上記の法案審議（第 147 回国会 経済・産業委員会 第 17 号 平成 12 年 05 月 23 日）においては、原子力委員会などで地下数百mよりも深い地層に処分するとされてきた考え方や、米国等の諸外国における処分計画の深度が地下 300m よりも深いことなどを踏まえて、地下 300m を最低限必要な深さと定義したとの説明がなされています。また技術的には、サイクル機構が 1999 年 11 月に公表した「地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」^{*1}を踏まえて、人間環境との距離、天然バリアの効果、人工バリアにとって好ましい環境の確保、人間が接近する可能性の排除などといった深度が深い方がよい要因と、空洞の力学的な安定性、地温の上昇、コストの増加などといった深度が浅い方がよい要因があるので、具体的な処分地に応じて、これらのバランスを満たす範囲内で適切な地層が存在する深度を選ぶことが必要であるとの説明がなされています。

なお、「第 2 次取りまとめ」では、わが国の地質環境条件を幅広くとらえて検討したうえで、適切な場所を選定するなど合理的に実現可能な技術に基づき、わが国における地層処分の安全確保が十分に可能であることを示しました。その中で、深度数百 m～1,000m の地下深部の環境においては、地下水の動きは地表付近に比べて遅く、水質は一般に還元性であること、岩盤内に加わる応力の偏りが小さく、地温が十分に低い地域が広く存在すること、地下水を介して物質が動く際に鉱物への収着や微小空隙中への拡散により移動が抑制されることなどを示しました。また、わが国は地殻変動が活発であるため、場所によっては、長期の間に地盤の隆起や侵食によって地表面が削られ深度が浅くなっている可能性があることなども指摘しています。

*1 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—，JNC TN1410 99-020. (<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/2matome/index.html>)

No. 016 <ご質問>

☆マッキンレー教授への質問

①長期プログラムについて大変興味をもって聞きました。日本の地層処分地の選定を公募としていますが、率直にいったりこのような方法選択が正しいと考えておられるのでしょうか。講演では非常にユニークな方法と伺っていますが、先達はどうみているかを知りたい。

【回答】

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」や「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」等では、処分地選定の段階的進め方について定め、選定プロセスの透明性・公正性が確保されるよう十全の努力を払うことを国および実施主体である原子力発電環境整備機構（原環機構）に求めているものの、処分地選定方式については定めていません。

原環機構が公募方式を選定した理由については、原環機構が公開している公募関連資料「公募にあたって」や原環機構ホームページの「よくある質問」に紹介されておりますので、ご参照下さい。

No. 017 <ご質問>

地質環境の長期安定性を予測するために開発したモデルの検証はどのように行うのか。(三次元地形変化モデルの開発, 12 万年後⇒検証, くり返しアプローチ, 長期予測・影響評価モデルの開発)

【回答】

今回示した地形変化シミュレーションの結果は、現在の地形や地質の特徴から将来の地形変化を予測したものです。今後は、モデルの信頼性を向上させるため、予測結果の検証の方法について検討していきます。具体的には、河岸段丘や堆積相の調査・解析により、過去の地形を復元するとともに、シミュレーションによって現在の地形の再現性等について検討していく予定です。

No. 018 <ご質問>

瑞浪での研究で、広域地下水流動研究（リージョナルスケール）（ローカルスケール）の研究を実施することと重要性が理解できました。幌延では、このような広域流動系に関する研究報告が無かったように思うのですが、瑞浪よりも透水性のよい幌延では地下水が流れやすいと思いますので、流動に関する研究が必要なのではないのでしょうか？特に水質の鉛直分布にみられる Cl 濃度は、リージョナルスケールとローカルスケールの地下水流動の区分を支持していると思います。また、地元への貢献として、広域の流動研究は重要だと思います。

【回答】

幌延深地層研究計画におきましても広域流動系を把握するための地下水流動解析（概ね東西 30km×南北 20km の領域）を実施しております。また、施設建設が地下水の流れに与える影響を把握するための施設スケール（3km x 3km の領域）での解析も実施しております。これらの解析結果につきましては、これまでに実施した 11 本の試錐孔を用いた地質環境調査結果や物理探査などの結果などと比較することにより、解析結果の信頼性についても評価しております。詳しくは、当機構の委託研究成果報告書（幌延深地層研究計画における地下水流動に関する研究、JNC TJ5400 2003-009）をご参照ください。今後、立坑の掘削に伴う立坑での湧水量、地下水位低下量、水質等のデータを取得し、これらをモデル解析による予測結果と比較することによりモデルの妥当性について更なる検討を加えるとともに、必要に応じてモデルの改良を行っていきたいと考えております。

No. 019 <ご質問>

地質科学の成果が具体的にどのように処分実行の安全評価に役立つのか十分な説明がない。

核種の挙動について、地下実験の短期間のもので実際の長期間の条件(環境)と異なっているため、異なる挙動となった旨の報告があった(AmがI-131よりも早くブレイクした?)。ひとつの理由に流速のことを念頭におかれた発言かと思えるが、これはI-131についても同じ条件であり、理由にならない。何故Amが早く立ち上がったのかの説明不足。

地下実験が加速試験であるとするならば、又、結果が実条件と異なるとするならば、その試験を実施する意味はないのか。

それでは核種挙動の実験的研究は、アナロジー研究以外に意味がないことになる。核種の挙動とそのモデルによる検証。これらはどちらも短期間の結果を基には実証できないことになる。どのように対処するのか、できるのか、ストラテジーが不明。

挙動の検証にブレイクスルーの立ち上りフロントのみで推測している。矩形波流入によりバックフロントも検討して、また、吸着分も検討して、はじめてモデルの妥当性が検証できる。もっとも、これらすべては短期間のデータであれば、何も検証されないが。

Kdモデルが妥当であることのアダスタンディングは得られているのか。Yesならばどこでか。

【回答】

- グリムゼル原位置試験場の試験でアメリシウム Am(-241)がヨウ素 I-131 より早く破過した結果について

Amの破過がI-131より早かった試験では、Amが地下水中に存在するコロイド(ベントナイト共存下ではベントナイトコロイド)に収着したものと考えられます。Amがそれらコロイドに収着したことにより、Amはコロイドの岩盤の亀裂表面との静電的な相互作用に従い、地下水流の中心に集まったことにより、地下水流速より移行が速くなったものと考えられます。詳しくは、当機構の技術資料(JNC TN8400 2004-016)をご参照ください。

- 加速試験を実施する意義について

原位置において核種移行試験を行う場合、天然の地下水流速で試験を行うと、結果が得られるまでに数年～数十年といった長期間を必要とする場合があります。したがって、試験期間を短縮するための加速試験を行います。重

要なことは、移行メカニズムを把握することです。たとえば室内実験で地下水流速と核種の移行速度との関係を導出しておけば、原位置試験の結果から実際の処分場における核種の移行速度へ適用できるかどうか確認することができます。一方、最初の A_m の破過のように、室内試験からは明確には得られない結果が原位置試験から得られることもあります。したがって、室内試験と原位置試験の両方を行うことが、核種移行評価の信頼性を向上させる点でも重要であると考えます。

今回のグリムゼル原位置試験場での試験結果とそれに関する解析結果は、これまで何件か報告されたコロイドの影響によって核種移行が大きく促進された観測例は、地下水流速が速い場合にコロイドの影響が顕著に表れた特異的な例であると考えられ、本研究はその理解ができただけでも有意義なものであったと考えます。このような理解ができることに関しては、日本原子力学会 2005 年の春の年会（予稿集：分冊Ⅲp.678）で報告しております。

○ Kd モデルの妥当性について

収着分配係数 (Kd) は、放射性核種の移行を遅延させるような、緩衝材や岩石と核種の相互作用 (収着) の程度を示す指標として、一般的に用いられています。緩衝材や岩石中の多くの鉱物に含まれている主要な収着サイトである層間や表面の水酸基への元素の収着は、いずれも可逆で、緩衝材や岩石中での溶質 (つまり放射性核種) の移動速度に比べて十分に速い反応と考えられております。したがって、可逆であるということから、収着する溶質が収着サイト濃度に対して十分に希薄であれば、収着される元素の固相中の濃度が溶液中の元素濃度に比例する線形収着となり、元素の固液の分配は Kd で記述することができます。また、収着反応の速度が移動速度に比べて十分速いことから収着は瞬時に生ずると仮定がすることが可能です。「第 2 次取りまとめ」における安全評価では、Kd の温度依存性についても、一部の元素について 25°C と 45°C (地下深部の処分場周辺の母岩温度) では異なる Kd 値を設定するなど考慮しております。なお、実際の収着現象では不可逆なものも報告されており、本来分配係数の概念とは相いれないものではあります。非可逆収着を Kd のような可逆の概念のものとして取り扱うことは、核種移行評価の観点からは、一般に保守的であると考えられます (以上の内容につきましては、サイクル機構「第 2 次取りまとめ」分冊 3 (JNC TN1400 99-023) をご参照ください)。したがって、Kd を用いることは、性能評価上は妥当なものといえます。

このような Kd の概念および算出方法については、たとえばスイス放射性廃棄物管理協同組合 (Nagra) においても同様のものを用いており (たとえ

ば, Nagra NTB 02-06 をご参照ください), 国際的にも認められた考え方に基づいています。