

2024 年6月29日

大学: ○○大学

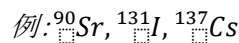
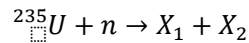
名前: _____

1. 日本原燃

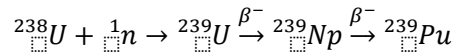
- (1) 原子燃料サイクルについて簡単に要点を纏め、日本原燃におけるその位置づけについて説明しなさい。

原子力発電の燃料になる天然のウランには、核分裂しやすいウラン 235 が約 0.7%含まれ、核分裂しにくいウラン 238 が約 99.3%含まれる。原子力発電で核分裂によって熱エネルギーを取り出すために使用するのはウラン 235 の方である。原子力発電所では、このウラン 235 の濃度を 3~5%に高めた濃縮ウランを粉末状の酸化物にし、直径・高さともに約 10mm 程度の円柱形に焼き固めたペレットを燃料として利用する。

原子力発電所で生じる反応として、核分裂反応は以下のようなものである。



また、プルトニウム 239 はウラン 238 に中性子を吸収させて生産できる。



このように、使用済燃料には、核分裂しなかったウランや、新しくできたプルトニウムが含まれている。使用済核燃料は、使用済燃料から核分裂しなかったウランと新しくできたプルトニウムを回収して再び燃料として利用することができる。このように使用済燃料をリサイクルして利用する一連の流れを「原子燃料サイクル」という。ウラン資源を再利用すれば、エネルギーを長期にわたり安定供給することが可能となる。核燃料サイクルのうち、原子力発電を行うまでを「フロントエンド」、原子力発電以降の使用済燃料取扱いからその処理・処分までを「バックエンド」という。

また、原子燃料サイクルの利点は主に 3 つある。1 つ目は、エネルギー源の確保となることである。日本のエネルギー自給率は極めて低く、エネルギー資源の 9 割以上を海外からの輸入に依存している。再処理することによって、使い終わった燃料の 95~97%をまた発電の燃料として使うことが可能になり、回収されるウランやプルトニウムは、「準国産エネルギー資源」となりえる。2 つめは、廃棄物の量を減らせることである。使用済燃料を直接処分する場合は、使用済燃料全部を高レベル放射性廃棄物として処分しなければならない。これに対し、使用済燃料を再処理することで、資源として再利用できない核分裂生成物のみを取り出し、ガラス固化体にするため、高レベル放射性廃棄物の体積が直接処分する場合に比べて約 4 分の 1 となる。3 つ目は、有害度が下がる事である。再処理をすると、有害度が天然ウラン並に下がるまでの期間が再処理しない場合の約 12 分の 1 になる。

日本の原子燃料サイクル事業は、日本原燃が中心となって青森県六ヶ所村で進められている。日本原燃の主な事業としては、濃縮事業、埋設事業、再処理事業、廃棄物管理事業、MOX 燃料加工事業の 5 つである。核燃料サイクルをするためのさまざまな施設が、青森県の六ヶ所村にある。その中でもメインとなる「再処理工場」は現在、アクティブ試験(使用済燃料を用いた試験)を実施しており、2024 年度上期のできるだけ早期のしゅん工に向けて、最終的な安全機能や機器設備の性能を確認している。多くの原子力発電所で利用されている軽水炉では、主にウラン 235 からエネルギーを取り出しているが、ウラン 238 が中性子を吸収すると、ウラン 238 の一部がプルトニウムに変化する。このプルトニウムとまだ使えるウラン 235 を再処理して取り出し、ウラン燃料や MOX 燃料(Mixed Oxide

Fuel)の原料として使えるようにするのが再処理工場の役割である。つまり、再処理工場は「準国産エネルギー資源の創出の場」であるといえる。

- (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。

原子燃料の主な再処理方法として、乾式再処理と湿式再処理の2つがある。このうち、後者の湿式再処理には、レドックス法、ブテックス法、ピューレックス法がある。日本原燃で用いられている再処理方法は湿式ピューレックス法である。乾式再処理方法は高温下で、金属燃料等を処理、またはハロゲン化物を分別蒸留する化学処理法である。初期に金属燃料を対象として開発されたが、軽水炉燃料には使われていない。欠点として、分離性能が低く、高温操作が必要であり、設置が難しいことが挙げられる。湿式再処理法は、有機溶剤抽出技術を主体とし、軽水炉のウラン酸化物燃料にも使われる。レドックス法は、溶媒にメチルイソブチルケトン(ヘキソン)が用いられる。欠点は、ヘキソンが揮発性、引火性をもち、廃液が増加することである。ブテックス法は、溶媒にジブチルカルビトール(ブテックス)が用いられる。欠点として、ブテックスが高価である事、硝酸と溶媒の反応とみられる爆発事故が発生したことなどが挙げられる。ピューレックス法は溶媒に、リン酸トリブチルとドデカンが用いられる。ピューレックス法には、レドックス法やブテックス法にみられる欠点が無いという利点がある。湿式ピューレックス法が世界的に広く用いられている再処理方法でもある。

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、「①MOX 燃料の特徴」及び「②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。

①MOX 燃料の特徴

使用済燃料を再処理して取り出したプルトニウムとウランを混合してつくった混合酸化物燃料が、MOX (Mixed Oxide)燃料である。MOX 燃料は、ウラン燃料と同じように、ペレットに焼き固められ、燃料被覆管内に密閉されて、燃料棒となり、燃料集合体に組み立てられる。

MOX 燃料には3つの特徴がある。1つ目は、MOX 燃料ペレットの融点と熱伝導率が若干低下することである。プルトニウムとウランは化学的な特徴はよく似ているが、融点や熱伝導度が異なる。その結果、プルトニウムの混合割合が増えるにしたがって、MOX 燃料の融点が低下し、また熱伝導度が低下するため、燃料温度が上がりやすくなり、炉心溶融の危険性が高くなる。2 つ目は、燃料ペレットからの核分裂生成ガスの放出率が高めであることである。ガス状核分裂生成物(キセノン、クリプトン等)とアルファ粒子(ヘリウム原子核)の放出が多いため、燃料棒内の圧力が高くなる。3 つ目は、ウラン燃料に比べて、放射線が強い事である。

②フル MOX 発電のための設備変更

フル MOX 燃料の原子炉とウラン燃料の原子炉とでは、異なるところは4つある。

1つ目は、ほう酸水注入系の容量を増加させることである。発電所には制御棒による原子炉停止のバックアップとして、ほう酸水を原子炉内に注入する系統が備えられている。炉心での原子炉停止能力を高めるために、このタンクの容量を増やす。

2 つ目は、制御棒の中性子吸収効果を増強させることである。プルトニウムはウランに比べて中性子を吸収しやすいため、制御棒の効きが低下したり、燃料の出力が高くなったりする傾向にある。原子炉停止能力に一層の余裕を持たせるために一部の制御棒の中性子吸収効果を高める。

3つ目は、主蒸気逃がし安全弁の容量を増加させることである。異常発生時に起こる原子炉内の圧

力上昇を抑制するために、主蒸気逃がし安全弁を大容量化させる。

4つ目は、MOX 燃料自動検査装置を採用することである。MOX 燃料は新品のウラン燃料に比べ放射能が強い(特にアルファ線、中性子線が著しく強い)。よって、MOX 新燃料の受け入れ検査に伴い作業員が受ける放射線量を低減するために、自動検査装置を採用する。

- (4) 原子炉の安全対策について、福島事故を踏まえ強化された対策を挙げ、その要点を纏めなさい。

従来の規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)対策が規制対象とされておらず十分な備えがなかったことが安全規制の問題点であった。新たに制定された新規規制基準は従来からある「設計基準事故対策」が強化され、「重大事故等対策」が新たに盛り込まれた。「重大事故対策」では、万が一、設計基準事故の想定を超える重大事故やテロが発生した場合に事故進展を防止するための対策である。安全機能が一斉に失われることのないよう、自然災害だけではなく、幅広い要因のリスクに備えるため設計基準が大幅に強化されている。例えば、新基準の「意図的な航空機衝突への対応」では、故意の航空機衝突などのテロを想定し、大規模な損壊で広範囲に設備が使えない事態でも原子炉格納容器などを冷却出来るように設計基準事故対策等の他の対策とは別に設置することなどが示されている。

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。

再処理工場から排出される放射性物質の周辺環境への影響は、六ヶ所再処理工場の操業後、通常運転時に現実的にどのような影響があるのか、科学的に明らかにしておくことが求められる。これらの影響はある程度想定はされているが、その際の各種パラメータは世界的にも知見が限られており、安全側に大きな裕度を持たせているため、現実的な想定をするためには青森県独自の値を求め、これを科学的に評価する必要がある。

環境科学技術研究所の環境影響研究の特徴は、再処理工場から排出される放射性物質(トリチウム、放射性炭素、ヨウ素 129 及びクリプトン 85 等)の環境中の濃度変化や蓄積、日常生活に関係する食品・日常食中の放射性物質濃度に関するものなどの調査が主体として行われていることである。また、野外実験による環境要因が土壌中放射性物質の化学形態や移行に与える影響や、室内実験による周辺地域の重要農水産物中の放射性核種の移行及び残留性についてトレーサ実験による調査も行われている。例えば、地域の主要農水産物である、ナガイモやヒラメ、メバルなどについて、可食部などへの放射性物質の移行や残留性について調査が行われている。

さらに、放射性物質異常放出事後対応調査も行われている。主に、ナガイモに沈着した放射性物質の降雨による除去(ウェザリング)や葉面吸収の実験から可食部(イモ)への移行蓄積の調査や、地域特有の土壌を中心に農作物中放射性物質の可食部への移行を低減化させる研究が行われている。

- (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。

放射線被ばく健康影響に関する知見の多くは、ごく短い時間にかかなり多くの放射線を受けた場合(高線量率放射線の急性被ばく)の影響に関するものであり、低線量率放射線による長期被ばくの影響に関する知見は世界的にも限られているのが現状である。よって、環境科学技術研究所では、低線量率放射線の長期被ばくによる生体への影響を、主に実験動物(マウス)を用いて明らかにする調

査「低線量率放射線による生物影響に関する調査」を実施している。この調査は大きく、「実証調査」と「機序調査」のふたつに分かれています。実証調査では、こどもの被ばくはおとなに比べてどの程度影響が大きいかの調査や、被ばく影響が居住環境や食事条件によって軽減できるか可能なかななどの調査がある。機序調査では、臓器や組織のレベルで被ばく影響が生じるメカニズムや、細胞や遺伝子への被ばく影響が生じるメカニズムの調査がある。

以上

参考文献

原子力発電のしくみ

[https://www.bing.com/ck/a?!&p=8dc54000c9a1da43JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxMg&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-](https://www.bing.com/ck/a?!&p=8dc54000c9a1da43JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxMg&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-dcf04e006758&psq=%e6%a0%b8%e7%87%83%e6%96%99%e3%80%80%e5%8f%8d%e5%bf%9c&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuamFlcm8ub3IuanAvc29nby9kZXRhWwvY2F0LTAyLTAzLmh0bWw&ntb=1)

[dcf04e006758&psq=%e6%a0%b8%e7%87%83%e6%96%99%e3%80%80%e5%8f%8d%e5%bf%9c&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuamFlcm8ub3IuanAvc29nby9kZXRhWwvY2F0LTAyLTAzLmh0bWw&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&p=8dc54000c9a1da43JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxMg&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-dcf04e006758&psq=%e6%a0%b8%e7%87%83%e6%96%99%e3%80%80%e5%8f%8d%e5%bf%9c&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuamFlcm8ub3IuanAvc29nby9kZXRhWwvY2F0LTAyLTAzLmh0bWw&ntb=1)

原子燃料サイクルのメリット

<https://www.fepc.or.jp/nuclear/cycle/about/advantage/index.html>

日本原燃

[https://www.bing.com/ck/a?!&p=6ff10191099e4aa8JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxNw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-](https://www.bing.com/ck/a?!&p=6ff10191099e4aa8JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxNw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-dcf04e006758&psq=%e6%97%a5%e6%9c%ac%e5%8e%9f%e7%87%83%e3%80%80&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuam5mbC5jby5qcC9qYS8&ntb=1)

[dcf04e006758&psq=%e6%97%a5%e6%9c%ac%e5%8e%9f%e7%87%83%e3%80%80&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuam5mbC5jby5qcC9qYS8&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&p=6ff10191099e4aa8JmltdHM9MTcxOTE4NzlwMCZpZ3VpZD0xMjc1ZDI1Ny00ZmVhLTY2YTctMDMyMi1kY2YwNGUwMDY3NTgmaW5zaWQ9NTIxNw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1275d257-4fea-66a7-0322-dcf04e006758&psq=%e6%97%a5%e6%9c%ac%e5%8e%9f%e7%87%83%e3%80%80&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuam5mbC5jby5qcC9qYS8&ntb=1)

MOX 燃料とは

<https://www.jpower.co.jp/bs/nuclear/oma/feature/mox/>

新規規制基準の策定

<https://www.jpower.co.jp/bs/nuclear/newstandard/standard.html>

公益財団法人 環境科学技術研究所 研究紹介

https://www.ies.or.jp/project_j/project01.html

排出放射性物質による環境影響に関する調査

https://www.aomori-hb.jp/introduction/ahb4_2_1

低線量率放射線による生物影響に関する調査

https://www.aomori-hb.jp/introduction/ahb4_2_3