

地層処分を支援する JAEA 知識ベース — 中期計画に基づく研究開発成果の全体概要 —

地層処分研究開発部門
副部門長 油井 三和

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）では、国が示した中期目標や関連する計画・方針に従って定めた原子力機構の中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）に基づき、地層処分技術に関する研究開発として、地層処分研究開発およびその基盤となる深地層の科学的研究を進めている。中期計画では、研究開発成果を包括的な報告書と地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースとして取りまとめることとしている。

ここでは、地層処分技術に関する研究開発の背景と中期計画の概要、中期計画の研究開発成果に基づく知識ベースの事例を紹介する。

2. 背景と中期計画の概要

1) 背景

地層処分をはじめとする放射性廃棄物対策は、原子力による社会の持続的な発展を支える必須の要件である。原子力機構の地層処分研究開発部門では、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を中核となって進めるとともに、TRU 廃棄物（長半減期低発熱放射性廃棄物）の地層処分に関する研究開発の一部を担いつつ、地層処分の事業を着実に進めるための技術基盤の継続的な強化を図っている。

地層処分の特徴は、百年にわたる事業の長期性と、千年、万年といった安全確保の超長期性にあり、そのため、国の責任のもと長期的な視点に立った研究開発の推進が求められる。地層処分の研究開発は、科学技術の進歩や社会条件等の変化に適切に対応できるように、計画性と柔軟性をもって継続的に進めることが重要であり、得られた成果は地層処分事業の円滑な進展を先導し、重要な意思決定プロセスを支える技術的拠り所となる必要がある。また、研究開発によって整備される基盤技術が事業や規制に適切に継承されていくためには、タイムリーな人材供給を念頭においた、中長期にわたる計画的な人材育成が求められる。

研究開発の成果は、地層処分事業の段階的な進展に先んじて公開し、事業者や規制者を含む様々なユーザーの利用に供していく必要があるが、対象となる情報は時間とともに急激に増加していく。原子力機構では、そのような研究開発の成果や関連する国内外の知見を体系化して適切に管理、伝承・継承していくため、知識マネジメントシステムの開発構想を打ち出し（核燃料サイクル開発機構、2005）、現中期計画の中心テーマとして取り組んできた。

2) 原子力機構の中期計画

中期計画では、原子力機構は地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分事

業と安全規制の両面を支える技術基盤を整備するため、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの研究領域において、他の研究機関と連携して研究開発を進め、その成果を地層処分の安全確保に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化するとしている。また、中期計画期間の研究開発成果を、国内外の専門家によるレビュー等を通じて技術的品質を確保した包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめるとしている。

「地層処分研究開発」では、地層処分の工学技術と安全評価手法の開発を進め、モデルの高度化やデータの拡充、データの標準的取得方法の確立、実際の地質環境データを用いた設計や安全評価手法の適用性確認等を行うとしている。「深地層の科学的研究」では、岐阜県瑞浪市（結晶質岩）と北海道幌延町（堆積岩）の深地層の研究施設（URL）において、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価、坑道掘削に係る工学技術の適用性確認等を行うとしている。また、地質環境の長期安定性に関する研究では、火山活動や断層活動、隆起・侵食に係る調査技術の体系化や評価モデルの開発を行うとしている。

また、本中期計画を踏まえて、他の研究機関も含めたオールジャパンでの研究開発計画が、高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画（資源エネルギー庁・原子力機構、2006）として取りまとめられている。

なお、研究開発の品質保証については、外部専門家による4つの評価委員会を組織し、年度ごとに計画や成果のレビューを受けるとともに、知識マネジメントシステム開発、核種移行研究などの特定テーマについては、国際ワークショップを開催し、研究のアプローチや品質等に関する議論、確認を行ってきた。また、スイス、スウェーデン、フィンランド等との国際共同研究や国内関係機関との協力を通じ、常に最新の国際的レベルの維持や技術動向の把握に努めてきた。こうした研究開発の成果は、数多くの関連論文や原子力機構研究開発報告書類等として公開されている。

3. 研究開発成果に基づく知識ベースの事例

1) 事業段階における研究開発の視点

研究開発の成果は、事業や規制の着実な進展となって社会に還元される必要がある。ここでは、事業を支援する立場から、どのような基盤技術を提示できるのか、それは事業を進める上でどのような意義をもつのかを議論する。

まず、前提となるのは、「第2次取りまとめ」（核燃料サイクル開発機構、1999）や「TRU 2次レポート」（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、2005）などの総合的な研究開発成果報告書が、日本において高レベル放射性廃棄物および TRU 廃棄物の安全な地層処分が実現可能であることについての確かな基盤を与えているという認識である。この認識は、その後の諸外国の動向や科学技術の進歩などに照らしても、なお有効である。

このような日本全体を視野に入れた地層処分の技術基盤は、「第2次取りまとめ」や「TRU 2次レポート」以降の事業段階における研究開発、すなわち URL 等を中心とした研究開発によって、実際の地質環境に対して具体的に適用するという実用化の観点から強化が図られてきている。実用化に向けては、とくに以下のようなポイント（視点）が重要となる。

- ・ 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮

- ・ 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- ・ ステークホルダーへの積極的な情報提供
- ・ 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- ・ 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

2) 知識ベースとしての成果例

研究開発の成果は上記 1) に示した 5 つのポイントとマトリックス的に関連し合うものであるが、ここでは、各ポイントを切り口として、関連する研究開発成果の事例を紹介する。

(1) 現実的な地質環境条件の考慮

「第 2 次取りまとめ」や「TRU 2 次レポート」が示した地層処分の一般的な概念を、候補サイトの地質環境条件に適合させていくためには、①候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積、②候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積、③異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発が重要となる。以下に、各項目に関する具体例を紹介する。

① 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

瑞浪 URL の研究においては、段階的に得られる地質環境情報の統合により、地質構造の分布や地下水の動き等を把握するための調査の精度向上が図られたことや地下水流動に影響を及ぼす水みちの抽出評価手法が例示できたこと（三枝他, 2007 など）、幌延 URL の研究においては、地質構造や地球化学データの統合により大曲断層周辺の塩化物イオン濃度の分布等を把握したこと（太田他, 2007 など）、地質環境の長期安定性の研究においては、実際の地下深部におけるマグマの存否を確認するための調査手法や内陸部にも適用可能な隆起量の推定手法を整備したこと、安全評価手法の開発においては、整備した手法で取得した実際の地質環境データを用いて隆起侵食シナリオの評価手法を例示したこと（江橋他, 2009）等が挙げられる。このような調査技術や評価手法は、具体的な候補サイトが明らかになった場合に、そのサイトの特性や適用性を評価するための基本的なツールとなる。

② 候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積

工学技術の開発においては、強固な人工バリア性能の鍵となる緩衝材に関するデータベースを開発し、とくに重要な海水系地下水条件に対応した緩衝材基本特性データを拡充したこと、これを受け、幌延 URL の実際の地質環境データを用いて人工バリアの設計技術が提示できたこと（藤田他, 2007）等が挙げられる。このようなデータベースは、幅広い地質環境への適用が可能であり、候補サイトにおける人工バリアの設計や評価にとって有用なツールとなる。

③ 異なる技術オプションや選択肢の検討に資する評価ツールやデータベースの開発

工学技術の開発においては、炭素鋼オーバーパックの寿命評価のためのデータベースを開発するとともに、代替材料として銅オーバーパックの腐食挙動データを拡充することにより、サイト条件に柔軟に対応するためのオーバーパック材料選定オプショ

ンの検討を可能にしたこと、TRU 廃棄物の地層処分研究開発においては、普通セメントを用いた場合の高アルカリ影響に係る地球化学 - 物質移行連成評価モデルを開発し、その妥当性をナチュラルアナログ研究の手法により定性的に確認したこと等が挙げられる。このようなデータの拡充やモデルの開発は、具体的な候補サイトが明らかになった場合に、人工バリアや工学材料のオプションを選定する際の有効なツールとなる。

(2) 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮

工学技術の開発においては、人工バリア性能等への影響に配慮した安全な建設・施工技術開発として、支保工やグラウト技術で用いる低アルカリ性セメント材料の仕様を例示するとともに、同材料を用いた原位置での施工技術の実証試験を行い、低アルカリ性セメントの実用性に係る技術的根拠を整備したこと、URL の研究においては、湧水抑制対策技術等の様々な安全対策に配慮した建設技術を適用し経験を蓄積したこと等が挙げられる。このような新材料の開発、施工技術の実証、安全に配慮した現場での建設等の経験の蓄積は、処分場の長期安全性の確保に配慮しつつ、安全かつ合理的に建設・施工を進めていくための実用技術として活用できる。

(3) ステークホルダーへの積極的な情報提供

工学技術の開発においては、炭素鋼オーバーパック性能について、様々な実験やナチュラルアナログ研究に基づき、1年、10年、100年、1000年オーダーでデータを俯瞰することにより、長期性能への信頼性を高めたこと、安全評価手法の開発においては、シナリオ解析の際にプロセスインフルエンス・ダイヤグラムの表示が可能となる計算機支援ツール (FepMatrix) を開発し関係機関の利用に供したこと、核種移行評価で用いられる重要な分配係数の取得手法としてバッチ法に加え、現実的な圧密固相中での測定手法を提示したこと、核種の分配係数の設定のために世界初の試みとして信頼度を付与した収着データベースを開発し、関係機関や国内外専門家の利用に供したこと等が挙げられる。このような俯瞰的な情報、解析技術、測定技術、実用的なデータベースの公開は、事業者や規制者のみならず、様々な利害関係者の利用を通じて、処分場の長期安全性への信頼向上につながるものと期待される。

(4) 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性

工学技術の開発においては、オーバーパックの腐食や核種移行の場となる人工バリアとその周辺環境における熱 - 水 - 応力 - 化学の時空間変化を数値実験により表現する手法を開発した。これにより、処分場の長期的な変遷の可視化や人工バリアの初期性能のモニタリング等に活用できる精緻な解析技術の提供が可能となった。このような技術は、処分場の操業中に定期的あるいは社会の要請等に応じて安全確認を行う場合のツールとしても有効であり、計算科学等の進歩に応じてさらなる効率化が期待できる。

(5) 情報爆発に対応できる知識マネジメント

地層処分事業を支えるデータや情報の量は指数関数的に増加しており、最近では、関連する全ての文書等を従来の方式で取り扱うことが難しくなっている。原子力機構では、こうした多分野にわたる多量な情報を管理するため、世界に先駆けて知識マネジメントシステムの開発・導入に着手した。開発中の知識マネジメントシステムは、根幹となる知識ベースを中心に、ユーザーである実施主体、規制機関、専門家、公衆等との窓口となるコミュニケーションインターフェース、知識の管理・分析等のためのナレッジオフィス、関連する海外の情報等を取り入れることのできるグローバル知識ベース等より成る。

4. まとめ

原子力機構では、事業段階における基盤的な研究開発として、候補サイトが明らかになった場合に直ちに適用できるように、地質環境の調査評価技術、地層処分の工学技術および安全評価技術の各分野における技術基盤の整備を進めてきた。今後は、平成 21 年度末を目途に、中期計画の成果報告書(CoolRep H22)を取りまとめて Web サイト上に公開し、世界に先駆けて開発している JAEA 知識マネジメントシステム(プロトタイプ)を通じて、各分野の最新の知識ベースにアクセスできるようにしていく。このような、地層処分の安全確保に係る様々な論拠や知識を恒常的に提供できるシステムの構築により、わが国の地層処分計画を着実に進めるための強固な支援体制が整備できる。プロトタイプの公開後も継続的に知識ベースの更新とマネジメント機能の強化を進め、処分事業と安全規制の段階的な進展を支える知識基盤の維持・強化を図っていく予定である。

参考文献

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 TN1400 99-020~024.

核燃料サイクル開発機構(2005):高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成17年取りまとめ-, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2005-020, 014~016.

電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構(2005):TRU 廃棄物処分技術検討書-第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-, サイクル機構技術資料, JNC TY1400 2005-013/FEPC TRU-TR2-2005-02.

資源エネルギー庁・原子力機構(2006):高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.

三枝博光他(2007):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(第1段階)研究成果報告書, JAEA-Research 2007-043.

太田久仁雄他(2007):幌延深地層研究所計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044.

藤田朝雄他（2007）：幌延深地層研究所計画における地上からの調査研究段階（第1段階）研究成果報告書 分冊「地層処分研究開発」, JAEA-Research 2007-045.

江橋健他（2009）：仮想的な堆積岩分布域における地層処分の地下水シナリオを対象とした隆起・侵食の影響評価手法の例示, JAEA-Research 2008-117.