

「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」

研究専門委員会

最終報告書

平成 29 年 3 月

日本原子力学会

「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会

本報告書の位置づけと構成について

本報告書は平成 25 年 4 月より 4 年 45 回にわたる検討結果を収録したため、本文だけでも約 280 ページ、補足資料等を含めると約 560 ページという膨大な量に上る。そこで、本研究専門委員会に於ける議論や活動を知る上で必要最小限の情報を提供する、という意図でエグゼクティブ・サマリーを作成した。その上で、4 年間の議論から得られた 20 項目の提言を示した。各提言の背景についてはそれぞれの提言に付した章/節/項の番号を手掛かりに該当する本文の章/節/項をご一読いただきたい。また、本報告書の各項の要旨を要旨集としてまとめ、提言集の後ろに添付したので参照願いたい。

本文は、平成 26 年 6 月にリリースした当委員会の中間報告書¹をベースに、その後の議論から追記、修正等加えたもので、「はじめに」、「第 1 章 基本的要件」、「第 2 章 技術論」「第 3 章 技術を越える課題」で構成されている。従って、本報告書はこの中間報告書と重複する部分もあるが、当委員会の議論全体を俯瞰するために、論点等変更の無かった部分についてもあえて再掲している。

この本文における議論を補てんする目的で、補足資料として（1）～（16）の資料を添付した。これらは、当委員会の議論を進める上でご講義等を頂いた有識者の方々の講義録、提供頂いた資料の他、当委員会の議論の過程で深掘した用語の定義等に関する議論の記録に加え、背景情報として、処分に関わる考え方の変遷、廃棄物の区分に関する解説、核燃料サイクル開発政策に関する歴史などで構成している。

また、原子力に馴染みの無い方にもご理解いただけるよう、中間報告書と同様に（十分では無いかもしれないが）専門用語の解説を用語集として添付したので必要に応じて参照願いたい。

¹ http://www.aesj.net/document/com-r_shiyouzuminenryou2014_m.pdf

エグゼクティブ・サマリー

本研究専門委員会はその発足前の平成 24 年 11 月から有志 20 名による準備会合を開始し、設立趣旨書の策定等を行った上で、日本原子力学会企画委員会の了解を得て、幹事会 4 名、委員 24 名オブザーバー 1 名の構成で平成 25 年 4 月に発足した。その後、若干の委員やオブザーバーの異動を経つつ、平成 29 年 3 月まで 45 回の委員会を開催しつつ、途中平成 26 年 6 月には中間報告書を取りまとめた他、日本原子力学会の定例大会（2014 年春の年会～2017 年春の年会）での企画セッションを計 6 回持ち、委員会に参加していない学会員との意見交換を行った。また、JST のサイエンスアゴラに企画提案する形で一般市民とのトークセッションも持つこともできた。

これらの活動を通じて、我が国が使用済燃料直接処分をこれまでの核燃料サイクルの柔軟性確保のために選択肢として導入する、あるいはこれまでの核燃料サイクル路線から転換するためには技術上の課題だけではなく、社会環境上の課題も確かに存在し、それらを乗り越えない限り、先に進むことは叶わないことが推察できた。そこで、それらを乗り越えるための方策として 20 の提言をまとめた。

本研究専門委員会は「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」の検討を目的としている。しかし、議論はもっぱら「使用済燃料の直接処分（以下、直接処分）」に関わる事項に留まらず、高レベル放射性廃棄物の処分問題に共通する課題に拡散するのが常であった。そのため、本報告書にも処分問題に共通する課題と直接処分固有の課題が混在する結果になったことをお断りしておく。

「はじめに」では、直接処分にはガラス固化体処分と異なる技術的、社会的課題があることを強調している。「第 1 章 基本的要件」ではまず、①ガラス固化体の潜在的毒性がウラン鉱石なみに低下するのに 1 万年程度必要だが、直接処分では 10 万年程度かかること、②使用済み燃料がプルトニウムを含むことから、臨界安全性の検討や恒久的保障措置の適用が求められることを指摘した。さらに福島第一の事故が転機になり直接処分の検討が求められたとし、その必要性について①将来の政策変更に対応できるよう備えが必要であることや、②少量ではあるが再処理に適さない燃料が存在することを上げている。

「第 2 章 技術論」では、まずガラス固化体処分で培われた安全評価の方法論が直接処分の安全評価でも活用できることを示した。その上で、両者には寸法、重量、放射線量、マトリクス材としての性質、含有核種に相違があるほか、直接の処分では臨界可能性や核物質防護の検討も必要だと指摘した。さらに低吸着性の理由から C-14 や I-129 について、廃棄体から生活圏に至る移行挙動の理解に基づくモデル化などが重要課題になるとした。

さらに技術論の一環として 2016 年 12 月に JAEA が提示した使用済燃料の直接処分に関する概括的評価である「第一次とりまとめ」についても紹介した。また、ガラス固化体

処分せよ直接処分せよ、処分プロセスにフレキシビリティを与える手段として中間貯蔵を組み込むことが有効であることを指摘した。多くの国で法律や政策レベルで、可逆性や回収可能性の導入が検討されているがこれについても検討を加えた。技術論の最後として、過去のトラブル・事故事例からの教訓についても触れた。特に先行処分施設のトラブル事例としては、米国 WIPP の 2 件のトラブルとドイツのアッセ放射性廃棄物処分場のトラブルを取り上げた。

「第 3 章 技術論を超える課題」では、まず総論として地層処分問題がいわゆる「トランスサイエンス」的課題の極致にあること、②公正・公平の確保を特に留意する必要があること、③社会の様々なステークホルダーと解決策の共創（共進化）を進める姿勢が重要であることを強調した。その上で前半では、国や事業者など事業を進める側と、社会や市民とのコミュニケーションのあり方についての議論についてまとめた。国や事業者がこれまで取り組んできた「広報活動」が、一般市民にどう受け取られてきたかを考察し、市民との対話についてより詳細に検討した。対話のあるべき姿として生物の共進化、つまり事業を進める側と市民が相互に影響し合い両者がダイナミックに変化するプロセス、に学ぶことの重要性を提案した。また、対話に関する海外の先進的事例から日本への示唆を抽出した。また、これらの議論の実践活動として、当委員会以外の学会員の参画も得て JST のサイエンスアゴラに企画提案する形で一般市民とのトークセッションを開催し、傾聴による議論の深化の一端を経験した。詳細は補足資料（16）を参照頂きたい。

本章の後半では、事業を進める側と市民が、対等で有意義なコミュニケーションを実現するための周辺条件などについての議論を収録した。まずは政治の役割である。2015 年 5 月に特定廃棄物の最終処分に関する基本方針が改訂された。改訂の大きな目玉が「国が前面に立つ」であった。統治機構としての国が基本方針を定める以上、国には国民や立地地域に対する説明責任があるのは当然である。ただ、社会とのコミュニケーションを通して共進化するためには、統治機構としての国ではなく、国民によって選出される「政治」の役割の重要性を報告書は強調している。

また、ここでは①直接処分を含む放射性廃棄物に関する倫理的側面、②原子力利用を考える際のコストに関する考え方③損害賠償制度を中心に意志決定が円滑に進むための環境整備④学会及び学術界への期待、についての検討結果を収録している。まず、倫理的側面については、将来世代の負担と現世代の責任をどう考えるか、という点を論じている。コストについては、「政策変更コスト」や「事故リスクコスト」の扱いを論じている。損害賠償制度では、損害賠償責任事業者にあるが最終的な保証は国が行うことを法的に明記することの必要性を強調した。学術界への期待では、原子力委員会の役割の変更・縮小に伴い、あらためて学術的な研究活動の牽引と知見の結集が、人文科学・社会科学を含む学術界に期待されることを再確認した。

さらに、放射性廃棄物を総量管理すべきとする考え方への見解、中間貯蔵の必要性への考え方、直接処分研究の進め方、人材の継続的な確保と技術継承についても研究会に於

ける議論を紹介した。研究開発については、そのレビューに当たり関心のある一般市民の参画を求めることの必要性を強調した。また、人材育成については、スウェーデンのYGN (ヤングジェネレーション・ネットワーク) の例を紹介し、我が国への示唆を検討した。

謝 辞

当委員会では委員会での議論の場、あるいは日本原子力学会の定期大会での企画セッションの場に、有識者として計 8 名の方をお招きし、委員会の議論の進展に即した御講演をいただいた。

中でも、日本原子力研究開発機構の堀氏からは地層処分における核セキュリティの考え方について、原子力安全研究協会の増田純男氏からは地層処分の歴史について、聖徳大学の林史典教授からは日本語の特性と専門用語の性質等について、つくば科学万博記念財団の久保稔氏からは企業広報経験者の立場から情報の伝え方について、NPO 法人持続可能な社会を作る元気ネットの崎田裕子氏からは市民との対話について、三菱総合研究所の義澤宣明氏からは政策形成に係る倫理問題について、そして長崎大学の鈴木達治郎教授からは核燃料サイクルの柔軟性確保について、更に原子力安全研究協会の朽山修氏と増田純男氏氏（2 回目講演）から地層処分技術の柔軟性について、それぞれ御講演ないしは御見解をいただいた。これらの御講演等が以後の委員会活動にとって有意義であったことは言うまでも無く、ここに御礼申し上げたい。

平成 29 年 3 月 吉日

提 言

4年間の議論の集大成として以下、提言する。個々の背景等についてはそれぞれの末尾に記した本文の章/節/項を参照願いたい。

1. 国（政治と行政）への提言

（高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するもの）

- 1-1 国は、10万年～100万年といった超長期の人知を超える時間軸に関わる問題をどこまで、どのように考慮すべきか、ということについて、改めて社会的コンセンサスを得るべき（1.1）
- 1-2 先般の国の基本方針の改定で、不確実性に対する備えについて万全を期したいという社会の要求に応えるための重要な仕組みの一つとして可逆性・回収可能性の担保が位置づけられたが、具体的にどのようなかたちで具現化するべきか、複数の選択肢毎の利害得失の比較検討や閉鎖までの管理の在り方も含めて議論を深める必要がある。（2.4）
- 1-3 規制当局による正統的な処分場の点について、その重要性を改めて認識し、あらかじめ対処方針や対処策を検討し、備えを講じること閉鎖基準の設定とその実現に向けた関連技術の開発に取り組むべき（3.3.1）
- 1-4 社会全体が「その選択は社会全体の合意に基づいて、地域社会が主体的にしたものである」と認識し、それを尊重できるよう、透明性、公平性、地域の主体性を高い水準で備えたプロセスを国として実現すべき（3.2.2）
（3.2.4）
- 1-5 住民（国民）と事業者・国とが対等な立場で議論でき、相互に信頼関係を構築できるスキームを整備することは有効と考えられ、日本においても検討の余地がある。（3.2.3）
- 1-6 政治のとりわけ重要な課題は、対話を通して得られた社会の意見や地元の要望などを取り上げて様々な意思決定の場や制度設計に反映する仕組みを用意すること。参議院の「調査会」制度の活用も視野に入れるべき。（3.3）
- 1-7 直接処分を含む高レベル放射性廃棄物に必要な知識、経験及び能力を有する人材を継続的に育成し、確保することを目的として、処分実施機関を頂点とする責任体制を整備し、併せてスウェーデン YGN のような業界横断的な人材育成の仕組みを構築して、より広範囲の業界人材の育成を目指すべき。（3.5.3 及び 3.5.4）

（使用済燃料直接処分に関するもの）

- 1-8 プルトニウムを資源と認めず、直接処分を行う場合には、「プルトニウム鉱山問題」に代表される将来にわたる核不拡散の懸念への配慮や対処も重要。

なお、「可逆性・回収可能性」担保する場合には、核拡散リスクへの対処について、将来世代にも負担を残すことの是非も含めた検討が必要 (2. 1. 1)

- 1-9 「現在の問題を解決するだけでなく、新たな問題を生み出しにくく、“やり直し”しやすい」選択肢として「直接処分」は適切か否かについて技術的検証を行っていくべき。(3. 2. 2)

(その他関連事項)

- 1-10 どのような核燃料サイクルを想定しても、それに使用済燃料中間貯蔵を組み込むことにより、フレキシビリティを与えることができる。(1. 4、2. 3 及び 3. 5. 2)
- 1-11 社会の意思決定の重要な前提となるコスト評価においては、中立的かつ科学的根拠のみに基づくとともに、万人がそれらを確認できる透明性が担保されるべきである。原子力委員長も提唱しているように、関係業界による科学的根拠の共有と追跡可能なかたちでの情報公開が必要。(3. 3. 2)
- 1-12 原子力施設事故に係る無限の損害賠償の責任は事業者にあるが、事業者の賠償能力が有限である場合に備え、事業者の無限責任賠償を可能とするために、実質的に無限の支払能力を有する国が最終的に事業者の損害賠償支払いを保証することを法律で明記することにより、地元住民や国民の権利や利益を責任をもって守る姿勢を国が明確に示すことが重要。このことは、放射性廃棄物処分の分野にも適用されるべき。(3. 3. 3)

2. 事業主体への提言

- 2-1 処分場設置に当たっては、①長期的な安全確保を実現する十分な経営資源の確保、②技術的・社会環境的な問題による予期せぬ処分場使用中止の可能性の認識、③社会体制の変更等予測不能な事態への対応を準備、の3つの点について、その重要性を改めて認識し、あらかじめ対処方針や対処策を検討し、備えを講じることが必要。(2. 5. 2 及び 3. 3. 1)
- 2-2 処分は“できる”と主張するだけでなく、現時点での自然界に対する理解の限界を専門家側が認め、不確実性への対処を示すことも信頼回復に資する。(3. 2. 2)
- 2-3 聴く側の身になった用語を使い、聴く側の理解のプロセスに沿った説明をすることが大切。進める側が訴えたいことばかりを、訴えたい側の論理の順番に沿って伝えようとしてもうまく行かない場合がある (3. 2. 4)
- 2-4 対話のあるべき姿は、生物の世界で言う共進化、即ち、相互に影響を与え合い、両者ともにダイナミックに変化していくべき。一方のみが他方に対して態度変容を求めてはならない。(3. 2. 4)

3. 原子力学会を含むアカデミアへの提言
- 3-1 学術的な研究活動の牽引と結集に加え、技術的領域とともに社会システム構築の研究を、学会として奨励すること (3.4)
- 3-2 アカデミーは、この問題への対処を進めるために必要な学術研究の推進、学際的な共考協働の促進、国際情報を含む多様な見解を一般の人々を対象に積極的に紹介するなどの役割を負うべき (3.4)
- 3-3 学術界には、トランス・サイエンス問題である地層処分問題解決の一環として、専門分野横断のコミュニケーション及び様々な関係者・国民とのコミュニケーションを図りつつ、学際的共考協働作業への取り組みを期待する (3.4)
- 3-4 地層処分システムの実現に向けて、社会の理解を促すために取り組むことが必要な研究課題について、所要の研究体制が整備されることを期待する (3.4)

最終報告書の要旨集

本要旨集は当最終報告書の本文が約 280 ページという大部となったことから、読者の負担軽減を考慮し、比較的短時間で本報告書の概要が読み取れるよう、執筆者各位の分担により、各項 400 字程度を目標として要旨を作成し、まとめたものである。

はじめに(問題提起)

福島第一原子力発電所の事故により激変した我が国の原子力発電とバックエンド事業の状況を踏まえ、使用済燃料管理の新たなオプションとして、直接処分や長期保管が検討されており、所要技術の研究開発も始められた。直接処分の場合には、従来計画されてきた使用済燃料の再処理後の高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分の場合とは異なる技術的、社会的課題がある。

当研究専門委員会の検討は、従来のガラス固化体の地層処分と使用済燃料の直接処分の技術的相違点を踏まえて、直接処分を選択肢とする場合に検討すべき科学技術を超える課題(いわゆるトランスサイエンス的課題)を摘出し、整理して示すところに主眼がある。

放射性廃棄物の処分問題のひとつであると同時に使用済燃料の管理の問題のひとつでもある直接処分問題には、長期間にわたるリスク以外にも、持続可能性、世代間倫理等のさまざまな側面がある。広がりを持つ課題領域のなかで関係者の関心や利害が交錯し衝突する問題でもある。こうした問題に対する事業者、学术界、行政、政治等関係者に期待される役割は何か、論考を試みる。

第1章 基本的要件

1.1 放射性廃棄物処分に関わる原則

放射性廃棄物処分場を論ずる基本的認識を示した。原子力施設はリスクに正面から向き合うことが求められ、放射性廃棄物処分場の安全対策には他の原子力施設同様、深層防護の考え方が適用される。処分場は一般的な原子力施設と異なり、事故で放射性物質が大量に放出される可能性は低いが、長期的には地下水に放射性物質が漏れだす可能性を無視しえない。このような懸念は何万年、何十年先に起きることに対するものではあるが、安全性の受忍限度に関する議論につながるもの、とも言えるものであり、社会的な合意形成を要する。

直接処分は再処理後のガラス固化体や TRU 廃棄物の処分と異なり臨界安全に対する検討が必要である。処分場は天然ウランから取り出したウランから派生した高レベル放射性廃棄物を天然ウランと同程度のリスクになるまで人間の社会

的環境から隔離するものだと捉えることが出来るが、直接処分の場合は再処理後の処分の場合と比べ、その期間は長期化する。放射性廃棄物処分場を論ずる場合、これらの超長期間問題をどう捉えるのかの視点が重要となる。

1.2 地層処分技術の歴史と直接処分の特徴

地層処分概念は1957年の全米科学アカデミー（NAS）の報告書に端を発している。地層処分の技術自体はおおむね1990年代には実施可能なレベルにまで成熟したということができたが、世界的に地層処分計画においては技術的側面よりも社会的側面の方が格段に重要性を増してきている。使用済燃料の取り扱いに関しては、直接処分方式と再処理・リサイクル方式がある。再処理を行う場合は、高レベル放射性廃液のガラス固化体が主たる処分対象となるが、工程で発生するTRU廃棄物も含めて議論する必要がある。

放射性廃棄物の放射能は、処分の安全性を考える上での出発点となる指標である。ガラス固化体の場合、その放射能によるリスクがウラン鉱石の放射能を下回るためにはほぼ1万年を要するが、使用済燃料の場合には約10万年が必要。再処理でプルトニウムを回収することは、廃棄物処分の観点からすれば、廃棄物の放射能に伴うリスクの低減に大きく貢献している。

また直接処分の場合、プルトニウムを含む使用済燃料をそのまま地下埋設するため、安全上は臨界安全解析が必要となることに加え、地層処分場に恒久的な保障措置の適用が求められる。

1.3 議論の背景：原子力政策と直接処分

我が国の原子力政策では、1956年策定の第1回「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（以下、長計）において「将来わが国の実情に応じた燃料サイクルを確立するため、増殖炉、燃料要素再処理等の技術の向上を図る。」と明記されて以来、一貫して再処理方針を掲げてきた。この一貫した再処理方針に対し、2011年3月の福島第一事故は大きな転機となった。

原子力委員会は2012年6月、最適な核燃料サイクル選択肢は将来の原子力発電比率により異なることを示した。2015年7月の「長期エネルギー需給見通し」において示された2030年の目標原子力比率「発電電力量の20-22%」は先の原子力委員会決定に言う「全量再処理が望ましい」選択肢の範囲内ではある一方、原子力の研究開発に従事している関係者は、廃棄物の毒性低減や被ばく等の健康被害、環境影響の最小化等、多角的な観点から、再処理・直接処分の双方についてオープンかつ積極的な推進姿勢を維持していくことが期待されている。

1.4 直接処分を検討する社会的意義

直接処分は再処理のアンチテーゼとして語られることが多く、再処理と直接

処分は二者択一のものとして捉えられてきた。ここでは、既に原子力委員会で比較し、全量再処理政策を選択したのに、今なぜ直接処分を検討するのかについて、その意義と背景を示した。

第1の意義の背景には2012年6月21日に原子力委員会が決定した「核燃料サイクル政策の選択肢について」で示された提言がある。この中で、再処理・直接処分並存方式等、将来の政策変更に対応できるような備えを進めることが重要であるとしており、これに応える意義がある。

第2の意義の背景には、少量とはいえ再処理に適さない燃料の存在がある。プルサーマル使用済燃料がその代表例であるが、その能力を持つ再処理工場が実現しない場合に備えた検討を行っておく意義がある。

第3の意義は経済性である。現時点で選択している再処理政策は六ヶ所再処理工場を廃止措置する政策変更コストを勘案して決められたものであり、仮に六ヶ所再処理工場の廃止に繋がらない、運転を継続するケースでは、六ヶ所再処理工場の能力を超える使用済燃料については、新たに再処理工場を建てるよりも直接処分の方が経済的なのである。

第2章 技術論

2.1 直接処分とガラス固化体処分の相違点

2.1.1 核不拡散と核セキュリティの観点

直接処分はウランやプルトニウムが高線量のFPと混ざった状態で埋設されるため、再処理・リサイクル方式に比べ核拡散抵抗性が優れているとの意見があるが、別の専門家からは、それを無制限に進めると世界各地にプルトニウムが埋設され、いずれ世界的に管理不能な核拡散リスクに発展する危険性があるとの指摘がある。この問題は「プルトニウム鉱山問題」と呼ばれているが、直接処分を選択する場合これを解決する必要がある。

使用済燃料の扱いを困難かつ高価にしている核分裂生成物は時間の経過に伴い崩壊する。そのため、原子炉取り出し後50年から100年後には使用済燃料の貯蔵施設や処分場から核物質を不法に回収／盗取し、核兵器に転用する者が現れるのではないかと懸念がある。そこで、「可逆性・回収可能性」の課題を含め適切な保障措置・核セキュリティへの対応が課題となる。特に核セキュリティについては、近年その一層の強化が求められており、国際規則や具体的対策等についてIAEAを中心として積極的に検討を進める必要がある。

2.1.2 長期的安全にかかわる評価上の課題

使用済燃料やガラス固化体の処分に関わる安全確保は、共に適切に選定された地質環境に設置された多重バリアシステムに拠っている。

我が国においては、前者の処分は検討を始めた段階ではあるが、その長期的安全評価にガラス固化体の処分システムの安全評価のために培われた方法論（シナリオ設定、これを表す数学モデルの構築、これに inputs データ整備と解析）が活用できる。もちろん、両者には寸法、重量、発熱量、放射線量、核種を内包するマトリクス材、含有核種に相違がある。その上、使用済燃料の処分には、臨界可能性や核物質防護の検討も必要と考えられる。このような相違点も考えると両者の処分システムにも相違が生じ、これを踏まえた安全評価が課題となる。

具体的にはシナリオ検討、臨界可能性の検討、核種の溶出に関するモデル化、放射線分解、ガス生成と移行や酸化還元フロントの進展について検討する必要がある。特に、使用済燃料に含まれる C-14 や I-129 の廃棄体から生活圏に至る移行挙動の理解に基づくモデル化などが重要課題と考えられる。

2.1.3 直接処分に関わる研究開発の状況

本件については、昨年 12 月に JAEA より「第 1 次取りまとめ」が公開され、使用済燃料の地層処分システムに関する概括的な評価が提示された。この研究は、「エネルギー基本計画」等を踏まえ、幅広い選択肢を確保する観点から代替処分オプションの調査・研究と位置づけられる。

この研究はまた、技術的予備検討とも位置づけられ、PWR 使用済燃料を事例とし、ガラス固化体地層処分「第 2 次取りまとめ」で設定した参照ケースに準拠した、単一の設定環境条件の下で、処分システムの設計・安全評価を行っている。この過程で、海外の研究機関の専門家によるレビューも経て、多重バリアシステムを基本とする処分概念と、安全確保の考え方の技術的有効性が確認され、今後の課題抽出とその分類・整理がなされた。現在、この分類・整理に基づき、使用済燃料の多様性や、わが国の多様な地質環境も考慮して、直接処分システムの設計・安全評価に関する調査・研究が進められている。

2.2 処分に伴う環境汚染リスクの評価

2.2.1 「環境の防護」について

環境の防護は、これまで“ヒトを対象とした放射線防護体系によって環境も十分に守られているはずである”という考え方が ICRP 等で長年支持されており、基本的には現在もこの考え方を踏襲しているが、近年、環境やヒト以外の生物を防護するための枠組みについて検討が行われるようになった。ICRP では 2003 年に Pub. 91 で初めてヒト以外の生物種に対する報告が行われ、2007 年勧告で環境の防護の目的について新たに章が設けられるに至った。

ただし、評価対象となる環境は一般的な動植物が生存する環境であり、微生物等のみが生息する深部地下等の環境は考慮されていないと考えられる。

評価対象のレファレンス動植物（標準動植物）の位置づけは、必ずしも生態系の中での重要性等で選んだわけではなく、一つの指標と考えられる。一方で個別の生物種でなく生態系全体を評価する ecosystem approach も提唱されており、ある特定サイトに対する評価としては、生態系全体として評価することが考えられる。

深部地下環境は、ヒトの生活圏および動植物の生息域とは隔離された環境と考えられ、わが国ではこれまで放射線防護の検討対象としては考慮されていないが、国際的には、ヒトの生活圏および動植物の生息域については、欧米を中心にヒト以外の生物に対する評価について検討が進められており、これらの国際動向を踏まえわが国の環境防護に対するアプローチも検討していく必要がある。

2.2.2 処分における重大事故（操業時の安全）、確率論と決定論／リスク評価的考え方に基づく評価

放射性廃棄物処分施設の安全規制において重大事故の考え方は示されていないが、地層処分施設の操業時の安全性について設計上の想定を超えた場合に発生する事象（異常状態）の検討例がある。放射性廃棄物からの放射線の漏洩を防止するための遮へい対策、ならびに、放射性廃棄物からの放射性物質の漏出を防止するための閉じ込め対策が設計されるが、異常状態のために多重防護の考え方に基づいた安全対策が準備される。

また、地層処分施設の閉鎖後安全評価は、潜在的影響の評価を目的とした確率論的評価に相当し、諸外国では確率論を導入したリスク論的考え方による安全規制を設定している事例がある。それらは、①決定論的安全評価を確率論的安全評価による補完、②確率論的考え方を採用した決定論的安全評価、③確率論的安全評価を決定論的安全評価による補完、④確率論的安全評価手法、に分類される。国内では旧原子力安全委員会が線量/確率分解アプローチによるリスク論的な考え方の重要性を示している。

2.3 使用済燃料の中間貯蔵について

原子力発電所から発生する使用済燃料の最終処分については、再処理－高レベル廃液のガラス固化・貯蔵－地層処分という我が国の方針と、諸外国の多くで採用され我が国でも近年議論されつつある直接（地層）処分方式（再処理を行わない方式）の2つの方式がある。いずれの方式を採用するにしても、そのプロセスに使用済燃料を中間的に貯蔵することを組み込むことにより、上記処分プロセスにフレキシビリティを与えることができる。

使用済燃料の貯蔵方式としては、乾式と湿式がある。乾式は、冷却方式としては自然循環方式とし、冷却機能を動的機器に依存することがないので安定性が

高い。このため、例えば全交流電源の喪失等の事態に際しても冷却機能が失われることはない。東京電力福島第一原子力発電所には、金属キャスクを使用する乾式貯蔵設備があったが、東日本大震災においても、貯蔵中の使用済燃料は安全に貯蔵されていたことが報告されている。一方で、湿式（使用済燃料貯蔵プール）については冷却水の補給等について懸念が有ったことは記憶に新しい。

2.4 回収可能性

可逆性・回収可能性は、安全で社会的に受け入れられる地層処分という最終的な目標に向けた長い工程を円滑に進めるために必要な概念として、多くの国で法律や政策レベルで導入されている。これは、後戻り困難な意思決定を避ける、あるいは将来世代が意思決定に参加できるようにしておく、という社会的要請への配慮があったものと考えられる。実施主体の研究開発動向としては、回収技術を設計に反映している国（フランス、アメリカ）、設計には反映せずに回収技術の実現可能性を示すことに焦点を当てている国（フィンランド、スウェーデン、スイス）などがある。

使用済燃料の直接処分における回収可能性を検討する場合、核セキュリティ及び保障措置、将来世代が価値あるものとして回収しようとする意図が生じる可能性などについて追加的な配慮が必要となる。

2.5 過去のトラブルから得られる教訓

2.5.1 福島第一事故の教訓

福島第一事故の教訓は様々な調査報告書で公表されており、総括的な原子力安全推進協会の報告書を参照した。この報告書では、低頻度であるが影響が甚大な事象に対する安全確保のあり方、プラントの状態に応じて柔軟な対応が可能なアクシデントマネジメント戦略、シビアアクシデント教育及び実践的な教育訓練など7分野の課題を取り上げている。その上で、特に、自然現象を含む低頻度・高影響事象の安全評価とその結果に基づく対策が必要であることを強調している。

これらを受け、原子力発電所、核燃料サイクル施設等において安全性確保・向上に関する研究が進められている。ただし、使用済燃料の直接処分に関する研究はほとんどなく、高レベル放射性廃棄物の処分に関して、原子力発電環境整備機構で行われている福島事故の教訓を考慮した研究（電源喪失時のガラス固化体温度上昇、地震・断層活動による地層処分への影響等）について紹介した。

2.5.2 先行処分施設のトラブルから得られるもの

先行処分施設のトラブル事例として米国廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）の2件のトラブル（岩塩運搬用トラック火災事故及び放射性物質漏洩事故）

及びドイツ アッセ放射性廃棄物処分場のトラブル（地下水流入に起因した処分場の閉鎖問題）を検証し、そこから得られるものとして下記事項を抽出した。

安全対策へ直結する事項として、火災等のリスク評価の重要性の認識と災害防護対策の強化、安全文化の醸成、緊急事態対応計画の策定・試行・定期的見直し、運転段階の安全確保の重要性等が挙げられる。処分事業を円滑に進めるためには地域住民の理解を得るための徹底した情報公開も重要である。また、長期的な安全確保を実現させるための十分な経営資源の確保、技術的・社会環境的に解決困難なトラブル発生による処分場閉鎖の可能性の認識、社会体制の変更等予測不能な事態への対応を準備しておくことも重要である。

第3章 技術論を超える課題

3.1 総論－「技術論を超える課題」が意味するところ

本章では、直接処分の利害得失や技術要件、実現方法についての理工学的な検討から範囲を広げ、人文社会科学的な検討をも要する事柄、あるいは、広く社会的な議論を経た民主的な意思決定によって判断を下すべき事柄、すなわち、「技術論を超える課題」を議論する。

その際の基本的な考え方として、以下の3点を踏まえる必要がある。(1)高レベル放射性廃棄物処分はいわゆる「トランス・サイエンス」的な問題の極致であり、技術的判断以前に、社会的合意形成に基づく価値判断による基準設定を行う必要があること、(2)日本におけるそうした議論に際しては、2011年の福島原発事故後の原子力利用・関係者に対する低信頼状況を直視する必要があること、これを乗り越えるためには、公正・公平性の確保を特に期する必要があること、(3)専門家のみによる判断や提言を社会、市民に押しつけるようなかたちになることを慎み、社会の様々なステークホルダーと対話しつつ、解決策の共創を進める姿勢を貫く必要があること、が挙げられる。

3.2 コミュニケーションで解決すべき課題

3.2.1 関係者の努力と問題点

これまで国や事業者が取り組んできた「広報」は事業を進めるために「理解を得る」ことが目的で、一般市民の意見の傾聴や、人々が入手した知識や情報をもとに主体的に判断することを支援するような取り組みは極めて手薄だった。

一般国民に「我がこと」として捉えてもらうために事業者側がリスクについても丁寧に説明するなどの努力を続ける拠点として、科学館や展示館は有用。

原子力に関するリテラシーは、大局的な政策判断を民主的に行う場合や、防災活動における積極的な協力を得る場合においてこそ重要。危機管理の場面では、国民を守るべきリーダーやそれを支える仕組みをより確かなものとすべきで、

人々に適時に適切な情報を提供するとともに、所要の措置が確実に講じられるようにすることの方が先決。

原子力発電はエネルギー政策の重要な選択肢の一つであり、国の有り様と併せて子供たちがエネルギー問題を考えるための情報の提供をする仕組みを整備すべき。

3.2.2 受け手側の視点～人々は何を心配しているのか？～

原子力問題のように、圧倒的な情報格差・知識格差がある問題では、まず送り手側が受け手側や媒介者のニーズや特徴を踏まえて努力をする必要がある。本項では、直接処分を含む放射性廃棄物問題や原子力利用に関わる問題が、受け手、特に一般市民にどう受け取られているかを考察した。科学技術に対する態度は、社会が科学技術を評価する視点を示唆する。これらの視点から、地層処分や直接処分がもつ長所と短所を整理し、処分場の立地プロセスが抱える課題を示した。受け手の視点の把握は、単にコミュニケーションの改善に資するだけでなく、社会が何を「技術論を超える課題」とみなしているかを考えることであり、解決への糸口を見出すきっかけとなるだろう。

3.2.3 海外の処分事業における社会環境活動の有り方と日本への示唆

高レベル放射性廃棄物の最終処分場立地選定にあたり、立地地域の住民等ステークホルダーと率直かつオープンな対話を重ねてきた欧州主要国でのあり方をレビューした。欧州数カ国の事例で共通していることは、どの国も徹底した情報公開のスキームに基づく透明性の高い双方向コミュニケーション枠組みが機能していること、交付金（に類似した制度）の用途を住民自身が決められ、分野も多岐にわたることである。「迷惑施設を押しつけられているのだからその対価として迷惑料を払え」という位置づけではないし、立地地域側も原子力施設のもたらす直接・間接の経済効果をよく理解していることがうかがえる。フランスのCLIS やスウェーデンのオスカーシャム・モデルに見られる、住民（国民）と事業者・国とが対等な立場で議論でき、相互に信頼関係を構築できるスキームは日本においても検討の余地がある。また、その際、資金の出所や交付金の用途も併せて検討することが望ましい。

3.2.4 市民との対話を考える

各国の経験から、少なくとも丁寧な対話プロセスを省略した強引な取り組みが、処分事業を阻害することは明確になっている。ボタンの掛け違いという表現に代表されるように、最初の段階が極めて重要。トランス・サイエンスな意志決定では、透明で民主的なプロセスが重要と考えるべき。

対話を進めるためには、第一は聴く側の身になった用語を使うこと。第二は、

聴く側の理解のプロセスに沿った説明をすること。全体像を理解した上で説明を聞けば腑に落ちる場合もあるし、身近なところから解き起こす手もある。

これまでの「対話活動」は3つ段階を経て、進化してきたと考えられる。第一段階は、「安全であることを人々に理解してもらう」活動。第二段階は「リスクについても伝え、それをいかに制御するかを理解してもらう」活動。第3段階は、「対話を通じて相互理解や相互信頼を築く」活動。

対話のあるべき姿は、生物の世界で言う共進化。これは複数の進化系が相互に影響を与えあうことで、両者ともにダイナミックに変化する。事業側が頑なであれば、共進化は起こらない。共進化を妨げる要因は主に技術や事業の硬直性、すなわち自由度の欠如にある。

3.3 政治の役割

原子力分野でもトランス・サイエンスな課題は多い。専門的な知識を尊重しつつ、社会の意向に十分耳を傾けた上で最終的な判断を下すのは政治の役割である。2015年5月22日に、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改訂された。この改訂の最大の目玉は「国が前面に立つ」ことだと思われる。

重要なのは「国が前面に立つ」ことではなく「政治が前面に立つ」ことではないだろうか。高レベル放射性廃棄物問題に答えを出せるのは国民自身と国民が直接選挙で選び、大きな方針を決めて実行する権限を持った「政治」だけである。

政治が役割を果たすためにとりわけ重要な課題は、対話を通して得られた社会の意見や地元の要望などを取り上げて様々な意志決定の場に反映する仕組みを用意することである。

参議院には長期的かつ総合的な調査を行う「調査会」という制度がある。調査会は常任委員会とほぼ同等な権限があり、自ら法律案を提出したり、当該事項を所管する委員会に法律を提出するよう勧告する権限を持っている。この「調査会」制度を利用することも考えられる。

3.3.1 エネルギー政策と倫理

福島第一事故以後の我が国のエネルギー・原子力問題、特に、直接処分を含む放射性廃棄物問題に関する様々な論点を主に倫理的側面（以下の（1）～（7））から俯瞰し、問題提起とその解決に向けた提案を試みた。

(1) 資源の効率利用

- ・ 再処理の次善の策としての原子炉の高燃焼度化
- ・ 有価物質などの回収可能型処分概念

(2) 環境健全性の維持

- ・ 地層処分における放射性物質閉じ込め機能の強化

(3)安全リスクの低減と経済性向上の両立

- ・ポスト功利主義的な哲学への挑戦

(4)世代間衡平性への配慮

- ・区間的安全規制の制度化
- ・正統的な処分場閉鎖基準の設定とその実現に向けた関連技術の開発
- ・代替的方策との比較検討

(5)専門家の説明責任

- ・安全リスク及びその対策に関する説明の信頼性向上化

(6)科学の限界への配慮

- ・多様なステークホルダーや異分野の知識等をも結集した総合的な意思決定の仕組みやそのあり方の模索

(7)人類社会の持続的発展

- ・社会事情等の変化や不確実性に柔軟に応じうる技術や仕組みの構築（オプションとしての直接処分、共創型処分）

3.3.2 政策コストを含めた社会的費用

2004年「新計画策定会議 技術検討小委員会」においては世界で初めて「政策経費（政策変更コスト）」を直接発電コストとしてカウントしている。発電事業者が負担する費用以外の社会的費用を議論するにあたっては、コストの範囲の定義についての合意が必要なところ、「技術検討小委員会」及び2011年「コスト等検討小委員会」における政策経費及び事故リスクコストの算入における検証・合意プロセスが相当省略されてしまったことは、中立的かつ科学的根拠のみに基づくべきコスト評価の在り方として反省すべき点である。

2012年の「核燃料サイクル技術検討小委員会」及び2015年「発電コスト検証ワーキンググループ」では、検証不足の反省を踏まえ、踏み込んだ議論が行われた。何をコストに参入するかについて、項目ごとの性質や妥当性を検討しつつ慎重に進めること等が示されたことは大きな前進である。今後も最新の情報を踏まえつつ、より正確な評価を目指して試算を見直してゆく必要がある。

3.3.3 意思決定と責任の所在の明確化－損害賠償制度を中心に－

3.11後、様々な被害者救済の法律や予算措置が整備されてきてはいるが、試行錯誤を重ねており、今なお多くの被害者が避難生活を強いられ、損害賠償を巡る訴訟なども起こされており、解決には長期の時間を要すると思われる。

現行の「原子力損害賠償法」では、損害賠償の責任は無過失責任かつ集中的に事業者にあるとされている。しかし3.11後、当の事業者は債務超過の可能性に備え実質的に国家管理状態にあり、膨大な金額の損害賠償の最終的責任の所在

が不安定なままになっている。

政府の被害者救済措置は国の義務ではなく、事業者や被害者に対する支援策として位置づけられていることから、その時々の方針や財政状況に応じて質、内容が大きく変動する可能性は高い。このような状況下では、事業者や国に対する信頼は著しく損なわれ、信頼回復の道は険しいと言わざるを得ない。

原子力発電所の運転再開はもとより、今後最終処分や使用済み燃料の処分など原子力施設を国策として新たに立地、建設、運転するに際しては、科学的に安全性を説明するだけでは不十分である。万が一民間企業ではカバーできない膨大な損害が発生した時の最終的な損害賠償の責任は、実質的に無限の賠償能力を有する国にあることを法律（国民に対する約束）で明記することにより、地元住民や国民の権利や利益を守る姿勢を国が明確に示すことが重要であり、立地建設運転に関する意思決定を円滑に行うためにも不可欠と思われる。そのような立法措置を速やかに行うことが政治の役割であり、立法措置が円滑に実行される環境（予算や体制整備など）を速やかに整備することが行政の役割である。

3.4 学会および学術界への期待

日本原子力学会を始めとする原子力利用関連学会及び人文・社会科学を含む学術界全般（アカデミア）に対し、直接処分を含む高レベル放射性廃棄物の処分という課題の解決に向けて、期待される役割について述べた。2つの基本的課題を示した上で、原子力委員会の役割の変更・縮小に伴い、改めて学術的な研究活動の牽引と結集が学会に期待される。また技術的領域とともに、これと連携した社会システム構築の研究が重要となる。さらに、一般の人々を対象とする情報発信、国際情報の提供、多様な見解の紹介の必要性、さらには、一般の関心ある人々を含む共考協働の場の形成にも貢献する必要があることを指摘した。

学術界全般への役割期待としては、日本学術会議及び地層処分関連学会の近年の活動を一部概観した上で、トランス・サイエンス問題である地層処分問題解決の一環として、専門分野横断のコミュニケーション及び様々な関係者・国民とのコミュニケーションを図りつつ、学際的共考協働作業に取り組む期待を述べた。また、地層処分システムの実現に向けて、社会の理解を促すために取り組むことが必要な研究課題を抽出し、所要の研究体制整備への期待を述べた。

3.5 個別の政策課題

3.5.1 発生量制限における問題点

2012年9月、日本学術会議は「高レベル放射性廃棄物（以下、「HLW」と略す。）の最終処分に関する政策に関して総量管理の考え方が欠落し、HLWが無制限に増大する懸念があり、社会的合意に基づくHLW問題を解決する極めて重要な条件」

との回答を原子力委員会に提示した。学術会議ではこの総量管理を「総量の上限の確定」により原子力発電継続の上限を定めることであり、「総量の増分の抑制」によって廃棄物の分量を可能な限り少ない量に抑え込むべき、と定義した。本委員会では、学術会議が提示した「総量管理」を半定量的に検証するとともに異なる視点から見た「総量」（国内で最終処分地に適した場所の収容能力の把握）を定義し、双方の成立性や問題点を抽出した。問題はいずれも最適処分地確定までに長期を要するとともにエネルギー政策上の不確かさが存在するため、現段階では一義的に決められず、調査は国が中心となって中断することなく進め、エネルギー基本計画見直しの際に、最新知見を反映し改訂することが必要と考えた。

3.5.2 中間貯蔵の政策論

中間貯蔵の貯蔵方式としては大量保管時の経済性が優れていることから、これまでは湿式貯蔵方式が有利とされていたが、電源と冷却源の同時喪失を勘案するという、安全性重視の観点と政策柔軟性の両面から、乾式キャスク貯蔵方式の中間貯蔵施設の必要性を見直す動きが高まっている。

直接処分の場合は処分場の建設が遅れると原子力発電所から出る使用済燃料が滞ってしまうため、中間貯蔵施設の増設が必要となる。再処理後の処分の場合は、再処理工場が稼働すれば、使用済燃料の滞り量は減るので処分場の建設が遅れても中間貯蔵の増設は必要とならない一方、ガラス固化体を30～50年、冷却保管した後処分するため、ガラス固化体の保管施設の規模に影響することとなる。福島第一原子力発電所に11,000体もの使用済燃料が大量保管されていたことが処分場立地の遅れのためだと誤解された可能性があるが、使用済燃料の大量保管は再処理工場の稼働開始遅延のためであり、処分場立地問題とは関係なかったのである。

3.5.3 直接処分に係わる研究開発の進め方

「高レベル放射性廃棄物については、現時点で科学的知見が蓄積されている処分方法は地層処分である。他方、その安全性に対し十分な信頼が得られていないのも事実である。したがって、地層処分を前提に取組を進めつつ、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。」との考え方の下に、直接処分の実現可能性及び技術的信頼性に関する検討が、国の調査・研究事業として平成25年度より始められた。

現在わが国では、直接処分に関する研究開発は、地層処分基盤研究開発調整会議が作成した「地層処分基盤研究開発に関する全体計画」のひとつの章に示された計画に沿って実施されている。2013年度からの5ヵ年で、国内外の有識者によるレビュー等を経て、直接処分研究開発の第2次取りまとめ（最終版）を提

示する計画となっている。

現在は事業化に先立つ段階であるが、事業化段階以降の研究開発ニーズにどう対応するかも含め、人材の継続的育成、知識や技術の継承等、研究開発の進め方に関する今後の課題を示す。

- ① 直接処分の研究開発に関するレビュー会合には、関心のある市民の参画を求めること。
- ② 直接処分に必要な知識、経験及び能力を有する人材を継続的に育成し、確保することを目的として、処分実施機関を頂点とする責任体制を整備すること。

3.5.4 人材の継続的な確保と技術継承について

福島第一原子力発電所事故から 5 年を経て幾つかの原子力発電所の再稼働が始まってきているものの、多くの原子力関係現場では設備の維持管理が主要な業務となっており、OJT を通じた人材の育成や業務を通じた技術の伝承がままならなくなっている。そのような状況を見据え、かつて類似の状況となったスウェーデンに範を取り、国内の処分事業関連の研究開発機関や関連業界も含めてスウェーデンの YGN のような、業界横断的な人材育成プログラムが構築できれば、有機的かつ継続的な育成・確保が可能となるのではないかと。

高レベル放射性廃棄物処分事業の中核機関である NUMO には JAEA から経験者自身の移籍も含めて知識と技術の継承が行われているが、事業が長期にわたることを踏まえて、NUMO 自身が研究開発能力を持つべきで、併せて JAEA には NUMO や規制当局のサポート役としての役割が期待される。

また、地層処分事業を円滑に進める上では社会との親和性が重要であることから、人文・社会科学研究への資源の投入は、その人材育成も含めて、必要不可欠。

施設設備の安全確保には必要な資源の投入は勿論であるが、施設設備を維持管理する社員の安全意識（安全文化）こそ重要。

目 次

はじめに(問題提起)	1
第1章 基本的要件	7
1.1 放射性廃棄物処分に関わる原則	7
1.2 地層処分技術の歴史と直接処分の特徴	17
1.3 議論の背景：原子力政策と直接処分	35
1.4 直接処分を検討する社会的意義	39
第2章 技術論	45
2.1 直接処分とガラス固化体処分の相違点	45
2.1.1 核不拡散と核セキュリティの観点	45
2.1.2 長期的安全にかかわる評価上の課題	65
2.1.3 直接処分に関わる研究開発の状況	71
2.2 処分に伴う環境汚染リスクの評価	77
2.2.1 「環境の防護」について	77
2.2.2 処分における重大事故(操業時の安全)、確率論 と決定論／リスク評価的考え方に基づく評価	89
2.3 使用済燃料の中間貯蔵について	99
2.4 回収可能性	107
2.5 過去のトラブルから得られる教訓	115
2.5.1 福島第一事故の教訓	115
2.5.2 先行処分施設のトラブルから得られるもの	121
第3章 技術論を超える課題	135
3.1 総論－「技術論を超える課題」が意味するところ	135
3.2 コミュニケーションで解決すべき課題	141
3.2.1 関係者の努力と問題点	141
3.2.2 受け手側の視点 ～人々は何を心配しているのか？～	151
3.2.3 海外の処分事業における社会環境活動 の有り方と日本への示唆	157
3.2.4 市民との対話を考える	165

3.3 政治の役割	177
3.3.1 原子力の政策決定と倫理	179
3.3.2 政策コストを含めた社会的費用	195
3.3.3 意思決定と責任の所在の明確化 ～損害賠償制度を中心に～	209
3.4 学会および学術界への期待	223
3.4.1 学会に期待される役割	223
3.4.2 学術界（アカデミア）への期待	231
3.4.3 社会の理解に係わる今後の学術研究課題	239
3.5 個別の政策課題	245
3.5.1 発生量制限における問題点	245
3.5.2 中間貯蔵の政策論	255
3.5.3 直接処分に係わる研究開発の進め方	261
3.5.4 人材の継続的な確保と技術継承について	271

付録；

1. 補足資料

1.1 専門用語に関わる資料

(1) 国民への説明に用いる原子力関連語彙について

(林教授講義録)

(2) セーフティーケースの日本語訳について

(3) 地層処分における安全とリスクについて (メール討議要点)

(4) リスクという言葉の積極的使用について

1.2 地層処分に関わる資料

(5) 隔離処分に関わる基本的考え方ー歴史的経緯を踏まえてー

(6) 地層処分概念の開発経緯 (増田氏講義資料)

(7) 処分問題の論点-CAREの提案- (朽山氏、増田氏講義資料)

(8) ガラス固化処分と使用済燃料直接処分の比較

(9) 核燃料サイクルの選択肢評価；

柔軟な燃料サイクル政策と直接処分 (鈴木教授 2014 年
日本原子力学会 秋の大会 企画セッション講演資料)

1.3 議論の背景情報に関わる資料

(10) 我が国の原子力政策の変遷と社会的時代背景

(11) 放射性廃棄物の区分と処理処分の概念

(12) 使用済燃料の地層処分に関する IAEA 保障措置

(堀氏講義資料)

(13) 政策形成に関わる倫理問題 (義澤氏講義資料)

1.4 コミュニケーションの実践に関わる資料

(14) 本当に理解されているか？ー原子力広報経験者から見た
処分事業ー (久保氏講義資料)

(15) 高レベル放射性廃棄物～処分地選定への地域対話～

(崎田先生講義資料)

(16) サイエンスアゴラにおけるトークセッションについて

(サイエンスアゴラ参加報告)

2. 用語集

3. 委員会名簿

4. 委員会活動記録

はじめに

福島第一原子力発電所事故により刷新された原子力規制の下に、事故前に運転中または停止中であったわが国の原子力発電所 54 基の内 12 基の廃炉が決められた。残る 42 基中、新基準による審査申請済み 25 基、同未申請 17 基であり、新基準による審査を終え、営業運転を再開できたのは未だ 4 基のみである。また運転延長については、申請された 3 基はいずれも認可された（平成 28 年 12 月現在）。一方で、運転差し止め仮処分を求める訴訟¹、原子炉設置許可の取り消しを求める訴訟²等、施設の運転や設置許可そのものも問われ続けている。

こうした中でバックエンド事業も、再処理施設の新規制基準への対応のため時間を要していること、高レベル放射性廃棄物処分場の立地プロセスが進展しないこと等により、増加し続けてきた使用済燃料の管理の在り方について、様々な観点からの議論が続いている。こうした背景の下に、従来考えられてこなかった使用済燃料の直接処分³や長期保管⁴が、新たな選択肢として検討の俎上に上ってきた。これを踏まえ、2013 年 4 月、「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会が日本原子力学会に設置され、関連する社会的諸課題に関する検討を開始した。

従来わが国では、使用済燃料に含まれるウラン及びプルトニウムは再処理により分離回収して燃料として再利用し、残る高レベル放射性廃棄物はガラス固化体にして深い地層中に処分するという、いわゆる「全量再処理」の方針をとってきた。このため、使用済燃料を再処理せずにそのまま生物圏から隔離する直接処分の実施について、これまでわが国で検討されたことはほとんどない。

¹ 大津地裁は 2016/3/9、再稼働したばかりの関西電力高浜発電所の運転停止を命じる仮処分を決定。高浜 3，4 号機、玄海 3 号機、伊方 3 号機等係争中。

² 2016/6/10 原子力規制委員会の九州電力株式会社に対する川内原子力発電所 1 号機及び 2 号機に対する設置変更許可の取消しを求める訴訟。

³ 原子力委員会は、平成 24 年に、当時の政府のエネルギー・環境会議の指示を受け、核燃料サイクル政策の選択肢を構成する方式のひとつとして直接処分を提示した（核燃料政策の選択肢について 平成 24 年 6 月 21 日 原子力委員会）。

⁴ 本報告では、将来何らかの事情により政策の実行の留保や政策変更があり得ることに留意し、従来の計画貯蔵期間を延長する可能性を含めて「長期保管」即ち「貯蔵期間の延長」という選択肢を考慮する。日本学術会議は、原則 50 年の暫定保管を提案している（提言 高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言－国民的合意形成に向けた暫定保管 平成 27 年 4 月 24 日 日本学術会議）。

直接処分の方式は、処分事業が先行しているスウェーデン、フィンランド等では従来から採られている方式だが、わが国の自然環境の下で、またガラス固化体地層処分の立地プロセスの進展もはかばかしくない社会環境下でこの方式を採用するとすれば、どのような技術的、社会的課題の解決の必要が生じるか、当研究専門委員会での検討の出発点はそこにあった。

当研究専門委員会の検討は、従来の再処理後のガラス固化体の地層処分と使用済燃料の直接処分の技術的相違点を踏まえて、直接処分を選択肢とする場合に検討すべき科学技術を超える課題（いわゆるトランスサイエンス課題）を抽出し、整理して示すところに主眼がある。その際、根本的解決策ではないが、新たな処理技術の実現可能性に期待して、あるいはその他の事由により、使用済燃料の貯蔵期間を延長すること（長期保管）も選択肢のひとつとして掲げるべきかも知れない。したがって、①再処理後のガラス固化体の処分、②直接処分、③貯蔵期間の延長の3つが、主要な選択肢として提案されたと考え、様々な角度からのこれらの比較を行うことも課題となろう。

直接処分の方法としては、従来のガラス固化体の処分と類似の、深い地層中への隔離処分方式を考えることになる。この場合、処分対象物である使用済燃料には核燃料物質が多量に含まれるなど、その物質組成、形状寸法、重量、放射線量、発熱量等がガラス固化体とは異なる。このため、処分対象物のハンドリングや処分システム中での物質の物理的・化学的挙動も、直接処分では違ったものになると考えられ、それに応じた知識や技術が必要になる。このようなことから、2013年度より文部科学省及び経済産業省が予算化し、研究開発が始められた。

地層処分が通常の技術と大きく異なるのは、その将来にわたる安全性について、数千年から百万年という地質学的時間スケールでの考慮を要する点である。通常の建造物寿命の考慮範囲は高々100年程度であるが、これを大幅に超える時間スケールである。このため、将来予測の不確かさや長期間に及ぶ知識の継承といった科学技術上の問題に加えて、将来の不確かさから生じる社会的問題や、世代を超える倫理の問題も提起される。これらの問題の種類と軽重は、直接処分の場合と従来のガラス固化体処分の場合とでは、異なり得るのでその検討が要る。

核燃料サイクルの物質収支という観点から見て、従来想定してきた高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体の処分と使用済燃料の直接処分との最大の相違点は、前者では処分対象物にウラン及びプルトニウムという核燃料物質をほとんど含まないのに対し、後者ではこれが燃料の大半（97%）を占め、残りは核分裂生成物及びマイナーアクチニド（MA; Np, Am, Cm 等）であり、さらに放射化した燃料部材が含まれるという点であろう。こうした相違に応じて、直接処分の実施にともなって想定しなければならないリスクは、ガラス固化体の処分の場合に比べ、より一層多様である。例えば、放射性物質の環境への移行に伴う放射線のリスクについては、そのための対策としての人工バリア及び天然バリアが設計され、長期にわたるその性能が評価されなければならない。このことは両者に共通であるが、直接処分の場合には、プルトニウムやアメリシウムの壊変に伴う発熱の影響は、処分場の設計及び安全評価上考慮すべき事項となる。また、使用済燃料中のプルトニウムはいわゆる原子炉級のプルトニウムであり兵器級ではないが、軍事転用可能であると言われる物質である。この使用済燃料そのものは、数100年も経てば透過性放射線の大幅な減衰によりハンドリングと再処理が極めて容易になる。従って処分場に対して、ガラス固化体の処分の場合に比べより一層厳重な核セキュリティを処分場閉鎖後長期間に亘って確保することが課題となる（プルトニウム鉱山問題）。また、ウラン及びプルトニウムには核分裂性物質（U235、Pu239 等）が含まれ、Pu239 は、壊変してもやはり核分裂性物質である U235 になるので、核分裂連鎖反応発生リスクも長期間にわたり考慮しなければならない。

さらに長期の間に生じ得る自然災害や地殻変動のリスクをどう取り扱うかも課題である。個々のリスクの種類と性質に応じて、リスクの指標となる尺度及び評価の対象と範囲を明らかにして適切なリスクアセスメントを行い、その結果を踏まえたリスク管理の戦略を提示することが必要になる。こうした作業を誰がどのように行い、提案し、分析し、どのようにして社会的な合意形成に向けたプロセスを創出するか、ここにも大きな課題がある。

原子力発電に伴い発生する放射性廃棄物の処分に伴うリスクは、核燃料サイクル施設等、原子力発電に関連する施設の操業や廃棄物処理処分等の活動に伴うリスクも含め、関連する活動全体の中で適切に位置づけ、評価することが望

ましい。例えば、使用済燃料の直接処分の影響と従来の再処理後のガラス固化体の処分の影響を比較する場合、再処理施設の操業に伴う環境放出、再処理及び MOX 加工工程から生じる TRU 廃棄物や再処理工程で使用済燃料から分別される被覆管等燃料部材廃棄物、施設の廃止措置により発生する廃棄物等、発生する廃棄物全体の処分のリスクを適切に評価し、比較することも必要であろう。

さらに、処分場の立地調査から閉鎖まで 100 年にかかると言われる処分事業は、長期プロジェクトの宿命とも言える様々な変化への備えと対応が不可欠である。すなわち事業継続期間中に生じ得る社会的変化、技術的变化及び環境の変化を逐一予測することは到底可能ではないので、状況の変化に応じた方針変更、政策変更の可能性にも適切に対応できる仕組みが必要である。地層処分の世界でその対応策のひとつは、可逆性及び回収可能性を処分計画の設計に組み込むことであると考えられており、これをどのように具体化するかという課題がある。

直接処分の問題は、放射性廃棄物の処分問題のひとつであるが、同時に使用済燃料の管理の問題のひとつでもある。さらに使用済燃料の管理の問題は、原子力発電における核燃料サイクル政策とその計画の一部をなし、持続可能な社会の追求や核拡散防止を目的とする国際協調の一環をも構成する。直接処分は、その実現のために必要な知識や技術が様々な理学と工学の分野にまたがっていることに加え、こうした国内外に広がりを持つ課題領域のなかで関係者の関心や利害、価値観が交錯し衝突する問題でもあり、かつ原子力利用に関わる施設の立地問題でもある。

したがって、特に直接処分では、科学技術を超える様々な分野の研究者や技術者の関与あるいは参画のもと、分野を超えた相補的、創造的かつ建設的コミュニケーションが極めて重要になると同時に、多くの利害関係者や、関心のあ一般の方々とのコミュニケーションも不可欠となる。これらにどのように取り組んでいくべきか、最終的にはその具体的処方箋が求められるだろう。こうした認識を基礎として、これまでの関連プレーヤーの役割を見直すと同時に、改めて学会の役割や政治の役割を考える必要も生じる。

当委員会が扱った問題は核燃料サイクル政策全般に係るものではあるが、検

討の範囲を使用済燃料の直接処分に関わる諸課題に限定して議論を進めてきた。本報告はこれら諸課題を見渡しつつ、当委員会の3年間の活動で得られた成果を取りまとめたものである。議論を締めくくるに当たっては、直接処分を使用済燃料管理の選択肢のひとつとする場合に解決を必要とする諸課題、あるいは高レベル放射性廃棄物の地層処分を進めるにあたっての諸課題の中から、重要性の高いものを選び出し、提言としてとりまとめた。

第1章 基本的要件

1.1 放射性廃棄物処分に関わる原則

1) はじめに

本節では、放射性廃棄物処分問題を論ずる場合の基本的認識を示す。題目は原則としたが、議論を進める上での認識の共有化、と言った程度のもりである。

委員の中には直接処分、地層処分の問題より、この原則の議論の方が重要なのではないか、と言う意見もあった。そのため、敢えて原則と題している。記述内容については今後さらに委員会や外部からの意見を反映して充実させていく予定である。

2) 処分

処分とは、広辞苑によれば、①基準に照らして処理すること。かたをつけること。①とりはからい。②さばき。処罰。②①公法上、具体的事実や行為についての行政権または司法権の作用の発動。行政処分・処分命令・強制処分・保護処分・保全処分の類。③私法上、既存の権利または権利の客体について直接変動を生じさせること。売却・贈与の類。とされている。地層処分とは、資源エネルギー庁のホームページの用語集によれば、「高レベル放射性廃棄物の最終処分としてガラス固化体を地下数百メートルより深い地層中に隔離する方法をいう。処分後のいかなる時点においても人間とその生活環境が高レベル放射性廃棄物中の放射性物質による影響を受けないようにすることを目的とする」とされている。

本委員会の検討対象とする「直接処分」は、まだ資源エネルギー庁のホームページの用語集に記載されていないが、上述の「地層処分」に関する解説において「ガラス固化体」を「使用済燃料」に読み替えれば良い。

国際的には、単に「直接処分」と言う場合は使用済燃料の地層処分のことを意味する一方で、「地層処分」と言う場合、ガラス固化体または使用済燃料の地層処分を意味している。

3) 安全性の受忍限度

放射性廃棄物処分問題の社会的な理解を高める上で、安全問題は最も重要な問題である。放射性廃棄物処分場の安全性は技術的な安全評価シナリオによって定量的に解析される¹が、その安全評価シナリオで示されるリスクの判断基準が問題である。設計・計画の段階で技術者がなんらかの仮定条件を置いて検

¹ 放射性廃棄物処分では「セーフティーケース」と言う。

討を進めるのは当然としても、実施段階ではその判断基準すなわち、どれだけ安全なら安全と言えるのか²、言い換えればリスクの許容値は、技術者の仮定条件が自動的に最終的な条件になるのではなく、それが受忍限度として社会的に合意形成されるべきものなのである。

社会で用いられる技術一般、例えば自動車、列車、航空機などの場合は、過去の事故の発生頻度が暗黙の裡に概ね社会的な受忍限度となっている。裏返せば社会的な受忍限度を満たさない技術は社会に受け入れられず自然に淘汰されてきたと言える。

原子力発電所の場合は事故の影響が大きいいため、専門家の間では確率論的安全解析(PRA)による事故の発生頻度の評価が行われ、事故発生確率が既存技術の事故発生確率と比して十分低くなるような安全目標値が検討されてきた。

PRAは事故の発生確率が目標値以下になっていることを確認する手法なのであるが、裏返して言えば、それだけの安全対策を施しても、安全目標値以下の確率で事故が発生する可能性が残るということを示しているのである。そのリスクのことを残余のリスク或いは残留リスクと呼んでいる。しかし、この残余のリスクに関する議論は専門家の間での議論に止まり、福島第一事故の前までは社会的受容性向上の障害になるとの観点から、残余のリスクによる事故の可能性に言及することはタブー視され、図 1.1-1 の左の絵のように「事故は起きない」という、誤った理解を誘導するような説明がされる場合があった。これが安全神話と呼ばれるものである。

その反省に立ち、原子力発電所の安全性の説明は、今後は、図 1.1-1 の右側に示すようにリスクの存在と向き合い、明示されるべきであろう。残されたりリスクの存在を明示し、如何にそのリスクを軽減する安全対策を講じているかを説明することは自動車などの一般技術では普通に行われていることである。医学の世界でも以前は治療方針を“医者任せ”にすることが多かったが、近年は「インフォームド・コンセント」と呼ばれる方式が定着しつつある。医師が治療方針と併せてその治療過程或いは治療後また、治療を行わなかった場合のリスクを治療着手前に患者に説明して合意を得る方法である。原子力でも同じように、施設建設前に国民や近隣住民に対して、その施設にどのような潜在的な危険性があり、それに対してどのような対策を講じているのか、そして周辺地域や将来世代にどれだけのリスクが残されているのかを明示し、合意を得ることが求められる。

事業者はリスクが社会的な受忍限度を下回るまで安全対策を強化することが求められることになる。例え受忍限度をクリアして事業を始めたとしても、

² 国際的には「How safe is safe enough.」と言われる。

社会的な受忍限度は低下し続けるのが一般的であるので、事業者は永続的に残存リスクを低減化する努力を継続し続けなければならない。これは原子力に限った話ではなく、どの産業技術にも共通してあてはまる考え方である。

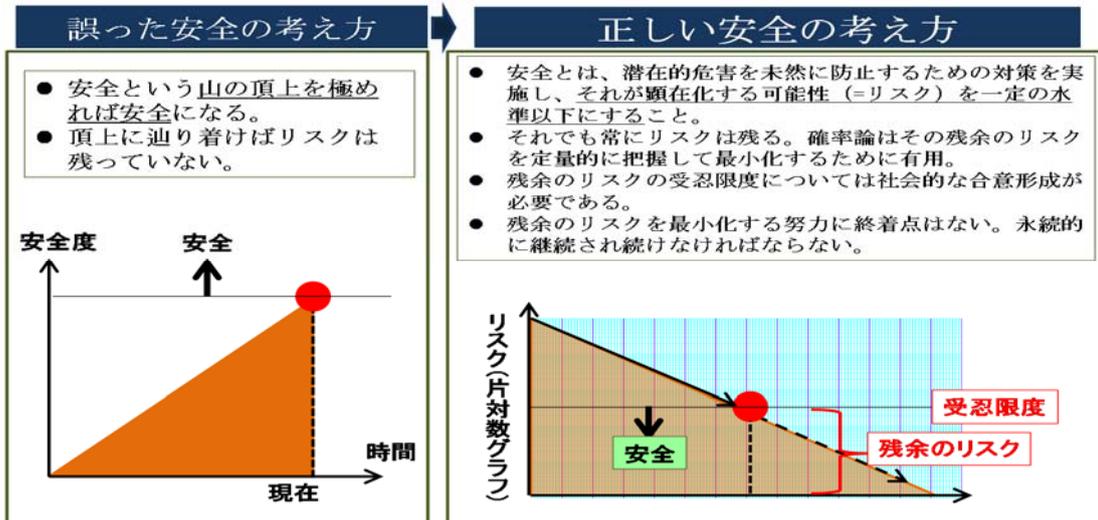


図 1.1-1 安全の考え方

4) 高レベル放射性廃棄物処分場の安全問題の特徴

原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場の安全問題には表 1.1-1 のとおり大きな相違点がある。

いずれの施設でも後述する深層防護 (Defence in depth) という考え方が重要であることには変わりはないが、表 1.1-1 に示す通り、共通している特徴と異なる特徴が存在する。原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場はいずれも放射能の保有量が多く、初期放射線量が高いという点は共通している。臨界問題に関しては再処理後の処分と直接処分の場合で特徴が大きく異なる。

表 1.1-1 原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場の相違

	項目	処分場 (ガラス固化体)	処分場 (使用済燃料)	原子力発電所
1	放射能保有量	多い	多い	多い
2	初期放射線量	高い	高い	高い
3	臨界可能性	無し	有り	有り
4	臨界事故対策	不要	必要	必要
5	漏えい可能性	有り	有り	有り
6	漏えい対策	必要	必要	必要
7	長期の不確実性	高い	高い	低い
8	主要なリスク	地下水汚染	地下水汚染	放射能の大気中放出
9	使用期間	超長期	超長期	短期(数十年)
10	防災対策	不要	不要	必要

ガラス固化体の処分場の場合は臨界の可能性は無いので臨界事故対策が基本的に不要であるが、直接処分の処分場の場合は臨界の可能性を否定しえないため、臨界安全対策が必要となる。原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場はいずれも漏えい対策（閉じ込め安全）が必要であることは共通している。そして、処分場の場合の最も大きな特徴は、リスク評価をする場合の不確実性が大きいことである。何万年、何十万年と言う超長期にわたる安全評価に大きな不確実性が伴うからである。原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場は想定されるリスクが異なる。原子力発電所の事故シナリオは福島第一事故で経験したような放射能の大気中放出であるが、処分場閉鎖後の事故シナリオは、ガラス固化体処分、直接処分とも地下水の放射能汚染である。

このため、原子力発電所では最大リスクである放射能の大気中放出事故を防止する安全対策を最も重視している。これに対して、処分場の場合は大きな事故が起きるリスクは小さいが、使用期間が超長期に及ぶことの不確実性対策を最も重視している。処分場の場合はその不確実性を軽減する様々な対策が講じられている。このため、原子力発電所では深層防護の第5層として防災対策、すなわち事故が起きた場合を想定した住民の避難対策が求められるが、処分場の場合はそれが不要という点は大きな相違点と言える。これらの原子力発電所と高レベル放射性廃棄物処分場の違いや超長期の不確実性対策について国民、地域住民の理解を得ること、すなわち、リスクコミュニケーションが非常に重要である³。

³鈴木篤之「高レベル放射性廃棄物処分について」原子力安全委員会ワークショップ報告,2003.8.8を基に筆者が最近の情報を加筆

リスクコミュニケーションが不十分で上述した両者の相違が理解されていないと、処分場問題の議論が原子炉の安全問題と混同され、ちぐはぐな議論に陥る可能性が危惧される。

5) 超長期の安全問題

放射性廃棄物処分は、自然界にあったウランを原子力発電で使った後、再び自然界に存在していた時と同程度の安全性に戻すための活動、だと表現する場合がある。その意味は以下の通りである。原子力発電ではウランの核分裂エネルギーを利用する。その過程で核分裂生成物 (FP) や超ウラン元素 (TRU) などの放射能毒性の高い物質が生成される。これらの FP、TRU 等が高レベル放射性廃棄物の放射能毒性を高めている。再処理する場合はこれらの物質は再処理工場でウランやプルトニウムと分離され、高レベル放射性廃棄物としてガラス固化体に密封された上で高レベル放射性廃棄物処分場に埋設される。直接処分の場合は使用済燃料の中の FP、TRU 等はウランやプルトニウムと混在したまま、処分容器の中に密封されて高レベル放射性廃棄物処分場に埋設される。

原子炉で使われたウラン燃料の放射能毒性が自然界に存在している天然ウランと同程度の安全性に戻るまでに数十万年から約百万年かかると見込まれている。その経年変化を濃縮度 4.5% の核燃料 1 トンの解析例として、図 1.1-2 に示す。これはガラス固化体の場合の解析例であるが、原子炉から取り出された時が最大で、天然ウランの約 1 千万倍であるが、その後徐々に低下して数万年後に天然ウランと同程度にまで低下する。図 1.1-3 には直接処分の場合の解析例を示す。この例はスウェーデンの場合の解析例である。

高レベル放射性廃棄物処分場はしたがって超長期にわたる安全評価／解析が必要となるが、対象期間が長いため、実証研究が困難という問題がある。この問題を克服するための工夫のひとつとして、過去に形成され保存されている鉱床などの地質体から、保存環境、様々な地質現象と元素の溶出の関係などを明らかにするナチュラルアナログ研究が行われているが、評価のためのデータが直接得られないという制約があり、それを克服するため様々な工夫を行わざるを得ないが、市民目線から見ると、それらの工夫が「安全性の値切り」ではないかと思われる場合がある。

そのような疑念を抱かれないよう、評価手法の選定や基準の設定にあたってもしっかりとした社会的な合意形成が求められている。

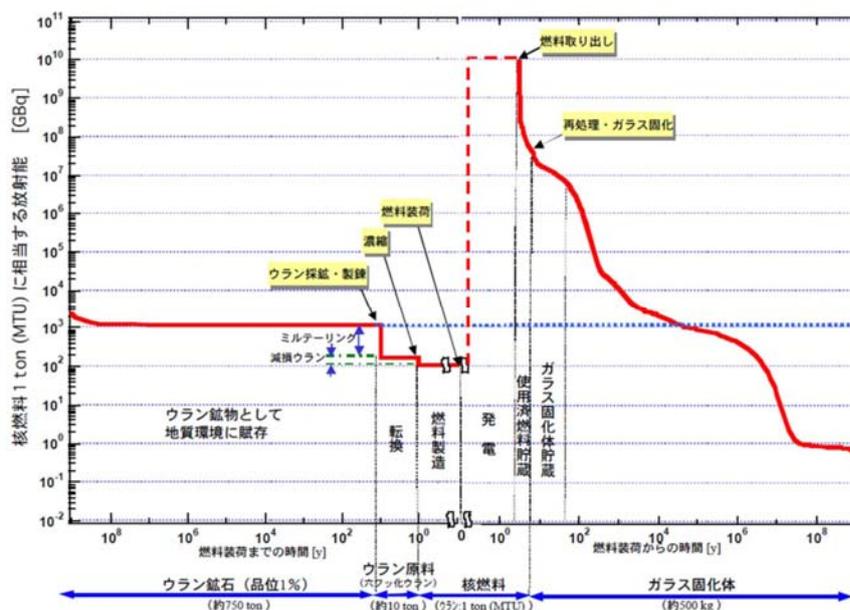


図 1.1-2 放射能の推移から眺めた高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の特徴（濃縮度 4.5%の核燃料 1 トン相当）
 出典） 朽山修「高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分について」新大綱策定会議（第 12 回）資料第 1-1 号, 2012. 1. 26

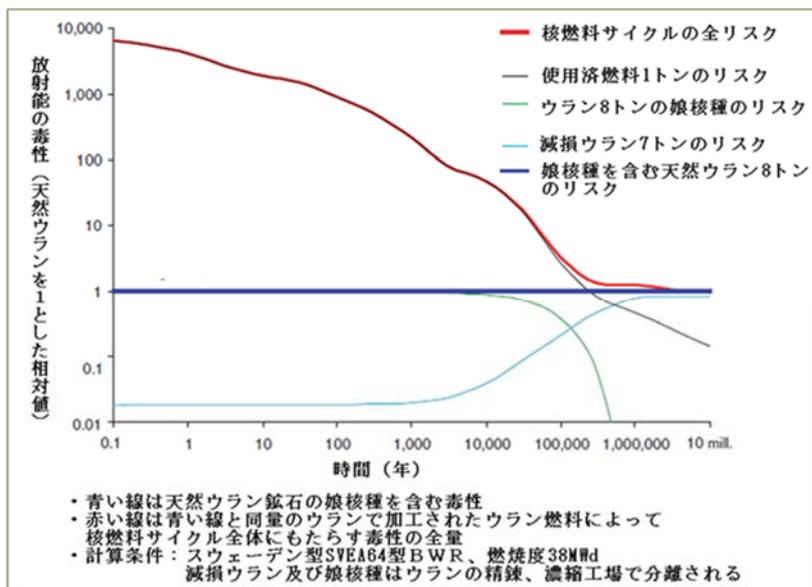


図 1.1-3 核燃料サイクルの放射能毒性の経年変化（直接処分の場合；横軸は原子炉から取出し後の年数を示す）
 出典：Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark
 Main report of the SR-Site project

6) リスクの意味するもの

工学で使われるリスクとは、ある事象が起きる確からしさと、それによって

もたらされる危害の積を指すのが一般的である。

しかし、同じ「リスク」という用語を使っても話し手によって意味が異なる場合がある。

原子力発電所の安全設計では確率論的安全解析で求められる事故確率を「リスク」と呼ぶ場合が多い。例えば、炉心損傷リスクは事故時に圧力容器から放射性物質が漏出する確率、すなわちレベル 1、PSA の算出結果を指し、「原子炉施設による周辺公衆に対する放射線被ばくのリスク」は、事故時の周辺公衆に対する放射線被ばくの確率、すなわちレベル 3、PSA の算出結果を指している。

一方、社会学の分野では場合によっては人が制御できる危険性だけをリスクと呼び、天災のように人知の及ばない事象はリスクとは呼ばないことがある。この考え方は時と場合によって異なるようであるから注意を要する。

原子力でも場合によっては、機器の故障率データのことを「リスク情報」と呼ぶこともある。正確にはリスクを評価するための基礎情報、という意味で用いられているものであるが注意を要する。

7) 深層防護

福島第一事故後に作られた新しい規制基準には、国際的な安全設計思想である「深層防護」の考え方が取り入れられている。深層防護の考え方は元々、軍事的な防衛戦略から発展して作られたものである。

第 1 層は「異常発生の防止」である。具体的には、余裕のある設計、冗長設計、多様性を持たせる設計を行い、製造・建設の品質を高め、安全文化を徹底することにより、異常発生を未然に防止し、出来る限り正常な範囲で運転・操業することを指している。

第 2 層は「異常の検知と制御」である。具体的には、第 1 層の対策にも係らず異常が発生したら、出来るだけ早くその異常を検知し、速やかに正常な状態に戻すよう自動的に制御することを指している。

第 3 層は「設計想定事故の制御」である。具体的には、第 2 層の対策にも係らず「異常」が制御できず「事故」に発展してしまった場合、緊急設備を駆使して事故の収拾を図り、安全な状態に回復させることを指している。

第 4 層は「過酷事故対策」である。第 3 層の対策にも係らず「事故」が収拾できずに「過酷事故」に発展しそうになった場合、過酷事故対策設備を駆使して過酷事故への発展を防止して正常に停止させる。それでも過酷事故に至ってしまった場合は、あらゆる手段を駆使して外部に放出される放射エネルギーを抑制し、環境への影響最小化に努めることを指している。

第 5 層は「防災対策」である。第 3 層、第 4 層の対策にもかかわらず過酷事故によって放射能が外部に放出される場合に備え、安全な地域に避難させるこ

とを始め、周辺住民の放射線被ばくを防止するための防災対策全般のことを指している。

この深層防護対策は IAEA の安全基準では原子力発電所だけでなく、全ての原子力施設に適用すべきであると定められている。ただし、4) で述べたとおり、原子力発電所と処分場の特性の相違を勘案して適用することが肝要である。すなわち、原子力発電所が過酷事故対策にウェイトが置かれているのに対して、処分場では超長期の不確実性にウェイトを置いて適用することが求められる。IAEA の深層防護に基づく安全設計思想を図 1.1-4 に示す。

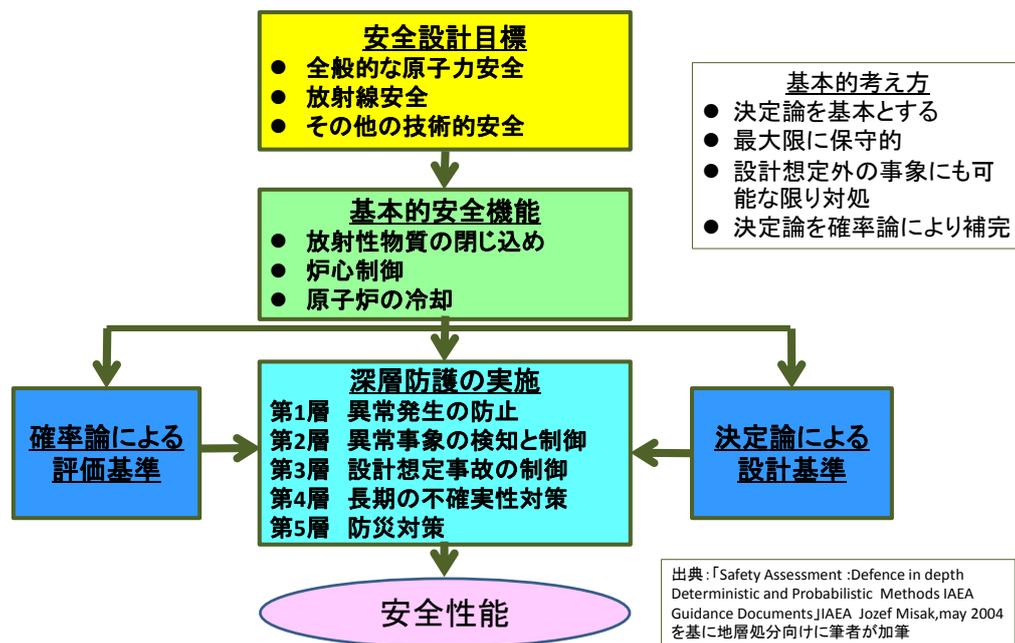


図 1.1-4 IAEA の深層防護に基づく安全設計思想

出典：「Safety Assessment :Defence in depth Deterministic and Probabilistic Methods IAEA Guidance Documents」 IAEA Jozef Misak, may 2004

注1) 決定論による設計基準：発生確率がいくら低くても想定した事象が起きることを想定して対策を実施する。防災対策も同様で、最大リスクに対する防災対策を実施する。

注2) 確率論による評価基準：決定論による安全対策や防災対策を実施したとしても、想定を超える事故が起きる可能性は限りなく低くしなければならない。そのためには確率論によって、想定を超える事象が起きる可能性を継続的に評価し、それに対する効果的な改善対策を検討し続けることが求められる。

8) 人知を超える事象

処分場の超長期の安全性の議論で発生確率を推定できないような事象まで

想定しなければならないのかどうか大きな議論となる。人知を超える事象まで想定しなくても良いという考え方もあるが、一方ではそれは将来世代に対する責任回避ではないかという考え方もある。どう考えるべきかの合意形成が困難としても、専門家の間で閉じた議論にするのではなく、少なくとも広く社会的な議論を行うべき問題である。

9) 透明性

原子力の透明性が低い問題は日本原子力学会の事故調査委員会でも分析され、学会員の調査結果等が2013年3月に公表された中間報告書で詳しく報告された。その中で目を引いたのは「関係者による自由な意見の表明を望まない風潮があった。」という意見である。学会事故調の最終報告ではこのことを反省し、今後は自由な意見表明が行える、開かれた学会を目指すとしている。

これまで「自由な意見の表明を望まない風潮」がなぜ存在していたのかの背景要因として、安全神話の存在が挙げられる。

確率論的リスク評価（PRA）が20年以上前から実施されていて、事故の発生確率が存在していることは原子力技術者の共通認識であったが、立地自治体の合意取得を始めとする公衆の理解取得を優先する立場から「事故が起きる可能性がある」ことに言及することがタブー視されていた。これが「自由な意見の表明を望まない風潮」を生んできた最大の要因と考えられる。事故が起きる可能性に言及することを避けた結果、「事故は起きない」という安全神話が生まれてしまった。その結果、国際安全基準で定められていた深層防護の第4層「過酷事故の防止と影響緩和対策」が疎かとなり、本来事故発生を前提とした対策であるべき深層防護の第5層「防災対策」が、形式的な対策に止まってしまっていた。

これらの問題が生じた大きな原因の一つは透明性の欠如であると言える。確率論的リスク評価（PRA）の結果を正しく伝えていれば、安全神話は生まれなかった可能性が高い。

福島第一事故後は原子力規制委員会が先頭に立って事故の可能性を前提とした安全対策の実施を進めており、今後は「自由な意見の表明を望まない風潮」は解消されるものと期待される。

立地自治体の合意取得問題が常に難航してきたことの原因の一つには既述した安全の説明論理の問題もあったものと考えられるが、国と自治体が原子力問題に関して対話を行う仕組みがないという制度的な問題が背景要因となっていることも様々な識者から指摘されている。そもそも、運転再開にあたって立地自治体の合意取得が必要、というのは事業者が自治体と締結している安全協定に定められていることであり、法律上は運転再開に関して自治体に何の関

与も規定されていない。万一の場合に最も大きな影響を受けるのは地元自治体であることを鑑みれば、原子力施設の安全問題に関し、自治体が直接国と対話が行える仕組みを構築することが透明性向上のために最も有効な対策である。高レベル放射性廃棄物処分場の場合は特に期間が超長期に亘ることからなおさらである。

1.2 地層処分技術の歴史と直接処分の特徴

1) 地層処分概念の開発経緯

1957年に全米科学アカデミー（NAS）は、当時の原子力委員会（AEC）から検討を依頼されていた高レベル放射性廃棄物の最終処分方策として、岩塩層への埋設を推奨し、そのための研究開発の開始を提言する報告書を取りまとめた。この報告書は、高レベル放射性廃棄物の処分方策として地層処分の概念を提示する最初の報告書となった¹⁾。

1970年代中頃になると、世界的な環境問題への認識の高まりに呼応し、高レベル放射性廃棄物の安全な処分に関する見通しを原子力利用の条件として考えようとする世論が高まりを見せた。こうした状況を背景に、その後高レベル放射性廃棄物処分に関していくつかの重要な報告書が国際機関によって取りまとめられた。1977年にはOECD/NEAが、地層処分は、海洋底下処分や地球外処分、消滅処理などの他のオプションに比べ最も成熟度の高い現実的な解決策であり、岩塩層以外に、粘土質層や、硬岩層なども地層処分に適した地質媒体であるとする報告書を取りまとめ、公表した²⁾。1983年には、NASが岩塩以外の、凝灰岩や花崗岩などの岩盤における隔離性能の予備的な評価を行い、処分場としての成立性が見通しうることを示した³⁾。こうして1980年代には、①岩塩以外にも、粘土質層や硬岩層も処分場の候補になりうる、②処分の安全性は、地質環境（天然バリア）のみによるのではなく、工学的な対策（人工バリア）を含むシステム全体（多重バリアシステム）によって確保される、③地層処分システムの性能が長期にわたって満足できるものか否かについては、合理的で、科学的かつ現実的な評価が求められる、といった見解の整理が進み、今日の地層処分概念の基本的な輪郭が定まっていた。

このころから、関係各国で地層処分の研究開発が本格化し、1980年代にはスウェーデンやスイス、カナダなどで地下研究施設における国際共同研究なども開始された。我が国においても、1976年に原子力委員会が、地層処分に重点を置いた調査研究を進めるとの決定を下し、当時の動力炉・核燃料開発事業団を中心に、本格的な研究開発が開始された。こうして1990年代には、多重バリアシステムに基づく地層処分の概念は高レベル放射性廃棄物処分のいわば国際標準として技術的成熟を遂げていった。

その一方で、1980年代後半になると、処分場立地に向けての調査や地下研究施設の立地が順調に進まない状況がいくつかの国で顕在化し、国によってはそれまでの計画を大きく見直さざるを得ない状況も発生した。このことは、地層処分という超長期の安全対策を必要とする事業は、科学や技術のみで解決できる問題ではなく、世代間の公平性などの倫理的・道義的要求をも含む社会的判断に大きく依存する事業であることを再認識させることになった。

1990年以降、国際機関などから地層処分問題をこうした観点から再検討する重要な報告書がいくつか取りまとめられ、地層処分計画においては、科学の進歩や社会の受容性にかかわる状況変化に順応でき、将来世代が他の選択肢を選ぶ可能性を排除しないという見地から、段階的な意思決定が重要であるとの認識が定着していった^{4), 5)}。我が国では、2000年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、地層処分は研究開発から事業化の段階へと移行したが、法律が定めた3段階の立地選定プロセスにはそうした考え方が部分的に反映されている。

地層処分の技術自体はおおむね1990年代には実施可能なレベルにまで成熟したということができ、2000年代に入ると、フィンランドや米国、スウェーデンのように、具体的に処分場のサイトが決まり、許認可段階に進む国も現れた。しかし合意形成にかかわる困難性は、その後も、我が国の東洋町における失敗や、米国におけるヤッカマウンテン計画破棄、英国におけるカンブリア州西部の処分場選定プロセスからの撤退などにみられるように、様々な形で顕在化している。地層処分に関わる合意形成の困難さの根本的な背景要因は、超長期の安全性が本当に実現しうるのかという疑念であり、それゆえ、社会はその実施に向けての「後戻りのできない決定」を保留または回避したがる傾向が強い。こうしたことから近年、地層処分においては、可逆性や回収可能性(R&R)を担保することが、合意形成を容易にする上での重要要件であり、倫理的要求からも必須の要件であるとの認識が国際的に高まっており、国によっては、R&Rを法的要件にしているところもある⁶⁾。いずれにしても、世界的に地層処分計画においては技術的側面よりも社会的側面の方が格段に重要性を増してきている。

可逆性と回収可能性の定義(OECD/NEA R&R プロジェクト最終報告書より)

- ① **可逆性 (Reversibility)** とは、原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは検討し直す能力を意味する。後戻り (Reversal) とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為である。可逆性は、プログラムが進行している期間における、利用できるオプションと設計の代替案を最適化する道筋と考えるべきである。
- ② **回収可能性 (Retrievability)** とは、原則として、処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力を意味する。回収 (Retrieval) とは、廃棄物を取り出す行為である。回収可能性があるということは、回収が必要となった場合に回収ができるようにするための対策を講じることができることを意味している。

2) 地層処分とセーフティケース

(1) 地層処分の基本概念

高レベル放射性廃棄物の処分では、数万年から数十万年といった長期の安全性を確保する必要がある。一方そのような長期間にわたり、人間による管理継続の確実性やそれを担保する社会の安定性を期待することは困難であり、それを前提としなければ安全が担保できない処分システムは適切とは言えない。一方深部地質環境は超長期にわたって物質を閉じ込める固有の性質を有しており、慎重にそのような環境を選べば、人類史を超える期間にわたる安定性も期待しうる。地層処分は、以上のような認識に立脚した工学システムであり、安定な地質環境（天然バリア）の選定と、適切な工学的対策（人工バリア）の組合せにより、超長期の受動的な安全性を実現しようとするものであり、その代表的な構成を図 1.2-1 に示す⁷⁾。この概念は、再処理政策をとる場合の高レベル放射性廃液のガラス固化体や TRU 廃棄物の処分と、直接処分政策をとる場合の廃棄物である使用済燃料の処分の双方に適用可能な概念であるが、選定した地質環境のほか、埋設対象物の性状や大きさなどによって、具体的な処分システムの設計はいろいろと変動しうる。



図 1.2-1 地層処分の基本概念（ガラス固化体処分の場合）

(2) セーフティケース

地層処分の安全性に関しては、対象とする全時間・空間スケールに対して文字通りの実証は不可能であり、予測的手法に基づく性能評価によりシステムの安全性能を示す必要がある。しかしながら、それのみでは長期の安全性への信頼構築には不十分であり、より幅広い、多面的な論拠や証拠を駆使して、処分施設の安全性を包括的に論証していく必要がある。こうした論証体

系はセーフティケースと呼ばれる⁸⁾ (図 1.2-2)。

事業者は段階的に進める処分事業の各段階でセーフティケースを作成し、提示することで、規制側を含むステークホルダー¹⁾によるさまざまな意思決定に必要な情報を提供することとなる。セーフティケースの重要な側面は、事業の進展に応じて段階的に地層処分の信頼を構築していくと同時に、その時々ステークホルダーの関心事に応じていこうとすることであり、そのために、これらステークホルダーがコミュニケーションを行う際の共通的な土台としての役割を果たす⁹⁾。

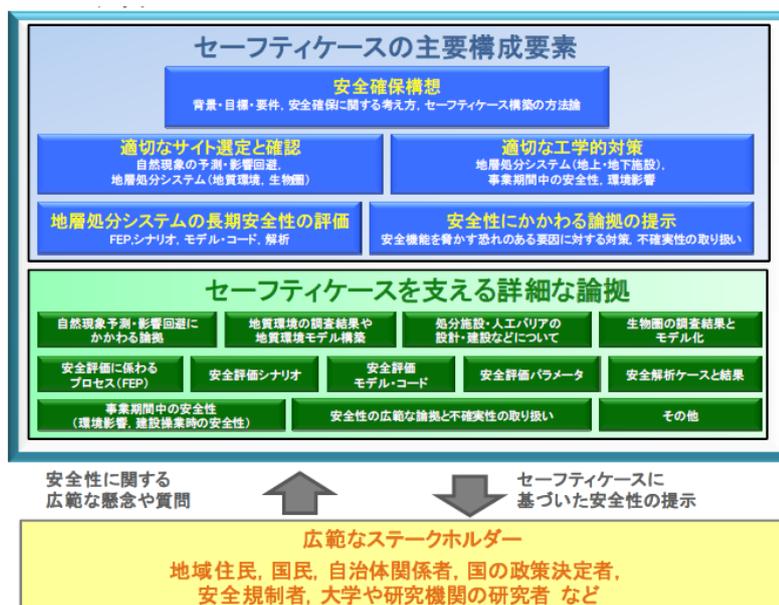


図 1.2-2 セーフティケースの構成要素と役割

出典：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－（NUMO-TR-11-01）

3) 核燃料サイクルのオプションと使用済燃料の扱い

発電を行うための原子炉には様々な形式があるが、今日では世界的に低濃縮ウランの酸化物を燃料とし、軽水を減速材兼冷却材として使う軽水炉が主流となっている。通常軽水炉のウラン燃料は核分裂性の U235 を 3～5%（残りは非核分裂性の U238）含む低濃縮ウランを使用し、燃焼が数%（3～5%程度）進むと、その結果蓄積する核分裂生成物の中性子吸収効果の増大により、核分裂連鎖反応の維持が困難になる。そこで、そこまで燃焼が進んだ燃料は炉心から取り出され、そのあとに新燃料が装荷される（これを燃料交換という）。炉心から取り出された燃料は「使用済燃料」と呼ばれるが、ウラン量でいえば、当初の量の 95% 近くが残存する。ウラン中の U235 の濃度は 1% 前後

¹⁾ 経済協力開発機構/原子力機関（OECD/NEA）の Forum on Stakeholder Confidence (FSC)で採用されている定義によれば、放射性廃棄物管理に関する意思決定プロセスにおいて果たすべき役割を持つか、あるいは同プロセスに興味を持つ全ての人々

に減じているが、その一方で、U238 の中性子吸収で生まれるプルトニウムが 1% 程度蓄積している。

使用済燃料の取り扱いに関しては、現在二通りの選択肢がある。一つはそれをそのまま廃棄物とみなして廃棄する道であり、もう一つは、残存するウランやプルトニウムを資源として回収し、核分裂生成物のみを廃棄する道である。前者は直接処分方式と呼ばれ、後者は再処理方式、あるいは再処理・リサイクル方式と呼ばれる（図 1.2-3）。後者の場合、再処理により回収されるプルトニウムは、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（MOX 燃料）として軽水炉で再利用されることになる。

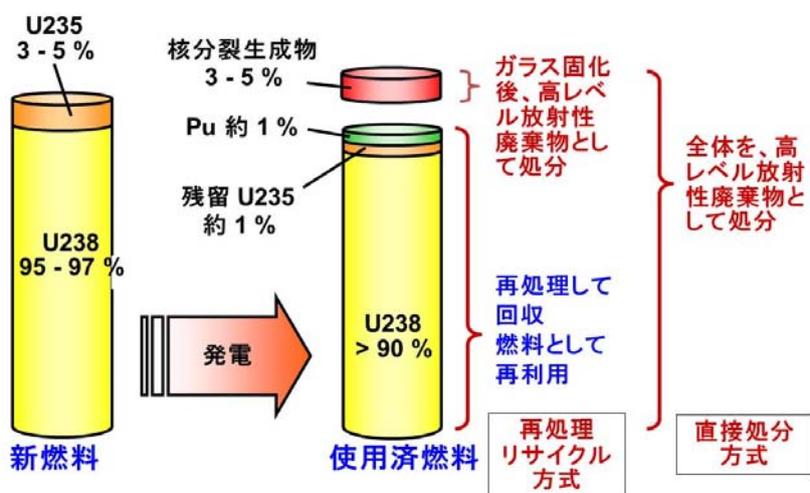


図 1.2-3 軽水炉使用済燃料の取り扱いに関する二つのオプション

MOX 燃料を軽水炉で再利用すると、その結果として MOX の使用済燃料が発生するので、その取り扱いをどうするかという新たな問題が生じる。

MOX の使用済燃料の再処理は、技術的にはフランスではすでに実証されているが、ウラン使用済燃料の処理に主眼を置いて設計された現在の再処理工場では処理効率が悪くなるので、フランスにおいても、現実にはウラン使用済燃料の処理を優先させ、MOX 使用済燃料は貯蔵に回されているのが実態である。また、MOX 使用済燃料中のプルトニウムは核特性上の品位低下のため、軽水炉での多重リサイクルには不向きであることも、MOX 使用済燃料の再処理を後回しにし、当面貯蔵で対処するという道を選択する大きな理由といえる。

軽水炉における再処理・リサイクル方式は、プルトニウムの多重リサイクルが困難であることから、自己完結的な完全リサイクルにはなりえず、将来の高速増殖炉における完全リサイクルに橋渡しができるまでの過渡的リサイクルとみなすことができる。一般に、本格的な再処理・リサイクル政策をと

る場合は、将来的には高速増殖炉サイクルの実現を目指す。その場合は、軽水炉時代の MOX 使用済燃料はそうした時代が到来するまで備蓄し、新規に建設する高速増殖炉用燃料向けのプルトニウム供給源とするのが合理的な考え方である。軽水炉の MOX 使用済燃料の直接処分に関しては、再処理・リサイクル政策の本来的意図からすれば、それを考えるべき蓋然性はきわめて低いといえることができる。しかし、政策変更によって再処理・リサイクル路線が放棄された場合には、残った MOX 使用済燃料の後始末のひとつのオプションとして直接処分も考えうるので、その実現可能性や問題点については、あらかじめ検討しておく必要がある。

4) 再処理方式と直接処分方式における発生廃棄物の形態概略

(1) 再処理方式における廃棄物の形態

再処理を行う場合は、ウランとプルトニウムを回収した後に残る核分裂生成物（一部超ウラン核種を含む）からなる高レベル放射性廃液のガラス固化体が主たる処分対象となるが、再処理工程や回収プルトニウムの MOX 燃料への加工工程で発生する 2 次廃棄物（性状的には超ウラン（TRU）廃棄物）も処分対象となる。2 次廃棄物は、性状的には超ウラン廃棄物（TRU 廃棄物）に分類される。再処理方式と直接処分方式を廃棄物処分の観点から比較検討する場合には、再処理方式に関しては TRU 廃棄物も含めて議論する必要がある。

ガラス固化体は外形 43 cm の円筒状ステンレス製容器（キャニスタ、フラスコと呼ばれることもある）内で高レベル放射性廃液成分を混入させたホウケイ酸ガラスを固化したもので、外形については英仏日の再処理工場で統一化が図られている。キャニスタ高さは標準的には約 1.3m（容積では約 1500）であるが、これより短い場合もある。標準的なガラス固化体 1 体当たり充填される固化ガラスの重量は約 400kg で、容器も含めた重量は約 500kg になる。なお、ガラス固化体は、ガラスへの FP 混入率の設定にもよるが、一般的には使用済燃料 1 トンの再処理で 0.7～1.3 本程度発生する。

ガラス固化体は、通常製造直後は崩壊熱により 2kW を超える発熱があるため、30～50 年程度保管することで崩壊熱をある程度減衰させたのちに埋設処分する。埋設処分を行う場合、ガラス固化体は、主に地下水との接触を 1000 年間以上にわたって遅延させる目的で、オーバーパックと呼ばれる厚肉の金属容器に密封される。オーバーパックの材質や形状については、処分場の地質環境や、想定する密封期間や強度、搬送・定置装置との関係など、処分場システム設計との関係で多様な選択肢がありうる（図 1.2-4）。オーバーパックに収納されたガラス固化体の全体重量は我が国の場合で約 6 トンになる。



図 1.2-4 オーバーパックに密封されたガラス固化体（各国の概念）

TRU 廃棄物は、再処理工程で出てくる燃料除去後の被覆管の切断片（ハル）や集合体部材、高レベル放射性廃液以外の様々な工程廃液を濃縮・固化したものの、操業や保守の過程で使用し、汚染したウェスやビニール、工具、交換部品など多種多様な性状と形態を有する。一般的に、可燃性廃棄物の焼却灰や濃縮廃液はセメント固化などで安定化させ、不燃性の固体廃棄物は圧縮減容をしたうえで、所定の容器（コンテナ）に密封する。容器の形状や大きさについては、必要に応じ何種類かが用意される。再処理を行った場合、このような 2 次廃棄物（TRU 廃棄物）を合わせると、廃棄物の体積は当初の使用済燃料の体積よりも大きくなる。しかし 2 次廃棄物は発熱が小さいため、処分時には一か所に集中して埋設することができるので、ガラス固化体も含む全体の処分場の必要面積という点では、直接処分の場合の半分以下で済む。ただし、廃棄体自体の閉じ込め性能の点では、TRU 廃棄物はガラス固化体よりも劣るので、安全確保上は留意する必要がある。図 1.2-5 に、我が国で発生する TRU 廃棄物の分類とそれらの特徴を示す¹⁰⁾。また、図 1.2-6 には、フランスにおける B 廃棄物（我が国の TRU 廃棄物相当）用パッケージの例を示す。

TRU 廃棄物は、一般的には高レベル放射性廃棄物と同じ処分場に埋設するのが合理的であるが、別途 TRU 廃棄物専用の処分場を設ける場合もありうる。前者の場合であっても、TRU 廃棄物の場合は、高レベル放射性廃棄物の埋設坑道とは別に、より大空間の埋設坑道を設け、そこに集中的に埋設されることになる。我が国の場合、TRU 廃棄物であっても、規定された放射性核種の濃度が所定の値未満のものについては、地層処分ではなく、余裕深度処分や浅地中処分に振り分けられる。図 1.2-7 に、ガラス固化体と TRU 廃棄物を併置処分する場合の地層処分場のイメージを示す。

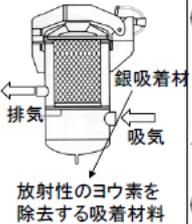
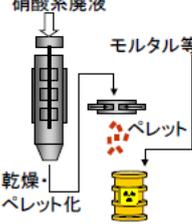
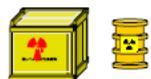
処分方法	地層処分を想定		余裕深度処分・浅地中処分を想定	
	廃銀吸着材	エンドピース ハル	濃縮廃液等 硝酸系廃液 モルタル等	難燃性廃棄物 不燃性廃棄物
概要	 <p>放射性のヨウ素を除去する吸着材料</p>	 <p>細断・圧縮</p>	 <p>乾燥・ペレット化</p>	 <p>ゴム手袋 (焼却・圧縮) 工具 金属配管</p>
廃棄体イメージ (例)				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 放射性ヨウ素 (I-129)を含む セメント固化体 	<ul style="list-style-type: none"> 発熱量が比較的大 放射性炭素 (C-14)を含む 	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸塩を含む モルタル、アスファルトによる固化体等 	<ul style="list-style-type: none"> 焼却灰、不燃物 セメント固化体等
グループ	1	2	3	4

図 1.2-5 わが国の TRU 廃棄物の分類とそれらの特徴

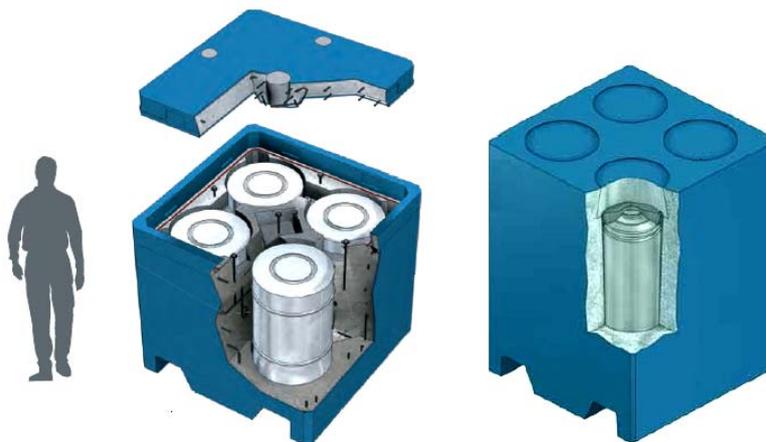


図 1.2-6 フランスの B 廃棄物用パッケージの例

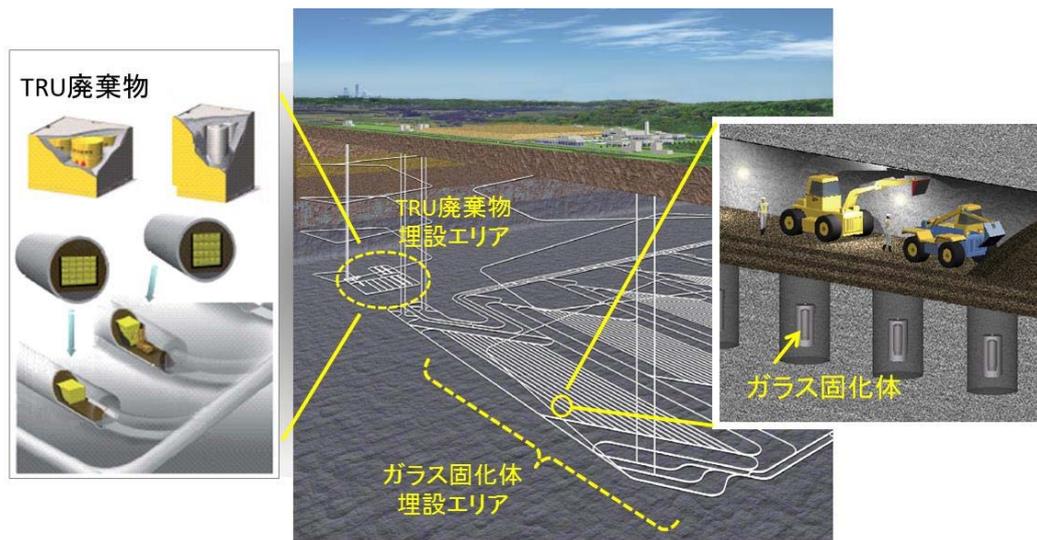


図 1.2-7 地層処分場のイメージ
(ガラス固化体・TRU 廃棄物併置)

(2) 直接処分方式における廃棄物の形態

直接処分を行う場合は、使用済燃料そのものが廃棄物とみなされ、地中に埋設処分されることになる。燃料集合体の長さは約 4 m あるので、それらを密封するキャニスタ(機能的に見ればガラス固化体の場合のオーバーパックに相当)の大きさも、前述のガラス固化体の場合に比べて大きくなり(高さで 5m 前後)、埋設坑道やハンドリング装置などがその分大きくなる。また、ウランやプルトニウムも非分離のまま埋設してしまうため、核分裂生成物の崩壊熱にプルトニウムの崩壊熱が加算されることになり、ガラス固化体処分の場合に比べ、地層処分場の熱設計上の負荷が相対的に大きくなる。このため、単位発電量当たりが必要とされる処分場面積は、直接処分の場合、再処理方式の場合に比べ倍以上になる。また、地層処分を行う前の冷却期間についても、ガラス固化体の場合の倍程度を必要とする。

キャニスタへの燃料集合体の装荷数については、欧州においては PWR 燃料集合体の場合は 4 体、BWR 燃料集合体の場合は 9~12 体が主流になっている。ただし、MOX の使用済燃料の場合、崩壊熱がウラン燃料の場合の数倍になるため、発熱量の観点から集合体 1 体だけの装荷に制限される。図 1.2-8 に、フランス、スウェーデン、及びスイスの直接処分用キャニスタの概念図を示す。キャニスタの全体重量は、フランスのウラン使用済燃料用キャニスタの場合 35~43 トンであり、スウェーデンのキャニスタは 25 トン前後になる。



図 1.2-8 欧州各国の直接処分用キャニスタ概念図

5) 処分の観点から見た使用済燃料とガラス固化体の主要特性の違い

(1) 発熱特性

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、オーバーパックに収納された高レベル放射性廃棄物を処分坑道に埋設する際には、埋設孔とオーバーパックの間に設けられた空間に、粘土の一種であるベントナイトを主成分とする緩衝材を充填する²。緩衝材は地下水の浸透を防ぎ、放射性核種の溶出や拡散を抑える重要な役割を持っている。その機能維持を長期にわたり保証するためには、緩衝材の温度を一定の値以下に抑える必要があり、わが国ではその制限値を暫定的に 100℃としている。この制限温度を守るため、残留発熱の程度に応じ、埋設廃棄物の間隔を保持する必要がある。このため、埋設時の廃棄物の残留発熱（崩壊熱）は、処分場の必要面積を決める重要な設計因子の一つとなる。

図 1.2-9 は使用済燃料とガラス固化体の崩壊熱特性（ウラン 1 トン当たりで規格化）を比較したものであるが、50 年冷却時点では前者の発熱は後者のそれに比べ約 6 割大きい。これは、使用済燃料の場合、FP の崩壊熱に加え、プルトニウムやその崩壊で蓄積するアメリシウムの発熱が加算されるためである。

² フランスの処分場候補地のように、母岩が粘土系の堆積岩の場合は、母岩自体の透水性が低く、核種移行遅延効果が大きいので、緩衝材の使用が省略される場合もある。

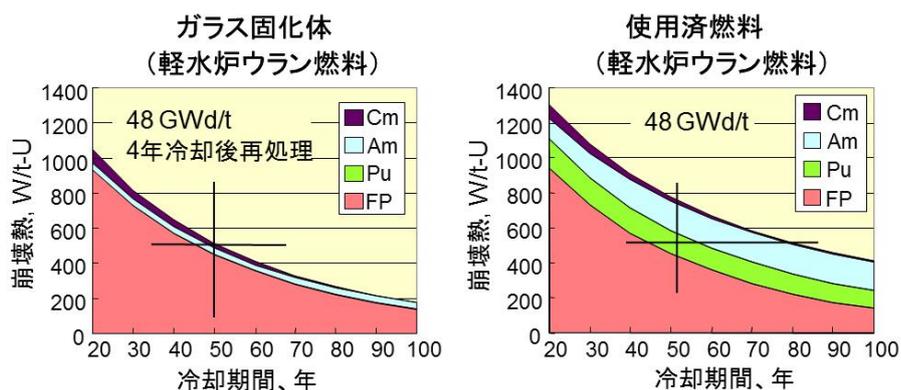


図 1.2-9 ガラス固化体と使用済燃料の崩壊熱の比較

フランスでは、2006年の放射性廃棄物等管理計画法制定に先立ち、処分の実施主体である ANDRA が、Dossier 2005 と呼ばれる処分技術総合評価報告書を公開した。この報告書では、フランスが採用している全量再処理政策に基づく処分場概念に加え、2010年以降再処理を止め、直接処分政策に移行した場合の処分場概念も比較検討用として提示している¹¹⁾。図 1.2-10 は、その比較を示すが、2010年以降直接処分に移行した場合には、その後に必要とする処分場面積はガラス固化体処分の場合の約 3.6 倍に増加することが示されている。なお、再処理を行う場合、2次廃棄物として TRU 廃棄物が発生するが、発熱が小さいことから、そのための処分スペースは比較的小さくて済むことはすでに述べた。図 1.2-10 中に B zone とあるのは、TRU 廃棄物の埋設スペースである。ただし、フランスの場合、軍事活動で発生した廃棄物もここに埋設するので、この部分のスペースは相対的に大きくなっている点は留意する必要がある。

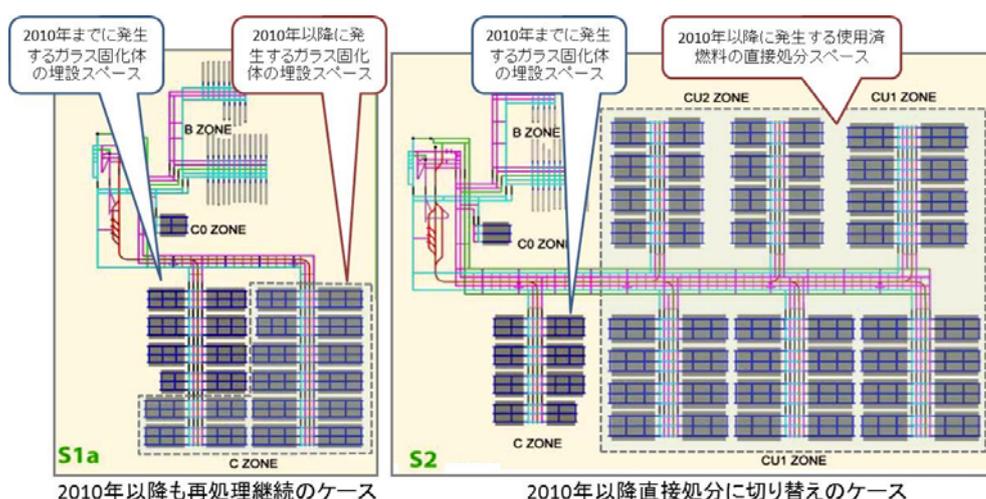


図 1.2-10 処分場面積の比較例 (フランス、Dossier 2005 より)

フランスを含むいくつかの国で検討されたガラス固化処分と直接処分のそれぞれにおける処分場面積の比較例を表 1.2-1 に示す^{11), 12), 13), 14)}。これらは、廃棄物のパッケージの設計や配置、岩盤強度、温度制限値などが、それぞれに異なり、まったく同じ条件での比較ではない。しかしながら、一般的に直接処分は、ガラス固化体処分に比べ、より広い処分場面積を必要とすることがこの表から見て取ることができる。こうした比較は、我が国では、原子力委員会の 2005 年原子力政策大綱策定に先立って開かれた新計画策定会議の下ではじめて行われ、さらに 2012 年の原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会で再評価が行われた¹²⁾。

表から明らかなように、諸外国の評価に比べ、我が国の検討では処分場面積比はやや小さめに評価されているが、それでも倍以上の値になっている。国土が狭く人口密度が高い我が国は、処分場の立地に向けての社会的・政治的ハードルは、諸外国に比べ相対的に高いと言わざるを得ない。そうした実情を踏まえれば、処分場面積の問題は核燃料政策を考える上で無視できない重要な視点となりうる。

表 1.2-1 直接処分とガラス固化体処分の処分場面積の比較

評価例	処分場面積比 (直接処分/G固化体処分)
原子力発電・核燃料サイクル技術検討 小委員会(H24.3)	(G=ガラス) 2.7
フランス ANDRA Dossier 2005	3.6
ベルギー ONDRAF SAFIR-2	6
米国 ANL/AFCI	5.7 (a)

(a) U, Pu, Am, Cm を 99.9% 除去した場合

(2) 潜在的毒性

放射性廃棄物の潜在的毒性は、それ自体は安全上の直接的指標とはならないが、処分の安全性を考える上での出発点となる指標である。図 1.2-11 は、軽水炉使用済燃料とガラス固化体の潜在的毒性の経時変化の相対比較図であり、冷却期間 100 年以降ではガラス固化体の潜在的毒性は使用済燃料のそれよりもおおむね 1 桁小さくなることがわかる。これらの潜在的毒性は、しばしば、新燃料 1 体を作るのに必要なウラン鉱石量が持つ毒性（厳密性を欠く表現であるが、これを「ウラン鉱石の毒性」と呼ぶ）と比較される。ガラス固化体の場合、その潜在的毒性がウラン鉱石の毒性を下回るためにはほぼ 1 万年の冷却時間を要するが、使用済燃料の場合には約 10 万年を必要とする。

また、ガラス固化体からいわゆるマイナーアクチノイド元素（MA）を除去した場合には、その潜在的毒性は 300 年程度でウラン鉱石の毒性を下回る

図 1.2-12 の上段は、潜在的毒性を縦軸に線形表示し、主要組成別に示したものであるが、使用済燃料の冷却初期段階の潜在的毒性のほぼ半分はプルトニウムに由来することがわかる。また同図の下段から明らかなように、核分裂生成物（FP）の毒性は 100 年程度の間急速に減衰し、1000 年から 10 万年の間は毒性の 9 割以上をプルトニウムが占めることになる。したがって、再処理でプルトニウムを回収することは、廃棄物処分の観点からすれば、廃棄物の潜在的毒性の低減に大きく貢献していることがわかる。ガラス固化体の処分においても、処分事業の社会的受容性を向上させるためには、MA の分離変換が望ましいという論があるが、そうした立場からすれば、再処理路線から直接処分路線への切り替えは、逆方向を指向する方針転換といえる。我が国では、これまで一貫して再処理政策をとってきたが、東日本大震災以来の原子力への忌避感の高まりの中で、再処理不要論が高まっている。しかし、直接処分政策に転換する場合、「猛毒のプルトニウム」をそのまま地下埋設することになるわけであるから、地層処分事業推進の観点からすれば、立地の困難性は一層増すことは想像に難くない。この点は、我が国で直接処分を検討する場合に、忘れてはならない問題の一つであろう。

なお、地層処分の安全性は、実際には潜在的毒性で判断されるべきで問題はなく、2) で述べたような安全対策とそれに関する性能評価をベースとして構築されるセーフティケースを通じて理解されるべきものである。

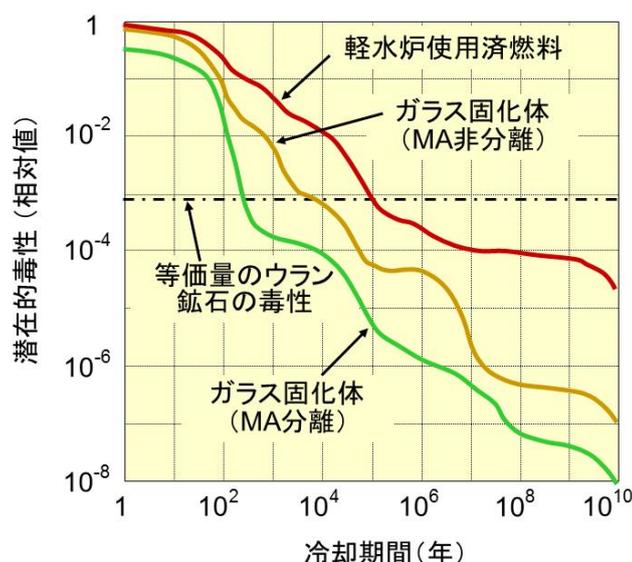


図 1.2-11 使用済燃料とガラス固化体の潜在的毒性

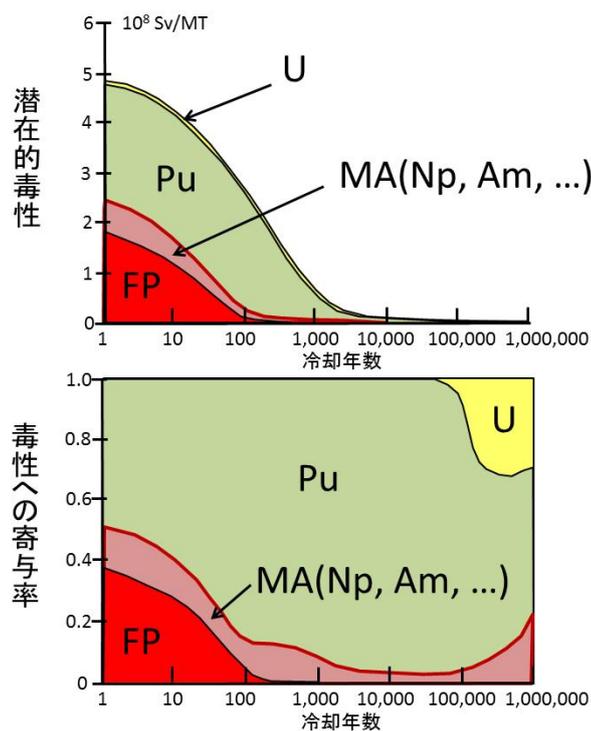


図 1.2-12 潜在的毒性の内訳

(3) 使用済燃料中のプルトニウムの特性

直接処分の場合、プルトニウムを含む使用済燃料をそのまま地下埋設するため、安全上は臨界安全解析が必要となることに加え、地層処分場に恒久的な保障措置の適用が求められる。

図 1.2-13 に、様々な使用済燃料中のプルトニウムの同位元素比を、兵器級プルトニウムと比較して示す。Pu-239 と Pu-241 は核分裂性で、それらの合計が全体に占める割合をフィッサイル率 (fissile content) と呼ぶ。使用済燃料中のプルトニウムのフィッサイル率は、燃料の燃焼度が高くなるほど減少し、MOX 使用済燃料の場合は一層低くなる。プルトニウム同位体組成は、臨界安全に直結するパラメータであり、直接処分用のキャニスタ設計や安全評価に大きな影響を与える。

プルトニウムは、フィッサイル率が低下するほど、核兵器への利用の困難性が増すが、Pu-238 の同位体比が 80% 以上の場合を除き、いかなる同位体組成のプルトニウムでも保障措置が適用される。

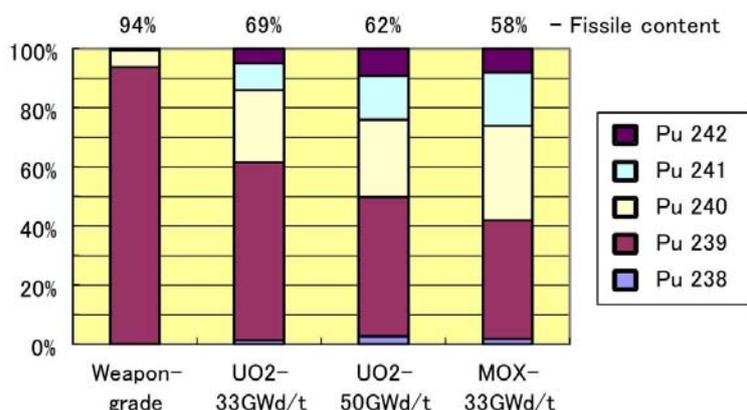


図 1.2-13 様々なプルトニウムの同位体組成 (典型例)

6) 我が国における直接処分の予備的安全評価

わが国では、これまで一貫して再処理政策をとってきたため、直接処分に関する研究開発は全く行われてこなかった。直接処分の安全評価に関しては、2005年の原子力政策大綱策定に先立って2004年に開かれた新計画策定会議の下に設けられた技術小委員会で行われた予備的安全評価が最初の試みであり、その後もそれ以上に進んだ検討は行われていない。以下に、上述技術小委員会の検討結果の概略を紹介する。

主要な解析の基本条件

- キャニスタの寸法・形状についてはスウェーデン KBS-3 (PWR タイプ) を想定。
- オーバーパック材料としては炭素鋼とし、肉厚を 19 cm とした (第 2 次取りまとめに同じ)。
- 処分場の基本概念は第 2 次取りまとめに準拠。
- オーバーパックは 1000 年で機能喪失すると想定 (第 2 次取りまとめに同じ)。
- 使用済燃料からの核種溶出については、一定割合が瞬時溶出し、それ以外は UO₂ マトリックスの溶解と調和的に溶出するとした。
- UO₂ マトリックスについては、100 万年での溶解を想定し、1 万 5 千年のケースも評価した。
- それ以外の解析条件は第 2 次取りまとめに従った。

核種移行解析結果

代表的な核種移行解析結果の例を図 1.2-14 に示す。解析結果の概要は以下のように整理することができる。

- 総線量の最大値は μ Sv/y のオーダー

- 線量最大値の発生時期は、処分後 5,000～8,000 年
- 支配各種は C-14（有機）
- 結果の特徴：
 - ① 人工バリアによる遅延効果が小さい C-14（有機）が支配的なため、オーバーパック破損（処分後 1,000 年）以降に早期に最大値が生じる。
 - ② 諸外国の安全基準（0.1～03 mSv/y）を下回る結果となっている。

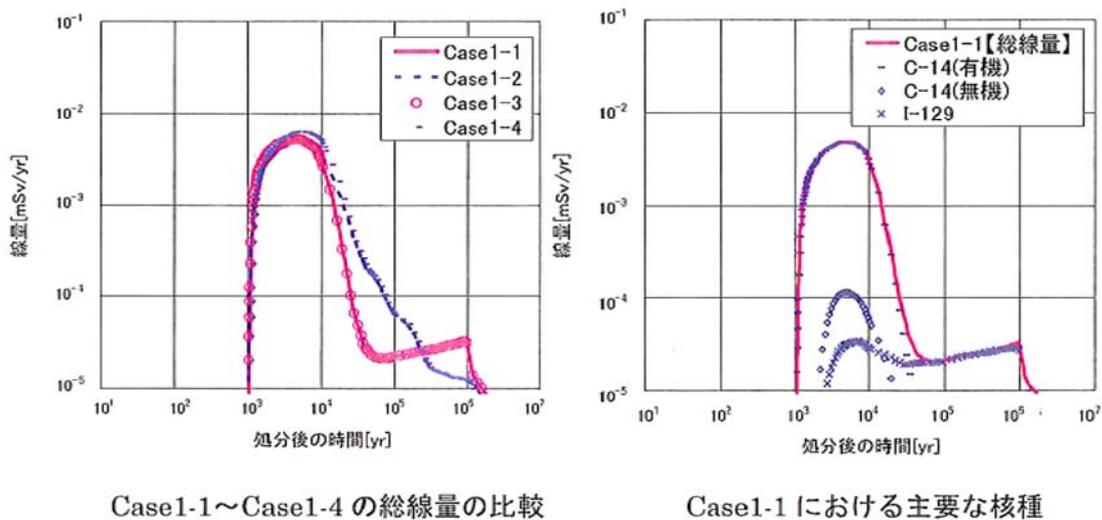


図 1.2-14 核種移行解析結果の例

(Case1-1～Case1-4 はケーススタディ番号；詳細略)

上記解析結果を、再処理を行う場合の評価結果と対比して図 1.2-15 に示した。後者については、ガラス固化体に関しては第 2 に取りまとめた結果を、また TRU 廃棄物に関しては、第 2 次 TRU レポートの結果を示した。直接処分の解析結果と対比する場合は、両者の結果を加算して比べる必要がある。図から明らかのように、ガラス固化体の処分に由来する線量は直接処分の場合に比べ、格段に小さくなるが、TRU 廃棄物からの影響を加算すれば、再処理ケースと直接処分ケースは、線量的には同レベルの結果を与えることがわかる。ただし、再処理ケースの場合、TRU 廃棄物については、堅牢なオーバーパックがないため、解析上、処分直後から核種の漏出が始まると仮定しており、その結果として線量上昇が埋設後ただちに始まる。直接処分ケースでは、オーバーパックの効果で、線量の立ち上がりは 1,000 年経過後から始まることになる。この段階では、直接処分に関しては、あくまでも暫定的な条件設定に基づく解析であり、その条件について詳細な吟味が行われているわけではな

い。直接処分の検討を進める場合には、今後より詳細な吟味を経た条件設定のもとでの評価が望まれる。また、更に具体的な条件設定のためには、直接処分に固有のパラメータの信頼性を向上させるための研究開発も必要であり、あらためてそのニーズの明確化が望まれる。

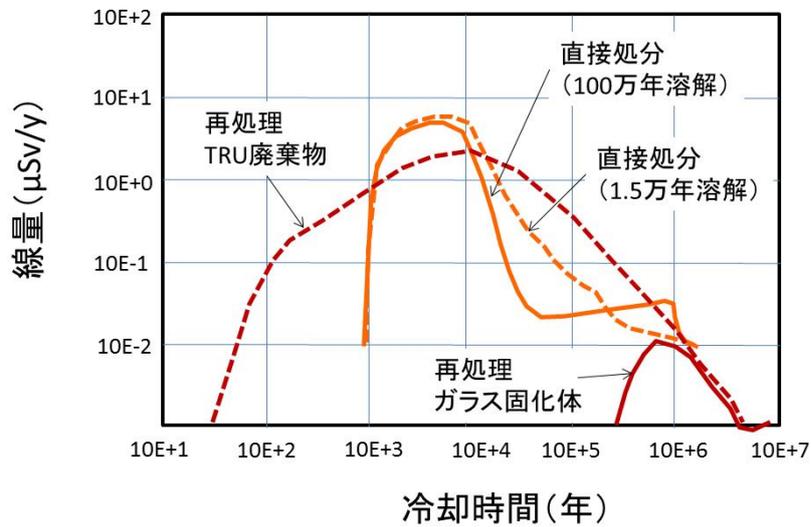


図 1.2-15 直接処分ケースと再処理ケースの線量評価結果の比較

参考文献

- 1) NAS, *The Disposal of Radioactive Waste on Land*, (1957)
- 2) OECD/NEA, *Objectives, Concepts and Strategies for The Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes*, (1977)
- 3) NAS, *A Study of The Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Wastes*, (1983)
- 4) NAS, *Rethinking High-Level Radioactive Waste Disposal: A position Statement of the Board of Radioactive Waste Management*, (1990)
- 5) OECD/NEA, *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes*, (1995)
- 6) OECD/NEA, *Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel*, (2011)
- 7) 河田東海夫「高レベル放射性廃棄物処分事業の概要と安全性」学術の動向, 2010.11
- 8) OECD/NEA, *Post-closure Safety Case for Geological Repositories-Nature and Purpose*, (2004)
- 9) 原子力安全委員会特定放射性廃棄物処分安全調査会「地層処分に関する安全コミュニケーションの考え方について」2011年1月12日
- 10) NUMO「地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性」NUMO-TR-10-03, 2011.1
- 11) ANDRA, *Dossier 2005 Argile, Tome: Architecture and management of a geological repository*, (2005)
- 12) 原子力委員会 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回) 参考資料「核燃料サイクルの技術選択肢及び評価軸について(改訂版)」, 2012.3
- 13) ONDRAF/NIRAS, *SAFIR2: Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2*, (2001)
- 14) R. A. Wigeland et al., “Repository Impact of Limited Actinide Recycle”, Proc. GLOBAL 2005, Tsukuba, Japan, October 9-13 2005

1.3 議論の背景：原子力政策と直接処分

我が国の原子力政策では、1956年策定の第1回「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（以下、長計）において「将来わが国の実情に応じた燃料サイクルを確立するため、増殖炉、燃料要素再処理等の技術の向上を図る。」と明記されて以来、一貫して再処理方針を掲げてきた。従って最終的に処分すべき廃棄物の形態も、使用済燃料集合体ではなく、再処理施設から生じるものが想定されていた。高レベル放射性廃棄物の最終処分に係る方針が初めて政策文書に現れるのは1967年の第3回長計であるが、その記述は以下の通りである。

「中・高レベルの廃棄物については、適切な最終処分区域の決定がとくに重要であるので、慎重に検討するものとし、当面は、放射性廃棄物の量等を勘案のうえ、必要とする貯蔵のための施設および場所ならびに貯蔵用容器の開発について検討をすすめ、また、将来、固体廃棄物中に含まれる有用核種の抽出等、再利用の可能性について検討をすすめる。」

明示的な記述こそないものの、この前段「核燃料」の項で基本的な考え方として「使用済燃料の再処理、プルトニウムの利用等を国内で行なうこと」と明記してあることを踏まえれば、廃棄物の形態として使用済燃料集合体ではなく、再処理からの生成物が想定されていたことは明らかである。

この方針に沿って我が国では2011年までの40年余りにわたり、再処理工程から生じるウラン・プルトニウム等の再利用可能な燃料を除いた廃棄体、いわゆるガラス固化体が地層処分の対象物として想定され、その特性を前提条件とした技術開発や安全解析等が行われてきた。2000年まで9回を数えた長計及びその後2005年の「原子力政策大綱」まで一貫して再処理方針が掲げられ、再処理しないことが想定されてこなかった以上、研究機関も民間企業もそれに沿った開発方針を取ってきたことは当然といえよう。

この一貫した再処理方針に対し、大きな転機となったのが2011年3月の福島第一事故である。これ自体は原子力発電施設での事故であり、使用済核燃料の再処理や高レベル放射性廃棄物処分の技術的な課題に直接影響を与えるものではなかった。しかしながら、この事故を契機として我が国の将来にわたる原子力利用の是非についてゼロベースでの見直しが行われたことから、ウラン資源の有効活用という再処理の意義が問われることとなり、直接処分まで現実的に想定した研究開発を行う意義が、日本の原子力開発史上初めて

議論されることとなった。

2011年9月、エネルギー政策見直し議論を行っている「エネルギー・環境会議」より核燃料サイクル政策の選択肢の提示を指示された原子力委員会は、直ちに「原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会」を設置し、想定されうる将来の原子力発電規模に応じた核燃料サイクルの選択肢に関する情報や技術根拠等の整理を開始した。

具体的には同技術小委において「全量再処理」「全量直接処分」及び「半量再処理、半量直接処分」の政策3選択肢を想定し、総合エネルギー調査会基本問題委員会がエネルギー・環境会議に対して提示した、2030年における原子力発電規模の4選択肢（発電量に占める原子力発電の割合がそれぞれ0、15、20-25、35%）について、それぞれの原子力比率に最適な核燃料サイクル政策を適用するための評価を行った。この技術小委では多角的な観点から議論を展開し、その結果、原子力委員会は2012年6月、エネルギー・環境会議に対して将来想定される原子力発電規模に対応した核燃料サイクル政策の選択について、表1.3-1に示すような提言を行った。

表 1.3 - 1 核燃料サイクル政策の選択肢について（概要）

2030年の 原子力 比率	使用済燃料 取扱い 基本方針	当面の政策の進め方
(A) 0%	全量直接 処分が適切	<ul style="list-style-type: none"> ● 六ヶ所再処理工場を廃止 ● 使用済燃料は長期貯蔵 ● 直接処分の実施に向けた取組みを開始
(B) 15%	再処理/ 直接処分 併存が適切	<ul style="list-style-type: none"> ● 六ヶ所再処理工場は稼働 ● その能力を超える使用済燃料は貯蔵 ● 貯蔵された使用済燃料の再処理と並行して直接処分実施に向けた取組みを開始
(C) 20-25%	全量再処理 が有力	<ul style="list-style-type: none"> ● 六ヶ所再処理工場は稼働 ● その能力を超える使用済燃料は貯蔵 ● 次の再処理施設に向けた取組みを開始

出所) 2012年6月21日原子力委員会決定「核燃料サイクル政策の選択肢について」より編集

2012年9月、「エネルギー・環境会議」は、「2030年代には原子力に依存しない社会を1日も早く実現する」という趣旨の「革新的エネルギー・環境戦略」を提示した。その中には核燃料サイクル政策及び再処理の是非について以下のように記述されていた。

『引き続き従来の方針に従い再処理事業に取り組みながら、今後、政府として青森県をはじめとする関係自治体や国際社会とコミュニケーションを図りつつ、責任を持って議論する。』

『なお、当面以下を先行して行う。

－直接処分の研究に着手する。

(中略)

－国が関連自治体や電力消費地域と協議をする場を設置し、使用済核燃料の直接処分の在り方、中間貯蔵の体制・手段の問題、最終処分場の確保に向けた取組など、結論を見出していく作業に直ちに着手する。』

すなわち、2012年9月時点では、原子力ゼロの社会を1日も早く実現する一方で、再処理の可能性も完全に廃棄はせず、ただ直接処分の研究に着手すること、埋設する対象物に関わりなく最終処分場の問題解決に取り組むことを明記したに止まっていた。

「革新的エネルギー・環境戦略」は結局、閣議決定されることなく国家戦略室からの提言のまま宙に浮き、実効的な施策が取られることはなかった。2012年12月の衆議院選挙で歴史的な大勝利を収めた自民党政権は、民主党政権下で掲げられた「革新的エネルギー・環境戦略」をゼロベースで見直す方針を表明し、それまでのエネルギー政策見直し議論自体が見直されることとなった。

2013年12月、再開された政策議論の場「基本政策分科会」は「エネルギー基本計画に向けた意見」を提示し、定量的な数値目標こそ明示しなかったものの、原子力を引き続き重要なベース電源と位置づけるよう強く提起した。これを受け、2014年4月11日、政府は基本政策分科会での議論の成果として、「エネルギー基本計画」を閣議決定。その基本計画には、原子力発電について「安全性の確保を大前提に、重要なベースロード電源」との位置づけが示されている半面、「依存度は可能な限り低減しつつ、確保していく規模を見極める」とも記述があり、将来の規模に対する明確なコミットメントはなされていない。更に、核燃料サイクルについては「これまでの経緯等も十分に

考慮し、関係自治体や国際社会の理解を得つつ、再処理やプルサーマル等を推進するとともに、中長期的な対応の柔軟性を持たせる」とあり、ますます何が将来的な目標なのかわからない状況である。

2012年6月の原子力委員会決定において最適な核燃料サイクル選択肢は将来の原子力発電比率により変化しうるということが明示されたこと、及び2014年4月の「エネルギー基本計画」において再処理等の核燃料サイクル選択肢について議論を続けていく姿勢を国が示したことを踏まえれば、2013年末現在、我が国の核燃料サイクル政策は依然として「オープン・ディスカッション」の状況にあるといえよう。そのような状況である以上、原子力の研究開発に従事している関係者は、廃棄物の毒性低減や被ばく等の健康被害、環境影響の最小化等、多角的な観点から、再処理・直接処分の双方についてオープンかつ積極的な推進姿勢を維持していくことが期待されている。

1.4 直接処分を検討する社会的・政策的意義について

1) はじめに

本委員会で「直接処分に係る社会環境等」の研究を取り上げた背景は、直接処分の意義が関係者に必ずしも正しく認識されていない実情があるからである。その主な原因は、直接処分がこれまでほとんど再処理のアンチテーゼとして語られ、再処理と直接処分が二者択一のものとして捉えられてきたためである。

このため、再処理政策を選択すると直接処分は不要だと思われ、直接処分の研究もほとんど行われてこなかった。

国際的には直接処分を選択している国もある。処分場の立地が決まっているフィンランド、スウェーデンはいずれも直接処分政策を選択しており、直接処分に根本的な問題点がある訳ではない。

再処理によって燃料を軽水炉で繰り返しリサイクル利用したとしても、プルトニウムの高次化のためリサイクル回数に限りがある¹。このため、使用済燃料はいずれ再処理せずに処分することになる（以下ではこの使用済燃料のことを「最終サイクル使用済燃料」と言う）。すなわち全量再処理政策を採っていたとしてもいずれ直接処分が必要になるということである。再処理のアンチテーゼと言うレッテルを貼られてしまったが故に生じた「エアポケット」のようなものである。

第二再処理工場が建設されない場合は最終サイクル使用済燃料以外にも直接処分の対象となる使用済燃料が発生する。それは元々国内の原子炉で発生する使用済燃料の中には六ヶ所再処理工場あるいは東海再処理工場の受け入れ仕様に合致しないものがあるからである。もし、東海再処理工場が操業停止するようなことがあればさらにその範囲は拡大する。

本節ではそれらの使用済燃料の直接処分の検討に関する社会的・政策的意義を論ずる。

2) 政策や法律等での直接処分に関する位置づけ

(1) エネルギー基本計画

2014年4月11日に閣議決定されたエネルギー基本計画の「第3章第4節原子力政策の再構築4. 対策を将来へ先送りせず、着実に進める取組」の中で直接処分について次の通り言及されている。

(1) 使用済燃料問題の解決に向けた取組の抜本強化と総合的な推進

①高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の抜本強化

～このような考え方の下、地層処分の技術的信頼性について最新の科

¹ 第7回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(2012.2.16)議事録 11頁下段で「無限回りサイクル」の表現をやめて「多重回りサイクル」とすることとされ、「3回、4回のリサイクル」を想定することとされた。

学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。

エネルギー基本計画に盛り込まれたこの政策に、本委員会及び関係者は応える必要がある。

(2) 原子力委員会決定「核燃料サイクル政策の選択肢について」

エネルギー基本計画に先立って原子力委員会からも2012年6月21日付の「核燃料サイクル政策の選択肢について²⁾」と題した文書で直接処分に関する検討を見直す提言が決定されている。本委員会及び関係者はこの原子力委員会提言に応える必要がある。

この原子力委員会提言はこれまでの「全量再処理」政策を変更することを決めたものではないが、将来の政策変更の選択肢を示し³⁾、その中でこれまでの「全量再処理」政策と並んで、「全量直接処分」政策及び「再処理・直接処分併存」政策を示した。

そして、これらの選択肢を推進するに当たって国が今後取り組むべき重要課題のひとつとして、直接処分について

最終処分場に関しては、すでに発生している研究炉の使用済燃料や福島第一原子力発電所の使用済燃料対策などを考えると、使用済燃料を直接処分することを可能にしておくことの必要性は明らかである。したがって、直接処分を可能とするための技術開発や所要の制度措置の検討に早急に着手すべきである

と述べている。

(3) 原子力委員会決定「平成25年度原子力研究、開発及び利用に関する計画について」

平成25年5月16日付の掲題の決定文書の「第3章平成25年度原子力関係経費の見積りに関する基本方針に基づく平成25年度に実施すべき取組について」の「3. 新しい原子力発電の位置付けに対応するための取組【基本方針の内容】」で以下の通りの基本方針を示している。

核燃料サイクル分野においては、使用済燃料の貯蔵容量を発電所敷地内外を問わず増強する取組や高レベル廃棄物の最終処分場の選定作業を、現在にも増して、国がリーダーシップを発揮して、強力に推進していく必要がある。また、最終処分場に関しては、既に発生している研究炉の使用済燃料や福島第一原子力発電所の損傷した使用済燃料対策など考え

²⁾ http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/kettei120621_2.pdf

³⁾ 出典:2012年6月21日原子力委員会決定「核燃料政策の選択肢について」

ると、使用済燃料を直接処分することを可能にしておくことの必要性は明らかであり、これを可能とするための技術開発や所要の制度措置の整備に重点化し、早急に着手すべきである。

本委員会及び関係者はこの原子力委員会決定に応える必要がある。

(4) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する国の基本方針

エネルギー基本計画の記述を受け、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」）の基本方針の中に、選択肢の確保の一環として「直接処分」の文言が盛り込まれ、2015年5月22日に閣議決定された。

具体的には、基本方針の第7「その他特定放射性廃棄物の最終処分に関する重要事項」に

国及び関係研究機関は、幅広い選択肢を確保する観点から、使用済燃料の直接処分その他の処分方法に関する調査研究を推進するものとする。

との記述が追記された。このことにも本委員会及び関係者は応える必要がある。

3) 直接処分の必要性

(1) 最終サイクル使用済燃料

これまで、直接処分の検討が十分行われてこなかった大きな原因は2つある。その一つは既述したとおり、再処理のアンチテーゼとして認識され、再処理と直接処分が二者択一のものとして捉えられてきたためである。もう一つは第二再処理工場計画の存在である。第二再処理工場の具体的構想がまだ何も決まっていないため、再処理できない使用済燃料の範囲が曖昧となり、直接処分の必要性が十分認識されてこなかったという側面も存在する。冒頭で述べた通り、最低限、最終サイクル使用済燃料は直接処分せざるを得ないので、第二再処理工場計画の如何に係らず、直接処分は必要なのである。全量再処理政策を選択した以上、直接処分の検討や研究は不要だとした、これまでの認識は改めなければならない。

(2) 六ヶ所再処理工場の受け入れ仕様に適合しない使用済燃料

2005年に策定された原子力政策大綱では、

六ヶ所再処理工場で再処理できずに中間貯蔵された使用済燃料及びプルサーマルに伴って発生する軽水炉使用済MOX燃料の処理の方策は、①六ヶ所再処理工場の運転実績、②高速増殖炉及び再処理技術に関する研究開発の進捗状況、③核不拡散を巡る国際的な動向等を踏まえて2010年頃から検討を開始する。

とされていたが、福島第一原子力発電所事故の影響により検討がいまだに開始

されていない。このため、第二再処理工場は建設されるのかどうかを含め、計画が未定である。

また、事故後の原子力発電所の稼働率の低下で使用済燃料発生量も大幅に変更になるため、これまで六ヶ所再処理工場で処理しきれなくなるとされていた使用済燃料の量も相当減少することになる。しかし、六ヶ所再処理工場の受け入れ仕様に適合しない使用済燃料は六ヶ所再処理工場では再処理できないことになり変わらない。

では、六ヶ所再処理工場の受け入れ仕様に適合しない使用済燃料にはどのようなものがあるかと言うと、以下が挙げられる。もし、第二再処理工場が建設されないことになった場合、これらの燃料も直接処分の対象となる。

- ① 高速炉用MOX使用済燃料及び軽水炉MOX使用済燃料
- ② 初期平均濃縮度が5%超の燃料（研究炉の使用済燃料）
- ③ 照射後平均濃縮度が3.5%超になっていることが明らかな燃料
- ④ 最高燃焼度 55,000MWd/t・UPr 超の燃料
- ⑤ 平均燃焼度 45,000MWd/t・UPr 超の燃料
- ⑥ 福島事故炉の燃料デブリ
- ⑦ 軽水炉破損燃料（ex. 福島第一原発1～4号機のSFプールに80体）⁴

（3）直接処分の方が合理的な使用済燃料

前項で挙げた、六ヶ所再処理工場では再処理できない核燃料の中で、量的に最も多いのは、①の「高速炉用MOX使用済燃料及び軽水炉MOX使用済燃料」である。第二再処理工場ではこれらの燃料と六ヶ所再処理工場の処理容量を超えた軽水炉使用済燃料が処理対象になる。仕様と処理容量に拠るが、前項の②～⑦の一部も第二再処理工場では再処理が可能になるものと考えられるが、量が少ないものについては「全量再処理」の建前に拘らずに経済合理性の観点から、直接処分も視野に入れて検討すべきである。

4）直接処分の経済性

最終処分の費用だけで比較すると処分する高レベル放射性廃棄物の物量が多いため、直接処分の方が再処理の場合より割高になるが、直接処分の経済性を論ずるには、核燃料サイクル全体を見て評価しないと正当に評価したとは言えない。ウラン、プルトニウムを分離せずにそのまま処分するのであるから、ガラス固化体の処分と比べ、処分の対象となる放射エネルギー、熱量とも増大するので、処分コストが高くなるのは当然であるが、再処理費用が不要になり、再処理で発生する低レベル放射性廃棄物の処分費用も不要となるので核燃料サイクル全体の費用は割安となる。

⁴ 「福島第一原子力発電所4号機使用済燃料プールからの燃料取り出しについて」東京電力,2013.10.30 http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/series/images/131030_01.pdf

それらの費用を原子力委員会が設置した「原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会」が2012年6月11日に報告した「核燃料サイクルの諸量・経済性評価について⁵⁾」に用いられたデータで概略比較すると以下の通りとなる。低レベル放射性廃棄物の処分費用は掲載されていないので省略する。

- ① 再処理費用 37,200 万円/tU …A
- ② ガラス固化体処分費用 8,500 万円/tU …B
- ③ 直接処分費用（最大値）15,700 万円/tU …C
- ④ 低レベル放射性廃棄物処分費用 …D

ガラス固化体処分と直接処分の比較をする場合、単にBとCを比較すれば直接処分の方が1.8倍高いことになるが、直接処分の場合は、AとDが不要になるので、(A+B+D)とCを比較するべきである。

$$A + B + D = 45,700 \text{ 万円/tU} \dots E$$

であるから、EとCを比較すると、Dをゼロとしても直接処分の方が約3分の1安いことになる。なお、核燃料サイクル全体の経済性については「3.3.2 政策コストを含めた社会的費用」で詳述する。

注意を要することは、再処理する場合の資源節約の効果がこの概算の数字には表れてこないのも、この計算だけで単純に両方式の比較をすることは適当でないこと、また、直接処分についても再処理/直接処分併存政策を採った場合に限定される話であるという点である。全量直接処分にする場合には政策変更コストとして、再処理工場の廃止措置費用等が発生するからである。

また、この概算は、再処理のアンチテーゼとしての直接処分の利点を示すためのものではなく、再処理/直接処分併存政策を採った場合の直接処分の成立性を正当に評価するためのものであることを重ねて申し添える。

5) プルトニウム在庫量抑制のニーズ

我が国は、NPT（核兵器不拡散条約）を遵守し、全ての原子力活動をIAEA（国際原子力機関）の保障措置の下に置いている。その上で、特にプルトニウムに関しては、その利用の透明性の向上を図ることにより国内外の理解を得ることが重要であるとの認識に基づいて、平成6年より毎年「我が国のプルトニウム管理状況」を公表してきている。そして、我が国は、必要量以上のPu在庫を持たない、ということを国際的に宣言し、その適正在庫量はほぼ利用量の1年分としている。

Pu利用先は、将来的には高速増殖炉であるが、実用化されるまでは軽水炉でのMOXリサイクル利用を行うこととし、平成27年までに16～18基で利用を進めるとしていた。福島第一事故により、これらのMOXリサイクル利用、さらにはもんじゅの運転再開も軒並み停滞し、2013年のプルトニウム利用は皆無と

⁵⁾ http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/hatukaku/keisan/kaku_cycle.pdf

なり、表3に示す通り、Pu在庫量は前年と比べ約3トン増加した。なお、プルトニウム在庫とは分離されたプルトニウムの量を指しており、使用済燃料の中に含まれるプルトニウムは対象としていない。使用済燃料からプルトニウムを分離するには再処理が必要であること、また、使用済燃料は高い放射能を帯びており、容易に盗取が困難だからである。表3には使用済燃料中のプルトニウム量も参考値として示している。

表3 日本のプルトニウム在庫量

()内は平成24年末の報告値を示す。 単位：kgPu

再処理施設	施設名	日本原子力研究開発機構 再処理施設		日本原燃 再処理施設		合計	
	硝酸プルトニウム等		664 (668)		283 (283)		947 (951)
酸化プルトニウム		84 (83)		3,329 (3,329)		3,412 (3,412)	
合計		748 (751)		3,611 (3,612)		4,359 (4,363)	
内、核分裂性プルトニウム		496 (498)		2,347 (2,348)		2,843 (2,846)	
燃料加工施設	施設名	日本原子力研究開発機構 プルトニウム燃料加工施設				合計	
	酸化プルトニウム	1,937 (1,939)				1,937 (1,939)	
	試験及び加工段階にある プルトニウム	981 (978)				981 (978)	
	新燃料製品等	446 (446)				446 (446)	
	合計	3,364 (3,364)				3,364 (3,364)	
内、核分裂性プルトニウム	2,333 (2,333)				2,333 (2,333)	使用済燃料中の プルトニウム (2014年末)	
原子炉	施設名	常陽	もんじゅ	実用発電炉	研究開発施設	合計	
	新燃料製品等	134 (134)	31 (31)	2,501 (959)	444 (444)	3,109 (1,568)	(159,000)
内、核分裂性プルトニウム					2,133 (1,136)		
国内計						10,833 (9,295)	
						7,309 (6,315)	
海外保管	保管国	英国	フランス			合計	総合計
	分離プルトニウム	20,002 (17,052)	16,310 (17,895)			36,312 (34,946)	47,145 (44,241)
	内、核分裂性プルトニウム	13,526 (11,622)	10,604 (11,655)			24,130 (23,277)	31,439 (29,592)

出典：「我が国のプルトニウム管理状況」,内閣府原子力政策担当室,平成26年9月16日

プルトニウムの利用側が停滞したまま、プルトニウムの在庫量が今後とも増大し続けることは上述した、我が国の国際的な約束も果たせなくなる。

利用側を加速する手立てが見出せない以上、プルトニウム在庫量を抑制するためには発生側を抑制するしかなく、この面からも再処理/直接処分併存方式の検討が急がれる。

以上

第2章 技術論

2.1 直接処分とガラス固化処分の相違点

2.1.1 核不拡散と核セキュリティの観点

1) プルトニウム鉱山問題

直接処分の核不拡散上の利点は、使用済燃料自体が強い放射能を持つことと、それらを地中深く埋設して隔離することで、人間の接近を二重に困難にし、したがってプルトニウム回収を困難にすることにあるとされている。しかしながら直接処分は、プルトニウムを含む使用済燃料をそのまま地下埋設するため、保障措置の恒久的適用が求められる。

軽水炉の使用済燃料中に蓄積するプルトニウムはいわゆる「原子炉級プルトニウム」に分類され（表 2.1.1-1 参照）、兵器級プルトニウムに比べ、発熱と自発核分裂による中性子発生量が大きい。このため、原子炉級プルトニウムは、信頼性に欠け爆発効率が悪い「脅迫用核爆発装置」には利用できても、ミサイルに搭載する本格的な核兵器への利用には適さない。70年代初頭まで長年ロスアラモス国立研究所で核兵器設計部門の部長を務めていたカーソン・マーク氏は、この点を次のような表現で述べている¹⁾。

Taking "weapon" to signify an object suitable for stockpile by a military organization, then heavily irradiated reactor plutonium would not be attractive for an arsenal of pure fission devices.

表 2.1.1-1 核的特性から見たプルトニウムの分類

	Pu240の含有率	核兵器への利用可能性
スーパー級	<3%	最適
兵器級	3-7%	標準的材料
燃料級	7-18%	利用可能(核実験実績あり)
原子炉級	18-30%	おそらく利用可能(核実験実績なし)
MOX級	>30%	現実的に利用不可能

しかしながら図 2.1.1-1 に示すように、300年後には発熱は兵器級プルトニウム並みに低下してしまい、原子力級プルトニウムの本格的核兵器への利用を阻む2つの障壁の一つが消失してしまう。このことは、直接処分地下埋設されプルトニウムは、300年後には、核兵器原料としての魅力が格段に増すことを意味する。

図 2.1.1-2 に、米国のヤッカマウンテン計画での処分を計画していた使用済燃料用キャニスタの横 1 m の位置に 8 時間たった場合のガンマ線及び中性子線による被ばく線量の経時変化を示した。この図から、300 年後には、キャニスタ近くに 1 時間たっても 1mSv の被ばくしか受けないことがわかる。このことは、300 年たてば、厳重な放射線防護がなくとも裸のキャニスタ近くで長時間作業をすることが可能になることを示唆している。また回収後の使用済燃料からのプルトニウム分離も、重遮蔽のない、より簡便な設備で実施が可能となる。したがって、300 年後にプルトニウム入手を公然と目論む国家にとって、埋設使用済燃料の回収は、坑道再掘削工事の困難性を考慮しても、新たなプルトニウム生産炉と再処理工場の建設・運転に比べ、より短期間でかつ安価に目標達成ができる大変魅力的なオプションになることが予見される。

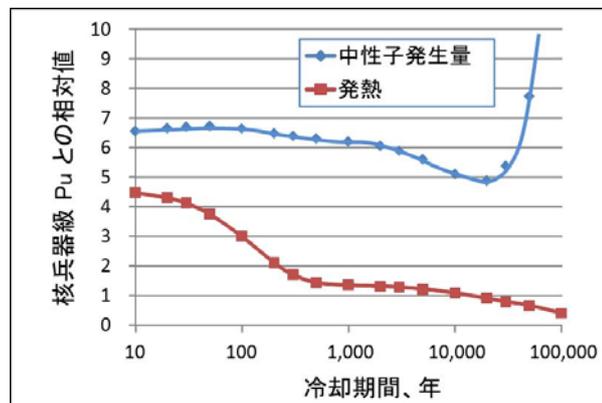


図 2.1.1-1 原子炉級プルトニウムの特性的経時変化
(核兵器級 Pu の値を 1 とした時の相対値で表現)

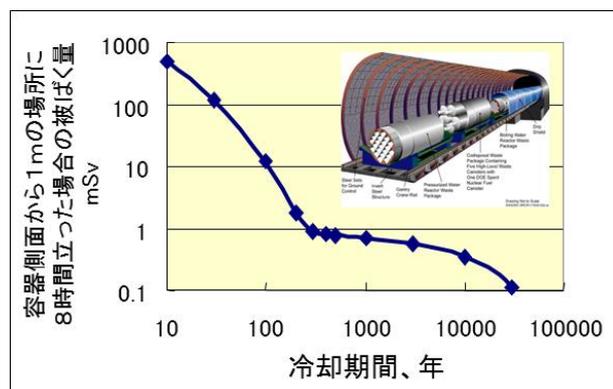


図 2.1.1-2 使用済燃料キャニスタ近くでの被ばく量の減衰

再処理技術の拡散を憂う立場の保障措置専門家は、直接処分は再処理・

リサイクル方式に比べ核拡散抵抗性が優れていると主張するが、一方別の専門家からは、それを無制限に進めると、世界各地にプルトニウムが埋設され、いずれ世界的に管理不能な核拡散リスクに発展する危険性があるとの指摘もなされてきた。ソ連崩壊後の余剰核兵器の削減に向け、解体プルトニウム（性状としては兵器級プルトニウム）の処分が問題になった際には、その処分方法として、プルトニウムをガラス固化して埋設する方法と、原子炉で燃焼させる方法の2案が提案された。この問題に関して米国原子力学会が組織した「プルトニウムの防護と管理に関する特別パネル」では、ガラス固化体オプションよりも原子炉での燃焼オプションの方が望ましいとの勧告を出したが、その際に核燃料サイクルの選択に関しては世界的に統一される必要はないとしつつ、使用済燃料の直接処分に関して以下のような見解を示している²⁾。

- 使用済燃料の蓄積増大は、長期的に見れば核拡散のリスクが高まる可能性がある。使用済燃料の放射能は長時間のうちには減少し、そこに含まれるプルトニウムへのアクセスが次第に容易になるからである。
- したがって、使用済燃料の直接処分は国家レベルでの核拡散の脅威を消滅させることにはならない。

この問題は、「プルトニウム鉱山問題」と呼ばれているが、核拡散防止条約下での当面の活動の重要な視点が、新たな再処理国や濃縮国の出現を抑え込むことに置かれているため、残念ながらこれまで保障措置分野の専門家は、この問題を掘り下げる検討をほとんど実施してこなかった。しかしながら、図 2.1.1-1 や図 2.1.1-2 に示したような事実に向ければ、この問題について、あらためて真面目に取り上げ、検討することは、十分に意味のあることといえる。特に近年、東アジアや中東でも新たに原子力発電を行う機運が高まっており、そうした国々においてもいずれ使用済燃料の後始末問題は重要な課題となってくる。こうした新たな状況を考えれば、「プルトニウム鉱山問題」をいつまでも無視し続けることは適切ではなく、そろそろ、その将来リスクを抑え込むための方策に関する検討を開始するべき時期に来ているのではないだろうか。以下、今後の議論の参考のために、プルトニウム鉱山の核拡散リスクに関する二つの異なる見方を例示する。

直接処分に関わる 2 つの異なる見解（その 1）

プルトニウムの発見者 G. Seaborg の見解

直接処分政策は、予測不能な核拡散リスクを持ち際限なく増え続ける「プルトニウム鉱山」を将来世代に残すことになる。それを避ける

ためには、プルトニウムをそれぞれの世代で消費できる核燃料サイクル政策をとる必要がある。

平和利用の核燃料サイクルは核拡散リスクの主要因ではなく、また将来にわたってそうではない。核拡散リスクの主要因は、国家が核兵器生産を目的として開発する専用小規模施設であって、その種のリスクは仮に平和利用の核燃料サイクルを放棄しても消えるものではない。したがって、この種の危険性を的確に識別し、確認する国際的能力の強化が重要であり、その方向で IAEA の国際保障措置制度を強化することが大切である。

Glenn T. Seaborg, Nuclear Recycling No. 2 (1996)

直接処分に関わる 2 つの異なる見解 (その 2)

Nuclear Control Institute 科学部長 Edwin Lyman の見解

使用済燃料の地層処分によって惹起される核拡散リスクは、さまざまな合理的なシナリオの元で、処分場からのプルトニウム回収が、新規の核分裂性物質生産に比べて同等の困難性を有しているということが立証できれば、受け入れ可能だろう。

予備的な検討によれば、現在の地層処分概念が上記基準に合致しない可能性はかなり低いと見積もられる。

Edwin Lyman, A Perspective on the Proliferation Risks of Plutonium Mines, NCI, Dec. 1994

Nuclear Control Institute はプルトニウムの民生利用に反対する米国の著名な団体であるが、直接処分を推奨する側のプルトニウム鉱山問題に対する 1994 年の認識はこの程度にとどまっており、その後これ以上に検討が深められた形跡はみあたらない。

2) 地層処分と核拡散防止の間の理念の衝突

もう一つの問題は、地層処分に関して近年世界的に議論されている「可逆性・回収可能性」(R&R、定義については 2.4 節参照) との関係である。最終処分とは、元来「回収可能性を意図しない恒久的な隔離」と定義されてきた。しかしながら R&R 議論の進展により、今日では倫理的要請からではあるが、地層処分の計画遂行には可逆性が求められ、それを担保するために埋設した廃棄物の回収に関し、一定レベルの技術的可能性の保証が求められている。このことは、見方によっては、直接処分の核拡散抵抗性を担保する 2 つの要素の一つ、使用済燃料の地下深部隔離の恒久的確実性が、地層処分における

倫理的な要請から崩されてきていると解釈することができる。地下深部に埋設される廃棄物は、かつては「悪意の試みがない限りは恒久的に隔離されるもの」という前提で扱うことができたが、今後は、「いつ取り出されることになるかわからないもの」という前提で見なければならないのである。埋設される使用済燃料について、当該国は、保障措置上の懸念とは関わりなしに、いつでも取り出せる正当な理由を主張できるように時代が変化してきたのである¹。

地層処分場のサイト選定の重要な要件の一つは、その地域に有望な地下資源が存在しないことである。処分場の長期安全性をもっとも深刻なレベルで損なう可能性がある将来の人間侵入の可能性を極力排除するための重要な要件である。しかし、直接処分の場合には、地下埋設するプルトニウム自体が、エネルギー資源や核兵器原料としての潜在的利用価値を有するため、将来的に意図的な人間侵入を促す可能性を否定しきれない。

以上述べたように、直接処分の場合、地層処分と核拡散防止とでは、元来目指すべき方向性の点で互いに矛盾する側面を持っている。もっと端的に言えば、地層処分と核拡散防止の間で、「理念の衝突」が生じているのである。この問題については、今後、核燃料サイクルや廃棄物処分に関する専門家と、核不拡散分野の専門家が協調してより矛盾の少ない解を見出していく必要がある。その方向性について、本稿で完全に論ずることはできないが、少なくとも直接処分によって生まれる「プルトニウム鉱山」がもたらす将来リスクの有効な軽減策の一つとして考えられるのは、地層処分場を複数の国による共同事業として推進し、多国間管理のもとに置くことであろう。

直接処分の地層処分場に埋設されるプルトニウム量は、小規模処分場の場合であっても保障措置上の有意量 8kg をはるかに超え、潜在的に優に 100 発以上の核爆発装置の製造が可能な量に相当する。このことは、直接処分の地層処分場の将来的核拡散リスクは、その規模に依存すると考える必然性はほとんどないことを意味する。そのため、「プルトニウム鉱山」の世界レベルの核拡散リスクは、処分場の規模にはよらず、処分場の数に直接比例すると考えてよい。したがって、多国間管理のもとで共同処分場

¹ 地層処分の専門家の中には「保障措置を不要とする処分概念、例えば『回収不可能性の証明』の提案が必要」との声もあるようであるが、そのこと自体が処分関係者の認識と保障措置の世界の間に大きな溝があることを物語っている。そもそも回収不可能性の「論理的証明」は無理であり、それができない限り保障措置が免除されることにはならない。また、地層処分関係者自身が、時間的限定があるにせよ「回収可能性の保証」を求めている現下で「回収不可能性の証明」を求めるのは自己矛盾であり、地層処分関係者自身が保障措置に関してはまったく問題未整理の状況にあることを物語っている。

を作ることは、まず第一に処分場の数を減らすという点で、核拡散リスクを直接的に低減させることができる。その上、多国間管理の下では、特定の国による「隠匿された悪意の試み」を抑え込む効果が期待できるので、核拡散リスクを一層低減できる。将来、今日よりもより多様な地域で使用済燃料の直接処分の必要性が生ずることになる。その場合、以上のような考察に立脚すれば、核拡散防止上の要請から多国間管理下での処分が強く望まれるようになることが予見される。

多国間管理は直接処分だけではなく、再処理リサイクル路線でも有望な選択肢と言われている。実際、ヨーロッパにおいては、施設自体は多国間管理とはなっていないものの、英仏の再処理施設を使って既に数十年に及ぶ多国間の再処理サイクル実績があり、わが国もその恩恵にあずかってきたことは周知の事実である。またアジア地域において多国間管理での核燃料サイクルを行うための枠組みに関する研究も行われている。³⁾

参考文献；

- 1) Carson Mark, “Reactor-Grade Plutonium’s Explosive Properties”, NPT at the Crossroads, NCI (1995)
- 2) ANS, Protection and Management of Plutonium, ANS Special Panel Report (1995)
- 3) アジア地域における国際核燃料サイクルシステム構築に関する研究、東京大学大学院国際補償額研究会 (2013)

3) 使用済燃料とガラス固化体の処分における保障措置と核セキュリティ対応
 (1) 使用済燃料とガラス固化体の処分概念比較

バックエンド対策の重要課題の一つとして、使用済燃料を地層処分する際、その核不拡散/保障措置と核セキュリティの対策について、如何に効果的かつ効率的に実施するかということがある。使用済燃料直接処分、ガラス固化体は、当初放射線量率が高く、容易に近寄れないこと等から、一般的に核拡散抵抗性や核セキュリティが高いと言われている。しかしながら、このうち使用済燃料は、2.1.1の1)で述べたように、300年後には兵器級プルトニウム並みの発熱に低下してしまい、原子力級プルトニウムの本格的核兵器への利用を阻む2つの障壁（発熱と中性子発生量）の一つが消失してしまう。このことは、直接処分で地下埋設されたプルトニウムは、300年後には核兵器原料としての魅力が格段に増すことを意味する。

図 2.1.1-3 は、使用済燃料とガラス固化体の処分について、保障措置と核物質防護対応に関する検討状況を簡単に比較したものである。

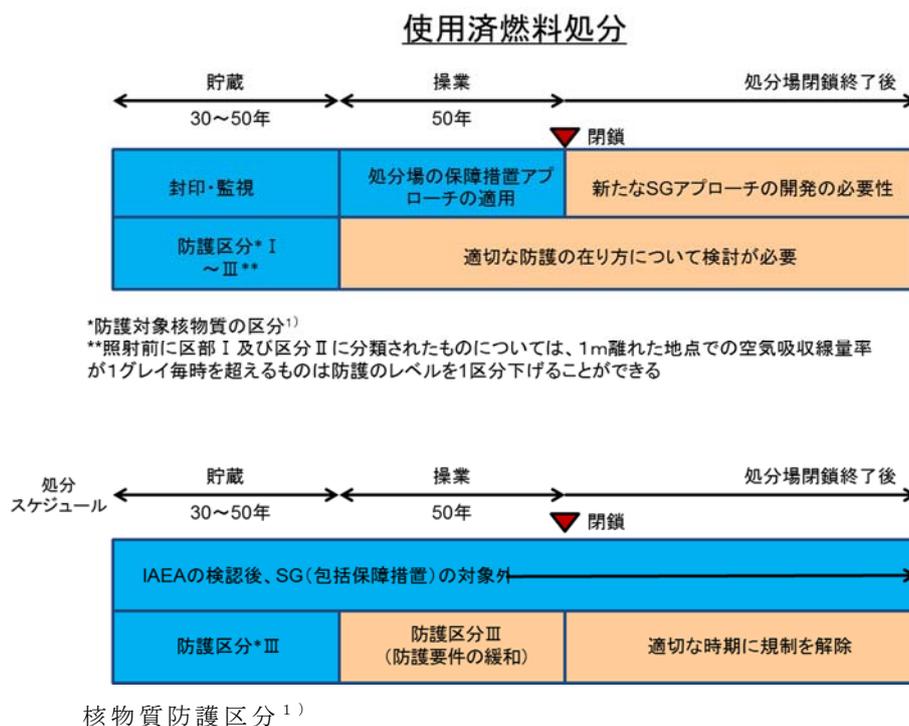


図 2.1.1-3 使用済燃料とガラス固化体の処分に関する保障措置と核物質防護対応の比較

① ガラス固化体処分

ガラス固化体処分については、日本政府と国際原子力機関（IAEA）間の協議結果を反映し、固化体中に含まれる核分裂性物質は極めて少ないことから、

原則その地層処分開始前までに IAEA が検認を実施した後は、包括保障措置（INFCIR153 タイプ²⁾）の適用対象外となる。しかしながら日本政府と IAEA 間の協議後イラク等で未申告施設が発見されたことから、IAEA 保障措置制度の強化及び効率化の検討が行われ、その結果として、IAEA 追加議定書（AP）³⁾ が、1997 年 5 月に IAEA 理事会で採択され、現在各国で AP を含めた保障措置が適用されている。IAEA の判断で、この AP についてはガラス固化体の処分にも適用される可能性がある。

また核物質防護⁴⁾の対応については、基本的には2007年8月の原子力委員会核物質防護専門部会の報告書⁵⁾を反映したものである。しかし IAEA が 2011 年 1 月に新たに発行した核セキュリティに関する勧告文書（INFCIRC225Rev5）⁶⁾等の要件及び福島第一事故の教訓に基づき、2012年3月の原子力委員会/核物質防護部会の報告書「我が国の核セキュリティ対策の強化について（原子力委員会決定）」⁷⁾等に基づく規則の改正内容等については、今後ガラス固化体処分の核セキュリティ対策に反映する必要があるだろう。

② 使用済燃料処分

わが国においては、これまで核燃料サイクル政策（再処理オプション）を推進してきたため、使用済燃料の直接処分に関する保障措置や核セキュリティ対策については、ほとんど検討がなされていない。使用済燃料直接処分の場合、使用済燃料は多くの核分裂性物質（特にプルトニウム）を含んでいるということが、ガラス固化体と大きく異なり、核不拡散/保障措置及び核セキュリティ対応の観点からこの点を十分に配慮することが必要である。

保障措置適用については、IAEA を中心に 1980 年代末頃からその手法の検討が開始された。使用済燃料が処分された後、IAEA 査察官が直接にアクセスして核物質の検認を行うことが出来ない。このことから、新しい IAEA 保障措置アプローチについて、IAEA 支援計画の枠組みで、欧州連合（EU）や米国などが参加して検討が進められてきた⁸⁾。そして、IAEA に 1994 年から SAGOR（Development of Safeguards for the Final Disposal）、その後 ASTOR（Application of Safeguards to Repositories）という専門家会合が設置され、検討が進められている。また、個別にはフィンランドとスウェーデンの使用済燃料の地層処分計画が進んでいることから、IAEA はこれらの国及び EURATOM 等を交えて、これらの地層処分への具体的な保障措置適用について議論を行っている。

他方、核セキュリティ対応については、使用済燃料は地層処分された後、数万年程度はプルトニウムの貯蔵体になるので、ガラス固化体に比べ超長期

にわたり一層強化した対策が求められる。IAEAの新しい核セキュリティ基本文書（INFCIRC225Rev5）や核セキュリティサミット⁹⁾の結論を踏まえて、今後、如何に具体的に各国の原子力政策や規則などに反映するかが、大きな課題となっている。使用済燃料処分の核セキュリティ対策は、基本的には各国の責任で行われるものであり、最近の動向を十分に踏まえた、効果的かつ効率的な具体的な対策が望まれるところである。

なお、使用済燃料貯蔵に関する保障措置と核セキュリティ対応については、これまでの我が国の規制法・規則に従って確実に実施されている。

（２） 我が国への IAEA 保障措置適用

我が国は、統合保障措置（IS）¹⁰⁾の適応を受けており、1977年に包括保障措置協定、1999年に追加議定書（AP）をそれぞれ締結し、以後CSA及びAP双方に基づくIAEA保障措置を誠実に受けてきた。その結果、2004年6月、IAEAは、我が国について「保障措置下にある核物質の転用」及び「未申告の核物質及び原子力活動」が存在しないとの「拡大結論」を発表し、同年9月、ISの実施が開始された。ISが継続して実施されるためには、IAEAが毎年6月に発表する保障措置実施報告書において「拡大結論」が維持される必要があるが、我が国については、2004年から現在までの同報告書において「拡大結論」が維持されている。

また、現在IAEAは、保障措置についてより効果的かつ効率的に実施するため、国レベルアプローチの概念を構築し、それを実施に移しつつある。それは、IAEA保障措置に関連する情報量（環境試料、サテライト情報、オープンソース情報等）の増加に伴い、従来の保障措置クライテリアに基づく保障措置評価から、より情報を活用した保障措置評価への移行の必要性が認識され、また評価効率向上等の観点からも、より柔軟なアプローチが求められるようになった。その結果として、保障措置目的の達成のために、戦略的なアプローチとして国レベルアプローチの概念が確立された。

国レベルアプローチとは、保障措置に関する各国特有のファクターを考慮し、個々の国を評価するアプローチのことである。その概念は、1992年、1995年のIAEA理事会の決議の中ですでに盛り込まれており、2001年からIAEAはそのアプローチを開始している。このアプローチは、「拡大結論」が導き出された国に適用され、効果的で効率的であることが、これまでの実施結果を通じて評価されている。フィンランドやスウェーデン等における使用済燃料処分に適応するIAEA保障措置には、このアプローチが取られている。

(3) 使用済燃料貯蔵施設の保障措置

使用済燃料が原子炉から取出された以降は、保障措置に関する知識の連続性 (CoK: Continuity of Knowledge) を維持する必要がある。CoK が切れた場合 (たとえば封じ込め/監視装置の連続性が途切れた場合など) は、IAEA により再検認が必要となる。

使用済燃料貯蔵施設に対する保障措置の概要は以下のとおりである。

① 湿式貯蔵施設 (使用済燃料プール) の保障措置

使用済燃料中に照射済みの直接利用物質 (プルトニウム) を含むことから、原則 3 カ月毎に IAEA による在庫量の検認を受けなければならない。未申告の核物質、原子力活動が無いことが確認されている場合は、年 1 回の実在庫の検認でよい。

② 乾式貯蔵施設の保障措置

使用済燃料を貯蔵容器に収納する際に全数の検認を受ける。貯蔵容器の開封を検知する封印と、貯蔵容器の移転を検知する封印の取付けがなされる。そして年 1 回の実在庫検認で封印を確認される。

③ 検認手法

現在、使用済燃料の保障措置 (監視技術、定量的検認) 技術としては以下の図に示す手法がとられている。

- 使用済燃料
 - 照射済み直接利用物質 (Pu) を含む → 適時性目標は 3 カ月が基本
- 検認の方法
 - 負数確認、ID 確認
 - 属性の検認 → ICVD、DCVD、IRAT、SFAT
 - 部分欠損の検認 → DCVD、FDET



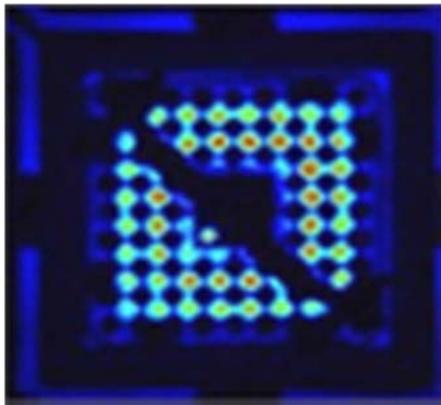
Improved Cerenkov viewing device



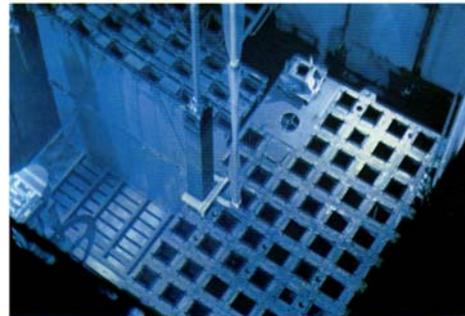
Irradiated fuel attribute tester



Fork detector irradiated fuel measuring system



Cerenkov Image



SMOPY Detector

※FORK Detector-フィッションチェンバー→ 全中性子計測(主に ^{244}Cm の寄与)。SMOPY Detector -電離箱等→ FPからのガンマ線測定

図 2.1.1-4 使用済核燃料の保障措置

IAEA保障措置では、貯蔵等に使用するキャスクへの使用済燃料封入については、いわゆる”Difficult-to-access”エリアへの移動とみなされ、封入前に核物質の定量的な検認が求められる。現在この検認方法については、精度よく定量できるNDA（非破壊測定）技術がないために、DCVD（デジタル・チェレンコフ光監視装置）やFDET（ γ 線、中性子線計測装置）等による属性の確認のみとなっている。従って使用済燃料体から核物質の一部の不正な抜き取りが行われていないことの定量的確認が十分にできていないのが現状である。

現在、米国等においては、新規原子力参入国における使用済燃料の増加、そして長期保管使用済燃料の自己放射線防御能力が低下すること（比較的接近しやすくなる）、現状において、一部抜取転用を確認できる定量的NDA（非破壊測定）技術が存在しないこと（現在のIAEAの検認手法は定性的な属性検認）等から、使用済燃料中核物質の検認技術として、使用済燃料中のプルトニウム量を精度よく直接測定できるNDA技術の開発に取り組んでいる。米国エネルギー省国家安全保障庁（NNSA）、米国国立研究所（ロスアラモス研究所がとりまとめ）を中心に、以下の目標を設定し、そして14の技術を検討し選択・統合して新たな技術開発を実施している¹¹⁾。

第1次目標：使用済燃料中プルトニウムの直接かつ独立定量を誤差が5%以内で可能とする。

第2次目標：国際保障措置での査察官用の装置を改善する（定性検認⇒定量検認）。

(4) 使用済直接処分に適用する保障措置

使用済燃料を直接処分する際は、核不拡散/保障措置の対策を十分に行うことが必要である。非核兵器国においては、核兵器不拡散条約（NPT）及び二国間原子力協定等に基づく IAEA 保障措置の適用を受ける。

① 直接処分に適用する保障措置手法の検討経緯^{12), 13)}

ア；使用済燃料処分に関する保障措置は、1988年にIAEAにおいて「放射性廃棄物処分の原則とクライテリアに関する作業部会」が結成され、その検討が開始された。同じころ、IAEAは使用済燃料の地層処分に關する保障措置の政策立案のため、数回検討会を開催した。その後1994から1998年にかけて、IAEAへの支援計画として、包括保障措置協定の枠組みで保障措置の在り方を検討するため、SAGOR（Development of Safeguards for the Final Disposal）というWGが設置された。

イ；1997年頃使用済燃料処分に適応するIAEAの保障措置ポリシーとして、以下の基本概念を構築した。

- 保障措置協定に基づく保障措置を適用する。
- 保障措置は、「設計情報の検認」、「受入と流れの検認」、「知識の継続（CoK）」が基本的な方法で、処分後在庫検認が出来ない点を考慮する
- 一度封入された燃料の再検認が出来ないこと、長期に施設が存在すること等を考慮する。耐性のある信頼性の高いシステムが必要。
- 保障措置システムは施設設計に組み入れる（Safeguards by Design）

ウ；1998年から2005年までSAGOR-IIWGで検討が進められた。この間、専門家から多くの関連するレポートが発表されている。

エ；2004年にEU諸国に追加議定書が発効し、この内容をフィンランド等の使用済燃料処分の保障措置にも適応するため、2005年からIAEAに新たな専門家会合、ASTOR（Application of Safeguards to Repositories）が設置され、現在まで検討が進められている。2010年にIAEAのNuclear Energy Series No.NW-T-1.21として「Technological Implications of International Safeguards for Geological Disposal of Spent Fuel and Radioactive waste」と題する報告者が出された。2011年にかけて、使用済燃料処分に適応する一般的保障措置手法、即ち収納施設（Encapsulations Facility）、地下トンネル（Repository）等、個別の施設に対する保障措置手法は施設に合わせて別途開発する等を決めた。

オ；個別にはフィンランドとスウェーデンの地層処分の計画が進んでいることから、IAEAは、EURATOMを交えて適用する保障措置について議論を進めている。特に、フィンランドのポシヴァ社は、2012年に収納施設の設計を終えて、同年12月28日使用済燃料処分場の建設許可申請書を雇用経済省へ提出した。2013年～2014年に許認可を得て、2015年から建設開始というスケジュールを立てている。特に2011年から具体的な保障措置適応の議論も加速している。例えば、2013年5月にベルギーで開催された第35回ESARDA（European Safeguards Research & Development Association）の年次大会¹⁴⁾では、燃料サイクルバックエンドのセッションのほとんどが、使用済燃料処分の保障措置に関するものであった。

② 保障措置手法

使用済燃料処分に対する保障措置は、定置期間中及び処分場が閉鎖されて以降も継続する必要がある。その保障措置の手法を図2.1.1-5に示すが、考え方としては、処分後使用済燃料の再確認ができないことから、システム故障の可能性を回避し、かつ知識の連続性（CoK）を確実にするように、採用された措置が十分な冗長性、多様性及び堅牢性を持っていることが重要とされている。具体的な保障措置手法として、処分場建設前の段階においては、処分サイトに関する知識の確立、建設段階では設計情報の検認、運転段階では核物質の移動や在庫の検認、処分場閉鎖後は地上のモニタリング（目視や遠隔監視等他の手段）等が含まれる。

具体的には、以下の各段階で必要な措置が取られる。

《**処分場の運転開始前**》：国が使用済燃料直接処分場を建設すると決定した時から最初の処分コンテナが到着するまで

《**処分場の運転開始後**》：最初の処分コンテナが到着した時から最終的に閉鎖するまで

《**運転終了後（閉鎖後）**》

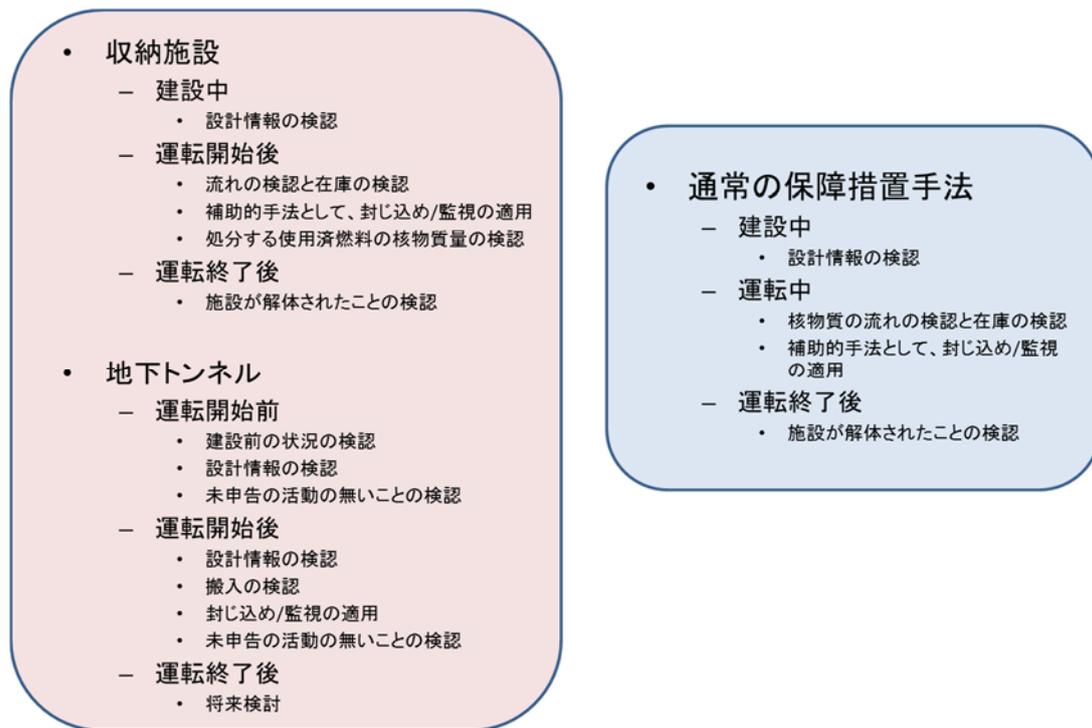


図 2.1.1-5 使用済核燃料処分の保障措置手法

封じ込め/監視について、地層処分場の地上施設においては基本的には従来の保障措置手法が適応される。しかし、地下施設については、封じ込め/監視を基本とした手法に基づく新たな技術開発が必要となっている。

閉鎖後の保障措置ポリシーとしては以下の点が考えられている。

- 国はその保障措置に関する資料や情報を保持し、地層処分後保障措置下の核物質が存在する限り、重要な記録は保持する。
- 閉鎖後の保障措置は、核物質へのアクセスをするような未申告な行為ができないことを保証する表面モニターの措置 (surface monitoring measures) 等を図ること。
- サイト特有の要件として、写真又はビデオの記録、リモートサーベイランス (optical, satellite, geophysical and environmental techniques 等) の適応を考慮する。
- IAEA の要請に基づき、国は IAEA が地層処分に関係すると考える処分場内外の建屋、場所等へのアクセスを認めなければならない。
- 出来るだけ早期の地層処分に関する情報提供 (計画、設計、コンテナ、貯蔵場所、建屋、地域の鉱山、他 IAEA が必要と考える情報等)。

- Safeguards Verification System（監視/封じ込め、モニタリングや NDA システム、設計情報、Verification (DIV)等の適用 IAEA と国との間で、以下の内容に関する事前取り決めが必要とする。

- 最終閉鎖後封印された処分場へのアクセスへの意図
- 地層処分場から使用済燃料を回収する意図

(5) 使用済燃料処分に対する核セキュリティ対応

① 核セキュリティの概念

核セキュリティの概念は幅広いもので、核テロの脅威には、核兵器の盗取、核爆発装置の製造を目的とした核物質の取得、「汚い爆弾」を含む放射線源の悪意を持った利用、原子力施設への妨害破壊行為などによって引き起こされる放射線障害、が含まれる。IAEA の核テロ対策を検討する諮問委員会 (Adsec) は、検討作業用の定義として、「核物質、その他の放射性物質またはそれらの関連施設に関する盗取、妨害破壊行為、不法アクセス、不法移転またはその他の悪意を持った行為に対する予防、検知および対応」としている。なお、核物質防護という言葉があるが、これは核物質の盗取及び原子力施設に対する妨害破壊行為に対する対策のことであり、核セキュリティは核物質だけでなく、放射性同位元素を含むすべての放射性物質を対象としている。また、核セキュリティ対応の責任については、IAEA の核セキュリティに関する国際会議における閣僚宣言 (2013 年 7 月)、核セキュリティサミット等で、国内の核セキュリティに対する責任はすべて国家に帰属することを強調している。

② 核セキュリティ対応

前述したように使用済燃料処分の保障措置については、IAEA 及び関係国で鋭意検討が進められているが、核セキュリティへの具体的対応については今後の課題となっている。核物質及び原子力施設の防護に関する核セキュリティ勧告 (INFCIRC225Rev) 等の IAEA 文書や核物質の防護に関する条約 (核物質防護条約) と 2005 年核物質防護条約改正 (未発効)、テロリストによる爆弾使用の防止に関する国際条約 (爆弾テロ防止条約)、核によるテロリズムの行為の防止に関する国際条約 (核テロ防止条約) に基づき、各国の責任で使用済燃料処分に適応する規制法や規則等を整備し、実施することになる。

我が国は、核物質防護制度の導入として、1988 年原子炉等規制法及び関係省令を改正し、核物質防護規定の策定、核物質防護管理者の選任、情報の管理 (核物質防護秘密の導入は平成 17 年改正) を規定した。また 2005 年に INFCIRC/225/Rev. 4 の取入を行うため、原子炉等規制法及び関係省令を改正

し、核物質防護検査の実施、設計基礎脅威の策定、秘密保持制度の導入（核物質防護秘密の導入）を図った。さらに、福島第一事故の教訓を取入るため、2011年12月に実用炉則を改正、また2012年3月に原子炉等規制法関係省令を改正して、福島第一事故の教訓、及び核セキュリティ勧告（INFCIRC225Rev）等の取入を行った。

核セキュリティ対応の基本的考え方は、IAEAの勧告文書（INFCIR/225/Rev.5）等に基づき使用済燃料処分に関し、核テロ等による放射性物質の盗取や処分施設の妨害破壊行為について、以下の防止措置をとる必要がある。

- 等級別手法と深層防護の一層の深化
- 対抗部隊との協力、演習の実施及び評価（フォースオンフォース訓練等）
- 性能基準に基づく物理的防護システムの設計、評価及び改善
- 核セキュリティのための計量・管理システムからの情報の活用
- 内部脅威者の脅威に対する防護（信頼性確認等）
- 新たな脅威への対策（スタンドオフ攻撃、サイバー攻撃に対する防護等）
- 非常時における核セキュリティ基本機能の継続
- 原子力施設の立地選定及び設計への早期の物理的防護考慮、等

これらの具体的検討にあたっては、すでに先行している保障措置対応とのインターフェイス等を考慮することが重要である。

（6）まとめ

核不拡散/保障措置及び核セキュリティ対応の観点から特に考慮すべきは、原子炉から取り出されて、数十年経過した使用済燃料の直接処分である。それは、処分後数百年を超えると、核分裂生成物が減少して、人間がアクセス可能な線量率まで低減する。また、処分後数万年程度は多量プルトニウムの貯蔵体になる。現在、原子力発電計画は中国、インド、東南アジア、中近東等で積極的に推進されていることから、世界的には、中間貯蔵施設や地層処分として、今後多量のプルトニウムが使用済燃料中に蓄積されることになる。

一方で、使用済燃料の扱いを困難かつ高価なものにしている核分裂生成物が、時間の経過に伴い崩壊する。その結果、原子炉取り出し後50年から100年後には使用済燃料の貯蔵施設や処分場から核物質を不法に回収または盗取し、プルトニウムを分離し、核兵器に転用することを企図するものが現れるのではない

か、との懸念が高い。それを防ぐ手立てとして、長期貯蔵期間中や処分後も継続的に核不拡散/保障措置や核セキュリティ対応が求められている。特に米国においては、原子炉取り出し後30-40年経過した使用済燃料も既にあり、保障措置だけでなく核セキュリティ上も、使用済燃料からプルトニウム等が抜き取られていないかを直接的に測定する技術の開発が急務と考えている。そのため、2008年よりNGSI (Next Generation Safeguards Initiative) を立ち上げ、使用済燃料中のプルトニウム量を直接測定できるNDA (非破壊測定) 技術の開発を進めており、その一部についてはJAEAも共同研究を行っている。

また、地層処分で検討されている「可逆性」や「回収可能性」という概念についても、核不拡散/保障措置及び核セキュリティの観点からは、使用済燃料へのアクセスを長期間にわたり可能にする側面があることから、地層処分の専門家と核不拡散・核セキュリティの専門家の間で、将来世代に負担を残すことの是非ということも含めた社会科学的観点からの検討が重要である。

さらに、使用済燃料の地層処分に関する核セキュリティ対応については、現在処分施設に特化したIAEA規則等はなく、現状は施設設計における核セキュリティの強化や設計基礎脅威等についてのアイデアレベルの状況にある。核セキュリティは各国がそれぞれの責任で実施していくことが基本であるが、今後処分施設の核セキュリティ対応については、IAEAを中心とした国際的なレベルでも積極的に検討を進める必要がある。2010年4月に米国で開催されて第1回核セキュリティサミット、2012年3月の韓国での第2回サミット、2013年7月に開催されたIAEAでの閣僚級の核セキュリティ国際会議、そして2014年3月に開催されたオランダでの第3回サミット等の成果とモーメンタムを維持して、今後、具体的に各国の使用済燃料直接処分の政策やその規制等に反映することが重要である。

参考文献；

- 1) 核物質防護区分：原子炉等規制法など参照
- 2) 包括保障措置（INFCIRC153タイプ）；NPT締約国である非核兵器国が、NPT第3条1項に基づきIAEAとの間で締結することを義務づけられている、当該国の平和的な原子力活動に係るすべての核物質を対象とした保障措置協定。「NPTに基づく保障措置協定」、「フルスコープ保障措置協定」又は、「包括的保障措置協定」とも呼ばれている。IAEA作成文書INFCIRC/153がモデル協定となっている。
- 3) IAEA追加議定書（AP）；IAEAとの保障措置協定を締結した国との間で追加的に締結される保障措置強化のための議定書である。1993年、イラク及び北朝鮮の核兵器開発疑惑等を契機に、IAEA保障措置制度の強化及び効率化の検討が行われ、その結果として、未申告の核物質や原子力活動がないこと及び保障措置下にある核物質の軍事転用がないことを検認するためにIAEAが追加的に必要とされた権限等を盛り込んだモデル追加議定書（INFCIRC/540（corrected））が、1997年5月にIAEA理事会で採択された
- 4) 核物質防護；核物質の盗難や保管場所の不法な変更、さらに原子力施設が破壊されて核物質が散逸すること等を物理的に防護すること。国際的には核物質の防護に関する条約、国内的には原子炉等規制法等に従って実施される。
- 5) 原子力委員会核物質防護専門部会の報告書「高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）等の防護の在り方に関する基本的考え方に関する検討」2007年8月
www.nsr.go.jp/archive/nc/siryo/bougo02/siryo5.pdf
- 6) IAEA核セキュリティに関する基本文書（INFCIRC225Rev5）；核セキュリティとは、「核物質，その他の放射性物質，その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為又は故意の違反行為の防止，探知及び対応であり，具体的には，テロリスト等による核物質や放射線源の悪用が想定される以下の4つの脅威が現実のものとならないようとられる措置のことをいいます。①核兵器の盗取、②盗取された核物質を用いた核爆発装置の製造、③放射性物質の発散装置（いわゆる「汚い爆弾」）の製造、④原子力施設や放射性物質の輸送等に対する妨害破壊行為」<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/Series/127/IAEA-Nuclear-Security-Series>
- 7) 2011年10月、内閣府原子力委員会・原子力防護専門部会報告書を「福島第一原子力発電所事故を踏まえた核セキュリティ上の課題への対応について」及び2012年3月21日、同部会報告書「我が国の核セキュリティ対策の強化について」
<http://www.aec.go.jp/>
- 8) IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.21, Technological Implications of

International Safeguards for Geological Disposal of Spent Fuel and Radioactive Waste、2010

9) 外務省 web: http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaku_secu/

10) 統合保障措置 (IS) とは、包括的保障措置協定 (CSA) に基づく保障措置と追加議定書 (AP) に基づく保障措置を有機的に結合した概念。CSA 及び AP 双方の下で利用可能な保障措置手段を最適に組み合わせ、最大限の効率性を達成するためのもの。具体的には、従来 of 計量管理を基本としつつ、短期通告査察又は無通告査察を強化することで、IAEA の検認能力を維持したまま査察回数 of 削減を可能とするもの

11) DOE/NNSA Next Generation Safeguards Initiative

<http://nnsa.energy.gov/mediaroom/factsheets/nextgenerationsafeguards>

12) IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.21, Technological Implications of International Safeguards for Geological Disposal of Spent Fuel and Radioactive Waste、2010

13) The challenges of safeguarding Geological Repositories, Preliminary Requirements and Instrumentation Concepts, Cristina Ciuculescu, Eric Smith, Julian Whichello, Jim Sprinkle Stephanie Poirier, Jim Sprinkle , IAEA , October 2011

14) http://esarda.jrc.ec.europa.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=238)

2.1.2 長期的安全にかかわる評価上の課題

高レベル放射性廃棄物処分の安全性を長期にわたって確保するためには、①地層処分にとって適切な地質環境を有する処分地が選定（サイト選定）され、②人工バリア及び処分施設から構成される処分場がそこに適切に設計・施工（工学的対策）される必要がある。また、その安全確認は、③処分場から人間の生活圏に至る放射性核種の移行経路を想定したシナリオに基づき、一般公衆が放射性物質から受けると想定される線量を評価し、定められた放射線防護レベルを超えることが無いことを確認することが基本（原子力安全委員会, 2000¹⁾）とされている。

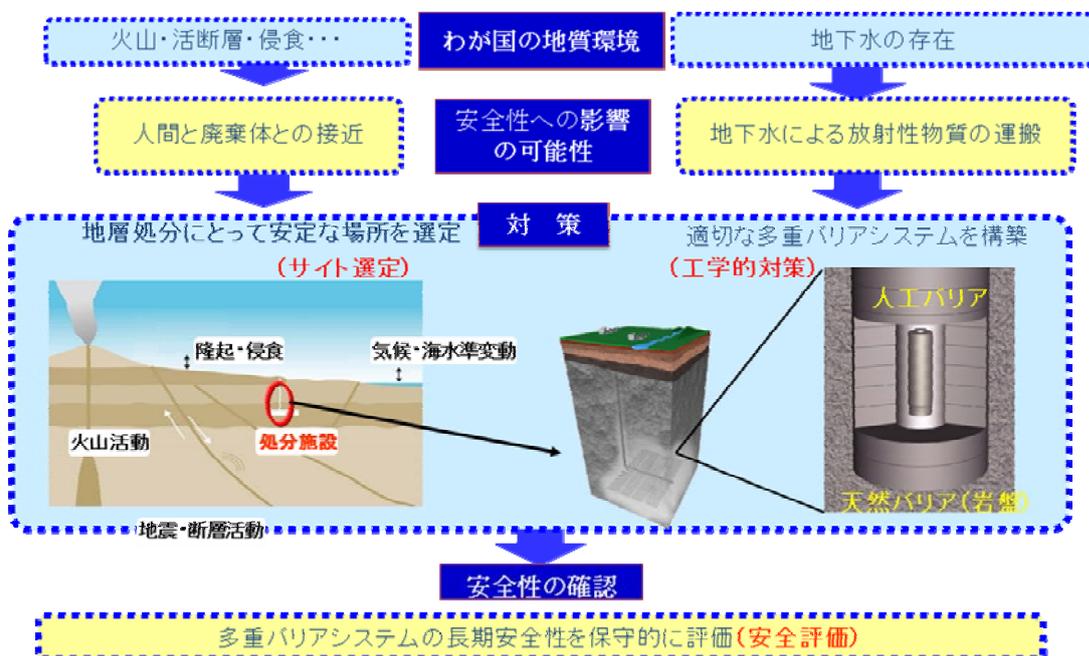


図 2.1.2-1 地層処分の長期的安全確保についての基本的な考え方

図 2.1.2-1 に地層処分の長期的安全確保の考え方を示す。この放射性核種の移行経路を想定したシナリオのうち、重要なものは、地下水の流れに伴って移行する経路、すなわち、人工バリアによって閉じ込められていた放射性核種が地下水に溶出し、地層（天然バリア）を経て人間の生活環境である地表に運ばれるという地下水移行シナリオ（OECD/NEA, 1991²⁾，核燃料サイクル開発機構, 1999³⁾）を以て、安全評価上の第一義的なシナリオとして想定することが適当（原子力安全委員会, 2000¹⁾）とされている。

現在、日本には地層処分対象とされる廃棄物として、ガラス固化体と一部の TRU 廃棄物があるが、このような考え方は廃棄物の種類によらず、共通的なものであり、使用済燃料の直接処分（以下、「直接処分」とする）にあたっ

ても、このことは基本的に変わらないと考えられる。

他方、廃棄物ごとに物理化学的特徴が異なることから、このことに対応した廃棄物安全確保方策も必要である。参考までに日本のガラス固化体とスウェーデンの使用済燃料について図 3.2 に示す。ちなみに、直接処分を採用するスウェーデンやフィンランドにおいては、既に処分予定サイトが選定された段階にある。両国ともに使用済燃料を銅—鉄製のキャニスタに封入し、その周囲を緩衝材（ベントナイト）で取り囲み、力学的化学的に安定した地層（岩盤）に定置する概念を採用し、地下施設を用いた技術開発を実施している。

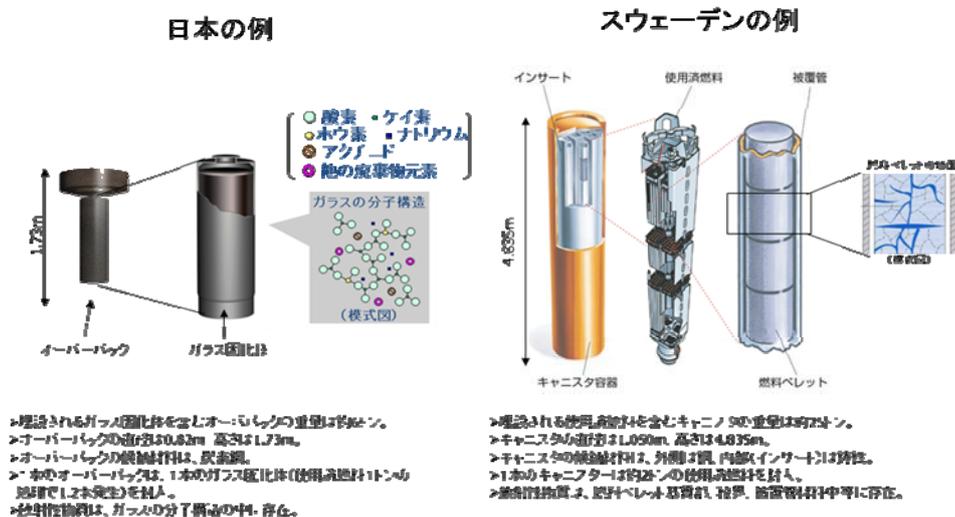


図 2.1.2-2 ガラス固化体と使用済燃料及びそれぞれの容器等の比較
(日本とスウェーデンの例)

原子力委員会 (2004) ⁴⁾ は、ガラス固化体及びその地層処分との相違からみた直接処分固有の留意点として、以下の3点を挙げている。

- 直接処分はプルトニウムを環境中に廃棄するものであること
- 長期間安定な物質として選択されたガラス固化体と違い、直接処分は使用済燃料の形態で処分するものであること
- 使用済燃料の廃棄体はガラス固化体に比べ発熱量が大きく、寸法も大きく重いこと

また、このような点を踏まえて、安全評価上の課題と設計・施工上の課題をそれぞれ次のように整理している。

- ① 安全評価上の特有課題 (7項目)
 - 評価上考慮するシナリオ
 - 臨界回避・評価

- 核種の瞬時溶出挙動と評価
- UO₂マトリクス溶解挙動とそれに伴う核種溶出挙動及びそれらの影響
- 放射線分解や酸化還元フロント進展の挙動と影響
- 廃棄体が大きくなることによる掘削影響領域の拡大等の挙動と影響
- 核種挙動や移行特性

② 設計・施工上の課題（9項目）

- ガラス固化体に比べ、寸法、重量ともに大きくなることに対する処分坑道、処分孔、人工バリア仕様等の検討
- ガラス固化体に比べ発熱量が大きくなることに対する処分場設計への影響評価
- ガラス固化体に比べ放射線量が大きくなることに対する遮へい対策
- 放射線分解による酸化還元フロントに対する対策
- 臨界を避けるための検討
- 非収着性核種（C-14）に対する被ばく低減化対策
- 地上施設の詳細検討
- 操業中及び閉鎖後管理段階の保障措置やテロ対策
- 回収可能性の検討

処分場閉鎖後の安全評価にあたっては、国際的に合意された地層処分に係る基本的な安全評価の方法論（たとえば OECD/NEA, 2012⁵⁾）や評価基盤（例えば JAEA KMS, 2009⁶⁾）をよく考慮、活用しながら、また、上述のような諸外国の研究開発成果も考慮しつつ直接処分に固有の現象理解を進め、評価モデルの構築と必要な核種移行パラメータとしてのデータ整備を行う必要がある。

また、処分に係る経済性向上の観点（原子力委員会、2006⁷⁾）から、同一の処分サイトにガラス固化体等に加えて使用済燃料も埋設することも可能性として考えられる。この場合、相互に異なる処分システムが、たがいに物理・化学的な影響を及ぼし、地下水移行シナリオに基づく評価において放射線学的な安全指標である線量の大幅な増大をもたらしたり、核種移行過程が複雑化して評価が困難になったりすることがないように、廃棄体の有する特性（たとえば熱的特性や、含有される化学物質）と、その場の地質環境（地下水の水理等）をよく考慮して、処分坑道の配置が行われる必要がある。このような検討は、ガラス固化体と TRU 廃棄物の併置処分問題としてすでに検討された事例（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、2005⁸⁾、原子力委員会、2006⁷⁾ など）があり、考え方について参照できる。

原子力委員会（2004）⁴⁾ はまた、予備的な安全評価も行っているが、その

結果も踏まえつつ、上記の安全評価上の 7 課題と設計・施工上の 9 課題のそれぞれについて、今後の信頼性向上に向けた取り組みをまとめている。これらを考慮すると、今後必要な技術開発上の要件は次のようになると思う。

① 安全評価上の検討として、

- 直接処分に特有な現象の理解と網羅的・体系的なシナリオ構築、このために必要な実験データの取得。
- リスク論的安全評価の考え方を考慮したシナリオ区分の検討。

② 設計・施工上の検討として、

- 廃棄体の大型化に伴う処分システムの安定性や力学挙動評価。
- 放射線場であることも考慮した容器ハンドリング、搬送定置等の技術開発。
- 熱影響の観点からの処分場設計。
- 放射線分解による酸化・還元場の解析評価。
- 臨界防止のための解析評価や受入れ基準等の整備。
- C-14 の寿命を考慮した長寿命容器材料の開発検討や収着材料の開発。
- 地上における受入れ・貯蔵、詰め替え、遠隔溶接等に関する技術開発や設計。
- 回収可能性を考慮した処分システム等の検討。

参考文献；

- 1) 原子力安全委員会；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 平成 12 年 11 月 (2000)
- 2) OECD/NEA; Review of Safety Assessment Methods, A Report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee, OECD Nuclear Energy Agency (1991)
- 3) 核燃料サイクル開発機構；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- 分冊 3 地層処分システムの安全評価-JNC TN1400 99-023(1999)
- 4) 原子力委員会（新計画策定会議、技術検討小委員会）；基本シナリオの核燃料サイクルコスト比較に関する報告書、平成 16 年 11 月(2004)
- 5) OECD/NEA; Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste., Outcomes of the NEA MeSA Initiative, NEA No. 6923 (2012)
- 6) JAEA; KMS http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/kms_login.html (2009)
- 7) 原子力委員会（長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会）；長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方-高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性- 平成 18 年 4 月 18 日(2006)
- 8) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構；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-JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR-2005-02(2005)

2.1.3 直接処分にかかわる研究開発状況

1) 国際動向

現在、日本を除いて核燃料サイクルを基本方針とする国はフランスであり、ガラス固化体を高レベル放射性廃棄物としている。ただし、将来の電力及び原子力産業界が選択する可能性のあるシナリオを考慮するためとして、使用済燃料の直接処分についてもそのフェージビリティスタディを行っている（ANDRA, 2005¹⁾）。スイス、ドイツ等の一部のヨーロッパの国々は、他国への委託などを含め、再処理を実施していたことからガラス固化体を保有するが、2000年代に入って再処理を行わない方針となり、使用済燃料を高レベル放射性廃棄物としている。また、スウェーデン、フィンランドでは、使用済燃料のみが高レベル放射性廃棄物であり、これを対象とした地層処分研究開発が進められてきた。

基本的に地層処分には深部の地層（あるいは岩盤）が本来有する隔離性、還元性や低地下水流速などによって受動的な安全系（passive safety system）が構築可能とされ、このことは各国共通の概念となっている。しかし、処分施設設計は国ごとに異なり、たとえばスウェーデン及びフィンランドでは、結晶質岩（花崗岩）のサイトを対象とし、銅製の処分容器に数十万年以上の寿命を期待している。定置方法については処分坑道の底面に処分孔を掘削し、廃棄体を縦に定置する方法を基本的な参照ケースとしつつ、坑道に横置きするオプションも検討されている。横置きの場合には、処分容器と緩衝材を一体としたスーパーコンテナと呼ばれる容器で処分坑道に定置する方法なども検討されている（SKB, 2012²⁾）。またフランス（ANDRA, 2005¹⁾）やスイス（NAGRA, 2002³⁾）では、母岩として粘土岩を対象としており、処分容器は鋼製で、使用済燃料の容器に対して 10,000 年の寿命を想定した安全評価を行っている。また、いずれも処分坑道に水平に廃棄体を定置する設計としている。

なお、諸外国の高レベル放射性廃棄物の処分についての進捗状況、処分概念等については、経済産業省資源エネルギー庁（2016）⁴⁾にまとめられている。

2) わが国の研究開発状況

わが国では直接処分の研究開発は原子力機構により平成25年度から開始され、平成27年12月に予備的研究成果として「わが国における使用済み燃料の地層処分システムに関する概括的評価 -直接処分第1次取りまとめ-」（以下「第1次取りまとめ」、日本原子力研究開発機構, 2015⁵⁾）が公開された。そこではまず、処分概念及び処分システム、セーフティケースと安全評価の考え方、可逆性と回収可能性及び保障措置と核セキュリティに係る国際動向が記述された。これらを踏まえ、わが国の規制状況、使用済燃料の発生と特徴、さらに予備的な検討という位置づけで使用済燃料の地層処分システムの問題と安全確保の考え方

が示された。

わが国ではすでにガラス固化体に対する地層処分の技術的信頼性について報告書（核燃料サイクル開発機構,1999⁶⁾、これは通常「第2次取りまとめ」と呼ばれるが、直接処分の第1次取りまとめ⁵⁾との関係が紛らわしいので、ここでは「H12 レポート」と呼ぶ）が公開され、国（原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会,2000⁷⁾）により、その技術的信頼性が確かめられている。その後、この報告書は特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律やエネルギー基本計画などの技術的根拠となった。

直接処分についての研究開発は、このような蓄積された地層処分技術を最大限活用することとされた。H12 レポート⁶⁾で示された安全確保の考え方や方法論を踏まえ、必要な解析ツールなどを活用し、ガラス固化体と使用済燃料の違いを考慮して直接処分に固有の概念と求められる安全機能が検討、設定された。その安全機能は、処分施設の健全性や、核種閉じ込め及び処分施設から生活圏に到る核種移行に対する遅延機能を包含し、諸外国の安全機能の概念とも整合的なものとなっている。

以下に第1次取りまとめに記された技術的内容を概観する。

(1) 前提条件

地質環境条件としては、H12 レポート⁶⁾に準拠した平野、花崗岩、降水起源の地下水の組み合わせが設定された。使用済燃料については、モデルとしてH12 レポート⁶⁾の際に設定したガラス固化体仕様の根拠となった使用済燃料と同一のもの（PWR 使用済燃料集合体、濃縮度 4.5%、燃焼度 45,000 MWD/MTU）とされた。

(2) 処分場設計の基盤技術としての工学技術

上記の使用済燃料の仕様や地下施設の概念、地質環境条件などを踏まえて、地下施設の設計フローが構築され（図 2.1.3-1）、このフローに沿って人工バリア（処分容器、緩衝材）及び坑道の設計が試行された。廃棄体の定置は処分坑道横置き方式とされた。

処分容器については、その材料として H12 レポート⁶⁾と同様、構造材や放射線遮へい材として十分な使用実績もある炭素鋼とすることが基本とされた。処分容器の形状は、燃料集合体を収容する直方体の中空スペースを有する円筒形とされた。処分容器内での臨界安全性評価については、処分容器内に中性子吸収材を充填、あるいは地下水流入を制限するといった対策の効果を考慮しない場合には、燃焼に伴う反応度の低下を考慮する燃焼度クレジットの概念を導入することが必要とされた。そこで、これを考慮した臨界解析が行われ、燃料集合体 4 体以下であれば容器内部における未臨界状態を維持できる結果が得ら

れた。また、燃料集合体の収容体数の設定範囲及び収容間隔についての解析に基づいた遮へい厚さが設定された。さらに、設定された遮へい厚さにつき、必要な構造強度を持つことが解析により確認された。この遮へい厚さに腐食代を加え、処分容器の厚さが設定された。

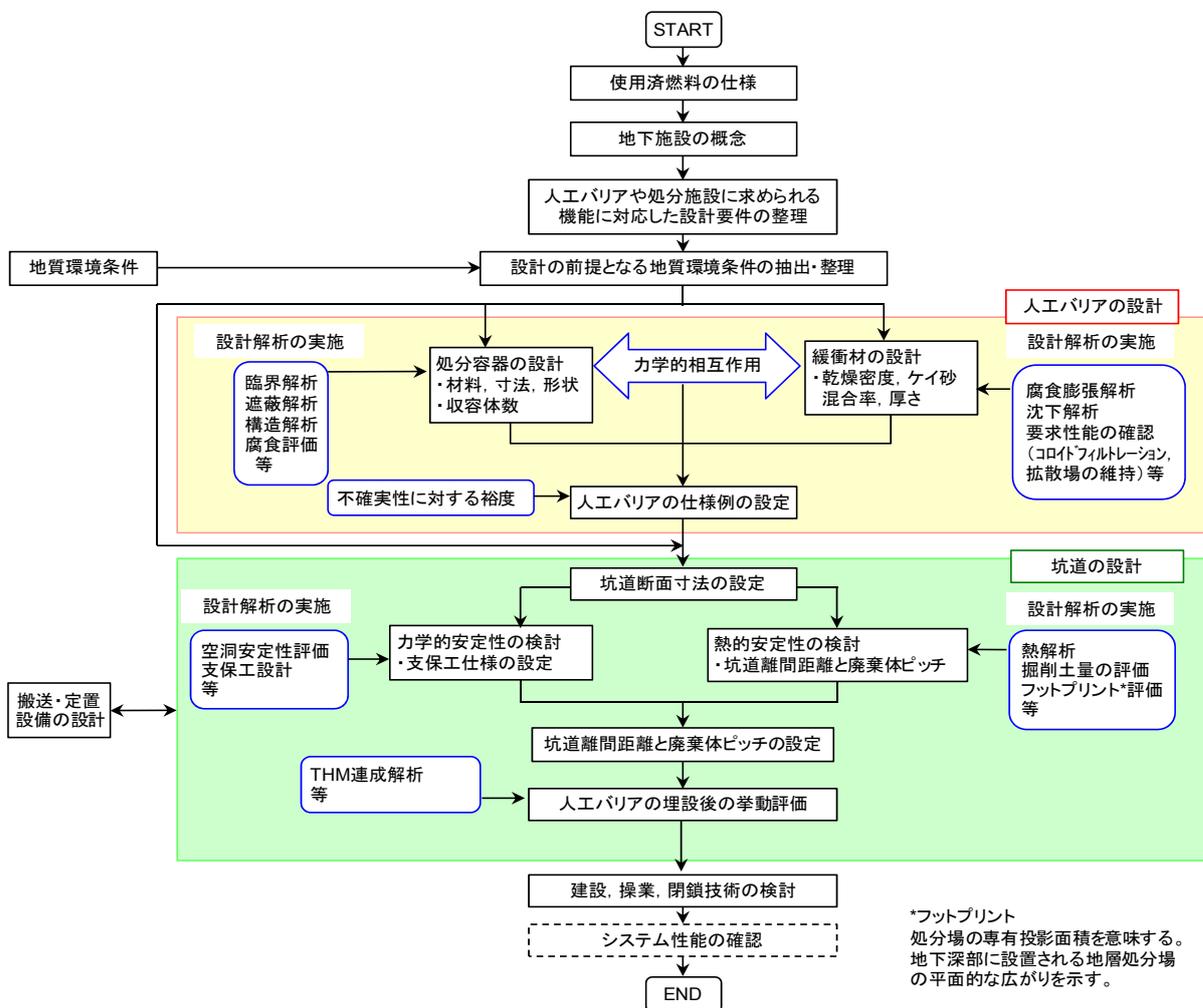


図 2.1.3-1 使用済燃料直接処分の地下施設の設計フロー
(日本原子力研究開発機構,2015⁵⁾)

緩衝材については、その仕様は H12 レポート⁶⁾と同じとされ、処分容器と処分坑道の設計条件に対してその成立性が評価された。緩衝材に使用する材料はベントナイトとケイ砂の混合材料とし、混合率 (wt%) はベントナイト 70 : ケイ砂 30、乾燥密度は 1.6Mg m^{-3} 、厚さは 0.7m とされた。この仕様の緩衝材の処分坑道内での成立性を確認するため、岩盤のクリープ解析、廃棄体の腐食膨張解析及び廃棄体の沈下解析が行われ、応力緩衝性及び処分容器の強度が評価され、設定した緩衝材の仕様で設計要件を満足することが確かめられた。また、コロイド透過性、膨潤性、自己シール性、止水性及び施工性については、H12 レポート⁶⁾等の既往の知見に基づき、上記の仕様で設計要件を満たすこと

が確かめられた。

地下施設の坑道として、アクセス坑道（立坑）、連絡坑道、主要坑道、アクセス坑道（斜坑）、処分坑道（横置き方式）について以下のように検討された。アクセス坑道（立坑）の形状や寸法は、廃棄体搬送装置や人員、資材などを運搬するエレベータの設置スペース、換気設備や給排水管、給電・通信設備などの設置スペース及び坑道の力学的安定性を考慮して設定された。連絡坑道、主要坑道及びアクセス坑（斜坑）の形状や寸法は、各種建設機械や運搬装置の動作・走行などに必要な空間、換気設備や給排水管、給電・通信設備などの設置スペース、安全通路などの設置スペース及び坑道の力学的安定性を考慮して設定された。処分坑道は、その形状や寸法が人工バリアの仕様により設定され、併せて建設時に必要となる換気設備、安全通路の設置スペースが確保されることが確認された。また、緩衝材の熱的な制約条件、岩盤の空洞安定性上の制約条件を考慮し、掘削土量及び処分場が敷設される領域の面積を指標として、廃棄体ピッチ及び坑道離間距離が設定された。

上記の設計検討を踏まえ、人工バリア及び処分坑道の参照ケース仕様が次のように決定された。すなわち、人工バリアは、使用済燃料集合体 2 体を封入した炭素鋼製の処分容器（厚さ：140mm）の周囲を厚さ 0.7m の緩衝材が覆うものとされた。同一の処分坑道内での廃棄体のピッチは最小値が 6.18m、処分坑道の坑道離間距離は 20m とされた。

（3）安全評価

安全評価にあたっては、諸外国の安全評価事例や国際機関の安全評価の考え方も参考としつつ、上記の前提条件のもとで地質環境の長期的な変遷も考慮して行われた。また、事象の発生可能性に応じてシナリオを区分（基本シナリオ、変動シナリオ、稀頻度シナリオ及び人為事象シナリオ）するリスク論的考え方を導入して行っていくものとされ、第 1 次取りまとめ⁵⁾では予備的に基本シナリオに沿った評価が行われた。

その評価事例として、上記(1)の前提条件のもとで、上記(2)の処分施設の参照ケースについて、地質環境の長期的な変遷として隆起と侵食の影響を加え、これを基本シナリオとし、モデル/パラメータを設定、核種移行解析が行われた。評価対象時間については、わが国の地質学的変動の時間スケールや諸外国の評価事例などにに基づき 100 万年と設定された。以上の設定のもとでの基本シナリオに対する線量評価結果によれば、最大線量を支配する核種は処分後約 3 万年までは有機形態の C-14（半減期 5730 年）、それ以降は I-129（同 1570 万年）となり、また、最大総線量は約 $0.3 \mu\text{Sv y}^{-1}$ （埋設約 4000 年後）となった。わが国では、地層処分についての線量を指標とする安全基準値はまだ定められていないが、参考までに、この値を諸外国の地層処分の安全基準値（100 から

300 μ Sv y⁻¹) と比べるとそれらを下回る結果となった。しかし、上記の参照ケースという限定された条件での試算であり、このことをもってわが国において直接処分の実現可能性を論ずることは早計である。

(4) 今後の課題

第1次取りまとめ⁵⁾においては、わが国における直接処分の技術的検討において必要とされる課題も抽出された。そこでは、わが国において直接処分が技術的にみて安全に実現可能であることを体系的に示す科学的論拠（セーフティケース）を整備していくことが必要とされ、そのようなセーフティケースの信頼性を向上させるためには、第1次取りまとめ⁵⁾では限定的であった前提条件や検討対象をより包括的なものに拡張していくことと、設計・安全評価の前提となる個別の現象理解を深め、設計・安全評価手法そのものを改良していくことが必要とされた。これらについては、ガラス固化体や TRU 廃棄物（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構,2005⁸⁾）の地層処分と共通課題もあれば、使用済燃料の直接処分に固有の課題もある。ここでのより包括的なものとするための課題とは、使用済燃料や地質環境条件のそれぞれの多様性等、様々な与条件や制約などに対応するための多様な処分概念オプションの検討を意味する。このような視点で、処分場設計に係る工学技術と安全評価について、それぞれ具体的な課題が以下のように挙げられている。

工学技術についての全体的課題としては、保障措置、核セキュリティの要件に対応した地下施設の設計及び建設・操業・閉鎖の検討などが挙げられた。個別課題としては、臨界安全、使用済燃料の多様性、C-14の閉じ込めの観点からの処分容器の検討や、廃棄体形状や重量を考慮した定置方式と坑道設計、人工バリア埋設後の熱・水・応力・化学連成解析による環境条件の変遷理解、廃棄体の沈下挙動解析などが挙げられた。

安全評価については、(3)に記したリスク論的考え方に応じて個々のシナリオの具体化を進め、使用済燃料の溶解・核種の溶出、ガスの生成と移行、放射線分解・放射線損傷及び臨界の観点から処分システムが有する安全機能に影響を及ぼす現象の理解とその影響の評価の必要性が示されている。

最後に、原子力委員会(2012)⁹⁾による見解について言及しておく。同委員会は「最終処分場に関しては、すでに発生している研究炉の使用済燃料や福島第一原子力発電所の使用済燃料対策などを考えると、使用済燃料を直接処分することを可能にしておくことの必要性は明らか」として、直接処分の研究の必要性を示した。ここに記された研究炉や福島第一原子力発電所から発生する使用済燃料についても、燃料の多様性の問題と位置づけることができる。仮にこれらを直接処分の対象として、その技術的可能性を論ずるには、これまでに構築された方法論と今後進化・拡充される解析モデルやデータベース等の評価基

盤の適用が期待できるであろう。

参考文献

- 1) ANDRA (2005): Dossier 2005, Andra research on the geological disposal of high-level long-lived radioactive waste, Results and perspectives.
- 2) SKB (2012): KBS-3H Complementary studies, 2008–2010, SKB Technical Report, SKB TR-12-01.
- 3) NAGRA (2002): Project Opalinus Clay, Safety Report, Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis), TECHNICAL REPORT 02-05.
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁 (2016) : 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について 2016年度版 (2016年2月).
- 5) 日本原子力研究開発機構(2015): わが国における使用済み燃料の地層処分システムに関する概括的評価-直接処分第1次取りまとめ- JAEA-Research 2015-016
- 6) 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 TN1400 99-020~023
- 7) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会(2000) : 我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の評価
- 8) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構 (2005) : TRU 廃棄物技術検討書 - 第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ- JNC TY 1400 2005-013 FEPC TRU-TRU 2-2005-02
- 9) 原子力委員会 (2012) : 今後の原子力研究開発の在り方について (見解)

2.2 処分に伴う環境汚染リスクの評価

2.2.1 「環境の防護」について

1) はじめに

放射性廃棄物の処分は、IAEA 基本安全原則 SF-1¹⁾ で定められている基本安全目的である「人及び環境を電離放射線の有害な影響から防護（筆者注：原文は protect）すること」を達成するように計画される必要があることが国際的な合意である。

これまで“ヒトを対象とした放射線防護体系によって環境も十分に守られているはずである”という考え方が国際放射線防護委員会(ICRP)等で長年支持されており、基本的には現在もこの考え方は変わっていない。

近年、環境問題に対する関心が世界的に高まる中、環境中に放出される有害物質については、環境の持続可能性、生物の多様性が維持、保存されることを明確な証拠や根拠に基づいて透明性を持って説明することが要求されるようになってきた。このような国際的な流れを受けて、放射線の影響から環境、ヒト以外の生物を防護するための枠組みについての検討が国際機関によって行われるようになってきている。

放射性廃棄物の処分においては、処分施設に隔離し閉じ込めた放射性核種が、長期の間には天然の環境に移行することを考えなければならないのであるから、「環境の防護」について何らかの考察が必要であると考えられる。これが本検討の問題意識である。

2) 放射性廃棄物処分における「環境の防護」に関する状況

(1) IAEA 安全文書等での状況

IAEA の基本安全原則 SF-1¹⁾ では、「原則 7：現在及び将来の世代の防護；現在及び将来の人及び環境を放射線リスクから防護しなければならない。」として、「環境の防護」が要求されている。地層処分についても原則 7 に沿うことが求められている。

また、同文書の 3.28 項では、以下のように記述されている。

「・・・(略) 現在の放射線防護体系では、・・・(略) 環境防護の目的で現在講じられる措置の一般的な意図は、(個々の個体とは別に) 何らかの種の集団が害となる影響を受けるほどの放射線被ばくから生態系を防護することであった(し現在もそうである)。」

放射性廃棄物の処分に関して、IAEA の安全文書の個別安全要件 SSR-5²⁾ において、「必要な程度に廃棄物を閉じ込め、接近可能な生物圏からそれを隔離すること」とされ、これを達成するために、処分場の立地と設計がなされる。しかし、廃棄物に含まれる放射性核種を、処分場に完全に閉じ込め、永久に隔離

することは期待されてなく、時間と共に廃棄物に伴う危険性が減少することを踏まえ、長期の間には、一部の放射性核種は主に地下水とともにイオンやコロイド等の状態で、場合によってはガス状態で、人工バリアを通過して天然バリアを移行し、最終的には生物圏へ到達することを考慮する。また、同文書の下記項目に以下の記述がある。

○ 2.21 項

「・・・(略) 電離放射線の有害な影響から環境を防護する課題、及びこの目的のための基準の策定は、国際的に議論されているところである。」

○ 2.22 項

「…(略) 起こり得る環境の広範な移動経路を考慮に入れた線量の計算値は、これで環境防護の指標としてみなし得る。」

○ 2.23 項

「汚染物質の濃度及びフラックスの予測と、それらの地圏又は生物圏にある自然起源の放射性核種の濃度及びフラックスとの比較のような、付加的指標や比較もまた、…(略) 全体としての環境防護のレベルを示すのに有効であろう。その他の検討すべき因子には、地下水源の保護の必要性及び汚染物質が放出される環境の生態学的感受性などが考えられる」

この他、SSR-5²⁾ では、「重要である場合には、非放射線学的な毒性危険物もまた評価されなければならない」として、2.24 項に、「処分施設に存在する非放射性物質の影響は、国のあるいは他の特定の規則に従って評価されなければならない、・・・(略)。」と記述されている。

我が国では、「人を電離放射線の有害な影響から防護する」との目的については、廃棄物中の放射性核種が生物圏へ到達する結果として、最終的に人に及ぼす影響（被ばく）を評価尺度とした「処分の安全性」として論じられることが多い。これまでの処分の研究開発では、地下の処分施設からの放射性核種の移行の状態及びそれによる人の最終的な被ばくの予測について様々な解析評価手法の開発が行われ、それらの手法を用いた解析評価の結果、地層処分は安全であり「人を電離放射線の有害な影響から防護する」との目的は達成できる見通しがあることの論証がなされてきている。

(2) ICRP 等の国際機関における検討状況

ICRP の 1977 年勧告³⁾ 及び 1990 年勧告⁴⁾ では、「ヒトが適切に防護されていれば、ヒト以外の生物種も十分に防護され、ヒトを防護するのに必要な環

境基準が満たされている限り、ヒト以外の生物種の個体に障害を生じるかも知れないが、その種の存続をおびやかしたり、種間に不均衡をもたらしたりすることはない」とされており、これが放射線の影響からの環境の防護と管理原則の核心をなす考え方となっている。

ICRP では 2003 年に Pub.91⁵⁾ において初めて「ヒト以外の生物種に対する電離放射線のインパクト評価の枠組み」を公表した。この報告書では、従来の考え方を変更しなければならないような証拠は存在しないが、これまでの人間中心的なアプローチから生物中心のアプローチ、生態系中心のアプローチへと展開し、電離放射線の影響に関し、すべての生物に対する影響について研究し、これを防護するための包括的アプローチを開発することを勧告している。また、そのアプローチの第一歩として標準動植物相を整備することを勧告している。

ICRP では 2005 年に環境への防護に関する第 5 委員会を設置し、2007 年勧告⁶⁾ において環境の防護の目的について章が設けられ以下のように述べている。

① 環境の防護の目的

あらゆる被ばくの状況（計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばく）において、生物の多様性を維持し、種の保存と生態系の健全性を保護することが環境の防護の目的である。ヒト以外の生物種が防護されていることを明確に示す必要がある。

② レファレンス動植物

環境中の放射性物質からの被ばくの算定にあたって、ヒトの場合には標準人（Reference Person）という概念を導入したが、これと同様の考え方に基づいてレファレンス動植物(Reference Animals and Plants)を導入することを勧告。

レファレンス動植物は特定タイプの動物や植物、分類学上同一の「科」に分類される生物種に共通するような生物学的な特性を有した仮想的な存在。これらは、線量評価、影響評価のための基礎情報提供のための概念で、現実の防護の対象ではない。

2008 年に ICRP の Pub.108⁷⁾ において下記の 1 2 種類のレファレンス動植物及びそれを用いた環境防護の枠組みが示された。

表 2.2.1-1 レファレンス動植物

レファレンス動植物	生息環境		
	陸上	淡水	海水
シカ	○		

ラット	○		
カモ	○	○	
カエル	○	○	
マス		○	○
カレイ			○
ミツバチ	○		
カニ		○	○
ミミズ	○		
マツ	○		
草木（イネ科）	○	○	
褐藻			○

防護対象である人及び環境の「環境」について明確な定義はされていないが、IAEA、ICRP、OECD/NEA、UNSCEAR等の国際機関において、環境およびヒト以外の生物への放射線の影響の評価とその防護のための枠組みを国際的な合意として構築していくこと、ならびにヒトの健康と環境及びヒト以外の生物への影響を統一的に防護する国際的な安全基準を策定するために検討が進められている。特に欧米では、ヒト以外の生物に対する線量評価モデルの構築等が行われてきた。

全体的な傾向としては、以下の通りである。

- ・ヒトが代表的個人であるのに対して、ヒト以外では代表動植物の生物群を対象としている
- ・影響評価としては被ばく評価で、評価のエンドポイントは生殖能を採用している（死亡も染色体損傷も生殖能への影響という形で考慮可能）
- ・一方で固体や種では無く、生態系(ecosystem)に対して評価を行うべきという主張もあり、系全体を対象に評価を行う考え方もある

3) 我が国の法令等における状況

我が国では、改正炉規制法第一条（目的）に、「この法律は、・・・、もって国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的とする。」と規定され、法目的に「環境の保全」が加えられた。なお、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」においては、「環境の防護」に係る規定はない。

ICRPの2007年勧告⁶⁾の国内制度等への取入れについて放射線審議会で検討が続けられ、従来との比較の中で環境の防護についても挙げられているが、放射線審議会の中間報告⁸⁾で国内制度等への取入れに係る検討事項で

抽出された15項目（その後第二次中間報告でその中の7項目提言）には環境の防護は含まれていない。

一方、原子力安全委員会の「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）」⁹⁾では、処分の方針として、以下の記述があるものの、「環境の防護」について明確な記述はない。

- 高レベル放射性廃棄物の処分は、・・・「多重バリアシステム」により、高レベル放射性廃棄物を物理的に生活環境から隔離し、その中の放射能やそれらからの放射線が人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにすることを基本としている。
- 処分の安全性は、一般公衆が受けると想定される線量の評価値が、定められた放射線防護レベルを超えることがないことを確認することが基本。
- 環境への放射性物質の放出量（フラックス）を安全評価の指標として評価することにより、安全評価を補完している国がある。

また、日本原子力学会がまとめた「原子力安全の目的と基本原則」¹⁰⁾の「解説6：「人」と「環境」を防護対象とする意味」では、IAEAやICRP等におけるこれまでの考え方や検討の経緯等を紹介した上で、結論として以下のように述べている。

「「人」と「環境」の定義及びその持つ意味は、時代とともに社会の発展と共に変遷してきているものと捉えるべきであり、現状で、本規則において、固定的で明確な定義、具体的な意味を明確に与えることはあまり意味がない。寧ろ、現時点では「人」と「環境」を防護するために、つまり「人」の生命と健康、ならびに「生存環境」への放射線リスクを引き起こす原子力施設とその活動における放射線リスクを合理的な範囲で可能な限り抑制して行くという視点を重視して、その防護措置を講じ、それを継続的に改善していくことが最も重要なことであると考えられる。」

4) 環境の定義と評価対象

「環境の防護」における「環境」の意味を明らかにすることは、その意味によって、防護の考え方、防護指標が異なる可能性があることから、重要と思われる。

従来、地層処分の議論で登場する主な「環境」関連用語は以下のとおりである。

- 生物圏(biosphere)

- 接近可能な生物圏 (accessible biosphere)
地下水、地表水及び海洋資源を含め、人により利用されあるいは人への到達が可能な環境要素を含むもの (参考文献 2)
- 地圏 (geosphere)

SF-1¹⁾ では、3.28 項に、以下のような記述がある。

「・・・・ (略) 環境防護の目的で現在講じられる措置の一般的な意図は、(個々の固体とは別に) 何らかの種の集団が害となる影響を受けるほどの放射線被ばくから生態系を防護することであったし現在もそうである。」

このような記述からすると、SF-1¹⁾ で意味する「環境」とは、生態系の防護であることから、環境とは、生物の生存圏すなわち生物圏を意味するものと考えられる。

一方、SSR-5²⁾ では、2.2 項に、以下のような記述がある。

「放射性廃棄物の処分に関してこの基本安全目的を達成するために採用されている戦略は、必要な程度に廃棄物を閉じ込め、接近可能な生物圏からそれを隔離することである。生物圏とは生物が通常生活する環境の一部であり、「接近可能な生物圏」とは人により利用されあるいは人への到達が可能な地下水、地表水及び海洋資源を含むこれらの環境の要素を一般的に含むものとされている。それ故、「接近可能な生物圏」は、本安全要件出版物に定められた目的、基準、及び要件が防護するために規定された環境の一部である。」

この記述から、以下のことが理解できる。

- 生物圏は生物が通常生活する環境の一部。
- 「接近可能な生物圏」から廃棄物を隔離することが基本安全目的を達成する戦略。
- 「接近可能な生物圏」とは、人により利用されあるいは人への到達が可能な地下水、地表水及び海洋資源を含むこれらの環境の要素を一般的に含むもの。
- 「接近可能な生物圏」は、本安全要件出版物に定められた目的、基準、及び要件が防護するために規定された環境の一部。

IAEA Safety Standards で放射線防護に関する Basic Safety Standard

No. GSR Part3(2014年)¹⁾¹⁾では環境の定義として「ヒト、動物、植物が生育または発展し生命を維持、発展させる状況；特に人間活動の影響を受けるような状況」と定義し、環境の保護はヒト以外の種の保全及びそれらの多様性を含み、対象としては、食糧や飼料の生産のような環境財とサービス、農業、林業、漁業及び観光業で用いられる資源、精神的、文化的、レクリエーション活動で使用される設備、土壌、空気、水等の媒体、炭素、窒素、水循環等の自然のプロセスが対象とされている。この定義に基づき、IAEAの生活圏（生物圏）の評価プロジェクトである BIOPROTA 等の国際プロジェクトでは環境の放射線防護に関する検討が進められている。

近年の評価では、ヒト以外の生物まで評価対象が広がっているが、その対象となる環境は一般的な動植物が生存する環境であり、研究の対象も陸域、淡水系、海水系である。ICRPで提示されたレファレンス動植物も陸上、淡水、海水の生息環境から選定されており、深部地下等の微生物等の生物のみが生息する環境は考慮されていないと考えられる。一方生態系の評価については、サイト特有の環境や生態系が構築されていることからサイトに依存するが、これまでは欧米での研究が進展しており、日本とは異なる環境である。

地層処分における環境評価ではスウェーデンの報告書¹⁾²⁾¹⁾³⁾で生物圏の評価でヒト以外への生物の評価を行った例があるが、深部地下の環境ではなく生物圏での生態系に対しての評価である。

以上から現在、放射性廃棄物処分で考えられている環境としては、ヒト及び動植物が生育する場で、生態系として維持、発展される状況とすることができる。したがって、深部地下環境は、その場で独自の生態系が構築されている可能性はあるが、ヒトの生活圏および動植物の生息域とは隔離された環境であり、放射線防護の検討対象としては、これまで考慮されていないと思われる。

5)「環境の防護」の指標

地層処分において、「環境の防護」の観点が必要となれば、「環境」の意味及び防護対象・内容に基づき、防護の指標を決めることが必要である。防護の指標を検討する原点となる情報は、人工バリアからその周辺の岩盤へ移行する放射性核種の移行挙動（核種の種類、速度、量）及びそれ以降の移行挙動である。

原子力安全委員会の「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）」⁹⁾には、安全指標の比較表が示されている（表2.2.1-2参照）。この表では、指標を人間向けと環境向けに大別し、環境

向けとして4つが取り上げられているが、ここで「環境の防護」の観点から考察の対象となり得るのは、閉じ込め性に直結する指標である以下の3つであると考えられる。

- 環境濃度
- 生物圏におけるフラックス
- バリアを通過するフラックス

これらの指標は、被ばく線量という安全評価における主要な指標の補完的指標と考えられる。

また、ICRP の Pub. 91⁵⁾では、ヒト以外の生物に対して被ばく線量限度の適用を提案している。このような国際的動向も踏まえて環境の防護の指標も検討していく必要がある。

表 2.2.1 - 2 安全指標の比較⁹⁾

指標		長所	短所
人間	リスク	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人間への影響の直接的指標 ・ 人間への全ての被ばく経路の統合が可能 ・ 被ばくの起こりやすさ考慮可能 ・ 他の危険性と直接比較可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 意思疎通上の問題 ・ 確率の推定に関する問題 ・ 遠い将来への適用性に関する問題 ・ 計算が複雑
	線量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 十分に確立され理解されている ・ 人間への影響の直接的指標 ・ 人間への全ての被ばく経路の統合が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被ばくの起こりやすさを考慮できない ・ 遠い将来への適用性に関する問題
環境	環境濃度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 概念的に簡単 ・ 人間の状態と無関係 ・ 局所的な環境影響に関する尺度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工放射性核種に対する直接的な天然の比較物が存在しない。 ・ 一般的な参考レベルの定義の問題
	生物圏におけるフラックス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 局所的な生物圏や人間の変化に対して比較的無関係 ・ 広域的あるいは地球規模での環境影響の尺度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 概念的に難しい ・ 一般的な参考レベルの定義の問題 ・ 人工放射性核種に対する直接的な天然の比較物が存在しない。 ・ 局所的な安全指標とにならない
	バリアを通過するフラックス	<ul style="list-style-type: none"> ・ バリア性能の直接的指標 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性とは直接関係しない ・ 全体的安全目標とはならない
	時間	<ul style="list-style-type: none"> ・ 理解容易 ・ バリア性能の直接的指標 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性とは直接関係しない
廃棄物	放射性毒性指数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 理解容易 ・ 重要な期間の指標 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不完全で仮定に離京を受けやすい

6) 現状の評価の課題と今後の展開

現在のヒト以外の生物に対する環境の放射線防護は欧米主体で検討が進められ、欧米の環境を主に対象としているため日本にそのまま適用するには限界がある。特に日本及びアジアの特徴として水田環境があり、この分野の研究は放射線医学総合研究所を中心に実施されている。¹⁴⁾

レファレンス動植物の位置づけについて、必ずしも生態系の中での重要性や他の環境因子の影響評価で採用されている生物種を選んだわけではない。また、

別の国際機関の評価では異なるレファレンス動植物が選定されており、わかりやすさの点も考慮してレファレンス動植物が選ばれていることから、一つの指標と考えるべきである。一方で個別の生物種でなく生態系全体を評価する **ecosystem approach** も提唱されており、ある特定サイトに対する評価としては、生態系全体として評価することが考えられる。

深部地下環境は、ヒトの生活圏および動植物の生息域とは隔離された環境と考えられ、わが国ではこれまで放射線防護の検討対象としては考慮されていないと思われるが、国際的には、ヒトの生活圏および動植物の生息域については、欧米を中心にヒト以外の生物に対する評価について検討が進められており、これらの国際動向を踏まえわが国の環境防護に対するアプローチも検討していく必要がある。

自然界では、いくつかの「間接効果」事例がある。例えば二酸化炭素自体は生体に対して有害ではないが、地球温暖化等により生態系のバランスが崩れることで害を及ぼす。放射線による間接効果が認められないかどうかは、ヒト以外への影響も含めて考える必要がある。

参考文献；

- 1) IAEA Safety Standard “Fundamental Safety Principles” Safety Fundamentals No.SF-1(2006)
- 2) IAEA Safety Standard “Disposal of Radioactive Waste” Specific Safety Requirements No.SSR-5(2011)
- 3) ICRP Publication 26 “Recommendations of the ICRP”(1977)
- 4) ICRP Publication 60 “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”(1990)
- 5) ICRP Publication 91 “A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species”(2003)
- 6) ICRP Publication 103 “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”(2007)
- 7) ICRP Publication 108 “Environmental Protection –the Concept and Use of Reference Animals and Plants”(2008)
- 8) 放射線審議会 基本部会 「国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告(Pub.103)の国内制度等への取入れに係る審議状況について—中間報告—」(2010年1月)
- 9) 原子力安全委員会「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)(2000年11月6日)
- 10) 日本原子力学会標準委員会「原子力安全の基本的考え方について 第1編 原子力安全の目的と基本原則」AESJ-SC-TR005(2012年11月)
- 11) IAEA Safety Standards No. GSR Part3 “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards”(2014)
- 12) SKB Technical Report TR-10-08 (2010)
- 13) SKB Technical Report TR-11-01 (2011)
- 14) 川口勇生、高橋知之、内田滋夫：生物線量評価モデルの水田環境への適用性に関する検討、保健物理、vol.43(3), (2008)

2.2.2 処分における想定事故（操業時の安全）、確率論と決定論／リスク論的考え方に基づく評価

1) 処分における想定事故

東北地方太平洋沖地震に伴い発生した福島第一事故が、想定を超える津波や設計を超える事象の複合から重大事故に至ったことを踏まえて、NUMOは、操業期間中の安全確保の検討の一環として、設計上の想定を超えた場合に発生する事象（以下、異常状態）を対象とした検討を実施している^{1),2)}。以下では、この事例における考え方や検討結果を紹介する。（なお、現状において、放射性廃棄物の処分や管理のための施設（原子炉等規制法でいう廃棄物埋設施設や廃棄物管理施設）に関しては、重大事故の考え方は示されていない³⁾。）

地層処分施設の操業期間中における放射線防護としては、放射性廃棄物からの放射線の漏洩を防止するための遮へい対策、ならびに、放射性廃棄物からの放射性物質の漏出を防止するための閉じ込め対策を実施するが、多重防護の考えに基づき、これらの防止策に加えて、防止策が成功しなかった場合に発生する異常状態のための安全対策を準備しておく（図 2.2.2-1）。異常状態としては、具体的には、装置の故障、電源喪失、火災の発生等が上げられる。異常の拡大防止策が成功しなかった場合、廃棄体（ガラス固化体）の異常状態（廃棄体あるいは廃棄体を封入したオーバーパックへの外力作用、温度の上昇など）に至る。さらに、閉じ込め・遮へいの対策が有効に働けば事故を防ぐことができるが、そうでない場合、何らかの放射線影響を伴う事故に至る。検討すべき異常状態を抽出するために、イベントツリーによる分析手法を用いている（図 2.2.2-2）。

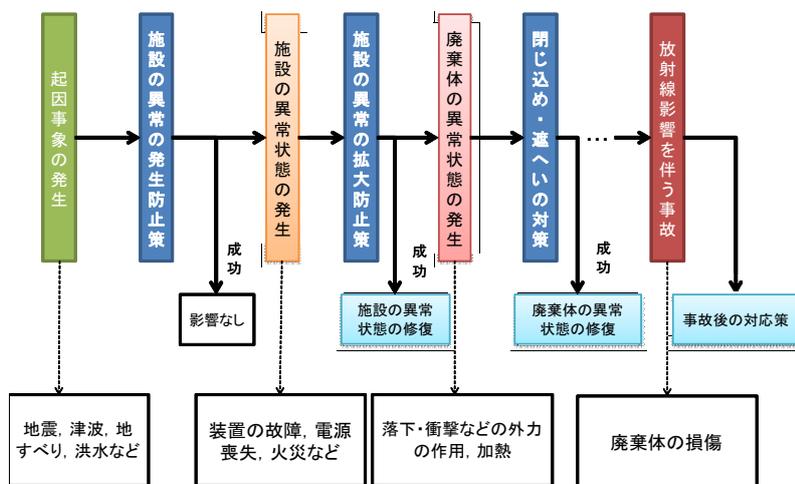


図 2.2.2-1 多重防護の考え方に基づいた安全対策

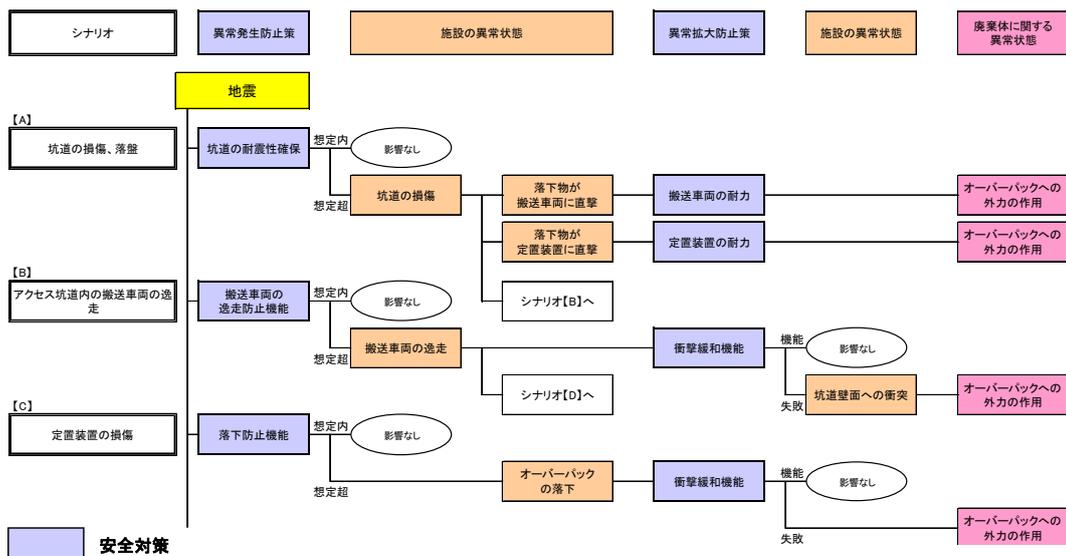


図 2.2.2-2 影響伝播の分析例

NUMO では、落下や爆発に対するオーバーパックの耐衝撃性や、電源喪失時のガラス固化体の温度上昇影響、火災影響について定量的な評価を実施し、設計想定を超えた異常状態が発生しても、放射性物質の漏えいが起こりにくいことを数値解析により確認している。

地下施設におけるメタンガス爆発に対するオーバーパックの耐衝撃性を検討した例を図 2.2.2-3 に示す。地下坑道内の換気、ガス濃度を爆発限界未満とすること、機器を防爆仕様とすること等、ガス爆発の発生防止およびそれによる影響回避のための対策を講ずるが、電源喪失などによりメタンガスが地下坑道内に充満し、さらに、対策があつたにもかかわらず爆発するような事象を想定して数値解析を実施している。最も爆発力が大きくなる場合として、爆轟波（燃焼反応を伴いながら超音速で伝播する波）の発生を想定する。爆轟波がオーバーパックに到達し、オーバーパックは最大速度 72 km/h で坑道壁面に衝突するが、オーバーパックに生じるひずみは破断ひずみ以下であり、破断亀裂の発生には至らないという結果が得られている。

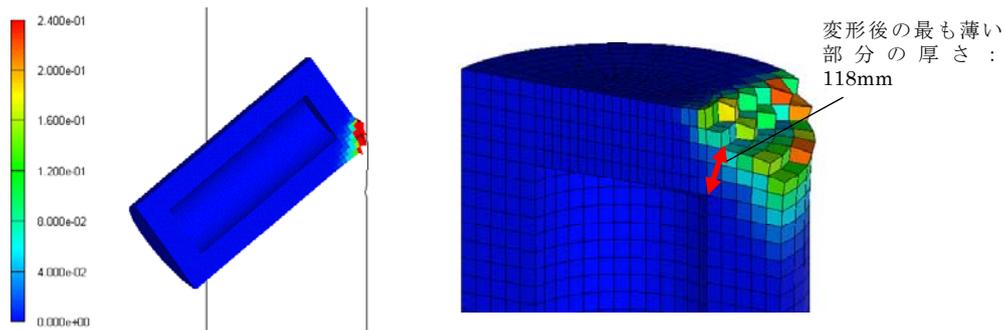


図 2.2.2-3 メタン爆発により飛ばされたオーバーパックが坑道壁面に衝突した場合の破損状況(左:衝突後 40 ミリ秒後の相当塑性ひずみの分布、右:衝突個所の拡大。破断ひずみを超えた部分は描画していない。)

また、想定を超える異常状態の影響をできるだけ限定するためには、異常状態からの修復策を検討しておくことも重要である。一例として、地下坑道でオーバーパックを定置中に落盤事故が起こった場合を想定し、その際の復旧作業の方法を検討している(図 2.2.2-4)。通常のトンネルの修復技術等、既存技術を組み合わせることで、復旧作業が可能であるとの見通しが得られている。

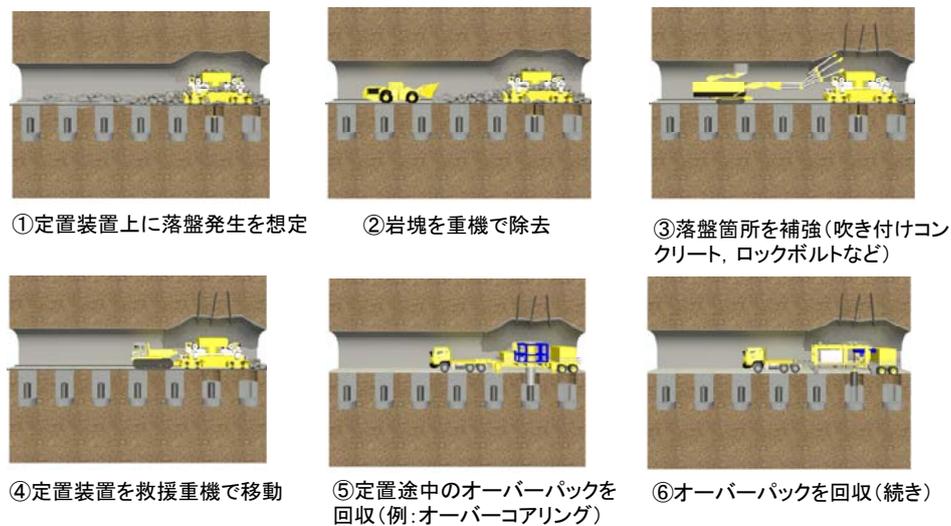


図 2.2.2-4 地下施設における落盤からの修復策の検討例

2) 決定論的評価と確率論的評価／リスク論的考え方に基づく評価

(1) 定義と実際

①原子力施設に係る決定論的評価と確率論的評価の定義

放射線影響評価は、その目的に応じて決定論的評価と確率論的評価に分類されている。決定論的評価とは比較的短期の評価または被ばくの原因となる事象の発生確率を安全側に見て1と仮定する場合に適用される。原子力施設の定常運転時及び低レベル放射性廃棄物浅地層処分の評価がこれに相当する。一方、確率論的評価は、潜在的影響（Potential impact）の評価を目的とし、極めて長期にわたる評価または被ばく原因事象の発生確率が1をかなり下回ると想定される場合に適用される。原子力施設の事故時の確率論的評価及び高レベル放射性廃棄物の地層処分の長期評価はこれに相当する⁴⁾。

②評価手法と実際

決定論的放射線影響評価では、一般に、パラメータの最良推定値を用いて、原子力施設からの放射性物質の放出量に基づいて、ア) 大気、表面水系及び地層、並びに生態圏中での放射性物質の移行・濃縮過程を解析し、イ) 人間が接触する環境媒体、吸入摂取する空気及び経口摂取する食物中の放射性物質濃度を算出し、ウ) 合理的に想定される被ばく経路に基づいて、線量係数（Dose factor: 単位放射性物質濃度当たりの被ばく線量）を用いて被ばく線量が算出される。

一方、確率論的評価では、被ばく原因事象の発生確率及び評価に用いるパラメータ値の確率分布を考慮して、決定論的手法と同様な解析により、被ばく線量またはリスクの確率分布が算出される。確率論的評価では、被ばく原因事象の同定及びパラメータ値の選定に伴う不確かさを客観的に低減できるとの利点があるが、確率分布で与えられる評価結果の解釈が線量基準（実効線量限度）との比較の観点では必ずしも明確ではないとの欠点がある。このため、確率論的評価は評価に伴う不確かさを把握するとの面で決定論的評価を補完するものと考えられ、我が国では原子力施設の安全審査では事故時も含めて決定論的手法が採用されている⁴⁾。

原子力発電所の安全目標は「一般公衆が社会生活で受けている原子力発電所以外からのリスクより十分低いこと」（H2年原子力白書）が基本である。その後の検討を受け、H25.4.10 原子力規制委員会は安全目標の確率数値を示した。そこでは、炉心が損傷する程度の事故を「1万年に1回／炉」。放射性物質の放出を抑えられるとしても格納容器の機能が喪失した程度の事故を「10万年に1回／炉」。放射性物質の放出が抑えられない事故を「100万年に1回／炉」としている。しかし、現行の安全評価には決定論的手法が用いられている。確率論的手法は、不確実性を取りあつかううえで優れた特長を持ちなが

ら、施設の安全性を公衆に説明する場にはいまだ適用されていない。

(2) 確率論的手法の理解の難しさ

確率論的手法を正しく理解することの難しさの根底には2つの問題がある。それは、「低確率事象の認知問題」とリスク認知における「リスクアバース（危険嫌忌）の問題」である。

「低確率事象の認知問題」では、例えば 10^{-6} 以下の確率は理解しにくいという、確率を認識する最小閾値があること^{5),6)}。低確率の領域での確率の大小を区別することの困難さ⁷⁾や異なる事象の頻度判断の歪み^{7) 1}などが示されている。

「リスクアバース（危険嫌忌）の問題」では、可能性と蓋然性の二つの概念の区別しにくさ^{5) 2}、確率的な表現への人間の認知能力のバイアス⁸⁾が指摘されている。

このような人間の認知能力を反映し、安全性の評価の過程で確率を利用する場合でも、公衆への説明の場ではリスクを感じにくい表現が用いられることがある³⁾。

(3) 直接処分の決定論・確率論の視点からの特徴

確率論的扱いの要否の判断に対しては、設定されるシナリオ、偶発的で重大な事象の有無、評価の確実性、発生確率やリスク[発生確率×被ばく効果]の大きさが関係する。

[2.1 節]で示された直接処分の特徴は表 2.2.2-1 のようである。ガラス固化体の処分と比較して確率論的扱いの要否の判断と強い関係を持つものは、◎、○

¹ 葛西(1989)は、原子力の過酷事故とそれによる放射能汚染、または宝くじの賭けなどのように、その損失や利得が生起確率の低さに反比例して甚大であるような確率事象を「有意味低確率事象」と呼んだ。そして、既往の研究の事例から、 10^{-8} 程度の低確率を正確に表現する確率語は存在せず、「ほとんど絶対に起こらない」とか「考えられない」といった言葉を用いても、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ と 10^{-8} を区別することすら不可能であることを示した。これは、低確率の領域での確率の大小を区別することの困難さを意味するものである。

また、葛西は異なる事象の頻度判断の歪みに関して、①低頻度の事象を過大評価し、高頻度事象を過小評価すること、②実際の客観的頻度の大きさには関係なく、ある特定の事柄の頻度を誇張し、その他の頻度を過小評価することの2点を指摘した。

² Cohen(1976)は、「賭の比率が反対チーム側について天文学的に大であっても、落胆しないでいる賭博者」の例を示した。これは、勝つ確率の大きさを無視し、勝つという単なる可能性をひとつの評価できる確率としてあつかう人間の特徴を表しており、可能性と蓋然性のふたつの概念を区別できていないことを説明した。確率論的安全評価が用いられるとき、その確率の大小に関係なく事故の可能性つまりリスクが存在することについて公衆の意識が集中することをこの研究は示している。

³ 例えば「100年に一度の降水量」という表現が設計降雨を公衆に説明するとき用いられる。これは「再現期間100年の確率降水量」であり、この降水量以上の大雨が平均すると100年に1回の確率で起こりうることを意味する。

で示している。今後は、評価技術・工学技術の開発、およびデータの蓄積とあわせ、確率論的安全評価の考え方を考慮したシナリオ区分の検討が重要である。

表 2.2.2-1 直接処分の特徴と確率論的扱いとの係わり

○係わりあり、◎係わりが特に強い

a. 直接処分固有の留意点	①プルトニウムを環境中に廃棄	—
	②長期間安定な物質として選択されたガラス固化体ではない	○
	③発熱量、寸法、重量が大きい	○
b. 安全評価上の特有課題	①評価上考慮するシナリオ	◎
	②臨界回避・評価	○
	③核種の瞬時溶出挙動と評価	○
	④UO ₂ マトリックス溶解挙動とそれに伴う核種溶出挙動及びそれらの影響	○
	⑤放射線分解や酸化還元フロント進展の挙動と影響	○
	⑥掘削影響領域の拡大等の挙動と影響	○
	⑦核種挙動や移行特性	○
c. 設計・施工上の課題	①重量・寸法の増大に対する、坑道、処分孔、人工バリア仕様等の検討	—
	②発熱量増大に対する処分場設計への影響評価	○
	③放射線量増大に対する遮へい対策	—
	④放射線分解による酸化還元フロントに対する対策	—
	⑤臨界を避けるための検討	○
	⑥非収着性核種(C-14)に対する被ばく低減化対策	○
	⑦地上施設の詳細設計	—
	⑧操業中及び閉鎖後管理段階の保障措置やテロ対策	—
	⑨回収可能性の検討	—

(4) リスク論的考え方に基づく評価^{9), 10)}

諸外国の安全規制において、確率論の導入によりリスク論的考え方にに基づく評価を設定している事例がある⁹⁾。それらは以下のように分類される。

① 決定論的安全評価を確率論的安全評価により補完する手法

(仏、Dossier2005) 0.25 mSv/年以下。ただし、偶発的事象に関する仮想状況については、その発生確率を考慮するリスク概念([当該事象の発生確率]×[それに伴う被ばく効果])の使用を検討することができる。

② 確率論的考え方を採用した決定論的安全評価手法

(フィンランド、オルキルオト) 公衆のいかなる個人に対しても年間実効線量の期待値(線量×シナリオの発生確率)を0.1mSvに制限。

③ 確率論的安全評価を決定論的安全評価により補完する手法

(スウェーデン、SFR-1,-2) 最も被ばくするグループにおける代表的な個人に対するリスクが 10^{-6} /年を超えないように処分場を設計(但し、少数のグループで構成される場合には 10^{-5} /年を超えない)。ここでは、選定したシナリオに基づいて定量的なリスク解析を行う。しかし、例えば巨大な地震などのように、個々の事象が特定の世代に対してどのような悪影響を及ぼすかについて十分な情報を得られない場合は、決定論的方法と確率論的方法の両方を用いることができる。基本データが不十分な場合には、ピアレビューや専門家集団による考察を利用。また、補完的な安全指標(バリア機能(多重バリアの効果)、放射性物質流量、環境中放射能濃度)を用い処分場の防護能力を推論。

④ 確率論的安全評価手法

(米国、WIPP) 閉じ込め性能に対する段階的基準を設定し、これを満足すべき信頼度レベルを規定。

国内においては、旧原子力安全委員会が、「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項」を示す中で、長期の予測に伴う不確かさを適切に取扱う方法論として、リスク論的な考え方の安全規制への適用の重要性を示した¹¹⁾。ここでいうリスク論的考え方に基づく安全規制とは、安全評価のためのシナリオの発生確率の正確な定量化を要求するのではなく、シナリオをその発生の可能性に基づき大別し、それぞれに対応した放射線防護基準との比較を行なうというものである。これは、線量/確率分解アプローチと呼ばれ、ここでは、どのようにシナリオ設定を行うかが重要となる。同委員会は、余裕深度処分の長期の安全評価に関して、リスク論的考え方を適用するためのシナリオ設定の考え方を取りまとめており¹²⁾、今後、直接処分を含めた地層処分の安全評価の考え方に影響することが考えられる。

参考文献；

- 1) NUMO-TR-13-01 技術年報 2012 年度，2013 年 5 月.
- 2) 東日本大震災を踏まえた操業期間中の安全確保の検討，NUMO 技術開発報告会 2013 資料，2013 年 6 月 26 日.
- 3) 原子力規制庁，原子力規制委員会設置法の一部の施行に伴う関係法令等の整備等について，第 33 回原子力規制委員会会議 資料 1-1，平成 25 年 11 月 27 日.
- 4) 高度情報科学技術研究機構，原子力百科事典 ATOMICA
- 5) Cohen,J., 北村晴朗／佐藤怜訳 『心理的確率 現代心理学の展開 2』，誠信書房，1976,pp.34-35
- 6) Borel,E., Probabilities and Life (trans.Baudin,M.),New York:Dover,1962,p28 (first published 1943)
- 7) 葛西俊治「低確率事象に関する認知研究について」，北海道工業大学研究紀要，No.17,1989,pp.263-271
- 8) Kahneman,D., Tversky,A., ‘Prospect Theory: An Analysis Decision under Risk’ Econometrica, Vol.47, No.2, 1979, pp.263-291
- 9) 原子力安全基盤機構，原環センター：‘リスク論的考え方に基づく安全評価シナリオの分類例について’，埋設分科会用検討資料，H18.6.22
- 10) 梅木博之，‘海外の安全基準とシナリオ設定の考え方’，低レベル放射性廃棄物埋設分科会資料，H18.6.22
- 11) 原子力安全委員会：『放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について』 H16.6.10
- 12) 原子力安全委員会：『余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方』 H22.4.1

2.3 使用済燃料の中間貯蔵について

原子力発電所から発生する使用済燃料の最終処分については、再処理－高レベル廃液のガラス固化・貯蔵－地層処分という現在の日本の方針と、諸外国の多くで採用され日本でも近年議論されつつある直接（地層）処分方式(再処理を行わない方式)の2つの方式がある。いずれの方式を採用するにしても、そのプロセスに使用済燃料を中間的に貯蔵することを組み込むことにより、上記処分プロセスにフレキシビリティを与えることができる。なお、本章の「使用済燃料の中間貯蔵」とは、地上、地下の貯蔵施設において使用済燃料を燃料プール、キャスク等の設備に貯蔵期間を想定して（日本では50年程度であり、諸外国では、さらに100年以上の貯蔵を検討中の例もある。）、貯蔵する場合を指すものとし、最終処分場において、その閉鎖までの間、再取り出し可能な状態においておく場合は含めないものとする。

日本における使用済燃料の貯蔵量は、平成23年10月にIAEAに提出された日本政府報告¹⁾によれば、原子力発電所内に合計13,890t、独立行政法人日本原子力研究開発機構の施設内に145t、及び日本原燃株式会社の施設内に2,834tの合計16,869tである。

1) 使用済燃料の貯蔵方式

(1) 乾式貯蔵と湿式貯蔵

使用済燃料の貯蔵方式としては、乾式と湿式がある。乾式は、冷却方式としては自然循環方式によることから、冷却機能を動的機器に依存することがなく、このため、全交流電源の喪失等の事態に際しても冷却機能が失われることはない。東京電力福島第一原子力発電所には、金属キャスクを使用する乾式貯蔵設備があり、東日本大震災においても、貯蔵中の使用済燃料は安全に貯蔵されていたことが報告されている²⁾。

ただし、自然循環冷却方式を採用するためその冷却能力には限度があり、例えば、原子炉から取り出したばかりの崩壊熱の大きい使用済燃料の貯蔵には不向きである。また、使用済燃料をキャスク、キャニスタ等の内部に収納密封してしまうため、貯蔵中に使用済燃料の状態を確認することは難しい。

乾式方式としては、キャスク（輸送貯蔵兼用の金属キャスク、又はコンクリートキャスク）方式、米国において多用されている横型サイロ方式（NUHOMSとして知られる）³⁾、ボルト方式⁴⁾等がある。

湿式は、（原子力発電所や再処理工場に併設されている）使用済燃料プールと同様なものであり、冷却方式として一般には強制循環方式を採用するため、冷却機能を動的機器に依存することになる。しかし、使用済燃料の冷却能力

の制限は乾式の場合に比較すれば緩やかである（発電所の使用済燃料プールであれば原子炉取り出し直後の使用済燃料を直接貯蔵することが可能であるが、原子力発電所から独立した施設の場合には輸送等の制限がある）。原子力発電所から独立したプールによる使用済燃料貯蔵を目的とした施設としてはスウェーデンの CLAB が有名である⁵⁾。なお、使用済燃料プールでありながら、自然循環冷却方式を採用したゲスゲン原子力発電所の例もある⁶⁾。

(2) キャスクによる乾式貯蔵

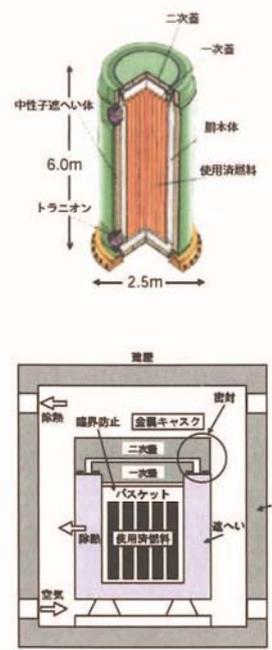
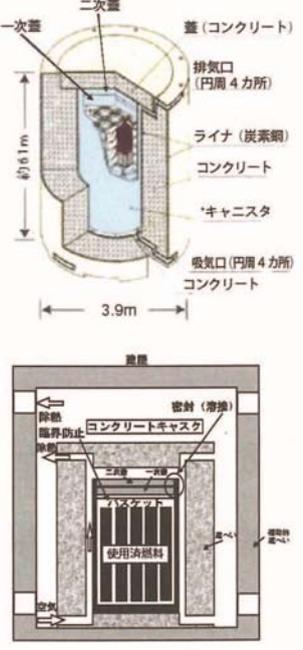
使用済燃料の乾式貯蔵方式としてキャスクを使用する貯蔵システムが多用されている。本システムは、金属キャスクを使用するシステムと、コンクリートキャスクを使用するシステムとに大別できる。それぞれの概要、特徴が表 2.3.2-17⁷⁾に示されている。

金属キャスクとして、輸送貯蔵兼用キャスクが使用される場合には、原子力発電所内の使用済燃料プールで使用済燃料がキャスクに装荷され、蓋締め、真空乾燥、He 充填及び所定の検査の後、貯蔵施設に輸送される。貯蔵施設においてはキャスクについて所定の受入検査が行われた上で、貯蔵が行われ、一定期間の貯蔵後、再処理施設等へ輸送される。このため、金属キャスクは B 型輸送物¹⁾として要求される安全要件を満足することが要求されており、貯蔵施設としての安全機能も、これら B 型輸送物としての安全要件を満足するキャスク本体の安全機能に多くを依存している。但し、輸送物としては要求されていない長期健全性（経年劣化への対応）及び、貯蔵施設としての安全要件が新たに加わることになる。後述する日本の貯蔵施設（リサイクル燃料備蓄センター）においても輸送貯蔵兼用キャスクが採用されている。

コンクリートキャスクは、使用済燃料を収納したステンレス鋼製のキャニスタをコンクリート製のキャスクに収納するものである。キャニスタの蓋部は一般には二重構造（一次蓋、二次蓋）であり、いずれの蓋も溶接することにより閉込機能（密封機能）が担保される。本方式は米国等で広く採用されている。

¹⁾ B 型輸送容器：原子力百科事典 ATOMICA には、「一般に、核燃料物質等を輸送する場合、これらを輸送容器に収納した状態で輸送するが、我が国の原子炉等法の定義によると、このように輸送容器に収納されているものを核燃料輸送物と呼ぶ。」、また、「輸送物は、内部に収納する放射能量により L 型、A 型、B 型に区分される。その規定量は、A 1 値および A 2 値として規則等により定められている。この値以下の量の放射性物質を輸送する場合は A 型輸送物、これを超える量の場合は B 型輸送物として取り扱われる。」と記載されている。

表 - 2.3.2-1 金属キャスクとコンクリートキャスク
 (電力中央研究所資料⁷⁾より掲載)

方式	金属キャスク貯蔵	コンクリートキャスク貯蔵
キャスクおよび貯蔵施設の概念例		
キャスク総重量	110 トン (PWR24体またはBWR69体収納時)	180 トン (PWR24体またはBWR69体収納時)
キャスクの主な機能	輸送・貯蔵兼用	貯蔵専用
密封機能	一次蓋、二次蓋とも金属ガスケット (蓋間圧力常時監視。外部への漏えいを実質無視できるように金属キャスク内部は負圧、蓋間空間は正圧。)	一次蓋、二次蓋とも溶接構造 (蓋間圧力監視なし。除熱性能の向上を期待する場合、キャニスタ内部は正圧。)
キャスクの遮へい機能	鋼、鉛、レジン、グリコール水の組合せ	コンクリート、鋼の組合せ (蓋にレジンを使用する場合あり。)
未臨界機能	キャスクバスケットの幾何学的配置及び中性子吸収材により未臨界を維持	
除熱機能	金属キャスク表面を自然冷却	コンクリート製貯蔵容器に給排気口があり、キャニスタ表面を自然冷却

注) 本表の例では、金属キャスク又はコンクリートキャスクを建屋内に貯蔵しているが、諸外国では、建屋を設けず、金属キャスク又はコンクリートキャスクを屋外で貯蔵している場合もある。

2) 日本における使用済燃料貯蔵

(1) 日本における使用済燃料貯蔵施設（リサイクル燃料備蓄センター）概念

「核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の第43条の4第2項に定める「使用済燃料貯蔵施設」としては、リサイクル燃料貯蔵株式会社のリサイクル燃料備蓄センターがある。

施設概要⁸⁾を下記に示す。

リサイクル燃料²備蓄センターの概要

- 施設の計画地点；青森県むつ市
- 貯蔵方式；乾式貯蔵方式
- 施設の建設；当初、3,000 トン規模の貯蔵建屋を1棟建設し、その後2棟目を建設。
- 建屋規模；約130m×約60m×（高さ）約30m（3,000トン規模の場合）
- 主要な設備・機器
 - ・ リサイクル燃料を搬入・貯蔵・搬出するための設備
 - ・ 金属キャスク
 - ・ 貯蔵建屋
 - ・ 金属キャスク取扱設備
 - ・ その他付帯設備（放射線監視設備等）
 - ・ 港湾施設
 - ・ 日本原子力研究開発機構関根浜港を使用予定
 - ・ 輸送道路
 - ・ 事務・管理棟

なお、最終的な貯蔵量は、約5,000トン、貯蔵期間は50年とのことである。

(2) 使用済燃料貯蔵施設の安全機能

使用済燃料貯蔵施設については、「閉じ込め（密封）」、「臨界防止」、「遮蔽」及び「除熱」の4つの安全機能と地震、津波等の条件下においてそれらの安全機能を担保するための構造強度が重要となる。

輸送貯蔵兼用の金属製乾式キャスクを使用する場合には、安全機能の多くをキャスクが担保することになるが、キャスクを建屋内に貯蔵する場合には、建屋側もキャスクと相まって安全機能を果たすこともある（例えば、使用済燃料の除熱はキャスクと建屋の双方の除熱機能が相まって達成される。また、遮蔽機能について、殆どの遮蔽機能はキャスクが担保するものの、キャスクを多数設置する場合、敷地境界における一般公衆の被曝線量を十分に低くす

² リサイクル燃料：使用済燃料

るために建屋側にも遮蔽機能が必要となる場合がある。)

また、貯蔵施設全体として、これらの安全機能が長期間（例えば 50 年間に渡り維持されることが必要である。

(3) 長期貯蔵及び貯蔵後輸送について

平成 14 年 10 月に当時の原子力安全委員会が「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全指針」⁹⁾を制定した。その中において「～使用済燃料貯蔵施設であって、使用済燃料集合体を事業所外運搬用の輸送容器である金属製乾式キャスクに収納して搬入し、別の容器に詰替えることなく貯蔵し、貯蔵終了後、施設外に搬出する(省略)。なお、本施設では、貯蔵期間³中及び貯蔵終了後に、収納された使用済燃料集合体の検査等のために当該金属キャスクの蓋等を開放することは想定していない。」旨を明記し、「使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」(第 63 回原子力安全委員会資料第 2-2 号)¹⁰⁾において、下記の要求を行っている。

- ① 事業者は、中間貯蔵後の輸送における金属キャスク及びその収納物の健全性確認の観点から、原子力発電所内での乾式貯蔵の状況調査等を継続的に実施し、長期健全性に関する知見の蓄積を図ること。
- ② 行政庁は、①を踏まえ、中間貯蔵後の金属キャスク及びその収納物の輸送に係る安全性を確保するための発送前検査として中間貯蔵施設の特徴を考慮した合理的な検査方法を定めること。

上記要求を受けて、「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」(平成 21 年 6 月 25 日 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵 WG. 輸送 WG)¹¹⁾が提出されている。

上記報告書においては、事業者から得られた知見(東電福島第一原発及び原電東海第二原発における乾式キャスク貯蔵結果(使用済燃料の目視確認等: BWR、米国アイダホ国立研究所の成果: PWR)、及び JNES、電中研あるいは諸外国のデータをもとに、使用済燃料、金属キャスク、バスケット及び蓋部について、健全性を確認するための手段とその根拠が記載されている。

上記の評価により、金属キャスクの蓋を開放して内部を検査することなく、長期貯蔵中⁴及び貯蔵後の輸送における安全が確保されるとしている。

³原子力安全委員会が審議において念頭においた使用済燃料の貯蔵期間はおよそ 40～60 年間

⁴本文章中に直接記載はないが、安全審査指針策定時の前提として、貯蔵期間として 40 年～60 年としている。(脚注 3 参照)

3) 諸外国における使用済燃料貯蔵等

(1) 米国の使用済燃料貯蔵施設

NUREG-1350, (2013-2014) によれば¹²⁾、米国内の商用発電炉の使用済燃料の貯蔵量は2012年12月時点で約69,000MTUであり、毎年約2,400 MTUずつ増えていくと見込まれている。認可された ISFSI(Independent Spent Fuel Storage Installation : 独立型使用済燃料貯蔵施設)は65施設である。

(2) ドイツの使用済燃料貯蔵施設¹²⁾

ドイツにおいては、2007年10月現在で15カ所の使用済燃料貯蔵施設があり、全て金属キャスク方式を採用している。うち、12カ所は、原子力発電所の敷地内の施設である。また、この他に高温ガス炉の使用済燃料の貯蔵施設がある。

(3) 使用済燃料貯蔵に係る諸外国の動向等

米国では、2010年1月に‘Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future’が設立され、2012年1月にDOE(Department of Energy)長官に対し8項目の勧告を行っており、その中において集中(Consolidated)貯蔵施設の推進を勧告している¹³⁾。

また、米国では、超長期(100年以上)の貯蔵を想定した、Extended Storage Collaboration Program(ESCP)¹⁴⁾が進行中である。ESCPは、Electric Power Research Institute(EPRI)が取りまとめ機関となり、NRC、DOE等米国政府機関、研究所、及び諸外国の研究機関の協力を得ている。

参考文献；

- 1) 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約 日本国第 4 回国別報告、平成 23 年 10 月
<http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/oshirase/2011/10/231024-3-1.pdf>
- 2) 福島第一原子力発電所乾式貯蔵キャスク 1 基目の点検結果報告、東京電力株式会社、平成 25 年 3 月 27 日、(東京電力㈱ホームページ)
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130327_05-j.pdf#search='%EF%BC%92%EF%BC%89+%E7%A6%8F%E5%B3%B6%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%89%80%E4%B9%BE%E5%BC%8F%E8%B2%AF%E8%94%B5%E3%82%AD%E3%83%A3%E3%82%B9%E3%82%AF%EF%BC%91%E5%9F%BA%E7%9B%AE%E3%81%AE%E7%82%B9%E6%A4%9C%E7%B5%90%E6%9E%9C%E5%A0%B1%E5%91%8A'
- 3) W.J.McConaghy, R.A.Lehnert,R.J.Deese
'Design and operation of large capacity horizontal concrete modular storage system for irradiated nuclear fuel',
<http://www.wmsym.org/archives/1988/V2/78.pdf#search='Horizontal+Modular+Storage'>
- 4) 'Interim Spent Fuel Storage Facility', Public Limited Company for radioactive Waste Management (PURAM)
<http://www.rhk.hu/en/our-premises/isfs/>
- 5) 'Clab' SKB 社ホームページ
<http://www.skb.se/upload/publications/pdf/ClabEng.8.3.pdf#search='CLAB+spent+fuel'>
- 6) Urs Appenzeller, 'External Spent Fuel Storage Facility at the Nuclear Power Plant in Gösgen', Technical Meeting (TM) on Spent Fuel Storage Options, IAEA Vienna, July 2-4 2013
[http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical Areas/NFC/documents/spent-fuel/TM-45455/Agenda-14-SWITZERLANDExternalspent fuel storage facility at NPP Goesgen Switzerland.pdf](http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical%20Areas/NFC/documents/spent-fuel/TM-45455/Agenda-14-SWITZERLANDExternalspent%20fuel%20storage%20facility%20at%20NPP%20Goesgen%20Switzerland.pdf)
- 7) コンクリートキャスク貯蔵技術－経済的な中間貯蔵実用化への挑戦－、電中研レビューNo.52(15 頁、表 1-3-1)、一般財団法人電力中央研究所、2006 年 2 月
<http://www.denken.or.jp/research/review/No52/chap-1.pdf>

- 8) リサイクル燃料貯蔵株式会社 ホームページ
<http://www.rfSCO.co.jp/company/business.html>
- 9) 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全指針」、原子力安全委員会、平成 14 年 10 月
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/shinsashishin/pdf/1/si029.pdf>
- 10) 「使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」、第 63 回原子力安全委員会資料第 2-2 号、平成 14 年 10 月
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/anzen/shidai/genan2002/genan063/siryo6.htm>
- 11) 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」(平成 21 年 9 月 24 日総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵 WG. 輸送 WG)
<http://www.meti.go.jp/report/data/g90924aj.html>
- 12) NUREG-1350, Vol.25 (2013-2014),Sec.5
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1350/v25/sr1350v25-sec-5.pdf>
- 13) Report to the Secretary of Energy, Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, Jan.2012
http://cybercemetery.unt.edu/archive/brc/20120620220235/http://brc.gov/sites/default/files/documents/brc_finalreport_jan2012.pdf
- 14) Extended Storage Collaboration Program (ESCP) Progress Report and Review of Gap Analyses, 2011 Technical Report, Electric Power Research Institute, Aug.2011
<http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001022914>

2.4 回収可能性

1) 可逆性と回収可能性

(1) 背景

処分とは放射性廃棄物の回収を意図せずに、ある施設または場所に廃棄物を定置することを意味するⁱ。しかし、多くの国では地層処分計画が実施段階に近づくとつれ、可逆性・回収可能性への関心が高まってきている。

可逆性・回収可能性とは、例えば 2007 年に開始された OECD/NEA の放射性廃棄物管理委員会(RWMC)が行った可逆性と回収可能性(R&R)に関するプロジェクト(R&R Project)において、以下のような定義をしているⁱⁱ。

- ・ 可逆性(Reversibility)：原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは検討しなおす能力
- ・ 回収可能性(Retrievability)：原則として、処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄体を取り出す能力

つまり、可逆性とは処分事業の計画の変更や決定の取り消しなどの選択ができることであり、管理や意思決定に関わる概念である。一方、回収可能性とは、定置した廃棄物を回収する必要が出てきた場合の技術的な概念である。可逆性を確保するためには回収可能性を維持する必要がある。

可逆性・回収可能性は、安全で、社会的に受け入れられる地層処分という最終的な目標に向けた長い工程を円滑に進めるために必要な概念として、多くの国において、法律や政策レベルで導入されている。例えば、米国、フランス、スイスなどの一部の国では、処分場を閉鎖するまでの操業期間中の可逆性・回収可能性の考え方を法令に明記している。一方、スウェーデンでは法令上の規定はないものの、事業者が設計に回収可能性を組み込んでおり、後述するように必要な回収技術の実証試験も行なっている。日本では、原子力安全委員会が安全規制の基本的考え方として、処分場の閉鎖に際し「それまでに得られたデータを追加し、安全評価の結果が妥当であることの確認を行う。また、その妥当性を確認するまでの期間は、高レベル放射性廃棄物の回収の可能性を維持することが重要である」ⁱⁱⁱとしている。次いで、エネルギー基本計画(平成 26 年 4 月)では、「我が国においても、現時点で科学的知見が蓄積されている処分方法は地層処分である。他方、その安全性に対し十分な信頼が得られていないのも事実である。したがって、地層処分を前提に取組を進めつつ、可逆性・回収可能性を担保し、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。」とした。さらに、最近では、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針

(平成 27 年 5 月 22 日閣議決定)において、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにするため、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、閉鎖までの間の回収可能性を確保するとの考え方を示した。

これらの要件を設定するに至る背景には、容易に回収できるようにすることを求めるというよりは、後戻り困難な意思決定を避ける、あるいは将来世代が意思決定に参加できるようにしておく、という社会的要請への配慮があったものと考えられる。人間が関与した処分場の管理から受動的な安全性の担保に移行する時点まで、すなわち施設を閉鎖する最終的な合意が得られるまでは回収可能性を残すという考え方が国際的なトレンドになりつつある。

(2) 回収可能性に関する考え方

回収可能性の目標は、将来社会が廃棄物の回収を実施する、あるいは回収したい意思を持つことを想定して、回収の実現可能性を保証することである。しかし、留意が必要なこととして、回収可能性を設計に組み込んだとしても、それが長期安全性を損なってはいけないという点があろう。

回収可能性の考え方を取り入れているどの国においても、長期安全性の確保を理由に処分場の閉鎖後に回収可能性を求めている計画はない。回収可能性を有した計画とする理由として、主に以下の4つの理由がある。

- ・ 将来に対する謙虚さまたは柔軟性、あるいは新しい考えや提言を受け入れる姿勢の尊重（科学および技術の進展の反映による処分システムの改善、廃棄物の資源としての有効利用の可能性などを考慮）
- ・ 安全のさらなる保証を提供、あるいは将来の不確かさに伴うリスクのマネジメント手段を提供
- ・ 元に戻せない「不可逆の」状態を余儀なくされることを嫌う人々の望みへの配慮
- ・ 可逆性と合わせ、利害関係者及び関心のある人々の意思決定への継続した参加の保証

また、回収可能性は閉鎖前の処分場が貯蔵施設と最終処分施設のハイブリッドとみなされる限りにおいては必要である、と一部では考えられている。

2) 事業の進捗と回収可能性の関係

処分事業が進み、処分場が最終的な形態、機能を備えるに従って、回収が次第に困難になっていくと考えられる。

- ・ 操業前段階：廃棄物は貯蔵施設で管理されているので、容易に回収することができる。
- ・ 操業段階：処分坑道・連絡坑道が埋戻されるまでは、基本的には定置するときと逆の動線により回収できるよう設計する、または実証することは可能だが、埋戻し後はアクセス坑道、処分坑道の再掘削が必要なうえ、地下水が処分孔に流入し緩衝材のベントナイトが膨潤することにより自ら加圧され締め固められるので、緩衝材の撤去の困難さや必要コストが徐々に増してくると予想される。また、アクセス坑道が埋め戻された後は、アクセス坑道の再掘削が加わり、さらに困難さやコストが増す。
- ・ 閉鎖後段階：閉鎖後しばらくは、アクセス坑道の埋戻し後と同様の方法で回収が可能であるが、遠い将来になるとオーバーパックの健全性が損なわれ、放射性物質が周辺の工学バリアや地層に移行していると予想されるため、作業者の安全対策を含め、より大きな回収の労力、コストがかかる。

前述の R&R Project では、事業の進捗と回収の容易性とコスト、受動的管理と能動的管理のバランスの関係を図 2.4-1 のように示している。地層処分施設の受け入れに関わる利害関係者の懸念には、万が一の場合に定置した廃棄物の回収が比較的容易に行えるのか、それでも安全を確保できるのかという点があろう。この図は利害関係者との対話において定性的な説明のために活用することを目的に開発されたコミュニケーションツールである。

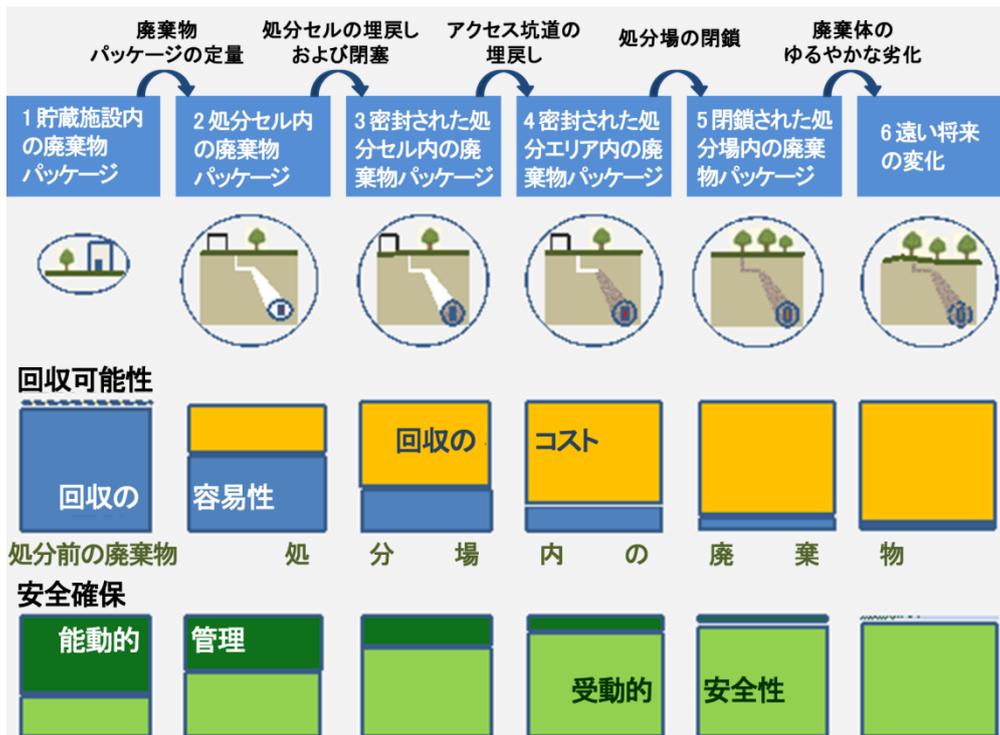


図 2. 4-1 処分の全事業段階における回収可能性の変化を表したスケール^{iv}

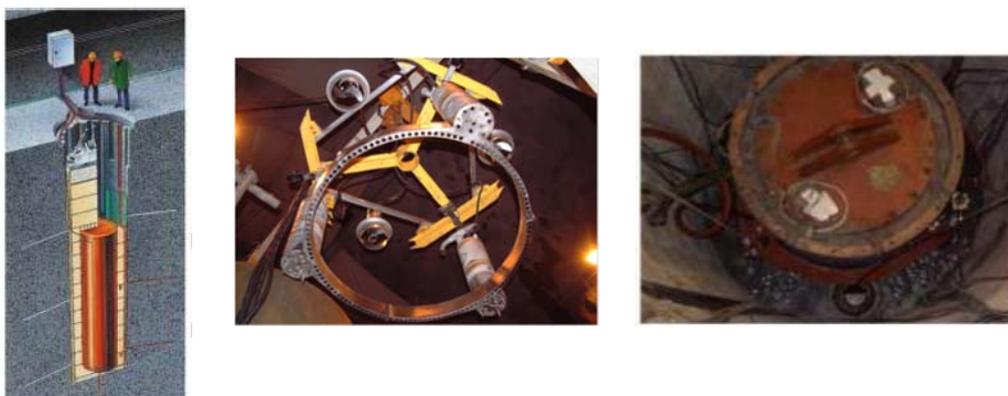
3) 海外における回収技術の研究開発動向

廃棄体の回収は、原理的に現状の鉱山技術やトンネル技術を応用することにより可能と考えられている^vが、各国において回収可能性の考え方や技術の机上検討が行われている。回収技術を設計に反映している国（フランス、アメリカ）、設計には反映せずに回収技術の実現可能性を示すことに焦点を当てている国（フィンランド、スウェーデン、スイス）などがある。また、スウェーデンでは、回収技術の試験を実施している。以下にスウェーデン、フランスの例を紹介する。

(1) スウェーデン

実施主体である SKB では、回収に必要な技術は基本的には処分のために用いられる技術と同じまたは類似と考えているが、特に膨潤した緩衝材に拘束されている廃棄体を解放させるための技術について、詳細な検討と実規模スケールでの実証試験を行っている。2006年にエスポ地下研究所において、処分孔に豎置きした使用済燃料を模擬した実規模キャニスターを対象に、緩衝材の再飽和・膨潤試験の後、キャニスターの回収試験を実施し成功している。採用された方法は、廃棄体回りの緩衝材を塩水によってスラリー化して除去するものである。図 2. 4-2 に示すようなリング状の装置で塩水を緩衝材にかけてスラリー化し、吸引して除去したのち、スラリーは遠心分離器で固

液分離され、塩水は再利用されている^{vi}。



左：試験装置の概念図、

中央：緩衝材スラリー化装置

右：緩衝材除去後の写真

図 2.4-2 スウェーデンで実施された回収試験

(2) フランス

フランスでは、2006年に放射性廃棄物等管理計画法が制定され、高レベル放射性廃棄物について「可逆性のある地層処分」を行うことを基本とし、可逆性を確保する期間を少なくとも100年以上(処分場の閉鎖段階までを意図)と規定した。「可逆性のある地層処分」の意味するところは、処分事業を段階的に実施し、各段階において様々な視点から処分場設計の変更や定置された廃棄物の回収が実施可能な、将来世代に選択肢を残す柔軟性を持つ処分概念であるとしている。

実施主体のANDRAが示したガラス固化体の地層処分概念は、地中に鋼製スリーブを設置し、その中にガラス固化体を挿入するものである。ガラス固化体は伸縮機構を有する定置ロボットでスリーブ内を搬送、定置される。搬送を容易にするため、ガラス固化体を収納するオーバーパックにはセラミック製のパッドが装着されており、廃棄体の回収はこの搬送・定置の動作を逆転することで可能と判断されている。

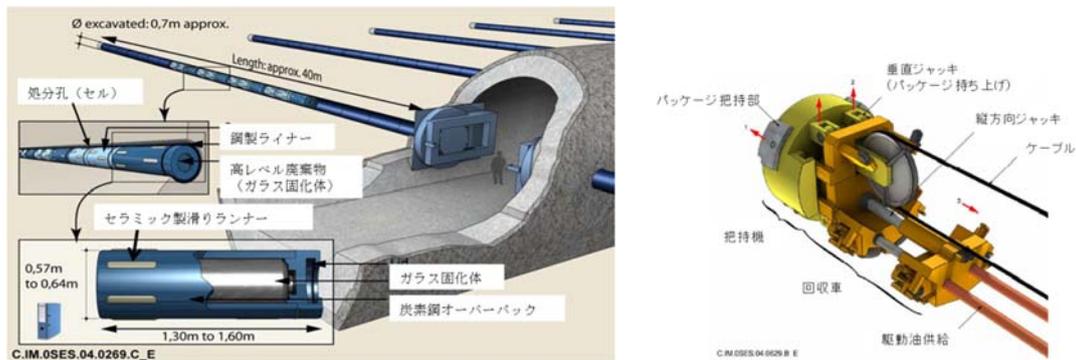


図 2.4-3 フランスの処分場概念（左）と回収用牽引ロボット装置例（右）
(DOSSIER2005)

4) 可逆性・回収可能性に係る今後の取り組み

最後に、使用済燃料の直接処分の場合を含めた、今後の可逆性・回収可能性に関する検討の取り組みのあり方について述べる。

前述の特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針では、最終処分に係る技術の開発に関する事項として、「最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査研究を進め、最終処分施設の閉鎖までの間の特定放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。」と述べている。閉鎖せずに回収可能性を維持する場合、例えば坑道の開放により酸化性雰囲気となることで閉鎖後長期安全性に与える影響や、支保等の劣化が回収作業時の安全性へ与える影響、回収可能性を維持するための地下水排水処理費用や支保補修費用等の事業費への影響等が想定される。今後、これらの影響について調査研究を進め、適切な坑道の埋戻し範囲、開放した坑道の維持補修方法や健全性を維持できる期間、モニタリング方法等の管理の在り方を検討する必要がある。また、フランスのように人工バリアや処分施設の設計に回収の容易性を考慮するのか、スウェーデンのように考慮せずに回収方法の技術開発に重点を置くのかについても検討が必要となろう。

使用済燃料の直接処分における回収可能性を検討する場合、大きく3つの追加的配慮が必要となる。1つめは核セキュリティ及び保障措置に対する考慮の必要性である。例えば、使用済燃料が敵対者により回収されれば、恐喝の材料または核兵器の材料に使われる脅威が増す。もし閉鎖前の観察段階において回収を容易にするために地下のアクセス坑道を埋戻さず開通したままにする選択をした場合、施設及び核物質を防護し、保障措置検査を実施する期間が延長されることになる。地下の検査体制やモニタリングシステムの維持のための必要な労力が相当大きくなる可能性があり、費用の検討も必要となる。2つめは、将来世代が使用済燃料を価値あるものとして回収しよ

うとする意図が生じる可能性である。閉鎖後においても回収可能性を維持することを求めている国は今のところないが、少なくとも、閉鎖後における将来世代が回収しようとする場合に備えて、モニタリングや記録保存でどう対応すべきかについての検討が必要となろう。さらに3つめとして、福島第一原子力発電所の事故を契機に地殻の長期安定性に関するリスクの取り扱いを再考する必要が生じると考えられるが、潜在的毒性を長期に有する使用済燃料の直接処分の場合、リスクが高まるといえる。リスクへの備えの一つとしての「回収可能性」も、今後の論点となる可能性がある。

日本学術会議の「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」(2012)において提言された「暫定保管」は、保管終了後の廃棄物の扱いを決定しない上での保管という点で、地層処分とは大きく異なる。しかし、超長期における安全性に関する不確実性への対応や最新の科学技術への柔軟な対応のために導入されてきた可逆性や回収可能性を含む段階的アプローチの考え方と基本的な思想は共通しているとも考えられる。「暫定保管」がその後どうするのかに言及しない考え方であるのに対し、可逆性・回収可能性は、将来における変更の可能性を処分システムに組み入れた考え方であると言えるのではないか。可逆性・回収可能性が、将来予見できないことも起こりうることを前提として、技術が社会に受け入れられるような仕組みの重要な一つとしてどうあるべきか、議論を深める必要がある。

参考文献：

- i; IAEA, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, 2001
- ii; OECD/NEA, Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel, 2001
- iii; 原子力安全委員会「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(第一次報告)」h1211月
- iv; OECD/NEA, 高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性 (R&R) , 2011
- iv; IAEA: TECDOC-1187, Retrievability of high level waste and spent nuclear fuel, 2000
- v; Äspö Hard Rock Laboratory, Retrieval of deposited canister for spent nuclear fuel, IPR-08-04, 2008

2.5 過去のトラブルから得られる教訓

2.5.1 福島第一事故の教訓

1) これまでに公表された事故調査報告書について

福島第一事故については様々な機関から調査報告書が公表されている。

- ・ 国会事故調：東京電力福島原子力発電所事故調査委員会報告書
- ・ 政府事故調：東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会報告書
- ・ 民間事故調：福島原発事故独立検証委員会報告書
- ・ 東電事故調：福島原子力事故調査委員会報告書
- ・ 学会事故調（日本原子力学会；以下、学会）：福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言
- ・ I N P O：特別報告「福島第一原子力発電所における原子力事故から得た教訓」
- ・ 大前レポート：「福島原子力発電所事故から何を学ぶか」
- ・ A S M E：「新たな原子力安全概念の構築を目指して」
- ・ カーネギー：カーネギー国際財団「Why Fukushima was Preventable」
- ・ S A防止検討会：原子力発電所過酷事故防止検討会報告書
- ・ 安全改革プラン：東電・福島原子力事故の総括および原子力安全改革プラン

以上の他、上記4つの事故調査報告書を比較・検証した日本科学技術ジャーナリスト会議の比較報告書、原子力安全推進協会（JANSI）の「福島第一事故を踏まえた事故調報告等の教訓（指摘事項）への特別会員各社の対応とJANSIの支援活動」、経済産業調査室の Issue Brief などがある。

特に JANSI レポートは冒頭 11 件の報告書のうち学会事故調を除いた 10 件の報告書から抽出した教訓（約 350 課題）を 50 の課題に整理集約し、分野毎に今後実施が望ましいと JANSI が考える検討課題をまとめた上で、教訓への対応に係る JANSI の支援活動（案）をまとめている。ここでは JANSI レポートから福島事故から得られる教訓を引用紹介した後、学会として抽出した教訓を紹介する。

2) JANSI レポートで紹介されている教訓

JANSI レポートでは、主要な課題を下記の 7 分野に集約している。

- ✓ 低頻度であるが影響が甚大な事象に対する安全確保のあり方
- ✓ プラントの状態に応じて柔軟な対応が可能なアクシデンタルマネー

ジメント（以下、AM）戦略

- ✓ シビアアクシデント（以下、SA）教育及び実践的な教育訓練
- ✓ 緊急時対応体制の構築と指揮命令系統の明確化
- ✓ より高いレベルの安全文化構築
- ✓ 過酷事故時の通信手段、資機材の確保
- ✓ 被ばく線量管理及び放射線管理

（１） 低頻度であるが影響が甚大な事象に対する安全確保のあり方

国内事故調の多くは、自然現象を含む低頻度であるが発生した場合に被害が甚大となり得る事象の安全評価とその結果に基づく対策が必要であることを強調している。海外においてはこのような状況に鑑み、今後に必要なと考えられる安全確保の枠組みが考察されている。今後の安全確保のあり方としては、主に深層防護の考え方に基づくべきとし、低頻度であるが影響が甚大となり得る事象にも対処できる体制のあり方にも分析されている。主な指摘事項は以下。

○低頻度であるが影響が甚大な事象の考慮について

発生頻度は低いが一たび起きると莫大な被害を及ぼす可能性のある「クリフエッジ」効果のある事象に関しては、その設計基準の定め方について特に慎重な配慮が必要である（国会事故調）。外的事象を考慮した総合的安全評価の実施及び、それを踏まえた SA 対策の検討・整備が必要である（政府事故調）。

想定外を無くす努力こそ必要、徹底した自然災害、人為的事象及び内部事象等による事故事象の想定と対策を規制機関、事業者は検討し、その仕組みを構築する（SA 防止検討会）。

稀な自然現象の発生可能性及び厳しさは予想が難しいので、単に伝統的な設計基準に立ち戻るだけでは充分でない、稀ではあるが起こり得る事象の発生確率の算定には不確かさが非常に大きいため、特にクリフエッジな取り組みが必要な事象に対して設計として決定を行うには、平均値に頼る伝統的な技法は十分でない（ASME）。

○複合災害の視点とリスク認識

原子力施設に対する外的脅威は常に変動する。自然災害のみならず妨害工作やテロ行為等の脅威を加えたあらゆる脅威に原子力施設が耐えるようにすべき（カーネギー）。日本は自然災害大国にも係らず、地震や津波といった外部事象を想定せず、運転上のミスや設計上のトラブルといった内部事象のみを想定した SA 対策を行ってきた。安全確保のためには外的事象をも考慮に入れた総合安全評価を実施し、設計基準を

大幅に超え、炉心が重大な損傷を受けるような場合を想定し、有効な対策・手順等を準備しておくこと（国会事故調）。

○確率論的リスク評価（PRA）の実施

施設の置かれた自然環境特性に応じて総合的なリスク評価を事業者が行い、規制当局側が確認を行うことが必要。必ずしも PRA の標準化が完了していない外的事象についても、事業者は現段階で可能な手法を積極的に用いるとともに、国においてもその研究が促進されるよう支援する（政府事故調）。事業者は重要事故シーケンスの抽出、グループ化を行い、それぞれの個別プラント毎に特徴を踏まえた PRA を実施し、対応を規制機関に報告する（SA 防止検討会）。

○全リスク評価と決定論的手法の統合

福島第一事故は大規模火災・爆発、極端な自然現象、継続時間の定まらないステーションブラックアウト及び内的故障の組合せといった事象に対しても防護される必要があることを示した。このような事象に照らして、フルスコープの PRA の使用を含め、SA の社会的、政治的及び経済的コストの損害を回避できるよう支援する、全リスクアプローチを実施することが基本的に必要。フルスコープリスク評価は、より大きな深層防護を達成するために、決定論的アプローチと結びつくべき。リスク評価と決定論的な深層防護のアプローチを統合する方法については、国際的に改善努力を継続するべきである。ただし PRA で全てが解る訳ではない（ASME）。

○深層防護のアプローチ

設計基準を超える事象において事象初期の具体的な事象進展は不明なことから、緊急時対応戦略は、深層防護のアプローチを用いた頑強なものとし、重要な安全機能を維持し構築するための複数の方法を策定し、多重化・多様化を図ることが必要（INPO）。

福島事故の背景として、深層防護の考え方の根本である防護レベルの独立性が十分に理解されていなかった。またリスクの評価結果に基づいて、プラントの弱点を明らかにし、対策を追加する必要があった（民間事故調）。

○深層防護の適用

規制機関は、広く専門家の意見を聞きつつ過酷事故の発生防止と、万一、発生した場合の影響緩和に関する根本原則（深層防護レベル4）を策定、事業者はこのための過酷事故対策の具体化を図り、常に緊張感を持って、その実効性ある実施に取り組む。規制機関は、レベル4の計画及び検査を規制対象とする（SA 防止検討会）。

○事故対策の検討のあり方

地震は考えられる限りの誘発現象を評価して対策を講じる、自然現象、火災、内部溢水、デジタルコンピュータの共通起因事象による故障、テロ攻撃を含めたあらゆる内部、外部、作為的事象に対し、これまでのような対症療法的（リアクティブ）ではない、先取的（プロアクティブ）な対応が必要である（国会事故調）。

○事故に対応できる体制

今回のような広域にわたり莫大な被害をもたらす事故・災害の場合には、発生確率にかかわらずしかるべき安全対策・防災対策を行政においても企業においても確立される必要がある（政府事故調）。これまで整備してきた対策が機能しないような事態を考慮し、危機・緊急事態発生時の対応計画を再整備し、影響緩和・被害拡大防止に向けた対策の強化、訓練による実効性の向上等に取り組む（東電事故調）。

以下の指摘事項については、各事故調の内容を基に JANSI がまとめた提言事項である。

(2) プラントの状態に応じて柔軟な対応が可能な AM 戦略

過酷な自然災害や長時間の電源喪失、複数号機での同時過酷事故発生及び長期にわたる事故対応等不測の事態（テロを含む）に備え、柔軟な対応が可能な AM 戦略を策定すること。また想定外の事態が発生することも考慮した対応手順書を整備し、実効性の検証を行うこと。

(3) SA 教育及び実践的な教育訓練

想定を超える過酷事故（テロ攻撃を含む）は起こり得るとの認識に立ったうえで、事故対応する要員に必要な知識・技量を持たせるための教育・訓練を実施すること。また危機・緊急事態発生時の対応の再整備を進めるとともに、影響緩和・被害拡大防止に向けた実践的な訓練による実効性向上を図ること。

(4) 緊急時対応体制の構築と指揮命令系統の明確化

複数号機が同時被災した場合を考慮した初期対応及び長期対応の緊急時対応体制の構築を図ること。また発電所長等の事故対応組織が事故収束活動に専念できるよう指揮命令系統の明確化を図ること。

(5) より高いレベルの安全文化構築

原子力安全の再確認、事業者責任の再認識、原子力の潜在リスクの見直しと問いかけ学ぶ姿勢の強化をあげている。

(6) 過酷事故時の通信手段、資機材の確保

多様な通信手段の確保、資機材の輸送手段の構築、瓦礫の撤去及びアクセスルートの確保、資機材搬入の中継拠点の明確化、また地域支援機材供給センターの検討などが必要である。

(7) 被ばく線量管理及び放射線管理

複合災害においても対応できるモニタリングシステムの整備、及びその測定結果を用いて放出源情報をすみやかに評価し発信できる体制整備。緊急時に備えた放射線管理体制の構築、発電所勤務者への放射線管理教育の充実、緊急時の線量評価システム整備。ならびに免震重要棟等の活動拠点の環境整備、設備・資機材の十分な確保が必要である。

上記主要課題の他に留意すべきその他の課題を事故調報告などから抽出している。

- ・ 情報公開とリスクコミュニケーション
- ・ 過酷事故の進展についてリアルタイムで更新できる予測解析ツールの準備
- ・ 過酷事故の技術的支援を専門とする組織の設置
- ・ 事故対応者の健康管理
- ・ 事故時対応における人的過誤（ヒューマンエラー）の管理
- ・ 事故時に数多くの情報から有益なものを抽出し共有活用できる仕組みの構築

3) 学会事故調が最終報告書で抽出した教訓

学会の事故調査委員会がまとめた最終報告書「福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言」の公開は平成 26 年 3 月になったこともあって、JANSI レポートには引用されていない。

学会は政府や民間において取りまとめられた報告書は原子力分野の専門家の関与が限られたことを踏まえ、原子力分野の専門家と学術的な専門として、福島事故を防ぎ得なかった反省に立ち、独自の事故調査委員会を立ち上げた。報告書の 8 章には事故の根本原因と提言がまとめられており、ここでは直接要因に関する事項としてまとめられた提言を引用する。

(1) 外的事象への対策の強化

- ・ 外的事象として想定すべきものは、地震、津波、火災（森林火災など）、強風（台風、竜巻）、洪水、雪崩、火山、氷結、高温、低温、輸送事故・工場事故、航空機落下などである。これらの外的事象に対する包括的な評価を行い、各プラントの脆弱性を把握し、それによりプラント

毎の対応を定めることを義務化。その際、不確かさへの備えから、PRAによる評価に加え深層防護により対処すべきである。

- ・ 外的事象に対して、クリフエッジの存在を把握し、安全機能などが喪失した場合のプラント挙動の把握とその対応についての検討を行い、見出した脆弱性に対して適切に対処すべきである。
- ・ テロなど人為的な要因に対しては、海外による知見を積極的に活用するため、国際的な検討に加わり、人材の育成をしつつ備えを強化すべきである。

(2) 過酷事故対策の強化

SA では想定したシナリオ通りには事象が進展しない可能性があるため、マネジメントとして事態に対応する柔軟な対応能力が必要である。この構成のため、演習などを通じた継続的な改善活動を行うべきである。

(3) 緊急事態への準備と対応体制の強化

(4) 原子力安全技術の高度化

- ・ 自然現象に対する予測の質を高めるため、自然現象の不確かさやプラントシステムの耐性の不確かさを考慮する確率論的安全評価の活用を優先的に取り組むべきである。
- ・ 耐震解析や津波電波と溯上解析については、常に最先端計算機性能を活用した数値計算技法を活用する方向を目指すべきである。一方で、自然現象の複雑さと我々のもつ知見の限界を認識し、シミュレーション技術の検証と適切な運用を心がけるべきである。
- ・ シミュレーションやリスク評価は、その適用にあたっての課題や限界を正しく認識することによって、安全評価に有効に活用することができる。これらを積極的に活用しつつ、さらにその技術に関して、完成度を高める努力、新しい知見を収集する活動、品質を確保する取組みを産官学が協力して進めるべきである。
- ・ 原子力安全評価技術における国際協力は相互に恩恵をもたらすものであり、積極的・継続的に取り組むべきである。

[参考文献]

- ・ 福島第一事故を踏まえた事故調報告等の教訓（指摘事項）への特別会員各社の対応と JANSI の支援活動 原子力安全推進協会 2013 年 12 月
- ・ 福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 一学会事故調最終報告書 日本原子力学会 2014 年 3 月

2.5.2 先行処分施設のトラブルから得られるもの

1) 米国廃棄物隔離パイロットプラントのトラブル

(1) 米国廃棄物隔離パイロットプラントの概要^{1),2)}

米国ニューメキシコ州カールズバッドの東方約 42km にある核廃棄物隔離試験施設 (Waste Isolation Pilot Plant、WIPP) は、DOE 管轄のロスアラモス国立研究所が運営する施設で、核兵器開発によって発生する TRU 廃棄物の地層処分施設である。WIPP は地上施設と地下処分施設から構成され (図 2.5.2-1)、1999 年 3 月に操業を開始し、ロッキーフラッツ、アイダホ等の国立研究所等から TRU 廃棄物が輸送され、これまでに 171,000 コンテナが処分されている。

火災事故や放射能漏れ事故が発生した 2014 年 2 月当時、地下処分施設では TRU 廃棄物処分坑道である第 7 パネルへの搬送作業が行われている一方、新たに第 8 パネルの掘削工事 (2013 年 8 月開始) が行われていた。

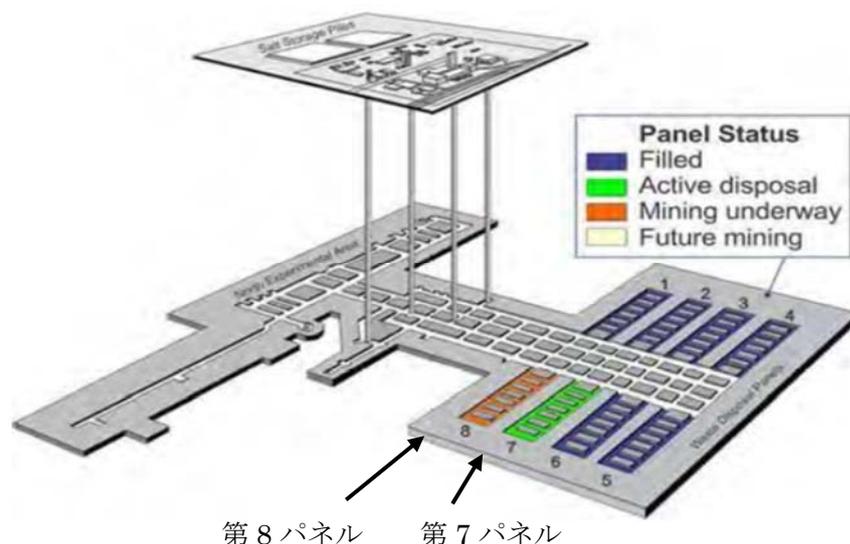


図 2.5.2-1 WIPP 施設概要図

(2) 岩塩運搬用トラック火災事故^{2), 3)}

①事故の概要

平成 26 年 2 月 5 日、新規 TRU 廃棄物処分坑道 (第 8 パネル) 建設のための岩塩掘削工事に係る岩塩運搬用トラックが火災炎上する事故が発生した。火災事故の概要は以下の通りである。

火災が発生した時刻は午前 10 時 45 分頃、地下処分坑道で岩塩を運搬中のトラック (ディーゼル車、最大積載重量 5t、製造後 29 年車) が炎上した (図 2.5.2-2)。トラックのエンジン部及び前輪タイヤが燃え、大量の煤煙が発生した (図 2.5.2-3)。エンジンオイルあるいは燃料油がエンジン部高温加熱部表面で触媒反動的に着火したと考えられている。

運転員は車載ポータブル消火器やトラック火災消火システムによる初期消火を試みたが失敗したため、構内放送で周辺関係者に通報した。通報を

受けた現場監督者は現場に到着し、大型消火設備による消火を開始したが、煤煙が蔓延し、さらに、一酸化炭素濃度警報器が発報した。作業員が火災の発生、煤煙蔓延を中央監視室に通報し、地下坑道作業員全員を脱出させるようにと伝えた。

午前10時51分中央監視室は緊急脱出避難警報を吹鳴させるとともに、PA構内放送（public address system）により全作業員に脱出・避難するよう指示した。午前11時35分、全作業員が脱出・避難したことを確認した。午後5時46分、第1坑内消防救助隊（MRT）が坑内に入り、一酸化炭素濃度測定、消化器による消火を行った（午後7時15分退去）。午後10時2分、第2坑内消防救助隊が坑内に入り、消防車による消火を行い、翌2月6日午前1時5分鎮火を確認した。

今回の火災により、処分坑道壁は燃え、岩塩壁は崩れ落ち、周辺の機械装置・電子機器は大きく損傷した。また、大量に発生した煤煙により坑道壁、機械装置、シャフト、廃棄物ホイストなど覆われ、HEPAフィルターが目詰まりした。

坑道作業員86人は全員避難することができたが、作業員8名が煙を吸入し、病院に搬送され、治療を受けた。火災事故に伴うケガ人は無かった。今回の火災により、WIPPの一部施設を閉鎖した。

②事故原因

事故の原因は以下のように考えられている。

・直接原因

岩塩運搬用トラックのエンジンオイルあるいは燃料油が車体高温加熱部表面（500度以上）で触媒反動的に着火した。

・根本原因

火災リスクの認識不足、可燃物の不適切管理、岩塩運搬トラックの不適切なメンテナンス管理など（図2.5.2-4、図2.5.2-5及び図2.5.2-6）。

・背後原因

火災防護対策不足、トラック運転員等の火災時対応訓練不足、火災時緊急避難対応計画不十分、点検指摘事項の未対応・放置。

③再発防止対策

再発防止対策として以下の項目が上げられている。

- ・ 岩塩運搬トラックの適切メンテナンス管理
- ・ 可燃物の適切管理
- ・ 緊急時の通報連絡等の整備
- ・ 総合訓練の充実
- ・ 緊急時避難通路の確保
- ・ 安全確保に必要な資金・人材・装置設備の確保
- ・ 人材育成（保安教育訓練など）

- ・ 放射性廃棄物処分操業作業リスク以外の一般操業に係わる作業リスク分析
- ・ 安全文化醸成 {原子力産業（放射性廃棄物処分作業）と鉱山業（岩塩掘削作業）との安全文化（装置機器の維持管理）の補正}

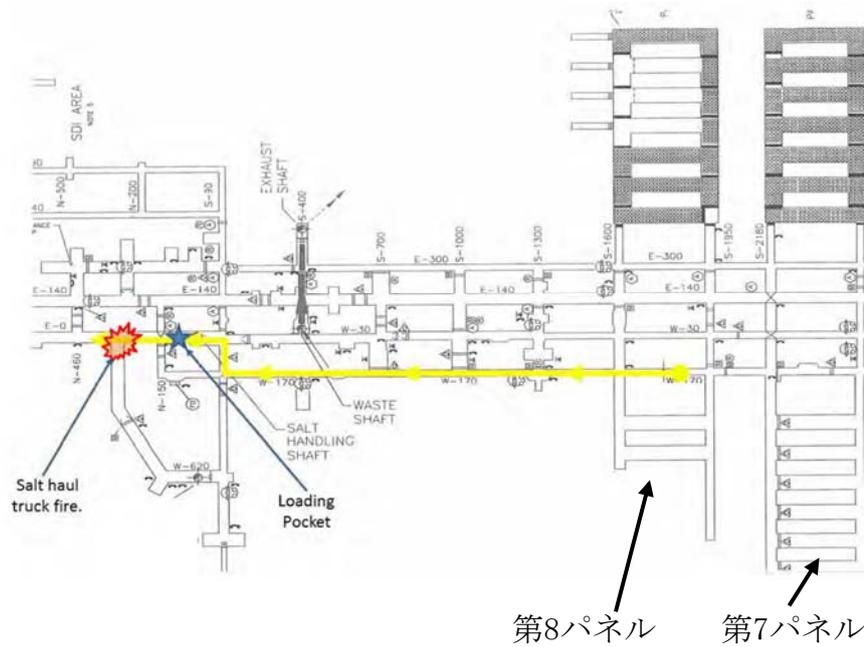
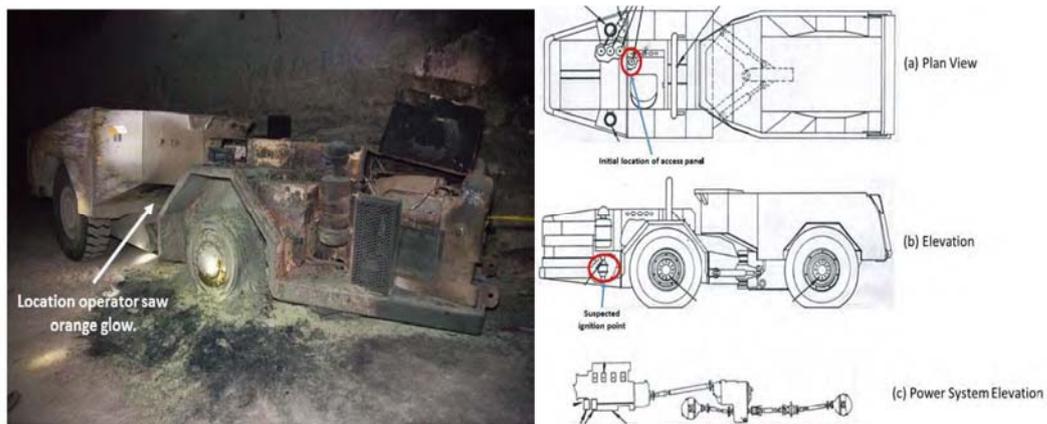


図2.5.2-2 岩塩運搬トラック発生場所（地下処分施設平面図）



(a) 外観写真

(b) 概略図面

図 2.5.2-3 火災を起こした岩塩運搬トラック



図 2.5.2-4 同型岩塩運搬車のオイル漏れ痕



Combustible Loading in the Mine

図 2.5.2-5 火災発生箇所周辺写真（可燃物散在）



Inset Shows Obstructed Reflectors

図 2.5.2-6 火災事故周辺写真（避難通路に障害物が散在）

（3）放射性物質漏洩事故

①事故の概要⁴⁾、⁵⁾

2014年2月14日（金曜日）23:14頃（山岳部標準時間）、ニューメキシコ州のカールスバッドにあるDOE放射性廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）の中央監視室（CMR）で放射能高警報を受信した。

警報は地下施設のTRU廃棄物パネルを監視していた連続監視モニター（CAM；図2.5.2-7）から発信された。



図2.5.2-7 連続監視モニター (CAM)

警報に連動して、地下換気装置 (UVS) が自動的に HEPA 捕集モードに切り替わり、汚染空気は二段の HEPA フィルタを通して大気に放出された。その時、地下には作業員はおらず、地上に 11 人の作業員がいた。

他の 2 人の CMR 運転員は 2 時間後にサイト外にいた運転責任者と放射能制御責任者に報告した。

その翌日 (2 月 15 日) 午前 7 時 15 分、HEPA 上流のモニタリングステーション A (図 2.5.2-8) のフィルタから TRU を示す 440 万 dpm のアルファ汚染を確認、午前 9 時 15 分には HEPA 下流側のモニタリングステーション B (図 2.5.2-9) のフィルタと排気出口のフィルタから、28000dpm のアルファ汚染と 5900dpm のベータ汚染を確認した。

その後の調査で、サイト外で微量のアメリシウムとプルトニウムが検出されている。



図 2.5.2-8 排気シャフト (HEPA 上流側) 及びサンプリングステーション A

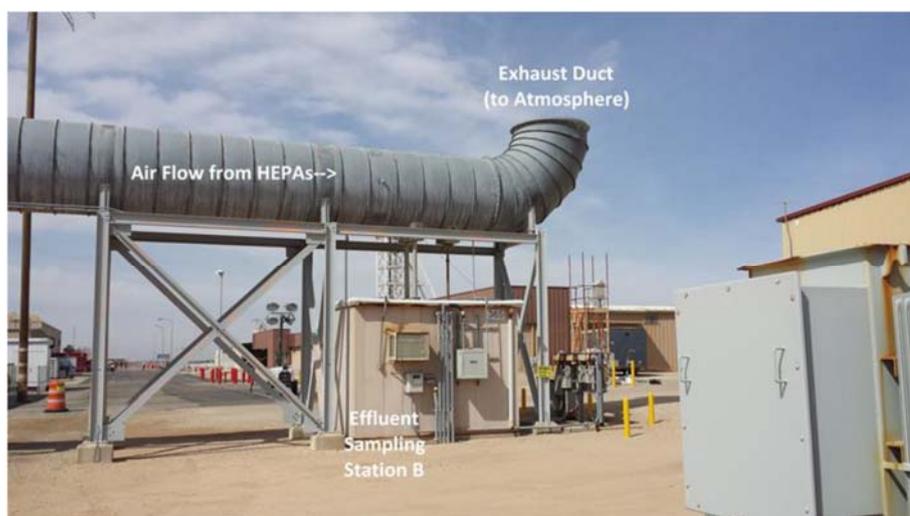


図 2.5.2-9 排気ダクト（大気放出）及びサンプリングステーション B

WIPP サイトの従業員 140 人は、予防措置として午前 9 時 34 分から午後 4 時 35 分まで室内に退避、その後必須でない人は解放された。その後の検査で、従業員 140 人のうち 118 人は汚染が検出できないレベル、残りの 22 人は 10 ミリレム以下の被ばく量で、胸部エックス線の被ばくと同じレベルであった。

②原因究明

直接原因；⁶⁾

調査委員会は、フェーズ 2 の調査でロスアラモス国立研究所の廃棄物ドラム No. 68660 内での発熱反応が今回の事故の直接の原因であるとし、それが熱暴走を引き起こした結果、ドラム内圧力が過剰となり、ドラムが破損、ドラム内の可燃性ガス、廃棄物、吸収剤等内容物の一部が WIPP 地下施設内に放出されたと断定した（図 2.5.2-10）。また、発熱反応については、火災解析や科学的分析の結果、ドラム内に存在した有機吸着剤、硝酸塩、トリエタノールアミン等による化学反応が原因である可能性が高いと結論づけた。



図 2.5.2-10 廃棄物ドラム No. 68660 の状況

尚、廃棄物ドラム No. 68660 から放出した物質により二次火災が発生し、第7パネル第7処分室内の第8列から第18列までの廃棄物ドラムに被害が認められた。特に、図 2.5.2-11 の青線で囲まれた廃棄物ドラムが大きな損傷を受けている。

第2列から第7列までの廃棄物ドラム（図 2.5.2-11 の黄色で囲まれた範囲）と第19列から第24列までの廃棄物ドラム（図 2.5.2-11 の赤色で囲まれた範囲）には、物理的な損傷は認められなかった。

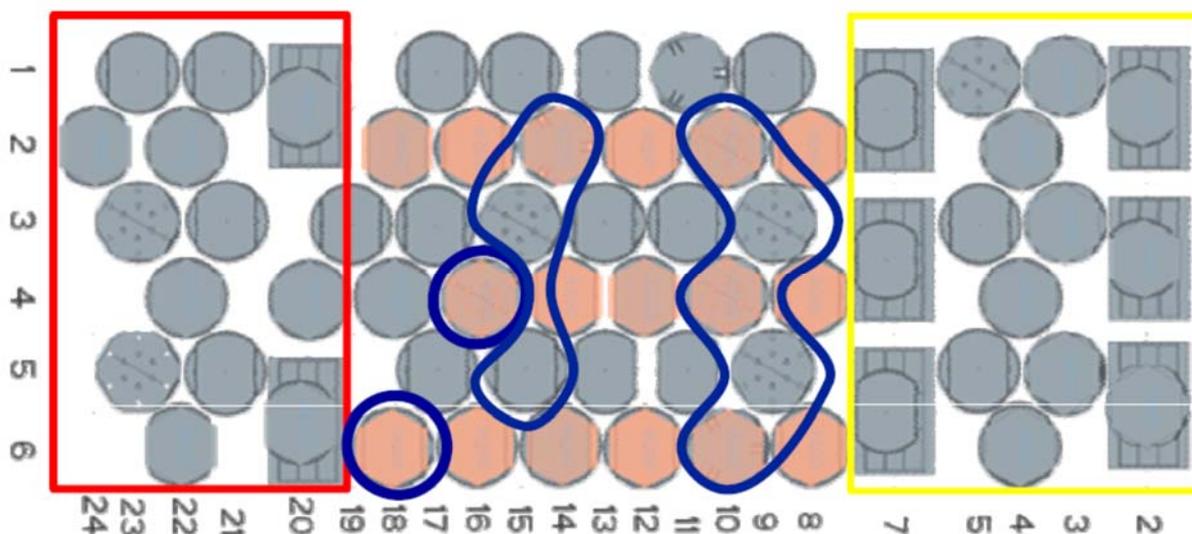


図 2.5.2.-11 第7パネル第7処分室内の状況

根本原因—再発を防止できる要因；

調査委員会はフェーズ1の調査の結果、地下施設から環境への放射性物質の漏洩の根本原因は、NWP とカールスバッド・フィールド事務所（CBFO）が放射線の危険性を十分理解していなかったためと断定した。また、換気システムの設計および操作性が不適切であり、安全管理プログラムや安全文化の劣化と合わせて累積的に影響したこと、漏洩の認識および対応が遅延し、効果的でなかったことが放射性物質の漏洩に繋がったとした。

換気システムの設計および操作性に関して（図 2.5.2-12）；換気システムのろ過部分は、二つの HEPA フィルターを通らずに環境へ排気するバイパスラインを隔離するダンパを有している。これらの隔離ダンパは、閉じ込めのバウンダリとして不適切で、HEPA フィルターシステムの全体的な効果を低下させている。このような状況であることを、請負業者、CBFO あるいは本部は WIPP の安全関係図書のいかなる改定や更新においても気づいていなかった。 具体的な問題は以下のとおり。

- ・ 隔離ダンパの漏洩に関する ASME の基準（漏洩クラス 0 又は I）を満足していない。(HEPA の除去効率 99.95% から許容される漏洩量 30cfm に対し 225cfm)

- ・ 地下の厳しい条件（塩分や水分）のために、10年程前からフィルトレーションモードで使用する860系ファンの自動起動に必要なダンパを開閉するアクチュエータが作動しない状態が続き、運転員の現場操作が必要な手動ダンパに交換していた。
- ・ 通常時開としている707系レギュレータの遠隔制御機能が1年に渡り不調で、フィルトレーションモードへ移行する際、運転員が手動で閉止する必要があった。
- ・ メインの排気ファン700Bは隔離ダンパーの起動装置の問題のために2013年5月から運転休止中。メインの排気ファン700Aはベアリングの問題で2014年1月から運転休止中。従って、通常時はメインの排気ファン700Cとフィルトレーションモードで使用する860系ファン（全3台）のコンビネーションで運転しており、地下の塩分や水分を含んだ空気が860系ファンやダンパ及びフィルタバイパスラインの隔離ダンパを通過するため、腐食やその他の問題を発生させた可能性がある。
- ・ 2014年2月14日の放射能漏洩警報後、フィルトレーションモードへの移行が問題なく完了した約15分後から、HEPAフィルタシステム内のMODフィルタ（除去効率60%のプレフィルタ）の差圧が上昇し、2月15日に「フィルタ詰まり」警報（通常差圧0.5インチ水柱に対し1.0インチ水柱）が発信。2月16日まで上昇し続け、1.65インチ水柱及び1.25インチ水柱で平衡状態となった。

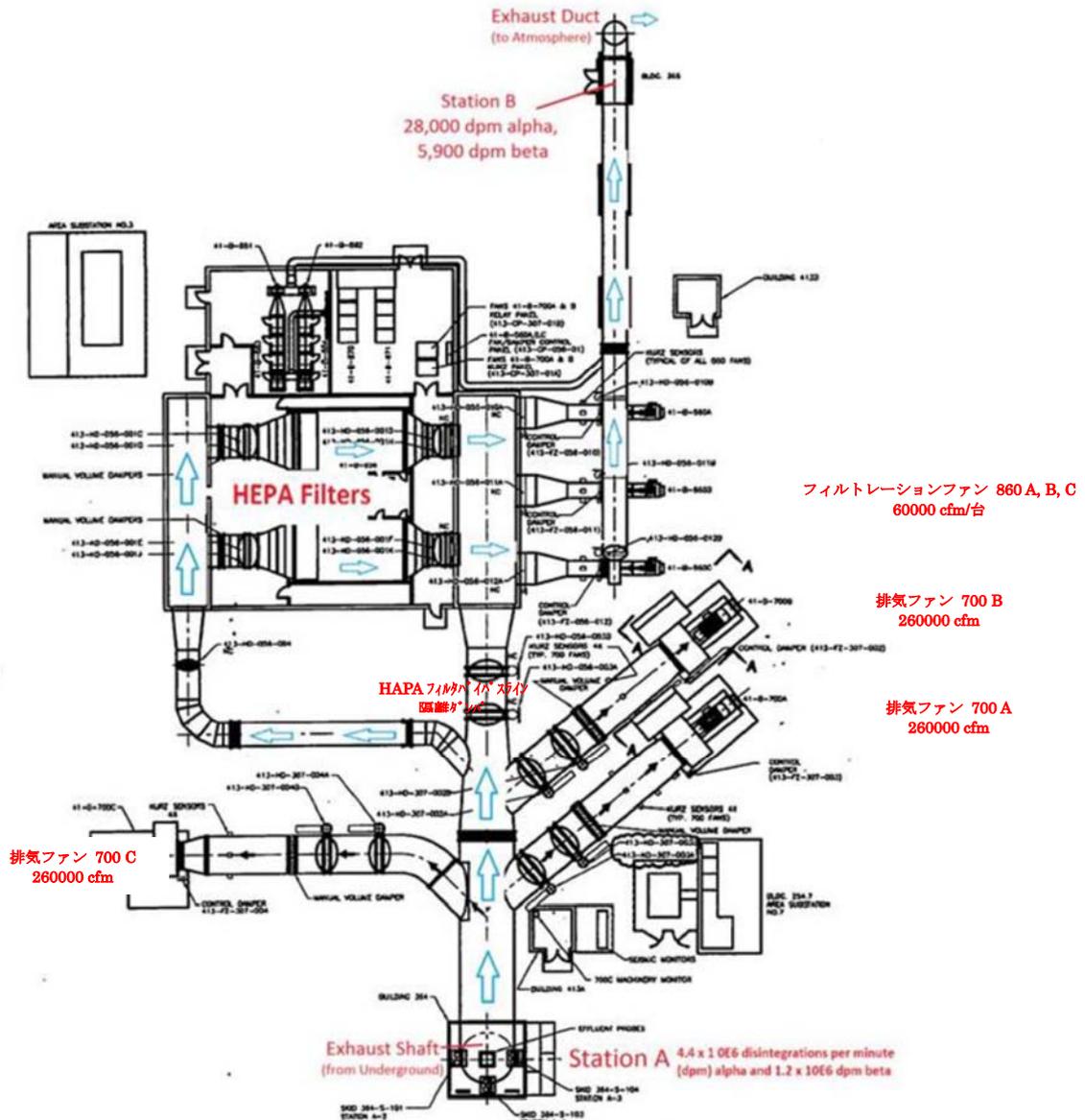


図 2.5.2-12 排気フィルタ建屋換気設備機器計画図

また、フェーズ 2 の調査結果として、根本原因を以下のとおりとし、今回の事故は防ぐことができた事故と結論づけた。

- ・ ロスアラモス国立研究所が、無機吸着剤の代わりに猫用トイレ/ゼオライト粘土吸着剤のような有機系吸着剤を用いて硝酸塩廃液処理を行った結果、可燃性廃棄物が生成されたが（その危険性に気づくことなく）それを処分場へ輸送し定置してしまった。
- ・ ロスアラモス現地事務所及びカールスバッド現地事務所は、ロスアラモス国立研究所の廃棄物の再パッケージや処理手順について、危険度を適切に制御することや、厳格なレビュー及び承認の実行に役立たなかった。

背後原因；

調査委員会は、フェーズ 1 の調査で、NWP の運転プログラムの実態が

DOE の基準に完全には準拠していない等、八つの補助的要因が環境への放射性物質の漏洩に繋がった、あるいは結果として発生したと断定した。

また、2014年4月23日に開催されたタウンホール・ミーティング⁷⁾でDOE カールスバッド・フィールド事務所 (CBFO) が示した復旧計画では、2014年5月までに原因の特定と再開計画の策定を行い、2014年6月から除染、換気能力増強などの安全対策、是正プログラムの実施などの安全プログラムの強化を行った上で、施設の操業再開に向けた独立のレビューを受けるとの予定が示されている。

2) ドイツ アッセ放射性廃棄物処分場 (アッセ処分場) のトラブル

(1) アッセ処分場の概要⁸⁾

アッセ処分場は、ドイツ ニーダーザクセン州のアッセⅡ岩塩鉱山の立坑施設にある。アッセⅡ鉱山では1909年～1964年まで岩塩等が採掘され、塩の生産は1934年3月31日で停止。131の地下空洞ができた。

1967年～1978年には、そのうち地下500～750メートルにある13の空洞に約126,000本の中・低レベル放射性廃棄物が入ったドラム缶と廃棄物パッケージを定置した。

1979年～1995年には高レベル放射性廃棄物の処分研究に利用され、その後利用は中止された。



図2.5.2-13 放射性廃棄物ドラム貯蔵 (1967) 図2.5.2-14 廃棄物ドラムの投棄 (1975)

(2) アッセ処分場の閉鎖問題^{9), 10)}

アッセⅡ鉱山は地盤が脆弱化して亀裂が入り、1988年には塩分を含む地下水が鉱山に流入していることが確認された。毎日1万2千リットルの地下水の流入が続いており、地下水が放射能に汚染され鉱山が陥没する恐れもあった。このため、立坑施設利用の中止後、その閉鎖が検討されてきた。閉鎖方法として次の三つの選択肢が比較検討された。

- ① 廃棄物の回収並びに別の場所での中間貯蔵及び最終処分
- ② より深い地下空洞への移設
- ③ 回収せず、特殊なコンクリートによる埋戻し

比較評価は、次の点に留意して実施された。

- ・ アッセⅡ鉱山の坑道の状態が不安定なため、いずれのオプションを講じるにしても時間的な猶予はほとんどない。
- ・ 既に定置されている放射性廃棄物のインベントリと収納容器の状態についての情報が不足していること。
- ・ 地下水（塩水）が侵入しているアッセⅡ鉱山の状態の推移を予測することは困難であり、原子力法で求められている処分場としての長期安全性の立証は困難である。

これらの留意点を踏まえて評価を実施した結果、②のより深い地下空洞への移設は、適切な処分エリアが見つからない場合のリスクがあるだけでなく、他のオプションよりも実施に最も時間を要すると判断された。また、③の特殊なコンクリートによる埋戻しについては、長期安全性が立証できるか否かは現状では判断できないとされた。

以上のように、いずれのオプションも不確実性を有しており、最良の方法と言えるものはないとした上で、今後浸水量の増加により鉱山に定置している廃棄物の状態が現状よりも悪化し、回収等の緊急対応が困難になる事態が発生する可能性が否定できないことから、ドイツ連邦放射線防護庁（BfS）は、廃棄物の回収を優先するオプションが最良であると結論づけた。また、最良のオプションとして選定された廃棄物の回収については、今後以下の計画などを検討していくとしている。

- ・ 実施可能な回収計画の立案
- ・ 処分坑道のデータを収集し、回収に係る不確実性を体系的に評価するための包括的方法を策定
- ・ 坑道の安定化に必要な技術的措置の実施
- ・ 浸水の影響を抑える緊急措置の実施

これらに加えて、BfSは、1970年代に中低レベル放射性廃棄物が試験的に処分された地下750mの処分坑道（第7処分室）まで掘削し、30年間にわたって廃棄物が閉じ込められてきた処分室の状態（処分室内部の空気の汚染状況、処分室及び廃棄物収納容器の状態、処分室内での地下水浸出の有無）を調査することにより、以下の事項を明らかにするとしている。

- ・ 回収作業により、作業員に対してどの程度の被ばくの発生が想定されるか
- ・ アッセⅡ研究鉱山内に定置されている約126,000体の廃棄物の回収には、どの程度の時間を要するか
- ・ 遠隔操作技術によって、どの程度の廃棄物を回収することができるか

また、掘削及び調査は以下の3段階の工程により進めるとしている。

- ・ 第1段階：処分坑道の一部の試験的な掘削及び調査

- ・ 第2段階：処分室の掘削
- ・ 第3段階：放射性廃棄物の試験的な回収

ドイツ連邦議会は、原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物処分の費用に関する連邦議会資料を公表し、この中でアッセⅡ研究鉱山の閉鎖措置については、2009年までに3億8,600万ユーロが支出されたこと、及び2010年から2035年までに20億8,500万ユーロの費用が発生する見込みであるとしている。

なお、BfSは、同庁のアッセⅡ研究鉱山に関するウェブサイトにおいて、今回のオプションの比較評価結果に関する情報を掲載した他、2010年1月18日にアッセⅡ研究鉱山が位置するヴォルフェンブュテルにおいて、閉鎖オプションに関する説明会を開催している。

3) 先行処分施設のトラブルから得られるもの

- ・ 火災等の災害防護対策の強化（リスク評価）

放射性廃棄物処分作業と一般産業（岩塩掘削作業）が同じ地下処分施設で共存することを十分認識し、各作業のリスクの洗い出しと対策を行う必要がある。特に、火災等の災害防護対策については、火災リスクを十分認識し、可燃物の適切管理、岩盤運搬トラックのメンテナンス管理などを充実する必要がある。

- ・ 安全文化の醸成

放射性廃棄物処分事業では、放射性廃棄物の搬入処分作業（原子力産業）と岩塩掘削作業（一般産業）が並行して行われる可能性があり、産業間の安全文化の相違を認識した上で、処分施設の安全確保を図る必要がある。

WIPPの放射性物質漏洩事故では、10年前に換気系の緊急時モードへの移行が当初計画の自動ではなく現場の手動操作に変更された事、メインの排気ファン3台中2台が長期間運転停止中だった事などは、いずれも地下施設からの塩分及び水分の影響によるものであったが、根本的な対策は検討されなかった。また、隔離ダンパの漏洩量がASMEの基準を満足していなかった事も判明しており、保安教育訓練などによる人材の育成も重要と考えられる。

アッセ処分場のトラブルでは、中低レベルの放射性廃棄物を試験的に処分開始した1967年からわずか20年で地下水の流入が確認されており、事前の調査内容と判断基準は、同様なトラブルを防ぐうえで参考になると考えられる。

- ・ 緊急事態対応計画の策定・試行・定期的見直し

放射性廃棄物の搬入処分作業（原子力産業）と岩塩掘削作業（一般産業）に係わる作業員の火災事故など緊急時の対応計画の策定、見直し、訓練による習得が必要である。

WIPPの放射性物質漏洩事故では、前述の換気緊急時モード移行を自動

から現場手動操作へ変更した件は、現在まで問題視されることがなかった事が指摘されている。

- ・地域住民の理解を得るための方策

DOE は地域住民の理解を得るため、事故後もカールズバッドで度々タウンミーティングを開き、事故の経緯や原因究明に関する検討状況等の資料やビデオ映像を用いて徹底した情報公開を実施。カールズバッドでは大規模な反対運動は起こっていない。一方、岩塩層を持つゴアレーベンは大規模な放射線廃棄物の最終処分場候補地だったが、アッセの汚染以降反対運動が激化し計画は白紙になった。

- ・運転段階の安全確保

処分廃棄物からの放射性物質の侵出による長期的な環境安全ばかりで無く、他の原子力施設と同様に処分施設運転時（廃棄物搬入作業、処分坑増設掘削作業）の作業安全など、運転段階の安全確保も重要な課題であることを認識する必要がある。

- ・十分な経営資源の確保

施設の安全確保を最優先とする経営方針の重要性の認識を長期的に維持するためには、社会としての注目度の変化に左右されることなく必要十分な経営資源を確保（人件費や点検費など）できる仕組みを用意しておく必要がある。

- ・技術的・社会環境的困難さへの認識

地下環境施設における放射性物質の漏洩等による汚染事故は、技術的に困難な地下処分環境の修復・除染作業を伴うこと、即ち高い代償を伴うことや社会環境的な困難さなどから処分施設の閉鎖に至る可能性を伴うことを認識する必要がある。

- ・社会体制の変更への対応

処分事業は長期にわたることから、社会体制の変更など予測不能な事態が発生することにも十分に備え、それに耐えうる仕組みを用意しておく必要がある。

参考文献；

- 1) 原子力百科事典 ATOMICA (<http://www.rist.or.jp/atomica/data/>) .
- 2) DOE 報告書「Waste Isolation Pilot Plant Recovery Plan、Revision 0」, September 30, 2014.
- 3) DOE 報告書「U. S. Department of Energy Office of Environmental Management Accident Investigation Report Underground Salt Haul Truck Fire at the Waste Isolation Pilot Plant」, February 5, 2014, March 2014.
- 4) DOE 報告書「U.S. Department of Energy Office of Environmental Management; Accident Investigation Report Phase 1, Radiological Release Event at the Waste Isolation Pilot Plant」, February 14, 2014 (April 2014)
- 5) U. S. Department of Energy Waste Isolation Pilot Plant (WIPP): CARLSBAD TOWN HALL MEETING, April 23, 2014
- 6) DOE 報告書「U.S. Department of Energy Office of Environmental Management; Accident Investigation Report Phase 2, Radiological Release Event at the Waste Isolation Pilot Plant」, February 14, 2014 (April 2015)
- 7) 原子力環境整備促進・資金管理センター 諸外国での高レベル放射性廃棄物処分 海外情報ニュースフラッシュ (2014年4月25日)
- 8) 連邦放射線防護庁 (BfS) アッセ II 研究鉱山ウェブサイト、
http://www.asse.bund.de/EN/1_Home/home_node.html
- 9) 渡辺富久子 (2013) アッセ放射性廃棄物処分場の閉鎖のための原子力法の改正 国立国会図書館、調査及び立法考査局
- 10) 原子力環境整備促進・資金管理センター 諸外国での高レベル放射性廃棄物処分 海外情報ニュースフラッシュ (2010年1月22日)

第3章 技術論を超える課題

3.1 総論—「技術論を超える課題」が意味するところ

1) はじめに

本章は、前章で検討した「技術論」、すなわち、直接処分の利害得失や技術要件、実現方法についての理工学的な検討から検討の範囲を広げ、人文社会科学的な検討を要する事柄、あるいは、広く社会的な議論を経た民主的な意思決定によって判断を下すべき事柄を具体的に列挙し、検討や議論、判断がなされるべき論点を整理して示すことを目的とする。

言い換えれば、本章では直接処分に関する「技術論を超える課題」が論じられることになる。

具体的な項目毎の検討は次節以降に譲ることとして、本節では、直接処分に関する「技術論を超える課題」を論じる上で踏まえるべきと思われる3つの基本的な考え方を示すこととする。

2) 直接処分の「トランス・サイエンス」的性質への深い認識

第一に挙げられるのは、高レベル放射性廃棄物（HLW）処分の極めてトランス・サイエンス的な性質は、直接処分について検討する際にも強く意識されるべきであるということである。

直接処分という個別的な方法の選択以前に、HLWの処分はそもそも、いわゆる「トランス・サイエンス」的問題の極致である。

「安全性」の基準設定問題をはじめ、「時間軸の長さの扱い」、「「実証」の困難性」、「リスクに対する基本的スタンスにおける溝の大きさ」などが関わるのがその理由である¹⁾。科学社会学者の松本三和夫はこれらの性質に鑑み、HLW処分の問題の本質は「無限責任の有限化」にあると指摘している²⁾。

HLW処分技術開発の50年以上の歴史的経緯の中で議論されてきたのは、狭義の「技術的」な課題だけではなく、「無限責任の有限化」の方法そのものでもあった。専門家たちは、(意識的であったかは別として)この極めて「トランス・サイエンス」的な問題に対処するために、さまざまな技術哲学的な判断を積み重ねてきた(例:OECD/NEAの1977年の報告書における「隔離」の必要性の立論と将来の社会変動についての見方³⁾)。

HLW処分方法として最有力視される「地層処分」とは、「無限責任の有限化」の方法の提案であり、ある技術哲学的な判断に基づく「考え方」(例:「最終処分」「隔離」「可逆性」「回収可能性」「性能評価」「セーフティーケース」等)の集合体でもあることを深く認識する必要がある。直接処分は地層処分の技術的なバリエーションの一つであることから、こうした個別の「トランス・サイエンス」的課題の多くは地層処分一般と共

通していると考えられる。

もちろん、直接処分の技術的な特徴が、それらの中のある事柄の社会的・政治的・経済的あるいは倫理的な問題性をとりわけクローズアップさせたり、あるいは、別の事柄をめぐるそうした困難を緩和したりすることは十分考えられる。しかし、直接処分が「トランス・サイエンス」的な問題であることそのものは動かしがたいであろう。「トランス・サイエンス」的な問題とはそもそも、そのように技術的問題とそれを超える問題が相互作用するような種類の問題を指すのである。

ここで大切なことは、HLW 処分の直接処分と使用済燃料再処理後のガラス固化体処分との違いはいわゆる技術的な差異であり、処分概念の検討や具体的な施設設計において専門家が最小限の配慮と変更を加えればよいとみてはならないということだ。両者の差異は、実は社会の価値判断と深く関わっており、思った以上に根源的な差異を生む面もある。

例えば、直接処分とガラス固化体処分は、何を「廃棄物」と捉え、何を「資源」と捉えるかについて大きな差異を生むが、この判断は簡単な費用便益分析などによって下しうるものではなく、原子力技術に対する社会の考え方、ひいては科学技術とリスク、そして将来の不確実性に関する世界観や価値観に深く関わる問題である。

しかし同時に、この判断は、両方の処分方式に対する技術的蓄積の違い、現状の知見における安全性についての評価結果の差異といった、狭い意味での技術的な情報によっても大きく左右されるし、これまでの政策やそれによって形成されてきた社会状況といった経路依存的な現実とももちろん深く関わる（これについては1章の各節も改めて参照されたい）。

このように考えれば、直接処分という HLW 処分方法について社会が議論を行い、検討を深め、判断を下すことは極めて複合的で境界条件の厳しい課題であり、それは狭い意味での技術的な評価や判断を大きく超える問題であることが深く認識されるのである。

HLW 処分の「トランス・サイエンス」的な諸問題に対して社会の協働を通して対処するためのコミュニケーションの問題については3.2節の各小節が、そこで議論されるべき倫理的な論点や、それらを適切に扱うための制度設計・運用については本章の3.3節が詳しい整理を展開する。

3) 社会からの低信頼という現実—求められる公正・公平性

次に挙げられるのは、とりわけ2011年3月の福島原発事故以降における、原子力利用や HLW 処分に対する日本社会全体の厳しい見方はそれから約6年を経た今日においても続いており、HLW の直接処分に関する議論も行われざるを得ないという現実を正面から真摯に受け止めるべきだという点である。

3.3.1 節で述べるように、そもそも直接処分は福島原発事故後の原子力政策見直しの

動きの中で、その日本における研究や実施の必要性・可能性が浮上したものである。核燃料サイクルの確立を政策目標とし、使用済み核燃料の全量再処理を前提としてきた従来の日本の原子力政策の枠組みにおいては、直接処分は具体的に検討すべき課題ではなかった。

そして、原子力政策の大がかりな見直しがなぜ行われたかといえ、それは明らかに福島原発事故を契機に、従来の原子力政策はその全体が不適切・不相当であるとの認識が社会的に共有されたからに他ならない。このことは同時に、そうした従来の政策を立案・形成・制度化・運用してきた原子力関係のアクターに対する社会からの信頼が大きく損なわれたことも意味する。

有り体に言えば、全量再処理路線はいったん、極めて強い社会的懐疑にさらされた。負の決定的評価（スティグマ）を背負った従来の方針に対する代替案が（再処理路線の縮小もしくは中止とそれに伴う）直接処分の実施であり、これについてその実現可能性を真剣に検討・追求することは社会から専門家に対する強い要求であったのだ。2017年3月の時点では、政府は全量再処理路線を改めて確認するに至ったが、このような経緯があったことは確認すべきだし、社会が原子力のバックエンドに向ける目線が厳しいままであることは何ら変化しないと考える。

また、法制度上、いわゆる直接処分の範疇に該当することが想定される高レベル放射性廃棄物として福島第一原発から取り出す予定のいわゆる「燃料デブリ」があるが、言うまでもなく、それは事故の負の遺産を象徴する存在であり、関連する議論は原子力災害がもたらした災厄と結びつけられざるを得ない。

したがって、直接処分をガラス固化体処分に比して次善であるとか、劣位にあるといった予断に立った議論は社会的にも、学術的にも許容されない。そうした予断なく、あらゆる可能性を考慮に入れた専門的な検討を行い、社会が判断に当たって考慮すべき両者の差異や、直接処分の実施を考える場合に特に注意を払うべき事柄などについて公正・公平な評価を提示し、社会が持つ選択肢を広げるのに資することが強く、求められている。

これはもちろん、こうした社会からの求めに対して安易に、表面的に歩調を合わせるように技術的・専門的評価を歪曲することを示唆するものでは決してない。

真に学術的な妥当性のみを依拠した評価に徹し、仮に動機が善意のものであっても、関係者個人が持つ特定の政策的意見・判断が分析や結論に決定的な影響を与えることのないよう、改めて肝に銘じるべきであろう。本章の各節は、各担当者がこの点に留意して筆耕したものであるが、それが十分であるかは、本報告書に対する社会のステークホルダーからのフィードバックを積極的に受け止めて、検証を続ける必要があると思われる。

また、本章では従来の政府の原子力政策においては重視されていなかったものの、特に福島原発事故後に社会の各ステークホルダーから問題提起や提案がなされた考え方、

すなわち、使用済核燃料の発生量制限の考え方（これは日本学術会議が提言した「総量管理」の考え方と重なる）や使用済核燃料の中間貯蔵の活用可能性についての検討についても、3.5.1 節と 3.5.2 節でそれぞれ論じられる。これらは政策的な選択肢を広げ、社会の多様なニーズに応える上で極めて重要性が高い論点である。

4) 社会と対話し、共創する姿勢の必要性

三つ目に挙げられるのは、本報告書の役割についての謙虚で真摯な態度を原則として繰り返し確認し、それを実際に堅持することである。本報告書は、直接処分をめぐる現時点の学術的知見や様々な事実関係を確認した上で、学会員や関連する研究者・実務家が HLW の直接処分に関して今後取り組むべき学術的・専門的課題を示すことと、社会に対してこの問題について検討や議論、判断がなされるべき論点を示すことに徹しなければならない。社会に特定の結論を押しついたり、推奨したりするものとはなり得ないのだ（なお、本学会に求められる役割については、3.4 節で省察がなされる）。

これらはいわば当然のことでもあるようにも思えるが、「トランス・サイエンス」的問題においてそのような立場を貫くことは実は容易ではない。「トランス・サイエンス」的問題は、その性質上、専門家の社会観・世界観・価値観・政治的意見などと学術的・専門的見解を明確に切り分けて議論することが難しいからだ。

学術的に客観に徹して検討や評価を行ったとしても、その含意から結論を導く際にそうした成分が影響を与えうることを自覚し、常に負の自己言及を意識しなければならない。客観に徹したと信じて行われた検討や評価であっても、他のステークホルダーからすると、特定の信条、考え方を前提にした立論と思われて疑念を呼ぶといった齟齬はしばしば発生している。

また、本報告書のような文書は、学術的な検討の結果を専門家自身が共有するとの趣旨のものとなる以上に、社会の他のステークホルダーに対して教え、諭すような趣旨のものとしてしまうことも少なくない。

こうした状況を踏まえ、本報告書は専門家自身の果たすべき責任や取り組むべき課題の確認と、社会に対しては関係する学術の現状を知らせ、社会的に議論されるべき課題や論点とそれらに対する専門的な解決策やその案を選択肢として提示することに第一義的な力点を置くよう、努めて抑制的な態度で書かれるべきであり、専門家がこれまで検討や議論を重ねてきた事柄を社会がそのまま受け入れるように訴えるものであってはならない。

特に、本章は敢えて技術論を超える課題、すなわち「トランス・サイエンス」的性質が強い問題に注目して論じる部分であることから、この点をひときわ強く意識する必要がある。特定の信条や考え方に基づく、まさに「技術論を超える」結論を他のステークホルダーに対して押しつけるようなものとなる危険と懸念は大きいのである。

これに対し、日本原子力学会の学術団体・専門家団体としての社会的な役割や責任、

また、その中に設置された研究専門委員会の報告書であるという本報告書の性質にも鑑みれば、本報告書は何よりもまず、学会員である原子力専門家、HLW 処分専門家が自ら取り組むべき課題を明確にし、それらに対する取り組み方を明らかにするべきである。

他のステークホルダーに対する発信は、最新の学術状況の報告、その上で考えられる選択肢や判断の材料となるべきデータ等の提示、協働や共考の呼びかけなどであるべきだ。他者に非が存在し、専門家コミュニティの考えの筋道や結論には誤りはないと断じたり、そのことを暗黙に前提としたりするような態度を取ってはならないのである。

この点に関して、3.5.1 節では、原子力事業の関係者がこれまで行ってきた、社会の各ステークホルダーとのコミュニケーションの努力をこうした観点から批判的に省察される。また、3.5.2 節では、社会の各ステークホルダー、特に一般市民が高レベル放射性廃棄物管理・処分問題をどう受け止めているかを調査結果に基づいて論じることで、こうした見方をより確かなものとするのが試みられている。

以下では、以上で述べた基本的な考え方に立って、「技術論を超える課題」についての具体的な検討結果を示す。

【参考文献】

- 1) 寿楽浩太 (2013) 「高レベル放射性廃棄物処分の「難しさ」への対処の道筋を探る——求められる知の社会的な共有と「価値選択」の議論」、『科学』、83(10)、pp.1164-1173。
- 2) 松本三和夫 (2009) 『テクノサイエンス・リスクと社会学——科学社会学の新たな展開』東京大学出版会。
- 3) OECD/NEA (1977) “Objectives, Concepts and Strategies for The Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes”.

3.2 コミュニケーションで解決すべき課題

3.2.1 関係者の努力と問題点

本節では、使用済燃料直接処分について考える上で、そもそも、このような問題が指摘されてきた根本原因ともいえる、我が国における原子力エネルギーに対する取り組みについて振り返ってみる。このような書き出しをすると、「わが国における取り組み」として、国の原子力政策を思い浮かべる方が多いであろうが、ここでいう「わが国」には政府に加えて、いわゆる「マスコミ」（最近の用語ではメディア）、次世代を育成する教育界、原子力事業を推進してきた事業者といった主体が含まれる。

多くの人びとがそうした様々な関係主体に身を置いていることに加えて、わが国が民主主義社会である以上、そうした直接の関わりを持たない一般市民も含めた誰もが、様々な機会に各自の意思を表明することでこうした「取り組み」に大なり小なり関わっているとも言える。

原子力利用を民主的に進めるためには、こうした多様な関わり方を持つ人びとが、自らの判断で主体的に意思決定し行動できることが大切である。そのためには、国や事業者といった直接の関係主体は人びとに対して積極的に、適時・適切な情報の提供を行うとともに、寄せられる意見に真摯に耳を傾けることが必要であろうし、人びともまた、原子力や放射線に関係する事柄を理解する基礎的な能力（リテラシー）を積極的に高め、国や事業者から発信された情報を理解した上で主体的な判断を行い、意見を表明できるようにしておくことが望ましいと考えられる。

こうしたコミュニケーションをめぐる環境整備とコミュニケーション実践の努力は、特に福島第一事故を経た今日において、いっそう重要性を増していると考えられる。こうした認識に基づき、本節ではこれら主要な関係主体で行われてきたコミュニケーションをめぐる努力の有無やその概要、そして今回の福島第一事故であぶりだされた問題点についておさらいする。

1) 国や事業者の努力

これまで、原子力関係者は一般市民との間で原子力に関するコミュニケーションを深める活動を全くやってこなかったわけではないことは、原子力施設立地自治体も含めて、関係各機関に広報組織¹⁾が存在し、原子力科学館の類が立地地域を中心に多数配置されてきたことから裏付けられる。

ただし、これらは原子力利用の正当性をアピールすることが主たる目的であり、例えば、事故時の対応に関する情報提供は全くないか、有っても限定的であった。またその手法は、主として報道機関を対象とした情報提供（プレ

スリリース) や TV コマーシャル、新聞広告、更には各機関の広報誌や展示館活動を通じた PA 活動、立地地域の自治体への情報提供といったもので構成されていた。つまり、一般市民と直接コミュニケーションを取るための努力が主流ではなかったのである。そういう意味では、国や事業者の一般市民が求めているものを理解する能力(国や事業者のリテラシー)が欠けていたとも言えよう。

もちろん、近年はいわゆる市民参加型と名うった公聴会形式の会合も都市部を中心に展開されてきている²⁾。しかしそれでも、こうした取り組みは「広聴」と名打っていても、いわば「お上が聞き置く」域を出ておらず、双方向コミュニケーションからはやや距離がある(ほど遠い)ものとの指摘もあり、あくまでも一歩前進といった段階と言わざるを得ないであろう。換言すれば国や事業者のリテラシーはまだまだ褒められるようなレベルには至っていないと言えよう。

処分事業においても、残念ながらおおむねこうした状況は共通しているものの、その事業の難しさからか、双方向対話の試行も含めた市民参加型の取り組みも、他の分野に比べて比較的積極的に行われてきたとは言える。

特に、法により事業主体とされた原子力発電環境整備機構(NUMO)においては、近年、有識者で構成されたアドバイザリー委員会のバックアップの下、年間 10 億円を超える資金を投入して処分事業の意義や、その進め方について TV コマーシャルや新聞広告も含めて、それなりの規模で広報活動を続けてきている(同社の Web ページで公開されている事業計画参照)。また、同社は一般市民の意識調査なども継続的に実施してきており、東日本大震災及び福島第一事故による意識の変化についてもそれなりに把握している。例えば、総合エネルギー調査会に提出された資料³⁾では、事故により放射性廃棄物処分問題への関心は増えたものの、処分方法への信頼度はあまり変化していない様子も把握している。

上記の例はいわゆる双方向型のものではないが、最近では NPO 法人を活用したワークショップ形式の双方向対話も始まっており、こちらは従来型の PA に比べて手間はかかるものの、国や事業者と一般市民の相互理解の向上という点において特筆すべきものが出てきているとの報告もある⁴⁾。

以上のように、これまで国や事業者においては、一般市民に対し、政策や計画の周知・理解の醸成等の「広報」の努力が払われてきたことは事実である。しかしながら、これまでの努力のほとんどは、あくまでも事業を進めるために「理解を得る」ことが目的とされ、その逆の方向はほとんど見られず、そのための「伝え方」という面での工夫に努力が集中されてきた。他方で、一般市民の意見に耳を傾けたり、あるいは、人びと一人ひとりが入手した知識や情報を

もとに主体的に判断することを支援したりするような取り組みは極めて手薄であったと言わざるを得ない。

国のエネルギー、特に原子力については、意図的か否かは別として、専門家にその判断を任せてもらっていたことは否定できない。事故が起こる前までは、それでも問題は大きくはなかったが、今般の事故により本当にそれでよかったのか再考する必要がある。とはいえ、非日常的な課題と言わざるを得ない原子力の問題について、これを専門としない一般市民に、常に考え続けて欲しいというのは、現実的ではないし、むしろ国や事業者が一般市民の疑問を適切に把握しそれを解決していく努力が求められるのではないだろうか。

福島第一事故を経た現在は、今後の市民生活に大きな影響を与えるエネルギー源の選択肢の一つとして原子力を考慮するか否かも含めて、一般市民に「我がこと」として捉えてもらい、その意見や判断に国や事業者が耳を傾けるべきなのではないか。

そのためには国や事業者が原子力利用のメリットだけでなく、内包するリスクについても、そのリスク低減策も含めて丁寧に説明すること、一般市民の意見に真摯に耳を傾けること、選別・加工せずに積極的に情報公開を行うことなど、一般市民が原子力に関する選択を「我がこと」と捉え、判断することを可能にするための努力を続けるしか無いように思う。

この様な活動の拠点として、事業者や研究機関が運営している科学館や展示館は有用であり、昨今、経済性、効率性の観点のみから、一部を除いてこれらの施設が廃止、削減されている現状は憂慮すべきことと考える。廃止するのではなく、むしろ前述の観点からその機能を補強していくべきではないだろうか。

本項の締めとして、3.11 以後の国の動き、特に当委員会の議論の中核である使用済燃料直接処分に関する最近の動向を見てみる。

核燃料サイクル政策について大所高所からの検討を行う任にある原子力委員会は、平成 28 年 5 月 17 日、特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画の改定及び関係行政機関等の活動状況に係る評価等を専門的かつ総合的観点から行うため、「放射性廃棄物専門部会」を設置した。これは、平成 27 年 5 月に改定の閣議決定がなされた「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」において、「関係行政機関、機構及び関係研究機関は、それぞれが実施する技術開発や概要調査地区等の選定に向けた調査の実施その他の活動の状況を定期的に原子力委員会に報告し、評価を受け、その信頼性を高めることが重要」とされたことに応えたものである。

この専門部会には、単なる行政評価を超える大局的で賢慮に富む検討が期待される。しかし、今回のレビューは数回の会合にとどまるとされており、原

子力委員会の機能縮小が行われた後とはいえ、いささか手薄であるともいえる。また、原子力委員会自身がかつて直接処分を可能にする研究・検討を開始するよう決定したことに鑑みれば、今回のレビューにおいてその観点での議論が十分に行われるか、注視する必要があるだろう。

上記の「基本方針」引用箇所直前には、「評価の継続性を確保するため」という文言がある。その見地からすれば、単発のレビューにとどまるのではなく、常に関係機関の活動に対して第三者的見地から適確な助言やチェックを続けていくことを期待したい。そのために人員や予算等の資源が不足する部分があるならば、本来は原子力委員会が政府に対してその拡充を要求しても良いはずである。

一方、経済産業省での政策見直しの動きにおいては、の総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物ワーキンググループ（増田寛也委員長）は、2013年から27回の会合を開き、議論を続けてきた。同ワーキンググループは、「現行制度の対象である高レベル放射性廃棄物及びTRU廃棄物の一部に関し、その最終処分のあり方、進め方について審議を行う」としている他「審議の大部分は、使用済燃料を直接処分する際にも適用可能となると考えられる。」としていたが、最近の議論においては直接処分についての議論はほとんどなされていない（会合の動画、資料、議事録は公開されている）。

なお、同ワーキンググループと対をなし、主に地層処分の技術面について検討を役割とする地層処分技術ワーキンググループ（朽山修委員長）も、この3年で17回会合を重ね（議事録他はこちらも公開されている）、地層処分の成立性の確認や「科学的有望地」の考え方や基準の検討などを行ってきたが、関連諸学会に委員推薦の協力を求めた際、日本地震学会から協力を受けられなかった。当時の地震学会会長は、原子力政策との間合い、ワーキンググループの独立性や自律性への懸念をその大きな理由に挙げており（加藤 2014⁵⁾）、放射性廃棄物問題を議論する際には専門家間であってもそうした難しさを無視できないことを再確認させたエピソードと言えよう。

原子力政策において、使用済燃料直接処分を選択肢のひとつにしようとする場合には、様々な政策上の調整や新たな施策が必要であり、関係省庁間、教育機関・研究機関間の適切な連携が極めて重要である。さらには政策に対する国民の理解のためのアウトリーチ活動及び関係者間のコミュニケーションを促進する役割も重要となる。政策形成・実施のプロセスにおいてこの点が十分に省みられることを強く希望したい。

2) いわゆる専門家について

こうした取り組みを構想する場合に重要なのが、いわゆる「専門家」の役割である。

一般に原子力の専門家と言うとどのような人たちを指しているのでしょうか。原子力が宇宙開発や海洋開発と並ぶ総合科学技術の一つであることは疑いがないと思う。即ち、機械工学、電気工学、化学工学といったいわゆる工学系の「技術者・研究者」は勿論のこと、物理、化学、生物学、等々の理学系の「研究者」もいるし、放射線医学を始めとする医学系の「研究者」や社会心理学といった分野の「研究者」もいる。

それぞれの専門家はそれぞれの学問分野を基盤として原子力に関わる様々な事項に関する研究・開発を行い、原子力学会や保健物理学会といった原子力分野と当初から関わりの深い学会だけではなく、社会心理学会といった、一般的には異なる分野と思われる学会をも活動の範囲としている。

このように、一言で原子力の専門家と言っても、実は非常に多くの分野の専門家の集団であり、さらに、その中には原子力について肯定的な取り組みをする人から、中立的、更には批判的な取り組みに打ち込んでいる人というように、立場も実に多種多様である。

このことは、逆に言えば原子力を専門とする人でも放射線や放射能に対する理解も一様ではないことを意味する。例えば、ICRP の勧告の内容を正確に理解している人は、ひと口に「原子力の専門家」と言っても実は多くは無いというのが実情ではなかろうか。

我が国では欧米諸国と異なり、事故時対応に関する ICRP の勧告が出された状況においても、福島第 1 事故のようなシビアアクシデント及びその際の放射線防護活動の有り方について、十分に議論を尽くして対策を立て、万全の準備をしておくことができなかったことは、今般の事故を経験させられた専門家集団として痛恨の極みと言うべきであろう。

実際に起きてしまったシビアアクシデントにおいて関係者がうろたえたのは、備えが無かったがゆえの、ある意味当然の帰結であったとも考えられる。これは、決して繰り返すことの許されない不備であったと言わざるを得ない。

深層防護の考え方（及びその延長としてのシビアアクシデント時の放射線防護の有り方）を、放射線の専門家を含め原子力の各分野の専門家が、原子力に共通する安全基本原則として徹底してこなかったこと、その結果原子力において最も重要であるとする安全について、原子力の専門家としての中身を伴っていなかったことは大いに反省すべき点と思う。

3) 一般市民の原子力に関するリテラシー

他方、一般の市民の側における、原子力や放射線についてのリテラシーを高める努力はこれまでどうであっただろうか。

原子力を専門としない、いわゆる一般市民の原子力に関する知識は、これまでは小中学校を始めとする正規の教育機関からはほとんど供給されてこなかった。人びとにとっては、原子力関係機関の広報活動を通じて発信された情報がほぼ唯一の源であったのではないか。そして、その内容は原子力事業者にとって都合の良い情報（原子力施設がいかに安全か、を強調する内容）に偏りがちであった。

こうした状況は原子力施設立地地域においてもそう大きくは異ならなかったと思われる。そうした関係機関からの「公式の」情報ばかりを受け取っていた地域住民は、施設の安定運転継続と共に、いわゆる原子力推進派と反対派のせめぎ合いの中からいつの間にか形成された「安全神話」⁶⁾に基づいた情報提供ばかりを受けることとなった。こうした状況においては、人びとが原子力施設の安全を当然で確実なことと理解しており、日常的に万一の場合に備えることや心の準備を求めるのは、およそ無理であったと考えられる。

今から振り返った理想論として言えば、事業者を始め、国や自治体は地域住民に対して原子力の潜在的危険性を真摯に説明し、その危険性が顕在化しないための事故防止策及び万一事故が発生した場合の緩和策等の安全対策、万一のための防災対策を構築し、説明し、十分な定期的防災訓練も行い、地域住民の理解納得を得るべきであった。

施設立地を最優先とせざるを得ない状況がこうした望ましい状況を実現する妨げとなっていたのであれば、そのことは猛省されるべき事柄である。

また、事業者自身も（いわゆる反対運動から出される批判を意識する中で）自らが発信した情報が作り出した「安全神話」に自ら惑わされ（あるいは引きずられ）、いわゆる想定外事象への備え（深層防護の第4層のブラッシュアップ）を怠っていたことが、結果として今回の事故につながり、また、その帰結をより大きなものとしたことは、既に事故報告書等、様々なかたちで指摘され、批判されてきたところである。

一般論として、原子力に関わる情報は一般市民の日常生活からかけ離れたものである。原子力立地地域の人びとは、地域にとって際立って非日常的イベントである立地当初には強い関心を払い、事業者や自治体、さらには反対の立場の方々から提供される様々な原子力関係情報に耳をそばだてていたかもしれない。しかし、その時期（施設の建設から運転開始時期まで）を過ぎ、施設の安定運転が継続されればされるほど、皮肉にも人々の関心を呼ばなくなってしまった可能性がある。結果として、唯一の情報源であった事業者や地元自治体が配布する原子力関係のパンフレットや情報誌、さらには原子力に警鐘

を鳴らす立場の人達が発信した情報すらも、人びとの関心を持たれなくなっていたのかもしれない。

もちろん、関係機関から安全を強調するばかりの資料を見せられていた状況を考えれば、地域住民の人びとが意識的にこれらの情報に目を通し続けていたとしても、その内容には今回のような原子力災害に対する具体的な備えを的確に示すものはなく、有効な備えとして機能しなかったであろうことに疑いはないだろう。

社会システムデザイナーの横山禎徳氏は「原子力、生命科学、情報科学には経験則が未だ存在しない故に基礎知識なしに専門外の者が理解したような気分になれる分野ではなく、それ故に専門知識を持たない一般国民は情緒的判断に走りがち」と指摘している⁷⁾。しかしながら、専門知識を持たない一般国民が「情緒的判断」に走るかどうかは一概には言えないという指摘や、「情緒的判断」が結果として安全確保の上で正しかったと言うことも有りうることを考えると、専門知識の有無と災害時の行動の適否はリンクしないのではないかと考えられる。

むしろ、先般の事故の最中においては、原子力の専門家すらも冷静な判断が難しかったことを思い起こせば、放射線の有用性や、原子力施設の安全性を繰り返し学習して貰ったとしても、それが「情緒的」ではない判断を促し、今回のような原子力災害における冷静で適確な対処につながったと考えることには無理があると考えられる。先般の事故においては、一般国民よりも、これを守るべき国のリーダーとそれを支える人たちが混乱したのは記憶に新しい。

一般市民の人びとが原子力や放射線についてのリテラシーを高め、主体的な判断を示すよう促すことはむしろ、大局的な政策判断を民主的に行う場合や、防災活動における積極的な協力を得る場合においてこそ、特に重要であり、正当なものであろう。

逆に、危機管理の場面では、まずはそれ以上に国民を守るべき国のリーダーやそれを支える仕組みをより確かなものとし、人びとに適時に適切な情報を提供するとともに、所要の措置を確実に講じられるようにすることの方が先決なのではないか。

従来はこのような切り分けが明確に意識されず、また、市民の側のリテラシーの向上のゴールを、推進側が掲げる方針への理解の増進に置いていた可能性がある。前述のように、リテラシー向上を促す努力は、「我がこと」と捉え、主体的な判断を行ってもらうために行われるべきものであり、特定の方針への賛成を促したり、リーダーや専門家の役割を肩代わりすることを求めるものであったりしてはならない。今後はこうした反省の上に立った取り組みが求められる。

4) 学校教育上の問題

ところで、人びとのリテラシー向上を促す努力として主要なものには学校教育が挙げられうる。そこで、学校教育における原子力、放射線関係の学習の扱いについてもこれまでの状況を確認する。

我が国においては、詰め込み教育への反省もあって、40年ほど前から小中学校の授業時間が削られるようになったが、この中で特に理科が軽んじられる傾向となっていたと指摘されている(2014年1月9日付の読売新聞によると、中学生の理科の教科書の分量は2002年時点で1962年の半分以下にまで減っていたとのこと)。とりわけ、放射線も含めた原子力に関する教育については、30数年前までは中学校で行われていたようであるが、⁸⁾1977年の学習指導要領の改定により放射線が除外されたこともあり、その後は(それが受験問題に出されないのも一因という説もあるが)充実した補助教材まで準備されている地域であっても、中学3年の3学期の終わりに、時間があればやる程度のごく軽い扱いとされており、事実上ないがしろにされてきたとの批判がある。

さらに、近年では、「ゆとり教育」と言われつつも、それを実行する教員にとってはむしろ負担増になっていたことという問題もあり、そのような状況の中で教科書以外の教材を使った授業を求めること自体、無理難題と言える状況だったのかもしれない。

原子力学会ではこうした状況を憂慮し、20年ほど前から初等・中等教育(小・中・高校)の教科書のエネルギー、原子力、放射線関連記述の調査を行う専門の委員会を設けて、不適切な記述を指摘するとともに、資源・エネルギー・環境を柱として教科書の内容充実を図って欲しいとの働きかけを、文部科学省をはじめ関係各方面にわたって行っている⁹⁾。

この働きかけが功を奏したのか、平成14年8月に「原子力・エネルギーに関する教育支援事業交付金交付規則」が施行された。これは国が都道府県に対し「予算の範囲内において、当該都道府県が主体的に実施する原子力・エネルギーに関する教育の推進及び高等学校における原子力人材育成の推進に要する費用の全部又は一部に充てるための交付金を交付する」もので、原子力に関わる教育について、学校教育を側面から支援する性格を持っている。これは学校教育の本筋ではないかもしれないが、国が原子力に関わる教育を見直す姿勢を示した点で注目すべきと考える。とはいえ、このような動きが福島第一事故前の理解促進活動の一環として行われたことは否定できず、意図したか否かは別として「安全神話」を補強していた側面が無いとは言えない。

学習指導要領(レベルで)の見直しは、後述するように平成20年の学習指導要領の改定時まで待たねばならなかった。福島第一事故がその改定作業の

最中に起ったことは歴史の皮肉とも言えるかもしれない。

先般の事故に伴う放射線への恐れや心が痛む遠隔地避難、農林水産物に対する風評被害の要因としては、放射線に関する知識不足だけではなく、「科学的に正しい情報」を発信するはずの専門家の信用が、事故により既に地に落ちていたという状況や、被災者の家族の安全や健康を願う心理が絡まっているものと考えられる。したがって、国民の放射線リテラシー向上だけでこれらの諸問題が解決するとは思えないが、より冷静な行動に導く一つの手立てにはなるのではないかと考える。

加えて、このような事態の再発を防ぐためにも、事故時の食品安全基準、被ばく防護基準等を事前に明確に定め、発災後は安易にそれをゆるがせにすることがないようにすることも必要と考える。

このような状況の中で、事故後にはなったが、平成 20 年度の学習指導要領の改定の結果として、例えば中学校で平成 24 年度から放射線について教えることになった（前掲の新聞記事でも 2012 年時点で 1962 年レベルまで教科書の分量が回復したことが指摘されている）ことは特筆すべきことと思う。

国レベルの動きと並行して、例えば福井県環境・エネルギー懇話会では平成 13 年頃から小中学校での放射線教育に対する取り組みを行ってきている¹⁰⁾等、前記の文科省の「教育支援事業交付金」の効能かも知れないが、原子力立地点において、学校の外からリテラシー向上に向けた取り組みが生まれている。また、今般の原子力災害の中心的被災地である福島県においては、国の支援を受けながら、独自に放射線等に関する教育に取り組んでいることも付記しておく。

原子力は、とりわけ資源小国である我が国においては、現代におけるエネルギー選択の中で基盤として重要なものとして位置づけるにしろ、別の立場に立つにしろ、いずれにしても我が国の有り様と併せて将来を担う子供たちがエネルギー問題を考えるために必要な情報の提供をする仕組みを整備すべきと考える。

参考文献；

- 1) 例えば、原子力委員会「政策評価部会」第 17 回資料第 2-2 号：原子力発電関係団体協議会会員道県における原子力広報事業概要一覧（平成 18 年度）
- 2) 例えば、原子力委員会政策評価部会の「原子力政策大綱に示している原子力と国民・地域社会の共生に関する取組の基本的考え方の評価について」2007 年 11 月 20 日
- 3) NUMO が総合エネルギー調査会第 2 回放射性廃棄物小委に資料 2 として提出した「広報活動効果測定」他

- 4) 私たちの地域づくりから学ぶ持続可能な未来への一歩 ; NPO 法人持続可能な社会をつくる元気ネット 2013 年 9 月 1 日
- 5) 放射線廃棄物地層処分ワーキンググループ設立を巡って-日本地震学会からの回答と考え方-加藤照之 科学 2014 年 2 月 vol. 84No. 2
- 6) 2012 年 6 月 9 日日本再建イニシアティブと東京大学主催のシンポジウム「日本再建のための危機管理」における北大鈴木教授と東大松本教授の対談「絶対安全神話：なぜ危機は語られないのか」における鈴木教授の論 (Business Media 誠 掲載記事)
- 7) 2013 年 10 月 22 日第 2 回原子力安全シンポジウムにおける横山禎徳氏の講演資料
- 8) 第 12 回原子力委員会資料第 1-2-2「学校における放射線教育」田村隆一 2010 年 3 月 9 日
- 9) 例えば、三菱重工の Web ページ「原子力のページ」2009 年秋号 vol. 79 ; 九州大学特任教授 日本原子力学会副会長(当時) 工藤和彦
- 10) 例えば、福井県環境・エネルギー懇話会 エネルギー教育 先生のためのセミナーレポート第 1 回～第 13 回

3.5.2 受け手側の視点 ～人々は何を心配しているのか？～

日常生活の経験からも分かるように、「コミュニケーションがうまくいかない」「理解してもらえない」といった問題の原因は、情報の送り手、受け手、媒介者すべてに責任がある。しかしながら、圧倒的な情報格差・知識格差がある問題では、まず送り手側が受け手側や媒介者のニーズや特徴を踏まえて努力をする必要がある。手がかりとなる情報も、知識も、そしておそらく関心も理解する義務もない相手が、自ら行動してくれることは望めないからである。

本項では、直接処分を含む放射性廃棄物問題や原子力利用に関わる問題が、受け手、特に一般市民にどう受け取られているかを考察する。受け手の視点を把握することは、コミュニケーションの改善に資するだけでなく、放射性廃棄物処分問題を考える上で、社会が何を「技術論を超える課題」とみなしているかを考えることでもある。

1) これまでの科学技術の失敗から人々が学んだこと

最初に、原子力を含む“科学技術”やそれに関わる“専門家”がどのように受け止められているかを整理する。

多くの意識調査が、一般市民は科学技術の恩恵を認識していることを示してきた（例えば、内閣府世論調査¹⁾、国民性調査²⁾、電中研調査³⁾など）。人々は、

科学技術によって、物質的に豊かにならな暮らしが実現している。しかし、恩恵がないとも考えている。統計数理研究所長期にわたって追跡データであり、人々科学技術の負の側面をになっていることの方で、人々は将来の展に期待を抱いてい科学技術は問題を起さないが、将来新たなって問題を解決でき技術進歩への楽観論は根強い。

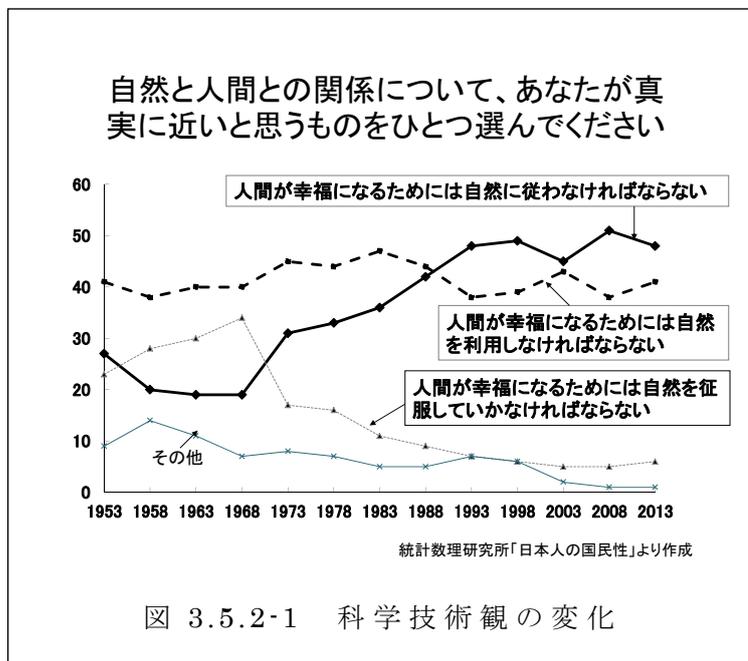


図 3.5.2-1 科学技術観の変化

生活が経済的り、快適で便利いととらえ恵ばかりでは。図 3.5.2-1 が 50 年以上の調査しているは近年一層科意識するよう示している。一科学技術の発る (図 3.5.2-2)。こすかもしれ科学技術によるという科学

「社会の新たな問題はさらなる科学技術の発展によって解決される」

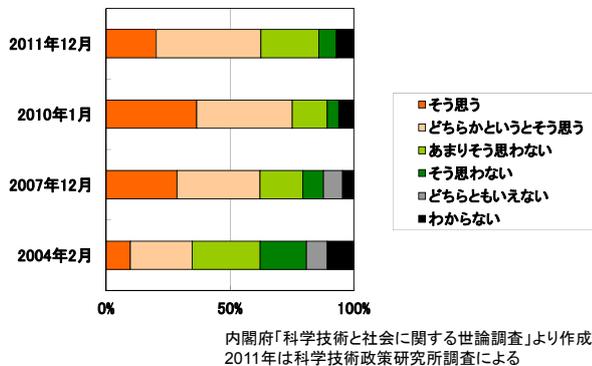


図 3.5.2-2 科学技術への期待

このような人々の変化の背景には、科学技術の発展とともに、それらがもたらす弊害や被害が明らかになってきたことがある。例えば、様々な薬害や公害問題、夢の物質と称賛されたアスベストやフロンがもたらした影響、BSEを蔓延させた畜産業の実態、そして非常に発生確率が低いと言われてきた原子力施設での事故の発生。これらの事実は、科学技術の予見可能性や発信されている情報、科学者・技術者に対する信頼に疑念を抱かせるものであった。

表 3.5.2-1 に、市民が科学者や技術者などの“専門家”をどのように見ているのか、また科学技術がもつリスク情報の公開性をどう受け止めているかを調査した結果を示す⁴⁾(小杉(2012))。1999年以降、科学者や技術者への信頼が高まっていたが、東日本大震災後には以前と同じ状況に戻っている。ただし、科学や技術の方向性を専門家に任すという人が減

表 3.5.2-1 市民の“専門家”や科学のリスク情報に対する見方

市民の回答	1999年	2009年	2012年
科学者や技術者は社会的影響や環境影響を考えずに研究を進めがちである	3.89	2.60	3.55
科学や技術の研究の方向性は、内容をよく知っている専門家が決めるのがよい	2.97	4.33	3.21
社会的影響力が大きい科学や技術の評価には市民も参加するべきだ	3.60	4.45	3.76
科学や技術の危険性を示す情報は一般の人々には隠されている	3.90	4.39	3.97

注) 数値は回答(1=そう思わない~5=そう思う)の平均値

ったものの、科学や技術の評価への市民参加に同意する人の割合も減っている。人々も科学や技術の方向性や評価をどのようにすべきなのか、とまどって

いるといえよう。

科学技術に市民が関心をもち、関与するためには、まず情報提供が必要である。しかしながら、表 3.5.2-1 が示すとおり、人々は「科学や技術の危険性を示す情報は一般の人々には隠されている」と考えている。この不信感を払しょくするような情報提供努力が、科学技術を推進する側に求められるのではないだろうか。

以上のように、複数の世論調査が“科学技術にはプラス面とマイナス面があり、マイナス面はあまり知らされていない”と人々が感じていることを示している。また、これまでの歴史から、“マイナス影響については専門家自身も知らないこと

がある”ことを体験し、“専門家は社会や人々のためというより専門家自身のために研究開発を行っている”のではないかとの疑念を抱いている。このような科学技術に対する見方が原子力利用や放射性廃棄物処分に対する見方にも影響を及ぼしていることを考慮する必要がある。

2) 放射性廃棄物処分に対する見方

放射性廃棄物は、豊富な電力を供給する原子力の負の側面として、原子力利用の歴史の最初から意識されていた。したがって、負の側面が隠されていたわけではない。しかし、東海村に原子の火がともって以来 50 年以上を経ても、解決策は地中深くに埋めることと、人々は説明を受けている。この 50 年あまりの間、情報伝達や情報処理、医療など多くの分野で目覚ましい技術革新が起こってきたことと対照的である。

福島原発事故以来、除染や汚染水対策の状況は、日本に放射性物質に対する科学技術が十分なかったという印象を植え付けている。除染は土壌をはぎ取ったり、水で洗浄したりするしかなく、廃棄物は山のように発生し、しかも効果に疑問が出される状況にある。汚染水対策にはまず海外の装置が導入され、国産技術導入後もトラブルは頻発、挙げ句の果ては除去しきれない放射性物質を薄めて海へ放流するしかない。莫大な費用と人手をかけ、多くの方々が努力しておられることは承知しているが、それゆえに一層、“この程度の技術力で高レベル放射性廃棄物を適切に処分できるのか”という疑問を抱かせてしまう。

さらに、地層処分という点では、従来から地下の安全性への疑問が出され、廃棄物処分の専門家ばかりでなく地質学や地震学の専門家が「地下の方が揺れない」「活断層などの影響を受けない場所を選ぶことができる」などと説明を繰り返してきた。しかし、東北地方太平洋沖地震は、我々の自然界に対する理解不足を改めて気づかせたのではないか。

3) 社会的視点からみた直接処分の長所と短所

以上のように、市民が科学技術を評価する際には、その科学技術に関わる人々や組織が科学技術のマイナス面をどう理解し扱おうとしているのか、将来の科学技術の進歩をどう考慮するか、扱う人々は信頼できるのか、現状の技術力はどの程度か、自然界についてどこまで理解できているのかなどについても考慮する可能性が高い。しかも、放射性廃棄物問題の場合、これらの問題が超長期に渡って継続することを考えなければならない。

では、ガラス固化体の地層処分と使用済燃料の直接処分は、上記の視点から、どのような特性をもっているだろうか？ 現世代ができるだけ責任をもって処分方法を決めて道筋をつけようという姿勢は共通しているが、ガラス固化体は再処理が前提であり、利用見通しの不確実なプルトニウムを増やし、より処分の困

難な放射性廃棄物を生み出してしまふ。逆に、直接処分は国内での研究開発が不十分で、技術的裏付けがない。しかし、ガラス固化体にしてしまふと、新たな処分技術が登場しても、取り出して作り直すことは難しい。使用済燃料のままであれば、技術進歩を取り入れることはより容易だろう。つまり、直接処分は、現在の問題を解決するだけでなく（ただし資源問題は発生するかもしれない）、新たな問題を生み出しにくく、“やり直し”しやすい選択肢のひとつとみなすことができよう。もちろん、これまで研究蓄積がない点は直接処分が地層処分に劣る点であるが、海外での実績が生み出されつつあることは、直接処分技術に対する信頼に影響を及ぼすだろう。日本原子力学会は、ガラス固化体の地層処分の優位性を明確にするためにも、直接処分に対するこのような見方が正しいのかどうか、技術的な検証を行っていくべきではないか。

4) 立地プロセスが抱える問題

かつて日本は低レベル放射性廃棄物処分施設の立地に成功した国として称賛されていた。しかし、諸外国が立地プロセスの見直しに取り組む間、日本では、原子力関連施設を受け入れることに対する経済的見返り、つまり立地地域への交付金制度の拡充に力点が置かれてきた。

交付金制度が立地地域の振興に寄与したことは事実である。しかし一方で、交付金に依存する自治体を生み出してききた。福島事故の被災地である双葉町が、2009年に早期健全化団体になったことは有名である。双葉町の人口は、1980年代後半をピークに減り始め、事故前には立地前の人口を下回り（1970年7424人、2010年6932人）、その打開策として7,8号機増設の要望が出されていたのである。

このような事実は、市民にどのように受け取られているであろうか？ 立地による経済的恩恵と安全とを引き換えにしたと見られてはいないだろうか？ 地域振興とは、一時的な経済的豊かさではなく、地域の持続的発展を目指す営みである。廃棄物処分場を含む原子力関連施設の立地支援制度は、地域が求める“地域振興”にはなかなか結びついていないのではないだろうか。

高レベル放射性廃棄物の処分場が決まらない背景には、立地プロセスに関する社会科学研究があまりにも少なく、政策立案時に十分考慮されなかったこともある。NUMOが提案した自治体からの自発的な応募が機能するには、いくつか条件が必要である。

例えば、その応募によって十分なメリットが得られることや、自治体の意思（選択）によってプロセスが進んでいくことである。メリットについては、残念ながら金銭的なものしか提示されていない。これは、交付金制度に代表される従来型の立地支援策であり、持続的な効果がないとみなされる。自治体の意思によって

進むためには、最初から複数の自治体がこのプロセスに参加する必要がある。もし1自治体しか参加していなければ、拒否することはできなくなるとみなされる。フィンランドやスウェーデンが、複数の候補地から始まり、必ず地元の意思を確認しながら段階的にプロセスを進めていったことの意味を考える必要がある⁵⁾ (楠戸(2012))。

人は、他者から押し付けられるリスクを、自発的に選択できるリスクよりはるかに高く感じ、受け入れがたい。ガラス固化体の地層処分にしろ、使用済燃料の直接処分にしろ、当該地域の人々のみならず、社会全体が、その選択は地域社会が主体的にしたものであると認識できるような透明性、公平性、地域の主体性を備えたプロセスを検討する必要がある。

【参考文献】

- 1)内閣府（2010）科学技術と社会に関する世論調査
- 2) 中村 隆・土屋 隆裕・前田 忠彦(2015)国民性の研究 第13次全国調査-2013年全国調査-,統計数理研究所 調査研究レポート No.116.
- 3)小杉素子・土屋智子（2000）科学技術のリスク認知に及ぼす情報環境の影響—専門家による情報提供の課題—(財)電力中央研究所, Y00009
- 4)小杉素子（2013）東日本大震災後の人々の科学技術に対する考え方の変化, 電力中央研究所研究報告, Y12010
- 5)楠戸伊織里（2012）放射性廃棄物の憂鬱, 祥伝社新書 269

3.2.3 欧州の最終処分事業における社会環境活動と日本への示唆

1) はじめに

2015年11月12日、フィンランド雇用経済省は POSIVA 社がエウラヨキ地方のオルキルオトで進めている使用済燃料の最終処分場計画に対して建設許可を発給した。この種の施設に建設許可が与えられたのは世界初で、同社は2016年末にも建設工事を開始し、2023年には操業可能な状態とする計画である。

片や我が国では2000年に施行された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき2002年から処分地選定調査を受け入れる自治体の公募が開始されたものの、現在に至るまで応募した自治体は現れていない。最終処分事業の実施主体である NUMO はこれまで最終処分事業に関する詳細な情報提供や説明をウェブサイト上でも、またイベントや公聴会の形でも多数行ってきており、地層処分に関する技術開発も精力的に進めてきたが、国民や立地地域住民に対してそれらの活動が功を奏したとは言えない状態である。理解促進活動だけでなく経済的な便益に関しても、電源三法交付金制度に基づく交付金が立地地域に対して支払われる予定であるが、これも効果的な誘因になってはいない。

高レベル放射性廃棄物の最終処分事業に関するフィンランドと日本の違いは何なのか。日本が学べる点があるとしたらそれは何か、について、本項では地域住民とのコミュニケーションのあり方と地域振興策に焦点を当てた分析と示唆を試みる。その際、フィンランド以外の欧州主要国における類似の取り組みもレビューし、それらの取り組みの特徴から学ぶべき点があれば指摘する。

2) 各国における立地地域とのコミュニケーション活動と地域振興策

(1) イギリス

原子力施設の立地地域において自治体関係者が定期的集まる会議体 (Site Stakeholder Group、SSG 及び Local Community Liaison Council、LCLC) が存在する。SSG は NDA が所有する原子力施設立地地域にあるもの、LCLC は EDF Energy が運転する原子力発電所立地地域にあるものである。いずれの会議体も、施設の安全・環境面における地域住民による監視、施設の状況に関する事業者からの情報提供、重要案件に係る立地地域と事業者間の協議を基本的役割としているが、この中に立地地域における雇用や産業の将来像などの社会経済的論点も含まれていることは興味深い。

この活動は後述するフランス等とは異なり、法律に基づくものではなく、「全 SSG が最低限守るべきガイドライン」に基づき自主的に設置されている。NDA は原子力施設や施策に関する計画を、決定前の段階で SSG を通じて住民やステークホルダーの意見を求め、計画内容に反映することとしている。レビュー対象には施設の拡充や増設といったことばかりでなく、イギリス政府のエネルギー政策策定 (エネルギー白書等) や NDA の戦略文書

など国全体に関わる事項も含まれており、これらについて立地地域を含む多様なステークホルダーの意見を聴く仕組みとなっている。レビューの際には1つの案だけでなく Plan B (C) も示し、ステークホルダーの評価を仰ぐこと、また出された意見に対してはその採否にかかわらず全て回答することも SSG ガイドラインに沿って行われている。

2008年の政府白書「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み」において、高レベル放射性廃棄物処分のサイト選定プロセスに手を挙げた自治体への「地域立地パートナーシップ」(Community Siting Partnership: CSP) に関するガイダンスが定められているが、この中で日本の交付金制度に類似した立地地域経済振興策も規定されている。

具体的には参加資金 (Engagement Package) として、最終処分サイト選定への関心表明を行った自治体や参加表明後に自治体に設立される CSP の活動に必要な費用について、一部または全部を政府が負担する制度である。この費用で行える活動は、大衆への情報提供やワーキンググループ活動、専門家を招聘した講演、専門機関にて行う技術的分析等であり、これらの費用だけでなく一般管理費も参加資金でまかなわれている。

これとは別に地域社会への給付金 (Community benefits package) として、長期にわたる最終処分事業の期間を通して地元の福祉に役立つことを条件とした国から自治体への資金援助制度もある。具体的には、地域の訓練、技能開発や教育に係る資金、地元サービス産業への支援、公共事業や住宅等への投資、輸送インフラの強化・福利厚生サービスの改善・その他地域の環境改善に要する資金等が該当し、日本の交付金制度よりかなり広い範囲の事業が認定されている模様である。

(2) フランス

フランスにおける放射性廃棄物処分事業実施主体と地域住民のコミュニケーション組織は「地域情報フォローアップ委員会 (Commission Locale d'information et de Surveillance, CLIS) である。この組織は1991年の「放射性廃棄物管理研究法」で規定された第三者独立組織であり、会合が少なくとも年2回開催されること、処分に関する研究や内容に関する情報を事業者から住民に提供することが規定されている他、ビュール地下研究所の周辺環境に影響が及ぶ可能性のある問題について事業者と自治体・住民が討議したりすることも可能である。例えば直近の2015年6月に開催されたCLIS委員会においては、将来フランスで建設されるであろう最終処分施設 (CIGEO) が爆発や火災といった事象にどのような備えをしているのかもっと知りたい、また廃棄物をいつでも取り出せる「可逆性」のリスクについても IRSN の専門家の話も聞きたい、といった要望が住民側から出され、それに対して CLIS

副代表から「次回会合には IRSN の専門家をこの委員会に招聘し議論をしたい」との回答がなされている。

CLIS とは別に、国民から意見を聴取する目的で設置された国の審議会「国家討論委員会 (CNDP) もある。これは放射性廃棄物等管理計画法第 12 条に基づき、2013 年 5 月から 12 月にかけて公開討論会の形で開催された。もともと第 1 回と第 2 回は反対派の妨害により中止となり、それ以降は小規模な会合または討論番組の Web 配信の形で実施されている。その後 2013 年 12 月から 2014 年 2 月にかけて、全国から無作為に選出された 17 名の市民パネルによる市民会議が開催され、原子力を利用するフランス国民として率直な意見交換が行われた。イギリスと異なるのはこれらの組織が法的根拠のある“官製”であることであるが、実態を見る限り、住民が問題意識を自ら持って主体的に事業者や国とコミュニケーションできる仕組みが機能しているといえる。

フランスにおける地域振興策としては、GIP (公益事業共同体, Groupement d'intérêt public) を通じた交付金の支給制度が挙げられる。これも 1991 年の「放射性廃棄物管理研究法」で設置が規定されたもので、2000 年、ムーズ研とオート・マルヌ県に設置され、国及びビュール地下研究所の他、施設の周辺にある州、県、商工会議所などが加入している。GIP において地域開発計画を策定したのち、交付金受給希望者がプロジェクトを申請し、審査を経て交付金が拠出される仕組みとなっており、プロジェクトの内容は次世代バイオ燃料生産、観光施設、学校の近代化事業、携帯電話エリアの拡大、都市計画など多岐にわたる。なお、「地下研究施設から半径 10km 圏内」「隣接地域」「県域」など地域区分や優先順位が定められており、選定基準は公開されている。財源は原子力基本施設に課税される連帯税及び技術普及税による税収の一部が充てられ、予算規模は年間約 3,000 万ユーロである。交付金の用途を地域が主体となって決定できる点や公開の基準に基づき審査がなされること等が日本の交付金制度とは大きく異なる点である。

(3) スウェーデン

2010 年に高レベル放射性廃棄物の最終処分場サイトとしてフォルスマルクを選定したスウェーデンも、立地地域とのコミュニケーションに関しては特徴的な仕組みを有している。

2002 年、環境法典及び原子力活動法に基づき、最終処分場を巡る立地地域と事業者 (SKB) との協議 (Consultation と呼ばれる) が開始され、2010 年に立地が決定するまで継続的に行われた。後にオスカーシャム・モデルと呼ばれるこの仕組み、具体的にはオスカーシャム環境影響フォーラム

(Oskarshamn EIA Forum) 及びフォルスマルク環境影響協議グループ

(Forsmark Consultation and EIA Group) と規制機関 (SSM) や核燃料・廃

棄物管理会社（SKB）との協議会は、立地地域住民だけでなく環境団体や研究者等と国・事業者との公開の意見交換の場でもあり、事業者からステークホルダーへの情報提供の場でもあった。足かけ8年以上にわたり、立地地域住民や環境団体から事業者への質問は3000件を超え、開催された協議会も数百回にのぼる。会議の議事録は全てSKBのウェブサイトにおいて英語で公開されており、誰でも見る事が出来る。

住民自身や環境団体など全てのステークホルダーが主役であるという発想がここまで徹底されている国は他にあまりない。ステークホルダーが事業決定に係る独立性を維持しつつ関与できる点も際だっており、SKBがFSを遂行し、SSMが安全評価に基づき認可を発給しても、住民側は納得できないならいつでもNoといえる権利を保有することで住民側と政府・事業者が対等な関係となった。また、「いつまでにYes/Noを決定しなければならない」という制約からは一切自由で、住民側は急ぐ必要が無く、疑問点があればいつでも、いつまでも聞くことができたことから、住民側の主体性が尊重されていることがうかがえる。

また、これらの協議に参加する環境団体等の活動資金が、事業者から払われる原子力廃棄物管理基金を財源としていることにも注目に値する。スウェーデンの環境団体は概して環境への影響には非常に厳しい目を向けており、原子力施設、特に最終処分場のような長期のリスクに不確実性が高いプロジェクトも例外ではないが、そのような団体にもスウェーデン政府は公平な活動機会を与えているとみることが出来る。具体的には、資金を必要とする団体からスウェーデン原子力規制機関であるSSMへプロジェクトの申請がなされ、SSMがその案件を審査して交付金を支給する仕組みである。1団体あたり年間最大250万SEK（約3,800万円）と上限が定められており、全体の支給額の上限は350万SEKである。

このように多様な意見を排除しない理由として、SKBの幹部はこのようにコメントしている「信念があれば誰のどんな意見でも耳を傾けられるはずだ」。多様性と個人の価値観を尊重するスウェーデンらしい姿勢である。

（4）フィンランド

フィンランドでは以下の2法により、住民への情報提供が規定されている。環境影響評価（EIA）手続法：EIA計画書の審査とEIA報告書の審査の段階で、住民等に対する情報開示と意見聴取を規定。

原子力法：原則決定手続において、安全性を含めた処分場の建設・操業計画に関し情報開示と意見聴取を規定。

これに基づき、最終処分事業の実施主体POSIVA社が各利害関係者（地元、中央政府、規制機関、関連企業等）からの代表者を招いて監査グループ（Audit

group) を定期的に開催し、意見交換・情報交換を行っている。この他、POSIVA 社と自治体代表との間では「協力とフォローアップのグループ」が設けられ、ほぼ1カ月に2回程度の会合を行うことにより、最終処分に関する諸問題や、その計画、環境影響評価等について議論を行っている。興味深いのはこの「協力とフォローアップのグループ」が2001年の最終処分場立地決定後も毎年開催されていることであり、サイトであるオルキルトでの取り組みや施設の建設・技術開発等、多岐にわたる分野での議論が継続している。

POSIVA 社の広報部門では使用済燃料管理施設や処分場に関する住民の感情を1984年から定点観測しているが、この調査に興味深い傾向が見られる。2001年、最終処分場の立地が決定して以降、2003年まで住民の支持率は概ね高水準を維持していた。ところが2004年にその支持率が有意に低下し、「最終処分場に反対」の割合が倍近くに増加している。POSIVA による要因分析は以下である：この年、オルキルト3号機をフランスの原子力メーカ Areva が建設することが決定した。地域住民は当初、雇用増につながるとして期待したが、Areva はエンジニアをフランスから、労働者を単価の安い東欧等から連れてきて地元企業を使おうとせず、地元の期待を著しく裏切った。

この分析は、地域住民が最終処分場（に限らず原子力施設）に何を期待しているかを端的に表現していて興味深い。

フィンランドでは、地域に対する中央政府からの直接的な補助金・交付金等は存在しないが、固定資産税の優遇措置という別の形での実質的な補助は存在する。通常ならば0.5～1.0%である固定資産税率を、原子力発電所や放射性廃棄物管理施設に限れば自治体は2.85%を上限とすることができるものである。

もっともこの制度を自治体も事業者も決定的な要件と考えているわけではないらしいことは、以下の事例からも想像される。1999年、POSIVA とオスカーシャムがあるエウラヨキ自治体との間に協力協定が締結された際、POSIVA 社はエウラヨキ自治体に対し、高齢者向けホームを建設する資金提供を申し出た。それを受け、エウラヨキ自治体は老朽化対策に悩んでいた高齢者向けホームを POSIVA 社にリースしたところ、POSIVA 社はこのホームを改装して社屋として利用できるようにして、その後このホームは観光拠点にもなった。POSIVA の施設が地域内にあることで自治体が単に経済的に豊かになっただけでなく、産業の幅が広がった典型事例といえる。

3) 原子力施設と地域共生

これまでレビューしてきた欧州数カ国の事例で共通していることは、どの国も徹底した情報公開のスキームに基づく透明性の高い双方向コミュニケーション枠組みが機能していること、交付金（に類似した制度）の用途を住民自身

が決められ、分野も多岐にわたることである。「迷惑施設を押しつけられているのだからその対価として迷惑料を払え」という位置づけではないし、立地地域側も原子力施設のもたらす直接・間接の経済効果をよく理解していることがうかがえる。

翻って日本ではどうであろうか。最終処分サイトに地方自治体から文献調査の名乗りを挙げさせる方法が頓挫後、適した地質の地域を複数、候補地として選定し、調査や協議を深めつつ順次絞る方針としたこと、その過程で地域住民等ステークホルダーとの意見交換に十分な時間をかけることとした方針は正しい方向性であるといえる。しかし、スウェーデンやフィンランドで見られるような住民の声を公開の場で吸い上げ、議論する形態が根付いているかと言われれば、それはまだ無いと言わざるを得ない。2015年度より開始された経済産業省及び NUMO による全国シンポジウム「今改めて考えよう 地層処分 (<http://www.chisou-sympo.jp/>) は、情報提供及び詳細な説明の場としては評価できるが、この場で自分の意見や懸念を（反対意見も含め）明確に発信できる住民や環境団体がどのくらいいるであろうか。フランスの CLIS やスウェーデンのオスカーシャム・モデルに見られる、住民（国民）と事業者・国とが対等な立場で議論でき、相互に信頼関係を構築できるスキームは日本においても検討の余地がある。

また、その際、資金の出所や交付金の用途も併せて検討することが望ましい。40年以上にわたり交付金を受けてきた原子力発電所の立地地域においてさえも、事故が起きたり、諸事情により事業者の存続が危うくなったりすれば事業者は退出せざるをえなくなり、その後の地域振興には関与できず、交付金に依存してきた自治体は地域経済の立て直しを迫られる。地域住民側でも交付金を単に「もらって当然の収入」と位置づけるのではなく、その交付金がなぜ支給されてきたか、存続に合理的な理由があるのか、真に地域の経済や雇用に資するものであるかどうか、主体的に検討し、長期的には特定の事業に係る交付金に依存しないですむような建設的な提案をしていくことが望ましい。

< 参考：欧米諸国の立地地域とのコミュニケーション及び地域振興策比較表 >

	立地地域とのコミュニケーションの概要	主なコミュニケーション組織	立地地域への支援制度	備考
アメリカ	ユッカマウンテン計画については、「1969年国家環境政策法施行手続き」、「1982年放射性廃棄物政策法(1987年修正)」に許認可手続きへの住民参加・住民への情報提供、公聴会の開催が規定される。	—	「1982年放射性廃棄物政策法(1987年修正)」において、立地地域への資金給付が規定されている。財源は、放射性廃棄物基金。	WIPPIに関する地域住民へのコミュニケーション活動は、DOEが主導。
イギリス	原子力施設の立地地域において自治体関係者等が定期的集う会議体が存在する。	* SSG(NDA所有の原子力施設立地地域) * LCLC(EDF Energyが運転する原子力発電所立地地域)	政府が検討する立地地域支援として、Engagement PackageとCommunity benefits packageがある。	
スウェーデン	自治体が独自の調査団体を設置し、「環境法典(Environmental Code)」に基づき、安全規制機関との交渉・議論を実施。 2003～2010年、SKB社と地域住民や団体等との協議を各候補地で開催。	* Oskarshamn EIA Forum * Forsmark Consultation and EIA Group	廃棄物基金から自治体に交付金が交付され、その資金が個人や団体の活動資金に充てられる。	
フランス	「TSN法」において設置が定められているCLI、CLISを通じ、原子力事業活動の周知、理解活動およびステークホルダー間のコミュニケーションが行われている。	* CLI(INB立地地域) * CLIS(地下研究所または地層処分場の立地地域)	CLIおよびCLISの活動資金への補助GIP(地下研究所または地層処分場の立地地域のみ)によるインフラ整備等	独立した国家討論委員会という組織を有しており、一定規模事業の構想段階の討議手続きとして公開討論会が行われる。
ドイツ	「サイト選定法」が、サイト選定に関わる重要な事項(候補地域、地上・地下での探査対象サイトの選定、候補サイトの最終比較等)については、市民集会を開催するほか、関係する州や地元自治体の参加の上で決定すると規定。	* 市民集会(左記参照)	制度化されたものは無い。(過去に連邦・州間の行政協定により補助金が支給された例あり)	2011年12月、コンラッド処分場の立地地域で、廃棄物発生者である電気事業者と連邦の出資により、地域振興を目的とした財団が開設。
スイス	特別計画「地層処分場」により、「サイト地域」に属する自治体が地域参加の組織を設置することを規定。2011年から6つのサイト地域において、BFEの主導により設置された地域会議が活動を開始。	* 地域会議(左記参照)	制度化されたものは無い。(特別計画「地層処分場」で、サイト選定第3段階において概要承認が発給されてから、「対価」と呼ばれる交付金に関する検討を行うことを規定)	
フィンランド	環境影響評価や政府による原則決定前など、様々な段階で住民が情報を入手し、意見を表明できる場を設置。 Posiva社と自治体代表との間では「協力とフォローアップのグループ」を設置してコミュニケーションを図っている。	* 協力とフォローアップのグループ * 監査グループ	政府による直接的な補助は存在しない。但し、原子力施設は通常の施設よりも高い固定資産税(2.5%)を払うこととなっている。	

【参考文献】

「平成26年度 発電用原子炉等利用環境調査（バックエンド関連事業の環境整備に向けた諸外国の事例調査）」報告書

http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000816.pdf

3.2.4 市民との対話を考える

1) 求められる戦略的対話

ガラス固化体であれ、使用済み燃料そのままであれ、放射能が極めて高い核物質（ここでは合わせて高レベル放射性廃棄物と呼ぶ）の最終処分事業の円滑な推進には、社会とのコミュニケーションが極めて重要な課題と考えられるようになってきている。勿論、現代では様々な事業やプロジェクトで社会との対話が必要になっているが、特に高レベル放射性廃棄物の処分事業では、対話が事業の成否の鍵を握ると言っても過言でない。

処分事業は世界的に見ても未経験であり、人々に実例を示すことは出来ない。事業を進めることに対する合意を形成するには、よほど丁寧で人々の理解プロセスに配慮した対話が必要である。また、処分事業に当たっては、10万年から100万年という人知を越えた未来の安全についても考える必要がある。しかし、遠い将来までの間に何が起きるか、現在の科学を持ってしても確実に予測できるわけではない。未来の安全性をどう判断するか、まさにトランスサイエンスな課題である。意志決定に正当性を付与するのは社会的合意しかない。

また、処分場の選定・建設を含めると、処分事業は100年程度続くことになる。多くの事業で、社会的合意が強く意識されるのは、立地場所の選定段階である。しかし、高レベル放射性廃棄物の処分場の場合、候補地の調査段階はもちろん、建設中でも操業中でも地元の反対が強くなれば計画を維持することは困難になる。つまり、100年間にわたって社会的な合意を維持・継続することが求められ、この間対話を継続することが重要である。この点も高レベル放射性廃棄物処分事業に特徴的な課題である。

情報技術の発展に伴いSNS（ソーシャル・ネットワーク・システム）などが広く普及し、誰もが自由に情報を発信できるようになっている。例えば、学校の教室で生徒が声高に私語をする状況になれば、教室全体としては莫大な量の情報が飛び交い、雑音でしかない私語にかき消されて誰が何を話しているのか理解不能に落ちてしまう。先生の話は生徒に伝わらないし、生徒の意見も伝わらない。こういう状況を雑音化と呼ぶことにする。

SNSなどによる情報発信の自由化は、社会の民主的な意思決定に資すると期待される一方で、重要な情報と雑音の区別がつきにくくなるという意味で、社会全体の雑音化につながりかねない。雑音化社会（1995年10月20日、日本経済新聞朝刊1p 春秋＝署名はないが筆者は鳥井弘之）では、人々は何が正確な情報で、何が雑音かを判断することは難しい。

ある期間だけ精力的に情報を発信しても、その期間が終われば短期間でそ

の情報は雑音に埋もれしまう。それが高度雑音化社会の特色である。もちろん、一時的に構築した合意も容易に雑音に埋もれ壊れてしまうだろう。高レベル放射性廃棄物事業の特色と、社会の高度雑音化を考えると、戦略的かつ継続的な対話が求められる。

(1) 戦略的対話の構造

社会との戦略的対話の構造について若干の考察を加えたい。まずは対話活動への参加者である。対話の一方の主体は処分事業に関して最終的な意思決定や事業を具体的に担う側である。このサイドをここでは事業側と呼ぶことにする。対話のもう一方の主体は、日本の主権者である一般国民、将来の主権を担う若者（小中学生など未成年者）と、処分場を引き受ける（引き受けるかもしれない）地域の住民、地方自治体（自治体はある段階から意思決定側に属するようになると思われる）が考えられる。この主体を主権者側と呼ぶことにしたい。

事業側としては、政治（政治の役割については〇〇で詳細に考える）、行政、規制当局、事業者が考えられる。すでに決定された制度や仕組みを一方的に説明し、疑問に答えるだけなら、必要な知識さえあれば誰が参加しても大差はないだろう。しかし、対話を通して制度や仕組みを進化させることを期待するなら、制度や仕組みに対する権限と見識を持つ人間が対話に参加することが求められる。事業を進める制度や意志決定プロセスなら、行政が参加する必要がある。また、安全確保に関する考え方については規制当局が説明し、人々の意見に耳を傾けるべきである。処分場の操業や工事中の安全確保、さらに地域振興に参加する意気込みなどについては事業者の役割が大きい。

対話活動は、主権者側として一般国民を考えるか、それとも処分場を引き受けるかもしれない地域の住民や自治体を考えるかで様子は大きく違ってくる。一般国民との対話では、エネルギー政策における原子力の役割、処分事業の必要性、立地地域に対する感謝や敬意の表し方、安全性確保の考え方、未来世代に対する責任、などについて対話する必要がある。文献調査などを実施する地域が特定されれば、事業側の役割分担、詳細な技術や安全性とリスク、地域振興のあり方、地域における人材育成、などについて対話を重ねる必要があるだろう。

対話といえば、シンポジウムやセミナーなどを思い浮かべるが、場の設計についても戦略的な取り組みが必要である。マスメディアの活用、SNSなど双方向媒体の活用、もちろんセミナーやシンポジウム、少人数のワークショップ、学校など教育の場の活用、など様々な選択肢がある。対話の目的や

内容によってそれぞれの選択肢をどう組み合わせ、効果的な対話を実現するか工夫が必要である。

すでに述べた通り、高レベル放射性廃棄物の処分では、対話の継続が極めて需要である。対話活動を進めても、それだけで事業を進める社会的合意が形成できるわけではない。時間の経過とともに議論をどう発展させるか、周到な準備が求められる。議論の質の変化を読み取ることで議論が十分に熟したか否かを判断することになる。

現在の計画では立地地域の決定までに文献調査、概要調査、詳細調査を行うことになっている。立地点が決まったら施設の建設が行われ、続いて高レベル放射性廃棄物の施設への搬入と設置が行われ、最終的には処分場の埋め戻しによる閉鎖となる。それぞれの各段階でどんな対話を計画するかについても戦略的に考えておく必要がある。

もう一つ、とりわけ重要なことは、対話を通して得られた社会の意見や地元の要望などを取り上げて様々な意志決定の場に反映する仕組みを用意することである。高レベル放射性廃棄物処分では、トランスサイエンスな課題が山積みである。すでに述べたが、トランスサイエンスな課題に答えを出すには、対話を通して事業側と主権側が共に変化し（共進化）、合意点に到達するしかない。要望や意見を採り上げる仕組みは、事業側に共進化を促す仕組みと言い換えてもよさそうである。

一般的に、事業側と主権側だけの対話では、両者の間の情報格差が大きく、対等なコミュニケーションが難しいと言われる。情報格差を埋めたり、双方が相手の言い分に耳を傾ける手助けをしたり、議論を建設的に進める進行役を果たすコミュニケーターの介在が望ましい場合が多いと思われる。対話の構造にコミュニケーターを加えることにも円滑な対話に向けた有力な手段である。

2) 対話の前提条件

(1) 用語について

「百聞は一見にしかず」、確かに実物を目で見れば、詳しい説明を聞くより全体像を理解しやすい。しかし、高レベル放射性廃棄物の処分施設は世界中に実在していない。しかも、実在したとしても、強い放射性環境にあり廃棄体に近づくことは難しい。処分事業を理解してもらうために実物を見せることはできないから、説明に頼るしかない。よほど丁寧で聞く側の身になった説明を繰り返えすしかない。

日本の場合、多くの技術分野で基本的な概念が海外から持ち込まれた。その際に用語はそのままカタカナで表記されたり、言葉の表面的な意味を直訳

する形で日本語化された。導入の初期には、カタカナであろうと直訳であろうと、専門家の間だけで通用すれば事足りる。しかし、技術が普及する状況になると、専門家の間で通用してきた用語が巷（ちまた）に出て行くことになる。まして、規制などで法律が関係してくると、カタカナというわけにも行かず、奇妙な日本語が作られてしまう。

専門家の間だけで通用する用語や法律用語を使うことは、聞く側の身になった丁寧な説明とはほど遠い。本研究専門委員会では、聞く側の身になった用語という点に留意すべく、ごく初期の段階で国語の専門家の講義を受けた。講義をお願いしたのは前文化審議会国語分科会長で聖徳大学の林史典教授である。

林先生の講義¹は、通常語、専門用語、業界用語の説明から始まった。林先生の説明によれば、①通常語は人々が経験的に獲得するため、意味や用法に個人差が大きい。②専門用語は明確な定義があり、知識として獲得され、意味や用法の個人差は小さい。③業界用語などは明確な意味規定がなく専門分野の共通の知識や理解に基き、専門分野だけで通用すればよく、符牒化しやすいという。④社会に説明する場合には、専門用語でも通常語のレベルで理解される。⑤その上、普通の人には詳しい説明を聞いてくれないので、用語が一人歩きしやすい。

いくつかの例を考えてみたい。まずは高レベル放射性廃棄物である。通常用語でこの用語を理解すると、放射能が強くしかも廃棄するモノという意味になるだろう。しかし、専門用語や法律用語では、再処理過程で発生した放射能が強い廃棄物という意味になる。本研究専門委員会の主題である使用済み燃料は将来利用する意思がなければ廃棄物に相当するだろうが、再処理を前提に考えれば資源ということになる。しかも、使用済み燃料の放射能は極めて高いが、現在の専門用語によれば高レベル放射性廃棄物には当たらない。一般の人には狐につままれたような話で馬鹿にされたような気がするだろう。

地層処分という表現も問題がある。地層を通常語で理解すれば、断層などで見られる層状に重なった地質という意味になりそうである。また、よく言われるが処分という言葉にも問題がある。ゴミの処分場とえば、空き地にゴミを山積して置く場所であり、処分という言い方では、廃棄して後は考えない無責任な行為というイメージになってしまう。しかし、法律用語では適切に処置すると言う意味があるらしい。通常語と専門語と大きく食い違う。

¹ 「使用済み燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会中間報告書の補足資料
(5) 国民への説明に用いる原子力関連語彙について～日本語学者の視点から～より引用

もう一つだけ例を挙げたい。セーフティケース（中間報告を参照）という直輸入されたカタカナ語がある。これを通常語で理解すれば、ホテルなどのフロントで鍵を借りて使う貴重品入れというイメージではないだろうか。貴重品入れはセーフティボックスと呼ばれるが、ボックスとケースは類似語である。高レベル放射性廃棄物の専門用語では安全性を証明したり説明するための技術的根拠となる情報を収録したデータベースのようなものを意味する。

繰り返すが、百聞は一見にしかずである。説明に当たってはせめて、聞く側が無理なく理解できる用語を使うべきである。説明のために通常語による用語体系をしっかりと構築しておくことが重要である。

（２）理解のプロセス

人々が物事や概念を理解するにはいくつかのプロセスがあるように思われる。システムの部分的な細部も、全体像を理解した上で説明を聞けば腑に落ちる場合がある。また、身近な所からはじめて視界を徐々に広げていくことで、大きなシステムの理解に達することもある。

例えば、地球上で最も危機的な状況にあると言われる水資源を考えてみたい。日本で暮らしていればしばしば雨も降るし、水道の蛇口をひねればきれいな水が噴き出してくる。水資源がどんなに貴重であるか、身の回りからの説明で理解することは不可能に近い。国土交通省水資源・国土保全局水資源部のホームページ²の説明は「①水の惑星と呼ばれるほど地球には大量の水が存在すること②しかし、大部分は塩水であり淡水は2.5%であること③その淡水もほとんどが氷の状態で液体としての存在は地球の水の0.8%に過ぎないこと④その大部分が地下水であり人間が利用しやすい水は約0.01%に過ぎない」という具合に順序だてて説明している。全体像を示すことで理解を促進する例といえるだろう。

逆に電力の供給の場合は、家庭の配線から変電所、高圧送電線、各種発電所、燃料の供給ルート、資源国におけるエネルギー資源の採掘などの順序をたどれば全体像に至ることができ、その上で様々な環境問題が起こっていることを知れば実感が進むと思われる。このような手法は学校教育でもしばしば活用される。さらに地球温暖化問題の深刻さについても、日本を襲う巨大台風の例から気候システムの話しに入ったり、太平洋諸国における人々の暮らしぶりから始めることが考えられる。身近な例から大きなシステムに広げ

2

http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/j_international/about/about001.html

る方が理解が早い場合もある。

(3) 超長期にわたる時間の理解

高レベル放射性廃棄物の放射能は時間の経過と共に減少するが、それが十分に低いレベルになるには、数万年から100万年以上かかる。つまり、現世代が原子力発電という形で恩恵を享受した結果として、未来世代が住む地球に強い放射能を持つ廃棄物が残ることになる。これは、現世代が原因を作って、未来世代にリスクを残すこと意味する。この点をどう考えるか、IAEA 始め OECD/NEA など国際機関で様々議論が繰り返されてきた。もちろん、日本の原子力委員会などもこの問題に取り組んできた。

この命題に対する答えは「放射性廃棄物は、将来世代の健康への予想される影響が、今日受け入れられている影響のレベルを超えないよう管理されなければならない」、「放射性廃棄物は、将来世代に不当な負担を課すことのないよう管理されなければならない」という考え方である。この考え方を数万年から100万年以上にわたって担保することが求められることになる。

処分に関わる技術者が求められる性能を実現しようと努力することは当然である。技術者は自分の仕事に誇りを持っているせいか、どうしても仕事についてありのまま説明したがる傾向があるように思われる。高レベル放射性廃棄物で技術目標をそのまま説明すれば、人々の理解を遙かに超えた時間スケールを対話に持ち込むことになる。いきなり100万年先の将来という話を持ち出せば、人々に理解されることは期待できない。人々は狐につままれたような気分になり、直感的に「そんな先のことが分かるはずがない」と考えてしまう。遠い未来になればなるほど不確実性が増大する。説明すればするほど、専門家が信用できなくなるのも無理はない。

10万年という時間の流れも、何段階かに区切ることで、人々理解のプロセスに添うことができるかもしれない。人々の直感的な感覚からすれば、一言で未来世代と言われれば、孫の時代を思い浮かべるのではないだろうか。孫の世代といえ、せいぜい100年後までである。100年前に現在の技術や人々の生活を予想できなかったに違いないとはいえ、

それでも100年先の話なら現在の延長線で想像して見ることは可能である。歴史を見るとある王朝が続くのは最大で300年程度である。300年程度先のことなら思いを馳せることが期待できないだろうか。

その上で1000年後、3000年後、1万年後、3万年後といった具合に、未来を分割して議論をすれば、多少は議論が容易になるかもしれない。現世代が地下の岩盤に最終保管した高レベル放射性廃棄物が、それぞれの未来世代に於いてどうなっているかを説明し、その状態で地殻の変動などがどう影響

するかを考える。そのような未来を現世代として受け入れられるか否かを議論する。受け入れられない場合は、どう改良するかを議論し、新たな技術が必要であれば研究開発に取り組むべきである。

3) 対話で何をを目指すのか

(1) これまでの「リスクコミュニケーション」

これまで、科学技術やプロジェクトを担う側（ここまで事業側と呼んできた）と直接リスクを引き受けるかもしれない地域住民との「リスクコミュニケーション」は、歴史的に見て3つ段階を経て、徐々にではあるが進化してきたと考えられる。

第一段階は、「安全であることを人々に理解してもらう」ことを直接の目的とするタイプである。長年にわたって、事業側はこのタイプに固執して来た感がある。どうしても、事業側からの一方的な情報提供に終始してしまう結果になり、事業側が上から目線で説明する形になってしまう。事業側の様々な努力にもかかわらず、主権者側からは「都合のいいことばかり説明し都合の悪いことは隠している」との批判が絶えなかった。事業側と主権者側の間の情報ギャップが大きいことを考えれば、極めて自然な主権者の反応である。

第二段階は「リスクについても伝え、それをいかに制御するかを理解してもらう」ことを目的とするタイプである。第1段階に比べると透明性は高いが、これも一方的な情報提供の形になってしまう。また、このタイプはリスクを制御できることが前提であり、この前提を覆すような事態が起これば、対話そのものが成立しなくなる。また、リスクに焦点が当たりすぎれば、市民の行き過ぎた反応を招くという問題もある。昔、母乳にダイオキシンが含まれるというニュースで、子供に母乳を与えない母親が続出した例を思い出す。このタイプのリスクコミュニケーションが健全に成立するには、主権者の側の国民力に大きく依存することになる。

第3段階は、「対話を通じて相互理解や相互信頼を築く」ことを目的とするタイプである。事業側と主権者側の相互理解や信頼関係は極めて重要である。ここで注意が必要なことは、相互理解といっても、主権者側が事業側を理解することに重点を置く場合がほとんどで、事業側が主権者側を理解する努力に欠ける場合が目立つ点である。主権者側が何を考え、何を不安に感じ、どんなことに不満を持っているかを、事業側が理解して初めて相互理解と呼べる。また、主権者側の相互理解の相手は事業側に属する個人なのか、それとも事業側の組織なのかも大きな課題である。日本の組織では、往々にして事業側の担当者が短時間で交代になり、折角築いた信頼関係を後任が破

壊す心配がある。さらに、一時的に信頼関係ができたとしても、事業側が強引に事業を進めようとするれば、信頼関係は簡単に崩壊してしまう。信頼関係を構築した上で事業側が何をすべきが大きな課題になる。

(2) 本来のすがたは事業側と主権者側の共進化

①共進化とは

対話のあるべき姿は、生物の世界で言う共進化に学ぶ方式である。共進化とは、複数の進化系が相互に影響を与えあうことで、両者ともにダイナミックに変化することをいう。技術は様々な発明やアイデアが社会による選択を経て進化する。社会も科学や技術の変化や知識の拡大によって大きく変化する。科学技術と社会は相互に影響し合うことで共進化の関係にある。処分事業でも、事業側と主権者側の対話を事業と社会の共進化の場と位置づけてはどうだろう。共進化によって事業を社会や地域との親和性の高い方向に進化させることができる。また、主権者側はこの共進化によって、参加意識が生まれ、合理的・科学的議論や判断ができるように進化し、ひいては社会全体の国民力向上につながるのではないだろうか。

しかし、事業側が「専門家の技術的判断は正しいから変更する必要はない」、「だから多少の修正はあっても本筋は変えるべきでない」、「すでに法律は整備したし、基本的考え方や具体的なやり方も政府として決定済みである」という考え方に凝り固まっていれば、事業側に進化の余地はない。対話の場では主権者側だけに変化を求めることになる。表面はともかく、本音で事業側が頑なであれば、共進化は起こらない。

これでは、市民側は「専門家だって様々なオプションから相対的な判断で結論に達したはずで、どのオプションを選ぶかは我々に権利があるはずだ」、「技術やシステムは変えないというのであれば一方的な押しつけに過ぎず納得できない」、「技術も制度も事業の進め方も対話を通して変化する前提でないと対話しても仕方がない」という反応にならざるを得ない。これでは共進化の関係は成り立たない。共進化を妨げる要因は主に技術や事業の硬直性、すなわち進化のための自由度の欠如である。

②技術や事業の硬直性

硬直性をもたらす原因の一つは特殊化という現象である。生物は特異的な環境に適応しすぎると、進化の自由度を失い、環境の変化に適応できなくなる。これが特殊化である。技術も同様に考えることはできないだろうか。高レベル放射性廃棄物の処分も「原子力村」の中だけで議論をすれば、特殊化の隘路に陥ってしまう。

東京電力福島第一原子力発電所の事故以前、軽水炉を念頭において原

子力は十分に完成し枯れた技術だと関係者は主張していた。かつて、IBMに代表された汎用機だけを見てコンピューターをすでに完成した技術だと考える人が多かった。そのため多くのコンピューター技術者はパソコンやインターネットに思いを馳せるようなことは不可能であった。しかし、学生などの若者の発想を中心に技術が一大変革した。どんな分野でも、技術が成熟したと考えることは進化を阻害する大きな要因である。

完成した技術と考えれば、多くの人々は新たな研究開発が必要とは考えない。共進化には事業側も進化すると言う意識が不可欠であるが、進化の方向が示されても研究開発が伴わなければ具体的なオプション（選択肢）は提示できない。自由な発想に基づく研究開発ができなければ、若い人を引きつける魅力は褪せてしまい、変化の邪魔をする固い頭が支配する世界に陥ってしまう。高レベル放射性廃棄物処分の世界はどのようなだろう。

さらに事業の立案や進め方も技術を硬直化させる大きな要因になる。普通の事業のように様々な主体が自主的に立案し進める状況であれば、技術を硬直させた事業主体が敗退して退場するだけのことである。しかし、処分事業のように事業者が極めて少数であり、しかも国のプロジェクトという形をとる場合には、統治の論理や無謬性という官僚の論理が幅をきかせてしまい自由度が許容されない場合が多い。

③処分事業における変化の余地（例示）

日本はこれまで使用済み燃料について、全量を再処理しその過程で不純物として分離された高レベル廃棄放射性廃棄物はガラス固化体として固形化し、最終的に地層処分するという方針を堅持してきた。まさに、歴史的にも自由度を放棄してきたことに他ならない。しかし、2015年 高レベル放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改定され、「可逆性・回収可能性を担保し、将来世代の選択を可能にするため幅広い代替えオプションを含めた技術開発を進める」ことが示された。

すでに原子力委員会やその他の場で、使用済み燃料の直接処分や可逆性・回収可能性などが検討されており、社会情勢を踏まえた政策変更でしかない。しかし、国の政策としてオプションの可能性を取り上げたことは、ある種の自由度を回復したとも評価できる。単に研究を進めることだけが盛り込まれたに留まるが、社会に対し変化の用意があることを示したという意味は大きいかもしれない。

ここでは、高レベル放射性廃棄物処分においてどのようなオプション、つまり自由度があり得るかについて例示を試みたい。まず、使用済み燃料の全量を再処理することに対し、その一部を再処理出ずに直接処分する

ことも大きなオプションの1つである。

次は技術的な側面について考えてみたい。地層処分以外に、初期の段階で検討された海洋処分、宇宙への処分、海溝への処分、極の氷床への処分、地上保管などがオプションとして考え得る。ただ日本では、海外の動向に合わせて地層処分に重点を置いたため、地層処分以外のオプションについて十分な検討がなされてこなかった。その点が、「地層処分ありき」という社会の批判につながっている。

地層処分にしても、深い縦坑を掘り、上から次々と処分体を投入するディープボアホールといった現在の概念と違った方式も提案されている。勿論、地層までの運搬経路をどう設計するか、廃棄体をどう定置するか、処分現場のモニタリングをどうするかなどで様々なオプションが考えられる。オプションの多様性こそ、進化の自由度につながる。

また事業の進め方についても自由度を持つべきであろう。現在の考え方では、ガラス固化体4万本の全量について一挙に事業のあり方を決めることが前提になっている。しかし、まず例えばまず1/10の4000本の事業に取り組み、その進み具合を見ながら次のステップを考えるとといった方式も考えられる。ガラス固化体にせよ使用済み燃料にせよ、発熱が減少するまで地上保管されるが、その期間をどの程度にするかについても共進化のプロセスの中で決めていくことが出来るはずである。

処分場の立地に目処がつけば、地域社会との対話は事業主体が主に担うことになると思われる。つまり、共進化の現場にあるのは事業主体である。処分事業のあり方に関する意思決定が、統治機構としての国や行政の議論で決まるとすれば。地元との議論で示される進化圧力が統治機構に届くとは考え難い。意思決定における事業主体の自由度を許容することが共進化の前提かもしれない。事業主体にどの程度の自由度を持たせるかも大きなオプションになるだろう。

4) 科学技術と社会の対話で留意すべき視点

(1) ブダペスト宣言と倫理的側面

国連のユネスコおよび国際科学技術連合の主催で、1999年6月末から7月始めにかけてハンガリーのブダペストに於いて「21世紀のための科学：新たなコミットメント」世界会議が行われ、国際社会が科学技術と社会の関係について考える契機になった。この会議の最終日に採択された「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言（通称ブダペスト宣言）」³は、科学技術と社

³文部科学省ホームページ

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryu/attch/129859

会の関係を考える基本的な指針を提供している。その一部を引用してみたい。前文では「(世界科学会議の) 行動のためのフレームワークは、自然科学のみならず未来への展望や活力を強調するだけでなく、自然科学が招来する恐れのある負の効果、そして社会に対する影響や社会との関係を理解する必要性についても強調しているところであるが、この世界宣言に述べられている、科学に対する責任、挑戦そして義務はあらゆる分野の、科学に関わる事柄なのである」、「人類の活動の発展あるいは拡張は、その明らかな恩恵だけでなく、環境劣化や技術災害も同時にもたらし、さらに社会的な不公平や阻害も助長した」、「倫理的、社会的・文化的な諸問題、さらには環境、性、経済、保健衛生などの諸問題に対処するには自然科学も社会科学も巻き込んだ学際的努力が不可欠である」、「科学の実践や応用は広く一般に議論された適切な倫理規制の枠内で行われる必要がある」などと述べている。

ブダペスト宣言は、科学技術の応用について安全性はもちろん、倫理的側面、社会的側面、文化的側面、環境的側面など（ここではこれらを総合して倫理的側面と呼ぶ）についても十分に配慮するよう求めている。科学技術に大きく依存する現代社会における科学技術と社会の対話では、科学技術がもたらすと思われる倫理的側面について十分に検討し、許容しがたい負の側面をいかに排除・軽減させるかが大きな論点なるべきである。具体的には①人間性を損なう心配は無いか②人間の能力を大きく超えていないか③新たな社会問題を引き起こさないか④文化に対してどんな影響がありそうか⑤将来世代にどんな負担をかけるのか、などについて議論することが求められる。

例えば、高レベル放射性廃棄物の処分問題だけを取り上げてについて倫理的な視点で議論を行えば、処分問題が特に大きな倫理的側面を提起するという誤解に繋がりがかねない。議論は、科学技術の倫理的側面に関する一般的な視点から始めることが望ましい。その上で他の類似技術との比較や様々なオプション間の比較を行うことが必要である。

(2) 社会親和性

対象となる科学技術について社会が受け入れやすいか否かという視点である。2015年の暮れにフランスのパリで開かれた気候変動枠組条約のCOP21で、「産業革命からの気温上昇を2℃未満に抑え、その上で1.5℃以下にするよう努力する」「21世紀後半に人為的な排出量と森林などの吸収量を均衡させる」とするパリ協定が採択された。この目標を達成するには、将来的に非化石エネルギーで100億人を上回る人口のエネルギー需要を賄うことが必要である。世界的見れば、人類の生存にとって原子力は必要不可欠の技術を考

えざるを得ない。しかし、多くの地域で人々は原子力の導入に消極的である。今のところ、原子力技術の社会親和性は極めて低い。同様に、社会的に見れば有用であっても、社会親和性の低い技術の例は少なくない。

社会親和性の低い技術に共通する特性について、本格的に調査研究することが必要と思われるが、本項では筆者の経験に基づく仮説を紹介する。親和性を考える視点として①人間の認識能力を大きく超えていないか②社会における利用経験を十分フィードバックできるか③社会が容易に制御できるか④自然体で技術継承が可能か⑤知識の不確実性が大きすぎないか⑥社会変化の柔軟に対応できるか⑦専門家は信頼されているか、などを上げることができる。

例えばインターネットは、全世界を巻き込む巨大技術であり、その仕組みの全体を把握することは極めて難しく、誰が何の目的で利用しているかについても謎が多い。明らかに

人々の認識の上限を超えたシステムだし、社会が容易に制御できない。そういう意味では社会親和性は低いと考えたいが、スマートフォンなどに代表される端末は短時間で社会に受け入れられ、人々はネットに接続された様々な機能を謳歌している。この場合、人々はスマートフォンなどの画面だけを操作すれば、いかにも自分で制御しているかの錯覚を持つことが出来る。認識能力を超えた仕組みが裏にかくれていることに思い至ることなく、社会が受け入れたと考えることが出来る。

さらに、社会親和性が低いからといって社会での利用を断念できない場合も少なくない。ここまでに度々指摘したように人々の認識能力に合わせた説明を工夫したり、認識能力に合わせた社会への導入プロセスを取り入れたり、システムをできる限り簡素化するなど、社会との共進化によって親和性を向上させる努力が求められる。

3. 3 政治の役割

1) トランスサイエンスな課題の意志決定

生命科学分野にはトランスサイエンスな課題が山積みされている。古くは、脳死による臓器移植を認めるべきか否かが大きな社会問題になった。脳死体から臓器を取りだして必要とするヒトに移植すれば命を救うことが出来る。純粋に科学的に見れば、脳死は人の死であり、脳死による臓器移植に反対する理由はない。しかし、脳死者の遺族の意識や古来からの生死観から見ると容認できないという声も少なくなかった。意志決定システムが科学的な判断だけから強引に結論を出せば、人々の反発は大きく、臓器移植そのものが社会に浸透しないと思われた。1990年には臨時脳死及び臓器移植調査会（脳死臨調）が設置され、1991年に中間報告を出してから全国各地で公聴会を重ねて、ようやく1997年に脳死移植法が成立するという経緯を経た。

トランスサイエンスな課題について、どんなプロセスで結論出すべきか。日本では真剣に議論してきたとは言いがたい。脳死による臓器移植の例は、日本の歴史の中でも極めて注目に値するプロセスを踏んだ。様々な局面で、審議会や有識者会議、研究会などを開催し、行政を通してその結論が内閣などに上げられ、行政システムによって意志決定がなされてきた。審議会などの結論は専門家の判断なのか、利害関係者の調整結果なのか、行政の意向の再確認なのか不明確である。審議会の結論だけで、社会的な合意がなったとは、とても考えにくい。だからこそ、脳死臨調は中間報告後に公聴会を続けた。

審議会ベースの意志決定システムは、高レベル放射性廃棄物問題を始め、トランスサイエンスな科学技術に対応することが難しいのではないだろうか。人々の意識や文化、常識と深く関連するため、科学技術を推進する側と社会が対話を重ね、合意を形成した上でどういう結論を出すか意志決定することが望ましい。もちろん、対話によって合意が形成されたかを定量的に判断することは困難であり、議論の変化を注意深く見極めることで意志決定プロセスを進める必要がある。

2000年に制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」では、

- ① 基本方針を経済産業大臣が定めて公表する
- ② 経済産業大臣は省令の定めるところにより最終処分計画を定め公表する

③ NUMO が実施計画を定めて経済産業大臣の承認を得る、

と定めている。法律には原子力委員や安全規制当局の意見をあらかじめ聞くという定めはあるが、基本的な考え方や処分計画を定めるに当たって対話のプロセスには配慮していない。

2) 改定された基本方針「基に画前面に出る」が目玉

2015年5月22日に、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改訂された。経済産業省のホームページ¹を見ると、表題に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が規定されました～国が全面に立って取り組みます」と書かれている。ということは、この改訂の最大の目玉は「国が全面に立つ」ことだと思われる。もう少し踏み込んで、「第3回最終処分関係閣僚会議資料1（経済産業省）」を見ると、「国が前面に立つ」ことについて、「国は、科学的により適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）示すこと等を通じ、国民及び関係住民の理解と協力が得られることに努めるものとする」、「国は概要調査地区等の選定の円滑な実現に向け機構（原子力発電環境整備機構＝NUMO）による調査の実施その他の活動に対得る理解と協力について、その活動状況を踏まえ、関係地方公共団体に申し入れるものとする」と記されている。

2000年10月にNUMOが設立されて以来、最終処分地の選定に関して、歴代内閣は必ずしも政治課題としての関心を示しておらず、単なる電力会社の経営上の課題程度にしか受け止めてこなかった。改訂で「国が前面に立つ」としたことは、政治的課題として認識されるようになった証と考えていいのだろうか。現在のところ（2016年6月末）では、科学的有望地に関する検討が続けられ2016年中にその結果が発表されると見込まれていること、経済産業省・資源エネルギー庁とNUMOが主催する全国シンポジウムが2015年と2016年に行われてきたこと、資源エネルギー庁による市町村対象を対象にした基本方針の説明会が開催されてきたこと、などが「国が前面に立つ」ことの具体的内容と考えられる。

¹ <http://www.meti.go.jp/press/2015/05/20150522003/20150522003.html>

3.3.1 原子力の政策決定と倫理

1) 背景および目的

1970年代に生じた石油ショック以来、エネルギー源多様化、従って、エネルギー・セキュリティの向上化に大きく貢献した原子力発電であるが、2011年3月11日に発生した福島第一事故で放出された放射性物質により周辺環境が広域に汚染されたという未曾有の経験を経た現在、環境倫理的な観点を含め、日本における原子力技術の価値を再評価せざるを得ない状況にある。また、ここで考察する直接処分に限らず、放射性廃棄物の地層処分は、数十万年間の安全を考慮する必要があるなど、長期多世代間にまたがる、人類として未体験の世代間倫理的な問題を提起している。

このような原子力を取り巻く諸問題への社会の関心が高まる中で、原子力専門家の常識的な想定内での安全という純粋な技術論だけで“正統的”な解決を導き、意思決定することには限界があるとの認識が広まった¹。即ち、相応の安全の確保に加え、事故・トラブル時の安全について社会の安心を獲得すべきこと、これらの安全問題に関し説明責任を果たすべきこと、科学技術の射程を越えた問題に対するトランス・サイエンス的なアプローチや熟議民主主義²による解決の模索、などの論点が浮上した。

そこで、ここでは、社会技術的論点を孕む原子力政策のあり方について、エネルギー・原子力問題、特に、直接処分を含む放射性廃棄物問題に関する様々な論点を主に倫理的側面から俯瞰し、問題提起とその解決に向けた提案を試みる。

¹例えば、原発のシビアアクシデント対策など、「想定外から脱皮するための処方」として、以下の文献では、異分野の専門家間の連携のほかに、市民や住民の参加の必要性を提起している。

公益社団法人土木学会：「社会安全推進プラットフォーム 社会安全研究会 報告書「社会安全哲学・理念の普及と工学連携の推進をめざして」」2013年6月

²決定それ自体よりも決定に至る過程に-着目し、利益集団間の妥協や多数派による支配ではなく、そこでなされる平等な参加者による熟慮と討議を重視し、そのなかで、みずからの見解や判断を変化させていくこと=熟議に、「民主主義の核心」をみるもので、十分な熟議に基づいた合意形成と政策形成の導出を指向する。具体的には、欧米で実施されている様々な市民参加型の会議形態のものやワークショップなどがあげられ、原発・エネルギー問題、移民の受け入れ、環境破壊、基地問題、ユビキタス・コンピューティングにともなう個人と社会の関係、マス・メディアの多様化など、現代社会に横たわる多くの社会問題や政策課題を公共の場での熟議を通して解決することが期待されている。

2) 政策決定と倫理的側面

これまで地層処分の問題は一部のステークホルダーの意思決定のもとに推進されてきたが、倫理的な観点から見れば、果たして正しいアプローチと言えたであろうか。

この問題例を考える上で、まず倫理（人として守り行うべき道）が提起する論点に着目すると、倫理学の分類に示されるように、規範倫理学やメタ倫理学において様々な学説・主義・思想が存在することに気付かされる。このこと自体、すでに、現実にはステークホルダーの倫理観・価値観が多様に存在することを意味している。このため、倫理学上、どの学説・主義・思想のもとで政策決定を行うかで最適解（あるいは究極的な妥協点）が異なることも確かである。では、どのような場合にどの倫理的主義や思想に則ってどういった最善の結果を導いたらよいのか。さらに、このような観念論上の問題だけでなく、政策決定を集団的に行う実際的な手段も一様でない。例えば、前述した熟議民主主義的な決定方法は、独善的な決定に比べれば、十分倫理的に望ましい。他方、より時間のかかる問題では、そのような討論の場を通じて結論を急ぐことはせず、また、いったん廃案になったものも、将来的に形を変えて再検討するといった時間を十分かけて練り上げていく解決策が世代間倫理的には考えられる。

このように、社会の多様な価値観を反映し、今まで考えられて来なかった議論を踏まえた政策決定を行う方法自体、様々な倫理的解決策がありうる。そこで、ここでは、上述の例に示されるような倫理的視点から政策を考えることの重要性やメリットに鑑み、直接処分の主に技術面を中心とした解決策の提案を試みると同時に、直接処分に関する倫理的側面（倫理性）について考える。

直接処分の特性は、再処理サイクルとの比較を通じ、相対的に把握可能である。一般に、複数の技術の優劣を公正に決定するため、安全性、経済性、社会的受容性など、技術的・社会経済的な複数の視点（評価項目）からの分析が要請される。例えば、表 3.3.1-1 に示すように、我が国におけるエネルギー基本計画では、安全性を前提に、第一に、エネルギー・セキュリティ、さらに、経済効率性、環境適合性、エネルギー需給構造の柔軟性、国民及び国際社会との協調性が謳われている¹⁾。他方、原子力撤退を決めたドイツでは、「安全なエネルギー供給に関する倫理委員会」勧告書のベースとなる倫理的な根拠として、持続可能性（環境が損なわれないこと、社会的公正があること、経済力が健全であること、と言う持続可能性の三つの柱）、将来世代に対する責任、人類の自然に対する生態学的責任をあげている²⁾。また、(政策や対策の意思決定における専門家間の協働の重要性から考慮が必要な)我が国の技術系学協会の倫理綱

領では、社会的な貢献の責任から、公衆の安全・健康・福利と環境に配慮する責任を重視する傾向にある³⁾。

では、政策決定における代替案評価システムにおいて、倫理的な要素をどのように考慮したらよいか。前述したように、これについては、倫理的な学説・主義・思想の多様性からも一様ではないと推察される。例えば、各評価項目を代表する指標がどういった傾向を有すべきか（増加すべきか、減少すべきか）を倫理的に決める場合や、倫理的に好ましい（増減）傾向が相反する複数の評価項目を有するシステムを総合的に評価する際の目的論（とりわけ、功利主義）と義務論の対峙、などがあげられよう。こういった論点を念頭におきつつ、ここでは、「1）背景および目的」で述べた昨今の原子力を取り巻く社会情勢（エネルギー・セキュリティの向上化への貢献、環境倫理や世代間倫理が提起する論点、安全性に関する専門家としての説明責任やトランス・サイエンスへの配慮）や表 3.3.1-1 に示す「エネルギー政策決定とそれに含まれる倫理的要素」をもとに、主として技術面に関する解決方策を提案するため、表 3.3.1-2 に示すような自律的なエネルギー政策形成のための倫理的な基準（倫理学のエネルギー政策決定への応用という意味では応用倫理的な基準）を例示した。

表 3.3.1-1 エネルギー政策決定とそれに含まれる倫理的要素

- 日本「エネルギー基本計画」(2014.4)¹⁾
 - 安全性を前提に、第一に、エネルギー・セキュリティ、
 - さらに、経済効率性、環境適合性
 - +エネルギー需給構造の柔軟性、国民及び国際社会との協調性
- ドイツ「安全なエネルギー供給に関する倫理委員会」勧告書(2011.5)のベースとなっている倫理的根拠²⁾
 - ・ 持続可能性（環境が損なわれないこと、社会的公正があること、経済力が健全であること）
 - ・ 将来世代に対する責任
 - ・ 人類の自然に対する生態学的責任
- 技術系学協会の倫理綱領³⁾（概ね、日本原子力学会を含む）
 - ・ 公衆の安全・健康・福利と環境に配慮する責任
 - ・ 公的情報を公開・説明する責任
 - ・ 雇用者・依頼者に対する責任
 - ・ 技術者個人の能力を向上させる責任
 - ・ 中立性・客観性・公平性を保つ責任
 - ・ 知的成果を尊重する責任
 - ・ 組織責任者としての責任
 - ・ 技術・技術業・技術者集団の社会的評価を向上させる責任
 - ・ 社会に積極的に貢献する責任
 - ・ 積極的な討論を推進する責任

表 3.3.1-2 自律的なエネルギー政策形成のための倫理的基準（例示）³

- 子孫に選択肢を残すためにも資源の節約に努めるべきではないか。
- 環境は健全に維持すべきではないか。
- 技術は安全リスクの低減に配慮しつつ、かつ経済的に行使すべきではないか。
- 現世代と将来世代の双方をバランスよく配慮すべきではないか。
- 様々な分野の専門家に、それぞれの専門性に則った説明責任を託すべきではないか。
- 科学的判断だけでは解決が望めない問題に対する公正なアプローチ法を考慮すべきではないか。
- 以上を総合的に満たした結果として、人類社会の「持続可能性」が達成されるべきではないか。

3) 倫理的基準（例示）に対する解決方策—主に技術面に着目して—

ここでは、表 3.3.1-2 に提起した倫理的基準（例示）に対し、直接処分に関連する解決方策としてどのようなものが考えられるかについて技術面を中心に検討し、提案する。

(1) 子孫に選択肢を残すためにも資源の節約に努めること

原子炉で消費される天然ウランは、化石燃料と同様、世界中の国々が自由競争によって使い出せば枯渇する可能性のある有限資源であり、採掘等による乱開発が進めば環境破壊源にもなりうる、といった警告が「共有地の悲劇」として昔から発せられてきた。また、たとえ世界人口が増加しても、一人当たりのエネルギー消費量を抑制し、エネルギー消費効率の高い技術が導入されれば、そのような悲劇の到来を当面回避できる可能性が高まるため、人口爆発より消費爆発を問題視する論も出ていた。

³ IEA 加盟国では、3E(バランスの取れたエネルギー政策立案)、即ち、エネルギー安全保障、経済発展、環境保護を中心に、気候変動に関する政策、市場改革、再生可能エネルギー技術開発におけるコラボレーションと加盟外国々へのアウトリーチを目指していることから、いずれの国も、少なくとも、安全性をベースに、経済性、環境保全性、エネルギー需給の安定性は共通した目標となっていると考えられる。その上で、我が国では、福島第一事故の反省も踏まえ、エネルギー供給技術が社会的に受容されるため、特に、原子力界では今まであまり強調されてこなかった世代間倫理、説明責任、トランス・サイエンス、持続可能性といった論点を倫理的観点から加味することの必要性を提起した。なお、環境、経済、社会の「持続可能性」は、人類社会の「健全な繁栄」をもたらさうる要素の一つといった意味合いで用いた。

このように、エネルギー消費量を抑制するには、消費者各自の省エネルギー意識の高揚とともに、エネルギー消費効率の高い機器等の開発・導入が不可欠である。とはいえ、有限のエネルギー資源の節約は、現世代はもとより、将来世代の生活を守る意味でも重要であるにもかかわらず、地球全体としてエネルギー消費の抑制機運が盛り上がらない限り、エネルギー資源を効率的に利用できる新技術を社会的に開発・導入する動機が生まれにくいことも確かであろう。一方で、現在は豊富に存在する資源も、仮に適正と思われる消費速度を維持し続けたとしても、千年、万年後の将来世代まで十分に使える量が確保できているとは誰も断言できないだろう。結局、そのようなリスクを少しでも緩和するには、消費資源多様化の努力を継続しつつ、地球規模でエネルギーを節約する精神の醸成が必要である。

原子力について言えば、トリウムの活用も将来の選択肢としては有りえるものの当面はウランが燃料資源として主役であり続けるであろう⁴。そのウランを最も効率良く使う技術は、リサイクルエネルギーの典型例であるプルトニウム利用技術であるが、仮に、プルトニウム利用価値が、そのためのコストと比べて社会的に高まらず、当面、プルトニウムを消費する機会が失われるとしたらどうだろうか。直接処分を前提とする場合が正にこの状況に相当するが、そのような場合であっても、エネルギー・セキュリティ向上のため、安全性はもとより、ウランの濃縮コストに配慮しつつ、可能な限り、原子炉の高燃焼度化を目指す技術を開発することで、ある程度のウラン資源節約を実現する道は残されている。このように、仮に再処理／プルトニウムリサイクルを実行できなくとも、ワンスルーでのウランの効率的利用を図ることで、現世代さらには将来世代のためにも、少しでもウラン資源の寿命を延ばす努力は必要であろう⁵。

また、ウランのように現世代において利用価値の高い枯渇性資源はもちろん、プルトニウムのようなリサイクル資源も、たとえ現世代で利用価値が見出されなくても将来世代がその利用価値を見直す可能性まで否定できないし、する必要もないと考えるなら、現世代が消費し尽くす代わりに将来世代が消費する機会を遺すという視点（献身の倫理）も必要ではなかろうか。こう考えると、将来世代に廃棄物という負の遺産のみ受け渡すことが世代間倫理的に問題ならば、プルトニウムなどの再利用可能なエネルギー資源も同時に遺す回収可能を確保

⁴ トリウムの利用に当たってはその放射能の強さからウラン利用とは異なる技術体系が必要であり、その技術は未だ開発途上であることから当面はウランに頼らざるを得ない。インド等で研究がつつけられているという情報も有る。

⁵ ウラン資源の確保策として、未だ研究段階ではあるものの海水中ウランの回収技術開発も行われていることも付記しておく。

した直接処分技術⁶を選択／開発したほうが、エネルギー・セキュリティの観点から社会的に受容されやすいかもしれない。

(2) 環境を健全に維持すること

原子力の環境への寄与については、正負の二つの側面がある。まず正の側面としては、地球温暖化に悪影響を与える二酸化炭素排出を抑制できることであり、はからずも福島第一事故を起点とした原子力発電所の全停止を経験したことで、この事実が国民の前に明示されたことは記憶に新しい。なお、この点についてはエネルギー源間比較の一貫性を保つため、原子力を化石燃料源とだけでなく自然エネルギー源とも比較すべきことは論を待たない。

他方、負の側面は、福島第一事故で経験したように、放射性物質の環境への放出がもたらしうる人間、自然環境、生態系への悪影響への懸念である。特に、寡黙な相手である環境が持つ権利、あるいは環境を守る義務とは何かといった環境倫理的な論議⁴⁾、経済的な豊かさに対する真の豊かさを問う宗教界からの批判⁵⁾、人間中心主義的な人間観・自然観を反省するキリスト教徒の新たな動き⁶⁾などがあげられる。また、同じ人間中心主義でも、環境をないがしろにすることが結果的に人間に禍を及ぼしうる問題は無視できないと考える「弱い人間中心主義」の立場もある⁴⁾。

こういった環境影響を問題視する迷惑施設の立地では、環境正義や NIMBY などといったリスクの配分問題に関わる倫理観が問われやすい。また、リスクや不確実性を有する環境問題に対し、予防原則が実効性を有するには、科学的な調査や費用便益分析を可能な限り行った上でその適否を決定すべきといった従来の正攻法的なアプローチに加え、完全な無知（知らないということさえ知らないような「無知」）の領域を非合理的な概念として排除せず、「無知」に基づく想定外の事態を考慮した環境保護対策を行うべきとの主張もある⁷⁾。

では、数十万年間の環境安全性を扱う地層処分システムにおいて、環境倫理や環境正義並びに予防原則の観点から、環境問題に対しどのような応答が考えられるであろうか。例えば、処分システムを構成する廃棄物容器の持つ放射性

⁶直接処分採用国で回収可能性が具体的に検討されているスウェーデン、フィンランド等の回収技術概念が下記に示されている。

公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：「諸外国の地層処分における可逆性・回収可能性について（再整理）」総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ワーキンググループ第17回会合参考資料1(平成27年2月)

また、廃棄物の回収及び修復可能な処分概念として下記の提案がある。

Sumio Masuda, Hiroyuki Umeki, Ian G. McKinley, Hideki Kawamura：「Management with CARE:a CAvern-REtrievable option for long-lived radioactive waste」 Nuclear Engineering International 49 (604) pp26-29 (2004)

物質閉じ込め機能（容器寿命）をより強化することで、容器の経年劣化破損に伴って漏洩が始まるまでの間に（自然崩壊により）核種濃度を低減させるという考え方がある。しかしながら、環境に影響のある核種をどこまで低減させればよいかという観点から、放射能の減衰のための閉じ込め目標値を一律設定することは、廃棄物中の放射性核種の特長（半減期、濃度等）が異なるために困難である。

例えば、ガラス固化体の場合、製造当初に圧倒的な量を占める Cs-137（半減期 30 年）や Sr-90（同 29 年）などの比較的短寿命の核種は、容器（鋼製オーバーパック）の寿命期間（たとえば 1000 年）内にほとんど減衰することが期待できる。なお、ガラス固化体と併せて処分することが考えられている廃棄物（TRU 廃棄物等）には長寿命核種である C-14（半減期 5730 年）や I-129（半減期 1570 万年）が含まれることから、それらの特長も踏まえ閉じ込め機能の強化（容器寿命設計や緩衝材の選択・配置、処分場を構成する岩体特長等）を検討しておく必要がある。また、使用済燃料の直接処分の場合は線量支配核種として C-14（半減期 5730 年）や I-129（同 1570 万年）が考えられるので、とくに C-14 の半減期を考慮して、数万年の耐久性を有する容器（例えば鋼製キャニスター）を開発することは有意義なことである。その場合、ガラス固化体の処分と同様に、処分システムの各構成要素の機能や、経済性も考慮しながら合理的な安全確保方策を検討することが求められる（(1)(3)参照）。

(3) 技術は安全リスクの低減に配慮しつつ、かつ経済的に行使すること

原子力発電の他のエネルギー源に対する経済的な優位性は、所謂、相応の安全性に呼応した結果である。(2)で述べた直接処分の環境問題における安全性と経済性のトレード・オフ関係も、ある意味で想定内の問題の一つである。これに対し、事故コストをどう考えるかといった論点が指摘されている⁸⁾。こういったリスクや不確実性の問題について、想定しなくてよいか、想定して予防方策を講ずるべきか、想定しえないが事前警戒や事故対策を講ずるべきか、などの区別の必要性が指摘されている⁹⁾。また、そもそも、経済成長を重視し、安全を軽視する現代社会の価値観自体を批判する論考もある⁵⁾。さらに、経済性に依拠する予防原則論を乗り越え、想定しえない破局的事象も極力リアルに想定し、対策を講ずるべき、とする考え方がこれからの法の哲学や思想上重要な論点となりうるとの指摘がある¹⁰⁾。

このように、安全性と経済性に関する論点は、特に 3.11 以降、盛んに出されているが、予防原則については、従来より、費用便益分析が不可避とされ、他分野（医療、農薬、化学薬品、遺伝子組み換え食物、環境問題など）でも重要

視されている。しかし、このような功利主義的な方法を適用した場合、最悪のシナリオにおける予防コストがたとえ甚大であっても、その予防効果（ベネフィット）が膨大ならそれも許容可能、といった一面的な帰結がもたらされる。このような功利主義の考え方の欠点を回避する上では、それに替わる考え方として義務論に着目し、双方の考え方をバランス良く採用することが望ましい。例えば、リスク/コスト/ベネフィット論のような相互に依存する複数の評価指標からなる選択問題を解決するには、総効用最大化といった功利主義的な方法の代替案として、経済性以外の指標に対しては義務論的に規定し、その全ての規定を制約条件として満足するケースにおいて経済性を相互に比較・評価する、といった方策が考えられる。

さらに、国際的な視点から、安全性と経済性の相克に関する論点が指摘される。例えば、通常、各国ごとに、科学的な安全評価は、独立性、中立性を保ちつつ政策に利用できる客観的な評価を下すが、諸政策はそれだけでは決められず、当然のことながら、国ごとに異なり、結果として国際的な貿易摩擦が生じうる（例：BSEの検査、ホルモン牛肉紛争）。

以上のような安全性と経済性の両立という不可避な課題を克服するには、将来世代にわたって資源を有効に活用したいという欲望だけでなく、資源を消費する技術の重大事故などによる経済的損失（社会的信頼性を喪失する不幸な出来事）を確実に回避すべきという倫理的な危機意識を通じ、技術革新を産み続ける努力を併せて行うべきであろう。

（４）現世代と将来世代の双方をバランスよく配慮すること

原子力発電をライフサイクルで考えるなら、放射性廃棄物の最終処分までの長期間を考慮対象とする必要がある。特に地層処分のように数十万年の長期間が対象となれば、将来世代の安全保護（従って、将来世代が自ら負わざるを得ないリスクを認知し、管理する権利や負担への配慮）といった世代間問題も浮上してくる。一方で、(1)で述べたように、直接処分の場合、将来世代がいったん処分対象とされた使用済燃料からプルトニウム等の有用資源を回収する機会や、地層処分より優れた代替技術の実現機会を遺しておくべきとの提案もありうる。確かに、現世代 vs 将来世代という構図を考えた場合、その人口比率からみれば、将来世代は膨大な数のサイレント・マジョリティとなり、それを軽視してよいという判断は倫理的にありえない¹¹⁾という指摘にも一理ある。

しかし、このような世代間倫理的な観点から、地層処分システムでは永久処分という考え方を見直し、回収可能性を検討すべきと言えるが、回収の際の安全性や社会的受容性が確保できるかといった問題をはじめ、将来世代の負担増（管理などの労力や費用などの経済的負担）は避けられず、また長期的に安定

な制度を維持できるかという疑問があるとともに、永続的な回収可能性のためには、その維持に伴うリスクの低減や選択の余地の観点とともに、将来世代への長期記録保存等による情報の引継ぎが必須である¹²⁾¹³⁾。

他方、世代間正義論には、世代間の利害関係、将来世代への危害の検証可能性、将来世代との間のコミュニケーションや物理的な影響などの相互性（互惠性）、存在していない将来世代による現世代の行為を律する権利、異なる政策が想定する将来世代の「非同一性の問題」（将来を配慮した現在の行為自体が、現在想定した将来を変えてしまう可能性から、世代間倫理の土台を揺るがす難問）など、正義の諸原理において世代の時間的隔たりを越えることが困難であるという根源的な難点は拭い去れないが、不正行為の回避義務（責務）を目標とする限り、将来世代に対する現世代の義務・責務の規範性に一定の理論的根拠が与えられ、実践的に受容されればよいという論考¹⁴⁾や、将来世代に対する潜在的な相互責任を反実仮想的な理想的コミュニケーション共同体の一員として現世代が受け入れればよいといった肯定的な意見もある¹⁵⁾。

そこで、このような世代の時間的隔たりを越えることの困難性を解決する上でも、数十万年という地層処分システムにおける評価対象期間を区分的に分割し、各区間ごとの責任で物事を考える制度（例：区間的安全規制）⁷⁾が有効ではなかろうか。

また、以上のような世代間倫理の論点を踏まえると、現世代の技術レベルで処分場閉鎖の判定基準（長期安全性、実証性、品質管理システムの長期健全性などに関する要件）を設定し、これを満たし次第、閉鎖を行うといったルールを次世代に伝えていくことで、将来世代の閉鎖の判断に伴う負担を軽減するとともに、閉鎖後も、モニタリングや回収可能性（直接処分における資源再利用の場合も含む）を可能とする技術開発（例えば、下記）を進めることが現時点で実行可能な一つの方法ではないだろうか。

- ・ 長期の記録保存あるいは情報継承に関わる技術開発
- ・ 閉鎖後も、将来世代の労力や経済的負担を最小限に抑えた「条件付閉鎖」（モニタリング及び回収可能性）を確保するための技術開発
- ・ 地層処分か長期貯蔵かといった対立する価値観の折衷案として、「条件付閉鎖」も可能とする深地下（長期もしくは永久）貯蔵をベースとする技術開発

⁷⁾ 「区間的安全規制」といった表現は、「交通規制における区間規制」のような使用例はあるが、一般的には見受けられない。この論考で新たに提案した表現である可能性が高い。ここでは、世代間の意味のある時間的隔たり（例えば、責任ある制度的な成立並びに持続可能性）がどの程度かに基づいて規制期間を設定することを提起してはいるが、自然現象の影響が関連するシステムに対する安全規制の区間設定にあたっては、統計学的な知見に基づく推定では長期になるほど不確実性が増すことに配慮しつつ、地質学的に安定な期間も考慮対象となりうる。

(5) 様々な分野の専門家に、それぞれの専門性に則った説明責任を託すこと
直接処分を含め、地層処分のような公共政策の倫理的分析では、将来世代、安全性とリスク、負担と受益、包摂とエンパワーメント（能力開化、権限付与）と同時に、説明責任と監視、が論点として挙げられている⁸⁾。ここで、説明責任（アカウンタビリティ）とは、社会に影響力を及ぼす組織で権限を行使する者が、直接的関係者だけでなく、間接的関係をもつ全ての人・組織（ステークホルダー）にその活動や権限行使の予定、内容、結果等の説明をする必要があるとする考えのことで、例としては、環境影響評価（事業者の環境配慮、但し、地層処分システムに対しては、法的拘束力がまだ存在しない）、産業化科学（大型研究プロジェクトの研究成果の社会への還元）などがある¹⁶⁾。その求められる責任の中身としては、個々人の生命のかけがえのなさをどのように捉え、責任の根拠とすべきか、といった大きな倫理的な課題を背景としつつ、生命を脅かすリスクが完全にゼロでない限り生じうるゼロリスクに対する無限の責任というより、事柄をどのように、どの程度解決に導くことができるかに関して弁明が課される責任、である¹⁵⁾。もちろん、一般には、経済性や地域振興など、安全性以外の要素に関しても、説明責任が問われるべきことは言を俟たないが、これらの要素については、安全性が大前提の上で、といったエネルギー基本計画¹⁾の基本精神への配慮が必要である。

例えば、地層処分システムが長期にわたり安全であることを科学的に説明するには、その安全性を確実に裏付けることができる技術/ロジックを開発することが必須要件である。そのためには、実証性の考え方や不確実性の問題への有効なアプローチ・対処方策の考案が必要である。特に、ゼロリスクとならない要因（例：予測不可能な事象の存在）とその防御の必要性や防御が必要ならば防御の有効性に関する説明が求められる。また、このような説明責任の信頼性を高めるためには、(4)で述べたように、評価対象期間の区分化を行い、各区分ごとに事象の連続性を考慮しつつ適切な基準値を定め、安全性を説明することが有効であろう。

さらに、安全性やリスクの評価指標としては、必ずしも量的なものに限定せず、質的なもの（専門家の立場から見た懸念事項などを含む）も効果的に反映できるはずである。そのような定量的及び定性的な複合判断指標に基づいて、予防方策や事前警戒・事故対策（損害賠償や防災対策を含む）などに関する専門的な判断を行い、その判断過程（対策の必要性・有効性、総合的な判断の根拠など）について説明責任を果たすべきである。

(6) 科学的判断だけでは解決が望めない問題に対する公正なアプローチ法を考慮すること

(5)で述べた専門家の説明責任の対象範囲は、相応の安全性や環境保全性にとどまらず、福島第一事故に代表される過酷事故のように、専門家の想定をはるかに超える重大な事故を未然に防ぐにはどうしたらよいかといった疑問にも誠実に応答できるものでなければならない。基本的に専門家は科学的な知識を拠り所とした解決を試みるが、現実には民間企業であれば経営判断も入る（福島第一事故の場合は津波対策の欠如⁸がこれに相当するか）ので、科学的知識は必ずしも課題解決にはつながらないことがありうることを福島第一事故は物語っている。その一方で、低確率であるが重大な事象を専門家が結果的に看過してしまうといった所謂「想定外の問題」も有りえる。福島第一事故は、女川発電所の対応⁹を見ても科学的に予見できなかったわけではなかったことから、必ずしも「想定外の問題」では無かったが、こういったことも含めてトランス・サイエンスの領域と言えるかもしれない¹⁷⁾。このようなことは、より長期の課題を扱う直接処分についても、当然のように有りえるし、考慮すべき問題と言えよう。

このように専門性の高い科学的判断が有っても、それを凌駕する経営判断もあるし、もちろん科学的判断だけに頼っても解決が難しい問題では、例えば環境影響評価の一連の手続きにおいて制度化されているように、非専門的な立場や部外者から提供される情報や意見・提案などを活用することが考えられる。確かに、予防原則における情報公開の重視は、専門家が認識できないリスクの存在や経営層が判断を誤りそうな問題について非専門家を含む部外者の側から気づかせ、非専門家を含む部外者の判断が制度設計へ予防的に反映されうること（ステークホルダー間の対等な討議を踏まえた社会的合意形成への展開）を期待したものと指摘がある¹⁵⁾。しかし、このような場合、少なくとも、非専門家を含む部外者を巻き込んだ多様なステークホルダー間の意見調整が必要になると考えられ、最終的には対立する多様な価値観に対し全体的にうまく折り合いをつけていく設計的思考と双方向的コミュニケーションの視点を結び付けた技術者倫理教育も大切になる¹⁸⁾。

また、過酷事故のような低発生確率重大事象や地層処分システムにおける超長期の不確実性評価では、確率、リスク、不確実性といった認識論的な諸概念の適用限界から、専門家としての責任範囲が自ずと定まると考えられる。しかしながら、その射程を超えうるような予測可能性に関する問題(2)で述べた「無

⁸ 日経新聞（2011年8月24日）に「東京電力は、福島第1原子力発電所に最大10.2メートルの津波が来て、押し寄せる水の高さ（遡上高）が15.7メートルになる可能性があることを2008年に社内で試算していたことを明らかにした」との記事有。

⁹ 電気事業連合会発行「ENERLOG」No12（2014年3月）等に女川発電所の津波対策が2011年3月11日の津波から発電所を救った旨の記事有。

知」の領域を含む) に対しては、上述の専門性の限界を見越した上で採用を考
えるべきトランス・サイエンス的なアプローチ、さらには、科学的な方法の典
型である認識論のほかに、存在論的なアプローチの可能性など、あらゆる方法
を模索する最大限の努力を惜しむべきではない。

(7) 以上を総合的に満たした結果として、人類社会の「持続可能性」が達成さ
れること

以上の倫理的基準(例示)を長期にわたり全て満たし続ければ(それが可能
であるのなら)、人類社会も破綻することなく持続可能となることが期待さ
れる。しかし、それを強く希求する結果として、例えば 3R (Reduce、Reuse、
Recycle) 方策を採用して循環型社会を達成し、定常的な経済活動や自然の生態
系及び社会システムの復元力(レジリエンス)を重視する論が出てくるが、こ
のような理想的な社会経済活動を支える倫理観(環境倫理や世代間倫理を含む)
を長期間維持することができなければ、人間と非人間、あるいは、現世代と将
来世代の間で、国家といった社会的共同体のような長期社会制度を擬制的にで
も成立させ、存続させることは難しいにちがいない。ましてや、以上の(1)~(6)
の倫理的基準(例示)の全てを単独の技術体系で長期にわたり完璧に満たし続
けることは通常は考えにくい。

そこで、より現実的に考えるなら、各世代ごとに多様な技術を可能な限り多
く開発し、それらを有限区間ごとの責任で最適に構成していくこと、即ち、予
断を許さない将来の不確実性、多様性に鑑み、技術の世代間に及ぶ持続可能性
を達成するため、十分な柔軟性を有する最善の技術政策として「多様化に立脚
した安定性が高く、レジリエントなベスト・ミックス」を常に目指し続ける努
力をすべきである。特に、原子力の持続可能性を考える上では、福島第一事故
以降のエネルギー消費構造の変化¹⁹⁾や原子力安全規制の強化、環境影響評価法
の改定の動き(放射性物質適用除外の削除)²⁰⁾などを含めた様々な局面での社
会事情の変化への配慮が必要である。もちろん、環境を重視する環境アセスメ
ントでさえ、社会経済的な影響を同時に考慮し、それらのバランスを求めずし
て持続可能性は達成できないと考える傾向にある²¹⁾。

以上の観点を踏まえると、エネルギー基本計画¹⁾でも提唱しているように、
「多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築」に寄与するためにも、
従来の再処理リサイクル路線に加え、オプションの一つとして直接処分の技術
開発も並行して進め、ワンスルー型燃料サイクルの原子力を将来の選択肢の
一つとして遺しておく意義はあるのではないかと考える。同様に、放射性廃棄
物の処分概念についても、基盤となるべき必要最低限の基本概念は活かしつつ、
処分立地点の自然環境や地域社会のニーズ等に応じた「共創型処分場」という

柔軟かつ斬新な思考¹⁰（可謬型の発想）¹¹が、時間をかけてゆっくりと処分概念を醸成するといった熟成型の思考とともに、人類社会の持続可能性の向上に寄与するのではないかと考える。

4) まとめ

ここでは、エネルギー政策の一環としての原子力の意思決定を左右する要因として7つの倫理的基準（例示）を提起した。それらの論点を踏まえ、特に直接処分を念頭におき、各基準に関する提案を、社会経済的側面にも配慮しつつ、主に技術面について試みた。

具体的には、直接処分を前提とする場合、将来技術の発展性を期待し、高燃焼度化技術、回収可能型処分（長期地下貯蔵方策を含む）¹²や（地上に居住する人の被ばく線量を十分低くするという意味での）超長期耐久性を有するシステムの必要性などを提案した。これらから構成されるワンスルー型燃料サイクルは、技術・経済面や核セキュリティ上の課題はあるが、将来世代にわたるエネルギー・セキュリティ、諸政策の不確実性や予期せぬ事故・トラブル時における柔軟性及び環境倫理などの点で、燃料サイクルの選択肢の幅を広げる可能性がある。

また、このような技術面における倫理的諸問題への解決方策は、それを支える社会的な諸方策との協働に成功しない限り、土台から掘り崩される危険性を孕んでいる。そこで、ここでは、世代間正義論の難点解決の一方策として、説明責任の信頼性を高める観点からも、地層処分システムにおける超長期にわたる対象期間の区分化を、また、不確実性評価では、専門家や認識論の限界に留意し、トランス・サイエンスや存在論からのアプローチの可能性など、社会技術的な論点についても言及した。

このように、原子力政策を立案・決定するには、技術・社会・経済・環境などの視点のみならず、多くのステークホルダーの立場や社会的責任を幅広く総合的に検討する必要があるが、個々の時点や国内外の諸状況に応じ、倫理的基

¹⁰豊島廃棄物等処理事業は、国や香川県、豊島住民等のステークホルダーが共に参加・協働し、新たな関係や価値観を創って問題を解決するという「共創」の理念のもとに進められている。

¹¹対象システムが誤りを免れないと考え、その対象システムを大きく進化するほどに大胆な代替案を提示するとともにそれを批判するプロセスを強化するといったタイプの発想

¹²ここで提案した長期貯蔵は、本来、使用済燃料の最終処置の一つのオプションとして地下深部に長期的に貯蔵する方式を意味したもので、将来世代がそれを閉鎖するか否かを判断できる余地を遺す方策（従って、中間貯蔵⇒再処理・リサイクル、または、**wait & see for further options**」路線の可能性を含むもの）でもあるという意味では、いわゆる中間貯蔵の一つの形態とも言える。但し、貯蔵期間が長期化する場合には、従来の上保管型中間貯蔵より安全上有効な方策と考えられる。

準の何をどの程度重視するか、どのような考え方で意思決定するかで結論は変わりうる。このため、総合判断の際に陥りがちな功利主義の短所にも留意しつつ、多様な価値観の共存下における公正な政治的解決方策はどうあるべきかについては、さらに慎重な検討が必要である¹³。

なお、本稿では、倫理的論点に対する社会面での解決方策について十分に論ずることができなかつた。また、安全保障（安全規制上）や核不拡散（法的義務）など、原子力平和利用のための国際関係上の倫理的な検討も今後の課題とした。

【参考文献】

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：「エネルギー基本計画」2014年4月発表
http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf
- 2) 峰内 et al. 「日本はドイツから何を学べるのか。ドイツ政府「安全なエネルギー供給のための倫理委員会」勧告を検討する」日本経営倫理学会誌 第20号 pp39-53 (2013)
- 3) 大石：「技術者倫理の現在」勁草書房 (2011)
- 4) 馬淵：「環境倫理学と正義の問題」中央学院大学人間・自然論叢 (16) pp91-108 (2002)
- 5) 島藪：「福島原発災害後の宗教界の原発批判 — 科学・技術を批判する倫理的根拠 —」宗教研究 87(2) pp107-128 (2013)
- 6) 竹村：「環境倫理と宗教思想 — 仏教思想の課題について」 「エコ・フィロソフィ」研究 第7号 pp9-20 (2013)
- 7) 渡辺：「予防原則の有効性について — 環境保護活動において人間の無知をどのように考慮に入れるか —」 哲学論文集 48 pp 105-122 九州大学哲学会 (2012)

¹³例えば、功利主義と人格主義、平均値論と分散論、人間中心主義と非人間中心主義、あるいは、多様なエネルギー源の取捨選択問題、などに見受けられる価値観の対立は、対立し合う双方が何らかの形で両立しうる形而上学的な視座転換を行うか、あるいは、二者択一的な解決ではなく、どのような場合にはどの考え方が適切かといったコンビネーションによる解決方策を模索することが考えられる。但し、そのような意思決定のための評価基準、特に倫理的基準として何を設定すべきか（例：総幸福量や道徳的指標）については、慎重な検討が必要と考えられる。

- 8) 藤川:「書評論文 原子力政策をめぐる廃棄物問題と熟議 [ジュヌヴィエーヴ・フジ・ジョンソン著『核廃棄物と熟議民主主義 : 倫理的 policy 分析の可能性』] PRIME = プライム -(35) pp 97-106 (2012)
- 9) 吉澤 et al. :「科学技術の不定性と社会的意思決定 : リスク・不確実性・多義性・無知」科学 82(7) pp788-795 (2012)
- 10) 中山 :「科学的不確実性と法—福島原発事故から何を学ぶか」法律時報 85(3), pp85-89 (2013)
- 11) 寺本 :「科学技術の長期的リスクと世代間の公正—高レベル放射性廃棄物の処理方法をめぐって—」社会と倫理 第 27 号 pp121-133 (2012)
- 12) H. Damveld et al. 「Nuclear Waste and Nuclear Ethics - Social and ethical aspects of the retrievable storage of nuclear waste」 Report in outlines Jan. (2000)
- 13) 杉山 et al. :「放射性廃棄物地層処分における記録保存の検討」記録管理学会誌 (45) pp1-9 (2002)
- 14) 太田 :「世代間正義論はなぜ困難なのか—さまざまな批判的論法に着目して—」玉川大学文学部紀要 第 52 号 pp119-140 (2011)
- 15) 山本 :「予防原則の倫理学序説—欧州の実践と責任倫理を手がかりに」哲学論集 (36) pp75-90 (2007)
- 16) 加藤 編 :「応用倫理学事典」丸善出版 (2008)
- 17) 小林 :「科学技術的思考と法的・社会的思考の相克」法律時報 85(3), pp80-84 (2013)
- 18) 大石 :「技術者と公衆の信頼関係をどう築き上げていったらいいのか—科学技術の安全・リスクという側面から—」倫理学研究 第 43 号 pp14-23 (2013)
- 19) 堀 :「エネルギーベストミックスについて」日本エネルギー学会誌 91(1) pp2-9 (2012)
- 20) 人間環境問題研究会/編 :「特集 最新の環境アセスメント法の動向と課題」環境法研究 39 号 有斐閣 (2014)
- 21) 環境アセスメント学会編:「環境アセスメント学の基礎」恒星社厚生閣(2013)

3.3.2 政策コストを含めた社会的費用

本項では、原子力発電の社会的受容性向上にあたり重要な要因の一つである原子力発電コストの評価について、これまでのコスト評価事例をもとに主要な論点を整理する。特に、2004年の「新計画策定会議 技術検討小委員会」において初登場した「政策変更コスト」、及び2011年に政府により組織された「コスト等検証委員会」において取り上げられた「事故リスクコスト」を巡っては様々な議論が展開された。その経緯も踏まえ、原子力発電の社会的受容性向上に資する社会的費用の考え方について考察する。

1) 発電コストの概念

「発電コスト」とは元来は文字通り、発電を行う際に必要となるコスト（費用）を指すものであった。しかしながら発電事業体系や規制制度の成熟・複雑化に伴い、当初はコストとは考えられていなかった項目が「外部性」を伴う概念で関連を言及されるようになったことから、コストに何を含めるかにより範囲や規模が変わってくることとなった。狭義の「発電コスト」とは発電主体が発電を行うために直接要する費用、すなわち発電設備の建設・運転維持・廃棄やその後の廃棄物の処理処分等に係る費用であり、概ね電気事業者の「有価証券報告書」中に見られる電気事業営業費用に、支払利息等の金融費用を加算したものが該当する。

このほかに事業遂行上必要不可欠な費用、例えば発電設備の技術開発に要するコスト、送電線系統の安定化に必要なコスト（系統対策コスト）、環境対策コスト（排気中の有害物除去のためのコスト等）まで含める場合があり、この場合は上記「狭義」に対して「広義の発電コスト」とでも呼ぶべき概念となる。

更に、発電コストには含まれないが、発電コストと密接な関連があり、技術以外の各種社会的・制度的な要因によって国民が何らかの負担をしているものが存在する。例えば特定の電源に課せられる固定価格（Feed-in Tariff、FIT）、革新技術の研究開発費等が相当する他、例えば不可逆な環境破壊により人類が将来被る被害やエネルギー安全保障が損なわれる場合の損失等、貨幣価値に換算不可能な概念まで、関連する電源の発電コストとして整理すべきという議論まで昨今はなされている。

以上の「狭義・広義の発電コスト」及び「発電コストに含まれない費用・負担」の概念を図示すると、図3.3.2-1のようになる。

発電コストについて議論する時、特に種類や発生時期の異なる電源間のコストを比較する際には、この定義によるどの項目までを比較すべき「コスト」に含むか、その意味は、について合意をすることがまずは必要である。

3. 発電コスト以外の負担

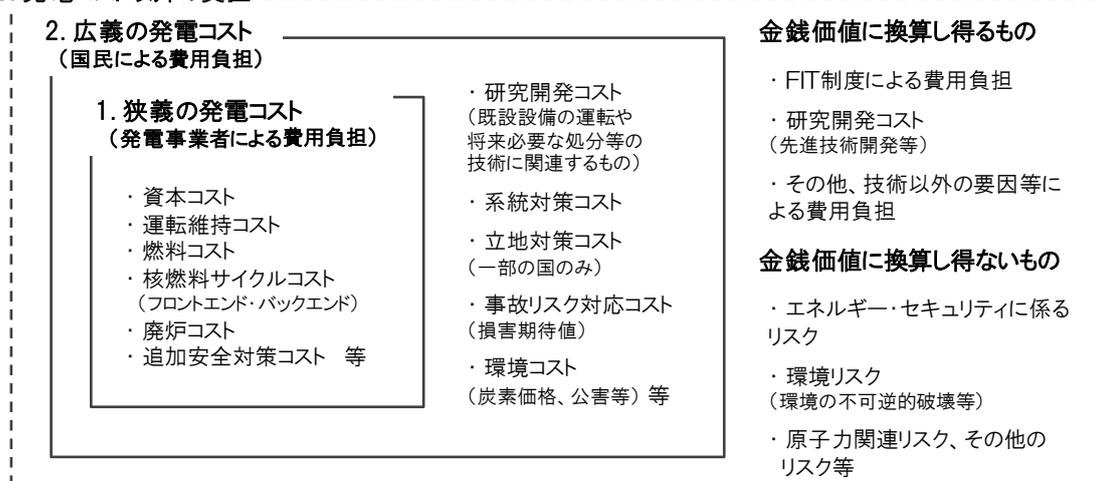


図 3.3.2-1 発電に伴う負担の区分¹

2) 発電コスト検証の経緯

(1) 2004年「新計画策定会議 技術検討小委員会」

2004年、上記小委員会において我が国初の「再処理か、直接処分か」の政策議論が行われた。翌年制定を目指す「原子力政策大綱」に向け、核燃料サイクル政策の選択肢について情報を十分開示し広く国民に意見を募り、選択肢のメリット・デメリットを十分議論して意思決定する目的である。発生する使用済み燃料を全て再処理し MOX 燃料に成型加工して再利用する「全量再処理」、六ヶ所再処理施設の容量分は再処理して六ヶ所の再処理能力超過分の使用済燃料は中間貯蔵後、直接処分する「部分再処理」、使用済燃料を中間貯蔵した後直接処分する「全量再処理」、全ての使用済燃料を当面中間貯蔵し、その後政策判断を行う「当面貯蔵」の4選択肢について、表 3.3.2-1 にあるような 10 項目を評価指標として定量的・定性的な評価を専門知識のある委員や外部有識者が実施した。

- ①安全の確保
- ②資源節約性及び供給安定性 (エネルギーセキュリティ)
- ③環境適合性
- ④経済性
- ⑤核不拡散性
- ⑥技術的成立性
- ⑦社会的成立性 (社会受容性)
- ⑧選択肢の確保 (柔軟性)
- ⑨政策変更に伴う課題
- ⑩海外の動向

表 3.3.2-1 各選択肢に対する 10 項目の評価視点

技術検討小委員会では新計画策定会議からの指示のあった、シナリオにおける燃料サ

¹出所) (一財) 日本エネルギー経済研究所「原子力発電コストに係る主要な論点とその評価」松尾雄司、下郡けい、鈴木敦彦 2015年1月20日

イクルコストの計算の他、直接処分に関する不確定要素を考慮に入れた上で、直接処分のコストを我が国政府機関として初めて実施した。

「政策変更コスト」は経済性評価のために必要と考えられる作業を遂行する過程で提示された概念である。具体的には、再処理、高レベル放射性廃棄物処分、使用済燃料中間貯蔵等については、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会において電気事業者から提出されたコスト算定データが存在する一方、使用済燃料直接処分は、国内の状況を勘案したコスト算定根拠となるような信頼できるデータがない。よって算定作業が必要となるが、その際、従来想定していた政策を断念することから生じる様々なコスト、例えば六ヶ所再処理工場への既投資額の回収及び解体撤去費用等、政策を今変更しなかったら生じなかったであろう「政策変更コスト」が発生するのではないか、ということである。

注目すべきは、この問題提起が2004年7月の新計画策定会議、すなわち技術検討小委での議論が始まる前に既になされていたことであり、シナリオ比較前の段階で、既に直接処分を含むシナリオにおけるコスト評価において「政策変更コスト」を乗せることが示唆されていたことである。前節(1)で述べたような「発電コスト比較の際にはどこまでをコストに含むべきかについて合意をすること」が、この場合は検討された形跡がなかったという意味で、このときの検討過程には反省すべき点があるであろう。

シナリオ別サイクルコスト試算の結果は以下の通りとなった。

- イ) 全量再処理 約 1.6 円/kWh
- ロ) 部分再処理 約 1.4～1.5 円/kWh
- ハ) 全量直接処分 約 0.9-1.1 円/kWh
- ニ) 当面貯蔵 約 1.1～1.2 円/kWh

総コストは上記サイクルコストに発電コストを加え、更に政策変更コストを加えて算出される。政策変更コストの考え方としては、再処理事業が中止となった場合、六ヶ所村や青森県等、立地自治体の信頼を損ない、使用済み燃料受け入れの中止並びに搬入済廃棄物の施設からの搬出を求められる可能性があるのではないかと、という条件を仮定し、以下の費用を「全量直接処分」及び「当面貯蔵」シナリオにカウントした。

- 原子力発電所が運転停止になることから発生する火力発電増加費用：0.7～1.3 円/kWh
- プロジェクト中止に伴い発生する回収不能費用として、六ヶ所再処理工場の既投資分と廃止措置費用：0.2 円/kWh

以上の結果、シナリオ別総コストはサイクルコストの差を逆転し、「当面貯蔵」が最も高く 5.6～6.3 円/kWh、「全量直接処分」がそれに次ぐ 5.4～6.2 円/kWh、そして「部分再

処理」が最も安く 5.0～5.1 円/kWh となった。政策変更コスト、特に使用済み燃料受入拒否と搬入済廃棄物の発電所への返還から想定される原子力発電所の停止に伴う火力発電増加分のコスト増を、直接処分を含むシナリオに参入したことが、逆転の決め手となった格好である。この結果一覧を表 3.3.2-2 に示す。

表 3.3.2-2 シナリオ別総コストの算定結果

単位：円/kWh		①全量再処理	②部分再処理	③全量直接処分	④当面貯蔵
サイクルコスト		1.6	1.4-1.5	0.9-1.1	1.1-1.2
発電コスト (A)		5.2	5.0-5.1	4.5-4.7	4.7-4.8
政策変更に伴う費用 (B)	六ヶ所再処理施設関連	—	—	0.2	
	代替火力	—	—	0.7-1.3	
(A) + (B)		5.2	5.0-5.1	5.4-6.2	5.6-6.3

政策変更コストのうち特に代替火力発電費用はコストとして乗せるべきか否か、かなり議論のあるところである。六ヶ所村が使用済み燃料を受け入れ拒否するかもしれない、搬入済廃棄物を持って帰れと言うかも知れない、その結果、原子力発電所が長期停止を強いられるかも知れないというのは全て仮定の話であり、再処理しないこととした意思決定の必然の結果ではないのである。「そうかもしれない」程度のことを「必ずそうなる」としてコスト試算を行い、シナリオ別総コストに参入したことの是非は検証されるべきであろう。

2004 年のこの検討により、六ヶ所再処理工場を用いた再処理政策は 10 項目のうち「経済性」における優位性が認められ、そのほかの項目も含め総合的に評価した結果として妥当性のある政策として続行されることとなった。

(2) 2011 年「コスト等検証委員会」

2004 年以降、次に原子力を含む電源別発電コスト試算が行われたのは 2011 年である。この年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故及びそれを受けて行われた電気事業者による安全強化対策、規制基準見直しの動向から、原子力発電の資本コストを抜本的に見直すべきとの見方が強くなった。それに加え、事故を契機として国民に生じたエネルギー政策見直しの機運から、適切なエネルギーミックス選択のためコストに関する情報の精査も必要となり、火力発電の燃料費、再生可能エネルギーコスト等、最新の情報をベースに総合的な検証を行うこととなり、エネルギー政策議論を主導する国家戦略室のもとで有識者から構成される「コスト等検証委員会」が発足した。

「コスト等検証委員会」では火力・再生可能エネルギーを含む、日本で商業化されている（または 2030 年までに利用される可能性のある）全ての電源が対象となったが、条件について最も多くの論点が集めた電源はやはり原子力であった。ただしそれは、どの

項目をコストに含めるかではなく、含めることを前提としたコストについて「いくらと見積もるか」に重点が置かれた。他電源には含められず、原子力のみに乗せられたコスト項目は以下である。

- 政策費用
- 事故リスク費用（コスト）

以下では、これらの費用項目に係る論点を取り上げ、評価する。

① 政策費用

コスト等検証委員会が政策費用としてカウントしたものは、発電所の立地（土地取得費用、交渉費、調査費等）に係る費用、発電技術開発費用（既存技術と将来技術の両方）、導入支援、備蓄等である。具体的には平成 23 年度当初予算のうち、「立地」「防災」「広報」「人材育成」「評価・調査」「発電技術開発」「将来発電技術開発」に係る予算額を発電コストに上乗せした。総発電電力量は、54 基の年間総発電電力量（2,882 億 kWh、2010 年）で賄うと仮定し、政策経費の総額 3,193 億円をこの電力量で割ったコスト、1.1 円/kWh が原子力発電の政策経費と算定された。

この政策経費の算定条件を巡る論点のうち問題となるのは、ある電源にのみ課せられて他の電源には課されなかった費用項目が少なからず存在し、かつその根拠に議論の余地がかなりあることである。コスト等検証委員会では最終報告書において、その根拠を以下の通り述べている。

- 引用 1：技術開発費用を発電コストに含めた根拠

「技術開発予算については、(中略) 社会的なコストを含む各電源の発電コストの比較データの提供から、直近の「発電技術開発」「将来発電技術開発」に係る政策経費を各電源の発電コストとして割り振った。」

- 引用 2：導入支援、資源開発、将来技術開発費用等を発電コストに含めなかった根拠

「各電源のモデルプラントの総費用（資本費＋燃料費＋運転維持費）として既に建設費として資本費にカウントされている「導入支援」に係る予算額については、ダブルカウントを避けるため、発電コストに上乗せする対象から除いた。」

「エネルギーセキュリティ確保の目的から行われる性格を有し、専ら発電のためのものではないことから、「備蓄」及び「資源開発」に当たる予算額についても、発電コストに上乗せしなかった。」

「「CCS」に係る予算額についても、長期的な CO2 価格の見通しを火力等の発電コストに上乗せすることにしていないので、ダブルカウントを避けるため、発電コストに上乗せしなかった。」

「将来の発電量の拡大を見込んで技術開発等が行われ、現時点の発電電力量が少ない小水力、地熱、太陽光、風力、バイオマス及び燃料電池については、あくまでも今後伸びることが期待される電源であり、当該電源に係る予算額を直近のわずかな電力量で割った数値を発電コストとすることは適当でないと考えられることから、上乗せする対象から除いた。」

発電コストに上乗せされるべき費用とそうでない費用がこのように仕分けされた結果、原子力発電には将来技術開発費用として「将来発電技術開発」費用 1,408 億円が上乗せされる一方、太陽光で 673 億円、陸上風力で 440 億円に上る「導入支援」費用や、石油火力で 1 兆 4,241 億円に上る備蓄費用の上乗せはなされなかった。

「今後伸びることが期待される電源（小水力、地熱等）」では「当該電源に係る予算額を直近のわずかな電力量で割った数値を発電コストとすることは適当でない」とするのなら、次世代原子炉についても「今後伸びることが期待されない」である故に尚更、将来技術開発費用を軽水炉の発電コストに上乗せすることは適切でないといえるのではないか。原子力発電における将来技術開発費用 1,408 億円は全体の約 44%を占めており、仮にこれが乗せられなければ原子力発電の政策経費は 1.1 円/kWh ではなく 0.6 円/kWh 程度となっていたはずである。同様に仮に太陽光と風力に導入支援費用が上乗せされたら、政策経費はゼロではなく太陽光で約 20 円/kWh、風力で約 23 円/kWh となっていた。

これだけの額が乗せられるか乗せられないかは各電源の総発電コストを評価する上で決定的な違いがある。にもかかわらずこれらの点において議論が尽くされないまま検討が終了してしまったのは拙速と言われても仕方ないであろう。何をコストに含め、何を含めるべきでないかは結果の重大性に関わらず厳密かつ納得できる説明が必要である。

② 事故リスク費用

事故リスク費用を発電コストに参入することとした理由について、コスト等検証委員会は報告書で以下の通り述べている。

「東電福島第一原発の事故により、原子力発電の場合、極めて大きな損害をもたらすシビアアクシデントが発生する可能性があることが顕在化したことから、こうしたシビアアクシデントのリスクに対応するコストを考える必要がある。」

一応の根拠とはいえるが、どれだけ厳密に筋が通っているかは疑問である。「原子力発電の場合極めて大きな損害をもたらすシビアアクシデントが発生する可能性」は福島事故前から存在し、かつその可能性を認識していない関係者はいなかったが、例えばチェルノブイリ事故損害額を厳密に算定してその額をコストに乗せるといった作業は、日本でもその他の国でも行われてこなかった。福島事故後も、国際機関あるいは各国政府機関が実施したコスト試算において同様の理由で事故リスク費用が算入された事例は無い。それは、第 1 節で述べたとおり、発電事業者が負担するコスト（いわゆる狭義の発電コスト）ではないコストは無条件で発電コストに含むべきものではなく、もし含める場合は関係者間で議論し、合意に至ることが必要だからである。従って、詳細な検討も議論

もなしに、福島事故が発生したということだけを根拠に、事故リスク費用を発電コストとして算入した日本の態度は、国際的には極めて例外的である。

事故リスク費用の算定方法及び条件についても多くの論点がある。

- 福島第一原子力発電所事故の事故被害額を 5.8 兆円「以上」と想定。
- 2010 年度の原子力発電電力量 2,722 億 kWh を今後 1 年間の原子力発電電力量と想定。
- 40 年の相互扶助方式。

以上 3 条件を前提に、5.8 兆円を（40 年×2,722 億 kWh）で割り、0.5 円/kWh「以上」を事故リスク費用と算出した。すなわち、40 年に一度の確率で福島相当の事故が発生すると、被害金額の期待値を計算したことに相当する。

この算出根拠及び方法が提起する論点とは以下のようなものである。

イ) 事故発生確率の評価

事故の発生頻度は試算の方法によって大きく異なる。過去数例のみの件数をもとに事故発生の確率を評価することには、方法論の上、根本的な問題がある。

ロ) 計算方法

“一度で大きな被害を出すものについては、期待値をもってそのコストを算出すべきではない”とする見解がある。保険料の算定には使われるが、いわゆるコストとしての算出方法として期待値方式は妥当ではないというものである。また、相互扶助による積立方式を採りながら割引率を用いた現在換算がなされていないことも技術的な問題がある。更に、電気事業者は既に福島事故を受けた追加的安全対策を実施しており、その対策費用を計上しながら、事故の発生確率の低減を見込まないことも論理上整合しない。

ハ) 他電源との条件整合性

事故リスク費用の論点の中ではこれが最大の問題であろう。発電コストの中に事故リスクを含むのであれば、原子力のみならず全ての電源で行わねば公平性を欠く。何も事故を起こすのは原子力発電所に限らないからである。

「コスト等検証委員会」では原子力以外の発電方式においても無視できない事故リスクが存在することを認識はしたものの、その定量的な評価を行っていないばかりか、どの発電手段に関しても事故の可能性すら言及しなかった。

この論点が提起するものはコストの大小問題以前に、安全性向上の可能性の問題であることを認識する必要がある。そもそもであるが、もし今後、本当に 40 年に 1 度以上の確率で福島級の事故が発生するのなら、コストを論じるまでもなく、原子力の撤退を真剣に考えるべきであろう。つまり将来の事故のリスクや福島事故費用の評価は、発電コ

ストとは別の問題として慎重に扱うべきであり、可能であればコスト等検証委員会より以前に（もっと可能であれば福島事故以前に、原子力発電や核燃料サイクルの国民コンセンサスを得る際に）透明で公平な国民的議論をすべきであった。今、全ての問題を単純な「コスト」に換算して優劣を競おうとする姿勢は、問題の本質を見失いかねないことが懸念される。

なお、上記政策経費と事故リスク費用を織り込んだ原子力のコストは 8.9 円/kWh 以上となり、比較対象とした全ての電源の中で最安となった。このことは、日本においては、原子力発電は依然としてエネルギー安全保障や経済発展に貢献する重要な基幹電源であるとする政策の根拠となっている。（図 3.3.2-2）

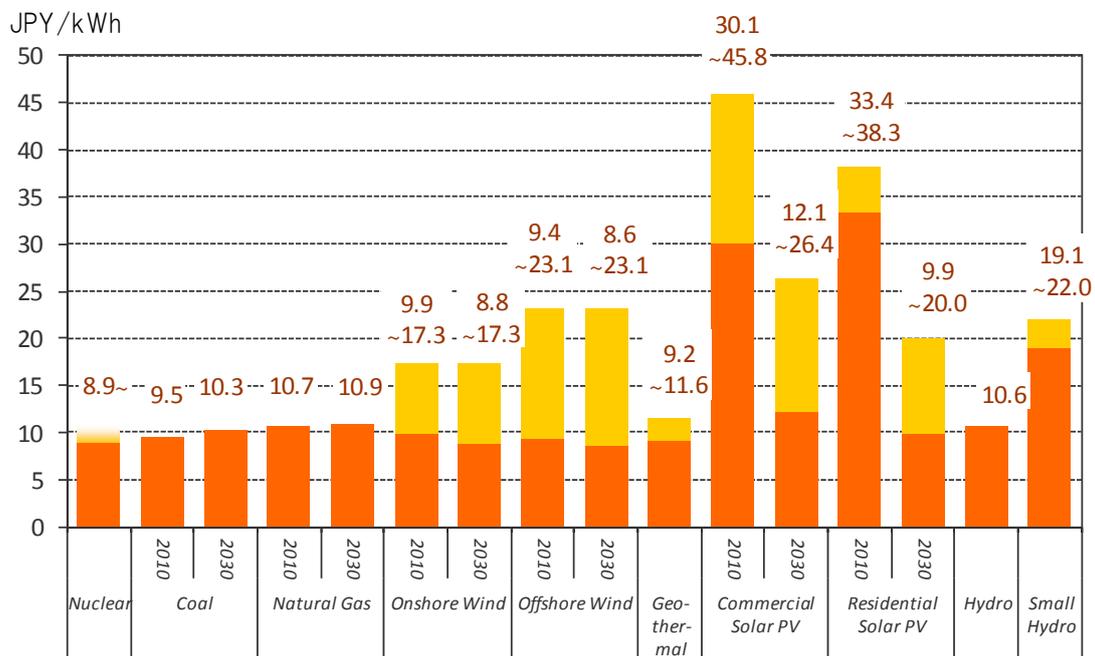


図 3.3.2-2 電源別発電コスト比較

(3) 2012 年「核燃料サイクル技術検討小委員会」

2004 年以降、次に再処理か直接処分かという核燃料サイクル政策の選択肢について議論が行われたのは、上記「コスト等検証委員会」からほぼ同時期の 2011 年から 2012 年にかけてのことであった。

2011 年、エネルギー・環境会議は福島事故の反省に立ち、原子力政策の徹底検証と並行して核燃料サイクルについても見直すこととした。それを受け、原子力委員会において 2011 年 9 月、原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会を設置し、使用済燃料の直接処分方法を検討するとともに、原子力発電・核燃料サイクルのオプションを想定し経済性についても試算を行うこととした。具体的には、「全量再処理」「全量直接処分」「再処理と直接処分の併存」の 3 選択肢を選定し、多角的な視点から評価を行うと

もに、核燃料サイクルコストを試算するものであった。多角的な視点の具体的事項は以下のとおりである。

- 短期：使用済燃料貯蔵管理、国際的視点、政策変更に伴う課題。
- 中長期：経済性、エネルギー安全保障（供給安定性）、廃棄物発生量、選択肢の柔軟性。

試算方法は前回 2004 年の「技術検討小委員会」と基本的には同様のアプローチを踏襲した。ただし前回と異なっていたのは、全量直接処分のシナリオで再処理事業廃止に伴う廃棄物返還などを考慮せず、従って代替電源コストも上乘せせず、単純にそれぞれの事業費を見積もった点である。試算結果を表 3.3.2-4 に示す。核燃料サイクルコストは「全量再処理」シナリオで 1.43 円/kWh、「全量直接処分」シナリオで約 1.00~1.02kWh、「再処理と直接処分の併存」シナリオで 1.34 円/kWh、すなわち「全量再処理」のほうが「全量直接処分」より約 0.4 円/kWh ほど高い、となっている。「代替電源コスト」を乗せなかった結果、我が国エネルギー政策議論 2 度目の「再処理 vs 直接処分」は経済性では直接処分に軍配が上がる結果となった。

表 3.3.2-4 選択肢別核燃料サイクルコスト試算結果

単位:円/kWh, 割引率3%	シナリオ1 (全量再処理)	シナリオ2 (再処理/処分併存)		シナリオ3 (全量直接処分)
		中間貯蔵分を再処理	中間貯蔵分を直接処分	
ウラン燃料 MOX燃料 ^注 (フロントエンド計)	0.77 0.07 (0.85)	0.77 0.07 (0.85)	0.78 0.06 (0.84)	0.81 --- (0.81)
再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計)	0.51 0.04 0.04 (0.58)	0.51 0.04 0.04 (0.58)	0.39 0.04 0.03 (0.50)	--- 0.09 --- 0.10~0.11 (0.19~0.21)
合計	1.43	1.43	1.34	1.00~1.02
× 6.8兆kWh (2010~2030年の総発電電力量)				
シナリオに基づく総費用	9.7兆円	9.7兆円	9.1兆円	6.8~6.9兆円

もとよりこの小委員会の目的は経済性で優劣をつけることではなく、多角的な視点から各シナリオの特徴と課題を明確化することであった。小委員会では前述の短期及び中長期それぞれの評価視点から、以下の通り各シナリオについて総合評価を行っている。

- 全量再処理
原子力発電規模が一定以上なら、使用済燃料管理・貯蔵、高レベル放射性廃棄物処分面積及び資源節約の面から最も有力。経済性では劣る。六ヶ所再処理工場と MOX 工場の稼働に続く第二再処理工場の検討を開始すべき。
- 再処理と直接処分の併用
政策の一貫性に懸念があり、使用済燃料の取り扱いが不明瞭となるが全量直接処分よりも課題は小さい。政策の柔軟性は最も優れている。六ヶ所再処理工場及び MOX

工場稼働後、六ヶ所再処理工場の処理能力を超える使用済み燃料の当面貯蔵及び、直接処分の取り組みを開始すべき。

- 全量直接処分

原子力発電規模を将来的にゼロにすることが明確な場合に最も有力な選択肢。ただし、使用済み燃料の貯蔵場所が確保できなければ原子力発電所の全停止につながり、多額の代替燃料費用が発生する恐れがある。経済性は最も優位。六ヶ所再処理工場及びMOX工場を廃止し、廃止に伴う課題にも取り組むべき。

またこの3選択肢の他、どれにするか即決めない「留保」という選択肢もあったが、これについては「将来の原子力発電規模が明確になるまでの時間的余裕を利用して、各選択肢の長所短所をより詳細に検討し、議論を深めるべき」として、特段の評価を打ち出していない。

2012年のこの評価は、政策変更に伴うリスクを発電コストとして乗せることをせず、ただ考える複数の選択肢を多角的な観点から評価した際のメリット・デメリットの一部として経済性を評価し、その結果を受けてどの選択肢が良い・悪いというのではなく、どの選択肢を取った場合にどういうメリットがあり、どういう課題が顕在化し、したがって我々は今何に取り組まねばならないかという提案を明示した。今すぐどちらかに決めて欲しいと考える人々にとっては物足りない結論であったかもしれないが、拙速な判断ではない。このことは、政策変更も事故も社会的影響も、いきなりコストで優劣をつけてしまうより、特定の電源（または技術オプション）に有利となる条件を一方的に決めることなく、まず多角的観点から議論することの意義を示唆している。

(4) 2015年「発電コスト検証ワーキンググループ」

2014年4月、原子力を「エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源」と位置付ける一方で、原子力への依存度を「省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電の効率化などにより、可能な限り低減させる」とした「エネルギー基本計画」が閣議決定された。これを踏まえ、2030年のエネルギーミックスについて具体的な姿を描くために、総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会の下に「長期エネルギー需給見通し小委員会」が設置され、2015年1月より議論が開始された。その際、定量的な議論のために必要となる発電コストの評価について、2012年コスト等検証委員会による評価を最新の状況を踏まえて見直すことを目的とした「発電コスト検証ワーキンググループ」が同小委員会の下に設置され、同年2月より議論が開始された。

5月11日に行われた第7回会合において同ワーキンググループから長期エネルギー需給見通し小委員会への報告案が提示されている。

本ワーキンググループによる発電コストの試算結果例を図3.3.2-4に示す。今般試算の方法は資本費（建設費）を運転開始後の減価償却ではなく建設時に初期投資費用として計上する方式に変更したこと以外、基本的に前回2012年「コスト等検証委員会」にて採用した手法を踏襲している。ただ、今回試算で初めて「発電コストに何を含まか」に

ついて詳細な議論が行われた結果、また入力条件として用いるデータを最新の知見を踏まえ、相当な議論を行った結果、前回とはかなりの違いがみられる。本節では特に「コスト等検討小委員会」において論点となった「政策変更コスト」と「事故リスク費用」について、発電コスト検証WGでどのような議論があり、どう変更となったかについて概略を述べる。

① 政策経費

2012 試算において世界で初めて計上された政策経費については、原子力に関して立地費用及び研究開発費用が計上されたのに対し、再生可能エネルギーについては一切計上がなされなかったことがWGで問題視された。議論の結果として、可能な限り電源間での不公平な取り扱いをなくした上で、政策経費を含まない発電コストの値と、政策経費を含むより広義の「発電コスト」の値との双方が併記されることとなった。2030年までに実用化することが想定されていない将来発電技術の研究開発費用を乗せることの是非については、高速増殖炉の技術開発費用は原子力発電コストに計上すること、核融合の技術開発費用は計上しないこと、また革新型太陽光発電技術の研究開発費は太陽光発電コストに計上しないこと等が条件となった。

政策経費に何を含めるべきかについて、委員の間で完全な一致は見られていないものの、ともかく2015年にして初めてそのような議論が行われたことは意義がある。研究開発費用は将来の技術開発を何に向けて行うかに依存するのであって、現在の当該電源の発電量の大きさとは明示的に関係はしない。このような理由から政策経費はより狭義の発電コストとは性質が異なるものと考えられるべきであり、従って今回の試算においてそれが別枠で示されたことは妥当であると言える。また実際の政策判断に際してこの政策経費をどう扱うかについては、より慎重な考慮が必要である、とも言えるであろう。

② 事故リスク費用

前回試算では福島事故の被害額について、当時判明していた限りの費用として5.8兆円と評価した。今回はその後判明した最新の費用実績及び見通しを反映し、被害額を9.1兆円まで上昇させている。この中には福島第一原子力発電所の廃炉費用や賠償費用、除染費用、中間貯蔵費用、各種行政経費等が含まれる。

前回試算ではこの5.8兆円に対し、「事業者間での相互扶助の考え方に基づき」40年間にわたる費用負担として事故リスク対応コストの評価が行われた。今回試算では図3.3.2-3に示すように、前回試算における分母である「2,722億kWh×40年」を「50基×1基当りの年間発電量×40年」＝「2,000炉年×1基当りの年間発電量（71億kWh）」と読み替えた上で、この2,000炉年を単価算出のための「算定根拠」とし、それを今回どのように置くべきかという問題に帰着させることとなった。この問題設定自体は事故リスクに関する我々の直観的な理解と整合するために、これについてWG内での意見が分れることはなかった一方で、「算定根拠」とされる炉年相

当をいかに設定するかについては委員の間で意見が分かれた。



図 3.3.2-3 事故リスク対応費用（単価）の計算方法

2015年5月現在、同WGにおいては、福島事故の後に行われた各原子力発電所のPRA（確率論的リスク評価）において“一つの対策を講じることにより事故の発生頻度は1/2に低下する”と評価されていることを参考に、「算定根拠」を2,000炉年の2倍の4,000炉年と設定し（即ち炉年の逆数に換算すると1/2）、9.1兆円の被害額に相当する事故リスク対応単価は0.3円/kWh、被害額が追加的に1兆円増加するごとに単価は0.04円/kWh上昇するものとされている。

この「算定根拠」（2000炉年にしろ4000炉年にしろ）を「2000炉年あたり1回の事故が起こるものとする」のように、事故の発生頻度と定義することは妥当ではないことを我々は認識すべきであろう。産業事故等の損害保険料算定における期待値方式での算定根拠は、ほとんどの場合、実際の事故発生頻度よりはかなり高い値である。それはそのように想定しないと、発生頻度は非常にまれであるがいったん発生した際の被害額が甚大な事象におけるリスク期待値が無視できるほどに低くなってしまうからであり、賠償としても役に立たない。

現実には、福島事故後、既に安全性向上対策に莫大な金額が投じられており、それが今回の原子力発電コスト試算には計上されている。安全対策というものが事故発生頻度の低減を目的とするものである以上、それに見合った「算定根拠」の変化を見込むこと自体は合理的である。しかしながら事故発生頻度と「算定根拠」とを整合する論理的根拠はまだ得られていないこと、また安全対策によって具体的にどの程度事故発生頻度の低減が見込めるのかについて一致した見解が存在しない現状において、今回の定量的評価はあくまでも仮の合意と見做されるべきであり、より適切な評価を目指して今後も検討を続けることが望ましい。

発電コスト検証WGが提示している電源別発電コスト比較試算例を図3.3.2-4に示す。

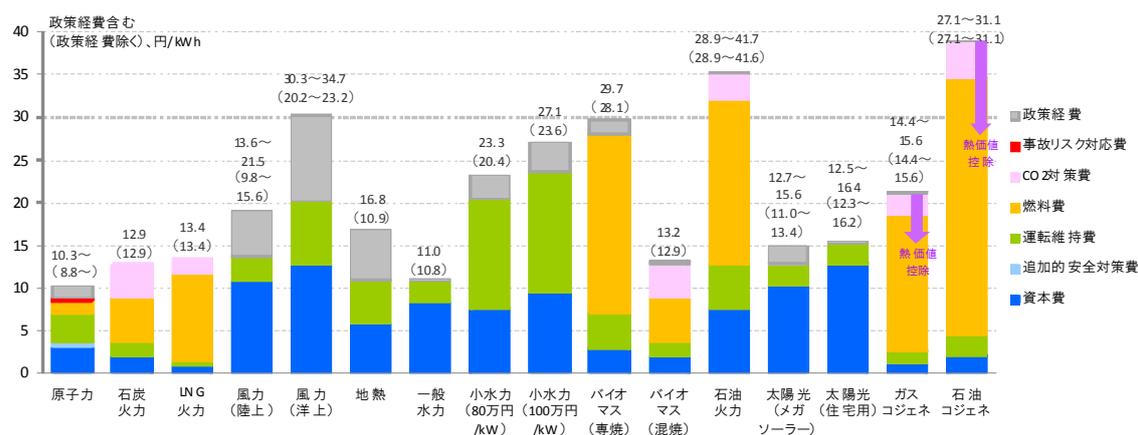


図 3.3.2-4 発電コスト試算結果例 (2030年モデルプラント)

3) 社会的費用の考え方の変遷

2004年、我が国が世界で初めて「政策経費」を直接発電コストに算入してから10年以上経過した。発電事業者が負担する費用以外の社会的費用を議論するにあたっては、「どこまでを評価に含めるか」の定義についての合意が本来必要であるものの、最初の試みである2004年「技術検討小委員会」、及び次の試みである2011年「コスト等検討小委員会」では、その合意に向けた検証プロセスが相当省略されてしまったことは反省すべき点である。そして2015年現在、政策変更コストや事故リスクコストを発電コストとしてカウントした他の事例はまだ世界にないことも、我々日本人としては現実として認識すべきことである。

2012年の「核燃料サイクル技術検討小委員会」及び2015年「発電コスト検証ワーキンググループ」では、検証不足の反省を踏まえ、それまでにないほど踏み込んだ議論が行われた。安易に政策変更コストを含めないこと、将来技術開発費用を一律に乘せたり一律に乘せなかったりするのではなく、項目ごとの性質や妥当性を検討しつつ慎重に進めること等が示されたことは大きな前進である。

社会的費用を考慮した一連の発電コスト評価は様々な社会的議論を喚起した。今後も最新の情報を踏まえつつ、より正確な評価を目指して試算を見直してゆく必要がある。その際重要なことは、試算の方法及び結果をどのように国民に分かり易く示すか、また幅広く、時には異なる見解を述べる人々との議論をどのように進めるかということであろう。原子力発電を取り巻く事態は常に変化するものであって、明日の事業環境が今日と同じである保証はない。このため、今後も引き続き検討と対話の試みを進めてゆくことが望ましい。

3.3.3 意思決定と責任の所在の明確化－損害賠償制度を中心に－

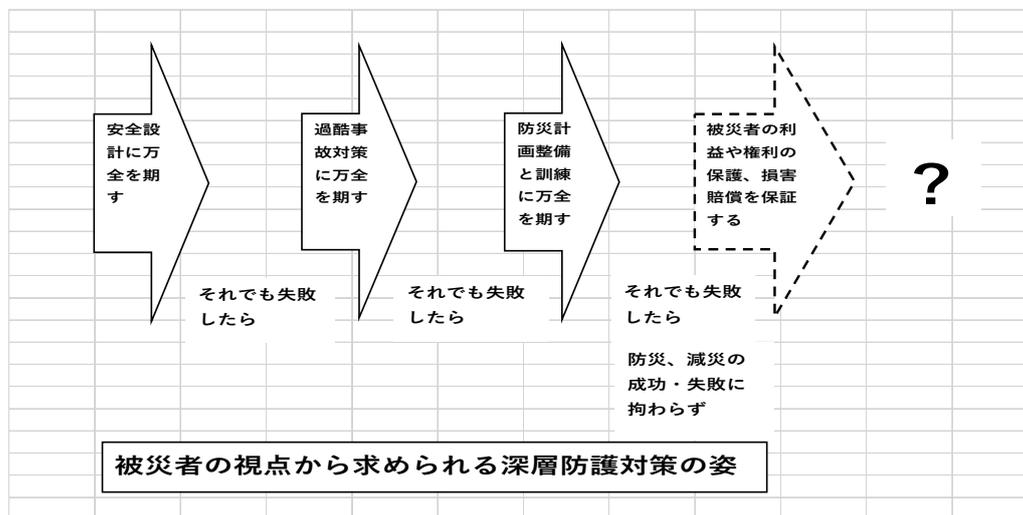
1) 原子力事故被災者の利益や権利を保護する制度の不備

2011年3月11日(3.11)の東北地方太平洋沖地震から早5年半が経過した。福島第一原子力発電所の事故によって長期にわたり未だ避難生活を強いられている地元住民の方々の苦渋は想像を絶する。

東京電力をはじめとする事業者、国、関係機関の努力もあって、シビアアクシデント対策をはじめとする原子力施設の安全対策の強化¹は相当進んできている。また、原子力施設および周辺住民一体となった実効性のある防災計画の整備充実²と訓練も次第に実施されつつある。東京電力の損害賠償金支払いも相当程度進んでいる。

福島第一原子力発電所事故の被災者に対する生活再建支援や汚染地の除染作業などに関する国の支援策も相当進み、一部では住民の帰還も始まっている。しかしこれらはあくまで「支援策」であり、国の「義務的措置」ではない。被災者にとって権利に基づかない国の支援は、財政事情等によって何時削減されるかわからない不安定な措置と言えよう。

原子力施設は深層防護の考え方により安全対策がとられているが、深層防護対策さえも突破され原子力災害に至った場合の現実的な防災対策や³、万が一の場合に備えての被災者の利益や権利の保護、確実な損害賠償を保証する制度は不備のままである。



2) 安全規制と損害賠償責任

福島第一原子力発電所の事故については、事故責任の所在が未だに曖昧なまま

¹ 原子力規制委員会 新基準について

² 原子力災害対策指針 平成24年10月31日 原子力規制委員会

³ 県政ウォッチャー NIIGATA 2015.2.9 泉田知事定例記者会見(深層防護に関する懸念)

であるとの指摘⁴もある。「原子力損害の賠償に関する法律」⁵第 3 条に定める免責事項(異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によって生じたものであるときは、この限りでない。)の適用に際して、国は 3.11 の巨大地震に伴う津波は予見可能性があったとして、東京電力の免責を認めなかった。一方で安全規制の当事者である国の予見可能性については曖昧にされたままである。予見可能性をもって東京電力が免責されないならば規制者である国もまた免責され得ず、一定の国の損害賠償義務も生じることになるのではないか。

原子力損害賠償・廃炉等支援機構法第 1 条(国の責務)において「国は、これまで原子力政策を推進してきたことに伴う社会的な責任を負っていることに鑑み、原子力損害賠償・廃炉等支援機構が前条の目的を達することができるよう、万全の措置を講ずるものとする。」との道義的責任について記載はしている。しかし、安全規制に失敗した場合の国の責務については他の法律を含め何ら記載もない。国家損害賠償法に基づく賠償になると思われるが、その場合は被害者からの訴訟を含めた賠償請求が前提になると思われる。

原子力規制委員会の記者会見録⁶によれば、「安全規制は事故が絶対起きないことを保証するものではない」との発言もある。最大限の努力をしても結果として原子力事故・災害を防止しえなかった場合は不可抗力である場合もあるだろうが、結果責任を何ら伴わない安全規制は形式主義に陥る危険性を持っている。

責任の所在が明確でないところに信頼関係は生まれにくい。刑事訴訟法において無罪判決があった場合は、国が損害賠償を行う規定を定めた刑事補償法第 1 条⁷に見られるように、国の安全規制に瑕疵があった場合は、原子力事業者は無過失責任・無限責任があることとは別に、被害者は国に一定の補償を請求することができることを明確化することも、無責任体質を解消するための一つの方法と思われる。

3) 免責条項の無い、損害賠償の無限責任を保証する制度

被災者が被った損害に関する賠償については、一部では調整が進まず訴訟に至るケースが出てきている。東京電力の除染対策、汚染水処理、廃炉費用などと合せて、被災者に対する損害賠償費用は巨額にのぼり、その所用資金は原子力損害賠償支援機構からの貸付金や、原子力施設を有する電力会社への奉加帳的な「一般負担金」⁸などに多くを依存している。一方、東京電力は自力で賠償する能力は無く、実質的に国家管理状態にあるといえよう。世界的な巨大企業であった東

⁴ なぜ東京電力を免責にできなかったのか 森本紀行はこう見る

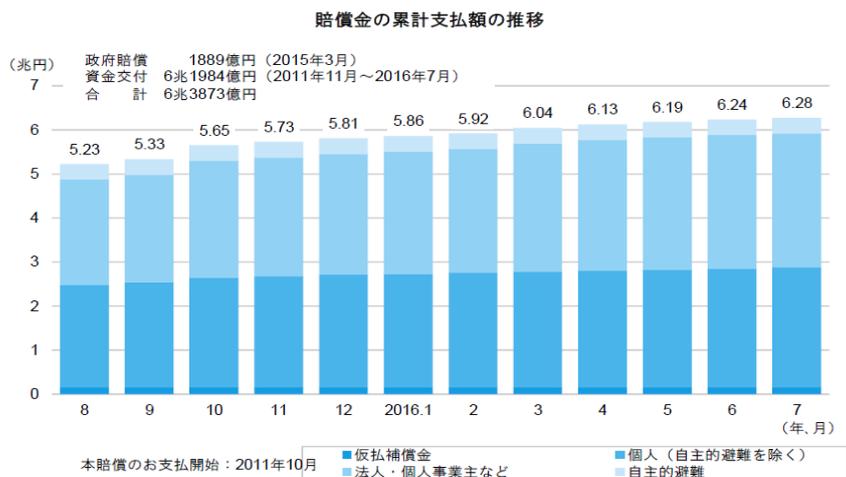
⁵ 「原子力損害の賠償に関する法律」第 3 条(無過失責任、責任の集中)

⁶ 平成 27 年 4 月 14 日 原子力規制委員会 記者会見録

⁷ 刑事補償法第 1 条 刑事訴訟法において・・・無罪の判決を受けた場合は・・・国に対して、抑留又は拘禁による補償を請求することができる。

⁸ 原子力損害賠償・廃炉等支援機構法 第 38 条 原子力事業者の負担金の納付

京電力でさえ損害賠償能力は無かったことは明白である。⁹



<賠償項目別の合意金額の状況>

	合意いただけただ実績 ^{※1} (2016年7月末現在)
I. 個人の方に係る項目	18,999億円
検査費用等	2,464億円
精神的損害	10,372億円
自主的避難等	3,627億円
就労不能損害	2,535億円
II. 法人・個人事業主の方に係る項目	24,582億円
営業損害	4,738億円
出荷制限指示等による損害及び風評被害	15,548億円
一括賠償(営業損害、風評被害)	1,354億円
間接損害等その他	2,941億円
III. 共通・その他	14,503億円
財物価値の喪失又は減少等	12,017億円
住居確保損害	2,236億円
福島県民健康管理基金	250億円
IV. 除染等^{※2}	4,705億円
合計	62,791億円

※1 振込手続き中の方も含まれるため、これまでのお支払金額とは一致しません。

※2 閣議決定及び放射性物質汚染対処特措法に基づくもの。

今回の事故により原子力施設の安全に関する国民の信頼は一挙に失われた。また万が一の原子力事故災害が発生した場合には、誰が最終的に責任をもって被災者の利益や権利を保護するのか、その責任者は賠償負担能力があるのかが曖昧な状態にあることが明らかになった。

国策として原子力を推進する場合は、例え原子力事業者が倒産しようとも、損害賠償の「無限責任」を確実に守れる制度の構築が必要であろう。またその解釈を巡って適用について議論のあった、「異常に巨大な天災地変」などを理由とする免責条項のある損害賠償制度は、被災者救済の観点からは問題がある。原子力事業者に免責条項が適用された場合、国は被災者の救済のため一定程度支援はす

⁹ 東京電力 賠償金のお支払い状況 東京電力ホームページより

るが、財政等の理由により止む無く支援が不十分になる場合も想定される。最終的に被災者が我慢せざるを得ないようなリスクを内包する制度では、潜在的リスクが極めて大きい施設は迷惑施設となり、無いに越したことはないと思われ、原子力施設の立地、建設、運転はおぼつかなくなるであろう。ちなみにドイツでは自然災害などを起因とする免責を認めていない。¹⁰

4) 原子力損害賠償の最終保険者としての国への期待

万が一の場合に備え、損害賠償をはじめとして長期にわたる被災者の利益や権利を保護する制度的担保があってはじめて、住民からは一定程度の信頼感、安心感が得られものと思われる。リスクの大きい民間ビジネスにおいては、失敗した場合の損害賠償責務、連帯責任者あるいは支払保証者の設定、場合によっては担保物件の提示、紛争に至った場合の裁判所の指定を契約書で明示するのは常識である。契約書で明示されない場合は信頼のおけない相手とみなされ、ビジネスは成立しない。このような常識と照らし合わせれば、国策で推進する原子力の場合、事故時の地元住民の権利保護などに関わる、原子力事業者、国及び地元住民との間の契約概念が欠如しているのは問題がある。

現在いくつかの原子力発電所では運転が再開されているが、再開に際して地方自治体などから、「国が最後は責任を持つ」と言ってもらいたいとの強い要望がある。その背景には恐らく原子力事業者だけでは損害賠償能力が不足し、被災者の利益や権利を最終的に保護することができないのではないかとの懸念があつての発言と思われる。これに対して国は「前面に立って」推進するとの表現を取っている。国はリーダーシップをとるが、「最後は責任を持つ」ことを必ずしも意味していないようである。現在の制度の下では、原子力事業者が倒産し、最悪の場合は誰も責任を取らず、無責任状態に陥る可能性があることを認めているようなものである。原子力事業者に損害賠償の責任が一義的にあるのは当然ではあるが、例え原子力事業者が倒産しようとも賠償の無限責任を保証する保険制度があつてこそ、原子力事業に対する信頼は醸成されようというものである。このような保険制度では支払い能力の極めて大きい国が、最終保険者としての役割を担うことへの期待は大きい。3.11 後の現実的な損害賠償金額を踏まえ、原子力事業者の「無限責任」制度の実現可能性を含めて、国はようやく原子力損害賠償法の改正のための検討を開始したようであるが、一刻も早い改善が求められる。

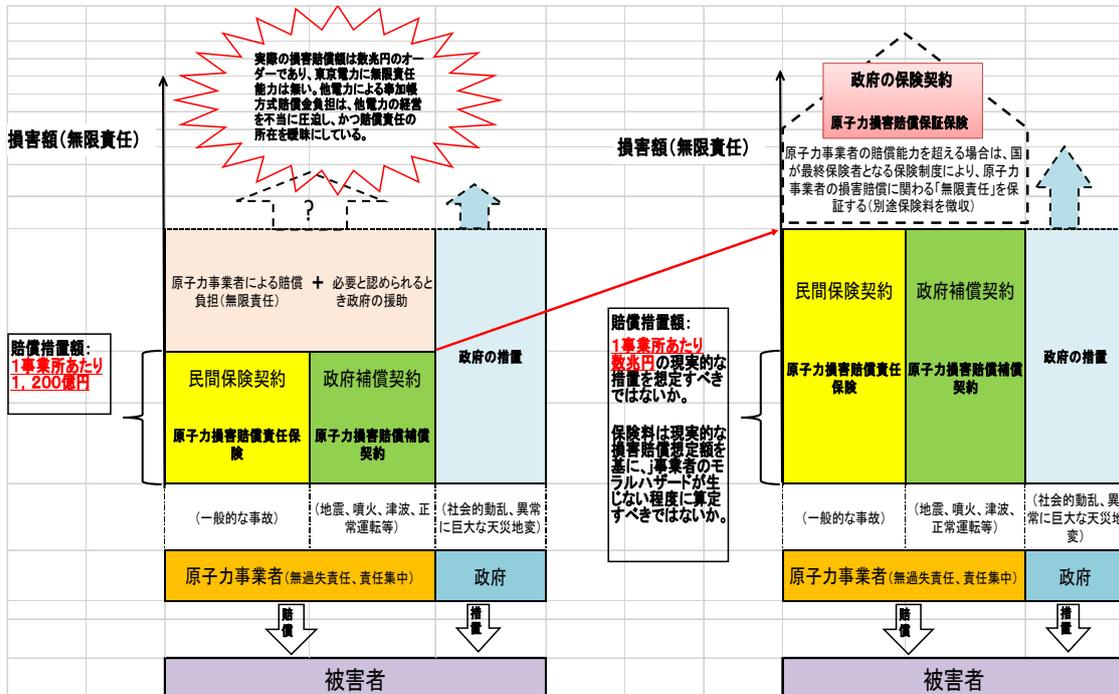
5) 巨大な損害賠償リスクを負える制度設計

原子力事業の先進国においては、原子力損害賠償法に基づき一定 限度までの損害賠償を事業者が負担し、負担能力を超える賠償については国家が何らか

¹⁰ 内閣府原子力委員会専門部会資料 諸外国の原子損害賠償制度の概要参照

の形で支払い補償する国と、最後まで事業者に無限の賠償責任を求める国がある。日本は事業者に無限責任を義務付けているが、事業者に無限の賠償責任を負う能力が無く、倒産した場合の被害者救済の責任の所在は示されていない。

原子力損害賠償法の改善案



大きな経済規模を持つ国であるならば、各種税収あるいは臨時的な徴税措置などにより、万が一の場合は巨大な損害賠償を負担する能力を持っており、損害賠償保険制度の最終保険者として相応しい。このような保険措置があれば、少なくとも損害賠償の無限責任を果せることが出来、原子力事業の推進について地元住民から一定の信頼を得ることができるものと思われる。

国が最終保険者として原子力事業者の損害賠償を保証する場合、リスクと現実的な損害賠償額に対応した保険料を徴収するのは当然である。想定を超えるような巨大な損害が発生した場合は、最終保険者としては保険設計の失敗にはなるが、ともかくも保険者としての責任で保険金を支払い、被害者を救済することが出来る。保険者としての損失はその後保険料をアップするなどにより、長い時間をかけて保険料収入などでカバーするか、特別に国家予算を投入するしか方法はない。そのようなことが出来るのは巨大な財源を持ち、支払い能力が大きく、かつ倒産のリスクが極めて低い国だけである¹¹。賠償措置額 1 事業所あたり 1,200 億円と

¹¹ 国の貿易保険制度では、相手国のデフォルト・支払い停止など、民間保険事業ではカバーできない巨大なリスクが発生した場合は、国が一旦保険金を支払い、その後長期にわたって国が債権を回収する。

いう現実離れした原子力損害賠償保険制度では、かえって事業者のモラルハザードを生じさせかねない。

他の原子力事業者から一定の負担金を徴収し、巨額の損害賠償責務を負う原子力事業者を支援する制度¹²はあるが、保険のような契約もないのになぜ国から一方的に負担金を徴収されるのか釈然としない。他の原子力事業者の財務体質の劣化や電気料金の上昇については社会経済に悪影響を及ぼす恐れがある場合は、負担金の継続的な徴収は容易ではなく、財源としての安定性に疑問がつく。また、負担金の徴収は事故を起こした損害賠償責務を負う原子力事業者の存続が前提であることから、実質的に倒産していても、事業者を倒産させることが出来ないという問題も生じる。

なお、「無限責任」と言っても必ずしも無制限の賠償を意味するものではなく、損害賠償の範囲及び程度は自ずと合理的なものがあると考え。判決に時間を要する裁判や調停を極力回避し、被害者を迅速に救済するためには、損害賠償の範囲及び程度は、他の損害賠償の例を参考として、できるだけ事前に明確にしておく必要がある。

福島第一原子力発電所事故にかかわる損害賠償措置は今なお進行中であるが、事態が落ち着いた段階で損害賠償の範囲や程度を今一度検証し、より合理的な損害賠償の在り方を再検討しておく必要がある。

6) 主な国の原子力損害賠償制度

米国ではプライス・アンダーソン法（PA法）によって、事業者及び国の損害賠償責任及び限度額が明示されており、当初想定した損害賠償の責任限度額を超える場合は、大統領、議会、裁判所の判断によって迅速かつ十分な補償を行う行動をとることとなっている。事業者の責任限度は120億1260万ドル（第1次損害賠償責任3億7500万ドル、第2次損害賠償責任は、事業者間相互扶助制度で約116億3760万ドルまで負担。）ドイツでは、第1次損害賠償責任は2.5億ユーロ、第2次損害賠償責任は、他の事業者の資金保証により約22.5億ユーロまで負担。なお、米国では安全規制機関であるNRC自身もPA法に基づき一定の国家補償を行う機関となっていることは、安全規制と国家損害賠償との関係で興味深い。

¹² 原子力損害賠償・廃炉等支援機構法 第1条（目的）、第2条（国の責務）、第38条（負担金の納付）

諸外国の原子力損害賠償制度の概要¹³

国名	日本	米国	英国	仏国	独国	韓国	スイス
①事業者賠償責任 ^{※1}	無限	有限 126億ドル (1.51兆円)	有限 1.4億ポンド (252億円)	有限 9150万ユーロ (119億円)	無限	有限 3億SDR (450億円)	無限
②免責事由	・社会的動乱 ・異常に巨大な 天災地震	・戦争行為	・武力紛争	・武力紛争 ・異常に巨大な 自然災害	なし	・武力紛争	なし ^{※4}
③準備資金 ^{※2}	【保険等】 ①民間・政府保険 1,200億円 【条約の拠出金】 ②CSC 0.472億SDR (70.8億円)	【保険等】 ①民間保険 3.8億ドル (456億円) ②事業者共済 122億ドル (1.46兆円) 【条約の拠出金】 ③CSC 0.306億SDR (45.9億円)	【保険等】 ①民間保険 1.4億ポンド (252億円) 【条約の拠出金】 ②77ラッセル補足条約 1.25億SDR (187.5億円)	【保険等】 ①民間保険 9,150万ユーロ (119億円) 【条約の拠出金】 ②77ラッセル補足条約 1.25億SDR (187.5億円)	【保険等】 ①民間保険 2.5億ユーロ (325億円) ②事業者共済 22.5億ユーロ (2,925億円) ※①②で対応不可の 場合、25億ユーロまで 国家補償 【条約の拠出金】 ③77ラッセル補足条約 1.25億SDR (187.5億円)	【保険等】 ①民間・政府保険 ^{※3} 500億ウォン (50億円)	【保険等】 ^{※4} ①民間保険 11億スイスフラン (1,430億円) ②国家補償 13.2億ユーロから①を 差し引いた額 (1,716-1,430億円) ※①で対応不可の場合、 13.2億ユーロまで国家補償 【条約の拠出金】 ^{※4} ③改正77ラッセル補足条約 3億ユーロ (390億円)
④準備される 資金を上回る 場合	・機構を通じた政府 による資金援助 (事業者の相互 扶助を前提)	・大統領が議会に補償 計画を提出	・国会の議決の範囲内 で主務官庁から補償	・9,150万ユーロ以上は 規定なし ・テクレ(政令)により準備 資金の分配を決定	・事故事業者は資力の 限り賠償 ・事故事業者の資力を 超える場合は、命令に より利用可能な資金の 分配を決定	・責任限度額(3億SD R)までは政府援助 ・3億SDR以上は 規定なし	・事故事業者は資力の 限り賠償 ・事故事業者の資力を 超える場合は、議会が 補償計画を定める

なお、日本では風評被害も損害賠償の対象とされており、東京電力はこれまで1兆円程度の賠償金を支払っているが、風評被害は米国では純粋経済損失として認められていないなど、国によって損害賠償の内容に違いがある。原子力の推進にあたっては、国際比較を行いながら、今後我が国を含め合理的な損害賠償の在り方を研究しておく必要がある。 ¹⁴

7) 政治の役割

原子力施設の立地選定、特にプルトニウムを大量に含む使用済み燃料の選定のような国の重要課題については、さまざまな価値観の対立がある中で、専門家が示したオプションについて、それらのリスク、メリット・デメリットなどを総合的に判断して、最終的に意思決定をするのは、政治の役割である。

これらの意思決定が、未来世代に少なからぬ健康被害や膨大な経済的負担のリスクを生じさせる可能性がある場合は、大規模かつ長期にわたる損害賠償の支払い保証に耐えることができるのは国家しかないと認識し、原子力事業者に無限責任があるとしても、最終保険者としての損害賠償支払い保証の責務を明確にすることが不可欠である。

民主的國家においては、税や電気料金などの形で国民の大きな負担を伴う意思決定は、その迅速かつ確実な実施を期するためには立法措置が不可欠であり、その立法を行うのは政治の役割である。

¹³ 内閣府 原子力委員会第1回原子力損害賠償制度専門部会配布資料 平成27年5月21日

¹⁴ 第1回 CIGS「原子力と法」ワークショップ資料より 原子力損害賠償の日米比較—不法行為とTortsの視点から—CIGS「原子力と法」研究会座長 弁護士 豊永晋輔

8) 行政の役割

政治が意思決定を行った後は、具体的な予算措置、体制整備などを行い、意志決定内容を迅速かつ円滑に実施するのは行政の役割である。旧原子力安全委員会及び経済産業省（原子力安全・保安院）は福島事故に関する責任の所在が明確にされないままに組織解体が行われ、原子力規制委員会及び原子力安全庁が新設された。その経緯および教訓を踏まえれば、安全規制行政において責任の所在を明確にすることが重要である。行政の責任の所在を明確にすることは、行政組織及び職員が、一定水準の安全規制行政実施能力を確保していることを保証し、許認可処理システムの流れの中で専門分野ごとの判断責任の所在を明確にして、無責任体質に陥ることを防止することである。だからと言って責任を行政官個人にのみ求めることはいたずらに規制行政を萎縮させことになりかねず適切ではない。その場合は、使用者としての国が損害賠償の責務を負うのが通常である。（公害行政、薬害行政等の例あり）米国 PA 法に基づく NRC による国家補償制度を参考に、原子力規制委員会に国家補償の役割を与え、安全規制に失敗した時の国家損害賠償とのリンクを明確にすることも一案である。

9) 先進的な損害賠償制度の例「チェルノブイル法」¹⁵

旧ソ連時代に制定された「チェルノブイリ法」は、被害を受けた事故収束作業従事者や市民の被害補償、移住権付与、社会的支援策を受ける権利などを国家が認めた法律として参考になる。この法律は被災者の窮状を救済するために、事故収束作業従事者や被災者たちが中心になって議員に働きかけ制定したものであり、そこには被災者救済最優先の視点から見て多くの学ぶべき知恵が含まれている。チェルノブイル法に基づく実際の財政的措置は、その後旧ソ連の解体、ウクライナ国への移管が行われ、国家の財政事情により給付措置は劣化してきているようである。法律に基づく国家補償さえも万全ではないことは肝に銘じておくべきである。

10) まとめ

3.11 後、様々な被害者救済の法律や予算措置が整備されてきてはいるが、試行錯誤を重ねており、今なお被害者からは損害賠償を巡る訴訟などが起こされ、解決には長期の時間を要する。

現行の「原子力損害賠償法」では、損害賠償の責任は無過失責任かつ集中的に事業者にあるとされている。しかし 3.11 後、当の事業者は実質的に国家管理状態にあり、損害賠償の最終的責任の所在が不安定になっている。

また国の施策は義務ではなく、多くの場合被害者救済の措置であり、事業者や

¹⁵ 3.11」とチェルノブイリ法 再建への知恵を受け継ぐ 尾松亮 東洋書店

被害者に対する支援策として位置づけられていることから、その時々政権の方針や財政状況に応じて質、内容が大きく変動する可能性は高い。(例外として、「子ども被災者支援」は国の責務であることを法律で明示)このような状況下では、事業者や国に対する信頼は著しく損なわれ、信頼回復の道は険しい。

原子力発電所の運転再開はもとより、今後最終処分や使用済み燃料の処分など原子力施設を国策として新たに立地、建設、運転する場合には、技術的に安全性を説明するだけでなく、万が一民間企業ではカバーできない巨大な損害が発生した時の、被災者の利益や権利の保護、とりわけ原子力事業者による損害賠償の最終的な保証の責務は国にあることを法律(国民に対する約束)で明確にすることが、国民の信頼を得る為に重要と思われる。そのような立法措置(意思決定と責任の所在の明確化)を速やかに行うことが政治の役割であり、立法措置が円滑に実行される環境(予算や体制整備など)を速やかに整備することが行政の役割である。

付録（補足説明）

以下に、3.11 の教訓などを踏まえ、今後の損害賠償等補償業務を円滑に進める上での留意点などを考察してみる。

① 損害賠償等の詳細契約事前締結

損害賠償等の具体的な内容として、財産の損害、健康被害、心理的被害、風評被害、除染等、生活の場を失ったことに対する一定期間の生活保障、あるいは元の生活環境、水準と同等以上の生活の保証、土地買い上げ、移住権などの詳細を事前に明確にしておく必要がある。被災者の立場に立った救済の在り方については、旧ソ連時代に制定されたチェルノブイリ法が参考になる。¹⁶（参考図1を参照）

事業者またはどの政府機関が、どのような財源をもとに、どのようなタイミングで何時実施するかなどについても、法律によって事前に明確にしておく必要がある。地域や事業者の特性によっては、住民を代表する自治体と国の間の契約（安全協定書等）により、万が一の場合に住民の受けることのできる当然の権利として、損害賠償が別途契約されていることも必要である。

これらの措置は、政府が使用済燃料直接処分候補地として選定し地元をお願いする段階で、地元住民が納得できる程度の内容としてあらかじめ提示される必要がある。文書による契約は、事故後の弱い立場の住民を相手に、事業者または政府がなし崩し的にことを進めてしまうことを防止する為の有効な手段となりうる。

② 具体的な財源確保手段の明示

これら損害賠償等の措置は、事業者にあっては法律の定めに基づきあらかじめ積立金として積み立てておくことが適切と考える。実施に不確実性を伴う、後付けによる電気料金値上げなどによる財源確保方法は、後追いの方法であり望ましい姿ではない。

政府にあっては損害賠償等の具体的な措置を法律で定めておくことが必要である。このような場合、通常「政府は適切な措置を取る」、「必要な援助を行う」あるいは「所用の財源を確保する」というような曖昧な表現¹⁷になることが多い。

¹⁶ 3.11 とチェルノブイリ法 松尾亮著 2013年3月18日（株）東洋書店

¹⁷ 原子力損害の賠償に関する法律 第十六条（国の措置）

政府は、原子力損害が生じた場合において、原子力事業者が・・・損害を賠償する責めに任ずべき額が賠償措置額をこえ、かつ、この法律の目的を達成するため必要があると認めるときは、原子力事業者が損害を賠償するために必要な援助を行うものとする。

2 前項の援助は、国会の議決により政府に属させられた権限の範囲内において行うものとする。

実際には事故が発生した時点で、その時の政権を担う政党の方針や、政府の政策・財政状況等によって、量、質ともに当初の期待からはかけ離れた措置となることが往々にしてある。従って、例えば財源は〇〇税、税率〇%、徴税期間を限定して、あらかじめ基金を積み立てておくか、原子力災害防止対策が発令されれば自動的に財源措置が発動されるような仕組みになっている必要がある。また、原子力事業者に代わって国が賠償などの措置を講じた場合は、当該原子力事業者に費用を請求するのは当然のことであり、法律で既に整備されているが、どのようなタイミングでどの程度請求するかは時の政権の裁量とされ、曖昧なままとなっている。¹⁸

以上のような措置が明確になれば、将来の生活保証措置などについて一定の具体性を持って住民は判断することが可能となり、事業者または政府に対するより具体的な意見を提出できるようになる。また、少なくとも損害賠償については事業実施に伴う責任の所在が明確になり、事業者や政府が信頼感や安心感を得る一助となることが期待される。これまで原子力施設の立地に際しては、自治体に立地以前の段階から地元振興・協力金などが交付され、あるいは土地買収や漁業権の保証など特定の権利者が主な事前交渉の相手になっていた。しかしこれからは、万が一の場合に被害を受けることになってしまう住民が、損害賠償等の請求を行える利害関係当事者として、具体的に意見を述べる権利を有することになると考えられる。（過去の原子力施設の安全性や立地に関わる裁判では、立地地域や隣接地域以外の住民は、多くの場合利害関係当事者とは見なされてこなかった経緯がある。）

事業者や政府は、事前に被害者の範囲を特定することは困難なことなどを理由に、可能性のある全ての関係者の意見を聞くことは現実的でないと主張するかも知れないが、3.11の教訓を踏まえて万が一のリスクを考えれば、原子力とはそれほど手間のかかるエネルギーであると自覚すべきであろう。

③損害賠償等の内容及び地元との交渉の情報公開

立地候補地の住民に提示される損害賠償等の内容や交渉状況が一般国民に公開されるならば、国民は税や電気料金としていずれ負担しなければならないことを具体的に認識できるようになる。その結果原子力施設に対する経済的評価がより定量的に把握でき、経済性に関わる議論の収束が促進されるものと期

¹⁸ 福島復興再生特別措置法 第八十四条（この法律に基づく措置の費用負担）

この法律の規定は、この法律に基づき講ぜられる国の措置であって、原子力損害の賠償に関する法律の規定により原子力事業者が賠償する責めに任ずべき損害に関わるものについて、国が当該原子力事業者に対して、当該措置に要する費用の額に相当する額の限度において求償を妨げるものではない。

待される。利害関係者間の交渉ごとは公表すべきではないとの意見もあるが、税金や電気料金の値上げとして一般国民に少なからぬ影響が及ぶことを考慮すれば、透明性の確保の観点からも、情報は当然公開されるべきであろう。ここに国民的合意形成が必要とされる理由もある。また、一般国民と地元住民の間で意思疎通が促進されるきっかけになることも期待される。

ここで注意を要することは、これまで事故は起こらず、起きたとしてもたいしたことはなく、あるいは損害の程度が予測できないとの理由で、事業者または政府は万が一の場合の具体的な措置を怠る傾向になりやすいことである。安全技術論争ではなく、万が一の場合どうするか措置であるから、たとえ技術論として想定し難くとも、〇〇した場合はどうするというような保険的な概念で、「無過失」、「無限責任」を原則として保障の内容を決めておくのも一つの方法である。何もなければ結果として幸いであったと理解すべきであろう。

④ 損害賠償等の判断基準や手続き部署の明確化

法律によって事故時の損害賠償等の詳細内容を決めるためには、まずは使用済燃料直接処分地立地候補地域で損害賠償等の対象となる被害と、その判断基準を定めておく必要がある。多くは今回の福島事故によって実務的に定められていると思われるが、法律あるいは契約で定められている確かな判断基準となっているものは少ないように思われる。今なお被爆線量 1 mSv/年を除染の判断基準とするかどうか議論があることはその一例である。地元住民の意見の反映は、この契約内容を決める時が正念場になると思われる。

損害賠償等の詳細が決まれば、どの政府機関がどのような権限と義務を持ってどのような事務を担当するかの所掌が決まり、職員の責任意識も変わり、事務のタライ回しの弊害は解消するであろう。復興を大義名分にして、本来被害者の損害賠償等に速やかに費やすべき資金が、使われない、あるいは無駄な公共工事や関係のほとんどない地元復興予算として大盤振る舞いされかねない状況も改善されることが期待される。損害賠償等の措置内容に不満がある場合、あるいは当初想定できなかった損害賠償等については、当該損害賠償等の種類ごとに、その妥当性を速やかに判断できる専門的な調停機関をあらかじめ決めておくことも必要である。一つの機関あるいは裁判所だけでは処理が困難な場合を想定しておくべきであろう。

⑤ 避難生活の品質を考慮した包括的な避難者救済措置の明確化

避難者が一時的避難、一定期間の避難、あるいは帰還困難な場合に備え、政府はあらかじめ必要な国有地の確保、あるいは民間住宅の借り上げ契約を事前に行っておくとともに、帰還困難の避難者が大規模になる場合は、食品セン

ター、医療センター等が整備された大規模ニュータウンを短期間に造成し、移住してもらおう手はずを整えておくことも一つの方法である。2011年3月11日後は、民間住宅の需給情勢が一変し、民間の土地借り上げさえ容易ではなくなった現実がある。また住民の避難移住に伴い、元からいた地域住民との間で軋轢が生じている例もあり、そうならないように生活環境設計に腐心すべきであろう。チェルノブイリ事故の2年後、旧ソ連政府が避難民のために新たに建設した、約2万5千人が住むニュータウン「スラブチッチ」は参考になる。^{19 20}

⑥自治体の役割

地元自治体の役割は、以上のような損害賠償等の契約にあたって、直接被害を受ける可能性のある直接利害関係者として、あるいは住民を代表して事業者や政府との交渉を担当し、地域社会を守る立場を堅持することが重要である。政府が前面に出て実施する場合の使用済燃料の直接処分地の立地プロセスにおいては、政府や事業者と自治体との間で安全協定等が締結されると想定される。その安全協定に損害賠償等の契約を含むようなことになる場合は、安全協定は単なる紳士協定にとどまらず、万が一の場合に備え地元住民の生活を守るための経済的担保措置として重要な手段となりうる。

¹⁹ 原発事故による避難住民のための代替都市建設 大阪大学宮腰由希子 2015.3

²⁰ チェルノブイリが生んだ町 スラブチッチ HEAPS Culture Jul14.2016.

参考 1 チェルノブイリ法の概要

チェルノブイリ法(1991年5月15日付ロシア連邦)	
第1条	法の目的と課題……被災したロシア連邦市民および事故収束作業に従事参加した市民の利益・権利の保護
第2条	チェルノブイリ原発事故に関するロシア連邦の法制
第3条	放射線障害を受けたロシア連邦市民の被害補償と社会的支援策を受ける権利……国の補償を明記 * 1
第4条	放射線障害を受けた市民に対する社会的支援の概念……市民に対する社会的補償を明記
第5条	法の実施のための資金拠出……ロシア連邦の資金拠出義務を明記
第6条	被災地における市民の居住のコンセプトの基本規定
第7条	放射能汚染地域の設定……原則土壌汚染レベルで設定(本来は被曝線量で設定すべきか?)
第8条	疎外ゾーン
第9条	退去対象地域
第10条	移住権付居住区域……移住権という権利を認める
第11条	特惠的社会・経済的ステータス付居住地域
第12条	放射能汚染を受けたロシア連邦の地域の回復
第13条	放射線被害を受けた市民のステータス
第14条	放射線被害を受けた市民のカテゴリー
第17条	疎外ゾーンから避難者および退去対象地域から移住した(する)市民に対する被害補償と社会的支援……具体的な金額を提示 * 2
第18条	移住権付居住地域に定住する(勤務)する市民に対する被害補償と社会的支援策……具体的な金額を提示 * 2
第20条	他の地域にまだ移住していない、退去対象地域に定住(勤務)する市民に対する被害補償と社会的支援……具体的な金額を提示 * 2
* 1:当初は国家義務であるはずの補償が途中で任意の支援に変わった。このため財政事情により補償額が変動することになった。	
* 2:インフレにより補償金額が目減りし、被害者の権利保護には程遠い状況になっている。	

3.4 学会および学術界への期待

本節では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関連する学会および日本学術会議の近年の活動状況を踏まえ、当学会を始めとする関連学会及び学術界全体に対して、地層処分システムの実現に向けて調査研究への取り組みが期待される諸課題を摘出する。摘出された調査研究課題は、社会の理解を促すために取り組むことが必要な研究課題であるが、何れも複数の専門分野に跨るものである。

こうした分野横断の調査研究の実施には、複数の研究機関が連携可能なプラットフォームまたは専任組織の形成と、専任の研究者及び研究資金等の研究資源の投入が必要となる。所要の研究体制の整備には、学術界からの提言が必要であろう。しかしその実現は学術界の努力のみでは困難であると考えられ、政府、国会または関係自治体等のイニシアティブによる促進・資金支援等の政策支援が不可欠であろう。

高レベル放射性廃棄物の処分を考えるにあたって、2つの基本的課題があると考ええる。

1つ目は、原子力はミクロの技術として核種毎に注目した核反応までを扱う科学をベースにしており、その後始末としての放射性廃棄物においても同一の科学基盤に立って構築された方策は追及しておく必要があるというものである。即ち核種毎にふさわしい処理、処分の知見を蓄積する必要があるということである。

2つ目は、高レベル放射性廃棄物を地層処分により地球環境に委ねることは、これまでの知では構築できない社会システムであり、その実現には新たな知が必要となることである。それは何万年という超長期の時間そのものと共に地球という自然の営みの予測に関して、人類の未知の領域を開拓しなければいけないことである。

原子力の恩恵に預かった人類は、放射性物質に対する安全確保を図るとともに、使用済燃料をそのまま廃棄物として処分する直接処分の場合には、廃棄物中の核物質に対する保障措置という極めて人間臭い仕事を創造し、その確立を図らないといけない。これらに対し、科学的、社会学的、哲学的な知を蓄積し、システムの統合を図って、新しい分野へ挑戦することになる。以下に、これらの知の創生、蓄積、システム化に関しての学会及び学術界の役割を考えてみる。

3.4.1 学会に期待される役割

ここでは、学会、特に日本原子力学会を始めとする原子力利用関連学会あるいは地層処分関連学会に期待する役割について述べる。

検討の前提として、東京電力福島第一原子力発電所事故を契機として、抜本的

に見直された原子力委員会の役割を踏まえる必要がある。委員会見直し有識者会議の報告書¹⁾では、「放射性廃棄物は、発生者責任の原則のもと、合理的かつ安全に処理・処分を行うことが重要であり、新委員会が省庁横断的に検討を行う役割を担う意義はある」とされた。また、「省庁横断的な課題や長期的な取組となる放射性廃棄物の処理処分を中心とした核燃料サイクル政策については、関係省庁との役割分担の下で、実施に責任を持つ省庁とは異なる立場で技術オプションの評価等を行う意義はある」とされた。従って新委員会は、放射性廃棄物処理処分等を中心とした核燃料サイクル政策(研究開発、技術開発を含む)については、経済産業省が担当するエネルギー基本計画との整合性を考慮しつつ、政策に対する国民の受容、あるいはその政策維持の妥当性、放射性廃棄物処理処分関連の研究開発の進捗状況、地層処分政策の可逆性等の観点から、必要に応じ検討を行うことが期待される。

一方、国レベルの研究開発計画として、科学技術基本計画があるが、これとエネルギー基本計画を併せれば、我が国の技術立国、原子力立国を支える原子力の研究開発は必要十分であるのか、必ずしも明らかではない。そもそも、震災前にあった科学技術立国、原子力立国²⁾といった理念も今や雲散霧消している。あるいは、福島第一原子力発電所事故を踏まえたリスク対策及び防災に関する研究開発課題も、十分に明らかにされ、国民に示されたとは言い難い。例えば、実用発電用原子炉等に係る新規制基準の合理性について、必ずしも十分な説明がなされているとは言えない。³⁾さらには安全保障上あるいは気候変動対策上の原子力の位置づけとそのための研究開発課題も明らかではない。しかし、これらを明らかにすることが原子力委員会の役割であるという合意もない。

従って、これからの我が国の原子力エネルギー利用や核燃料サイクルに係わる研究開発について、その目指す方向、課題、ロードマップ、環境整備等に関して、科学・技術立国、原子力立国、防災立国、気候変動対策、安全保障といった様々な見地から問題点を摘出し、分析し、総合的な処方箋と政策を提案する役割とメカニズムが必要となろう。ここに、学会が果たすべき役割があると考えられるので、いかなる貢献が可能か、学会自身による一層の検討が強く望まれる。この検討には、従来から提唱されて来たテクノロジー・アセスメント及びリスク・ガバナンス分野⁴⁾をカバーすると同時に、これだけではカバーしきれない広く総合的な視野を必要としよう。即ち、将来に向けて必要な主要技術とそれを受容する社会システムという広範な戦略的課題を含む分野を念頭に、あらゆる科学・技術の領域を含め、何が重要か、如何なる貢献が可能かの検討に資することが求められよう。

こうした考察を行うために学会に期待される活動としては、まず、学術的な研究活動の牽引と結集があり、技術的領域とともに社会的システム構築の研究が技

術分野との連携を図りつつ重要となる。そこでは、次章以下で述べる情報発信と共考の場づくりで提示される課題について、研究開発課題とそれへの研究の行動計画の提示が期待されるだろう。今後は、実際に研究に取り組む諸機関の役割も踏まえて、検討を深めていくことが必要であろう。

なお、学会事故調最終報告書⁵⁾の提言Ⅲにおいて、学会に求められる役割の内、「学際的取り組み」として次の3点が挙げられていることに留意しなければならない。

- イ) 原子力安全に関する他のアカデミアを含めた俯瞰的な討論と協働のための「場」を構築するとともに、主導的な役割を果たさなければならない。
- ロ) 原子力はさまざまな専門分野を含む総合科学技術である。原子力安全を確保するためにはこれらの専門分野との境界に隙間ができないよう、総合的な視点が欠かせない。これまでもその機能強化に努めてきたが、今後とも他のアカデミアを含めた領域横断的・総合的な取り組みを継続・強化する。
- ハ) それらの成果を学会の提言として発信する。

1) 研究活動

(1) 技術的研究 (理学・工学)

我が国がこれまで高レベル放射性廃棄物として対象としてきたガラス固化体の地層処分に関わる研究は、NUMO や原子力機構をはじめとする研究機関で進められてきた。研究分野としては、地層、地質、地下水の基礎的研究、さらに処分の工学的対応の研究や地層処分システムの安全評価あるいは想定外事象の評価等である。

今後は処分に伴う周辺環境への影響評価などきめ細やかな分野にも展開させていくことになる。

更に使用済燃料の直接処分を研究対象とすると、使用済燃料中の核種毎のふるまいまで腰を据えて向き合わないといけない。これは照射された核燃料そのものの研究であり、放射性物質が使える施設、試験装置等の整備も必要になるだろう。これらの研究から得られる知見が廃棄体のトレーサビリティを確保するための基礎となるものと思われる。この研究は廃棄体に含まれる廃棄物そのものの負荷を低減する目的で進められている核種分離・変換技術(高速中性子・核破碎中性子の利用や、マイナーアクチノイド分離等の先進分離技術を含む)との一体的取組を成すものとする。核燃料サイクルシステムとの整合性を考慮しつつの原子力に係る大きな柱をなすべき研究課題と位置付けることが求められる。

また、直接処分においては、プルトニウム等の核分裂性物質が含まれており、保障措置の上で大きな関心事項である。処分事業の特質を踏まえた保障措置の課題は、検認方法、基準値、それらをベースとした法制度構築などに及ぶ。

また、将来世代に託す上でのトレーサビリティを考えると、どのような品質保証の仕組みを作り上げ、レベルアップしていくのかも、取り組むべき課題であろう。例えば注目核種の特定、検査方法、記録方式、伝承方法、永続性担保の仕組みなどが課題となる。

これら技術的研究から創生された最新の知見を集大成し、体系化し、パブリックコメントも取り入れてまとまった知を、指針・基準作成という標準化の活動に結びつけることは、学会の科学的、技術的な知を社会と共有していく意味で重要である。

(2) 社会的システム構築の研究

当学会の「放射性廃棄物地層処分の学際的評価研究専門委員会」では、理学、工学の専門家と人文・社会科学の専門家による議論を通じて、専門的知見を総合していく学際的協働の重要性が検討された。⁶⁾ ここでは学際的協働に係わる論点あるいは協働にあたって考慮すべき点が提示されているが、ここでは、今後の検討に資するべく、学際的協働作業の課題の抽出を若干試みたい。

超長期の予測では大きな不確かさを覚悟しないといけない人間の活動について、特に福島第一原子力発電所事故を経験したことを踏まえると、哲学、倫理・道徳、宗教の分野からの考究による知見からは、多くの示唆が期待される。

将来の世代による責任の継承（世代を繋ぐ義務の連鎖）や、有史以来現在までの期間よりも長期の人間のふるまいに対応すること、最後にはそれを自然に委ねる（戻す）こと、また、人知を尽くしてなお将来世代に委ねることに対しては、最終的に諦念（観）を交えた我々世代の判断を行うことの哲学的考察も必要であろう。

その際、これまでも国内外で活発にすすめられてきた世代間にまたがるリスクの理解や向き合い方、特に放射線に係わるリスクの理解や向き合い方が重要であり、この放棄、放念するわけにはいかないリスクの特性を十分に考慮することが必要となろう。

廃棄物処分実現の合意形成プロセスの研究はまさに学際的研究であり、段階を踏んで進められる処分事業では次第に進化、深化させていかないといけない。廃棄物処分の合意形成は廃棄物処分単独の問題ではなく、発電に伴う受益行為との経済倫理も含む総合的議論が欠かせないことも忘れてはいけない。

地層処分事業は、処分地の調査選定プロセスに沿って段階的に進められるが、段階の進展に伴う新しい技術的課題の提起ばかりでなく合意形成プロセスに

関する知見に基づく制度の法制化さらには処分地と受益権との総合的連携や地域振興の創出の仕組みに関する研究も期待される。

2) 情報発信

(1) 研究活動の状況、成果の発信

地層処分は実験でそのままを実証、確認したりすることは難しく、また、一般の市民が専門家の議論に基づく処分概念の構築プロセスに触れる機会もなく容易には理解を得られにくい。批判的な見解もきちんと情報発信し、透明性高く、議論の過程がトレーサブルでないといけない。

学会は、学会に係わる人、さらに関心を寄せる方ばかりでなく、一般市民の方々に対し、研究活動の様子、成果に接することができるよう紹介し、説明して、情報を提供し、考えてもらうようにすべきである。ここでは、海外や既往の見解との比較などを含め解り易く説明する必要がある。

また、学会活動の一環として、片手間での情報発信でなく、受け手の立場に立った発信を専ら行う担当を設置するのも効果的であろう。学会活動を中心とした成果をベースにして、今後の研究活動あるいは事業展開への取り組みの提言を積極的に発信する役割が学会にはある。

そこでは、学会の研究活動の成果として創生される指針・基準等の標準や学会誌掲載の研究論文等を国内及び国際社会に向けて、きちんと受け止められるよう提供していくことが、地層処分が人類の未知の領域を覚悟しなければいけないという点からも特に重要である。

(2) 国際情報の紹介

地層処分の分野では海外の状況は特に関心の高いところである。政治、社会、文化の違いはもとより、地質の違いなどがどのような影響を及ぼすかといった点にも関心がもたれている。学会は、海外の研究活動あるいは処分事業に係る報告書、情報などで特に従来の見解・主張、技術とは異なる画期的（異色）なものは時宜を外さずに紹介するべきである。

(3) 多様な見解の紹介

学会は、特に地層処分に直接関係しない理学・工学の専門家による意見や批判ばかりでなく、人文・社会科学の専門家の批判的見解、疑問も紹介し、認識の範囲を拡大しあるいは共有し、有益な議論が展開できるようにすべきである。これらに係る論文は、評論誌などに掲載されることが多く、情報収集のためアンテナを高く張っておく必要がある。地震のリスクや放射線のリスクに関して、

専門家の説明や見解が、人により一様でない、多様である、隔たりがある、あるいは整合的でないといった点については、専門家間でどの程度の合意があり、どういった異論があるかを、関心のある一般の人々に向け、出来るだけ客観的に示すことも必要である。この点については、限られた分野のみを対象とする学会の役割というよりも、関連学会の参加による学際的協働作業あるいは後述の学術界の役割として期待すべきかも知れない。

(4) 情報の提供とインターネットの活用

最近、原子力委員会は、原子力に対する国民の理解を深めることを目的として、「理解の深化 ～根拠に基づく情報体系の整備について～（見解）」なる文書⁷⁾をとりまとめ、原子力関係機関の連携協力により情報を体系的に整備してインターネット上で公開することを促した。整備する情報としては、(i)経済性・環境・自給率〔3E〕、(ii)安全・防災、(iii)放射性廃棄物、(iv)放射線被ばくリスクを想定している。この情報整備にあたって、関連学会には、科学的情報、リスク情報等の根拠情報の提供、ならびにそれら情報に対する信頼を得るための品質とトレーサビリティの確保に協力することが期待される。さらに、こうした活動の成果が、メディアを含め、一般市民を始めとする多くの関係者に利用され、有用な情報システムとしてその維持・改善が継続して図られるようになることを期待したい。

現状では、東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質による健康影響に関しては、既に環境省が「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」として、平成 26 年度版および 27 年度版をインターネット上で公開している⁸⁾。これらが、コミュニケーション活動等に、どのようになどの程度利用され、一般の方々の「理解の深化」あるいはリスク認知・判断の変化に貢献しているか、社会科学的な分析・評価が必要である。その結果が、原子力委員会が促す上記活動およびコミュニケーション活動に関する今後の原子力委員会の検討に反映され、効果的なネット情報公開となることを期待したい。

また、東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質による影響とそのリスク⁹⁾及びコストについては、健康影響、避難と代替生活インフラ、代替発電、環境除染、損害賠償等の関連で、既に過去 6 年に亘る膨大なデータが各所に散在していると思われる。しかしその分析は、福島県民の健康調査や農水産物調査、損害賠償事例等を除き、まだ殆どなされていないと言っていいだろう。原子力委員会には、国内関連情報の収集整理・保管・分析等の方策の検討を期待すると同時に、東京電力、関連省庁、福島県等の協力を得て、事故の影響に関する研究への取り組みに、関連学会及び研究機関の奮起

を促したい。

(5) メディアとの交流

メディアの最前線では、世代交代が頻繁である。また、ネットによる情報拡散も重要な役割を持つ今日である。メディアに対しては、判断経緯も含め、日頃からの精緻な直接的な情報提供が重要である。地層処分の関係者は、研究であれ、事業推進であれ、ネットを含む様々なメディアを通じて、きちっと説明責任を果たし続けることが重要である。

(6) 歴史的変遷の情報

時代とともに社会が変遷する中で事業の進展が成熟することに伴い、研究を含め事業自体も変化してきている。これらの底流にある考え方の変化、データの蓄積など歴史的変遷に係るトレーサビリティの情報を次世代の人々に提供することは、新しい知の創生の営みに刺激を与えることになるだろう。

3) 共考の場づくり

前述のように学際的協働が求められるということは、関心のある一般の人々を含め、関係者間でどのような共考の場を設置するかが次の課題となる。

(1) 研究者及び学識経験者間

高レベル放射性廃棄物の処分問題の解決に、理学・工学と人文・社会科学の専門家の学際的協働が求められるということは、これまでの知では十分解決できない人類の存在を問う壮大な挑戦と言うこともできる。

学術の総合的共考の場としての学術会議が、挑戦的課題に値するとしてこの問題に継続的に正面から取り組むよう、学会は日本学術会議に働きかけるべきであろう。

同分野であっても異分野であっても、研究者及び学識経験者間で開陳され、大きく見解が異なることがらに関しては、それらの議論を更に発展させる論点を明確にし、その論点の見解を深めていく具体的課題を提示できるようにし、更なる深化が期待できるようにしなければならない。学会がそうした場を提供する必要があるだろう。

また、関係者が真摯に学び、考えられるような関係者間のセミナー、学習会などは繰り返し行うべきである。

(2) 一般市民との共考¹⁰⁾

地層処分は全国民が覚悟を決めることから逃れられない。共考の場の設定は、

原子力発電所になじみのある立地地域はもとより、都会でも重要である。各種機会を設けたり、その機会を活用したりして、講師を派遣する場合は、適切なテーマ設定を行うことにより、説明と言うより話題提供あるいは問いかけと対話が進むようにする、あるいは複数の講師陣を配して硬直的な意見交換にならないようにするといった配慮が要る。

その様な活動のモデルとして、最近各地で、サイエンスカフェ、トークセッション、タウンミーティング（対話集会）等が開催されている。これらの動きに学び、原子力とりわけ放射性廃棄物処分の分野でも、宇宙や地層処分の対象となる地球の営みも含め、核反応、放射線利用、放射線への安全等に視点を置いた「アトムカフェ」のようなものを企画することも考えられる。例えば、地層処分の概念と直結しているオクロの天然原子炉の話などは、科学的関心を呼び覚ますものであるが、一般には全く知られていないは残念なことであるが、こういったものを話題として一般の方々と対話することは非常に有意義と考えられる。このような場の形成には器が必要となるが、地域のコミュニティセンターのような公的施設の他に、原子力関係の情報館の活用も考えられる。このような活動を行っていく中で、更にこれらが小中学校の教育に繋がることも期待したい。

原子力発電の受益圏である都会には、原子力関係の情報館は極めて限られている。当学会は、一般市民が質問も投げかけられ、学ぶことができる場の提唱をしたらどうだろうか。地層処分のようにこれまでの知だけでは解決できない課題については一人一人が学び、考え、行動するという姿勢が重要である。それを実現する場づくりの設計を学会活動として行うことを提案する。ここでは原子力関係で研究や仕事をしたOBのシニア世代の活躍も期待される。

4) 人材育成・国際協力

地層処分が事業化して立地問題と立ち向かうには、新たな合意形成プロセスが必要となる。そこでは、多様な意見を引き出し、参加者が自ら考えて、議論を効果的、合理的に意思決定に結び付けられるようなファシリテータが欠かせない。関連分野の研究者、専門家であっても、自らの意見や自説は封印し意識的に中立的立場をとることによって、ファシリテーション役（場づくり役、聞き役、対話の橋渡し・促進役）に徹することは可能であるので、必要な人材を研究者・技術者の中から育成することは十分可能である。こうしたファシリテータの育成は、研究機関・教育機関におけるアウトリーチ活動あるいはコミュニケーション活動のための人材育成にも寄与するものである。

また、このような原子力にとっての根源的な大きな課題解決には、優秀な多くの人材が欠かせない。今の世代が取り組む壮大な社会システム構築への挑戦

に意欲と情熱を傾けられるよう働きかける必要があるだろう。最近はそれに応えるような人材の参加の気配もある。こうした働きかけには地層処分の放射性廃棄物処分での位置づけ、歴史的変遷も含めた良質の教科書作りも必要であり、学会の役割であろう。

学際的協働作業と言うことであれば、異色の優れた論文も期待されるが、広く関係学会にも目配りして、創造的な優秀論文の表彰も行うべきだろう。

世界の中では、地層処分事業の準備が進んでいる国もあり、地球規模の課題の認識の下、国際交流、技術交流、相互駐在などにより、次世代を支える若い人たちの交流を図るべく学会も努力を図るべきであろう。

3.4.2 学術界（アカデミア¹¹⁾）への期待

前節は、主として当学会を始めとする我が国の原子力関連学会を念頭に置いて学会への期待を述べた。当学会の「放射性廃棄物地層処分の学際的評価」研究専門委員会（2013年9月終了）は、学際的な協働の必要性について、以下のように述べた。

「本委員会では地層処分概念、ひいては高レベル放射性廃棄物の管理・処分そのものがその本質において学際的な性質を持つことを確認した。その上で、特に日本において、真に確かな社会的支持の得られうる放射性廃棄物処分方策をつくりあげるためには、技術的な検討に加えて、倫理的な側面を含む多様な学際的観点からの、なおいっそうの検討が必要であるとの認識に至った。」¹²⁾

この、科学技術を超えるトランス・サイエンス問題としての多様な学際的観点からの検討は、直接処分を選択肢のひとつとする場合には、なお一層重要となる。

本節では、こうした学際的研究の課題である地層処分問題について、我が国を代表する科学アカデミーである日本学術会議、原子力及び放射性廃棄物関連学会、あるいは学術界（アカデミア）全体に対して、いかなる役割が期待されることになるかについて述べる。

高レベル放射性廃棄物処分に関する科学アカデミーの役割について、日米のアカデミーのレビューと比較について行われた考察の結果¹³⁾、米国の科学アカデミーは、地層処分の概念形成に始まり、処分場計画（直接処分を含む）に対するコンサルテーション、規制基準策定の指導的役割、議会の規制基準の適否決定に際しての科学的妥当性を判断する拠り所等、信頼された第三者組織として、政府・議会からの付託に対する奉仕・研究報告という手段でその社会的機能を発揮し、問題解決を支援してきたことが示唆されている。

一方、日本学術会議においては、放射性廃棄物処分に対する科学アカデミーとしての活動は近年まで行われてこなかった。

1) 日本学術会議における地層処分関連の近年の活動と期待

日本学術会議では、2010年6月に主催した公開講演会「高レベル放射性廃棄物処分問題解決の途を探る」¹⁴⁾を契機に、同年7月に分野別委員会の1つである総合工学委員会の下に、広範な分野の専門家を委員とする「放射性廃棄物と人間社会小委員会」が臨時的に設置された。この小委員会では、我が国で進められている地層処分計画の調査と評価、問題解決のための方策の探索などが審議され、その記録が残された¹⁵⁾が、報告や提言を作成するまでには至らなかった。

2010年9月に、日本学術会議は、原子力委員会から高レベル放射性廃棄物の処分の取組における国民に対する説明や情報提供在り方についての提言のとりま

とめ依頼¹⁶⁾を受け、社会科学、地震学等の広範な学術分野の専門家を委員とする「高レベル放射性廃棄物の処分に関する検討委員会」を課題別委員会として設置して検討を進め、2年後に回答¹⁷⁾を原子力委員会に提出した。原子力を取り巻く環境を激変させた東日本大震災・福島第一原子力発電所事故の発生は、日本学術会議の前記2つの委員会の設置期間中であった。従って、両委員会の検討は、見直しを迫られたわが国の原子力政策、エネルギー政策全体についての議論の影響を受けた。上記の原子力委員会への回答もその影響により、「原点に立ち返った審議」¹⁸⁾を経ての回答となった。

この回答に対する原子力委員会の対応の一例を次に示す。

原子力委員会では、この回答を踏まえた分析の結果、「地層処分に懐疑的な国民や専門家が存在することを踏まえた包括的なコミュニケーションを学界を含む国民との間で行うべきであったにも関わらず、そうした努力が十分なされてこなかった」¹⁹⁾という認識を示した。そのため原子力委員会は、将来課題のひとつとして、国民との情報共有の仕組み、あるいは処分に係る技術と処分場の選択の過程を社会と共有する仕組みの整備を掲げた。これが、「(地層処分の)実施者の決定がそのように(多様な意見があり得る国民の関与を得て、最新の科学的知見が反映され、科学的知見の不確実性が思慮深く考慮されて)行われているかどうかを学界、国民の声を踏まえつつ監査し、国や当事者に適宜に適切な助言を行う独立の第三者組織を担当大臣が自ら整備すべき」との見解²⁰⁾となり、後に、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針の改定(平成27年5月22日閣議決定)における見直し後の原子力委員会の任務の見直し²¹⁾と最終処分に関する任務の再設定²²⁾につながった。即ち「原子力委員会は、最終処分計画の改定に際しては、その時点までの技術開発の状況や概要調査地区等の選定の状況を踏まえ、意見の多様性及び専門性を確保しつつ審議を行い、その妥当性について評価を行った上で、法の規定に基づき経済産業大臣に意見を述べるものとする」とされた。

日本学術会議は、原子力委員会への回答で提示した提言を政府等が政策等に反映しやすくするために、施策のより一層の具体化を図ることが重要であるとの認識から、2013年5月に「高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ検討委員会」を設置し、回答のより具体的な方策について技術と社会という総合的視点から検討を重ねた。その結果、回答で提唱された暫定保管や合意形成の手続き等について、2015年4月、12項目の具体的方策を示した。²³⁾

こうした提言に関連する担当官庁(経済産業省資源エネルギー庁)のこれまでの対応状況を例示すると、以下のようなものである。

「原則50年の暫定保管」という提言については、その物理的機能は従来の「中間貯蔵」に近いと考えられ、また、合意形成プロセスの一環として「暫定保管」

を設定することにより生まれる政策上の柔軟性については、「可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定を見直せる仕組みとする」という考え方が、経済産業省が組織したワーキンググループ（以下「WG」という。）により改めて示された。²⁴⁾

こうした議論を受け、前述の特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（2015年5月改定）には、2014年4月のエネルギー基本計画にある「使用済燃料の貯蔵能力の拡大を進める。発電所の敷地内外を問わず、新たな地点の可能性を幅広く検討しながら、国も積極的に関与して中間貯蔵施設²⁵⁾や乾式貯蔵施設²⁶⁾等の建設・活用を促進することとし、そのための国の取組を強化する。」という方針がそのまま盛り込まれた。

ここに言う「乾式貯蔵施設」は、従来の中間貯蔵施設とは異なるものとして考えることができる。即ち、従来使用済燃料の貯蔵手段として明示されてこなかった新たな概念あるいは選択肢の提示と捉えることもできる。「乾式貯蔵施設」は、技術的には、既存の原子力発電所敷地の内外いずれにも設置可能な施設であり、また、貯蔵期間延長への対応も可能なものであるから、国内における使用済燃料の貯蔵管理の柔軟性を増すことに貢献する施設である。

「最終処分のための適地について、現状の地質学的知見を詳細に吟味して全国くまなくリスト化すべきである」という提言に関しては、既に提言より以前の2013年10月には、経済産業省の総合資源エネルギー調査会に地層処分技術WGが設置され²⁷⁾、検討が進められてきている。そうした検討の結果のひとつである「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」²⁸⁾に関して、経済産業省は、学会ヒアリングや専門家意見募集といった取り組みを行っている。²⁹⁾

経済産業省は「科学的有望地」について、「国民や地域に冷静に受け止められる環境を整えた上で、平成28年中の提示を目指す」³⁰⁾としているが、この「科学的有望地」という表現³¹⁾が、あたかも適地であるような誤解を生んでいること、実際には一定の基準に合致している地域のリストであり、適地と言えるかどうかは未決定であること、ましてや「候補地」ではないことを、関心のある人々に広く理解して貰う必要がある。また、そのためのコミュニケーションの機会を多く設ける必要がある。そうした準備がなければ、「科学的有望地」の提示により、立地拒否の動きが各地で起こり、社会的・政策的混乱の要因が増すことに繋がりがねない。この懸念は、地層処分場の立地問題が原子力の発電利用継続の是非論を招く問題であるがゆえに、深刻である。この問題領域は、学会あるいは学术界の役割を超え、政治のリーダーシップが求められ、政治のイニシアティブを必要とする領域となる。

「科学的有望地」の提示による社会的混乱を避け、「今後のプロセスの中で（国

民の意見の多様性を踏まえ) 建設的な国民的議論を慎重かつ丁寧に進めていく」³²⁾ ためには、「科学的有望地のマップの提示後のプロセスについて明確に示し広く共有していくこと」³³⁾、そしてこのプロセスにどのように人々の参加を求めるかを予め明らかにしておくことが必要であろう。

従って、科学的有望地提示以降の国民的議論においては、前節で提案した「共考の場」を多数設営し、共に考える機会を広く多く持つことが欠かせないだろう。関連学会及び学术界には、こうした国民的議論の場への参画と「共考」への建設的貢献が望まれる。

日本学術会議の回答や提言に関連する経済産業省や原子力委員会の対応からは、その回答や提言が政府部内における関連コミュニケーションの活性化に寄与しているとも見える。あるいは日本学術会議は、既に高レベル放射性廃棄物処分問題に関する政府関係者のひとりとなっているとも見ることが出来る。さらには、「知識や情報、議論に対する『信頼』の拠り所であることが期待されている」³⁴⁾とされるアカデミアに対して、「情報化社会に適した参加型民主主義の展開においては、学術手法や知見が大いに期待されている」³⁵⁾こと、また「アカデミアによる社会的な課題への取り組みが望まれている」³⁶⁾こと等、アカデミアへの期待に応えるべく、アカデミアを代表する機関としての日本学術会議の今日的役割が、ここにも模索されていると見ることが出来る。

日本学術会議の憲章第1項には、「日本の科学者コミュニティを代表する機関として、科学に関する重要事項を審議して実現を図ること、科学に関する研究の拡充と連携を推進して一層の発展を図ることを基本的な任務とする」とある。また、日本学術会議第一部福島原発災害後の科学と社会のあり方を問う分科会は、平成26年9月11日、審議結果を提言³⁷⁾としてとりまとめ、「科学と社会とのコミュニケーションを深める上で、日本学術会議の役割は大きい。政府・行政に対する関与とともに、市民社会との関わりに力を入れるべき。政府への科学的助言にも市民とのコミュニケーションが反映するような仕組みを形作るべき。その際に日本学術会議は、多様な分野と多様な立場の専門家が関わり、また有識者や市民等が加わる開かれた討議の場を積極的に設けるべきである。」等とした。

さらに同じ頃、日本学術会議地球惑星科学委員会地球・人間圏分科会が審議結果をとりまとめ、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する不確実性を低減する研究や国民的理解の向上につき提言³⁸⁾を行っている。

日本学術会議に対しては、国民全体が関係する重要課題である高レベル放射性廃棄物処分について、これを科学と社会に関する重要事項とみなしてその実現に寄与する学術貢献を今後とも期待したい。

2) 関連学会における地層処分関連の近年の活動と期待

経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物対策課及び総合資源エネルギー調査会地層処分技術WG委員長等は、平成28年1月から4月にかけて、「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」に係る学術的知見及び利用する文献・データの妥当性等について専門家より意見を求めるために、関係機関や関係学会に所属する会員等に情報提供及び意見照会等を実施した。特に関係の深い7学会³⁹⁾においては、会員への情報提供の機会及び学会横断的説明会として計11回の説明会を実施し、質疑応答・意見交換を実施、また、関係学会8学会⁴⁰⁾では、メーリングリストや学会HP等で専門家への意見募集や学会横断的説明会(2月29日(月)開催)について周知を行った。

その結果、「地層処分は多様な分野に関連する複合技術⁴¹⁾であり、学術的な知見を更に充実させていくためにも、また、国民の理解と協力を更に深めていくためにも、今後とも学术界から適切なサポートを得ていくことが重要である。」との認識が表明され、さらに「本来、地層処分を成立させる科学技術は広範な分野にまたがるもので、これらを統合する必要があるが、様々な分野の、どのような科学的知識が、どのように統合されて適用されようとしているのかという、全体についての包括的な説明・議論の機会は残念ながらこれまで十分になかった。このため情報が十分伝達されず、初歩的とも思われるような不必要な誤解が生じて、この結果、一般の方々が、研究者の間で見解の相違があるように感じる面があった。このような誤解を解くためには、互いが面と向かい合い、お互いが言葉を尽くして意思疎通を図る必要がある。このような作業は、今後地層処分が実地に実現できるまで続ける必要があると考えられる。」との認識が示された。⁴²⁾

異なるディシプリンを超えて、地層処分システムを構成する科学・技術に関する知識の統合を進める必要がある。そうした作業なしには、研究者間の見解の相違を学術上の課題として理解し、克服することは困難であろう。地層処分システムを説明する総合的科学・技術文書(包括的安全説明書、セーフティーケース)も、統合された知識の構造を反映するものとして、構成され表現されることが期待されるので、関連学会による明快かつ明晰なレビュー活動が望まれる。前述した最終処分計画の改定に際しての原子力委員会による審議及び評価も、こうした関連学会によるレビュー活動を踏まえたものであることが望ましい。

3) 学术界(アカデミア)による学術貢献への期待

個別の研究活動や情報発信の必要性については既に述べた。ここでは、地層処分システムといった社会的リスクを伴うかも知れない科学技術システムに共通に必要とされる学術貢献について述べる。

一般に、科学的知見とその限界、あるいは科学・技術的能力の限界の認識の下

では、同一の問題に対し専門家により見解が異なることは少なからずあると言ってよいだろう。しかし、それが相互理解あるいは情報共有の不足に基づくものであるなら、これを解消する努力がまず必要である。専門家の見解が大きく異なれば、国民の理解はそれだけ阻害され、国民の信頼は損なわれる。関連する専門家間の分野を超えるコミュニケーションの重要性はここにある。先に述べた、専門家の説明や見解が、人により一様でない、あるいは整合的でないという問題について、論点の整理、相違点や相違の背景の提示等がまず求められよう。

異なる意見を持った人々が、異なるエビデンス（根拠）に基づいてお互い相容れない主張を繰り返すことを防ぐために利用できる方法のひとつとして、共同事実確認（joint fact-finding）⁴³⁾ という方法が提唱されている。この実施例である食品中の放射性物質のリスクをめぐる共同事実確認では、そのリスクについて「異なるディシプリンの知識の統合が必要なことが明らかになった」と報告されている。⁴⁴⁾ 類似の問題として、原子力発電所立地地点近傍の活断層の存否に関する専門家と事業者間の論争がある。地層処分場計画の今後の進展において、地質環境の長期安定性に関し同様の論争が起こることも懸念される。

こうした問題について、一般の関心ある人々を含め、いかなる対応方法があるか、いかなる対応を実現すべきであるかという点も、学术界として真摯に考慮し、追求すべき課題であろう。社会は、一方で科学の諸学説あるいは学術の多様性を認めるが、他方、一般の人々の生活に係わる関心事についての科学者の諸学説に関しては、学説統合への科学者間の努力あるいは合意を期待していると考えべきであろう。

地層処分は、多様な分野に跨る複合技術問題であると同時に不確かさを伴う社会リスク問題であり、国民にとって重要な意思決定の問題である。まさにトランス・サイエンス問題である。こうした問題についての関連学会横断のコミュニケーションは必要不可欠であり、さらには専門家と国民との間でのコミュニケーションが、社会の理解を生み出し、深め、広げるために必要不可欠な活動である。そしてこうした活動の意識的展開により、政策選択の基礎が形成されることが期待される。

関連学会全体が積極的に連携・協働して、トランス・サイエンス問題解決の一環として分野横断のコミュニケーション及び様々な関係者・国民とのコミュニケーションを図りつつ、学際的共考協働作業あるいは学際的(interdisciplinary)研究・横断型または超学際的(transdisciplinary)研究⁴⁵⁾を進めること⁴⁶⁾、ここに学会全体・学术界（アカデミア）全体に期待される重要な今日的役割がある。

学术界には、何かの決定を期待しているのではない。人と社会が生み出すシステムを支える知識・技術には、その限界があること、また、その知識・技術の複雑な利用に伴い、様々なリスクとその不確かさ⁴⁷⁾が潜在することを明らかにし、

さらには、専門家間で、こうした事柄についての見解にどの程度の合意があるのかを明らかにすること、また見解に隔たりがある場合には、その実相を明らかにすることが当然の責務として学术界にはまず求められよう。日本学術会議は、東日本大震災を契機として科学者の責任の問題が注目されたこと等を踏まえ、2013年「科学者の行動規範」を改訂し、科学者の責務に係わる記述を強化した⁴⁸⁾。個々の科学者には、特に社会との関わりにおいて、科学者の責任への深い自覚と科学者の責務に対するコミットメントが求められる。

異なる見解あるいは見解の隔たりについて、納得のいく客観的説明を行うためには、分野・領域を超えて協働し、見解の相違を生む各分野・領域における理論や仮説がどのように形成され、どのように改良可能かを相互に厳しく理性的・合理的・批判的に検討すること、そして新たな理論や仮説を生み出すことといった基本的検討作業が必要となろう。学术界全体に期待するのは、科学情報・技術情報の明快さ・明晰さを維持するために必要と考えられるこうした基礎的作業に果敢に取り組み、その成果を世に問い、そして社会の生活者の関心を踏まえ改善を継続すること、すなわち科学への信頼を取り戻すことである。こうした作業は、知の統合^{49),50)}プロセスの一部をなすことになるのかも知れない。

さらに学术界には、一般の人々を含む社会の関係者と共考協働し、自らの活動を変革させる姿勢を継続させることが必要と考えられる。そうした環境下で、リスク管理問題であればリスク・ガバナンスの方法の設計案を生み出すこと、また、そのための制度やプロセスの設計案を示すことが期待される。併せ、問題が長期に亘る場合は、資金、人材の継続的確保等もなお一層重要となる。従って、将来に向かって新たな知識・技術の利用に伴い必要となるであろう社会システムについて、その創造の連鎖と実装に寄与する幾つかの選択肢を継続的に示すことも、重要な学術貢献として大いに期待されるところである。こうした設計案を選択し、法制化するのには、政治の役割（3.3節に記述）であるから、学术界には、国民によって選択可能な複数の選択肢の提供を継続するという責務があろう。

3.4.3 社会の理解に係わる今後の学術研究課題

ここまで、地層処分関連の学会及び日本学術会議への期待として、社会の理解に係わる以下のような学術活動または調査研究課題への取り組みの必要を述べた。こうした活動または調査研究のための研究体制が整えられるよう、学術界による研究強化の提案と併せ、政府、国会または地方自治体の主導による資金支援等の支援策を期待したい。

- ① 地層処分実現のための合意形成プロセスの研究
- ② 東京電力福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえ、事故により放出された放射性物質による社会的影響とそのリスク及びコストに関する研究
- ③ 異なるディシプリンを超えて、地層処分システムを構成する科学・技術に関する知識の統合を進める研究または活動
- ④ 事業者が作成する地層処分システムを説明する総合的科学・技術文書に対する関連学会による十分なレビュー活動
- ⑤ 異なる見解あるいは見解の隔たりについて、納得のいく客観的説明を行うための方法の研究、または、異なる意見を持った人々が、異なるエビデンス（根拠）に基づいてお互い相容れない主張を繰り返すことを防ぐために利用できる方法の研究

参考文献；

- 1) 原子力委員会の在り方見直しのための有識者会議：原子力委員会の在り方見直しについて、平成 25 年 12 月 10 日
- 2) 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会：報告書～「原子力立国計画」～、2006 年 8 月 8 日
- 3) 福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえて、新規規制基準が従来の基準（旧原子力安全委員会安全審査指針）に比べ強化され、より一層厳しいものとなっていることについては、規制委及び事業者からその概要につき説明がなされている〔原子力規制委員会：2016 年 02 月 17 日更新，実用発電用原子炉及び核燃料施設等に係る新規規制基準について（概要）；北陸電力：広報パンフレット，志賀原子力発電所 2 号機における新規規制基準への適合性確認に係る申請について；その他〕。しかし、従来の原子力発電所の設計、建設、運転等の経験、あるいは規制の経験を踏まえ、考えられるあらゆる事象に対して合理的な、あるいは最善の規制基準となっているかどうかの説明は、なされていない。例えば、原子力発電所のリスク対策が新規規制基準下で十分であるかどうか明らかでない事例として、次の出来事を挙げることができる。平成 28 年 9 月 28 日に志賀原子力発電所 2 号機の原子炉建屋内に雨水約 6.6 トンが流入するというトラブルが起きた〔北陸電力株式会社：志賀原子力発電所 2 号機原子炉建屋内への雨水流入に

ついて（報告）、平成 28 年 12 月]。この件は、実用発電用原子炉に係る新規制基準が運用されるなかで想定外のリスクの存在が明らかになった事例である。本事例は、原子力発電所の安全確保について、事業者及び規制行政の双方に対し、リスク・ガバナンスの改善を求めていると考えられるケースであろう。規制基準の合理性あるいは最善性をどのように説明するかは、事業者及び規制行政の両者にとって重要な研究課題である。

- 4) International Risk Governance Council（国際リスクガバナンス評議会）：Risk Governance - Towards an Integrative Approach, Geneva, September 2005, https://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance__reprinted_version_.pdf
- 5) 日本原子力学会東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会(著)：福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言：一学会事故調 最終報告書一，丸善出版，2014/3/14
- 6) 日本原子力学会「放射性廃棄物地層処分の学際的評価」研究専門委員会：放射性廃棄物地層処分の学際的評価，2014 年 1 月
- 7) 原子力委員会：理解の深化 ～根拠に基づく情報体系の整備について～（見解），平成 28 年 12 月 1 日
- 8) http://www.env.go.jp/chemi/rhm/basic_data.html この他、よりコンパクトにまとめたものとして、復興庁が「放射線リスクに関する基礎的情報」をネット上に公開している。
http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-1/20160308Basic_InformationRR.pdf
- 9) ここで言う「リスク」とは、Peter M. Sandman の言う “Risk = Hazard + Outrage” のリスクである。死亡リスクを Hazard と呼ぶなら、一般の人々が考えるその他のリスクのすべてが Outrage である。福島第一原子力発電所事故の被害を実際に経験したことで露わになった “Outrage” は、汚染被害、避難生活被害、災害関連死等である。Hazard の大小、Outrage の大小により、対応の仕方が異なる。・・・そのリスクが、任意か強要か、なじみのあるものか否か、忘れられるものかそうでないか、自分で制御できるものか他人により制御されるものか、公平なものか不公平なものか、信用できる機関により課されるものかそうでないか、こういった要因でのリスクが大きいなら、特に危険でないリスクであっても、高いリスクである。<http://www.psandman.com/> も参照されたい。
- 10) 日本の近代化の明治以降の、科学合理性の追求の原点のひとつとなった「学問のすすめ」でも、学者（学徒）は独善孤高を戒めて思想言論の交流の活動するよう警告し、一般人との対話を促している。
- 11) 「アカデミア」の由来については、「・・・元來、アカデミアとは、今から二千數百年前に、アテンの西北郊外に、英傑アカデモスなる者が所有してゐたといふ傳説があつて、そのあとに古賢プラトンが學院を開いて、前住者の名に因んでそれをアカデメイアと呼んだのに起る。そこには、學塾と共に幽林を附属せしめ、林間に在つて師弟が哲理を講習したといはれる。・・・」[新村出：会誌 ACADEMIA 創刊号巻頭言「アカデミアの夢」1947 年（昭和 22 年）2 月 11 日発行]との記述があるが、ここでは学術界全般を指して、「学術界（アカデミア）」とした。併せ、アカデミアの由来（京都大学名誉教授・哲学者 藤澤令夫）<http://academic-soc.jp/about/yurai/> も参照されたい。

- 12) 註 6 に同じ
- 13) 山下祐司, 田中知: 放射性廃棄物処分事業における科学アカデミーの役割, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 11, No. 3, p. 177 - 192 (2012)
- 14) 特集 高レベル放射性廃棄物の処分問題解決の途を探る - 日本学術会議からの報告 - , 学術の動向, 2010 年 11 月号
- 15) 日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと人間社会に関する分科会 放射性廃棄物と人間社会小委員会: 記録 高レベル放射性廃棄物の処分問題解決の途を探る, 平成 23 年 (2011 年) 9 月 14 日
- 16) 原子力委員会委員長 近藤駿介: 日本学術会議会長 金澤一郎殿 高レベル放射性廃棄物の処分に関する取組みについて (依頼), 22 府政科技第 589 号, 平成 22 年 9 月 7 日
- 17) 日本学術会議: 回答 高レベル放射性廃棄物の処分に関する取組みについて, 平成 24 年 (2012 年) 9 月 11 日
- 18) 日本学術会議高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ検討委員会: 提言 高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言 - 国民的合意形成に向けた暫定保管, 平成 27 年 (2015 年) 4 月 24 日
- 19) 原子力委員会: 今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組について (見解), 平成 24 年 12 月 18 日
- 20) 註 19 に同じ
- 21) 註 1 に同じ
- 22) 閣議決定: 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針、平成 27 年 5 月 22 日
- 23) 註 18 に同じ
- 24) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 放射性廃棄物 WG: 放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ, 平成 26 年 5 月
- 25) 青森県むつ市に建設中の使用済燃料中間貯蔵施設 (「リサイクル燃料備蓄」と称し、再処理するまでの間の使用済燃料貯蔵施設。貯蔵量: 当初再センター大よ 3,000 トン、増設後最大 5,000 トン、貯蔵方式: 金属製乾式キャスク方式、最長貯蔵期間 50 年) は、現在原子力発電所及び再処理施設以外で計画されている唯一の中間貯蔵施設である。
- 26) 現在国内には、福島第一原子力発電所及び東海第二発電所の 2 か所に、小規模の敷地内乾式貯蔵施設がある。福島第一原子力発電所の貯蔵施設であるキャスク保管建屋は 1995 年に運用を開始し、震災前の時点で 9 基 (約 73tU) 貯蔵、震災時に同建屋は津波により浸水した。東海第二発電所の乾式キャスク貯蔵施設は、2001 年に運用を開始し、2009 年 3 月現在キャスク 17 基設置 (内 15 基実入り)、24 基 (約 250tU) まで貯蔵できる。
- 福島第一原子力発電所では、事故後、使用済燃料プールからの燃料取り出しのため、新たにキャスク仮保管設備 (保管容量 50 基) を設けた。共用プールに貯蔵中の使用済燃料の一部は、乾式キャスクに充填し、同仮保管設備へ移送、保管している。また、震災時キャスク保管庫にて保管されていた乾式キャスク 9 基も同仮保管設備に移送し、保管している。
- 27) この WG 設置のためのメンバーの人選にあたって、経済産業省資源エネルギー庁と関連学会の間のコミュニケーションが十分な透明性と公平性を以て行われたのか、幾分疑念が残る。この件に関して、日本地震学会の会長 (当時) が残した報告から、その経緯は次のようであったと推測できる。
- この WG の委員の委嘱にあたり、資源エネルギー庁は関連学会に推薦を依頼したが、日本地震学会は、2 つの条件を付して WG 委員の推薦を一時留保した。付した条件は、

①WG が自律性・独立性を保った第三者組織となっているかを明確にすること、②WG に参加する専門家委員の役割と責任分担を明確にし、規則として作成することである。これに対し、資源エネルギー庁は個別に一会員に委員就任を依頼した。日本活断層学会も類似の対応を取った。〔出典：日本地震学会会長 加藤照之：放射性廃棄物地層処分技術 WG 設立をめぐる ―― 日本地震学会からの回答と考え方，日本の原子力発電と地球科学，2015 年 3 月，日本地震学会，p.89-94.〕

他の学会（日本火山学会、日本第四紀学会、日本応用地質学会、土木学会、日本地下水学会、日本地質学会）からは、推薦を得て委員が委嘱された。

学会による対応の差異は、地層処分システムに対する立場、あるいは、行政に対する専門家としての立場について、学会または学会員により差異のあることの表れであろう。政府の審議会等メンバーの人選に関して、行政と学会間の共通のルール設定が望まれる。

- 28) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG: 科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理，平成 27 年 12 月
- 29) 総合資源エネルギー調査会地層処分技術 WG 第 17 回会合：参考資料 1 「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理」に関する学会説明会概要
- 30) 最終処分関係閣僚会議：第 5 回議事概要，平成 27 年 12 月 18 日 http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisyu_syobun_kaigi/
- 31) 2016 年 10 月 18 日に開催された放射性廃棄物 WG（第 29 回）で、この呼称「科学的有望地」について「有望地という言葉が、そこに決定したような印象を与える」といった意見が相次ぎ、これを受け、経済産業省は用語などの見直しを検討する方針。また、2016 年内の予定だった処分場の「有望地マップ」の発表も、2017 年明け以降にずれ込む可能性が出てきた。
- 32) 総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物 WG: 科学的有望地の提示に係る社会科学的観点の扱いについて，2016 年 10 月
- 33) (同上)
- 34) 日本学術会議若手アカデミー委員会学術の未来検討分科会：記録 アカデミアの新たな役割：若手の視点、外からの視点，平成 26 年（2014 年）9 月 18 日
- 35) (同上)
- 36) (同上)
- 37) 日本学術会議第一部福島原発災害後の科学と社会のあり方を問う分科会：提言 科学と社会のよりよい関係に向けて―福島原発災害後の信頼喪失を踏まえて―，平成 26 年（2014 年）9 月 11 日
- 38) 「日本学術会議地球惑星科学委員会地球・人間圏分科会：提言 東日本大震災を教訓とした安全安心で持続可能な社会の形成に向けて，平成 26 年（2014 年）9 月 30 日」において、次の提案を行っている。「〔高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究の見直しと国民的理解の向上〕国と研究者は第一に、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する空間的・時間的な不確実性を低減する研究を推進し、処分場の立地選定方法を考えるべきである。特に、物理探査等の技術開発を進め、その適用限界を明確にし、断層の少ない地層や岩体を地質学的に探す方法を見出すべきである。第二に、教育界と連携し、エネルギー問題と高レベル放射性廃棄物に関する科学的な理解を深めるよう努めるべきである。」

- 39) 地盤工学会、土木学会、日本応用地質学会、日本火山学会、日本原子力学会、日本地下水学会、日本地質学会
- 40) 岩の力学連合会、資源・素材学会、資源地質学会、日本活断層学会、日本地震学会、日本地球化学会、日本測地学会、物理探査学会
- 41) 地層処分システムは、学際的アプローチが必要なシステムであり、偶然性や人間の侵入といった要因を有する複雑なシステムだが、他の複雑な技術システム程複雑なものではない。しかし、非常に長い期間にわたるモデリングが必要なことや、そうした長期間にわたるマネジメントを行った先行例がないこと、また、システムのバリア境界や知識の欠如に強く関連しているシステムであることにより、不確かさのあるシステムである。さらに、反対運動を非常に誘起しやすいシステムであり、原子力の将来利用に議論が直結するものであるため、不明確さ、曖昧さのあるシステムである。〔出所：Ortwin Renn, *Governing Radioactive Waste Disposal: Processes for Resolving a Wicked Problem*. Sep. 6, 2016, リスク・ガバナンス国際シンポジウム、高レベル放射性廃棄物のリスク・ガバナンス：ドイツと日本における経験と挑戦、東京大学 STIG 教育・研究ユニット〕
- 42) 地層処分技術 WG 委員長 朽山修：「中間整理」に関する学会での説明会等の結果について、総合資源エネルギー調査会 放射性廃棄物 WG 第 27 回会合 参考資料 2-2, 平成 28 年 4 月 26 日
- 43) 論争を解決する手段としてのメディエーションには、共同事実確認や情報共有がある。「共同事実確認のガイドライン」、iJEF 研究開発プロジェクト、共同事実確認手法を活用した政策形成過程の検討と実装。研究成果, 2014.11.
- 44) 研究代表者 松浦正浩：「共同事実確認手法を活用した政策形成過程の検討と実装」研究開発プロジェクト成果報告書(研究開発期間 平成 23 年 11 月～平成 26 年 10 月)
- 45) 2003 年 4 月には「横断型基幹科学技術 (transdisciplinary science and technology)」という新しい学術の体系を構築すべく、横断型基幹科学技術研究団体連合 (横幹連合) が文理にまたがる 43 の学会の連合体として設立され (初代会長吉川弘之)、2005 年に NPO 法人化、何もしなければ一般には細分化していく科学・技術に対して、「横」の視点や「知の統合」の重要性を訴えて様々な活動を展開している。横断型基幹科学技術とは「論理を規範原理とし、自然科学、人文・社会科学、工学などを横断的に統合することを通して異分野の融合を促し、それにより新しい社会的価値の創出をもたらす基盤学術体系である」としている。また 2004 年 3 月には、NPO 法人超学際的研究機構が福島市に設立され、福島県における超学際的研究を開始した。「超学際 (transdisciplinarity)」とは、それぞれの分野・領域を超えて多様な知恵を集集するとともに、産学民官の各主体が幅広く連携することにより、諸問題の解決を図ること〔超学際的研究機構 HP より〕。〔参考 1〕 Transdisciplinarity connotes a research strategy that crosses many disciplinary boundaries to create a holistic approach. In German-speaking countries, Transdisziplinarität refers to the integration of diverse forms of research, and includes specific methods for relating knowledge in problem-solving. Transdisciplinarity is also used to signify a unity of knowledge beyond disciplines. [From Wikipedia, last modified on 29 September 2016, at 11:17.] [参考 2] Interdisciplinarity involves the combining of two or more academic disciplines into one activity (e.g., a research project). It is about creating something new by crossing boundaries, and thinking across them. [From Wikipedia, last modified on 15 October 2016, at 21:41.]

- 46) 「超学際(transdisciplinary)研究とは、科学者コミュニティが科学者以外の社会の様々な関係者と連携・協働して、新たな智の創出を行う研究と実践活動を総称している。」「・・・自然科学と人文社会科学の学際的な研究(interdisciplinary)に加え、科学コミュニティと社会との連携・協働による「超学際(transdisciplinary)」研究を重視し、・・・持続可能な地球社会の実現に向けた学際・超学際研究の推進を、科学コミュニティと社会の関係者に強く促す。」「文理の壁を越えた学際(interdisciplinary)研究を飛躍的に進め、さらに、個別の研究者コミュニティの視野の限界を克服するために、問題の発見から解決（持続可能な社会の実現）にいたる研究の全過程を、社会各層の関係者と協働でデザインする超学際(transdisciplinary)研究の推進体制を構築する必要がある。」「日本学術会議フューチャー・アースの推進に関する委員会：提言 持続可能な地球社会の実現をめざして－Future Earth（フューチャー・アース）の推進－、平成 28 年（2016 年）4 月 5 日」
- 47) 例えば、地層処分システムを構成する技術について、技術的に最善の手段（BAT）として検討され、リスク分析も行われ、採用に至った、そのプロセスを説明することなどは、専門家から専門家以外の人々に伝えるべき重要な情報であり、期待される学術貢献のひとつであろう。
- 48) 日本学術会議：声明 科学者の行動規範－改訂版－，平成 25 年（2013 年）1 月 25 日
- 49) 「知の統合」とは「異なる研究分野の間に共通する概念、手法、構造を抽出することによってそれぞれの分野の間での知の互換性を確立し、それを通してより普遍的な知の体系を作り上げること」と定義されている。〔日本学術会議 科学者コミュニティと知の統合委員会：提言 知の統合－社会のための科学に向けて－、平成 19 年（2007 年）3 月 22 日，舘暲：知の統合，学術の動向，Vol.15, No.10, p. 66- 69, 2010〕
- 50) 日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会：記録 知の統合への具体的な方法論と方策の提案，平成 26 年（2014 年）9 月 12 日

3.5 個別の政策課題

3.5.1 発生量制限における問題点

1) はじめに

原子力委員会は1995年に高レベル放射性廃棄物処分懇談会を設置し、約2年をかけ国民的議論を含む精力的な審議を進め、1998年5月に「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」と題する報告書をまとめた。

政府はこの考え方に沿って制度を整備すべく2000年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」を国会で可決。同時に2000年10月、この法律の定めるところに従い、処分事業の実施に取り組む原子力発電環境整備機構（NUMO）を立ち上げ、処分場の立地、適正調査を行う段階から地方自治体に対しての調査受入の公募を行うという仕組みを整備して、その取組みを行ってきた。

2008年に至り、原子力委員会はこの間の取組みについて、いわゆる政策評価を行い、この公募の取組みの進捗が思わしくないところを如何に改善すべきかについて、政府に対して知恵を出すよう依頼すると同時に、2010年9月、国民に対する説明や情報提供の在り方について高度かつ専門的な意見を求めるため、日本学術会議に検討を依頼したが、依頼から約半年後の2011年3月、東日本大震災および福島第一事故が発生し、国民の原子力そのものに対する不信、放射線・放射能に対する不安などから、我が国のエネルギー供給における原子力発電の必要性に関する否定論が世論として明確に顕在化したことは、周知のことである。

このような状況の中、福島第一事故以降の国民の認識も踏まえ、日本学術会議は、2年にわたる検討成果を6つの提言にまとめ2012年9月に原子力委員会に対して、回答書¹⁾を提出した¹⁾。

2) 日本学術会議の提言と原子力委員会の見解

日本学術会議は、既述の回答書で6つの提言を行っているが、会議では、地層処分について国民の理解を得るためにはどのようにすれば良いか、との意識に立ち、それまでの国の進め方を分析した結果、放射性廃棄物の処分問題に関わるこれまでの取扱いに対して、「原子力発電を巡る大局的政策についての広範な社会的合意を作り上げることに十分に取組まないまま、高レベル放射性廃棄物の最終処分地の選定という個別争点についての合意形成を求めるという、手続き的に逆転した形でなされてきた。」、すなわち、「まず、大局的な方針や原則についての合意を形成し、これに立脚して、個別課題について合意に基づいた意思決定を積み重ねていく手順を踏まなかった

¹⁾ 原子力委員会への回答後、日本学術会議はフォローアップ検討委員会を設置し、2015年4月24日に「高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言－国民的合意形成に向けた暫定保管」を公開⁸⁾。回答書のより具体的な方策について技術と社会という総合的な視点から、暫定保管に関する12の提言がなされた。

ことに問題がある」と指摘している。

この指摘は、処分廃棄物の超長期にわたる安全性／危険性に対する科学・技術的能力に加え、「そもそも論」として、原子力発電から発生する使用済燃料の「総量（発生量）」が政策決定過程において明確化されていない点であり、回答書では、合意形成の道を探るための基本的考え方としての「総量」を以下のように定義した。

高レベル放射性廃棄物の最終処分に関するこれまでの日本国政府の政策に対する批判と不振の根底には、**総量管理の考え方が欠落**しており、高レベル放射性廃棄物が無限大に増大していくことに対する歯止めが効かなくなるのではとする危惧がある。総量管理という考え方は、**今後の原子力発電の大局的政策を策定する上で重要な要因**であるだけでなく、**社会的合意に基づいて高レベル放射性廃棄物問題を解決するためには、極めて重要な条件**である。

・・・(中略)・・・

総量管理とは、高レベル放射性廃棄物の総量に関心を向け、それを望ましい水準に保つように操作することであるが、その**合意としては、「総量の上限の確定」と「総量の増分の抑制」**があり、その内実がいかなるものとなるかは、原子力政策の選択と深く関係している。「総量の上限の確定」とは、総量に上限を設定することであり、社会が脱原子力発電を選択する場合には、その脱原子力発電のテンポに応じて上限が定まってくる。「総量の増分の抑制」とは、総量の増加を厳格に抑制することであり、単位発電量あたりの廃棄物の分量を可能な限り少ない量に抑え込むことに他ならない。

これを受けた原子力委員会は、回答書に対する見解²⁾「(1)処分すべき高レベル放射性廃棄物の量と特性を原子力・核燃料サイクル政策と一体で明らかにすること」の中で、「総量管理」の考え方が提言された背景には二つあるとしている。

背景の一つは、「国民との間で、原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物の発生量や特性、その処分の考え方についての認識を共有する努力が不十分であった」とし、原子力委員会として認識する総量と増分について以下のように記している。

イ) 高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）発生量は、

- 30GWeの原子力発電を1年間運転して発生する使用済燃料から再処理して発生するガラス固化体は約1,000本/年
- 上記の原子力発電所を40年間運転した際に発生するガラス固化体は約40,000本発生

ロ) 同規模の原子力発電を継続した場合、必要となる処分場の規模と増分は、

- 処分場の規模は、約40,000本以上のガラス固化体を定置できる面積が必要（処分費用を算定するために処分施設の試設計を行なった結果、40,000本以上の本数のガラス固化体を処分できる規模の処分場であれば、ガラス固化体1体当たりの処分単価は大きく変わらない）

- 処分場の数は約 30 年以上の間隔をおいて一カ所ずつ開設
 - 長半減期の TRU 廃棄物のセメント固化体も併せた併置処分を考慮しても、処分場の規模に与える影響は小さく、処分場規模の考え方を変えるものではない。
- ハ) 上記イ)、ロ) を含めて、処分の取組に係る情報や仕組みの存在は必ずしも国民と共有されていない。

さらに背景の二つ目は、原子力政策、特に核燃料サイクル政策と廃棄物処分の関係が十分に議論されてこなかったとして、

- 「総量管理」の提言を受けたことは、「トイレなきマンション」という表現に代表されるように、過去の原子力政策や核燃料サイクル政策において、廃棄物処分の取組が原子力発電の取組と一体で議論されてこなかったのではないかとの批判がある。

としている。

上記の背景のもと原子力委員会は、国に対して今後のエネルギー・環境政策策定に係る取組の中に、

- 将来における「核燃料サイクルの取組に合わせ、処分に関わる廃棄体の形態と量および処分場の規模」について整理し、選択肢を示し、それらの得失について丁寧に国民に説明していくべき。
- これら状況の整理や選択肢の提示、国民へ説明するという取組は、継続的に行われるべきであり、都度、新しく得られた情報を取り入れて定期的に改定されるべき。

を反映すべき、と見解を示した。

3) 総量管理（発生量制限）に係る考察と問題点

原子力委員会の見解からもわかるように、上記の①～③で示された見解は、これまでの反省を込めた重要な発信であるが、一方で、高レベル放射性廃棄物の総量に関する原子力委員会の認識を文言通りに捉えれば、「1 施設当たりガラス固化体で 40,000 本を処分施設の基本埋設量とし、これに基づく処分技術を確立しておけば、原子力発電の継続期間、規模により増加した場合でも約 30 年以上の間隔で 1 施設ずつ増加させることが可能である。」と読み取れる。果たして、何施設追設するつもりであったのであろう。

これでは、日本学術会議が指摘するように、「... 総量管理の考え方が欠落しており、高レベル放射性廃棄物が無限大に増大していくことに対する歯止めが効かなくなる。」と認識されても已むを得まい。

一方、日本学術会議が提言する「総量管理」の考え方も、読み手によって二つの捉え

方ができる。

一つは、提言の文言通り、高レベル放射性廃棄物の無限大の増大、すなわち、発生源である原子力発電の期限なき依存を抑制するため、一定期間原子力を利用しようとも、依存の期限を明確化し、「発生量の上限」を決めること、そして、総量上限に達する時期までには他の代替手段を講じるか、もしくは、代替手段が得られない場合には、上限到達時期を遅らせるために抑制手段を講じるべき、との捉え方である。

二つ目は、日本には地層処分に適した場所やそこで確保できる面積（容積）はどれだけあり、その収容力はどの程度であるかが明らかになれば、収容限界（「総量」）が一義的に見えてくる。その収容量から逆算すれば、原子力発電の規模や活用期間が決まる。また、処分方法についてもガラス固化体にするのか、直接処分するのかにより、先に決めた収容量から発電規模も増減する。当然、廃棄体を減容させるための技術開発が進めば、自ずと収容限界に達するまでの時間的余裕が生じることになる、という捉え方である。

いずれも、原子力発電の量と比例関係にある廃棄物の「総量」であるが、前者は、「今」を起点として今後の予測をエネルギー政策に反映する考え方であり、後者は、「最後」を起点に、そこから遡った「今」や「途中」のエネルギー政策に反映する考え方である。

前者の捉え方に立脚した場合、上限を画一的に特定できるのは、提言にもある「脱原子力を選択する場合」のみである。図 3.4.1-1 に現在の既設原子力発電所を順次寿命と共に廃止する場合の設備容量推移³⁾を示す。この図より、設備の寿命を 40 年とした場合、2050 年には原子力発電による電力供給はゼロとなる。仮に設備寿命を 60 年とした場合でも供給停止は 2070 年となる。よって、この間に毎年発生する使用済燃料の量を積分することで新たな使用済燃料の発生量は一意的に決まり、現在すでに存在する高レベル放射性廃棄物の量を加えた量が「総量の上限」となる。

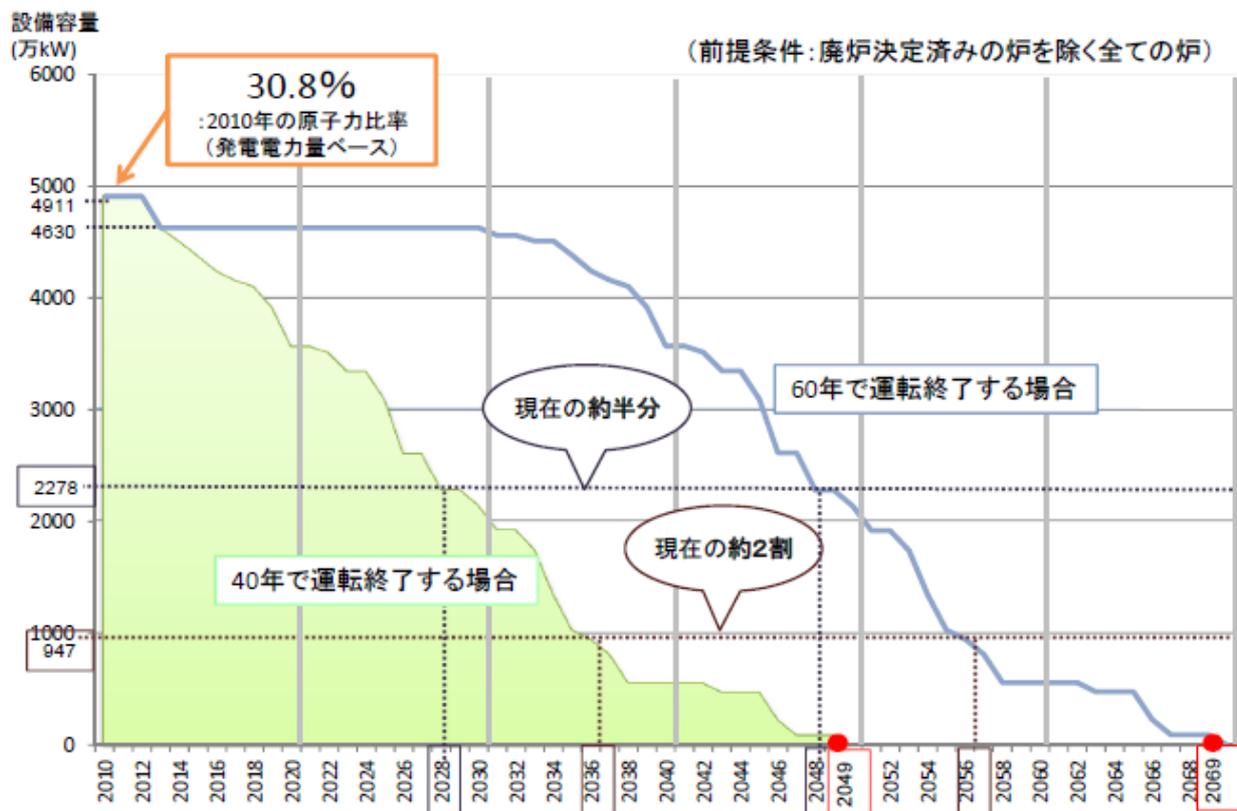


図 3.4.1-1 原子力発電順次廃止の設備容量曲線³⁾

しかし、ある一定の原子力発電を継続することを選択した場合、いつまで原子力発電を継続する必要があるかについて、国が中長期と定義（10～20 年先）する期間を超えて 40～50 年先の国内エネルギー事情までも現時点で責任を持って予測し、その発電設備容量から使用済燃料の発生量とともに廃棄物発生量の総量上限を決めなければならないという問題が生じる。そこで、先に示した図 3.4.1-1 をベースに原子力発電シナリオを 3 つのケース単純化し、発生する高レベル放射性廃棄物量（ここでは、原子力委員会見解に示された数値、30GWe でガラス固化体 1,000 本/年）を評価した。評価曲線を図 3.4.1-2 に示す。

なお、ここでは、これまでに発生しているガラス固化体及び使用済燃料をガラス固化体に換算した約 23,500 本⁴⁾ は除外し、今後発生する廃棄物発生量として議論する。

3 ケースで 2010 年以降の廃棄物発生量は、ガラス固化体にして

- ① 40 年で運転終了する場合（図中の緑破線） : 約 22,400 本
- ② 2030～2050 年まで現在の半分の設備容量を一定維持する場合（図中の赤破線） : 約 31,700 本
- ③ 60 年で運転終了する場合（図中の青破線） : 約 40,800 本

と概算できる。

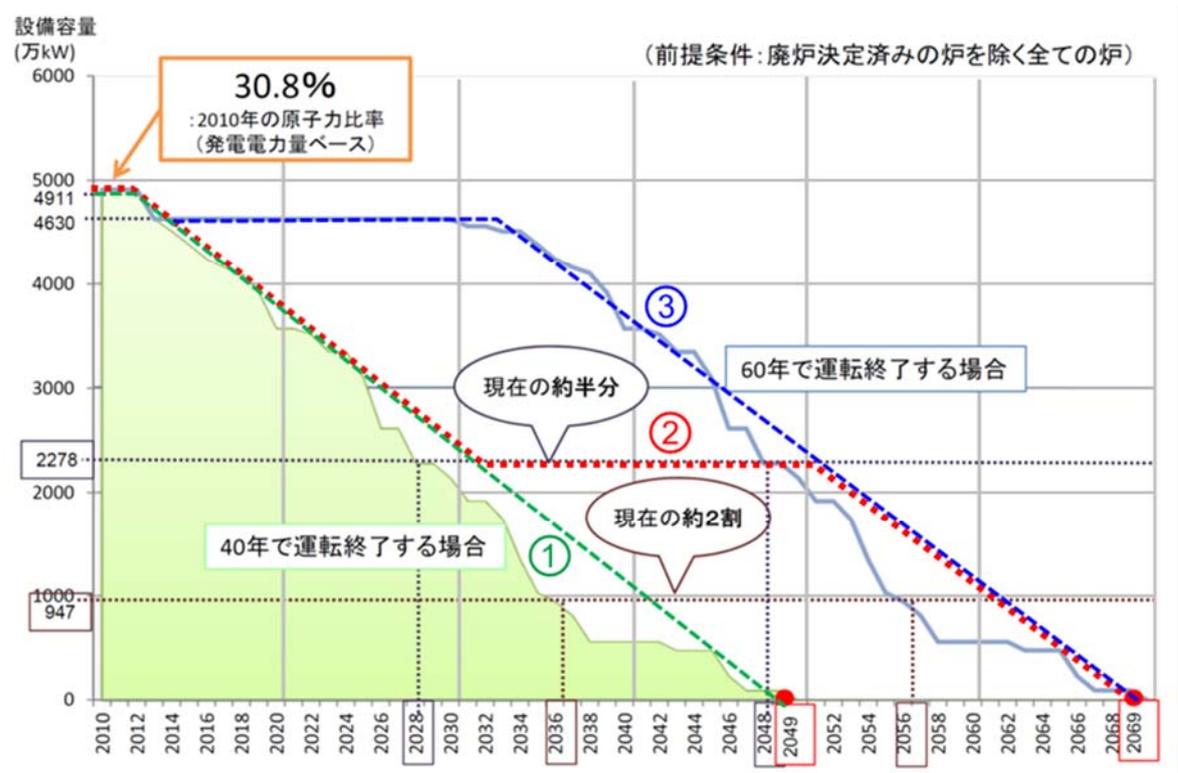


図 3.4.1-2 高レベル放射性廃棄物発生量評価曲線

果たして、①脱原子力選択と、②ある一定期間の原子力発電維持の選択の差、約 10,000 本に対して何を基準に事の是非を問えば良いであろう。例えば、①、②のいずれも 2030 年頃までの約 16 年間は原子力発電が漸次停止し、2030 年時点では約 2600 万 kW (累積で約 21GW) 不足することとなる。この資金の 16 年間、特に 5 年程度は、国のエネルギー施策で重点的強化を図ろうとしている代替エネルギーの商業化等が計画通りに進むか否か不確かさが大きく、進まない場合には、自ずと化石燃料を中心としたエネルギーに頼らざるを得なくなり、国内経済や産業、ひいては国民生活に影響を及ぼすことも十分に予想されることから、①、②の選択肢を採る場合には、不足分のエネルギー政策とその影響度を定量的に国民に示し説明した上で、どこまで許容するかについて社会的に合意形成を図ることが必要である。

その一方で、①、②を回避するため③の選択をする場合には、廃棄物発生量として約 20,000 本の増加となり、生活への影響度の低下は免れるものの放射性廃棄物総量の引き上げとの相殺（トレードオフ）が受容できるかの判断となるなど、社会的合意形成を得るうえで受忍限度の妥当性や説明性、説得性で抽象的とならざるを得ない判断

が必要になると考えられる。ここでは、気軽にケーススタディということで、単純化した 50～60 年先を試算（予測ではないことに留意が必要）したが、「国」として評価する場合には、ある程度の確度を持った評価が求められることから、「中長期」と称して 10～20 年のスパンの議論とならざるを得ない。

このようなことから、「今」を起点に今後のエネルギー政策を議論し総量上限を決定するには、国のエネルギーに関する大局的政策策定において、代替エネルギー施設のインフラ整備をはじめ、原子力発電による電力供給の不足分を補う他の全てのエネルギー供給インフラの長期的な計画（予測ではない）が不可欠であり、加えそれらの変化幅、国際情勢、日本経済、地球温暖化対策の進捗等、不確かさに対する将来予測を考慮に入れなければならない、真の意味での「総量の上限」設定は厳しいのではないかと考えられる。

次に後者、すなわち、「最後」を起点に、そこから遡った「今」や「途中」のエネルギー政策を考える場合、原子力発電に頼らざるを得ないとしても、放射性廃棄物は、その発生国が発生国内において処分するという国際的な取り決めがあるわけであり、まずは国内で高レベル放射性廃棄物の地層処分に適した場所と広さ（面積や容積）がどの程度確保できるか、その収容限界を「絶対総量」として把握すべきであろう。そうすることで、どれだけ原子力を頑張ったとしても収容の絶対量が確定されるので、直接処分であれガラス固化体であれ、収容に必要な既知の面積から、原子力が継続可能な期間と規模は一義的に決まる。その上で、収容限界のギリギリか、あるいは何割を実質的な限界（「総量」）とするかについて社会的合意形成を図り、原子力発電への依存度を「今」に遡って複数ケーススタディし、それぞれの結果と得失を国民との間で認識共有することが可能になるのではないだろうか。このようなケーススタディの実施は、処分方法の選択においても有用になる。図 3.4.1-3 は、使用済燃料を直接処分する場合の容器（キャニスタ）体積を 1 として再処理から発生したガラス固化体を内包するオーバーパックを発生体積で比較したものであるが、使用済燃料の直接処分体に対してガラス固化体は約 1 / 4 の体積になる²。ただし、この比較は、「だから、ガラス固化体が良い。」というつもりはなく、限られた処分場の面積（容積）ゆえに、時代々々に変化する周辺状況の不確かさや処分方法の確立の進捗状況など、状況や条件に対する選択肢を増やし、社会的合意形成に寄与することも大きいと考えられる。

² 潜在的有害度の点で再処理廃棄物は TRU 廃棄物も発生する。

比較項目		技術オプション	直接処分	再処理		
				軽水炉	高速炉	
処分時の 廃棄体イメージ						
発生体積比※1			1	約4分の1に減容化 約7分の1に減容化	約0.22 約0.15	
潜在的 有害度	天然ウラン並になるまでの期間※2		約10万年		約8千年	約300年
	1000年後の有害度※2		1	約8分の1に低減 約240分の1に低減	約0.12	約0.004
コスト※3	核燃料サイクル全体 (フロントエンド・バックエンド計)		1.00 ~ 1.02 円 / kWh		1.39 ~ 1.98 円 / kWh	試算なし
	処分費用		0.10 ~ 0.11 円 / kWh		0.04 ~ 0.08 円 / kWh	※高速炉用の第二再処理工場が必要

※1 数字は原子力機構概算例 直接処分時のキャニスタを1としたときの相対値を示す。

※2 出典: 原子力政策大綱 上欄は1GWyを発電するために必要な天然ウラン量の潜在的有害度と等しくなる期間を示す。下欄は直接処分時を1としたときの相対値を示す。

※3 原子力委員会試算(2011年11月)(割引率3%のケース) 軽水炉再処理については、使用済燃料を貯蔵しつつ再処理していく現状を考慮したモデルと、次々と再処理していくモデルで計算。

8

図 3.4.1-3 高レベル放射性廃棄物の発生体積の比較 5),6)

さらに、このような決定過程を経ることで、代替エネルギーのインフラ整備や放射性廃棄物の減容技術の開発に関する実用化達成目標や時期を明確化することも可能となり、その開発進捗状況によって、途中の政策の不確かさへの対応や他電源系の状況対応などの柔軟性が得られるなど、国の施策や計画について国民への説明性が向上するのではなかろうか。

しかし、上記の決定過程を推進する場合、最も問題となる点は、適地を選定するという作業をまず始めに行わなければならないことである。果たして、処分という超長期に比して極めて短期間にこの適地を決定することができるのであろうか。

これまでに示された国の委員会等で示される処分場の選定計画⁷⁾では、文献調査、概要調査、精密調査を経て選定が行われるが、それぞれ2年、3年、15年と約20年が必要とされている。現在、その調査技術等は、地震国日本の経験を生かし、日本原子力研究開発機構(JAEA)やNUMOによって確かなものとなっているであろうが、例えば、概要調査で予測し得る適地としての確度はどの程度なのか、また、精密調査をすれば確度がどの程度になるのか、各調査段階の判定基準はどのようになり、超長期に対する安全性を短期取得情報からどのように判断するかなど、国民が判断できる定量的な結果の開示提供と議論が必要と言える。

しかし、何箇所もの適地精密調査の結果を待っていたのでは、政策が決められないため、何らかの判断条件を持って暫定する必要がある、その確度の低さを考慮に入れ「何割を実質的な限界」とするかの「何割」に焼き直し、政策に反映することも必要になる。調査は国が中心となって中断することなく進め、例えば、3年毎のエネルギー

基本計画見直しの際に、最新知見を反映し改訂することが必要と考える³。

³ 2015年4月に日本学術会議より提言⁸⁾がなされた「暫定保管」の考え方に基つけば、「暫定保管」の技術的方法として、地上施設における30年～50年の貯蔵期間を設け、地層処分についての安全性確保の研究並びに国民の理解と合意形成を図ることを最優先課題として課題解決に向けた議論を深めることが可能になると考えられる。

参考文献；

- 1) 原子力委員会第 39 回定例会議 資料 1-2-2 「回答・高レベル放射性廃棄物の処分について（本文）」（日本学術会議資料）－平成 24 年 9 月 11 日
- 2) 原子力委員会決定「今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組」について（見解）－平成 24 年 12 月 18 日
- 3) 総合資源エネルギー調査会 第 7 回基本政策分科会 資料 1「今後の原子力政策について」（資源エネルギー庁）－平成 25 年 10 月 16 日
- 4) 第 12 回新大綱策定会議 資料 1-2「高レベル放射性廃棄物に対する取組と各国の動向について」（内閣府）－平成 24 年 1 月 24 日
- 5) 総合資源エネルギー調査会原子力部会放射性廃棄物小委員会第 1 回会合 参考資料「高レベル放射性廃棄物処分について」（事務局提出資料）－平成 25 年 5 月 28 日
- 6) 第 13 回エネルギー環境会議 資料 2「エネルギー環境戦略策定に当たっての検討事項について」（国家戦略室）－平成 24 年 9 月 4 日
- 7) 総合資源エネルギー調査会原子力部会放射性廃棄物小委員会第 1 回会合 資料 2「高レベル放射性廃棄物処分について」（事務局提出資料）－平成 25 年 5 月 28 日
- 8) 日本学術会議・高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ検討委員会「高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言－国民的合意形成に向けた暫定保管」－平成 27 年（2015 年）4 月 24 日

3.5.2 中間貯蔵の政策論

1) 福島第一事故後になぜ処分場問題がクローズアップされたか

福島第一事故の後、なぜ高レベル放射性廃棄物処分場の建設遅れ問題が大きクローズアップされたのであろうか。その原因のひとつは脱原発世論の高まりであらうが、もうひとつの原因は、4号機の使用済燃料プールにキリンとニックネームが付いた首の長い特殊な消防車から冷却水を放水する映像を連日TVで放映されたためではないだろうか。使用済燃料の大量貯蔵が大きなリスクを伴うものであることが衆目の目に焼き付いたのである。福島第一サイトに使用済燃料が大量に貯蔵されていたのは処分場の立地選定が遅れているためではないかと思われたとしても不思議ではない。後述するように、米国では処分場建設の遅れから中間貯蔵施設の増設問題が大きな課題になっているからである。

東電福島第一原子力発電所に大量（11,000体）の使用済燃料が貯蔵されていた実際の原因は再処理工場の操業遅れのためであり、最終処分場の建設地選定の遅れとは無関係なのであるが、だからと言って使用済燃料が大量貯蔵されていたことが正当化されることにはならない。事故リスクが存在する原子力発電所に使用済燃料を大量貯蔵するのではなく、より安全な中間貯蔵施設に貯蔵する方策がなぜとられていなかったのかの検証が求められる。

2) 使用済燃料貯蔵の安全対策と政策の柔軟性

福島第一事故前には使用済燃料貯蔵のリスクはほとんど認識されていなかったと考えられる。今回の事故で起きたような、全停電と冷却源喪失が同時に長時間継続する可能性があることは想定されていなかったからである。したがって、使用済燃料の大量貯蔵が大きなリスクを伴うものであるとの認識も乏しく、貯蔵能力が許す限り貯蔵しておくことに経済性以外、何ら問題ないと考えられていた可能性が高い。

一方、核燃料サイクル政策の柔軟性の観点から発電所外での貯蔵、すなわち中間貯蔵の必要性を説く議論は存在していたが、主として政策選択の柔軟性の観点からのものであり、安全性の観点からの議論ではなかった。

福島第一事故の教訓を受けて全停電と冷却源喪失が同時に、長時間継続する可能性に対する備えを求められることになった現時点では、改めて使用済燃料政策の見直しが求められる。第一は安全性の観点からの見直しであり、第二は政策の柔軟性の観点からの見直しである。経済性の観点から割高とされてきた金属キャスク貯蔵やコンクリートキャスク貯蔵は静的な安全性を有することや貯蔵量に柔軟に対応可能できることや長期的には経済的競争力も有していることから今後は活用範囲が拡大される可能性がある。また、原子

力政策の先行きが不透明になったことから、これまで以上に核燃料政策に柔軟性を持たせる必要性が高まっている。安全対策と政策の柔軟性の両面から中間貯蔵施設の必要性を再検討する必要性が高まっていると言える。

3) 処分前の中間貯蔵の長期化対応問題

(1) 直接処分の場合

米国では直接処分政策を採っているため、処分場の建設の遅れは使用済燃料の中間貯蔵施設の貯蔵容量に直結している。すなわち、処分場の建設が遅れば使用済燃料の中間貯蔵期間がそれだけ長期化することになる。

この処分場建設の遅れに伴う中間貯蔵の長期化問題に対して、ブルーリボン委員会の提言では、貯蔵設備の耐久性検討のほか、保障措置やセキュリティ対策の強化の検討が提言されている。

我が国の中間貯蔵については次項で述べる。

(2) 再処理の場合

我が国ではこれまで全量再処理政策が採られているため、処分場の建設の遅れは使用済燃料の中間貯蔵問題に直結していない。使用済燃料は処分する前に再処理するからである。中間貯蔵施設の貯蔵容量や貯蔵期間に影響するのは再処理工場の操業時期と処理量である。六ヶ所再処理工場の試運転の長期化による本体施設の操業が遅れると使用済燃料の中間貯蔵施設の貯蔵容量の増大や貯蔵期間の長期化の滞留原因となる。

では、再処理工場が操業開始した後、処分場建設が遅れたらどうか。

使用済燃料は再処理工場でウラン、プルトニウム、低レベル放射性廃棄物及び高レベル放射性廃棄物（＝ガラス固化体）に分離される。ウラン、プルトニウムは燃料に加工されて原子炉でリサイクル利用され、低レベル放射性廃棄物は低レベル放射性廃棄物処分場に処分される。ガラス固化体は高レベル放射性廃棄物処分場に地層処分される。ガラス固化体は冷却のため、処分場に移送する前に30～50年間は六ヶ所村で保管貯蔵する計画となっている。仮に高レベル放射性廃棄物処分場の建設が遅れる場合は、保管貯蔵期間が長期化することになり、ガラス固化体貯蔵庫の耐久性検討や立地自治体との協議といった課題が出てくる。

現在の計画でも30～50年間貯蔵してから処分することになっているので、再処理工場の操業期間中に生産されるガラス固化体を全て貯蔵できるだけの保管貯蔵施設は考慮されている。

4) 日本学術会議が提言した暫定保管について

日本学術会議が原子力委員会からの審議依頼を受けて2012年9月に提出し

た「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」を受け、2013年5月に「高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ委員会」（以下「フォローアップ委員会」）と「暫定保管に関する技術的検討分科会」（以下「技術分科会」）及び「暫定保管と社会的合意形成に関する分科会」（以下「社会分科会」）が設置され、2014年9月に両分科会から報告が行われた。主として日本原子力学会誌 57[4], p. 265-270 (2015) の解説記事に基づきその技術的シナリオの概要を示す。

(1) 暫定保管に用いる技術

- ① 数十年から数百年の暫定保管は現在の貯蔵技術によって技術的に実現可能であるとしている。
- ② 使用済燃料の保管方式には、湿式貯蔵と乾式貯蔵があるが、長期間の保管には乾式貯蔵が適切としている。
- ③ ガラス固化体の保管は、乾式貯蔵が実用化されている。
- ④ 数百年を超える暫定保管の安全性確保は困難になる可能性があるとは指摘している。
- ⑤ 回収可能性のある地層処分施設を用いる場合の保管期間は百年以内が適切としている。

(2) 暫定保管シナリオを構成する要素

- ① 保管対象：使用済燃料とガラス固化体
- ② 保管期間：50年、100年、300年の3ケース
- ③ 保管容量：使用済燃料数百トン、ガラス固化体数百本、数千トン（本）、数万トン（本）の3ケース
- ④ 立地点：原子力発電所（使用済燃料）、再処理工場（使用済燃料、ガラス固化体）、処分場、独立立地点の4ケース

(3) シナリオの絞り込みと各シナリオの課題

- ① 使用済燃料保管は4シナリオ、ガラス固化体保管は3シナリオに絞り込んでいる。これらは今後の議論を整理するための例示であるとし、社会分科会での議論ではその他のシナリオもあり得るとしている。
- ② 原子力発電所に使用済燃料を暫定保管する場合：技術的課題はほとんどない。主要な課題は保管後の搬出先を決めずに貯蔵施設を新設することが地元を受け入れられるかだとしている。発電所の運転終了後も保管を続けることがありえるがその場合も地元の理解が必要だとしている。
- ③ 再処理工場に暫定保管する場合：技術的課題はほとんどない。使用済燃料の暫定保管には湿式のプール貯蔵方式が主体になるとみられる。再処理と

の連携を考慮すると保管期間は50年を超えることは想定しがたいとしている。ガラス固化体の暫定保管は現在六ヶ所村で行われている技術と基本的に同じ。保管期間を100年程度に延ばすことは可能であるが、それ以上大幅に延ばすのは地元との関係上困難と思われるとしている。

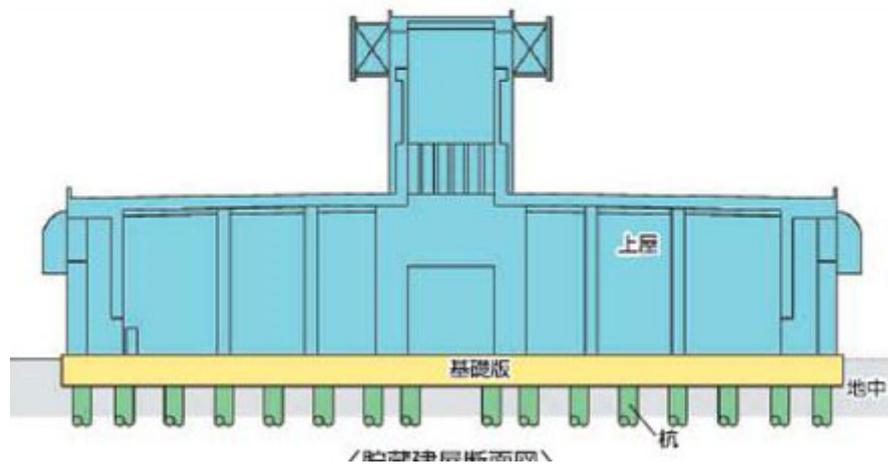
- ④ 独立立地点に暫定保管する場合：保管期間が50年を大幅に上回ることが想定され、長期保管の研究開発が必要。立地点の選定も処分場の立地と大きくは変わらない困難が予想される。
- ⑤ 処分場で使用済燃料を暫定保管する場合：回収可能性を確保する技術の研究開発が必要。最終処分場の有力候補地としての立地選定を行うことになる。また、回収することになった場合、新たな保管施設の建設が必要。ガラス固化体の暫定保管の場合も同様である。回収可能性を確保するシナリオの場合、立地の社会的合意に関して最終処分場と同様の困難が予想されるとしている。

< 参考資料 1 > 使用済燃料中間貯蔵施設（乾式キャスク貯蔵）

青森県むつ市のリサイクル燃料貯蔵棟の例（3,000 トン貯蔵）

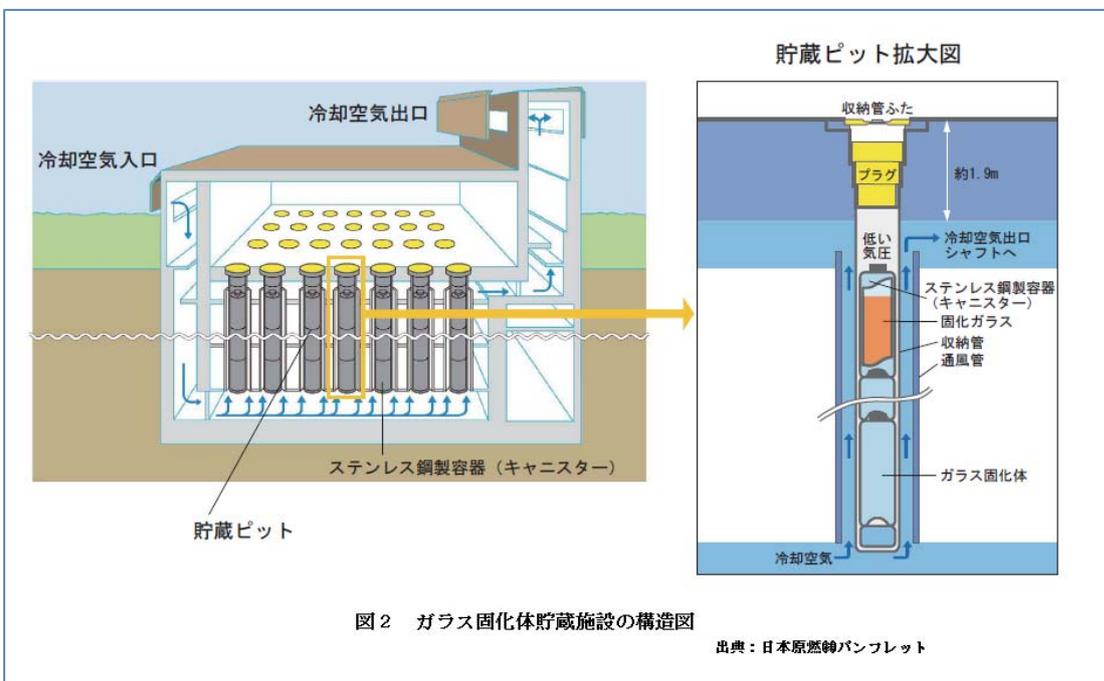
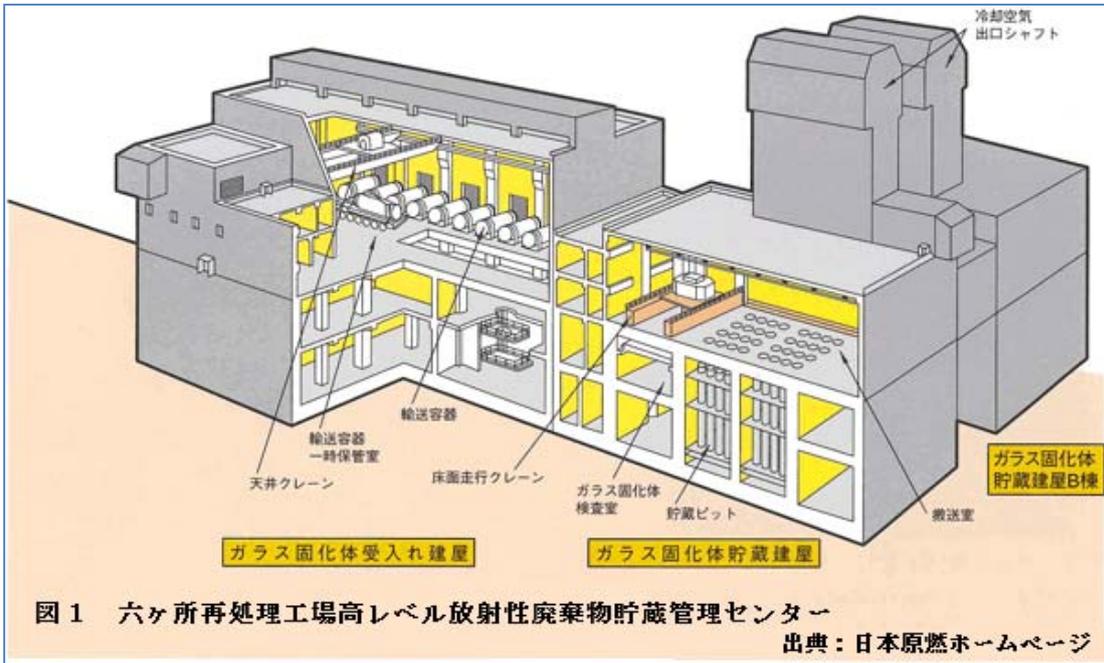


構造	鉄筋コンクリート造／一部鉄骨鉄筋コンクリート造／一部鉄骨造
基礎形式	杭基礎
建物規模	地上1階建て、高さ約28m
建築面積	約8,200㎡
延床面積	約8,000㎡



< 参考資料 2 > ガラス固化体貯蔵施設

青森県六ヶ所村の日本原燃高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターの例
(1,440本貯蔵)



以上

3.5.3 直接処分に係わる研究開発の進め方

1) 背景

福島第一原子力発電所事故発生翌年の12月、原子力委員会は、当時の政府のエネルギー環境政策¹の下に、原子力研究開発の在り方を示す中で、直接処分を可能にしておくことの必要性につき以下のように指摘した。

「・・・既に発生している研究炉の使用済燃料や福島第一原子力発電所の使用済燃料などの対策を考えると、ガラス固化体の処分だけでなく、使用済燃料を直接処分することを可能にしておくことの必要性は明らかであり、事業者及び研究開発機関は、海外において間もなく安全審査が開始されようとしている直接処分の技術動向を十分に踏まえて、我が国においてこれを可能にするため、ガラス固化体の処分技術で不足する点を明らかにし、研究開発課題を定め、その解決に向けての取組を着実に進めるべきである。」² また、現行のエネルギー基本計画（2014年4月）では、直接処分など代替処分オプションに関する調査研究を以下のように推進するとした。

「高レベル放射性廃棄物については、i) 将来世代の負担を最大限軽減するため、長期にわたる制度的管理（人的管理）に依らない最終処分を可能な限り目指す、ii) その方法としては現時点では地層処分が最も有望である、との国際認識の下、各国において地層処分に向けた取組が進められている。我が国においても、現時点で科学的知見が蓄積されている処分方法は地層処分である。他方、その安全性に対し十分な信頼が得られていないのも事実である。したがって、地層処分を前提に取組を進めつつ、可逆性・回収可能性を担保し、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このような考え方の下、地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。」

かような状況の下、今後のサイクル政策の検討に資するべく、直接処分の実現可能性及び技術的信頼性に関する検討が、国の調査・研究事業として平成25年度より始められたところである。現時点で、我が国の核燃料サイクル政策における直接処分の位置付けは未定であるが、こうした調査研究は、直接処分を、核燃料サイクル政策の選択肢のひとつとして考慮するために必要な技術情報を特定し、あるいは提供するものでなければならないだろう。さらに、我が国で排出される使用済燃料マネジメントの選択肢のひとつとして直接処分を採用とした場合、我が国の核燃料サイクル全体のリスクやコスト、ベネフィットがどのように変化するか、国内外のエネルギー経済にどのような影響をも

たらずか等の解析が求められるから、そのために必要な情報の生成に資するものでなくてはならない。

2) 現在の進め方

(計画書)

現在わが国では、直接処分に関する研究開発は、地層処分基盤研究開発調整会議³が作成した「地層処分基盤研究開発に関する全体計画」のひとつの章に示された計画に沿って実施されている。⁴ この研究開発は、現在は、日本原子力研究開発機構 (JAEA) によって実施されており、経済産業省資源エネルギー庁調査等事業として行われる研究⁵と、文部科学省の運営費交付金で行われる研究とから成る。前者は主に処分場設計のための基盤技術の整備や必要な材料開発であり、後者は主に安全評価技術基盤の整備である。

この計画書によれば、現在は事業化段階前であり、実施体制などに関する制度は未整備であるので、使用済燃料の直接処分の研究開発は、国のリーダーシップのもとで、地層処分に関する国の基盤研究開発の重要な取組のひとつと位置付けて実施するとしている。

(工程)

計画書によれば、2013年度からの5カ年で次のようなマイルストーンを設定し、技術的信頼性に関する見通しをしっかりと提示することを第一義的に優先されるべき事項として研究開発に取り組むとしている。

- I. 当面の1カ年 (2013年度迄を目処) : 使用済燃料の直接処分の実現可能性と課題を第1次取りまとめとして提示
- II. 当面の3カ年 (2015年度迄を目処) : 使用済燃料の直接処分の技術的信頼性について第2次取りまとめ (レビュー版) として提示
- III. 当面の5カ年 (2017年度迄を目処) : 上記の第2次取りまとめ (レビュー版) をベースとして、国内外の有識者によるレビュー等を経て、直接処分研究開発の第2次取りまとめ (最終版) を提示

第1次取りまとめとしては、使用済燃料の直接処分の実現可能性について、その検討結果をまとめ、また、第2次取りまとめに向けた課題の抽出等を行うとしている。

(技術的取りまとめの実施体制と進捗・成果の一元管理の実現)

第1次取りまとめまでは既に実施済みであるが、これは、研究実施主体である JAEA が外部有識者によるレビューも受け、自ら行ったものである。

第2次取りまとめ（レビュー版）以降の段階では、2つの事業シナリオ【①使用済燃料の単独処分、②従来の高レベル放射性廃棄物（HLW）・TRU 廃棄物と使用済燃料の併置処分】を想定して行うとしているが、そのいずれにおいても、これまで先行的に取り組まれてきた HLW・TRU 廃棄物の地層処分に関する研究開発の成果の取り込みが欠かせない。従って、このような技術的取りまとめにおける技術的知見等の集約の必要性を踏まえ、研究開発の取組とは別に、調整会議の下に次のような役割を担うタスクフォースを設置して、取りまとめを着実に実施できる体制を構築するとしている。

○直接処分研究成果の技術的取りまとめという実務を遂行。

○技術的取りまとめを構成／支援する国の基盤研究開発における、個別要素課題の進捗や成果の管理を実施。

（本研究開発の実施状況）

既に、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業については、2013年度～2015年度分の報告書が公表されている。⁶ また、計画書にいう「第1次取りまとめ」については、JAEAの報告書「わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価—直接処分第1次取りまとめ—」⁷として、2015年12月に公表された。さらにその抄訳版はCoolRepH26⁸として2016年3月に公開された。その要点は、「代表的な地質環境特性と使用済燃料特性という限定された条件下において、使用済燃料の地層処分システムについての予備的な設計と安全評価を実施するとともに、現状の技術レベルを示すことができた。」というものである。先に述べたように、直接処分を核燃料サイクル政策の選択肢のひとつとして考慮するために必要な情報およびその評価が、研究開発の成果情報として、適時適切に国民に提供されることが重要である。

（事業主体への技術集約）

JAEA から原子力発電環境整備機構（NUMO）への地層処分に関する技術移転については、最終処分法において地層処分の対象とされている高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）や、一部の TRU 廃棄物に関連する技術情報の提供等が行われてきており、共同での報告書や論文の作成などにより、実質的な知識・技術の共有化が進められつつある。この一環として、JAEA の知識管理システムの活用も有用と考えられる。さらに、JAEA から NUMO への経営層も含む研究者・技術者の移籍も行われてきている。JAEA 核燃料サイクル工学研究所の研究施設への NUMO からの研究者・技術者の派遣などもすでに始まっており、実効的な技術共有

が期待される。⁹

直接処分については、前述のエネルギー基本計画において、将来世代が幅広い選択肢を確保できるようにするための代替処分オプションの研究開発と位置づけられ、現在、JAEAにおいて研究開発が行われているが、JAEAとNUMO間での技術共有の対象とはなっていない。また、JAEAの有する幌延の地下研究施設では、直接処分のための研究は行われていない。さらに、瑞浪の地下研究施設での研究は地層科学研究とされ、直接処分を含む地層処分のための研究という位置づけになっていない。¹⁰

(人材育成)

現在わが国では、直接処分に特化した教育は行われていないが、地層処分関係の教育プログラムとして、原子力教育連携ネットワーク（連携大学院）及び東京大学専門職大学院がある。¹¹ これらは、毎年100名程度の学生にとって、地層処分についての知識、技能に触れる機会となっている。これ以外に、地層処分を組織的、体系的に教育している機関はないと思われるが、大学の教員のなかには、地層処分について、授業のなかで講義をしている人が若干いるであろう。

原子力委員会は1998年に「処分の事業は、計画から実施・終了まで長期にわたるため、研究者や技術者を養成し確保する方策について検討しておくことが重要である。」¹²と指摘し、最終処分に関する基本方針¹³にも同趣旨の記述がなされたが、現状は満足すべき状況にあるのかどうか、必ずしも明らかでない。人材育成の現状を改めて調査し、継続的な育成体制を整える必要がある。

3) 研究開発の進め方に関する今後の課題

前述のように、使用済燃料の直接処分に関する当面の研究開発及び技術的取りまとめが事業化段階前の取組であることから、国の基盤研究開発として進められ、研究開発の実施については、JAEAを中心とし、直接処分に関する資源エネルギー庁調査等事業の実施者や国の基盤研究開発関係機関等との協働によって進められている。現在は、こうした体制の下で、直接処分のための処分場の予備的コンセプトが検討されている段階にある。

直接処分についての事業化は、燃料サイクルについての国としての意思決定や法整備を踏まえなければならないが、仮に今後このような段階を踏まえつつ、事業化の方向に進むとすれば、安全性、核セキュリティ、保障措置、輸送システムと関連、防災等、多方面からのリスクアセスメントやコスト解析等が必要になる。そのためには、規制機関等を含む関係者との十分な意思疎通の下で

のアセスメントが不可欠である。その後の調査研究は、処分実施機関を中心として行われることになろう。

直接処分の事業化段階以降の研究開発体制については、それまでの経験を踏まえて検討し、処分実施機関を頂点とする責任体制を整備する必要がある。即ち、研究開発の成果情報が、処分実施機関に一元的に集約される体制を整えるとともに、研究開発成果が設計、リスク解析、操業等の処分実施機関の業務に、適時適切に反映されるようにする必要がある。このような研究開発体制を整備するにあたり考慮すべき要件は以下の通りである。

- 先行して直接処分の事業化が進められている諸外国のデータベース・知識・標準・経験等が、我が国の処分事業に適切に反映される体制を整備すること。また、国内外の各分野の専門家による処分事業に対するレビュー会合を適時行うこと。
- 処分実施機関を頂点として、知識ベースの拡充継承体制を整備すること。その際、従来の **HLW** 及び **TRU** 廃棄物処分の研究開発成果である知識ベース¹⁴ 集約の最終的責任主体を、処分実施機関とし、関係各機関の担当範囲との共有を図ること。また、トレーサブルなデータベース等、関係機関間で共有可能なものについて共同評価・共有を進める等により、業務の重複を避けること。
- 国内外各分野の専門家による処分事業に対するレビュー会合には、規制行政機関、関心のある自治体や市民等の参画を求めること。
- 事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上を目的とする処分実施機関の技術開発においては、事業の継続上支障となるリスク、安全の確保や環境の保全に係わるリスク等、長期に亘る事業の実施に伴い考慮すべき各種のリスクを合理的に管理することを目的とした検討が継続され、適切に反映されること。研究開発の成果と事業への反映状況は適時公表されること。
- 所要の知識、経験及び能力を有する人材を継続的に育成し、確保することを目的として、処分実施機関を頂点とする責任体制を整備すること。
- 発生者負担の原則の下、所要の研究開発に対する国費の投入は、下記の安全規制等に係る調査研究を除き、不要となるようにすること。
- 以上は、事業化段階前に達成され、以後継承継続されるべき要件である。
- 処分事業に関する規制行政を担当する機関においては、直接処分の安全規制等に係る所要の調査研究が効率的にかつ透明性をもって行われ、その成果が合理的かつ効率的な規制行政の実現に適切に反映されることが必要である。

4) 当面の研究開発の先にある研究開発関連課題

上記の研究開発に関する課題が、担当する諸機関により解決に向かったとしても、それだけで直接処分システムが社会的に受け入れられ、実現に向うわけではない。我が国の核燃料サイクル政策の選択肢のひとつとして直接処分を適切に位置づけるためには、現行政策の見直しが必要になる。そうした見直しと新政策形成の過程において、研究開発及び処分場の設計・建設・操業等に反映されるべきいくつかの研究開発関連課題が生じ得ると考えられる。

我が国は、原子力開発利用の初期より、原子力発電により発生する使用済みの核燃料は再処理してウラン及びプルトニウムを回収再利用し、究極的に高速増殖炉サイクルを完成させるといいうわゆる「再処理・高速炉路線」を取ってきた。したがって、原子力発電にともない発生する高レベル放射性廃棄物としては、再処理プロセスで発生するもの（ガラス固化体）を対象とし、使用済燃料はリサイクル燃料の資源と考えられ、それ自体を高レベル放射性廃棄物と見なす必要はなかった。こうした背景の下に、原子力委員会が1998年にとりまとめた報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」¹⁵は、その後の処分制度の法制化等、所要の体制整備の基礎となっており、直接処分の実施は想定されないまま今日に至っている。

直接処分という選択肢を新たに用意するためには、まずはその実現可能性及び技術的信頼性に関する見通しが明らかにされなければならないが、さらに従来は不要であったいくつかの考慮が追加的に必要になる。即ち、安全の確保、環境保全、核セキュリティ等に係るリスクの変化に加えて、新たに考慮されるべき核拡散リスクへの対応、廃棄物の種類と規模の変化に伴うコスト変化への対応、将来の技術選択の可能性と持続可能な社会への対応等、世代間の意思決定の分担やコスト調整に影響する問題等を、改めて考慮し直すことが必要になる。¹⁶ また、処分場システムが、将来起こり得る政策の変化や社会の変化にどのように柔軟適切に対応し得るか、災害に対するレジリエンスは十分かといった、予測の難しい将来の変化への対応と事業継続という観点も、ガラス固化体のみでの処分の場合より、より一層重視されなければならない。

従って、直接処分という新たな選択肢を我が国の核燃料サイクル政策に含めるためには、改めて合意形成の手続きが必要になるだろう。そしてその合意形成のプロセスで生じる諸課題及び諸要請を、その後の処分場システムの研究開発と設計に反映する必要があると生じ得るであろう。このプロセスは、将来に亘るリスク管理や持続可能な社会の実現に繋がるものであるため、その透明性の確保は不可欠であり、重要である。

処分場システムの研究開発及び設計等を担当する側には、こうした社会的合意形成プロセスから生じる諸要請や諸課題に柔軟誠実に対応し、最高の英知を

結集しつつ現世代として最善と考えられる処分場設計を、開かれた場を通じ追求し、とりまとめる責務がある。——処分場の立地は、関心のある関係者とのコミュニケーションを通じて表明される意見や要請を、処分場システムの開発に最大限反映しつつ進められなければ成功に至らない未開拓のプロセスであると考えられるからである。

¹ 当時の政府は、原子力発電に依存しない社会の一日も早い実現、グリーンエネルギー革命の実現等を目指した「革新的エネルギー・環境戦略」を策定（平成 24 年 9 月 14 日 エネルギー・環境会議決定）し、「直接処分の研究に着手する」等とした。しかし、この戦略の行政上のポジションは、下記の閣議決定文書にあるように、議論の出発点という位置付けに過ぎないように見える。

「今後のエネルギー・環境政策については、『革新的エネルギー・環境戦略』を踏まえて、関係自治体や国際社会等と責任ある議論を行い、国民の理解を得つつ、柔軟性を持って不断の検証と見直しを行いながら遂行する」（平成 24 年 9 月 19 日閣議決定）

「革新的エネルギー・環境戦略」では、当面の取組みとして「国が関連自治体や電力消費地域と協議する場を設置し、使用済核燃料の直接処分の在り方、中間貯蔵の体制・手段の問題、最終処分場の確保に向けた取組など、結論を見出していく作業に着手する」とした。このアプローチ方法の是非はともかく、処分場の立地推進が課題である点は、政権が交替した現在も状況は変わっていない。

² 出典は「今後の原子力研究開発の在り方について（見解）」（原子力委員会、平成 24 年 12 月 25 日）。この見解は、日本学術会議の回答「高レベル放射性廃棄物の処分について」（平成 24 年 9 月 11 日）に対する原子力委員会の見解「今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組について」（平成 24 年 12 月 18 日）も踏まえ、使用済燃料対策に係る今後の研究開発について述べたものとなっていると見なしてよいだろう。また、この見解において「直接処分することを可能にしておくことの必要性は明らか」と述べた背景には、福島第一原子力発電所の事故燃料の処分対策として、直接処分オプションの検討が考えられること、研究炉の使用済燃料の処分対策としても同様の検討が考えられることを踏まえてであろう。ただし、福島第一原子力発電所の廃炉の一環として、東京電力が直接処分の検討を要望しているわけではない。また、研究炉の使用済燃料の処分については、現状では米国に引き渡すか、再処理をするかのいずれかとなっているが、その他の方法は検討されていない（原子力委員会 新大綱策定会議（第 20 回）に提出された資料第 2－3 号「研究用原子炉のあり方について」に現状は記されているが、同会議の運営方法が批判され、審議はされず中断した）。従って、国のポジションは、原子力政策大綱のまま（「試験研究炉の使用済燃料の取扱いについては、個別の状況を踏まえつつ、その取扱いを、合理性を考慮しつつ検討すべき」となっている。

当面の MOX 燃料利用について、高速炉へのリサイクル技術の実用化が遅れ、熱中性子炉でのリサイクル利用のみが暫く継続する場合の選択肢など、将来のサイクル技術の変化に対応して直接処分の可能性を念頭においたとも考えられる。

³ この会議は、2015 年 3 月末現在、経済産業省資源エネルギー庁、（独）日本原子力研究開発機構、（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、（一財）電力中央研究所、（独）産業技術総合研究所、（独）放射線医学総合研究所、原子力発電環境整備機構

の7機関により構成されている。

4 地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成25年度～平成29年度）（2013年3月、地層処分基盤研究開発調整会議）の第6章及び同計画研究開発マップの第6章。

5 地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成25年度～平成29年度）では、資源エネルギー庁調査等事業実施機関として、（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター、（一財）電力中央研究所、（独）産業技術総合研究所、（独）放射線医学総合研究所の4機関が挙げられている。

6 ①平成25年度地層処分技術調査等事業使用済燃料直接処分技術開発報告書、平成26年3月、独立行政法人日本原子力研究開発機構、及び②平成26年度地層処分技術調査等事業使用済燃料直接処分技術開発報告書、平成27年3月、独立行政法人日本原子力研究開発機構。①及び②は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業の報告書として資源エネルギー庁のホームページで閲覧できる。

7 JAEA-Research 2015-016, わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価－直接処分第1次取りまとめ－, 2015年12月、論文 URL :

<http://dx.doi.org/10.11484/jaea-research-2015-016>,

本報告書のドラフト段階で国内外の専門家から得られたコメントは、上記注8の①、②に記されているが、これらは本報告書に反映済みである。

8 「成果-課題マップ（使用済燃料の直接処分研究開発）」を参照のこと。URL:

<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/map/result/KERNEL5.htm>

9 personal communication

10 personal communication

11 原子力教育連携ネットワーク（連携大学院）では、主に大学院生を対象とし、金沢大、東工大、大阪大、福井大、岡山大、茨城大（理）（工）を結んだ遠隔講義と実習、見学が行われている。講義は前期、後期それぞれ15コマずつ、前半が放射線に関すること、後半がエネルギー論及び燃料サイクル技術に関することの授業が行われ、地層処分関係が3コマ、270分ある。東京大学専門職大学院では、地層処分の概要に関する講義に加え、JAEAが開発したソフトを用い、核種移行評価を中心とした処分場の性能評価計算実習が行われている。

12 原子力委員会が1998年にとりまとめた報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」の指摘。

13 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件 [平成十二年十月二日通商産業省告示第五百九十一号]

14 従来の知識ベースの構築は、地層処分研究開発や深地層の科学的研究の成果等を総合的な技術として体系化した知識ベースを充実させ、容易に利用できるように整備することにより、処分事業と安全規制への円滑な技術移転を図ることを目的として、JAEAにより進められてきた。内容は、CoolRepを参照のこと。

(<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html>)

15 この報告書には、次のような2つの指針となる考え方が示されている。この2つは、

直接処分を政策選択肢に追加するにあたっても考慮されるべき点である。

- ① われわれが発生させた廃棄物については、われわれの世代がその処分に関する制度を確立する必要がある。後世代に影響を及ぼす可能性のある廃棄物の処分について、後世代に負担を残さないことがわれわれの責務である。
- ② 廃棄物処分について現世代が考えうるかぎりの対応をしておかなければならないが、後世代が諸情勢の変化に対応できるような枠組みを設けておくことも必要である。そのさいに、後世代のその世代における諸条件の下での意思決定やそれによって発生するかもしれない新たな負担について、現世代がどこまで配慮しておくべきかという世代間の意思決定の分担やコスト調整の問題を考慮しておく必要がある。

¹⁶ 1998年の原子力委員会の報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」で想定しなかった直接処分という選択肢を検討する場合には、ガラス固化体の処分の場合に重視された前注記14の2つの考慮点の他に、科学技術のみで解決できない問題に対する公正なアプローチ、持続可能な社会の追求等、考慮されるべき基本的事項がある。本報告書の3.3.1 エネルギー政策と倫理 を参照されたい。

3.5.4 人材の継続的な確保と技術継承について

1) 現状認識

我が国においては少子高齢化が叫ばれて久しく、筆者が所属する組織においても現場要員の不足、技術継承困難化が顕在化している。「原子力」については、チェルノブイリ原子力発電所の事故以降、ダーティーなイメージが一層深まり、それを嫌って、原子力工学系の学部や学科の名称を見直した大学が幾つも有ったのは記憶に新しい¹。

しかしながら、東日本大震災を起点として発生した福島第一原子力発電所事故のケースでは、発災当初こそ、原子力全廃を求める声が起こったものの、事故後 5 年を経て社会全般として原子力に対して好意的になったとまでは言えなくとも、平静さを取り戻しつつあるように見受けられ²、筆者の所属機関も含め、原子力関係機関への学生（原子力というより機械系、電気系、化学系、材料系と言った伝統的な技術系出身者が大半である他、地域社会との良好な関係を維持する活動や組織を運用する上で必要な社会科学/人文科学系の出身者も含まれる）の応募もむしろ増える傾向すら見えている。この背景には長引く不況と就職難も有るとは思うが、若者世代においても冷静に考える市民が増えてきていることの証左のように思う（福島に役立ちたいという思いを表明する新入社員も少なくない）。とはいえ、原子力発電所や試験研究炉の再稼働が先延ばしされ、新規施設の建設と言ったプロジェクトも見えない中で、原子力の現場では設備の維持管理が主要な業務となっているところが多く、いわゆる OJT を通じた人材の育成や業務を通じた技術の伝承がままならなくなっている現状は否定できない。この現場の状況が将来の原子力産業、中でも使用済燃料直接処分を含むバックエンド事業にとって、より重い課題となるのではないだろうか。

2) 逆境下での人材の育成・確保策（スウェーデンの例³を参考に）

このような状況はわが国固有ではなく、典型的な先例として、スウェーデンが挙げられる。同国においては、1979 年 3 月の TMI 原発事故をきっかけとして国民投票で新規原発の建設禁止、2010 年までの 12 基の原子炉廃止といった決定がなされ、さらに 1986 年 4 月のチェルノブイリ発電所事故を受け

¹ その後、逆に原子力カルネッサンスに乗って、新たに原子力関係学科や講座を新たに立ち上げた大学も幾つかある

² 例えば佐田務（2015）「大飯判決が問いかけるもの」原子力学会誌、第 57 巻第 2 号 pp53-54 など

³ 日本原子力学会春の年会の当委員会の企画セッションで紹介された東工大西山氏のプレゼン資料より引用

て、1995年からの原子炉廃止という政府決定がなされたことから、原子力発電所の建設に携わったベテランの引退に伴う知識とスキルの喪失リスクが懸念された⁴。

このような状況を踏まえ、当時のABB ATOM COEのJAN Runermark氏が主導して、同国において高い原子力安全を将来にわたって維持していくために、

① 若手への技術伝承と

② 若手に原子力産業の将来性を示すこと

を目的に、スウェーデン Young Generation Network（又は Young Generation in Nuclear）が1994年5月に立ち上げられ、民間企業ベースで（各企業による若手社員の研修制度として）活動を開始した。日本原子力学会のYGNは2001年に立ち上げられたが、その成り立ちは学会の内部組織であり、性格もかなり異なる。とはいえ、スウェーデン YGN との交流はあるとのことで、若手同士の国際交流として今後に期待したいところである。

スウェーデンでは、原子力産業を構成する各企業が所属する若手（35歳まで）数十名を1年という長期にわたってこのYGN活動（セミナー、組織を超えたグループワーク、国内外関連施設視察）に参加させるもので、これに要する資金（この間の給与も含めて）は各企業が負担すると共に、参加させる若手には（各企業が）数十日の休暇を与えることとなっている。当然ながら、これに参加する若手はこれらの活動を通じて原子力エネルギー分野全般に関する知識と理解に加えて、組織を超えた同世代ネットワークを構築する機会を得ることになることから、この活動を経た若手が所属企業の貴重な戦力になり得ることは疑う余地も無い。但し、この仕組みはあくまでも企業に所属する社会人が対象であり、学生との連携は限定的とのこと。

そもそも、スウェーデンの場合は、一旦就職して職業経験を経てから大学に入るという若者が沢山いる等、若者の流動性が高い環境にあるが故に、企業においてもこのような人材育成方法を取り込みやすいのではないかとの意見も有る。一方、我が国では学校教育完了後就職という枠組みの正当性を大半の国民が共有しており、職業人が業務を離れて、業務との関係が必ずしも濃くはない活動に1年間従事するなどという発想は受け入れがたいかもしれない。我が国においては、強いて言えば、個別企業の留学制度がこれに近いかもしれないが、その対象となるのは、一定の要件を満たしたごく限られた範囲の若者であり、スウェーデンのYGN制度においては同世代の他企業の者と切磋琢磨できる（これが各社に戻ってからの彼らの財産になる）環境におかれること等を考えると、全く似て非なるものと思える。

⁴ 現在では、2006年の政権交代により脱原発政策が見直され、10基の原子炉の維持、出力増強、同一サイトリプレースと言った動きが出ている。

我が国と同国とは、人口も、社会環境も国際環境も異なることから、このような制度を導入すれば問題解決とは一概には言いきれものではないものの、我が国における人材育成と技術の伝承を考えるに当たっては参考となるのではないだろうか。

3) 高レベル放射性廃棄物の処分事業における人材育成と技術継承について

我が国においては、高レベル放射性廃棄物の研究開発（主としてガラス固化体が対象）はこれまで JAEA を中心として行われてきており、処分技術に関するノウハウもそのような研究開発を通じて獲得・蓄積され、報告書を中心として、その成果物は公開されているし、いわゆる知識マネジメントに関する研究も進み、研究を進める上でのノウハウも記述可能な範囲は電子化できるようにはなっているものの、試験・研究に関わる、いわゆる暗黙知は依然として個々の研究者・技術者自身に蓄積され、その内の一定の部分は組織内で共有継承されてきているのが実態であろう。

そういう中で、我が国における同廃棄物の処分事業については電力会社を中心として設立された NUMO が中核機関と位置付けられている。従って、JAEA を始めとする研究機関から NUMO への知識と技術の継承が円滑に行われることがこの事業の成否を決めるポイントとなろう。実際、3.4.3 で紹介したように既に JAEA から NUMO への技術者、研究者の移動が行われている。この知識と技術の継承は既に先行している他の核燃料サイクル技術の技術移転で経験したように、単に書類やデータを渡せば済むものではないことは言うまでもないが、経験者自身の移籍は勿論のこと、特に高レベル放射性廃棄物の処分事業自体が（人類にとってこれまで経験が無いほど）長期にわたる可能性が有るといふ特殊性を考慮すると、研究開発業務自体も含めて、業務の継承が行われなければならないのではないだろうか⁵。なお、当委員会で議論の対象としている使用済燃料直接処分がこの範疇に含まれるか否かは決まっていない（少なくとも現時点では対象外）が、仮にこれを行うのであれば、同様に考えられる。

とはいえ、JAEA から NUMO への技術移転は一過性のものと考えべきではないことは先行している核燃料サイクル事業での事例からも明らかであろう。すなわち、事業の進展と共に新たに出てくる研究ニーズを先行的にくみ取り、タイムリーに応えていく責任は依然として国の研究機関としての JAEA に残るし、規制側のサポート役としての役割も（推進側との仕切を明確にする必

⁵ 先行している核燃料サイクル事業においても、紆余曲折の後の決断ではあるが、ウラン濃縮用遠心分離機の自主開発や再処理技術の一環であるガラス固化溶解炉の自主開発など、事業主体が研究開発能力を持ち始めた例が有る。

要はあるとしても) 継続的に期待されるものとする。

以上は処分事業に関わる技術的側面にスポットを当てた上での人材育成と技術の継承の話であるが、地層処分事業を円滑に進める上では社会との親和性を如何に確保していくかという点にも留意していく必要がある。処分事業は、(これまで経験の無い超長期の期間の安全を期して) 高レベルの放射性廃棄物を人の監視の目から離して「処分」する事業であることから、いわゆる社会環境的な側面が非常に大きな重みを持っており、地域住民とのリスクコミュニケーションはもとより、政治上の課題、経済学上の課題、法学上の課題、等々それぞれの学問分野における研究の必要性/重要性については、もはや何人も否定できないものと考えられる。しかしながら、国家予算も民間投資もこれまでほとんどの資源はその大半が工学系の研究開発に投入される一方、意識調査などを除けば、処分事業に絡む人文・社会科学系課題研究への資源の投入は、皆無とまでは言えないものの、体系的には行われてこなかったと言えるのではなかろうか。遡れば当委員会発足の契機ともいえる原子力委員会から日本学術会議への諮問の中でも「高レベル放射性廃棄物の処分の取り組み及びそのことに関する国民との相互理解活動の有り方に関して、技術的事項のみならず人文・社会科学的な観点を含む幅広い視点から検討することが重要」としているように、処分事業を進める上で、人文・社会科学研究への資源の投入は、その人材育成も含めて、必要不可欠と考えるべきであろう。

使用済燃料直接処分を含めるかどうかは別としても、高レベル放射性廃棄物の処分事業については、現状、具体的な立地が決まっているわけでもなく、事業主体が自らの現場を待たない以上、事業主体単独での技術者の育成は容易ではないと考えられる。一方で、既存の国内外の研究開発機関や、先行施設では将来の処分事業に有用な業務体験が可能と考えられることから、それらに、当該事業主体の社員を参画させることは、事業主体としての技術の習得ばかりか、関係機関との人的交流、更には人材育成という観点からも非常に有用と考えられる。そこで、これらの機関との間で業務提携や協力協定などの枠組みを整えた上で、事業主体の人材を出向させ、関連業務を実体験させることが事業主体の技術や人材育成という観点で有用と考えられる。

また、3.5.3 項で記述したように処分技術開発の継続的な取り組みと言う観点ばかりではなく、事業主体の人材確保、確保した人材のインセンティブの維持向上のためにも同組織が自ら研究開発に取り組むことも重要であろう。

さらに、関係する研究開発機関や業界も含めて前述のスウェーデンの YGN のような仕組みを構築し、業界横断的な人材育成プログラムが構築できれば、さらに有機的かつ継続的な育成・確保が可能となるのではないだろうか。

即ち、次のような段階的な人材育成、技術の継承のステップが考えられる。

- ① 事業主体立ち上げ期における、関連する研究開発機関や民間会社との人材交流を通じた自社員の育成と即戦力としての出向社員の受け入れ
- ② 前記と平仄を併せた関連する技術開発の推進による自社員の知識/技術の習得、自社員による顔の見える立地推進活動
- ③ 立地点絞り込み時、調査時における自社員の積極的な活用による帰属意識の醸成
- ④ 立地後における技術開発施設の早期建設と現地における技術の見える化、一般市民への積極的公開による社員のコミュニケーション能力の醸成

立地が決まり、建設が始まった後は、事業主体のプロパー社員を意図的に（立地地域を中心とする）現場に配置し、立地地域に根を下ろすインセンティブを持たせることが重要である。もちろん、地元雇用も大切ではあるが、必要な人材は立地地域だけで確保できるわけではないと考えられるので、プロパー社員の生活基盤を立地地域に築かせる配慮は必要不可欠と考える。地域住民の安全を確保するという発想は、そこに居住することでその重要性について実感を持つことができ、従業員レベルでの持続的な安全確保意識の醸成に寄与できると共に、事業者としての安全意識の維持向上に資するところ大と考える。

これは、例えば WIPP で顕在化した老朽設備の放置、その結果としての地下施設での火災、放射性物質の漏えいといった事態を防止することにも通ずることになるのではないかと考えている。施設設備の安全確保には必要な資源の投入は勿論であるが、施設設備を維持管理する社員の安全意識（組織としては安全文化）こそ重要であり、またその背景としての「立地地域の皆さんに迷惑を掛けない」という組織としての思いも大切と考える。

