

「ガラス固化体の隔離期間は8000年」 のカラクリ

京都大学原子炉実験所 今中哲二

ある講演会で原発の話をしたところ、地層処分の問題に関わっているという参加者から、「ご存知と思うが、ガラス固化体の隔離期間が最近では8000年になっているが……」という質問を受けた。地層処分の隔離期間は20万年から100万年というのが、私の頭の中の常識だったので、「8000年のことは知りません」と答えた。“10万年後に放射能が漏れて、近くに住んでいる人の被曝量が毎年何 μ Svになります”という地層処分の話は、どうにもリアリティーがもてないので、これまでマジメに調べたことはない。でも、“20万年～100万年”→“8000年”というのは、専門は原子力工学ですと言っている身として、知らないで済まされないのでカラクリを調べてみた。

ガラス固化体に関する最近の宣伝

まずは、“高レベル廃棄物”+“地層処分”でネット検索するとそれらしい資料がワンサカ出てきた。表1は、発表者「資源エネルギー庁」のパワポ¹⁾の要点をまとめたものである。潜在的有害度が“天然ウラン並みになる期間”は、使用済み燃料の直接処分で約10万年、再処理すると、軽水炉ガラス固化体で約8000年、さらにもうすごいのは、高速炉(FBR)ガラス固化体の約300年である。300年といえば、低レベル廃棄物ドラム缶埋設処理の管理期間が、たしか300年だった。300年で天然ウラン程度の有害度になるなら「高速炉を使えば、地層処分なんて、いらんじゃん!」とってしまう。

表1 再処理にともなう高レベル廃棄物の減容・無害化

比較項目		直接処分	再処理	
			軽水炉	高速炉
発生体積比 (相対値)		1	約0.22 (約4分の1)	約0.15 (約7分の1)
潜在的有害度	天然ウラン並みになるまでの期間	約10万年	約8000年	約300年
	1000年後の有害度 (相対値)	1	約0.12 (約8分の1)	約0.004 (約240分の1)

地層処分第2次とりまとめ

私の理解しているところでは、日本が現在進めているガラス固化体地層処分の技術的基礎は、1999年に核燃サイクル開発機構(旧・動燃、現・原子力研究開発機構)が発表した、「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」²⁾である。

その第2次とりまとめでは、ガラス固化体中の放射エネルギーの推移が図1のように示されている(下方の破線は今中が追加)。この図の横軸(時間軸)は変わっていて、左端が10の9乗、つまり10億年前、ひと目盛り10倍ずつ減って行って、真ん中がゼロ、つまり現在(発電開始時)、そして10倍ずつ増えて行って右端が10億年先である。縦軸は、ウラン核燃料1トンに相当する放射エネルギーである。原子炉で“発電”すると核燃料中の放射エネルギーが一挙に8目盛り(10の8乗で1億倍)増加し、ガラス固化体となってからは、時間とともに減っていく。その減っていく線は、10の4乗(1万年)から5乗(10万年)の間で、ウラン鉱石時代の放射エネルギーの線と交差する。つまり、図1を作った原子力研究開発機構が言いたかったことは「核燃料1トンから発生するガラス固化体の放射エネルギーが、燃料の製造に必要なウラン鉱石の全量(約750トン)がもつ放射能と同レベルになるまでに数万年

1) http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denkijigyoku/houshasei_haikibutsu/pdf/25_01_s01_00.pdf

2) <http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-020.pdf>

程度を要する」ということである。

私の常識(20万～100万年)より短いものの、「ガラス固化体の放射能がウラン鉱石並みになるのは数万年が必要」かと思ひながら、図1をじっくり眺めたら、何か変だ。図1で比べられているのは、750トンというウラン鉱石ひと山がもつ放射能の総量と、500kgというガラス固化体約1個分の放射能の総量であった。“ウラン鉱石並み”というのであれば、本来は重量当り、つまり放射能濃度で考えるべきであろう。図1の下方の破線(今中が加筆)は、ウラン鉱石1トン当りの放射能で引いた線である。ガラス固化体の放射能濃度がウラン鉱石並みになるのは、約1000万年後である。

ちなみに、ウラン鉱石1トン当りの放射能量は(ラジウム226やビスマス214といった、ウランが崩壊して生成する系列核種を合わせて)14億Bqであり、kg当りに換算すると140万Bq/kgとなる。これがどれくらいのものかという、福島第1原発周辺に予

定されている中間貯蔵施設では、10万Bq/kgを越える汚染物は、特別扱いで保管されることになっている。天然のウラン鉱石並みといっても大変な放射能濃度である。

原子力政策大綱

“隔離期間8000年”の出処らしきものは、2005年に発表された「原子力政策大綱」策定会議に提出された検討資料³⁾に見つかった。図2に示すように、その資料では、使用済み核燃料の有害度がウラン鉱石並みになるまでに、直接処分10万年、軽水炉ガラス固化体8000年、高速炉ガラス固化体300年となっていて、表1と同じ内容である。ただ、図の縦軸の“潜在的な有害度”は、キチンとした説明がなく図だけからは何のことやら分からない。

図2の根拠となっていそうなデータとして辿り着いたのが、原子力研究開発機構のレポート「使用済み燃料の潜在的放射性毒性評価のためのデータベ

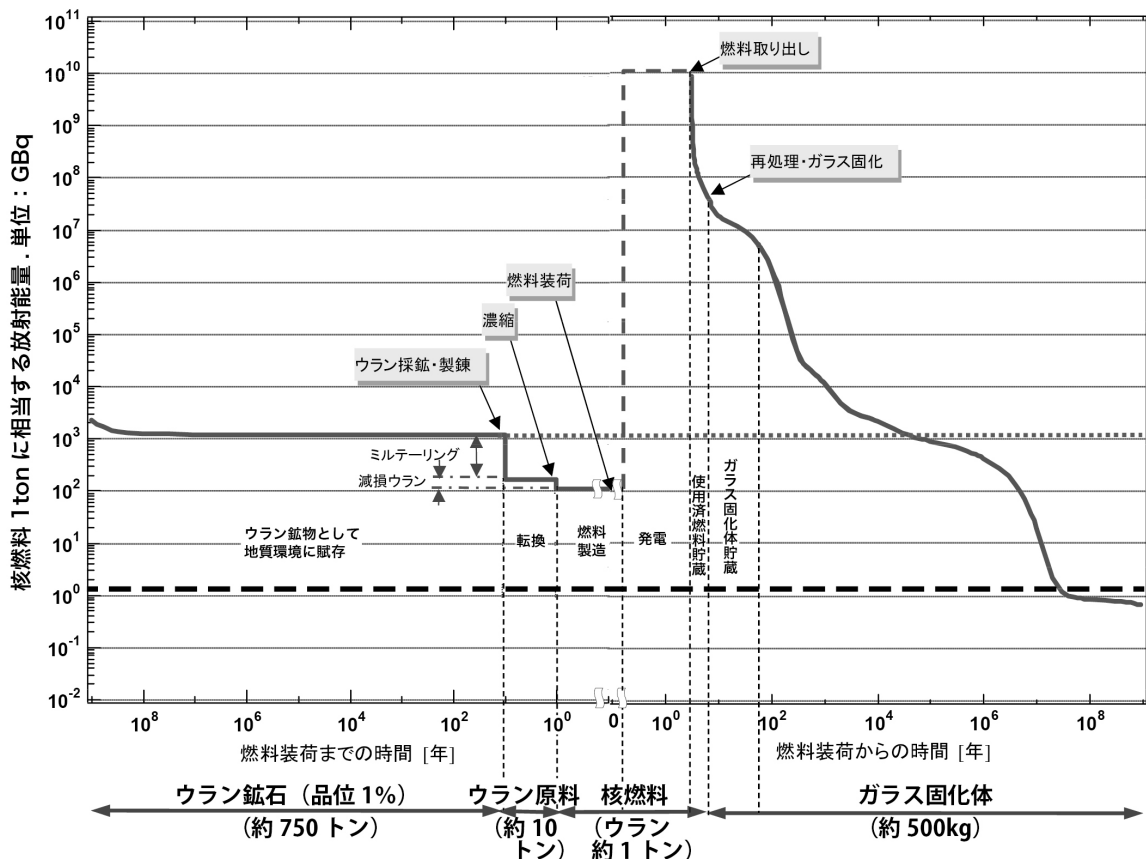


図1. 放射能の推移から眺めた高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の特徴(濃縮度4.5%の核燃料1トン相当)

3) <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei2004/sakutei09/siry013.pdf>

4) <http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Data-Code-2010-012.pdf>

ス」(2010)だった⁴⁾。そのレポートのさわりの部分を図3に示す(下部の一点鎖線は今中が追加)。横軸は年数で、原子炉取り出し1年後から始まって10倍ずつの対数表示で1億年後まで。縦軸は「潜在的な有害度」となっていて、その単位は「核燃料1トン当りのシーベルト」である。放射能の危険性は放射性核種によって異なるので、ICRPが示している“経口摂取にともなう内部被曝換算係数”を有害度の目安に用いて、それぞれの核種について(放射エネルギー: Bq) × (内部被曝換算係数: Sv/Bq) を有害度(Sv)とし、各核種を足し合わせたものが「潜在的な有害度: Sv/核燃料1トン」として縦軸になっている。

このやり方では、プルトニウム239とセシウム137で同じBq量の放射能があったとしても、内部被曝換算係数は、プルトニウム239が 2.5×10^{-7} Sv/Bqでセシウム137は 1.3×10^{-8} Sv/Bqなので、有害度はセシウム137の方が19分の1小さいことになる。

図3をじっくり眺めて見よう。取り出し20年後までは、潜在的な有害度の主役は、(セシウム137やストロンチウム90といった)FP(核分裂生成)核種で、それ以降は、(プルトニウム、ウラン、ネプツニウム、アメリシウムといった)アクチノイド核種である。アクチノイド核種からウランとプルトニウムを除いた残り(ネプツニウムやアメリシウムなど)は、マイナーアクチノイド(MA)と呼ばれる。図3の特徴は、100年を越えるとFP核種の有害度が激減をはじめ、1000年後にはアクチノイドと比べると無視できるほどに減っていることである。

図3に従うと、使用済み核燃料に含まれる放射能の有害度が天然ウラン並みになるのは、FP核種だけなら約300年後、(アクチノイド核種からプルトニ

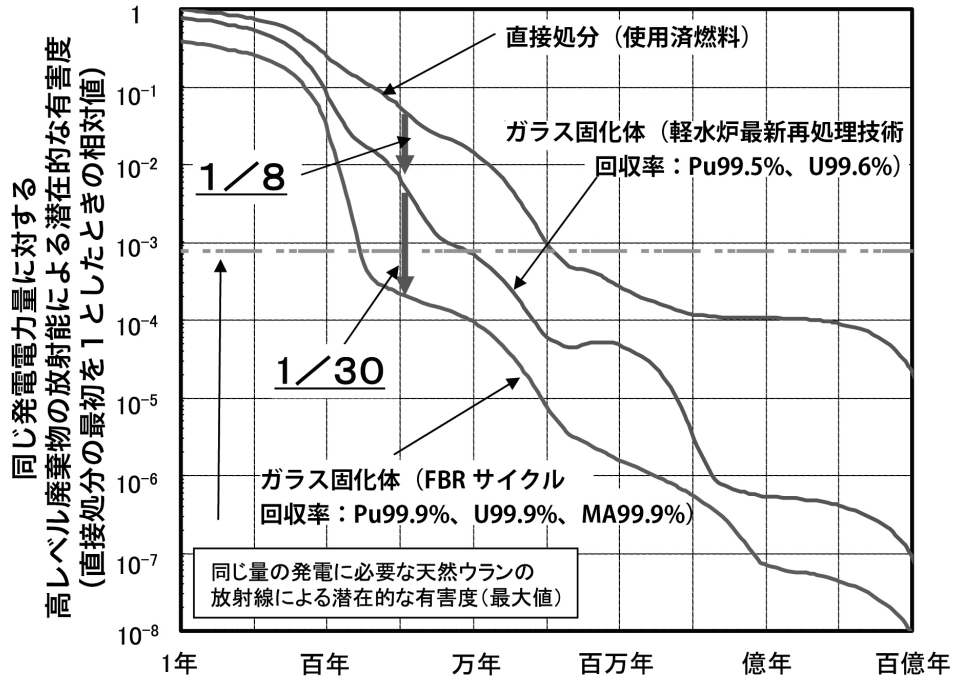


図2. 地層処分される高レベル放射性廃棄物の放射能の潜在的な有害度の相対値

ウムとウランを除いた)MA核種だけなら約8000年後、アクチノイド全体だったら約20万年後である。

図1、図2、図3の関係

図2は、直接処分の使用済み核燃料、または再処理されたガラス固化体(軽水炉とFBR)の有害度を示している。一方、図3に示されている有害度は、原子炉から取り出した核燃料に含まれていた核種グループごとの有害度であって、ガラス固化体の有害度ではないことに注意。

ガラス固化体の危険性がウラン鉱石並みになるのに、図1では数万年だったものが、図2で約8000年になっている理由を考えて見よう。図2の、「ガラス固化体(軽水炉)」の有害度は、図3で言えば、「FP核種」全量と「MA核種」全量に、プルトニウムの0.5%とウランの0.4%を加えたものである。この場合、(プルトニウムとウランはMAに比べて少なくなるので)100年を少し越えたところからのガラス固化体の有害度はMA核種が支配的になり、約8000年後に天然ウラン並みに至る。一方、図1では、ガラス固化体の危険性は放射エネルギーBqで示してある。(本稿では図を示していないが)軽水炉ガラス固化体で、5000年後から50万年後にかけて放射エネルギーBqとして

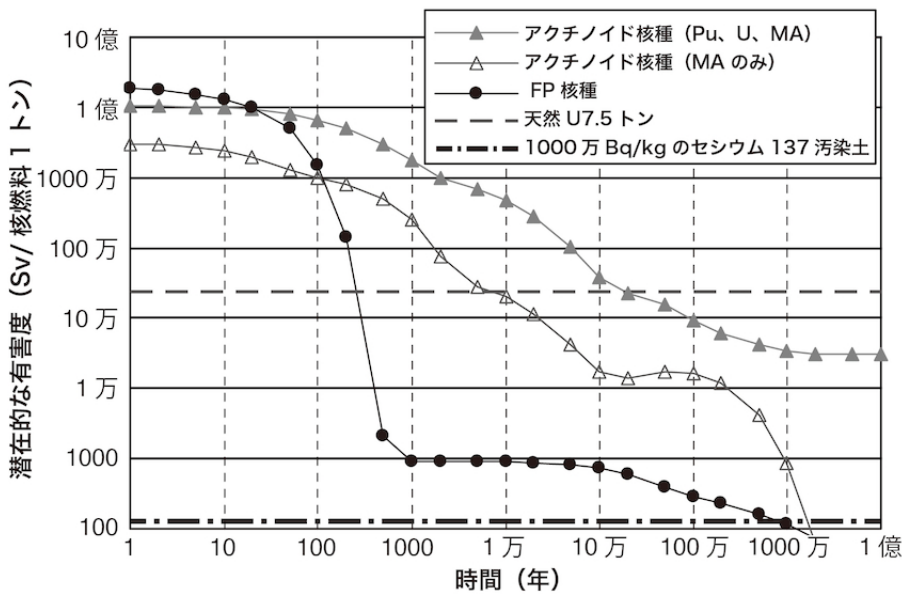


図3. 軽水炉燃料サイクルにおいて発生する放射性核種の潜在的な有害度の推移
(核燃料1トン当り)

最も多いのは、FP核種のひとつであるテクネチウム99(半減期21万年)である。ところが、テクネチウム99の内部被曝換算係数は 6.4×10^{-10} Sv/Bqと小さく、プルトニウム239に比べると約400分の1である。危険性を示す縦軸の単位を、「放射能量」から「潜在的有害度」に変えることにより、FP核種の寄与がガタッと小さくなったことが、数万年だったものが約8000年へと短くなった理由であった。

ついでに、「ガラス固化体(FBRサイクル)の有害度がウラン鉱石並みになるのに約300年」を考えてみよう。図3は、軽水炉燃料についての計算なので、FBRサイクルになれば若干変わるはずだが、近似的に図3で考えて見よう。(もんじゅではなく、将来採用する)FBRサイクルでは、再処理でプルトニウムとウランを取り出した後の高レベル廃液からさらに(ネプツニウム、アメリシウム、キュリウムといった)MAを抽出する。そのMAは、FBRの燃料に混ぜて高速中性子に核分裂させ“消滅させる”そうだ⁵⁾。図2のFBRガラス固化体のミソは、「99.9%というアクチノイド核種の回収率」にある。つまり、FBRガラス固化体に含まれる放射能は、「FP核種」全量と「アクチノイド核種」の0.1%とされている。図3をじっくり眺めて頂ければ分かるが、アクチノイド核種が0.1%(アクチノイド核種の線は3桁下になる)であ

れば、約300年でウラン鉱石並みは成立する。しかし、1%(2桁下)であれば約1000年となる。高レベル廃棄物からのMA回収は、日本ではもちろん経験がないし、世界でも実験室規模で試験されているだけようだ。高速炉そのものはもちろん、高速炉燃料の再処理も具体性のある話ではない。ちなみに、図3の一点鎖線は、今中が加えたもので、セシウム137濃度が1000万Bq/kgの汚染土壌の「1トン当りの潜在的な有害度」を示している。

カラクリのまとめ

ガラス固化体の隔離期間8000年の話を調べた結果、以下の3つのカラクリが見つかった。

- ウラン鉱石750トンと500kgのガラス固化体中の放射能総量を比較して“ウラン鉱石並み”としていること
- 潜在的有害度の導入によりテクネチウム99といった半減期の長いFPの寄与を小さくしていること
- 現実性があるかどうか分からない99.9%というアクチノイドの回収率を仮定していること

もんじゅも六ヶ所の再処理工場も、本来、1995年のもんじゅナトリウム火災事故の際に抜本的な見直しが必要だったはずなのに、ここにきてようやくもんじゅの廃止が決まりそうだ。しかし、“潜在的核保有国”としての日本が、高速炉路線を簡単に放棄はしないだろうと眺めていたら、フランスのASTRID計画とやりに相乗りする方針とかが新聞に出ていた。「ガラス固化体の隔離期間を約300年と短縮して高レベル廃棄物問題を解消」というのが、ASTRIDに向けてのうたい文句らしい⁵⁾。原子カムラはいつまでたっても懲りない人々の集まりのようだ。

5) http://canon-igs.org/event/report/report_140224/140224_energy1_summary.pdf