

高速炉で「核のゴミ」を減らす？

まやかしの高速炉開発と六ヶ所再処理工場との関係

高速炉で『ガラス固化体の隔離期間短縮と 高レベル廃棄物減容』のトリック

今中 哲二

京都大学複合原子力科学研



はじめに

ご紹介いただいた今中です。原子力の勉強を 50 年以上やっています。高速炉、再処理工場が専門というわけではではありませんが、5、6 年前にガラス固化体について調べたことがありました。そのあたりを中心に、あとは高速増殖炉について話をさせていただきます。青森県六ヶ所村で再処理工場の工事が始まったのは 1993 年ですが、まだ完成していません。延期の連続で、いつ完成するのやら分かりません。要するにこういう不確かなものを当てにして日本の原発は動いています。

自己紹介を簡単にさせていただきます。大学の原子力工学科に入ったのは、1969 年でした。軽水炉の運転が始まったところでしたが、「2000 年には軽水炉はなくなって、全ての原発は高速増殖炉になる」、そして「21 世紀半ばには核融合が主役になるんだ」と教わったのを記憶しています。私自身が日本の原子力開発に疑問を持ち出したのは、大学院時代です。日本中で原発建設が進められ始めたころです。「原発はどんなことが起こっても安全だ」、「原発が出来ればお金が落ちて仕事も増え良いことばかりだ」と言われながら、なぜか原発は、田舎にしか作られません。「何かおかしいんじゃないかな」と思うようになりました。

1976 年に大学院をでて京都大学原子炉実験所(現・複合原子力科学研究所)に入りました。原子力の研究者としてメシを食うようになり、原子力の安全性について勉強を始めました。1979 年にアメリカでスリーマイル島原発事故が発生します。それまでは「原発は安全か危険か」という問題の立て方をしていましたが、スリーマイル島原発事故をきっかけに私自身は、問題の立て方が変わりました。原発が危険なのは当たり前のことで、「どれほど危険なのか大事故が起きたらどんなことになるか」を調べることを自分の仕事としました。その後、1986 年にチェルノブイリ原発事故、つまり原発で想定しうる最悪の事態が起こってしまいました。そうこうするうちに 2011 年に福島原発事故が起こりました。現地に出かけて汚染の状態を調べたり、被曝量を見積もったりしてきました。2016 年に京

都大学を定年退職したのですが、今も大学に研究員として席を残して福島調査などを続けています。

8000年？300年？ トリックに隠されたもの

まず、高レベル廃棄物とガラス固化体、その隔離期間のトリックについて話をさせていただきます。私の頭では、地層処分の隔離期間は20万年から100万年だったのですが、それがいつの間にか8000年になったり、300年になったりしていました。そのあと、高速炉についてお話しします。

私が原子力の勉強を始めた頃、ガラス固化体は地層処分をして20万年から100万年は人々の生活圏から隔離する、というのが常識でしたが、その当時、私自身はあまりこのテーマに興味を持ってませんでした。というのは、私自身、10万年、20万年先のことにリアリティを持てなかったからです。2016年に名古屋の講演会で一般の方から「ガラス固化体の隔離期間が8千年になっているのですがどうのことですか？」と質問されました。エッと思って答えられず、改めて勉強を始めました。

ネットで調べてみるといろいろな資料が出てきました。たとえば、表1です。放射性廃棄物はガラス固化体になると減容化されます。これは当たり前です。使用済み燃料をそのまま長期保管するより、溶かして固める方が体積は減ります。ただガラス固化体にするには再処理工場が必要で、そうすると、ガラス固化体以外の放射性廃棄物がワンサカ出来ます。放射性廃棄物の総体積は再処理した方が多くなるのは間違いないでしょう。

最初にお話するのは、隔離期間が20年以上だったのが8000年になって、さらに300年になっている、そのトリックについてです。調べてみるといろいろな資料が出てきます。これは高速増殖炉「もんじゅ」をやっている人たちの委員会から出てきた資料です。使用済み燃料を直接処分する場合の隔離期間は約10万年です。再処理工場で使用済み燃料から、プルトニウムと燃え残りのウランを取り出して、残った高レベル廃液をガラス固化体にする

と8000年になります。さらに、アメリシウム、キュリウム、ネプツニウムといった、ウランやプルトニウムが中性子を吸収してできるアルファ核種は、マイナーアクチノイド(MA)と呼ばれていますが、それらを取り除いたら隔離期間は300年です。と、なっています。「エッ！」と思いました。300年なら「地層処分なんかいらないじゃん！」となります。六ヶ所には、低レベル埋設処理場といって、ドラム缶に入った低レベル廃棄物を浅いコンクリートピットに埋めてしまう施設があります。そこで厳重に管理する期間は300年です。ということは、MAを取り除いたガラス固化体もその程度で間に合うので、地層処分は不要となります。

図1ですが、横軸はガラス固化体が作られてからの時間を年で示していて、100万年、何億年と10

核燃料サイクルの意義① 廃棄物の減容・有害度の低減				
1. 軽水炉再処理により、高レベル放射性廃棄物の体積を約1/4に低減可能。また、放射能の有害度が天然ウラン並になるまでの期間を1/10以下にすることができる。 2. 高速炉/高速増殖炉サイクルが実用化すれば、高レベル放射性廃棄物中に長期に残留する放射エネルギーを更に少なく、発生エネルギーあたりの環境負荷を大幅に低減できる可能性。 ※ 直接処分では、ウラン、プルトニウム、核分裂生成物等を全て含んだまま廃棄物となる。一方、再処理後のガラス固化体からは、ウラン、プルトニウムが除かれるため、放射能による有害度が低減される。 ※ また、高速炉/高速増殖炉では、半減期の極めて長い核種を燃料として使用できるため、更に有害度の低減が可能となる。				
技術オプション	直接処分	再処理		
比較項目		軽水炉	高速炉	
処分時の廃棄物イメージ	プルトニウムと燃え残りのウランをガラス固化体に固化 (0.10m³)	ガラス固化体 (0.10m³)	ガラス (0.10m³)	オーバーパック (0.91m³)
発生体積比※1	1	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
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

表1： 2014年 総合資源エネルギー調査会原子力小委員会資料
出所：https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/001_s01_00.pdf

倍ずつの対数表示になっています。縦軸は有害度となっています。有害度というのは、まず、ある核種を口から体内に取り込んだときの1ベクレル(Bq)当たりの内部被曝量シーベルト(Sv)を求める係数(内部被曝換算係数:Sv/Bq)を、その核種がもっている「有害係数」とします。そして、ガラス固化体に含まれている各核種のBq量に有害係数を掛けて、総和を求めたものが、そのガラス固化体の「有害度(Sv)」というわけです。この横線は、採鉱・精錬・濃縮・加工・運転・再処理といったプロセスを経て最終的にガラス固化体に至る前の、そもそもの天然ウランが持っていた「有害度」を示しています。ガラス固化体が天然ウランと同じくらいの危険度に戻るのに、プルトニウムとウランを回収する軽水炉サイクルなら8000年、さらにMAを回収する高速炉サイクルなら300年という数字が示されています。

これはどういうトリックかという説明をしましょう。

私はもともと、ガラス固化体の危険性は図2のように変化すると思っていました。これは栃山修氏が2012年の原子力政策大綱策定会議で示した図です。もともと、核燃料サイクル開発機構(現・日本原子力研究開発機構)が地層処分のためにまとめた報告書がもとになっています。確か1999年くらいに作られた図だと思います。

グラフは、少しややこしくてマイナスの方向にも、0年、10年、100年・・・100万年、1億年と伸びています。縦軸はギガベクレル(G Bq=10億Bq)単位になっています。Bqなので放射エネルギーです。全体の放射エネルギーが変わっていく様子を示しています。ウランを採掘した時で、ウラン鉱石の量は750トンです。その中にはラジウムやトリウムなどウラン以外の天然放射性物質が入っています。精錬でそれらを取り除いたら10分の1くらいになります。さらにウラン濃縮の過程で放射エネルギーはまた少なくなります。つまり、ウラン235濃度の低い劣化ウランの分がなくなります。

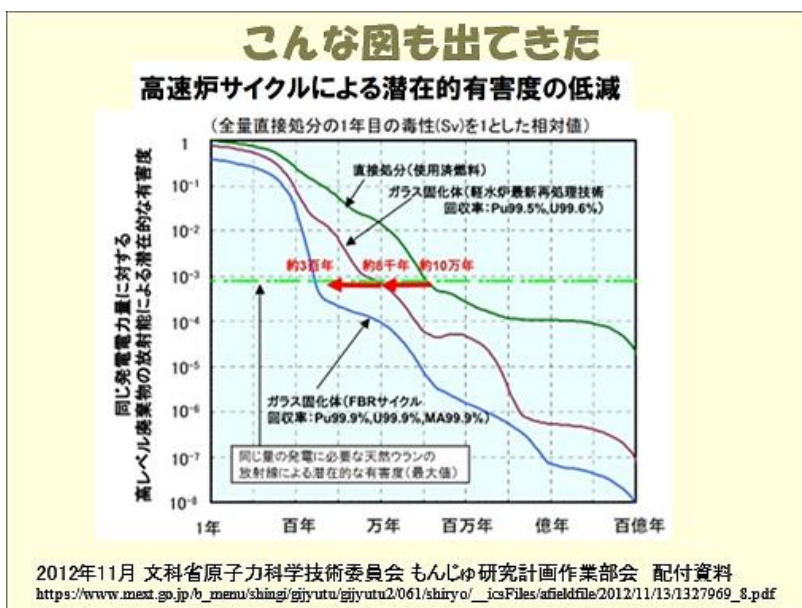


図1:こんな図も出てきた

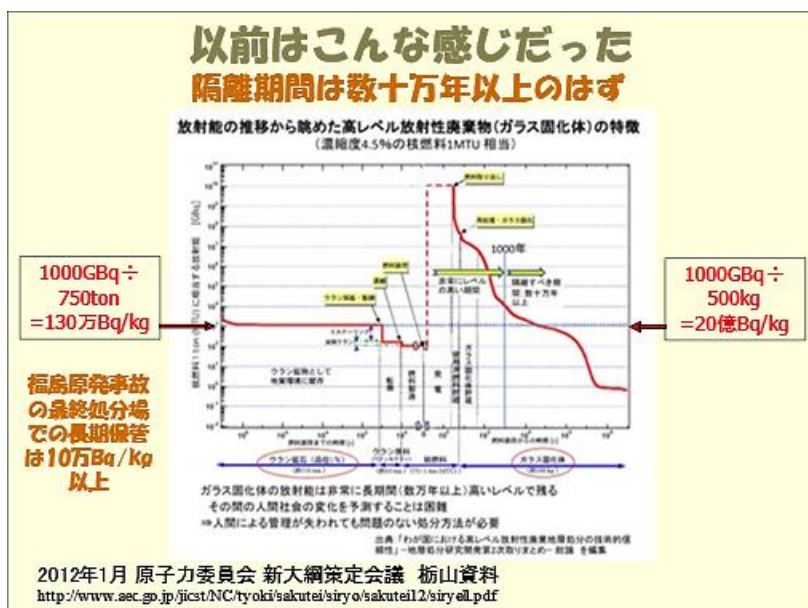
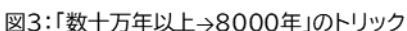


図2:以前はこんな感じだった

(5万年でウラン鉱石と同じくらいになるという)この図のトリックを解説すると次のようになります。核燃料1トンを作るのに必要なウラン鉱石は750トンで、その放射エネルギーは1000GBqです。重さkg当りの放射エネルギーを計算すると130万Bq/kgになります。これはかなりの量です。今、福島第1原発の周辺に中間貯蔵施設を建設して、県内から汚染土壌やガレキを寄せ集めて、その中で10万Bq/kg以上のものは、まだ決まっていない最終処分場に持って行くことになっています。つまり10万Bq/kg以上は福島では長期保管することになっています。皆さんには、ウラン鉱石はもともとかなりの放射エネルギーを持っているという認識を持っていただきたい。それが750トンです。一方、ガラス固化体になると重量は500kg。5万年後に放射エネルギーが元のウラン鉱石と同じになったとして、重さ当りにすると20億Bq/kgと、もうとんでもない数字です。近づくことはできません。ウラン鉱石なみのレベルに減るには数百万年単位の時間が必要です。重量の違いを無視しているのが第1のトリックです。

「有害度」で比較すると、テクネチウム99の水色の線がずと一んと落ちます。1万年後くらいでは、半減期7000年のアメリシウム243が主役になって、約8000年後にはガラス固化体と元のウラン鉱石の有害度が同じくらいになるという図が出来上がります。放射エネルギー(Bq)で比較していたものを有害度(Sv)に変えたというのが第2のトリックです。



8000年となりました。このときに最も問題となる核種は、半減期7000年のアメリシウム243や半減期が約430年のアメリシウム241といった、いわゆるマイナーアクチノイド(MA)です。これらを何とかしたい。再処理プロセスで、ガラス固化体を作る前に、高レベル廃液からMAを抽出してしまう。それも99.9%という大きな抽出率で除いてしまう。するとMAを含まないガラス固化体は300年でウラン鉱石の有害度と同じになる。そして、取り出したMAは高速炉の核燃料に混ぜ込んで使うというストーリーです。

図4は日本原子力研究開発機構(JAEA)のレポートからで、使用済み燃料中の放射性核種を分類して、それぞれ分類ごとの有害度の推移を示しています。使用済み燃料の中で最初に多いのは核分裂生成物(FP:フィッションプロダクト)です。100年後にはアクチノイド全体が最大になります。使用済み燃料のままだと約10万年で天然ウラン並みになります。再処理して、プルトニウムとウランを回収すると8000年になります。さらに、マイナーアクチノイドも回収してFPだけになると300年になります。

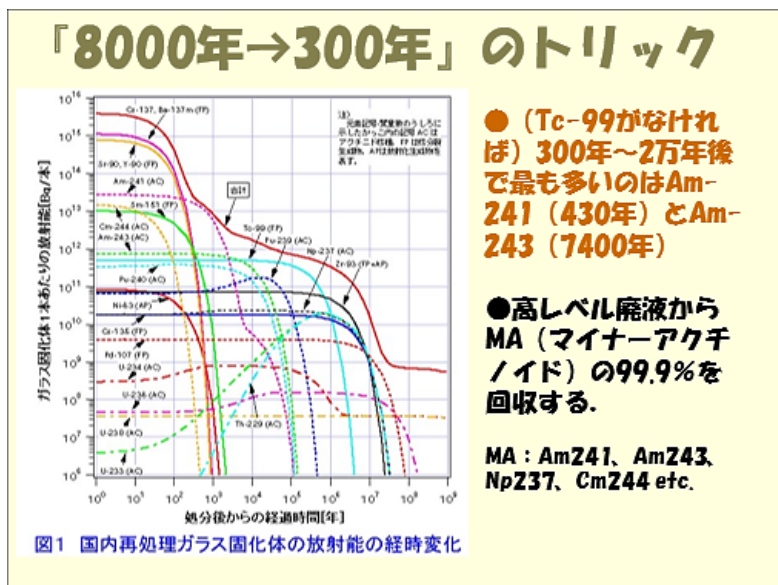


図4:「8000年→300年のトリック



表2:MAやPuの回収率99.9%は可能か？

使用済み燃料のままだと約10万年で天然ウラン並みになります。再処理して、プルトニウムとウランを回収すると8000年になります。さらに、マイナーアクチノイドも回収してFPだけになると300年になります。

では、プルトニウムやマイナーアクチノイドを完全に取り除くことができるのか？表2は、プルトニウムに関するこれまでの実績ですが、回収率は約99.5%です。99.9%は相当難しいと思います。マイナーアクチノイドについては、これまで経験がありませんからデータはありません。99.9%というのは「お話の世界」でしょう。マイナーアクチノイドを含め、高レベル廃液から99.9%のアクチノイドを回収するというのが3番目のトリックです。

その昔、オメガ計画というのがあって、使用済み燃料からマイナーアクチノイドやFPの中に金や白金といった有用金属があるので、これらを回収して有効利用しようという話でしたが、いつのまにか立ち消えになりました。

高速増殖炉、上手くいくの？

次に、核分裂と高速増殖の原理をお話します。

ウラン235(U235)の原子核は、陽子92個と中性子143個の塊です。陽子の間には強い反発力が働いていますが、それでバラバラにならないのは143個の中性子が「糊」の役割を持って引き留めているからです。

そこに中性子がもうひとつ入ってくると、原子核内のバランスが崩れて、2つに分裂します。それが核分裂です。その際に、2つの核分裂生成物と余った中性子が2つか3つ飛び出ます。その中性子が新たな核分裂に使われて、次々と核分裂が続いて行くのが核分裂連鎖反応です。「原爆」とは、核分裂連鎖反応を一瞬(100万分の1秒)のうちに出来るだけたくさん行わせる装置です。「原子炉」とは、連鎖反応の進み方を(中性子を吸収する)制御棒でコントロールして一定に保つ装置です。

核分裂で出てくる中性子は2MeV(200万電子ボルト)という大きな運動エネルギーを持っています。速度にすると光の20分の1くらいです。これだけ速度が大きいと隣のウラン235の原子核に吸収されにくいので、連鎖反応は起きにくい状態です。日本で使っている軽水炉では、冷却材である水が中性子のエネルギーを下げる減速材の役割を兼ねています。水(H₂O)の成分である水素(H)の原子核は中性子と同じ大きさなので、水素原子核との衝突によって(パチンコ玉どうしが衝突したときのように)中性子のエネルギーはどんどん下がって、じきに冷却水(約300度C)と平衡になります。この状態の中性子は「熱中性子」と呼ばれ、出来たての中性子に比べ約500倍も核分裂を起こしやすくなります。軽水炉は、この熱中性子を使って連鎖反応を維持するので「熱中性子炉」と呼ばれます。

実は、天然組成のウラン燃料では軽水炉で連鎖反応は起きません。天然ウランには、先に説明したウラン235以外に、中性子が146個のウラン238があります。核分裂を起こしやすいのはウラン235ですが、その割合は0.7%で、残りの99.3%は核分裂しにくいウラン238です。そのため、軽水炉では、ウラン235の割合を3~5%に高めた濃縮ウランを燃料に使っています。濃縮過程で不要物として発生するのが、「劣化ウラン」と呼ばれる、ウラン235濃度が0.2%程度に低下したウランです。

ウラン238が中性子を吸収するとウラン239になります。ウラン239は半減期20分でベータ線を出してネプツニウム239になり、さらにネプツニウム239は半減期2.4日でプルトニウム239(Pu239)になります。つまり、軽水炉の炉心では、核分裂しにくいウラン238が次々とプルトニウム239に「変身」しています。再処理のそもそもの目的は、軽水炉の使用済み燃料からプルトニウムを取り出して、高速増殖炉の燃料に用いることでした。

廃炉になった「もんじゅ」が高速増殖炉です。「高速」というのは、連鎖反応に用いる中性子が速い、つまり

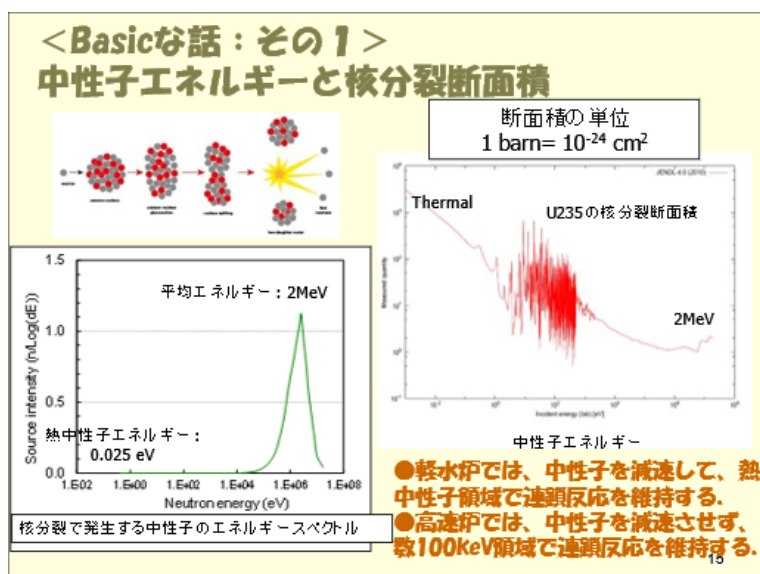


図5: 中性子エネルギーと核分裂断面積

エネルギーが大きいことを示しています。中性子の速度を落とさずに連鎖反応を維持するので、冷却材に水は使えません(図5)。冷却に選ばれたのはナトリウムでした。ナトリウムの原子核は陽子が11個で中性子が12個、合わせて23です。中性子に比べ23倍の大きさなので、高速中性子が衝突して散乱してもほとんどエネルギーが落ちません。一方、中性子のエネルギーが大きいと核分裂を起こしにくくなるので、高速炉では核分裂を起こしやすい核燃料、たとえばプルトニウムが使われます。「もんじゅ」の場合は、劣化ウラン8割に約2割のプルトニウムを混ぜて燃料にします。

次に、「増殖」とは、「核分裂で減る分以上に新たに核燃料が生成する」という夢のような話です。「もんじゅ」では核分裂をしている炉心の周りにブランケット燃料といって、核分裂をほとんど起こさない劣化ウランが配置してあります。ブランケット燃料では、ウラン238が中性子を吸収してプルトニウム239ができます。「もんじゅ」は、炉心での核分裂以上にブランケットでプルトニウムを生産する「高速増殖炉」として建設されました。

増殖が可能かどうかを判断する指標として「核燃料に吸収される中性子1つ当たり新たに発生する中性子数： η (イータ) 値」というのがあります。核分裂連鎖反応の維持にはひとつの中性子、増殖のためにもひとつ以上の中性子、さらに漏れたり材料に吸収されたりする分を考慮すると「 η 値が2.5以上」、というのが増殖の条件になります(図6)。

ウランを採掘して、まず低濃縮ウランを燃料として軽水炉を運転します。次に、再処理工場で軽水炉の使用済み燃料からプルトニウムを取り出して高速増殖炉の燃料にします。高速炉の使用済み燃料を再び再処理してプルトニウムを取り出してぐるぐる回しながら、燃えにくいウラン238を次々にプルトニウムに変えてラン資源を有効利用するというのが「高速増殖炉サイクル」のはずでした。軽水炉ではウランの0.7%のウラン235しか利用できないが、高速増殖炉を使えばウラン資源の60%を利用できるようになる、と言われていました。

そのために作られたのが「もんじゅ」です。1985年に建設が始まり、1994年に臨界、1995年8月に発電を始め、その年の12月に40%の発電を実現します。ところが直後に2次系のナトリウム漏れ火災事故を起こし、事故現場のビデオ隠しなどが社会問題化しました。2010年になんとか運転を再開したら、燃料取扱機器を炉心のナトリウムの中に落としてしまって運転が再び停止しました。そうしているうちに福島原発事故が起きたり、次々と点検漏れが発覚したりして、結局2016年に廃炉が決まりました。

「もんじゅ」で一番厄介なのは、液体ナトリウムを用いる複雑な構造でした。原子炉を含む1次系と中間の2次系がナトリウム冷却です。それから3次系で蒸気を発生させます。ナトリウムは扱いがものすごく大変で、水に触れると爆発的に反応し、空気に接すると発火します。水と違って不透明ですか

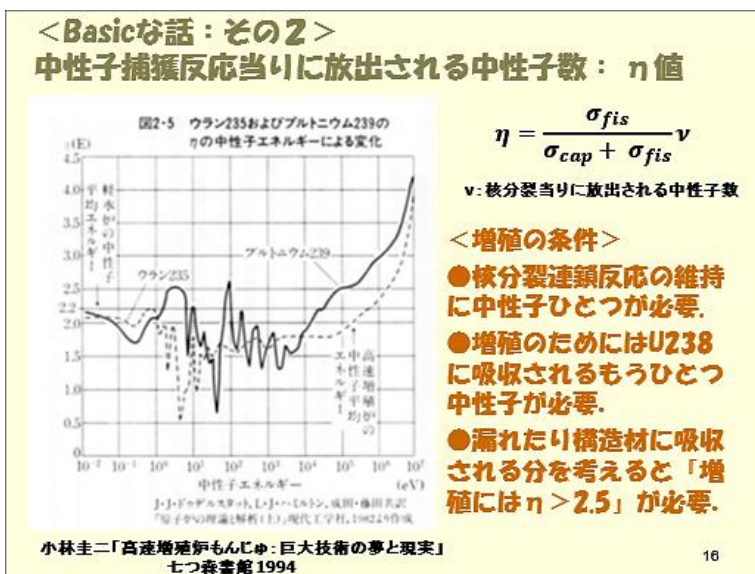


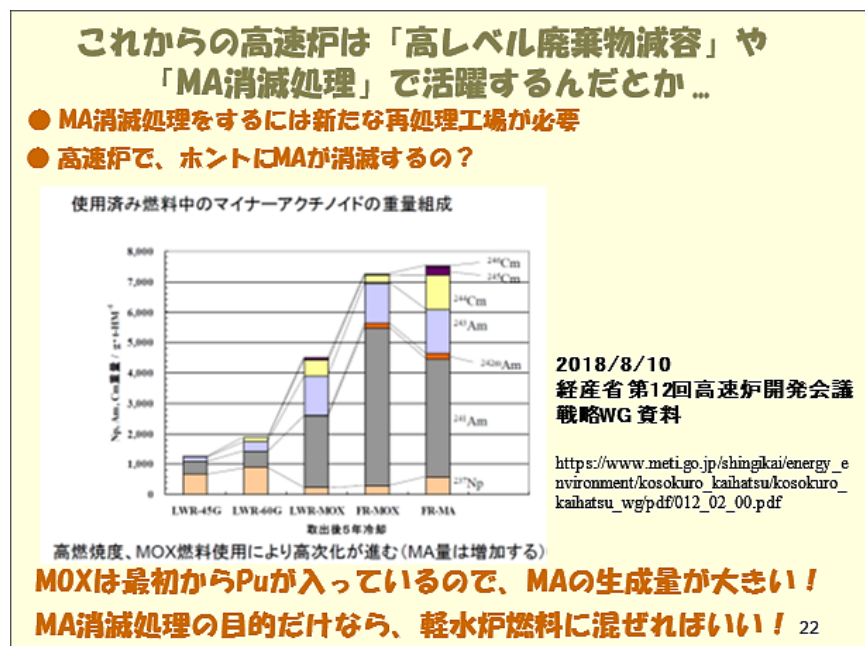
図6: 中性子捕獲反応当りに放出される中性子数： η 値

ら、中にモノを落としても見えません。ナトリウムは常温では固まりますから、年がら年中、ヒーターで温めておく必要があります。「もんじゅ」では停止していてもずっと1万キロワットの電気が必要でした。おまけに、ナトリウムは中性子を吸収して放射化します。ナトリウム24とナトリウム22ができるので運転停止のときでも容易に近づけません。世界中で高速増殖炉をやろうとしましたが、どこも上手くいきません。

今日はガラス固化体の隔離期間と高速増殖炉のことをお話しました。ガラス固化体は再処理工場に出てくる高レベル廃液を固めたものですが、六ヶ所の再処理工場は建設が始まって30年たっても完成していません。仮に、新たに高速炉を利用することになったとして、ガラス固化体からマイナーアクチノイドを取り除くには別の再処理工場が必要です(図7)。革新炉とか次世代炉とか言われていますが、いずれも現実性のないマボロシのような話だと私は思っています。

原子力ムラがなぜ続いているのかと言えば、利権と特権を絆にしているギルドのようなシステムが

日本の中核にはびこっているのだと思っています。あと忘れてはいけないのが、プルトニウムを扱う技術は原爆を作る技術だということです。それらが原子力ムラを支えているのだと私は考えています。どうもありがとうございました。



高速増殖炉から高速炉、そして無用の長物へ



松久保 肇

原子力資料情報室

はじめに

現在、次世代革新炉が話題になっている。それは岸田文雄首相肝いりの会議体である第2回 GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議で岸田首相が原発再稼働促進や原発の運転期間制限の撤廃などと並び、次世代革新炉の開発・建設の検討を指示したからだ。ただ、次世代革新炉の中身について、GX 実行会議では明らかにされなかった。

では次世代革新炉とは何だろうか。実は、経済産業省は 2022 年 4 月に「革新炉ワーキンググループ（以下 WG）」を立ち上げ、革新炉の開発や革新炉の社会的価値などについて議論を開始していた。なお、筆者はこの WG に 13 人いる委員のなか、唯一の脱原発派として参加している。同年 7 月に、WG は中間論点整理「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」を取りまとめた。

これによれば、次世代革新炉とは、革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉の 5 種類の炉型を指すようだ。経産省は、この骨子案の別添としてそれぞれの炉型の開発スケジュールを示した「導入に向けた技術ロードマップ」を公表した（表 1）。これによれば、最も早い革新軽水炉は 2030 年代半ばに運転開始することになっている。またこれまで、日本の新型炉開発の本命とされてきた高速炉は実証炉（技術的信頼性や経済性の見

表1 次世代革新炉の概要と経済産業省の導入見込み

炉型 ^①	内容 ^②	建設開始 ^③	運転開始 ^④
革新軽水炉 ^⑤	新しい技術を導入した大型軽水炉 ^⑥	2030 年代前半 ^⑦	2030 年代半ば ^⑧
小型軽水炉 ^⑨	おおむね電気出力 30 万 kW 以下の原子炉 ^⑩	2030 年代半ば ^⑪	2040 年代前半 ^⑫
高速炉 ^⑬	高速中性子を利用する原子炉。炉心を取り巻くブランケット領域に燃料（ブランケット燃料）を装荷すれば、その中でプルトニウムが増殖する。核分裂で使用した量よりプルトニウムが増えるため、高速増殖炉と呼ばれる。 ^⑭	2040 年 ^⑮	2040 年代半ば ^⑯
高温ガス炉 ^⑰	冷却材にヘリウムガスを用いた原子炉。炉心にセラミックなどを使うため、軽水炉に比べて高温を利用できる ^⑱	2030 年 ^⑲	2030 年代半ば ^⑳
核融合炉 ^㉑	核融合反応を用いた原子炉 ^㉒	2030 年代半ば ^㉓	未定 ^㉔

出所：革新炉ワーキンググループ資料などをもとに筆者作成

通しを得るために建設・運転される原子炉、一般に原子炉の開発は実験炉、原型炉、実証炉の 3 段階を経て商用炉に向かう）が 2040 年代半ば運転開始とされた。これは、2050 年頃の実用化を目指してきた、これまでの高速炉開発を前倒すものだ。この前倒しの根拠は定かではない。

トラブルとしがみつきの歴史

日本の原子力開発はその当初から、将来、高速増殖炉を開発することを目標に掲げてきた。例えば、原子力委員会が 1956 年に取りまとめた最初の原子力長期計画ですでに、「原子炉開発の将来の目標は、増殖動力炉の国産化」とされていた。増殖動力炉とは高速増殖炉のことだ。

日本の原子力導入黎明期、原子力開発先進国は、こぞって高速増殖炉開発に邁進していた。当時、ウラン資源は希少でいずれ枯渇するとみられたため、高速増殖炉によって、資源量の懸念を拭こうとしたためだ。だが、各国ともに開発は難航した。様々に課題があったが、特に、冷却材として用いられた液体ナトリウムが大きな問題だった。ナトリウムは水と激しく反応するからだ。たとえば、ロシアの高速増殖原型炉 BN-600 では、1997 年までに 27 回のナトリウム漏洩が発生、内 14 回は火災に至っている。ロシアだけではない。フランスや米国などでもナトリウムをめぐるトラブルが発生した。懸念されていたウラン資源の枯渇も起きなかった。

高速増殖炉が核拡散に繋がりがねないことも問題になった。高速増殖炉では炉心の周りにブランケット燃料を装荷し、高速中性子を吸収させることでプルトニウムを増やしている。プルトニウムには核分裂性のものとそうでないものがあるが、ブランケット燃料のなかで増えているプルトニウムは核分裂性が極めて高くなるからだ。こうしたことが重なり、多くの国で高速炉開発は下火になった。今も開発に取り組んでいるのは、フランス、ロシア、中国、米国、英国などの核兵器保有国と日本だ。日本は、高速増殖原型炉「もんじゅ」をおよそ 2 兆円かけて開発してきたが、1995 年のナトリウム漏洩事故など、トラブルを繰り返し、2016 年に廃止となった。「もんじゅ」は 1994 年の運転開始から廃止までの 22 年で稼働したのはわずか 250 日だった。それでも日本は高速増殖炉開発をあきらめなかった。だが、すぐに国内で高速増殖炉を建設するめどがあるわけでもない。

そこで飛びついたのが、フランスの高速炉 ASTRID 計画だった。ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) は、プルトニウムを増殖させることを目標とせず、高速中性子で長寿命の放射性物質を短寿命化することを目的とした炉だ。だが、それも都合がよかった。ウランの市場価格が極めて安価で推移する一方、日本でもフランスでも民生用のプルトニウム余剰は深刻な状況になりつつあったからだ。ところが、相乗りしたはずの ASTRID 計画を 2019 年、フランスが中止した。コスト高な高速炉は少なくとも 2050 年まで開発を検討しないという。

次に日本が飛びついたのは米国の VTR (Versatile Test Reactor、多目的試験炉) 計画だった。VTR は各種高速炉の材料試験に使うための炉として、2018 年、米エネルギー省が GE 日立に発注した。建設費は最大 60 億ドルで全額を政府が提供する。VTR に発電機能はないものの、基本となるデザインは GE 日立が以前設計した高速増殖炉 PRISM だ。2019 年には日米両政府の間で、VTR に関する協力覚書が締結されたが、この VTR 計画もまた窮地に追い込まれている。

これは皮肉なことに、GE 日立が原子力ベンチャー企業 Terra Power (テラパワー、創業者はビル・ゲイツ) と組んで始めた高速炉 Natrium の開発と関係している。現在 Terra Power はエネルギー省の支援を受けて、2028 年までの Natrium の建設を目指しているが、これも基本のデザインは PRISM だ。VTR の当初の運転開始目標は 2026 年だったが、建設開始が遅れ 2027 年着工、竣工は 2032 年まで計画がずれていた。Natrium で必要な研究を VTR で行うはずが、VTR の完成は Natrium より後になる。であれば VTR に意味はない。そこで、米議会は VTR の予算を削除

した。そして、日本が次にしがみついたのは、この高速炉 Natrium だ。2022 年 1 月、日本原子力研究開発機構、三菱重工業、三菱 FBR システムズが Terra Power と協力覚書を締結した。

いったい何のための高速炉？

日本が高速増殖炉路線を選択したのはエネルギー安全保障のためだった。日本には商業規模のウラン資源は存在しないが、原発の使用済み燃料にはプルトニウムが含まれる。このプルトニウムを高速増殖炉で増やせばエネルギー安全保障に資するという発想だ。このためには、使用済み燃料を化学的に処理してプルトニウムを分離する「再処理」と呼ばれる過程を経なければならない。ただ、プルトニウムは核兵器に転用できる物質であり、再処理技術は、核拡散に繋がるものだ。そのため、Terra Power 社は Natrium の使用済み燃料を再処理しない方針を示している。

高速増殖炉の実用化に成功しないまま、核燃料リサイクル技術の確立のためとして、日本では、使用済み燃料の再処理を国内外で続けてきた。分離されたプルトニウムはウランと混ぜた MOX(混合酸化物)燃料に加工して原発で用いる計画だった。だが、2010 年度までに 16~18 基で導入する計画が、実際には 4 基(玄海 3 号機、伊方 3 号機、福島第一 3 号機、高浜 3 号機)にとどまった。2022 年現在でも 4 基(玄海 3 号機、伊方 3 号機、高浜 3・4 号機)でしかない。消費が進まない中で再処理を進めた結果、プルトニウム保有量は 2020 年末現在 46.1 トンとなった。プルトニウムの有意量(1個の核爆発装置の製造の可能性を排除し得ない核物質のおおよその量)を 8kg としている国際原子力機関(IAEA)の基準で考えれば、約 5800 発分に相当する量だ。

有り余るプルトニウム、実用化のめどのない高速増殖炉という現実の前に、国は、プルトニウム増殖をメリットとして打ち出しにくくなった。そこで、日本の中期的なエネルギー政策指針である「エネルギー基本計画」は 2014 年から、高速増殖炉から増殖をとって高速炉と呼び変えるようになった。目的も増殖から放射性廃棄物の「減容化・有害度低減」へと変化させた。使用済み燃料を再処理すれば、使用済み燃料単体で地層処分する場合に比べ、処分体の体積や有害度を減らすことができる。当然だ。再処理すれば、プルトニウム・ウランは燃料に再利用され、再処理の過程で使用済み燃料のなかに閉じ込められていたヨウ素・希ガス・トリチウムといった放射性物質を環境中に放出する。また使用済み燃料の外側にあるジルコニウム製のさや管などは別途放射性廃棄物として分離される。そして残った高レベル放射性廃棄物がガラスに固められて地層処分されることになる。つまり「有害度低減」とは、地中に処分する前に分離するか、環境中に放出してしまうということを意味している。

さらに問題となるのは、取り出したプルトニウムを加工した MOX 燃料の使用後の取り扱いだ。使用済み MOX 燃料は通常のウラン燃料に比べて、発熱量や放射エネルギーがかなり多いため、現在、青森県六ヶ所村で建設中の再処理工場では処理できない。また、使用済み MOX 燃料に含まれるプルトニウムは核分裂性以外のものを多く含み、燃料として効率的に使えなくなっている。地層処分の処分場面積を決定する要因は処分体の体積ではなく発熱量になるため、使用済み MOX 燃料を処分する場合、結局処分場の面積はほとんど減らない。では「減容化・有害度低減」を実現するにはどうすればよいか。第一に高速炉の実用化、第二に六ヶ所再処理工場ではない新しい再処理工場で使用済み燃料に含まれる放射性物質をより細かく分離することが求められる。

しかし、高速炉に実用化の見込みはあるのか。原子炉の実用化に必要なのは、経済性だ。Natrium は経済性に優れた高速炉というふれこみだが、初号機ということもあって、初期投資に必

要な費用は 40 億ドル(1ドル 140 円換算で約 6000 億円)と見込まれる。出力は 34.5 万 kW なので、kW 当りに換算すると 170 万円になる。一般的な原発の建設費は日本では kW 当り 40 万円とされているので、およそ 3 倍ということになる。

高速炉は建設費が高いだけではない。燃料費も飛躍的に高くなる。なぜなら燃料はすべて再処理が必要になるからだ。軽水炉用 MOX 燃料とウラン燃料の価格を比較したところ、国産 MOX 燃料はトン当たりでウラン燃料の 20～50 倍高いことが分かった(図1)。高速炉用の MOX 燃料は軽水炉用 MOX 燃料よりも含まれるプルトニウム量が多くなり、結果、燃料代はより高くなる。

原子力発電は一般に初期投資が高く、燃料費が安いいため、出力一定で運転し続けられ、比較的安価な電源になりうるとされている。ところが、高速炉は初期投資が通常の原発

よりも大幅に高く、燃料費も数十倍高い。仮に原発が新設できたとしても、あえて高速炉を選択する原子力事業者がでてくるだろうか。新しい再処理工場もそうだ。現在建設中の六ヶ所再処理工場の総コストは約 14.4 兆円と見積もられている。これをさらにもう 1 つ建設しうのだろうか。

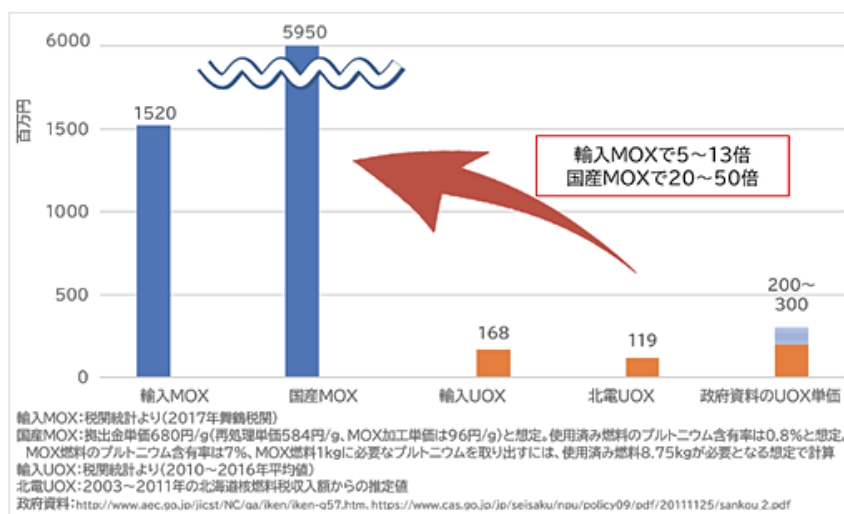


図1 MOX燃料とウラン燃料(UOX)の単価(1トンあたり)
出所:筆者作成

おわりに

高速増殖炉はかつて、日本のエネルギー安全保障の切り札としてみなされてきた。しかし、技術的困難性から開発は難航、増殖の夢は遠ざかり、核のゴミの後始末の解決へとその存在意義を切り替えた。しかし、看板を掛けかえたところで、技術的な難しさが変わるわけではない。また経済性の面でも優位性は存在しない。原子力を開始した 60 年前であれば、自然エネルギーを有効利用する技術は遠い未来だったかもしれない。だが、今日、太陽光や風力は非常に安価に電源として利用できるようになった。もはや、原子力でエネルギー安全保障を考えるのは時代遅れそのものだ。

■松久保肇(まつくぼ・はじめ)

原子力資料情報室事務局長。1979 年、兵庫県生まれ。2003 年国際基督教大学卒、2016 年法政大学大学院公共政策研究科修士課程修了。金融機関勤務をへて 2012 年より原子力資料情報室スタッフ。経産省の総合資源エネルギー調査会原子力小委員会委員なども務める。共著に「検証 福島第一原発事故」(七つ森書館)、「原発災害・避難年表」(すいれん舎)など。

編集・発行:新外交イニシアティブ(ND/New Diplomacy Initiative)

〒160-0022 東京都新宿区新宿 1-15-9 さわだビル 5F
TEL:03-3948-7255 / Email:info@nd-initiative.org