

原子力の**本質**を探る

第13回

環境負荷低減

NPO法人
ニュークリア・サロン 出澤 正人

リサイクル社会に調和

産業革命以降の繁栄をもたらしてきた生産活動は大量の廃棄物を伴った。二〇世紀後半になって、有害廃棄物による環境汚染は国境を超える酸性雨問題、地球規模のオゾンホール問題となり、宇宙船地球号を守る意識が芽生え、環境との調和を求めた物質のリサイクル社会に向かっている。文明を支えてきたエネルギー資源である化石燃料の燃焼で排出される二酸化炭素は温室効果ガスであり、気候変動原因としての脅威と捉え、その対策は世界規模の政策課題となっている（第六回）。

核反応エネルギー利用に伴う廃棄物は、化学反応エネルギー利用の廃棄物に比べ量的に桁違いに少ない（約一〇〇万分の一）が放射性物質である。SCNES（自ら整合性のある原子力システム）は原子力システムからの放射性廃棄物をなくすことを目指している。今回はここに焦点を当てて説明するが、その前に原子燃料サイクルについて纏めておこう。天然ウランは原子燃料サイクルの出発物質である。ウランの採鉱と精錬は、銅、亜鉛、その他の金属の採鉱と精錬に似ている。ウランはしばしば銅、リン酸塩、その他の鉱物と

共存しているため、他の鉱物を探取する際の共同産品となる。一〇〇万キログラムの軽水炉一基を一年稼働するために、約二〇〇トンの天然ウランを要する。

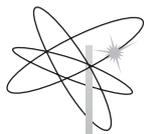
ウランは化学的に精製される。天然ウランは〇・七％のウラン²³⁵をウラン濃縮プロセスで、濃縮ウラン製品と劣化ウランとに分けられる。濃縮ウラン製品は三丁五％のウラン²³⁵と九五丁七七％のウラン²³⁸を含み軽水炉燃料になる。劣化ウランは約〇・三％のウラン²³⁵と約九九・七％のウラン²³⁸を含み、量としては劣化ウランの方が一〇丁二〇倍も多い。濃縮ウランは二酸化ウランに転換され、原子燃料に加工される。一〇〇万キログラムの軽水炉一基で年間約二〇トンの原子燃料が装荷される。

軽水炉ではウラン²³⁸はほとんど核分裂せず中性子を吸収して核分裂性物質に変換され、約三〇％（主にプルトニウム）の電力生産を担っている。軽水炉では、一体の燃料集合体は三丁四年間原子炉内で使われた後、発電所内の使用済み燃料貯蔵施設で数年以上放射能を減衰してから中間貯蔵施設や再処理施設に搬出される。ウラン²³⁵の半減期は七億年、ウラン²³⁸の半減期は四五億年であるが、原子炉の中で中性子との核反応によっ

て、半減期の短い元素に変換される。TRU（超ウラン元素）はエネルギー資源としてリサイクルされる（第二回）ので、環境負荷低減の対象は放射性核分裂生成物である。核分裂反応では、二丁三個の中性子と二丁三個の核分裂生成物が発生する。核分裂生成物が安定した状態に向かう過程で放出されるエネルギーが放射線であるが、放射性核分裂生成物は中性子やガンマ線との核反応で安定した状態にすることができると、このことを放射能消滅と呼ぶことがある。核分裂生成物はニッケル（原子番号28）からジスプロシウム（66）まで約四〇種、質量数で六六から一六六までのほぼ一〇〇種類のものでできる。この中には、パラジウムやレアメタルといった有用物質も創生される。

放射性廃棄物は管理可能

放射性核分裂生成物は、ほとんどがベータマイナースの放射能をもち、強力なベータ線とガンマ線を放出する。短寿命の同位体核種が多いので、全体の放射能は初期のうちにかかなり急速に減衰し、四日後にはほぼ一〇〇分の一、四か月後には一万分の一になる。しかし、半減期が数年ないし数十年以上のものであるため、それ以後はなかなか減衰しない。

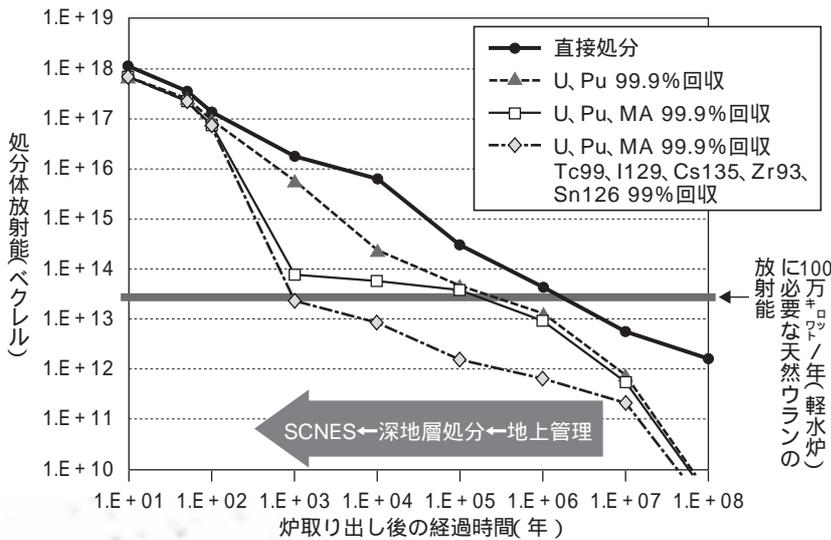


リサイクル社会に相応しいSCNES

核分裂生成物には、ストロンチウムやセシウムなどのように原子炉の中で中性子との核反応はしにくいのが、半減期が短く一〇〇年程度で十分減衰する核種と、テクネチウム99やヨウ素129のように、原子炉の中で中性子と核反応させ非放射性の核種に変換させ高レベル放射性廃棄物の放射能を下げることができる。一〇〇万キロワットの軽水炉の使用済み燃料を例に、天然ウランの放射能レベルまでの減衰に要する期間を比較して図に示す。直接処分では約一〇〇万年であるが、高速炉でマイナーアクチニド(MA)と長半減期核分裂生成物(LFP)をリサイクルし、核変換し九九・九%以上の回収率が達成できれば約一〇〇〇年となる。現在でもガラス固化体は放射線を遮蔽して地上施設で完全に管理している。減衰期間が長いというだけで不安を感じる人が多いが、管理状況の実態を知るだけで冷静になれるだろう。

深地層で安全に処分

現在、軽水炉の使用済み燃料再処理から出る高レベル放射性廃棄物は、



100万キロワット/年(軽水炉)の使用済み燃料処分法の違いによる放射能比較

深地層処分される。この方式は自然原子炉で核分裂生成物が安定して地中に留まっていたという地球自身が実証した仕組みを真似た方式である。再処理の廃液をガラス固化し、ステ

ンレス製の容器に収納し、さらにオーバーパックと呼ばれる厚い鋼鉄の容器に封入したうえで、地下三〇〇メートルの安定した地層(天然バリア)に埋め、さらに地中では、埋めた周囲にベントナイトという粘土に似た緩衝材(人工バリア)を充填する。オーバーパックは、少なくとも一〇〇〇年は穴があかないように設計される。オーバーパックに穴があき、ガラス固化体が地下水と接触したと想定しても、ガラスは水に溶けにくい性質を持っているため、放射性物質は非常にゆっくりしか溶け出さない。溶け出した放射性物質は、周囲に充填された緩衝材に吸着されるなどして、その外側に漏れ出すことはない。また、地下の深いところの岩石も放射性物質を吸着する性質を持っており、地下水の動きも非常に遅いため、もしも地下水に放射性物質が溶け出したとしても、そ

れらは一年間に数センチ程度で非常にゆっくりした移動となる。SCNESで廃棄物発生低減

原子力システムは環境負荷の低減をめざし、究極的には放射性物質を環境に出さないことを目指すことができる。平和利用では、プルトニウムを純粋に分離し取り出す必要がないため、MAは廃棄物にすることなくエネルギー資源として原子炉にリサイクルされる(第二一回)。高速炉では軽水炉に比べてMAを約一〇倍燃焼させることができる。SCNESでは、核分裂生成物を生成量、半減期、水への溶解度によって評価し原子炉内で放射能消滅の対象核種としてヨウ素129、セシウム135、ジルコニウム93、テクネチウム99、錫126を選定している。これらの放射性同位体を濃縮する技術が開発されると原子炉内で一層効率よく核変換することができると、レーザー濃縮技術の開発が期待される。

一〇〇万キロワットの軽水炉二五基から排出されるLFPは、三〇万キロワットのSCNES一基で処分できるといふ試算が示されている。核反応エネルギー利用も環境との調和を求めた物質のリサイクル社会を目指した挑戦が求められる。