

核分裂生成物の消滅処理

(動力炉・核燃料開発事業団) 小無 健司

1. はじめに

原子炉では、核分裂によってエネルギーを発生すると同時に核分裂生成物 (Fission Product; FP) 及び U、Pu の中性子捕獲によって高次の超ウラン元素 (Transuranic element; TRU) を生成する。これらの生成核種の中には長寿命の放射性核種が含まれており、これらの放射性核種は有効利用するの でなければなんらかの形で処分する必要がある。処分方法の一つの考え方としては、人間環境より隔離してしまうことが考えられる。その例としては地層処分が挙げられる。現在では、この方法が最も現実的な方法として研究されている。その他にも、スペースシャトルによる宇宙投棄や南極の氷の下に投棄すること等のアイデアもある。もう一つの別の考え方は、隔離するのではなく人間環境下で処理しようとするもの、即ち、長寿命の放射性核種を核変換によって短寿命核種或いは安定核種に変えてしまう、いわゆる「消滅処理」である。

原子炉から出てくる放射性廃棄物は、多量であるのでこれを全て消滅するのは容易ではない。そこで、どの核種から優先的に消滅すればよいかと言う問題になるが、これについては、幾つかの見方がある。一つの見方は、長寿命核種の中で、原子炉運転中、及び停止後数百年間の放射能の大部分を占める ^{90}Sr 、 ^{137}Cs を消滅すると言うものである。これらの核種は、ガラス固化体の発熱源でもある。もう一つの見方は、千年程度はガラス固化体にして閉じこめることが可能であると考え、千年を越えて存在する長寿命核種の消滅が重要であると言うものである。この考えには、さらに2種類あり、一つは、毒性の強い ^{237}Np を消滅対象とする考え方と、もう一つは地層処分から漏洩し人間環境へ出る可能性の高い ^{135}Cs 、 ^{129}I 、 ^{99}Tc を消滅対象とするものである。

ここでは、FP の消滅処理について述べる。消滅処理の対象となる FP 核種は、核分裂生成率が大きく、半減期が長く、かつ (n, γ) 反応の断面積が小さいために原子炉では消滅せずに生き残ったものである。

2. 消滅処理への要件

原子核を加速器等により核変換できることは、物理学的には自明のことであるが、原子炉から発生する放射性廃棄物を消滅処理するとなると、幾つかの条件を満たさなければならぬ。

即ち、消滅処理は、

① 放射能のリスクを低減するという基本的な目的と、② エネルギーシステムの中に組み入れられねばならないという要請があるために、消滅処理速度と消滅処理エネルギーがその要請を満たしていなければならないことになる。以下にこの2つの主な因子について述べる。

消滅処理速度は処理期間を短くするのに重要であるばかりではなく、原子力によって発電を行っている間は蓄積量に影響する。即ち、原子炉から放射性核種の発生のある間は、発生速度と消滅速度の間の平衡によって蓄積量が決められる。従って、文字どおり放射能を消滅しゼロにすることはできないが、蓄積量を少なくしてゼロと見なせるまで減少させるためには速い消滅処理速度を達成しなければならない。

次に、消滅処理エネルギー（一つの原子核を変換するために必要なエネルギー）の基準を得るために、放射性廃棄物を発生する時に核分裂によりどれだけのエネルギーが得られているかを考えてみる。消滅対象核種の核分裂収率を Y とし、核分裂エネルギーを E_{fiss} 、熱から電気への発電効率を η_R とすると、1核種が原子炉で生成されるときに得られるエネルギーは、

$$E_u = \eta_R \cdot (E_{fiss} / \Sigma Y)$$

となる。例えば、 ^{137}Cs のみを消滅処理対象核種と考えれば、 $Y=0.06$ 、 $E_{fiss}=200\text{MeV}$ 、 $\eta_R=0.33$ となるので $E_u=1100\text{ MeV}$ となる。消滅処理過程を取り入れた核燃料サイクルが電力源となるためには、消滅処理エネルギーがこの値よりも十分小さくなければならない。消滅エネルギー、消滅速度ともにまだはっきり決まった基準があるわけではないが、ここでは、上のような見方に立って次のような条件を挙げておく。

消滅処理エネルギー	: 数十MeV以下
消滅処理速度	: 一か月以下（実効半減期）

3. 消滅処理方法の研究

核分裂生成物の消滅処理は、1964年に米国 BNL の Steinberg によって最初に ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{85}Kr を原子炉で消滅することが考えられ、それに続いて陽子加速器による消滅処理等、幾つかの方法が提案されている。これらの方法はそれぞれ一長一短があり、現時点では上に述べた消滅処理への要件を全て満たすものはまだ無い。例えば、原子炉による消滅処理での問題点は、FP は、中性子吸収体となるので装荷量に制限があることと、断面積の小さい核種 (^{137}Cs 、 ^{90}Sr) は消滅処理速度が遅すぎることである。これに対して、加速器による消滅処理の問題点は、エネルギーバランスの条件を満たすのが難しいことである。

最近再び、消滅処理が注目され初め、新しい可能性を探ろうという機運が出てきている。中性子による消滅処理の新しい試みとしては、複合核共鳴反応の大きな断面積の利用のために、moving ターゲットを用いて速い消滅処理速度を達成しようとする方法や Inertial Fusion のターゲットの周りに廃棄物核種を配置し核融合反応による 14 MeV の非常に大きな中性子束を利用しようとするアイデアが出されている。また同じく μ 触媒核融合炉からの 14 MeV 中性子による (n, 2n) 反応を利用した消滅方法や、 ^7Li の free ion target に migma 軌道を描かせた重陽子を衝突させることによる高速中性子の発生装置の研究等がなされている。これらの新しい試みには、原子力分野のみならず核物理の分野も含めた幅広い研究が必要であり、今後の展開が期待される。