

2025 年月日

大学: _____

名前: _____

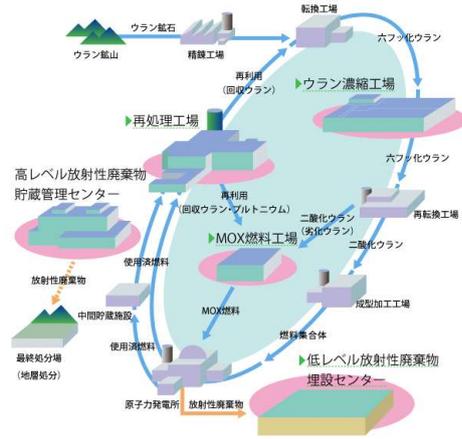
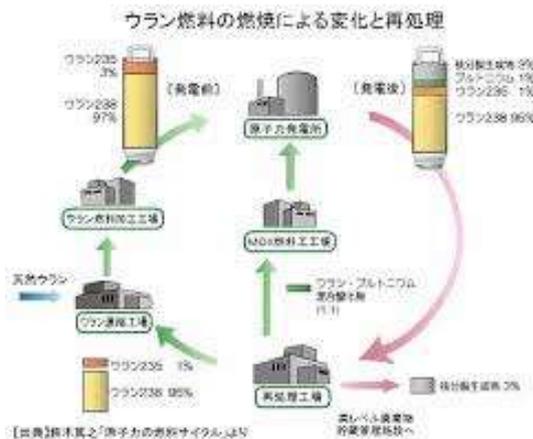
1. 日本原燃

(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。

濃縮された発電前のウラン燃料には核分裂しやすいウラン 235 が約 3-5%含まれており、主にこのウラン 235 からエネルギーを取り出している。この際、高レベル放射性廃棄物として処理される核分裂生成物が約 3-5%発生するものの、回収可能な使用済み燃料には再度発電に用いることが可能なウラン 235 とプルトニウムがそれぞれ約 1%含まれていて、これらの再利用が可能である。この割合は天然ウランよりも高い。なお、プルトニウムは主成分であるウラン 238 が変化したものである。

このようなウランの循環サイクルを原子燃料サイクルと呼び、エネルギー自給率の低い日本における純国産エネルギーとして期待されている。

日本原燃は原子燃料サイクル事業に取り組む日本唯一の企業である。原子燃料サイクルは2025年に定められた第7次エネルギー計画においても「核燃料サイクルの中核となる六ヶ所再処理工場とMOX燃料工場の竣工は、必ず成し遂げるべき重要課題であり、同工場の竣工に向け、審査対応の進捗管理や必要な人材確保などについて、官民一体で責任を持って取り組む」と定められているように、国をあげた事業である。また、「核燃料サイクルを実効的に回していくため、プルトニウムの利用や六ヶ所再処理工場への使用済み燃料の搬入などに係る事業者間の連携・調整に国が関与し、その機能強化を図る 枠組みを検討し、必要な対応を進める。」とあり、日本原燃は国との協力に向け、着工、操業が遅れる六ヶ所再処理工場の開発、安定運転に向けた取り組みを進めていく必要がある。また、操業の延期や後述する新規制基準による事業費の増加は大きな問題となっている。



原子力発電所で使用されるウラン。ウランは一度使い終わっても、まだ使えるものが96%もあるんだよ。これをリサイクルしてまた燃料として使う一連の流れを「原子燃料サイクル」というんだよ！



図1 ウラン燃料の組成の変化

図2 日本原燃における原子燃料サイクル図

(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。

六ヶ所村に位置する日本原燃の再処理工場での工程を以下の画像に示す。日本原燃ではチョップ&リーチ法及びピューレックス法を用いた処理法を採用している。

ピューレックス法は「軽水炉で使用した使用済燃料からウランとプルトニウムを分離回収する手段として、経済性も含めて最も優れた方法の一つ」で、イギリスの THORP やフランスの UP2-800,UP3 でも用いられている手段である。

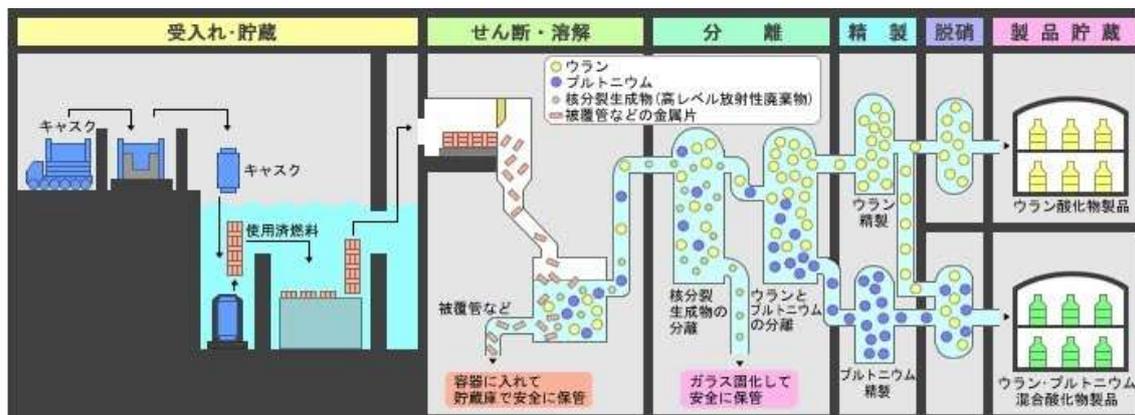


図3 日本原燃再処理工場における処理工程

まず、再処理方法は乾式再処理法と湿式再処理法の2つに分けられる。乾式再処理法は「高温下で、金属料等を処理、またはハロゲン化合物を分別留する化学処理法」であり、湿式処理法は軽水炉の開発、ウラン酸化物燃料の使用に伴い適用された有機溶媒抽出技術を用いた処理法である。現在では湿式処理法が主流であり、湿式処理法にはレドックス法、ブテックス法、ピューレックス法などがある。レドックス法には溶媒のヘキソンが「揮発性、引火性を持ち、大量の薬品が廃液中に加わる」というデメリットがあり、ブテックス法には溶媒のジブチルカルビトールが高価であり、「有酸と溶媒の反応とみられる爆発事故発生」というデメリットがある。一方でピューレックス法にも溶媒のドデカンによる引火や第3相形成などのデメリットを伴うものの、他の方式のデメリットがなく相対的に優れているとされている。しかし、ピューレックス法はプルトニウムを高純度で分離するため、核不拡散上のリスクも考えられる。

なお、チョップ&リーチ法は「湿式再処理の前段として、核物質が溶解した硝酸を作り出すために使用済燃料を細かくせん断し、中身を高温の酸に溶かす方法」で、湿式処理の前処理として行われる機械的処理工程である。

また、処理法とは別に、日本特有のデメリットもある。核非保有国なのにも関わらず、再処理政策をとっているという点は、日本の特異点である。福島事故を踏まえ制定された新規規制基準による国内安全審査の厳格化に加え、日・IAEA 保障措置協定といった国際的な協定による保障措置を受ける必要がある。こうした手法は安全対策上有効である一方、技術開発や操業開始にあたり遅れをとってしまう原因となり得る。実際、六ヶ所村の再処理工場の竣工は何度も先送りが繰り返されている。

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、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。

現在建設中である大間原子力発電所は MOX 燃料を全炉心で用いることができる設計となっており、MOX 燃料を全炉心の 1/3 から徐々に使用割合を高め、最終的に全炉心での MOX 燃料使用を目標としている。なお、MOX 燃料はプルトニウムとウランを混合してつくられた燃料である。MOX 燃料を使用することで資源の有効活用が可能とな

フル MOX の原子炉はウラン燃料の原子炉と比べ、原子炉の基本仕様は同一である。「フル MOX の原子炉では、制御棒が吸収する中性子の数が若干減少する傾向や、異常発生時に原子炉内の圧力上昇が大きくなる傾向があり」、設計時に対策がとられている。中性子数減少の直接的な対策としてホウ素水

注入系の容量を増加させている。ほう酸水は、制御棒による原子炉停止時、バックアップとして原子炉内に注入する目的で備えられており、この容量を増やすことで原子炉の停止能力を高めている。その他にも、一部の制御棒の中性子吸収効果を高めたり、主蒸気を逃す安全弁の容量を増加させることで、異常時の原子炉の停止能力や圧力上昇の抑制力を高めている。また、MOX燃料自動検査装置を新たに採用し、作業員の被放射線量を低減している。これらの設計変更により、十分な安全性を確保している。

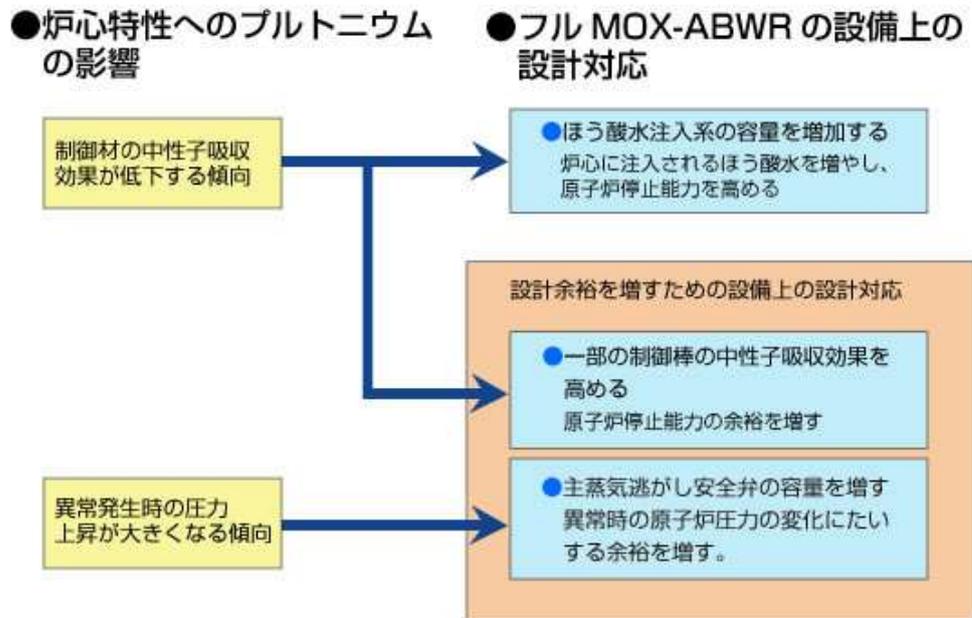


図 4 フル MOX の原子炉における設計対応

(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。

福島事故では「地震や津波により、複数の機器・系統が同時に安全機能を喪失」したことに加え、「その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった」ことが原因となり、水素爆発が発生した。事故を踏まえ、原子力規制委員会は「共通要因による安全機能喪失及びシビアアクシデントの進展を防止するための基準を策定」し、これまで不十分であった共通要因による安全機能喪失の防止に加え、「原子力施設の設計想定を大幅に超えて過酷な状態に至る事故の起こることを表すシビアアクシデントが発生しても対応可能な環境の整備、テロや航空機衝突への対応までを組み込んだ。また、「法令及び規制基準の改正等により新たな知見を規制に反映し、その新たな規制を既存の施設 2 にも適用すること」を表すバックフィットを新たに適用し、継続的な安全性の向上を目指している。

新たに加えられた「意図的な航空機衝突などへの対策」では、これまでの対策に加え、可搬型設備を分散して配置し、特定箇所の被害に対して他方の配備箇所から対応できるようにするほか、バックアップ施設を設け、「原子炉から100mの場所に電源、注水ポンプ、これらの緊急時制御室を常設化」し、3 系統目の常設直流電源を設けている。こうした特定重大事故等対処施設を整備することで、シビアアクシデント対策を行っている。

発電用原子炉に係る従来の規制基準と新規規制基準の比較

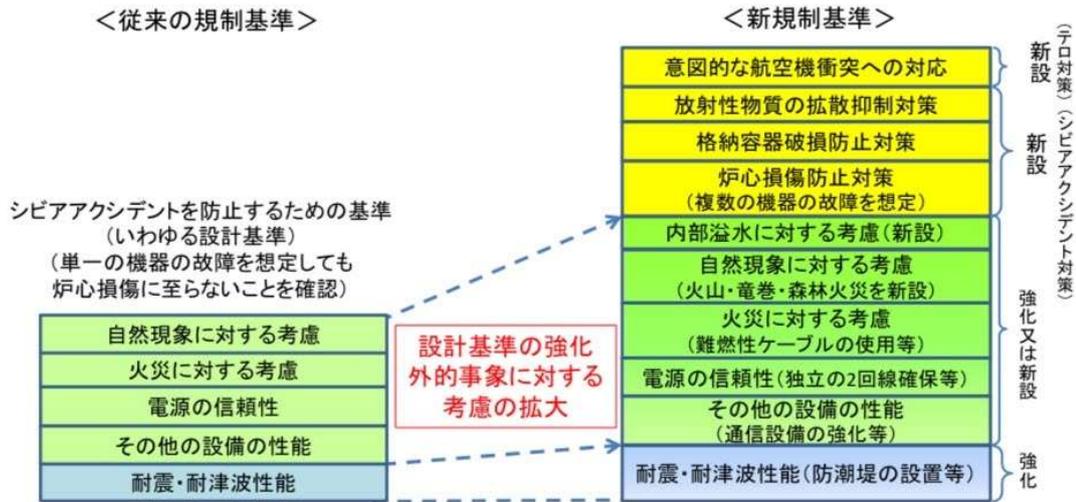


図5 従来の規制基準と新規規制基準との比較

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は日本原燃の再処理工場に位置する。環境影響研究部では、「排出放射性物質による環境影響に関する調査研究」を行っている。六ヶ所村の地域特性を踏まえ、再処理施設が今後本格操業するにあたり、再処理施設から排出される放射線物質がどのように環境中を移動するのか、また農水産物を通じてどのようにヒトに影響を及ぼすのかという点に関して調査研究を行い、地域住民への発信、理解醸成を目指している。

大きな特徴と言えるのは、放射性物質の移行を野外観測に加え、屋内実験から分析している点である。全天候型人工気象実験施設では、室温、湿度、照度といった環境条件や降雨、降雪、霧などの気象条件に加え、やませ気象などの青森県内特有の気候の再現が可能な大型人工気象室、非密封放射性同位元素が使用可能な小型人工気象チャンバーの設備を有しており、植物の放射性物質環境下での挙動について実験が可能である。

生態系研究施設では、主に放射性物質による六ヶ所村地域の農水産物への影響に関する調査研究を行っている。前述した小型人工気象チャンバーの機能に加え、¹³CO₂ の暴露、CO₂ の制御ができる植物人工気象器、水産物にトリチウムの代わりに重水素水を用いたばく露実験を行う水生生物実験室、ヒラメ等における放射性ヨウ素の長期的な移行について調査を行う試料処理室などの実験施設とその試料を測定する分析装置を有している。

これらの屋内実験に加え、六ヶ所村や青森県各地での放射性物質の測定や濃度調査、放射性物質が異常に放出された際の植物の挙動や、土壌への影響の軽減化への調査を行っている。

日本原燃とは独立した立場から、地域の安全のための研究を進め、住民に示している。

(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。

生物影響研究部では「放射線による生物影響に関する調査研究」を行っている。原爆被ばく者のデー

タなどから短時間に大量の放射線を被ばくする高線量放射被ばくの影響はある程度研究が進んでいるものの、長期間に少しずつ被ばくしていく低線量放射線被ばくに関しては十分な情報が集まっていない。低線量生物影響実験棟では線量放射線被ばくが健康に及ぼす影響について、マウスを用いた研究を行っている。環境科学技術研究所でのマウス実験の大きな特徴は、その規模である。「多くのマウスを清潔な条件で飼育しつつ長期照射を行う」施設としては世界最大規模であり、同時に 1080 匹のマウスを照射することができる。3つの照射室にはそれぞれ 74GBq、3.7GBq、0.185GBq のセシウム-137 密封線源が納められており、1日 22 時間、20 mGy、1 mGy、0.05 mGy の照射が行われる。年齢や生活環境に応じて生じる影響の違いを生理機能や遺伝子、細胞の単位から調査をしている。

また、トリチウム研究センターでは、トリチウム、 γ 線をそれぞれ同線量与えた際の影響を比較研究するマウス実験や、ヒトへの重水素投与実験などの実験を行っている他、地下水や河川におけるトリチウムの移行研究も行っている。

個体単位での分析は難しいものの、マウス実験を通じて、放射性物質が生物に及ぼす全体的な傾向について解明を続けている。

MOX

参考文献

日本原子力研究開発機構. 「シビアアクシデント」『原子力用語集』. 日本原子力研究開発機構

<https://www.jaea.go.jp/glossary/%E3%82%B7%E3%83%93%E3%82%A2%E3%82%AF%E3%82%B7%E3%83%87%E3%83%B3%E3%83%88> (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

原子力規制委員会. 『原子炉施設におけるシビアアクシデント対策について』. 原子力規制委員会, 2013 年. <https://www.nra.go.jp/data/000070101.pdf> (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

電気事業連合会. 「シビアアクシデントへの対策」『原子力の安全性への取組』. 電気事業連合会. <https://www.fepc.or.jp/supply/hatsuden/nuclear/safety/torikumi/taisaku/> (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

一般財団法人エネルギー総合工学研究所. 「プロジェクト紹介」. 一般財団法人エネルギー総合工学研究所. https://www.ies.or.jp/project_j/index.html (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

電源開発株式会社. 「MOX 燃料を使用する大間原子力発電所の特徴」. 電源開発株式会社. <https://www.jpowers.co.jp/bs/nuclear/oma/feature/mox/feature.html> (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

日本原子力研究開発機構. 「シビアアクシデントとは(04-08-01-02)」『ATOMICA 原子力百科事典』. 日本原子力研究開発機構. https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-08-01-02.html (参照日: 2025 年 10 月 3 日).

小澤正基. 『原子力科学入門 2010』. 茨城大学, 2010 年. <https://www.base.ibaraki.ac.jp/ozawa/files/AtomicSci2010/OzawaMasaki.pdf> (参照日: 2025 年 10 月 13 日).

厚生労働省. 「ドデカン(112-40-3)」『職場のあんぜんサイト: GHS 分類結果』. 厚生労働省. <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/112-40-3.html> (参照日: 2025 年 10 月 13 日).

一般財団法人エネルギー総合工学研究所. 「研究プロジェクト」. 一般財団法人エネルギー総合工学研究所. https://www.ies.or.jp/project_j/index.html (参照日: 2025 年 10 月 13 日). 経済産業省資源エネルギー庁. 『第 45 回 原子力小委員会 配付資料 2』. 経済産業省, 2022 年.

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/045_02_00.pdf (参照日: 2025年10月13日).

経済産業省資源エネルギー庁. 「原子燃料サイクルの現状と取組(2023年)」。経済産業省資源エネルギー庁

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/kakucycle_2023.html (参照日: 2025年10月13日).

原子力規制委員会. 『東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係る調査・分析報告書(中間報告書)』. 原子力規制委員会, 2014年. <https://www.nra.go.jp/data/000412170.pdf> (参照日: 2025年10月13日).

日本原燃株式会社. 「核燃料サイクルの概要」。日本原燃株式会社. <https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/cycle/summary/> (参照日: 2025年10月13日).

日本原燃株式会社. 「原子燃料サイクルとは」。日本原燃株式会社. <https://www.jnfl.co.jp/ja/pr/manabi/cycle/> (参照日: 2025年10月13日).

経済産業省資源エネルギー庁. 「原子燃料サイクルに関する Q&A」。経済産業省資源エネルギー庁. https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/qa_kakucycle.html (参照日: 2025年10月13日).

日本原子力研究開発機構. 「原子力安全・保安に関する情報(過去アーカイブ)」。日本原子力研究開発機構. https://www.jaea.go.jp/04/isdn/archive/np_is/index.html (参照日: 2025年10月13日).

日本原子力学会. 『核燃料サイクルに関する資料 第6章2節』. 日本原子力学会. https://www.aesj.or.jp/~recycle/nfctxt/nfctxt_6-2.pdf (参照日: 2025年10月13日).

北海道大学. 「バックエンド核燃料サイクル工学」。北海道大学 OCW. https://ocw.hokudai.ac.jp/lecture/backend-nuclear-fuel-cycle-engineering?movie_id=21423 (参照日: 2025年10月13日).

国際廃炉研究開発機構. 『日本と世界のバックエンド対策の動向について』. 国際廃炉研究開発機構, 2023年. <https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2023/09/日本と世界のバックエンド対策の動向について20230912.pdf> (参照日: 2025年10月13日).

公益財団法人 環境科学技術研究所 冊子 (2024年12月)

大間原子力発電所 建設工事のあらまし (2023年11月)