

低レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る近年の検討経緯

京都大学原子炉実験所 藤川 陽子

1. はじめに

1.1 おことわり

本稿で、「近年の検討経緯」と題して紹介するのは、たまたま筆者が委員の末席に連なっている原子力安全委員会・放射性廃棄物廃止措置専門部会の審議内容の概略となる。なぜ一委員にすぎない筆者がこのような話をする羽目になったのであろうか。

実は、この廃棄物セッションの企画は、筆者が請け負うことになっていたのだが、電子メールの行き違いで、日程は押していた。特に低レベルの放射性廃棄物処分の「規制」の話は、事態が日々、推移していることもあり、確定的な話はし難い状態である。したがって、行政関係にお願いすると、聴衆の興味のあることについてあまり闊達に語っては頂けないであろうと判断し、大学の教員で規制関係の委員会に属しておられる方々に、低レベルの放射性廃棄物処分の規制関係の話をして下さいと何件か連絡した。しかし、どうにも運が悪かった。日程が合わない・話柄があわない・似たテーマの委員会がセミナーの同日に東京であり関係者はそちらに行ってしまう・連絡がなかなかとれない、etc。幸い、低レベル放射性廃棄物処分の「現状」の話については、既に、企業側でこの分野の専門家である関西電力の山田基幸マネージャーにお願いしてご快諾頂いていた。時間のない中で講師を探すのに疲れた私は、山田マネージャーに40分の講演を強要し、余りの20分は時間つなぎでよかろう、もし前の講演が長くなれば15分に短縮してもいいだろうし、と自分でやることにした。これが真相である。従ってセミナーでお話させていただく話の大半は時間つなぎの雑談です。ついでに、筆者の話は、自分自身の専門に由来する偏見に満ちていることをお断りしたい。

1.2 放射性廃棄物の今昔

筆者は、たまたま、放射性物質や各種の有害重金属等の地水圏中動態を研究の中心の一つにすえていた土木環境工学系の研究室を修了した。そういうわけで、聞き伝えた話の中には放射性廃棄物に関するものが様々にある。1970年代は、放射性固体廃棄物の処分に海洋投棄が検討されていたためか、卒業研究室でも放射性トレーサを使って関連研究がされていたらしい。今は亡き教員が、約半世紀前に、とある放射性核種を日本ではじめて外国から輸入し、東京から夜汽車で持ち帰って実験室でのトレーサ試験に供した、等の伝説？武勇伝？も色々と聞かされた。半世紀前の放射性物質の輸送の規制はどうなっていたのかはよく判らない。ただし、筆者の勤める原子炉実験所でも類似の大昔の武勇伝には事欠かない。

ところで、近年の放射性廃棄物処分関係の技術開発は、経験論のみならず、理論が幅広く適用される。理論というものは数十年とか百年とかでは大きく変化しないものも多い。その点は強みであるが、埋設処分の安全という一事に関しては、理論が通じ難い場面も、多々ある。境界条件のつけにくい自然現象がかわるからである。このことについては、後にまた言及する。

理論というものは大きくは変化しないものだと感心した場面がある。5年以上も前のことだが、筆者は廃棄物固化体からの物質の溶出に関連する研究発表を聞いた。その内容には問題が多く、批判的な質問が多く出て収拾がつかない状態になった。その時に大先輩で長老の研究者が手を挙げて「私の博士論文によく似たテーマを扱ってもらって、大変うれしい。私の博士論文では某放射性核種の固化体からの溶出過程は・・・」と滔々と論じ始めたのである。当の大先輩の博士学位論文は、その当時から言っても四半世紀前の作のはずである。てっきり、別の分野の専門家と思っていた大先輩が放射性廃棄物を云々し始めたので戸惑ったが、海洋投棄論が華やかなりし時代に、廃棄物固化体の研究をする機会でもあったのかと推量した。ともあれ発表会場は煙に巻かれた形となり、円満に終わった。さて、話を聞く限りでは長老の唱えた四半世紀以上前の核種溶出過程の理論は、今日用いられているものと、大筋で相違なかった。研究発表をする限りは、何とかして新味を持たせるように工夫しないといけない。あいにく、問題の発表をした当人は、アプローチを間違っ、四半世紀前の研究からお説教をくらったことになる。まことに遺憾なことだが、処分の安全という点では大きく変化しない理論があるのは、有難いことだと感慨を抱いた。

なお、放射性廃棄物の海洋投棄は、ロンドン条約で原則禁止され、わが国も 1972 年にこれを批准している。現在は、もちろん、陸地処分が世界各国で正当な方策となっているが、色々なタイプの廃棄体からの放射性核種の溶出過程が安全評価の重要なステップの一つである点は海洋投棄時代と同様である。

2. 低レベル放射性廃棄物とその安全規制

2.1 低レベル放射性廃棄物とは何か

平成 12 年 9 月 14 日付の原子力安全委員会の報告書、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第 3 次中間報告）」を見ると、一瞬、引っかけりを覚える表現がある。「原子炉施設・・・の解体と運転に伴い、・・・などの放射性廃棄物が発生するが、これらの放射性廃棄物の一部には、含まれる放射性核種の濃度が現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性固体廃棄物が存在する。」ここでいう「現行の政令濃度上限値」とは、報告書当時の、「浅地中処分による埋設事業の許可申請を行うことができる低レベル放射性固体廃棄物の放射能濃度上限値」ということになる。

つまり、低レベル放射性固体廃棄物の「低レベル」とは、この放射能濃度以下であれば低レベルという決まりを法律で作るのではなく、伸縮可能・交渉可能な相対的な意味と受け取るほうがよい。例を挙げれば、上述の平成 12 年の中間報告では、「現行の政令濃度上限値」を上方修正し、「一般的な地下利用に対して十分余裕をもった深度（例えば地表から深さ 50－100m 程度）への処分」（以下では、**余裕深度処分**と略称）に供して良い放射能の濃度上限値を設定している。これは、まず頭から規制がかぶってくる放射線管理の現場サイドでは、どちらかというと理解されにくい話かもしれない。

放射性廃棄物には原子力施設等から発生するもの、研究機関や医療機関から発生するものなど、様々なものがある。実際のところ、ある種の廃棄物の処分法の策定や安全規制が先行する一方で、その動きに「ついていけない」廃棄物が存在したのが実態である。しかし、その「ついていけない」廃棄物も何とか処分しなければならないので、後追いではあるが規制の網を広げて拾っているのが現状とみえる。原子力や放射能の利用をはじめた時点から、いずれ廃棄物が出ることは判っていることなのだから、もっと計画的にできなかったのだろうか、と筆者などは思うが、原子力の黎明期にかかわる人々はそれどころでなかったのだろう。

2.2 低レベル放射性廃棄物の処分体系

現時点での低レベル放射性廃棄物の分類と処分体系を図 1 に示す。これは日本原燃さんのホームページからお借りした。注記の*3 等は筆者の責任で若干修正した。

ほとんどの低レベル放射性廃棄物には地表から数メートルの深さのトレンチ、あるいはコンクリートピットに埋設する**浅地中処分**が適用されるが、**余裕深度処分**に回される廃棄物もある。高レベル放射性廃棄物と**併置**されて、**地層処分（深地層処分）**に回される低レベル放射性廃棄物もある。処分方法は多様なのである。

ところで、事業所によって運転形態・履歴が異なるために、発生する廃棄物に含まれる核種の種類も濃度は様々である。事業者は放射性廃棄物の埋設事業の許可申請をすることになる。申請にあたりどの程度の濃度の廃棄物であれば、例えばトレンチ処分として申請して認可を受けられる可能性があるのか、という目安の濃度を原子力安全委員会は算出している（平成 19 年 5 月 21 日付「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」）。この濃度上限値の意味については、時々、「ある濃度上限値の基準を満たせば、自動的に埋設事業は認可を受けるのか」という誤解を受けることがあるようである。その点については本稿の 2.3 節を参照されたい。

浅地中処分においては廃棄体の定置が完了し覆土を行った後も 30 年は地下水中の放射性物質の濃度を監視するなどの管理を行い、さらに 300 年は、居住、井戸の掘削などを制限する制度的管理を行う。ただし、管理が終了した後は、そ

の土地を別途利用することが可能になるという前提である。

原子力発電所や原子燃料サイクル施設では、施設の運転や点検、施設の解体などに伴い、低レベル放射性廃棄物が発生します。これら低レベル放射性廃棄物は放射能レベルに応じて以下の図の通りに区分されます。

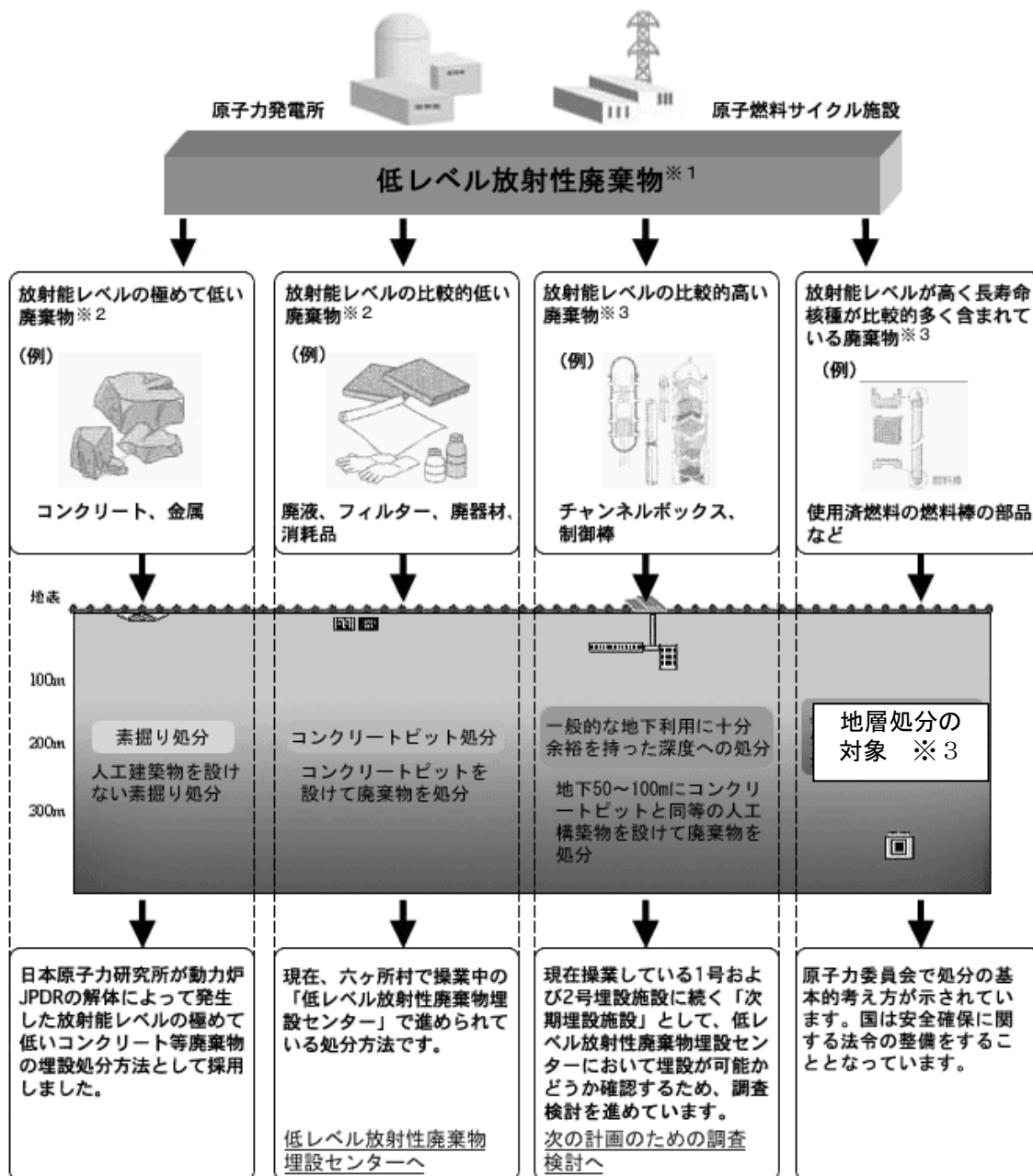


図1 低レベル放射性廃棄物の分類

※1：低レベル放射性廃棄物には、原子力発電所、原子燃料サイクル施設以外に、医療機関・研究機関から発生するRI廃棄物や、試験研究炉・核燃料物質使用済燃料施設などから発生する研究所等廃棄物もある。

※2：現在法令等が整備されているのは発電所廃棄物。なお、素掘り処分に供する廃棄物を「**極低レベル放射性固体廃棄物**」と表現することもある。

※3：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（改正平成20年4月1日施行）に定める「**第二種特定放射性廃棄物**」（原子力委員会では「**長半減期低発熱放射性廃棄物**」と表現した）に含めることとし、高レベル放射性廃棄物と並んで地層処分（深地層処分）の対象となる。第二種廃棄物に含まれるのは、核燃料の被覆等に用いられた金属部品（ハル・エンドピース）、当該金属部品の収納容器に充填された水（ハル缶水）やそのろ過材、再処理工程から排出される空気中のよう素を除去するフィルタ（廃銀吸着材）等。

余裕深度処分においても、放射性核種の濃度の減少を考慮して数百年の管理期間をおくが、その後の処分場跡地について一般的な土地利用を考慮している。そのために、一般的な地下利用に十分余裕を持った深度（例えば地表から 50 m～100m 程度）に処分、放射性核種の移行抑制機能の高い地中を選定し、コンクリートピットと同等以上の閉じこめ機能を持った処分施設を設置する、という方策をとることが提言されている。

2.3 放射性廃棄物の埋設事業の許可申請について

放射性廃棄物の埋設事業は事業者が許可申請を行い、認可されてから実施するものである。この点は 2.1 にもあげた「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第 3 次中間報告）」において、以下のように繰り返し強調されている。

「ただし、（廃棄物埋設事業の）許可申請書に記載された放射性廃棄物の放射性核種濃度がその最大値をすべて下回る場合であっても、直ちに埋設事業の許可がなされるものではなく、廃棄物埋設事業の許可の際の安全審査によってこの廃棄物処分場ごとに安全性が見極められ、その可否が判断されるものである。特定の廃棄物埋設施設において管理型処分をすることができる放射性廃棄物の濃度上限値は、具体的な廃棄物処分施設の自然条件のデータ（地質、水門、地勢、気候等について観測で得られたデータ）、計画された埋設方法、埋設量、管理期間などを基に、安全評価の考え方によって・・・線量を評価したうえで決まるものである。」

本稿の 1.2 節で、筆者は放射性廃棄物の地中処分の難しさについて「境界条件のつけにくい自然現象がかかわるから」と書いた。つまり全く同じ性状の廃棄物を処分しても、処分地の条件と処分方法次第でその安全性は異なることが大いにあり得る。これは、環境工学を専門とする大方の技術者の合意事項であると考えられるものである。

上述の懸念を、安全委員会の過去の報告書ではうまく処理している。つまり、安全委員会で算出した処分方法ごとの廃棄物中の放射性核種濃度は、あくまで generic な環境を想定してやや高めに算出したもので、実際の処分を行う際には、処分場等の条件を勘案して再度安全評価をしてください、その結果については再度、国が安全確認をし、ダメであれば事業を認可しませんということである。

ただ、個人的な意見であるが、これは逆に、放射性廃棄物の埋設事業の認可には高度に専門的な確認作業が必要であることを意味すると言える。わが国の現状を考えると、そのような埋設事業の申請が全国各地で散発的になされることは考えにくいとはいえ、site specific な検討について、今後も、規制側は知恵を

結集して対処して頂くことを期待している。例えば、筆者は、地水圏中の微量物質移行を専門として日々その研究を行っているが、パイロット試験結果がうまく理屈で説明できないなどの事態も、自分自身の現場では存在する。そのような状態を鑑みると、仮に 300 年先について廃棄物処分場からの溶出放射性物質の地水圏中の移行を想定して安全審査を行う課題が与えられれば、専門内の話であると言っても、それなりに呻吟すると感じるからである

2.4 放射性廃棄物処分の安全指針に関わる国際動向

放射性廃棄物処分に係る IAEA の安全基準シリーズの見直しが進んでいる（図 2、原子力安全委員会事務局による資料）。現在、IAEA の Safety Series となる予定のドラフト DS354 の 2008 年 8 月 1 日バージョン（The Safety Case and Safety Assessment for Radioactive Waste Disposal）がインターネット上で閲覧可能である。国際的な基準の我が国の方策への反映についても検討が行われている。
<http://www.caea.gov.cn/n602669/n602673/n602693/appendix/2008923165613.pdf>

2.5 放射性廃棄物のクリアランスについて

平成 17 年の原子炉等規制法の改正に伴い、放射性廃棄物のクリアランス制度が実地に導入された。クリアランスされた廃棄物は、含まれる放射性物質の濃度が極めて低く、人間環境への放射線による影響を考慮する必要のないレベル（ $10 \mu\text{Sv/年}$ 以下相当）である。これらの廃棄物は、既に放射性廃棄物ではないので、本稿の図 1 には示していないことをお断りしておく。

3. 余談—リスクについて

リスクの多寡・大小についてはたとえ専門家同士でも話がかみ合わないことが多いと常々感じる。同じモノについて論じても、イメージするものが全く違い、想定する場面が違う。それを考慮すると、廃棄物処分事業のリスクを人々に説明するには、よくよくアプローチを検討しないといけないと思うことがある。

以下はまさに余談である。ある日、タバコの害についての雑談から始まって、リスクの話題になった。相手は廃棄物中のダイオキシンや PCB 等の有害有機物質およびその環境動態の専門家であったので、すぐに「PCB が怖いのか」「プルトニウムが怖いのか」という論議になった。筆者の思い浮かべるプルトニウムは環境試料中のそれであって、分析機器では 1 バッチ 10^{-12}g 未満のものを測定する。対する相手の PCB とは、「PCB は絶縁油で使っていたので、昔は研究室の建物の下水路にぷかぷかその油が浮いていてね、僕らはそれをすくって始末したりした。その油が顔にかかったり手に付いたりしたが、どうもないよ」。

放射性廃棄物処分に係るIAEAの 安全基準シリーズの体系 I

安全原則 (Safety Fundamentals)

- 原則 1: 安全の責任
- 原則 2: 政府の役割
- 原則 3: 安全のためのリーダーシップと管理
- 原則 4: 施設および活動の正当化
- 原則 5: 防護の最適化
- 原則 6: 個人のリスクの限度
- 原則 7: 現在および将来の世代の防護
- 原則 8: 事故の防止
- 原則 9: 緊急時の準備と対応
- 原則 10: 既存あるいは規制されていない放射線リスクの低減のための防護措置

安全要件 (Safety Requirement)

安全指針 (Safety Guide)

放射性廃棄物処分に係るIAEAの 安全基準シリーズの体系 II

安全要件 (Safety Requirement)

- ① WS-R-1: 放射性廃棄物の浅地中処分 (1999)
- ② WS-R-4: 放射性廃棄物の地層処分 (2006)
- ③ DS 348: 施設と活動のための安全評価
- ④ DS 353: 放射性廃棄物の処分前処理
- ⑤ DS 354: 放射性廃棄物の処分 (WS-R-4 と WS-R-1を統合)

安全指針 (Safety Guide)

- ① WS-G-1.1: 放射性廃棄物の浅地中処分施設に係る安全評価
- ② DS 334: 放射性廃棄物の地層処分
- ③ DS 335: 放射性廃棄物のボアホール処分
- ④ DS 355: 放射性廃棄物処分のためのセーフティケースと安全討
- ⑤ DS 356: 放射性廃棄物の浅地中処分
- ⑥ DS 371: 使用済燃料の貯蔵
- ⑦ DS 390: 放射性廃棄物の分類

※ 安全要件、安全指針については、放射性廃棄物に関する主な文書を抜粋して掲載

※ DS: Draft Standard (IAEAで審議中の基準等の案)

図2 IAEAの安全基準シリーズの見直しの状況

急性毒性だけで物質のリスクを比較するのは、適切ではないが、参考までに述べれば、PCB の LD50 はその異性体組成によって異なるが、実験動物の体重あたりにして 0.5 から 11.3mg/kg といわれ、ダイオキシン類（コプラナー PCB をダイオキシン類に含めて考えることもあるが）よりは急性毒性は小さい。プルトニウムの LD50 は、PCB と同等に比較できる毒性データがないのだが、一説では最も害の生じやすい吸入による摂取で体重 70 kg のヒトあたり Pu-239 で 13mg（人の体重あたり 0.19mg/kg）、経口摂取であれば 70 kg のヒトあたり Pu-239 で 32 g（人の体重あたり 457mg/kg）という。

PCB とプルトニウムでは一般環境中の存在量はまるで違い、PCB はある意味でそこら中にまとまった量で存在し、しかも揮発性があるので空気経由の移行がありえる。私はそのことを言いたかったのだが、相手に先を越された。

「そりゃ、どちらが怖いと言えば、PCB よりは絶対プルトニウムだよ。だってあれは爆弾になるからね。PCB をどんなに集めても核爆発はしない」。

4. まとめ

平成 19 年 7 月 12 日付の原子力安全委員会の「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方（中間報告）」には浅地層処分ならびに余裕深度処分を想定した管理期間終了後における安全評価の考え方をまとめている。安全評価上、考慮すべきシナリオについてリスク論的な考え方で系統的に分類し、その目安を示している。

今後、廃棄物処分事業について、安全確実な実施の道筋を示すとともに、その安全（裏を返せばリスク）確保の考え方に国民の理解を得ることが重要であると考え。その点で、平成 19 年 7 月 12 日付の報告書およびそれに先立つ同系統の報告書については、判りやすい形で内容を普及させることが望まれる。