

第IV部

ま と め

第11章

研究成果の反映と 今後の展望

11-1	研究成果の反映	140
11-1-1	低レベル放射性廃棄物処分	
11-1-2	高レベル放射性廃棄物処分	
11-1-3	使用済燃料等の輸送・貯蔵技術	
11-2	まとめと今後の展望	142

11-1 研究成果の反映

11-1-1 低レベル放射性廃棄物処分

第1章で述べたように、原子力発電所の運転に伴って発生する低レベルの放射性廃棄物の処分は、低レベル濃縮廃液をセメントなどにより固化した第1号の埋設施設が1992年より、また、定期検査などによって発生する金属類、塩ビなど、固体状廃棄物（いわゆる、雑固体廃棄物）を対象とした第2号の埋設施設が2000年より、操業を開始している。さらに現在、国などを中心として、上述した廃棄物よりも比較的放射能レベルが高い高 $\beta\gamma$ 廃棄物などを対象とした次期フェーズの低レベル放射性廃棄物に関して、50m以深（おおむね100m程度まで）のやや深い地中におけるトンネル方式による埋設処分施設（いわゆる、余裕深度処分）の検討がなされている。

当研究所では、埋設処分以前の海洋投棄処分が検討されていた頃から、低レベル放射性廃棄物処分技術の研究に長年取り組んできており、安全な処分技術として、前レビュー¹⁾でも示した内容に加えて、2章から5章までに紹介した研究を実施してきている。当研究所が技術開発面でかかわってきたバックエンド事業支援研究の特徴は、①事業の円滑な推進のための技術開発（事業化支援研究）、②学会標準・基準・指針の策定への研究成果の提供（学術貢献）などを通じての社会貢献であり、国内外の情勢を踏まえて先取的に研究を提案・実施してきた。

これらの特徴を踏まえて、当研究所が実施した研究成果の主な活用事例を以下に示す。

(1) 事業の円滑な推進のための技術開発

低レベル放射性廃棄物処分施設では、放射性廃棄物が封入された容器（ドラム缶など）を、セメント系材料およびベントナイト系材料を用いて建設された処分施設に収納し埋設する。このため、放射性廃棄物を封入した廃棄体（放射性廃棄物とそれを封入した容器および充填物の全体を示す）と処分施設を構成するセメント系材料お

よびベントナイト系材料には、処分される放射性核種の特性（半減期など）に応じた長期的な核種移行抑制機能（核種の生活圏への移行を極力遅延させる機能：低透水・低拡散性、収着性、低溶出性）が求められる。

廃棄体溶融処理技術に関して、第5章で示したプラズマ溶融技術を用いた低溶出性が期待できる廃棄体製造技術を開発・提案するとともに、溶融時の核種挙動などの廃棄体性能特性を明らかにした。これらの成果は、電気事業におけるプラズマ溶融による低レベル放射性雑固体廃棄物の固化処理の実用化や、その後の技術指針策定などに反映された²⁾。

また、放射性廃棄物処分施設を構成するセメント系材料およびベントナイト系材料に関して、期待される核種移行抑制機能のうち低拡散性、低透水性に影響を与える要因のメカニズムを解明し、その長期的な挙動と影響を評価するために、第3章および第4章で示したセメント系材料およびベントナイト系材料を対象とした各種耐久性試験および解析モデルの開発を行ってきた。

いずれの成果も、日本原燃および電気事業による低レベル放射性廃棄物処分施設の計画立案、設計、評価や技術報告書などへ反映され、処分事業の円滑な推進に貢献している。

(2) 学会標準などへの研究成果の反映

上述のような技術開発成果をもとに、余裕深度処分などの低レベル放射性廃棄物処分に関する原子力学会による学会標準（民間規格）の策定、土木学会による技術報告書の取りまとめ・公表、および国における安全審査指針の改定などに協力・貢献してきた。表11-1-1は、当研究所の研究成果が反映されている国の指針、学会における民間規格や技術報告書などの一覧である。

さらに、第3章における処分施設の検査技術、および第4章のリスク論的安全評価に関する検討などを進展させることにより、低レベル放射性廃棄物処分におけるより信頼性のあるシステムの構築をめざして研究を進めている。

表 11-1-1 電力中央研究所が作成・策定に貢献した国・学会の規格・技術報告書の一覧

当研究所が作成・策定に貢献した国・学会の民間基準・技術報告書等		時 期
原子力安全委員会	第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方	2010年8月
(社) 日本原子力学会	学会標準「余裕深度処分の安全評価手法」	2009年5月発行
	学会標準「余裕深度処分対象廃棄体の製作に関わる基本的要件」	2009年12月発行
	学会標準「トレンチ処分施設の施設検査方法」	2011年2月発行
	学会標準「低レベル放射性廃棄物の埋設地に係る埋戻し方法及び施設の管理方法」	2009年度末
(社) 日本原子力学会	学会標準「収着分配係数の測定方法・浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順」	2002年10月
	学会標準「クリアランスの判断方法」	2005年7月
	学会標準「収着分配係数の測定方法・深地層処分のバリア材を対象とした測定方法の基本的手順」、および技術レポート	2006年8月
	学会標準「返還廃棄物の確認に関する基本的考え方」	2007年3月
(社) 土木学会	エネルギー委員会「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会活動中間報告会」中間報告書	2008年1月
	エネルギー委員会「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」	2008年6月公表
	エネルギー委員会「余裕深度処分における地下施設の設計及び品質管理、検査の考え方」	2009年7月公表

11-1-2 高レベル放射性廃棄物処分

原環機構では、高レベル放射性廃棄物地層処分の処分地選定を、最終処分法³⁾に基づき、次のような3つのステップで進めていくこととしている。

- ① 概要調査地区の選定
- ② 精密調査地区の選定
- ③ 最終処分施設建設地の選定

当研究所では、原環機構による最初の段階の概要調査地区選定（上記①）に向けての事業推進を支援するとともに、次の精密調査地区選定段階に備えての技術課題を中心に技術開発を進めてきている。これまでの研究成果の活用の主な事例を以下に述べる。

(1) 概要調査・精密調査に向けての基盤技術開発

我が国の高レベル放射性廃棄物地層処分に必要な基盤技術の開発（地層処分対象の TRU 廃棄物も対象を含む）は、JAEA による基礎基盤研究（科学的視点）と、経産省エネ庁による地層処分調査事業としての高度化・実用化研究（工学的視点）を二つの柱として進められている。当研究所は、第2章でも述べたように、JAEA との共同研究や経産省エネ庁委託研究（地層処分調査事業の一環）に積極的に参画し、コントロールボーリング掘削調査技術や地下水年代測定技術など、地質地下水に関わる当研究所独自の先進的な調査技術を開発してきている。また、経産省エネ庁主催の「地層処分基盤研究開発調整

会議」に協力研究機関として参画し、当研究所の研究結果などを踏まえて、我が国としての総合的な地層処分基盤技術開発の推進に貢献している⁴⁾。

(2) 概要調査における調査・評価技術の体系化

原環機構との共同研究として、当研究所横須賀地区において概要調査段階で必要となるボーリング調査技術の実証試験を行い、概要調査に必要なボーリング調査技術の適用性を確認し実施手順を構築した。また、当研究所を含めて国内における既往調査技術を調査・分析、取りまとめなど行った結果に基づき、本レビュー 2-5 で述べたように、概要調査における調査・評価の方法と手順を総合的に検討して体系化したフローを提示した。これは、原環機構による今後の概要調査の実施における活用が期待される。

(3) サイト選定に関わる地質環境

高レベル放射性廃棄物処分地選定の概要調査地区選定や精密調査地区選定に際しては、各段階における地質環境の長期安定性（隆起・侵食、海水準変動、火山など）に関する調査・評価を行うことになるが、その際の基本的な考え方を土木学会原子力土木委員会地下環境部会において取りまとめ、公表した（「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（2001年8月）⁵⁾。「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」（2006年1月）⁶⁾の作成にあ

たっては、当研究所が中心的な役割を果たした。これらの成果は、原環機構により公表された「概要調査地区選定上の考慮事項」（2002）に反映されている⁷⁾。

また、その後の原環機構による報告書「地層処分事業の安全確保（2010年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－（概要版）」（2012）などにも当所研究成果が多数反映されている⁸⁾。

11-1-3 使用済燃料等の輸送・貯蔵技術

(1) 貯蔵

(a) キャスクの耐震性評価

実物大貯蔵容器などを用いた耐震試験結果に基づき、転倒評価指標と地震力に対する燃料集合体の応答評価手法を提案した。さらに、残余のリスクとして、地震時に万が一、建屋が倒壊し、重量物が金属キャスク上に落下し、衝撃荷重が負荷された場合の金属キャスクの密封性能などを評価した。

これらの成果は、使用済燃料貯蔵施設の安全審査対応において、地震時の金属キャスクや使用済燃料の健全性評価に活用されている。

(b) キャスクへの飛来物衝撃評価

金属キャスク貯蔵施設に大型航空機が墜落した場合のシビアアクシデントを想定して、キャスクの縮尺模型に高速飛来物を水平／垂直に衝突する試験・解析を行い、キャスク蓋部の密封性能が維持されることを確認した。本成果は、使用済燃料貯蔵施設に航空機が墜落する仮想的な事故時の健全性維持についてのPA資料として活用される。

(c) 貯蔵建屋への塩分流入対策

キャスク貯蔵建屋への流入塩分低減技術として、低圧損の塩分除去装置を開発した。

本成果は、沿岸域で空気の大気対流により換気を行う電力施設などの塩分対策にも活用される。

(d) 浅地下ボルト貯蔵施設の成立性評価

浅地下に使用済燃料をボルト貯蔵する場合の概念および許認可性を評価した。

本成果は、将来の次世代大容量貯蔵技術として、ボルト貯蔵方式が選択肢として活用されるよう、実用化をさらに促進する。

(e) 鋳鉄キャスクのASME規格化

使用済燃料の輸送・貯蔵兼用キャスクとして、経済的な鋳鉄キャスクの規格を、当所での試験・研究などをもとに、米国機械学会（ASME）規格として制定した。

本成果は、使用済燃料輸送・貯蔵容器の調達の実現を促すとともに、放射性廃棄物の余裕深度処分容器の設計・許認可に活用される。

(2) 輸送

(a) 使用済燃料輸送キャスクの密封性能に及ぼす地震の影響評価

新潟県中越沖地震による使用済燃料輸送キャスクの密封性能への影響はなかったことを、蓋部の部分模型試験により明らかにした。

本成果は、原子力発電所構内のキャスク輸送の安全性確保の根拠として活用された。

(b) MOX新燃料輸送物ガasketの耐熱性能評価

MOX新燃料輸送物の密封性能の支配因子となるシール材について、加熱による加速試験を行い、密封性能が5年以上維持される見通しを得た。

本成果は、MOX新燃料輸送物の定期点検間隔を5年に延長するための技術的根拠として活用される。

(c) 海没時の環境影響評価

最新の海洋循環モデルを用いて、放射性物質輸送物の仮想海没時の影響評価手法を構築・検証した。

本成果は、軽水炉によるプルサーマル用新燃料輸送の安全性説明資料として準備された。

11-2 まとめと今後の展望

当研究所は、低レベルおよび高レベルの放射性廃棄物の処分ならびに使用済燃料などの輸送・貯蔵に関する、我が国におけるいわゆるバックエンド事業の推進を支援するために、30年以上にわたり技術開発に取り組んできている。本レビューでは、最近の約12年間におけるバックエンド事業を取り巻く国内状況を総括するとともに、当研究所が注力してきた主な研究成果を取りまとめた。

低レベル放射性廃棄物の処分に関しては、すでに青森県六ヶ所村において、日本原燃による浅地中のピット処分が約20年にわたり順調に操業を続けており、近年は

放射能レベルがやや高い低レベル放射性廃棄物を対象とした余裕深度処分の実現に向けて、電気事業などによる技術的検討とともに、国や学会による指針・民間規格の整備が進展してきた。このような中で、安全審査指針の改定などもあり、より長期の処分施設の安全性を評価する必要性が出てきたことから、処分施設の長期のバリア性能を考慮した調査・設計・評価・管理技術の信頼性向上が重要となってきた。このため当研究所では、地質地下水などの天然バリア調査評価技術ならびに処分施設の設計や人工バリア材料（セメント系、ベントナイト系）の長期性能評価のためのデータ蓄積や、リスク論的評価手法の高度化・確立などを図ってきた。また、それらの成果をもとに、学会における民間規格や国による安全審査指針の改定などにも反映させてきた。さらに、アークプラズマによる溶融処理技術を開発し、低レベル放射性雑固体廃棄物の一括減容処理や除染技術として適用できることを明らかにした。今後とも、低レベルの各種放射性廃棄物の処分事業を安全かつ合理的に実施していくために、より信頼性ある技術の確立を目指していく。

一方、高レベル放射性廃棄物および TRU 廃棄物の地層処分に関しては、サイト選定の第一ステップである概要調査地区選定のための調査区域への自治体からの応募が待たれる状況にあるが、概要調査段階やその次の精密調査段階に備えての地質・地下水環境などの調査・評価技術の開発・高度化と、総合的調査・評価のための技術の体系化と手順の構築などが、国や原環機構において着々と進められている。当研究所は、国や原環機構による上記の技術開発・体系化などにおいて、コントロールボーリング調査技術や地下水年代測定手法など先端的な地質・地下水環境の調査・評価技術や、隆起・侵食、活断層、火山などの地質環境長期安定性に関わる調査技術の確立とデータ蓄積を図るなど、高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化準備に反映させてきた。今後も、上述のような観点から、長期にわたる事業化推進を支援していくための技術開発を進めていく。

使用済燃料などの貯蔵技術に関しては、金属キャスクやコンクリートキャスクによる乾式の中間貯蔵技術の確立のために、落下衝撃、密封性、除熱性能、耐震性などの研究を推進してきた。これらの研究成果の多くは、我が国および米国の学会標準、IAEA 国際基準、さらには国の基準・指針などに取り入れられてきており、また近

年、青森県むつ市において RFS により建設が進められている金属キャスク方式使用済燃料中間貯蔵施設の許認可申請にも反映されている。さらに、より合理的な貯蔵技術として、コンクリートキャスク、浅地下ボルト、あるいは地下トンネルの方式による貯蔵技術の実用化に向けた研究も進展させてきており、今後もそれらの実用化を目指した研究を進めていく。

一方、東京電力（株）福島第一原子力発電所で発生した破損燃料等の取り出し・輸送・貯蔵に関して、これまでの知見を役立てることができれば幸いと考える。

使用済燃料などの輸送に関しては、ブルサーマルの進展により MOX 燃料の輸送が始まっており、また英国からの返還ガラス固化体の輸送も始まっている。今後は、使用済燃料や各種の放射性廃棄物の増大も予想されるなど、放射性物質の大量輸送に備える必要が生じている。当研究所は、輸送規則を念頭に、上記の新たな原子燃料や放射性廃棄物の輸送用容器の耐久性および落下衝撃などに関わる試験、評価を行い、それらの円滑かつ安全な輸送を支援していく。

以上のように、今後もより一層、低レベルおよび高レベルの放射性廃棄物処分全般、さらには使用済燃料などの輸送・貯蔵の分野を含むバックエンド全体の技術蓄積を有する当研究所の特色を生かして、国内外の機関とも密に連携しつつ、我が国のバックエンド事業の推進を技術面から支援していく。

また、これまでに蓄積されてきた放射性廃棄物の処理・処分や使用済燃料等の輸送・貯蔵に関する技術は、今後における大きな課題である福島第一原発の廃止措置や事故由来放射性物質による汚染廃棄物対策の進展に向けて、その有効活用が各方面から期待されている⁹⁾。

当研究所としても、電気事業の中核的な共同研究機関として、これらに積極的に貢献していく。

参考文献

11-1

- 1) 電力中央研究所：原子燃料サイクルバックエンドの確立に向けて、電中研レビュー、No.40、2000年11月。
- 2) 電力中央研究所：アークプラズマとその応用技術－廃棄物処理と材料創製への適用－、電中研レビュー、No.54、2010年12月。
- 3) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律、平成12年法律第117号、2000年、2007年3月改正。

- 4) 経済産業省資源エネルギー庁、日本原子力研究開発機構：地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化－国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開、地層処分基盤研究開発調整会議報告会、2007年3月。
- 5) 土木学会 原子力土木委員会 地下環境部会：概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方、2001年8月。
- 6) 土木学会 原子力土木委員会 地下環境部会：精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方、2006年1月。
- 7) 原子力発電環境整備機構：概要調査地区選定上の考慮事項、2002年。
- 8) 原子力発電環境整備機構：地層処分事業の安全確保(2010年版)－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－(概要版)、NUMO-TR-12-04、2012年9月
- 9) 土木学会 東日本大震災2周年シンポジウム 個別テーマセッション8：原発事故由来の放射性物質汚染廃棄物等の対策に貢献する土木技術、2013年1月