レポート ― 2026 年度日本原燃・電源開発及び IES 施設見学会

2026 年 6 月　　日

大学:

名前:

1．日本原燃

(1) 原子燃料サイクルについて簡単に要点を纏め、日本原燃におけるその位置づけについて説明しなさい。

原子燃料サイクルとは、①海外の転換工場から輸入した六フッ化ウランから核分裂しやすい U-235 を濃縮し、②燃料として利用できる形に加工し、③発電所で燃料を利用し、④その使用済燃料からウランとプルトニウムを分離して、⑤再度燃料として発電所で利用するシステムのことであり、資源が循環している様子から「サイクル」と呼ばれる。日本は石油や石炭、ウラン鉱石などのエネルギー資源が乏しく、これらを多くの場合、海外輸入に頼らなければならない為、使用した資源を再資源化できる原子燃料サイクルはエネルギー安全保障上、非常に重要である。

日本原燃ではこのサイクルのうち、ウラン濃縮と、燃料からウランとプルトニウムを分離する再処理、再処理したウランとプルトニウムの燃料に加工する MOX 燃料加工を担う。また、廃棄物に関する事業として原子力発電所の運転で発生した比較的放射能の低い L2 と分類される低レベル放射性廃棄物の埋設と、再処理施設で使用済燃料からウラン・プルトニウムを分離した核分裂生成物やマイナーアクチノイドを含む高レベル放射性廃液をガラス固化した高レベル放射性廃棄物の一次保管をしている。

(2) 日本原燃の再処理工場で用いられている再処理法について、他の再処理法と比較して、その得失を纏めなさい。

使用済核燃料中にはウランとプルトニウム、マイナーアクチノイド、核分裂生成物が含まれるが、このうち燃料として再利用できるウランとプルトニウムとをそれぞれ回収し、残りを適切に処理（固化処分や再利用される可能性もある）することを再処理という。様々な再処理方法が研究開発されてきたが、それらの諸方式には回収率、除染率、操作性、時間、コストなどの観点から一長一短がある。

まず、開発された再処理の諸方式を述べる。再処理の方法としては大きく、水溶液や有機溶媒を用いる湿式法と、高温で処理する乾式法に大別できる。さらに湿式法には溶媒抽出法が主体的に発展してきたほか、沈殿法、イオン交換法があり、乾式法にはフッ化物揮発法、高温冶金法がある。さらに溶媒抽出法には溶媒や塩析剤の種類などからレドックス法、ブテックス法、ピューレックス法などがあり、日本原燃ではピューレックス法という方法を用いて再処理を行っており、世界でもほとんどの再処理工場がこの方式を用いている。

溶媒抽出法は、有機溶媒による液ー液抽出分離法である。ピューレックス法ではまず、使用済燃料をせん断し、硝酸に溶解させ、溶解しない金属材料を取り除く。ここまでを前処理段階という。ここに有機溶媒（TBP:リン酸トリブチル+ドデカン）を混ぜると、水相と有機相に分かれるが、有機相にはウランとプルトニウムのみが抽出されるため、有機相のみ取り出せばウランとプルトニウムを分離できる。さらに、有機相中の Pu(Ⅳ)を Pu（Ⅲ）に還元することでプルトニウムを水相に逆抽出することができ、ウランとプルトニウムを分配することが可能である。ここまでが主分離工程である。そして分離したウランとプルトニウムを精製する工程を後処理工程と呼ぶ。他の溶媒抽出法のレドックス法では、 有機溶媒にヘキサン、ブテックス法ではブテックスを用いる。ヘキサンは揮発性、引火性の高いため扱いにく

いとされ、ブテックスは高価かつ爆発事故が発生した経緯から、今日ではピューレックス法が広く用いられている。ピューレックス法の利点として、塩析剤として用いる硝酸は蒸発により除去できるため廃液が少なくできる、TBP は揮発性や引火性が低く、硝酸に対して安定である、運転費が安いという点が挙げられる。

また、湿式の溶媒抽出法と乾式法を比べると、乾式法の方が、工程が少なく、設備もコンパクトになるため、経済性と時間短縮の点で優れているとされる。乾式法には、金属燃料では高温冶金法が、酸化物燃料では高温化学法と、フッ化物蒸留法などが提案された。このうち酸化物燃料に適用できる方法について、高温化学法は、高温の溶融塩（塩化カリウム-フッ化カリウム融剤など）中で酸化物燃料を還元し、他の貴金属類を含む金属状態のウランやプルトニウムにして、さらにこれを溶融塩（塩化マグネシウム、塩化ナトリウムなど）で精製する方法である。また、フッ化物揮発法は、ウラン、プルトニウム、ネプツニウムが「揮発性」の六フッ化物を作るという特別な性質を利用し、フッ素化させて他の元素から分離する方法である。これらの欠点として、高温化学法は、分離が不完全で、再処理された燃料の放射能が高くなり、操作性が低くなってしまう。加えて、溶融塩やフッ素化剤など腐食性や反応性が高医薬品を用いるため高価な装置が必要になってしまう。現在では乾式法は広く用いられるには至っていない。[1]

[1]Manson Bendict 清瀬量平訳 1983「燃料再処理と放射性廃棄物管理の化学工学」日刊工業新聞社

2．電源開発

(3) 電源開発・大間原子力発電所のフル MOX 計画に関して、フル MOX 発電のための設備変更について簡単に纏めなさい。

MOX 燃料とは、使用済燃料から再利用できるウランとプルトニウムを取り出し、これらを混合して作られた混合酸化物燃料（Mixed Oxide fuel）である。プルトニウムはウランよりも①中性子吸収断面積が大きい、②遅発中性子（核分裂時にやや遅れて放出される中性子）の割合が小さい、③放射能、放射線が強いという核特性の違いがある。プルトニウム量がウラン燃料よりも多い MOX 燃料を用いる場合、この核特性の違いが炉心特性や安全保守に影響を及ぼす。大きく、3つの安全上の問題が挙げられ、大間原子力発電所では、全炉心で MOX 燃料を使用することを可能にするため、これらの問題に対する特別な設備が設計されている。

まず、中性子吸収断面積が大きいため、制御材の中性子吸収効果が低下し、異常事態発生時に運転を確実かつ速やかに停止させる能力が低下するとされている。この問題に対して、制御棒にふくまれる組成を調整することで中性子吸収能力を従来のものより高めることと、中性子吸収断面積の大きいホウ酸水注入系の容量を増加するという対応が行われている。

二点目として、異常事態発生すると圧力が上昇しやすいとされる。これは、例えば、何らかの原因で原子炉出力が上昇した上、蒸気が逃がせない状況に陥った時、出力上昇→原子炉圧力が高くなる→水の沸点は上がる→気泡が減る→反応度が上がる→さらに出力を上昇させる→発熱が大きくなり、さらに炉内圧力が上昇する、というサイクルに陥ってしまう。このとき、遅発中性子割合が小さいと核分裂反応がより早く起こってしまうため、圧力上昇が起こりやすい。これに対しては、主蒸気逃がし安全弁の容量増加という対応が行われている。

三点目に、プルトニウムはウランに比べ、放射能や放射線が強いため、MOX 燃料は放射能がウラン燃料よりも高いため、燃料の受入検査時の作業員の被ばくが大きくなるという懸念がある。これに対しては、MOX 燃料自動検査装置を採用することで作業員の受ける放射線量を低減する対策が取られる。

(4) 原子炉の安全対策について、福島事故を踏まえ制定された新規制基準の概要を纏めなさい。また、具体的な対策を一つ挙げ、その目的と機能について要点を纏めなさい。

福島第一原子力発電所の事故では、地震と津波により、複数の安全機能が同時に喪失し、電源機能が失われ、炉心の冷却ができなくなった。最終的に水素爆発をし、環境中に放射性物質を放出してしまうという重大な事故に陥った。これは旧規制基準が、深層防護に基づく対策が不十分であったからだと考えられる。深層防護とは、まず異常や事故を発生させないようにし、さらに、万が一事故が起こっても重大な被害を及ぼさないようにする考え方である。

このような背景の下に、新規制基準では、①旧来の設計基準の強化と、②その設計の想定を超える事象にも対応するシビアアクシデント対策で構成されている。

例えば、新設されたシビアアクシデント対策のうち「格納容器の閉じ込め機能等の維持」がある。格納容器は原子炉建屋内の圧力容器の外にある構造物であり放射性物質を外部に漏らさないようにする機能をもつ。1F の事故では炉心の水蒸気-ジルコニウム反応によって発生した水素が格納容器から漏れ、建屋の上部に水素が滞留したことで水素爆発につながった。このような事象から、万が一圧力容器から、水素や放射性物質が漏出した場合でも格納容器に留まっていれば、環境中へのそれらの放出を防止できるため、格納容器の過酷事故下の健全性は重要な要件といえる。

3. 環境科学技術研究所

(5) 環境科学技術研究所で行われている、放射性物質の環境影響研究について、その特徴を簡単に纏めなさい。

環境科学技術研究所で行われる環境影響研究は、ウラン濃縮や、放射性物質廃棄物の埋設・貯蔵、今後核燃料の再処理を行う原子燃料サイクル施設が立地する青森県六ヶ所村において、放射性物質が環境中でどのように動くか、そして、その環境中の放射性物質によって周辺住民がどの程度被ばくするかを実態に即して科学的に評価するためのものである。

具体的に行われている調査として、

- 敷地内の継続的な線量測定による稼働の影響評価
- 植物の放射性物質の取り込みに関する研究
- 魚類の放射性物質の取り込みと排出、影響に関する研究
- 周辺住民の食事に含まれる放射性物質の調査

などが行われている。

植物に関する研究では、土壌からの植物への放射性物質への移行を抑制するための研究などが行われている。植物の生育は温度や湿度、気候に大きく作用されるため、これらを任意に調整できる人工気象室も設置されている。魚類に関する研究では、海水中に H-3 や I-129 が放出されることを想定し、これらの同位体核種を用いた核種の取り込みや排出、海水温の影響などが調べられている。

これらの屋外観測や屋内の実験を通して、放射性核種の拡散、移行の実態と仕組みを解明することで、モデル化し被ばく線量をシミュレーション計算する「総合モデル」開発も取り組まれている。

(6) 環境科学技術研究所で行われている、放射線の生物影響研究について、その特徴を簡単に纏めなさい。

環境科学技術研究所では、マウスを使った生体への放射線被曝の影響に関する研究が行われている。 放射線被曝には主に外部被曝と内部被曝があり、前者は体外からの照射による被曝を指し、後者は体内に取り込まれた放射性物質による被曝を指し、施設ではどちらの実験もされている。

外部被曝影響を評価するための照射施設は 0.05mGy/day の低線量率から 400mGy/day の高線量率の幅広い線量率での照射が可能である。この施設の特色は、長期低線量率かつ SPF（特定病原体不在）条件下で照射が可能という点であり、これは世界的にも貴重といえる。また、高線量率の被曝は原爆事故などから、ある程度その影響が推定されているが、事故避難時の基準線量や放射線従事者の線量限度に相当する低線量被曝の生体への影響はあまりわかっていないため、この点でも貴重な施設といえる。具体的に、これまでの研究では線量率や総線量によるマウスの寿命の違いや死因・疾病発生率の調査が行われている。

内部被曝に関する研究では、外部被曝と内部被曝での線量や放射線の種類による影響の違いをみるものなどがある。例えば、飛程が短いβ線を放出するトリチウムは体内の細胞の局所的な吸収線量が大きくなると考えられるため、これが免疫細胞に与える影響などが調べられている。

以上